

PUUNSUOJAKÄSITTELYIDEN KEHITYSKAARI JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT



Jami Järvinen

Tampereen Yliopisto
Arkkitehtuurin koulutusohjelma

Tampere University
Masters Degree Programme in Architecture

Jami Järvinen

PUUNSUOJAKÄSITTELYIDEN KEHITYSKAARI
JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

ULKOASU JA TAITTO: Jami Järvinen

Jami Järvinen

PUUNSUOJAKÄSITTELYIDEN KEHITYSKAARI
JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Diplomityö

Tarkastajat: Markku Karjalainen

TIIVISTELMÄ

Tampereen Yliopisto
Arkkitehtuurin koulutusohjelma

Jami Järvinen

PUUNSUOJAKÄSITTELYIDEN KEHITYSKAARI JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

DIPLOMITYÖ: 111 sivua, huhtikuu 2022

VASTUUOHJAAJA:
Professori Markku Karjalainen

AVAINSANAT: puu, painekyllästys, pintakäsittely, modifiointi,
pitkäaikaiskestävyys, puurakentaminen

Tutkimuksessa perehdyttiin puunkäsittelymenetelmiin - kuten painekyllästykseen, modifiointiin ja pintakäsittelyyn - joilla voidaan parantaa puun ominaisuuksia ja siten lisätä puun käyttöä rakentamisessa tai pidentää puun käyttöikä. Tutkimuksessa tarkasteltiin menetelmien mahdollisuuksia edistää puun käytön lisäämistä rakentamisessa sekä tutkittiin minkälaisia haasteita ilmastonmuutos tuo puumateriaalille tulevaisuudessa. Tutkimuksen pääasiallinen tarkastelu kohdistui puunsuojausteollisuuden kehityskaareen ja teollisuuden nykypäivänä ja tulevaisuudessa kohtaamiin haasteisiin.

Tutkimuksen aineistoa kerättiin laajasti eri tutkimusraporteista, kirjallisuudesta, laeista ja asetuksista, eri tuotevalmistajien esitteistä sekä internet-artikkeleista. Puu ja puunsuojateollisuus kohtaa erilaisia haasteita eri puolella maailmaa paikallisista ilmasto-olosuhteista ja lainsäädännöstä riippuen. Tutkimuksessa keskityttiin etenkin Suomen kannalta oleellisiin ilmiöihin ja puunsuojaukseen vaikuttaviin tekijöihin hyödyntäen lähteenä kuitenkin myös kansainvälistä kirjallisuutta.

Aiheeseen syvennyttiin alan asiantuntijoita haastatteleamalla. Asiantuntijoilta kysyttiin näkemyksiä etenkin puunsuojausmenetelmien nykypäivän kehityksestä ja puunkäsittelyn tulevaisuudesta. Haastateltavia pyydettiin alan merkittävimmistä suomalaisista yrityksistä ja tutkimuslaitoksista. Asiantuntijuutta saatiin monipuolisesti niin pintakäsittelyn, painekyllästyksen kuin modifioinninkin osa-alueilta. Kirjallisuus- ja haastattelututkimuksista tehtyjä löydöksiä ja tuloksia koottiin yhteen ja arvioitiin kriittisesti sekä pohdittiin tulosten luotettavuutta. Kriittisen arvioinnin pohjalta tehtiin johtopäätökset ja pohdittiin jatkotutkimusehdotuksia.

Tutkimuksessa havaittiin, että puunsuojateollisuuden kehitykseen vaikuttaa nykypäivänä etenkin ilmastonmuutokseen ja kestävään kehitykseen liittyvät, monipuoliset ilmiöt. Suurin haaste alan kannalta on EU:n kemikaaliviraston asettamat kemikaalikiellot, joilla pyritään vähentämään puunsuojauksessa käytettyjen tuotteiden ympäristövaikutuksia sekä terveydelle haitallisia tekijöitä. Samaan aikaan kun sallitut kemikaalit vähenevät, Suomen ilmasto-olosuhteet muuttuvat puun kannalta haastavammiksi lisääntyvän ilmankosteuden ja kasvavien UV-arvojen myötä. Lisäksi ilmaston lämpeneminen vaikuttaa puuta ravintonaan käyttävien termittien levinneisyyteen. Kiellettyihin aineisiin koitetaan löytää vähemmän ympäristölle ja terveydelle haitallisia ratkaisuja etenkin biopohjaisista vaihtoehdoista. Sääntelyn lisäksi ympäristöystävällisyyteen kannustetaan erilaisia sertifikaatteja myöntämällä ympäristövaikutuksiltaan parhaille tuotteille. Sääntely ja erilaiset sertifikaatit ohjaavat tuotteiden valmistajia testauttamaan tuotteitansa, mikä osaltaan lisää tuotteiden tutkimista, mutta toisaalta hidastaa uusien tuotteiden syntyä kalliiden ja hitaiden testausprosessien vuoksi. Ilmastonmuutos tuo haasteita myös välillisesti, sillä puurakentamisen lisääntyessä etenkin isommassa rakennuskohteissa, puulta vaaditaan enemmän. Etenkin palomääräykset asettavat rajoituksia sille, missä määrin puuta voidaan rakentamisessa käyttää. Palosuoja-aineet ja palonkestoltaan paremmaksi modifioidut puutuotteet mahdollistavat puun käytön lisäämisen vaatimustasoltaan B-s1, d0 -luokan kohteisiin.

Painekyllästyksen ja pintakäsittelytuotteiden suurin haaste on löytää ympäristöystävällisiä ja terveellisiä vaihtoehtoja markkinoilta poistuville kemikaaleille ja samalla vastata yhä haastavammiksi muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin. Uusia ratkaisuja etsitään etenkin biopohjaisista tuotteista. Kupariöljykylästeet ovat esimerkki painekyllästyksen siirtymävaiheesta ympäristöystävällisempiin tuotteisiin. Pintakäsittelyaineissa perinnemaalien kuten keitto- ja pellavaöljymaalien suosio lisääntyy mutta etenkin uusia biopohjaisia, uusiutuviin raaka-aineisiin perustuvia vaihtoehtoja kehitetään jatkuvasti. Modifioitujen puutuotteiden haasteena on pääasiassa tuotteiden kallis hinta. Siirtymä ympäristöystävällisempiin tuotteisiin näyttää kuitenkin lupaavalta modifioitujen puutuotteiden, kuten Kebonyn© ja Accoyan© kysynnän kannalta. Kysynnän lisääntyessä ja tuotantokapasiteettien kasvaessa hinnan voi odottaa alenevan, mikä edelleen lisää tuotteiden kysyntää. Haasteista huolimatta ilmastonmuutoksesta ja kestävästä kehityksestä on puunsuojausteollisuudelle hyötyä, kun puurakentaminen ja erilaisten kestävien puutuotteiden kysyntä kasvaa jatkuvasti.

ABSTRACT

Tampere University
Masters Degree Programme in Architecture

Jami Järvinen

TREND IN WOOD PRESERVING TREATMENTS AND
OUTLOOK FOR THE FUTURE

MASTER OF SCIENCE THESIS:
111 pages, april 2022

EXAMINER:
Professor Markku Karjalainen

KEYWORDS: wood, pressure impregnation, surface treatment,
modification, long-term durability,
wood construction

The research examined wood treatment methods - such as pressure impregnation, modification and surface treatment - that can improve the properties of wood and thus increase the use of wood in construction or extend the life of wood products. The research looked at the potential of the methods to increase the use of wood in construction and examined the challenges that climate change will bring to wood material in the future. The main analysis of the study focused on the development of the wood preserving industry and the challenges facing the industry today and in the future.

The research material was collected extensively from various research reports, literature, laws and regulations, brochures from various product manufacturers and Internet articles. Wood materials and wood preservative industry faces different challenges around the world depending on local climatic conditions and legislation. The study focused especially on the phenomena and the factors affecting wood protection relevant to Finland, also using international literature as a source.

The research was deepened by interviewing experts in the field, who provided views, especially on the current development of wood preserving methods and the future of wood preserving. Interviewees were collected from the most significant Finnish companies and research institutes in the field. There was a wide range of expertise in the areas of surface treatment, pressure impregnation and wood modification. The findings and results of the literature and interview research were summarized and critically evaluated, and the reliability of the results was considered. Based on the critical evaluation, conclusions were drawn and suggestions for further research were considered.

The research found that the development of the wood preserving industry today is particularly affected by multifaceted phenomena related to climate change and sustainable development. The biggest challenge for the industry is the ban on chemicals imposed by the European Chemical Agency, which aims to reduce the environmental impact of products used in wood protection and the harmful effects on health. At the same time as the permitted chemicals are declining, Finland's climatic conditions are becoming more challenging for wood due to increasing humidity and rising UV values. In addition, global warming is affecting the distribution of termites. Attempts are being made to find less environmentally harmful and health threatening solutions to banned substances, especially from bio-based alternatives. In addition to regulation, various certificates encourage product manufacturers for environmental friendliness by awarding products with the best environmental impact. Regulation and various certifications guide product manufacturers to test their products, which in turn increases product research but slows down the emergence of new products due to expensive and slow testing processes. Climate change also brings challenges indirectly, as wood construction increases, especially in larger scale buildings. Fire regulations in particular place restrictions on the extent to which wood can be used in construction. Flame retardants and wood products modified for better fire resistance make it possible to increase the use of wood for B-s1, d0 class building components.

The biggest challenge for pressure impregnation and surface treatment products is to find environmentally friendly and healthy alternatives to chemicals leaving the market while responding to increasingly challenging climatic conditions. New solutions are being sought, especially in bio-based products. Copper oil impregnations are an example of the transition of wood pressure impregnation to more environmentally friendly products. In surface treatments, the popularity of traditional paints, such as red soil paints and linseed oil paints, is growing, but also new bio-based alternatives based on renewable raw materials are constantly being developed. The challenge for modified wood products is mainly the high cost of the products. However, the shift to more environmentally friendly products looks promising in terms of demand for modified wood products such as Kebony© and Accoya©. As demand increases and production capacity increases, prices can be expected to fall, further increasing demand for the products. Despite the challenges, the wood preservation industry will benefit from climate change and sustainable development as wood construction and the demand for various sustainable wood products continue to grow.

ALKUSANAT

Vilamoura, Portugali, 27.4.2022

Jami Järvinen

Idea tämän diplomityön aiheelle lähti omasta kiinnostuksestani puurakentamista kohtaan. Ajankohtaista puurakentamiseen liittyvää aiheideaa kysyttiin ohjaavalta professorilta Markku Karjalaiselta, jonka ehdotuksesta lopullinen aihe muodostui.

Aloittaessani työtä, tunsin puunsuojakäsittelyn perusteet, joten aiheeseen oli helppo syventyä tarkemmin. Aiheeseen perehtyminen ja sen tutkiminen oli erittäin opettavaista. Vaikka aihe ei ollut ehkä tyypillisin arkkitehtiopiskelijan diplomityölle, uskon sen myötä kasvaneen puuosaamiseni antavan erinomaisia työkaluja arkkitehdin työhön ja puurakennusten suunnitteluun tulevaisuudessa. Valitettavasta Covid-19 -pandemiasta johtuen diplomityö haastatteluineen toteutettiin täysin etänä. Päätin kuitenkin ottaa kaiken irti etäopinnoista ja suuntasin tammikuussa 2022 Portugaliin viimeistelemään opintoni ja kirjoittamaan lopputyöni. Portugalin aurinko on pitänyt mielen virkeänä joskus raskaaltakin tuntuneen kirjoitusprosessin aikana.

Haluan kiittää kaikkia asiantuntijoita, jotka epäroimättä osallistivat haastatteluihin lyhyellä varoitusajalla ja kertoivat näkemyksiään aiheeseen liittyen. Haastattelut koin työn antoisimmaksi osuudeksi. Suuren kiitoksen haluan osoittaa myös diplomityötä ohjanneelle ja työhön idean antaneelle Tampereen yliopiston professorille, Markku Karjalaiselle. Kiitokset myös Ellille, joka enemmän kirjoittaneena osasi neuvoa tieteelliseen kirjoittamiseen liittyvissä kysymyksissä ja jolta sain vertaistukea kirjoittamisprosessiin. Kiitokset myös perheelle ja ystäville.

Opinnot jätän taakseni osin haikein mielin mutta toisaalta myös toiveikkaana tulevaisuuteen katsoen. Opinnot ovat antaneet hyvät työkalut jatkoa varten ja ennen kaikkea arvokkaita uusia ystävyssuhteita ja muistoja, joista haluan pitää kiinni.

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	14
1.1 AIHEEN ESITTELY JA RAJAUS	15
1.2 TUTKIMUSMENETELMÄT	17
PUUN KÄSITTELYN TAUSTATEKIJÄT	18
2.1 HYGROSKOOPPISUUS	20
2.2 BIOLOGINEN KESTÄVYYS.	22
LAHO	22
BAKTEERIT	23
HOME- JA SINISTÄJÄSIENET	23
TUHOHYÖNTEISET.	24
2.3 MEKAANISET OMINAISUUDET	26
2.4 PALONKESTO	27
2.5 UV-VALON JA SÄÄNKESTO.	29
2.6 VÄRI JA ULKONÄKÖ	31
HISTORIA JA NYKYTILANNE.	32
3.1 PUUNSUOJAUKSEN HISTORIA	33
3.2 SUOMALAISEN PINTAKÄSITTELYN HISTORIA	35
3.3 KESTÄVÄ KEHITYS.	36
PUUN LISÄÄNTYVÄ KÄYTTÖ RAKENNUSTEOLLISUUDESSA	36
PUUMATERIAALIN VASTUULLISUUS	37
3.4 TALOUS	40
PUUTUOTTEIDEN HINTA.	40
TALOUDELLINEN ELINKAARIAJATTELU.	41
3.5 SÄÄNTELY	41

PUUN SUOJAKÄSITTELYMENETELMÄT.	44
4.1 PUUN PAINEKYLLÄSTYS.	45
4.2 PUUN MODIFIOINTIMENETELMÄT.	50
LÄMPÖMODIFIOINTI	52
ASETYLOINTI.	57
FURFULOINTI.	61
PIIPOHJAISET KYLLÄSTYSMENETELMÄT	63
PUUN PINTAMODIFIOINTI.	65
4.3 PUUN PINTAKÄSITTELY	66
MAALITUOTTEET.	68
VAHAUS.	72
PETAUS	72
PALOSUOJAMAALAUUS.	73
TERVAUS	74
HAASTATELUTUTKIMUS	76
5.1 HAASTATELUIDEN KUVAUS	77
5.2 HAASTATELTAVIEN NÄKEMYKSET	78
PAINEKYLLÄSTETYN JA MODIFIOIDUN PUUN KEHITYS	78
PINTAKÄSITTELYTUOTTEIDEN KEHITYS.	81
TUOTTEIDEN KAUPALLISTAMINEN	84
PALONKESTON MERKITYS.	85
TERMIITINKESTON MERKITYS.	86
KÄSITTELEMÄTÖN PUU	87
5.3 HAASTATELUTULOSTEN ANALYSOINTI.	89
JOHTOPÄÄTÖKSET	94
6.1 YHTEENVETO PAINEKYLLÄSTYKSEN KEHITYSSUUNNASTA.	97
6.2 YHTEENVETO PUUN MODIFIOINNIN KEHITYSSUUNNASTA	98
6.3 YHTEENVETO PUUN PINTAKÄSITTELYN KEHITYSSUUNNASTA	99
6.4 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	101
LÄHTEET	102

KÄSITTEET JA LYHENTEET

Accoya®	Asetyloimalla modifioitu puutuote, jota valmistetaan Alankomaissa.
CCA-kylläste	engl. Copper, Chrome, Arsenic, kuparia, kromia ja arseenia sisältävä kylläste.
CE-merkintä	Merkintä, joka osoittaa tuotteen täyttävän tuotetta koskevien Euroopan Unionin asettamien direktiivien vaatimukset.
DoP	engl. Declaration of Performance, CE-merkintään vaadittava suoritustasoilmoitus.
FSC-sertifikaatti	engl. Forest Stewardship Council, metsäsertifikaatilla voidaan todistaa puun alkuperään ja kestävään metsänhoitoon liittyvä lain vaatimuksia korkeampi vastuullisuus metsätaloudessa.
Hygroσκοoppinen	Adjektiivi joka kuvaa aineen, kosteutta imevää ominaisuutta.
Joutsenmerkki	Pohjoismainen virallinen ympäristömerkki, joka myönnetään ympäristövaikutuksiltaan parhaille tuotteille tai palveluille.
Kebony®	Furfuloimalla modifioitu puutuote, jota valmistetaan Norjassa ja Belgiassa.
Kestopuu®	Suomalainen painekyllästetty puutuote.
LCA	engl. Life Cycle Assessment, Elinkaariarviointi, jolla selvitetään tuotteen tai esimerkiksi rakennuksen koko elinkaaren aiheuttamat ympäristövaikutukset
(puun) Modifiointi	Käsittely, jolla pyritään muuttamaan ja parantamaan puun ominaisuuksia pysyvästi ilman biosideja.
NTR	Pohjoismaisen puunsuojaneuvoston laatujärjestelmä kyllästetyille puulle.

Painekyllästys	Menetelmä, jossa puuhun imeytetään paineen avulla suoja-ainetta, joka parantaa puun biologista kestävyyttä.
(puun) Pintakäsittely	Menetelmä, jossa muovataan puutavaran pinnan ominaisuuksia usein pinnoittamalla se jollain muulla aineella. Tavoitteena usein ulkonäön muovaus tai puun suojaaminen.
Plato®	Alankomaissa kehitetty lämpömodifiointimenetelmä.
OrganoWood®	Ruotsalainen piimodifiointimenetelmä ja pintakäsittelyjärjestelmä.
Shou Sugi Ban	Menetelmä, jossa puu pintamodifioidaan hiiltämällä.
Tasapainokosteus	Tila, johon puu asettuu ympäröivästä ilmankosteudesta ja lämpötilasta riippuen.
ThermoWood®	Suomessa kehitetty lämpömodifioitu puutuote.
WPG-arvo	engl. Weight Percentage Gain, arvo, joka kuvaa puun käsittelystä seurannutta puun painon nousua.

1

JOHDANTO

Tässä diplomityössä perehdytään puun painekyllästykseen, modifioinnin ja pintakäsittelyn kehitykseen historiasta nykypäivään sekä tutkitaan mihin suuntaan puunsuojausteollisuus ja -menetelmät ovat kehittymässä.

Tutkimuksen alussa perehdytään puunsuojauksen taustatekijöihin ja puumateriaalin ominaisuuksiin. Puumateriaalin ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, jotta voidaan ymmärtää erilaisten puunsuojausmenetelmien toimintaperiaatteita ja pyrkimyksiä. Puumateriaalin ominaisuuksien tuntemisen lisäksi on olennaista perehtyä puunsuojauksen historiaan ja sen merkittävimpiin käännteisiin. Historiaan tutustuminen auttaa ymmärtämään puunsuojauksen kehitykseen vaikuttavia ilmiöitä. Historiaan perehtymisen ohella tutustutaan nykypäivän merkittävimpiin puunsuojausmenetelmiin sekä markkinoilla oleviin kaupallisiin tuotteisiin. Työssä sivutaan myös kehitteillä olevia menetelmiä ja tuotteita, joilla voisi olla potentiaalia tulevaisuuden puunsuojauksessa ja toisaalta selvitetään mihin suuntaan nykyisin käytetyt puunsuojausmenetelmät ovat kehittymässä. Lopuksi tutkimusta syvennetään asiantuntijahaastatteluilla, joissa tarkastelu keskittyy etenkin puunsuojausmenetelmien nykytilaan ja tulevaisuuden näkymiin.

1.1 AIHEEN ESITELY JA RAJAUS

Ilmastonmuutoksen ja kestäväen kehityksen ilmiöiden huomioarvo on ollut jatkuvassa kasvussa 1980-luvulta alkaen, jolloin ne ensimmäisen kerran tunnistettiin virallisesti Maailmansuojelustrategiassa (World Conservation Strategy of 1980). Nykypäivänä ilmastotietoisuus ja -huolet ovat osa kehittyneen maailman arkipäivää ja käytännön toimia ilmaston muutoksen hillitsemiseen tehdään aina yksittäisen ihmisen tasosta globaaleihin sopimuksiin saakka. Rakennusteollisuuden osuus globaaleista hiilipäästöistä on noin 39 %, joista 28 % syntyy rakennuksen käytön aikaisista päästöistä ja loput 11 % rakentamiseen kuluvista päästöistä. Näin ollen rakennetun ympäristön sektorilla on merkittävä rooli ja vastuu ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. (World Green Building Council 2019, 6 - 7.) Lisääntynyt ympäristötietous on viime aikoina kasvattanut ympäristöä vähemmän kuormittavien rakennusmenetelmien ja -materiaalien käyttöä, mikä on vahvistanut puutuotteiden asemaa rakennusteollisuudessa merkittävästi. Esimerkiksi Suomen työ- ja elinkeinoministeriö on kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassaan (2016) linjannut puurakentamisen edistämisen osana toimia, joilla Suomi pyrkii edistämään EU:ssa sovittujen energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamista vuoteen 2030 mennessä. EU:n tavoite vuodelle 2030 on vähentää kasvihuonekaasuja 40 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016.)

Puulla on materiaalina paljon hyviä ominaisuuksia, joista uusiutuvuus, hiilivarastona toimiminen ja helppo kierrätettävyys ovat saaneet ilmastomuutoksen myötä suuren arvon. Puun suurin heikkous on kuitenkin sen alttius biologisille vaikutteille - kuten laholle - joiden lisäksi puun käyttöä rajoittavat muun muassa palomääräykset. (Esim. Väärä & Turunen 2014, 10-11) Puurakentamisen tehokkaan lisäämisen takaamiseksi tarve parantaa puun ominaisuuksia ja kilpailukykyä muiden materiaalien rinnalla on kasvanut, mikä on lisännyt ympäristöystävällisten puutuotteiden tutkimus- ja kehitystyötä.

Samalla kun puurakentamista lisätään, Suomen ilmasto muuttuu yhä haastavammaksi puumateriaalille. Ilmastomuutoksen jatkuessa nykyiseen malliin, on odotettavissa muun muassa sateiden, tulvien ja myrskyjen lisääntymistä sekä muiden sään ääri-ilmiöiden, kuten kovien helleaaltojen voimistumista ja yleistymistä (Ilmatieteen laitos 2022).

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia miten puunsuojauksen avulla voidaan parantaa puutuotteiden kilpailukykyä kilpailevien rakennusmateriaalien rinnalla. Olennaisena osana tutkimusta on selvittää missä määrin nykyaikaisella puunsuojauksella voidaan vastata erilaisiin biologisten ja mekaanisten tekijöiden aiheuttamiin rasitteisiin ja toisaalta erilaisten säännösten ja rakennusmääräysten asettamiin vaatimuksiin.

Puunsuojausmenetelmien tarjoamien mahdollisuuksien esille nostamisen lisäksi tämä tutkimus pyrkii luomaan katsauksen puunsuojausteollisuuden tulevaisuu-

teen. Tulevaisuuden näkymien kannalta on olennaista perehtyä kehitteillä oleviin puun käsittelymenetelmiin, joilla voisi olla tulevaisuuden kannalta potentiaalia ja toisaalta selvittää, mihin suuntaan jo nykypäivänä käytetyt menetelmät ovat kehittymässä. On myös olennaista selvittää, minkälaisia haasteita muuttuva maailma ja ympäristö mahdollisesti tuovat mukanaan, ja voidaanko puun suojauksella vastata niihin ja toisaalta miten nykypäivän puunsuojausmenetelmät sopeutuvat uusiin vaatimuksiin. Näihin tutustumalla tutkimus muodostaa ennakkoivan katsauksen puunsuojausmenetelmien tulevaisuuteen.

Koska puun käytön lisäämisen keskeisin motiivi on rakentamisen ilmasto- ja ympäristövaikutusten vähentäminen, on olennaista tutkia etenkin puunsuojauksessa käytettyjä teollisen mittakaavan saavuttaneita menetelmiä ja tuotteita sekä käsittelymenetelmiä, joilla voisi olla tulevaisuudessa mahdollisuuksia laajentua teolliselle ja kaupallisesti merkittävälle tasolle. Puunsuojausmenetelmillä, jotka voidaan tuottaa teollisesti, kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti on merkittävin potentiaali vaikuttaa rakentamisen ilmasto- ja ympäristövaikutuksiin.

1.2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus on toteutettu kvalitatiivisin tutkimusmenetelmin. Työssä perehdytään ensiksi teoriaan eri kirjallisuuden, tieteellisten artikkeleiden ja tutkimusraporttien sekä lakien ja asetusten kautta. Työssä tutustutaan myös suurimpien tuotevalmistajien puunsuojausmenetelmiin ja tuotteisiin, joihin on kuitenkin suhtauduttava tietyllä varauksella, johtuen valmistajien mahdollisesta puolueellisuudesta oman tuotteen kohdalla.

Lopuksi aiheeseen syvennyttään asiantuntijahaastatteluiden kautta. Haastattelut on toteutettu puolistrukturoituina teemahaastatteluina. Haastattelukysymyksiin tehtiin pieniä muutoksia asiantuntijakohtaisesti haastateltavien substanssiosaaminen huomioiden. Laaditut teemat apukysymyksineen lähetettiin haastateltaville etukäteen tutustuttaviksi.

2

PUUN KÄSITTELYN TAUSTATEKIJÄT

Puulla on materiaalina paljon hyviä ominaisuuksia, kun verrataan kilpaileviin materiaaleihin. Puu on verrattain lujaa - varsinkin omaan tiheyteensä nähden - mutta myös helposti työstettävää ja kevyttä. Puu myös imee ilmasta kosteutta, tasaten näin huonetilan kosteutta sisätiloissa käytettynä, mikä edistää ihmisen terveyttä. Puu on myös ekologinen materiaali, sillä se on uusiutuvaa, sitoo ilmasta hiilidioksidia kasvaessaan ja toimii ja käyttövaiheessa hiilivarastona sekä on elinkaarensa päätteeksi myös helposti hävitettävissä. Puun ekologisuus on sen ehdoton etu sen useimpiin kilpaileviin materiaaleihin nähden. (Esim. Puuinfo 2020, A. Väärä & Turunen 2014.)

Puulla on myös heikkoutensa, mikä johtuu pitkälti siitä että, se on orgaaninen materiaali ja näin ollen altis biologisille vaikutteille ja säänvaihtelulle. Orgaanisuutensa vuoksi puu ei ole myöskään tasalaatuista, vaan sisältää vikoja, jotka voivat hankaloittaa sen käytettävyyttä. Puumateriaalin ominaisuudet myös vaihtelevat eri suunnissa sen syihin nähden. Puu on myös hygroskooppista, eli se kykenee sitomaan ja luovuttamaan kosteutta, riippuen ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta. Tämä kosteusvaihtelu aiheuttaa kosteuselämistä. Jos kosteuspitoisuus pääsee kasvamaan liian suureksi pitkäksi aikaa, se altistaa puun laholle, homeelle bakteereille ja hyönteisille, ja näin ollen heikentää sen biologista kestävyyttä. Puun sisältämä kosteus vaikuttaa myös puun fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten lujuteen ja kimmoisuuteen, mikä tulee huomioida puisia rakenteita suunniteltaessa. Myös

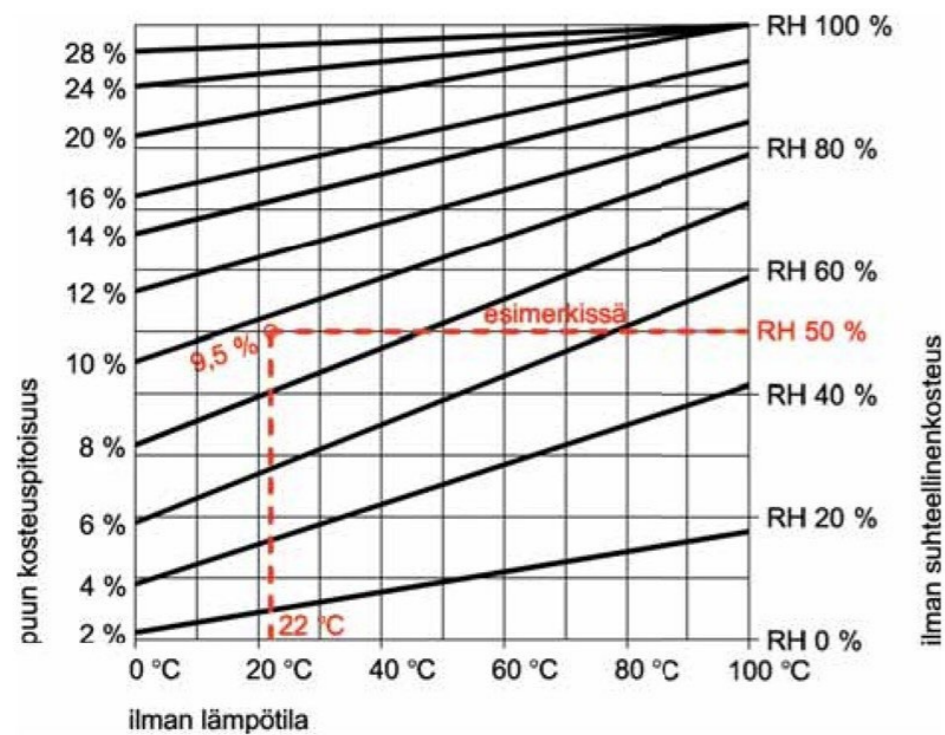
puun kovuus ja kulutuskestävyys voivat olla riittämättömät vaativammissa kohteissa. Puun käyttöä rajoittaa myös sen paloherkkyys. (Esim. Puuinfo 2020, A. Väärä & Turunen 2014.)

Puun modifioinnilla, perinteisellä kylästämällä ja erilaisilla pintakäsittelymenetelmillä voidaan parannella edellä mainittuja puun ongelmallisia ominaisuuksia, ja näin lisätä puun käyttökelpoisuutta. Kilpailevia materiaaleja, kuten betonia, terästä ja muita metalleja, tiiltä ja muoveja halutaan yhä enemmän korvata puutuotteilla, johtuen niiden pienemmistä ympäristövaikutuksista. Puu ei kuitenkaan ominaisuuksiltaan aina yllä kilpailijoidensa tasolle ja joissain tapauksissa puun ominaisuudet eivät paranneltuinakaan riitä korvaamaan kilpailijaansa. Puun käsittelyillä voidaan kuitenkin parantaa puun kilpailukykyä huomattavasti. On myös hyvä muistaa, että pitkällä aikavälillä puun hajoava luonne saattaa osoittautua sen suurimmaksi eduksi.

2.1 HYGROSKOOPPISUUS

Puu on hygroskooppinen aine, eli se imee ilmasta kosteutta sekä vapauttaa sitä takaisin ilmaan kuivuuksaan. Puun kosteuspitoisuuden vaihtelut aiheuttavat puun kutistumista ja turpoamista. Tätä kosteuspitoisuuden aiheuttamaa muodonmuutosta kutsutaan kosteuselämiseksi. Puun kosteus muuttuu ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan. Tasapainokosteus on tila, johon puu asettuu ympäröivästä ilmankosteudesta ja lämpötilasta riippuen. (Puuinfo 2020, A.) Kuva 1 esittää ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaikutusta puutavaran kosteuteen.

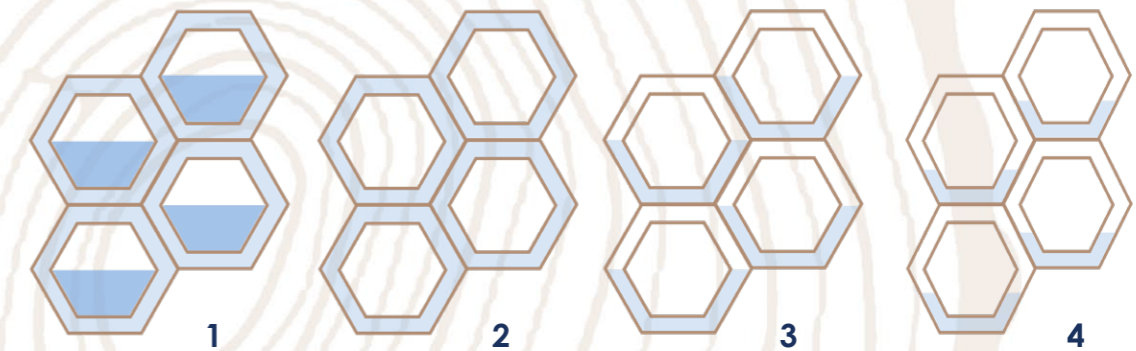
Puun kuivuuksessa puun soluonteloissa ollut vapaa vesi poistuu ensin, minkä jälkeen alkaa soluseinämien tyhjentäminen vedestä. Puun syiden kyllästymispisteessä puun soluseinämät sisältävät maksimaalisen määrän vettä, mutta puun soluontelot ovat tyhjentyneet vedestä. Puun kosteuspitoisuus on tällöin noin 30 %. Kun puun kosteuspitoisuus alittaa puun syiden kyllästymispisteen, puu alkaa kutistua, mikä aiheuttaa puuhun muodonmuutoksia. Vastaavasti puun kasvuessa puu lopettaa turpoamisen siinä vaiheessa, kun se ylittää kyllästymispisteen. Muodonmuutosten seurauksena



Kuva 1. Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaikutus puun kosteuspitoisuuteen. (Puuinfo, 2020 A.)

puuhun syntyy sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat halkeamia ja kieroutumia sahatavarassa. Kosteuselämisen määrä vaihtelee eri suunnissa, sillä puu on anisotrooppinen materiaali. Pitkittäissuunnassa kosteuseläminen on vähäistä, mutta poikittaissuunnassa kosteuseläminen on merkittävästi laajempaa, mikä tulee huomioida suunnittelussa. (Puuinfo 2020, A.) Kuvassa 2 on havainnollistettu puun solukon kuivumisen vaiheet. Tehokkain keino puun mittapysyvyyden parantamiseen on estää kosteutta imeytymästä puuhun. Useat modifiointimenetelmät pyrkivät pienentämään puun tasapainokosteutta muuttamalla puun soluseinämän molekyylirakennetta pysyvästi siten, että sen vedenimukyky pienenee, jolloin puun kosteuseläminen vähenee ja mittapysyvyys paranee (Esim.

Accsys 2021, A. International Thermo-Wood® Association 2021, Kebony® 2022, A). Pienempi tasapainokosteus parantaa myös puun biologista kestävyttä, sillä kosteuspitoisuuden ollessa jatkuvasti alle 20 %, puu on yleensä turvassa biologisilta haittatekijöiltä. Myös puun mekaaniset ominaisuudet paranevat yleensä puun kyllästymispisteen alapuolella. (Puuinfo 2020, A) Veden imeytymistä puuhun voidaan myös ehkäistä erilaisten ruiskutettavien ja siveltävien puunsuoja-aineiden avulla. Aineet muodostavat vettä hylkivän kalvon puun pinnalle. Ruiskutettavat ja siveltävät suoja-aineet imeytyvät puun pintaan yleensä vain 1-2 mm, minkä vuoksi käsittely täytyy uusien säännöllisin väliajoin, jotta suojaava vaikutus säilyy (Puuinfo 2020, A).



Kuva 2. Puun solukon kuivumisen vaiheet. (Puuinfo 2020, A.)

1. vesi poistuu ensin puun soluonteloista
2. puun syiden kyllästymispisteessä soluontelot ovat tyhjiä mutta soluseinämät sisältävät enimmäismäärän vettä (puun kosteuspitoisuus 30 %)
3. veden poistuminen puun soluseinämästä
4. kuivuvassa puussa tapahtuva kosteuseläminen on vähäisempää pituus- kuin leveys suunnassa

2.2 BIOLOGINEN KESTÄVYYS

LAHO

Laho on lahottajasienen aiheuttama muutos puun rakenteessa. Lahot jaetaan kolmeen tyyppiin: valko-, rusko- ja katkolaho. Lahottajasienet hajottavat entsyymien avulla puun selluloosaa ja ligniiniä, minkä vuoksi puu haurastuu (Kiema ym. 2012, 10). Lahoaste lasketaan massan vähenemisen perusteella.

Lahottajasienet kasvavat kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa. Lisäksi kasvuun vaikuttavat edellä mainittujen olosuhteiden vaikutusaika. (RT 21-10880 2017.) Yleensä puu on suojassa lahottajasieniltä, jos puun kosteuspitoisuus on jatkuvasti alle 20 % (Puuinfo 2020, A). Taulukossa 1 on esitetty lahottajasienten tyypillisiä kasvuolosuhteita.



Kuva 3. Lahottajasienen aiheuttamia muutoksia rakennuksen kantavissa rakenteissa. (SFW Constructuion 2022.)

Taulukko 1. Lahottajasienten tyypillisiä kasvuolosuhteita. (RT 21-10880 2017.)

	Puun kosteus (paine-%)	Lämpötila °C	Mikroilmaston kosteus (RH %)
kasvu alkaa	25 - 30	> 0	95 - 98
voimakas kasvu	30 - 80	+ 15 - 25	puu märkää
kasvu pysähtyy	120 - 160	+ 25 - 50	-
lepotila	< 18 ja > 100 - 160	< 0	-
kuolee	-	+ 35 - 70	-
itiöt kuolevat	-	> +100 puolen tunnin ajan ja paineessa	-

Lahontorjunnan tavoitteena on puun pitäminen lahottajasienille kelvottomana. Puu voidaan esimerkiksi pitää kuivana rakenteellisesti suojaamalla, jolloin puun suojakäsittelyjä ei välttämättä tarvita jos käyttöolosuhteet ovat suotuisat. Puun suojaus tulee kuitenkin usein kyseeseen etenkin ulkotiloissa käytettäviin puurakenteisiin, jos niiden pitkäaikaiskestävyys halutaan varmistaa. Tällöin puun lahonkesto voidaan parantaa kyllästyttämällä, modifioimalla, pintakäsittelyllä tai käyttämällä sydänpuuta, jonka luontainen lahonkesto on pintapuuta huomattavasti kestävämpi.

Kyllästykäsittelyä käytetään usein lahontorjunnan kannalta haastavimmissa käyttökohteissa. Kyllästykäsittelyn lahonesto perustuu lahottajasienille myrkyllisten kemikaalien imeyttämiseksi puuhun, jolloin lahottajasieni ei pääse kasvamaan puussa. Näille menetelmille on pyritty löytämään myrkyttömiä vaihtoehtoja, kuten asetyloimalla ja furfuloimalla modifioitua puutuotteita. Modifioitujen puutuotteiden lahonestomekanismi perustuu puun soluseinämän molekyyliarakenteen pysyvään muuttumiseen siten, että sen kyky imeä vettä puoleensa vähenee merkittävästi. (Möttönen ym. 2018, 11.) Modifiointimenetelmien toimintamekanismeista kerrotaan tarkemmin luvussa 4 Puun suojakäsittelymenetelmät. Erilaisten puuta suojaavien pintakäsittelyiden käyttö lahonestossa perustuu vetähyllikivän kerroksen muodostamiseen, jolloin kosteus ei pääse imeytymään puuhun ja puu pysyy liian kuivana lahottajasienille. Ruiskutettavat ja siveltävät

suoja-aineet imeytyvät puun pintaan yleensä vain 1-2 mm, minkä vuoksi käsittely täytyy uusua säännöllisin väliajoin, jotta suojaava vaikutus säilyy (Puuinfo 2020, A).

BAKTEERIT

Bakteerit ovat luonnossa eläviä mikrobeja, jotka kestävät kuivuutta, lämpöä ja voimakkaita kemikaaleja. Ne voivat kehittyä puussa, jonka kosteus on yli 30%. Bakteereja on moninaisia, ja niillä on hyvin vaihtelevia ja ominaisuuksia ja vaikutuksia. (RT 21-10880 2017.)

Märässä puussa bakteerit voivat vioittaa puu huokoskalvoja, mikä lisää puun vedenläpäisevyyttä. Tämä ei vaikuta puun lujuuteen merkittävästi, mutta voi aiheuttaa esimerkiksi puun ylivärjäntymistä puun pintakäsittelyn yhteydessä. Lisäksi vedenläpäisevyyden lisääntyessä ne raivaavat tietä lahottajille. Puun altistuessa pitkäkestoiselle maa- ja vesikosketukselle bakteerit voivat hajottaa puuta niin, että lujuus hitaasti heikkenee. Vähähappisissa olosuhteissa bakteerit voivat aiheuttaa vaurioita puun rakenteeseen. Lisäksi bakteerit aiheuttavat voimakasta hajua esimerkiksi rakennusten kosteusvaurioiden yhteydessä. (RT 21-10880 2017.)

HOME- JA SINISTÄJÄSIENET

Home- ja sinistäjäsienet aiheuttavat puun pinnalle värivikoja ja hajuhaittoja. Lisäksi home voi aiheuttaa terveyshaittoja, kuten allergiatyyppisiä oireita, kuumereaktioita ja hengitystiesairauksia. Home- ja sinistäjäsienet eivät itsessään yleensä muuta puun rakenteellisia omi-

naisuuksia mutta ne voivat edistää lahovaurioiden syntyä ja leviämistä. (RT 21-10880 2017.)

Homeen kasvuun vaikuttaa ennen kaikkea ilman kosteus. Kasvulle vaadittava minimikosteus riippuu lämpötilasta, kasvualustan materiaalista ja homelajista. Lisäksi kasvuun vaikuttaa kosteus- ja lämpöolosuhteiden vaikutusaika. Homesienelle otollinen ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on 90 - 95 %, mutta vähintään 75 %. Sinistäjäsiemenelle otolliset kasvuolosuhteet on, kun kasvualustalla on vapaata vettä ja puun kosteus on 30-120 % ja lämpötila +22 - 28 °C. (RT 21-10880 2017.) Suomessa ilmastomuutoksen myötä lisääntyvän ilman kosteuden odotetaan lisäävän rakennusten homeongelmia (Kuopion kaupunki 2022).

Ulkona homeenesto perustuu yleensä homesienelle haitallisiin fungisideihin, jotka estävät puun sinistymisen ja pinnan homehtumisen. Fungisideja lisätään esimerkiksi pintakäsittelyaineisiin, jotta home- ja sinistäjäsiemenet eivät pääse kasvamaan pintakäsittelyaineella käsitellyn puun pinnalle.



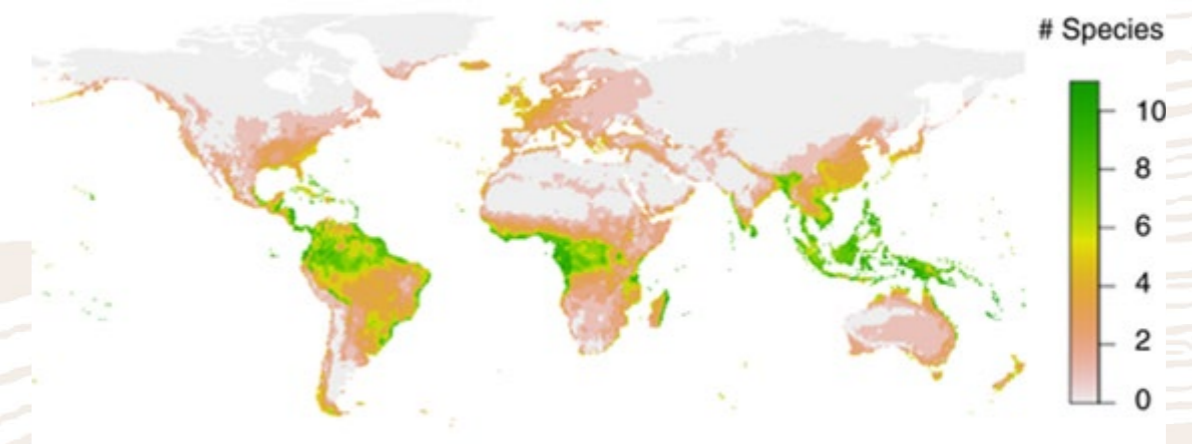
Kuva 4. Homesieni kehittyy herkästi ulkoilmaan rajoittuvilla pinnoilla. (RT 08-11286 2017.)

TUHOHYÖNTEISET

Suomessa on muutamia hyönteislajeja, jotka voivat vahingoittaa rakennuksissa käytettävää puuta. Suurin osa Suomessa tavattavista tuhohyönteisistä aiheuttavat vain kosmeettisia haittoja, kuten puupinnan reikiä, puun sisäisiä käytäväverkostoja ja syönnistä seurannutta purua ja ulostetta. Laajat tuhohyönteisten aiheuttamat vauriot vaikuttavat heikentävästi myös puun kantavuuteen ja lujuuteen. Suomessa tavattavat tuholaiset ovat kovakuoriaisten ja pistiäisten toukkia. (RT 08-11229 2016.)

Tropiikissa tavattavia puun selluloosaa ravintonaan käyttäviä termiittejä ei Suomessa vielä esiinny, mutta ilmaston lämmetessä niiden levinneisyysalueet laajenevat yhä pohjoisemmaksi ja on selvää, että termiitinkeston merkitys puunsuojauksessa tulee kasvamaan. Etenkin vientituotteiden kannalta on oleellista tutkia puutuotteiden termiittikestävyttä. Joitakin termiittilajeja esiintyy jo Keski-Euroopan maissa. Erään tutkimuksen

mukaan vuoteen 2050 mennessä joidenkin termiittilajien levinneisyys saattaisi uloittua jo Etelä-Suomeen saakka (Buczowski & Bertelsmeier 2017). Kuvassa 5 on tutkimuksen esittämä skenaario termiittien levinneisyydestä vuodelle 2050.



Kuva 5. Mahdollinen skenaario termiittien levinneisyydestä vuonna 2050. (Buczowski & Bertelsmeier 2017.)

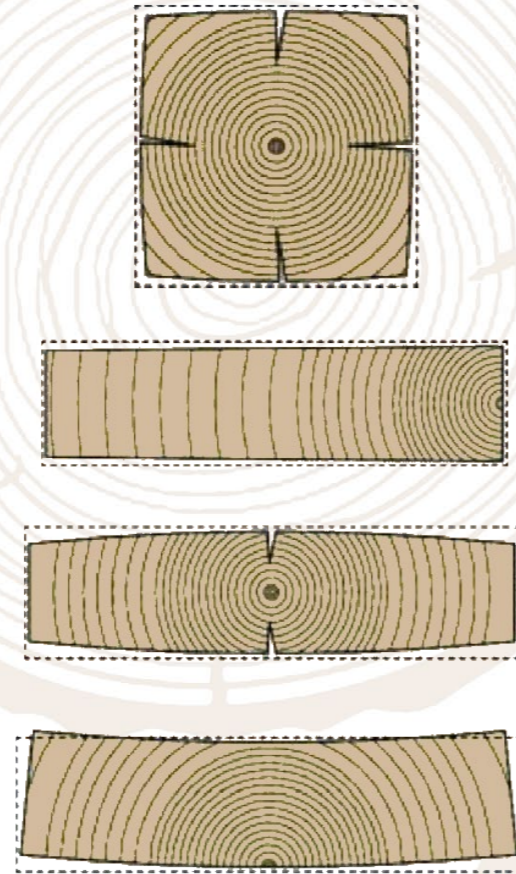
Hyönteistuholaisten ennaltaehkäisy on helpompaa kuin niiden hävittäminen. Myös hyönteisvahinkojen ennaltaehkäisyyn auttaa puurakenteiden kuivana pitäminen, sillä useimmat tuhohyönteiset viihtyvät kosteassa ja joskus myös lahossa puussa. Näin ollen tuhohyönteisten aiheuttamien vaurioiden ennaltaehkäisyssä käytetyt menetelmät ovat pitkälti samoja kuin lahottajasiementen torjunnassa. Puun lämpökäsittely on todettu hyväksi keinoksi torjua puutavarassa mahdollisesti piileviä tuhohyönteisiä, sillä useimmat niistä eivät siedä pitkäkestoista kuumuutta. Paineekyllästyksessä käytetyt myrkyt ovat olleet tehokas keino torjua tuhohyönteisten aiheuttamia vaurioita puussa. Puuhun voidaan myös sivellä tai ruiskuttaa torjunta-ai-

neita, mutta ne imeytyvät vain noin kahden millimetrin syvyyteen, joten ne eivät tapa puussa jo piileviä tuholaisia. Niillä voidaan kuitenkin ehkäistä tehokkaasti puupinnan läpi pyrkiviä hyönteisiä. (RT 08-11229 2016.)

2.3 MEKAANISET OMINAISUUDET

Puun mekaaniset ominaisuudet ovat hyvin monimutkaisia, sillä puu on anisotrooppinen materiaali, eli sen ominaisuudet vaihtelevat eri suunnissa. Puun lujuus riippuukin paljon siitä, missä suunnassa sitä kuormitetaan puun syihin nähden. Puun syiden suuntainen taiputuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyden kanssa. Puun vetolujuus on syiden suunnassa noin 10 – 20 kertaa suurempi, verrattaessa puun syihin nähden kohtisuoraan vetolujuuteen. (Puuinfo 2020, A.) Puun hygroskooppisuutta ja kosteuselämistä käsittelevässä kappaleessa käsiteltiin puussa tapahtuvaa kosteuspiitoisuuden muutoksista aiheutuvaa muodonmuutosta, joka myös vaihtelee puun syysuunnasta riippuen: kosteuseläminen on vähäisempää pituus- kuin leveysuunnassa.

Myös puun vuosirenkaat aiheuttavat vaihtelua puun mekaanisissa ominaisuuksissa. Suomalaisessa puussa vuosirenkaassa vaaleampi kevätpuu on selvästi harvempaa kuin tummempi kesäpuu. Näin ollen kesäpuun lujuus on myös parempi. Puun kuivuessa vuosirenkaat pyrkivät myös suoristumaan, mikä aiheuttaa puun halkeilua ja sahatavaran vääntyilyä. (Puuinfo 2020, A.) Sahatavaraassa kuivuessa tapahtuvia vuosirenkaiden aiheuttamia muutoksia on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Vuosirenkaiden aiheuttamia muutoksia kuivuneen sahatavaran leikkausprofiilissa. (Puuinfo 2020, A.)

Puun mekaanisten ominaisuuksien monimutkaisuutta lisää myös se, että puutavara sisältää virheitä - kuten oksia - jotka vaikuttavat puun mekaanisiin ominaisuuksiin. Muita puun mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat puulaji, puun kasvunopeus, kosteus, lämpötila ja sydänpuun osuus. (Puuinfo 2020, A.)

Kemiallisesti modifioidun ja perinteisesti kyllästetyn puun lujuusominaisuudet eivät periaatteessa poikkea vastaavan käsittelemättömän puutuotteen ominaisuuksista. Puun mekaaniset ominaisuudet kuitenkin kasvavat puun tiheyden

kasvaessa, joten monet modifiointimenetelmät periaatteessa parantavat puun lujuutta ja kovuutta alentamalla sen tasapainokosteutta, jonka seurauksena puu tihenee. (Möttönen ym. 2018.) Puun tiheyttä voidaan kasvattaa merkittävästi mekaanisesti modifioimalla puristamalla puuta kasaan, jolloin puun lujuus kasvaa huomattavasti. Mekaanista modifiointia ei ole kuitenkaan kaupallistettu, sillä sen toteuttaminen teollisessa mittakaavassa on haastavaa. Sivellettävillä ja ruiskutettavilla pintakäsittelymenetelmillä voidaan parantaa puun pinnan mekaanisia ominaisuuksia noin 1-2 mm syvyydeltä. Joihinkin modifiointimenetelmiin liittyy prosesseja, jotka heikentävät joitakin puun mekaanisia ominaisuuksia. Esimerkiksi lämpökäsittelyssä tapahtuva lämpörapautuminen heikentää puun leikkaus-, taiputus- ja vetolujuutta sekä pinnan kovuutta. (Möttönen ym. 2018.)

2.4 PALONKESTO

Puu on samaan aikaan paloon osallistuva ja palonkestävä materiaali. Sen käyttäytyminen palotilanteessa tunnetaan hyvin, joten sen palonkestävyys palotilanteessa voidaan ennustaa tarkasti (Nordtreat 2022, A). Puu syttyy yleensä 250 - 300 °C:ssa, jonka jälkeen puu aloittaa hiiltymisen. Syttyttyään puu hiiltyy noin 0,8 mm minuutissa. Palaessa syntynyt hiilikerros suojaa puun sisäosia, mikä hidastaa palon etenemistä. Tämän ominaisuuden ansiosta puun paksuuden lisääminen on tehokas keino suojata puurakenteita palolta. Puun syttymisherkkyyteen vaikuttavat puun tiheys ja

kosteus. Mitä kuivempaa ja harvempaa puu on, sitä herkemmin se syttyy. (Puuinfo 2020, A.)

Suomessa rakennusten paloturvallisuutta koskeva sääntely perustuu ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, jota sovelletaan uudisrakentamiseen, lisärakentamiseen sekä rakennusten korjaus- ja muutostöihin, mikäli rakennuksen paloturvallisuus muuttuu vaarallisemmaksi korjaus- tai muutostyön myötä. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.)

Suomessa rakennukset jaetaan neljään paloluokkaan perustuen rakennuksen käyttötarkoitukseen, runkoon ja osastoviin rakennusosiin. Paloluokat ovat P1, P2, P3 ja P0, joista viimeisintä käytetään, kun rakennus suunnitellaan käyttäen oletettua palonkehitykseen perustuva mitoitus, mikä on usein tarpeen erityisen vaativissa kohteissa. Muita paloluokkia käytetään, kun rakennus suunnitellaan asetuksen mukaisia luokkia ja lukuarvoja noudattaen. (RT 103131. 2019.)

Rakennustuotteiden eurooppalainen palotestaus perustuu euroluokkajärjestelmään, jossa tuotteen ominaisuuksia palotilanteessa arvioidaan standardoitujen testien avulla. Testit arvioivat tuotteen osallistumista paloon, tuotteen savunmuodostusta sekä palavaa pisa-roitumista. Rakennusmateriaalien euroluokitukset ovat listattuna seuraavassa taulukossa. Rakennustuotteilta vaadittavat euroluokitukset määräytyvät rakennuksen paloluokan ja kerrosmäärän sekä rakennustuotteiden käyttökohteen mukaan. (Nordtreat 2022, A.)

Taulukko 2. Euroluokituksen paloluokkien ominaisuudet. (Nordtreat 2022, A.)

A1	Tuotteet eivät osallistu palamiseen missään palon vaiheessa
A2	Tuotteet osallistuvat palamiseen äärimmäisen vähän
B	Tuotteet osallistuvat palamiseen hyvin vähäisessä määrin
C	Tuotteet osallistuvat palamiseen vähäisessä määrin
D	Tuotteet osallistuvat paloon rajoitetussa määrin
E	Tuotteet osallistuvat paloon kohtuullisessa määrin
F	Tuotteen palokäyttäytymistä ei ole määritetty
s1	Savunmuodostus on erittäin vähäinen
s2	Savunmuodostus on rajoittunutta
s3	Savunmuodostukselle ei ole rajoitusta
d0	Ei palavia pisaroita tai kappaleita
d1	Rajoitetusti palavia pisaroita tai kappaleita
d2	Ei rajoitusta palaville pisaroille ja kappaleille

Tavallisen käsittelemättömän sahatavaran paloluokka on D-s2, eli puu osallistuu paloon rajoitetuissa määrin ja savunmuodostus on rajoittunutta. Puuta on palosuojattu perinteisesti rakenteellisesti suojaamalla esimerkiksi kipsilevyillä sekä mitoittamalla puurakenteeseen palovara, jolloin puun hiiltynyt pinta hidastaa puun sisäosien syttymistä. Rakenteellisten keinojen lisäksi puurakenteiset rakennukset varustetaan usein automaattisella sammutuslaitteistolla eli sprinklerijärjestelmällä. Nykyisin on saatavilla myös puun palosuojaukseen kehitettyjä kyllästeitä sekä puun pintaan levitettäviä pinnoitteita, jotka hidastavat palon leviämistä. (Puuinfo 2020) Silikaattiyhdisteet ovat eniten tutkittuja ei-bio-sidisia palosuojakemikaaleja (Möttönen ym. 2018, 12). Markkinoilta löytyy palonkesto-ominaisuuksiltaan paranneltua piimodifioitua puutavaraa tuotenimellä OrganoWood®.

2.5 UV-VALON JA SÄÄNKESTO

Ulkotiloissa käytetty puutavara altistuu erilaisten säatekijöiden vaikutusten aiheuttamille vaurioille kuten värinmuutoksille ja puupinnan mekaanisille muutoksille. Puupinnan muutoksia aiheuttavia säatekijöitä ovat auringon säteily, kosteus, lämpötilan vaihtelu ja happi. Näistä tekijöistä auringon säteilyn fotonenergia on rasite, joka käynnistää valorapautumisen puun pinnoilla. (Feist & Hon 1984.)

Valorapautumisessa UV-säteily hajottaa puun pinnan polymeerisidoksia, joka johtaa herkästi reagoivien radikaaliatomien syntyyn. UV-säteily ei pääse tunkeutumaan puuhun 75 µm syvemmälle, mutta syntyneet radikaalit aiheuttavat ketjureaktion, joka vaikuttaa puun syvempiin kerroksiin. Radikaaliatomien uloimmalla elektronikuorella on pariton määrä elektroneja, joten ne täydentävät elektronivajettaan polymeerimolekyylien vetyatomeista, hajottaen näin puumateriaalia, jolloin valorapautuminen etenee syvemmälle puuhun. Puun ligniini hajoaa vesiliukoisiksi tuotteiksi UV-altistuksen vaikutuksesta ja muodostaa kromoforisia ryhmiä, kuten karbonyylejä, karboksyylihappoja, kiniinejä ja hydroperoksidiradikaaleja. (Hon 2000) UV-säteilyn tuottamat ligniinifragmentit metabolisoituvat sinistäjäsiementen toimesta, josta seuraa puun hopeanharmaa ulkopinta (Hill 2006, 43). Ilmansuunta vaikuttaa sään aiheuttamiin muutoksiin, joten puutalon julkisivut harmaantuvat epätasaisesti. Myös esimerkiksi räystäi-

den varjoon jäävä puu harmaantuu eri tavalla kuin suoraan auringossa oleva pinta. Puun harmaantuminen nähdään mielipiteistä riippuen joko esteettisenä ominaisuutena tai ongelmana.

Valorapautumisen lisäksi auringonvalo aiheuttaa puupinnan lämpörapautumista, sillä puun pinta voi kuumeta auringossa huomattavasti lämpimämmäksi kuin ympäristön lämpötila. Valorapautuminen ja auringonvalosta aiheutuva lämpörapautuminen on voimakkainta etelän puoleisilla julkisivuilla. Lisäksi lämpötilan ja kosteuden vaihtelut aiheuttavat mekaanista rasitusta. Myös tuulen mukana kulkevat materiaalit kuluttavat puun pintaa ja sade ja tuuli kuljettavat rapautumisessa irtaantuneita tuotteita pois. (Reinprecht 2016.)

Edellä mainitut tekijät toimivat yleensä synergisesti, jolloin niiden vaikutus moninkertaistuu. Rapautuminen tekee puusta myös alttiimman biologisille haittekeijöille kuten lahottajasiemille, homeelle ja tuhohyönteisille. (Reinprecht 2016.)



Kuva 7. Sään aiheuttamia epätasaisia muutoksia. (Smeland ym. 2016.)

2.6 VÄRI JA ULKONÄKÖ

Puulla on luontaisesti kaunis pinta, joka kuitenkin ajan saatossa harmaantuu ja nukkaantuu UV-valon ja sään vaikutuksesta (Hill 2006, 43). Puuta voidaan käsitellä myös pelkän ulkonäön vuoksi. Etenkin pintakäsittelyä tehtiin alunperin puhtaasti esteettisistä syistä, mutta myös modifioinnin motiivina voi olla puun ulkonäön muovaaminen.

Sivellettävät ja ruiskutettavat pintakäsittelymenetelmät vaativat toistuvaa huoltomaalausta, jotta maalipinta pysyy siistinä. Maalauskesittelystä syntyy merkittäviä lisätoita ja -kustannuksia, joten puista julkisivua rakennettaessa kannattaa harkita, voisiko pinnan jättää maalaamatta. Pintakäsittelemätön puupinta onkin alkanut yleistyä kun yhä useampi puurakennus jätetään maalaamatta. Tämä johtunee osin myös tavallista puuta kestävämpien modifioitujen puutuotteiden yleistymisestä.

3

HISTORIA JA NYKYTILANNE

Puunsuojauksella on ollut läpi historian merkittäviä yhteiskunnallisia vaikutuksia. Jopa kansojen selviytyminen ja globaalin infrastruktuuriverkoston rakentaminen ovat olleet riippuvaisia puumateriaalin kestävydestä. Eri aikakaudet ja ihmiskunnan kehitys ovat muovanneet maailmaa ja puunsuojausteollisuutta sen mukana kulloinkin vallitsevan tilanteen mukaisesti. Nykyisin puumateriaali ja sen suojaus ovat merkittävässä asemassa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja myös teollisuutta muovaavat toimet liittyvät pitkälti ympäristökysymyksiin. Tässä osiossa käydään lyhyesti läpi puunsuojauksen historiaa, sekä perehdytään alaa nykypäivänä muovaaviin merkittävimpiin tekijöihin.

3.1 PUUNSUOJAUKSEN HISTORIA

Puunsuojauksella on tiedettävästi ainakin noin 4000-vuotinen historia, joka alkoi Välimeren itäisissä osissa. Varhaisimmat havainnot puunsuojakäsittelyistä ovat antiikin Egyptistä - noin 2000 eaa. - jossa puisia esineitä suojattiin luontaisilla öljyillä (Graham 1973, 1-2). Muinaisten Egyptiläisten tiedettiin myös suojaavan puuta polttamalla siten, että puun pinnalle syntyi hiilestä koostuva suojakerros, joka paransi puun biologista vastustuskykyä (International ThermoWood® Association 2021). Egyptiläisten puun käyttö oli kuitenkin pientä, sillä päärakennusaineena toimi savi. Samoihin aikoihin kuitenkin laivojen merkitys kaupankäynnissä kasvoi, minkä

myötä kasvoi myös halu suojella niissä käytettyä puuta pilaantumiselta meriympäristöissä. Puun käyttö laivojen päärakennusaineena jatkui aina 1900-luvulle saakka, kunnes laivoja alettiin rakentaa teräksestä.

Antiikin kreikan noustessa noin 1000 eaa. puun käyttö alkoi kasvaa, ja rakennusmenetelmissä pyrittiin löytämään ratkaisuja, jotka pitivät puun kuivana: puu nostettiin kiven päälle ja puisten pilarien päälle saatettiin laittaa kivi, jotta puun herkästi vettä imevät päädyt pysyivät kuivana. Puunsuojauksen tärkein keino onkin kautta historian ollut puun kuivana pitäminen. (Graham 1973.)

Graham esittää kirjassaan (1973) aikaisen Roomalaisen luonnontieteilijän, Plinius vanhemman kirjoituksia, jotka osoittavat, että puutekniikan ja puunsuojausmenetelmien perusta oli jo syntynyt vuoteen 72 jaa. mennessä. Kirjoituksissa tunnistetaan muun muassa pintapuu helposti mätäneväksi ja alttiiksi puumadolle, lajit kuten syypressi, setri, eebenpuu, lootus, marjakuusipuu ja kataja lahon kestäviksi ja että setriöljyillä hyvin voideltu puu ei kärsi toukista tai lahoamisesta. Graham esittää myös nimeltä mainitsemattoman Roomalaisen arkkitehdin muistiinpanot, joissa todetaan öljysakan suojaavan kaikenlaisilta madoilta, piin suojaavan vedeltä ja että puutorni, joka on päällystetty alunalla, ei syty tuleen piirityshyökkäyksessä. (Graham 1973.)

Laivojen lisääntyminen ja merkitys Välimeren alueella kasvoi antiikkia seuraavan tuhannen vuoden aikana ja kamppailu laivojen lahoamisen kanssa

oli merkittävin syy puunsuojauksen tutkimiselle. Mainittakoon laivamatojen tuhon tusinan kuuluisan Espanjan Armadan sotalaivaston aluksista vuonna 1590. Myös Iso-Britannian kuninkaallinen laivasto kamppaili laivojen nopean lahoamisen kanssa. Heidän tiedetään kokeilleen muun muassa tervaa ja lyijyä laivojen suojaukseen. Nämä kuitenkin osoittautuivat tehottomiksi, mutta lopulta laivat keksittiin päällystää kuparilla, joka lopetti laivojen ulkoisen lahoamisen. Kuparinen päällyste todettiin myös kestävämmäksi ratkaisuksi vuonna 1804 kun erään laivaston amiraali kirjoitti laivan lokiin laivansa olevan täysin mätä ja että "vain ohut kuparinen levy on suojannut laivan miehistöä siirtymästä ajasta ikuisuuteen viimeiset kuusi kuukautta." Jopa kansojen selviytyminen ja itsenäisyys riippui puisten alusten kestävydestä, minkä vuoksi puunsuojausmenetelmien löytämiseen tehtiin tuolloin paljon työtä. (Graham 1973, 4-5.) Puun teollisessa käsittelyssä koettiin suuri harppaus teollisen vallankumouksen aikana, kun teknologiset, sosioekonomiset ja kulttuuriset muutokset alkoivat Iso-Britanniassa 1800-luvun alussa ja levisivät ympäri maailmaa. Muun muassa teollisen vallankumouksen mukanaan tuoma puhelinpylväiden ja etenkin rautateiden rakentaminen ja leviäminen ympäri maailmaa kiihdyttivät puunsuojatutkimusta. Puuta alettiin käyttää myös entistä enemmän rakennusten ulkorakenteisiin. Luontaisesti paremmin kestävien puulajien todettiin olevan rajallinen resurssi ja korvaavat vaihtoehdot olivat alttiita lahoamiselle, joten

tarve puun parantelulle oli suuri. Myös aiemmin kehitetyt upotus ja maalaus-käsittelyt todettiin riittämättömiksi, mikä kiihdytti tutkimista entisestään. (Graham 1973, 4-5.)

Varhaisimmat patentit puunsuojausmenetelmille ovat 1700-luvulta, jolloin puunsuojauksessa käytettiin pääasiassa myrkyllisiä aineita. Tuolloin tehokkaimpia puunsuoja-aineita olivat elohopeakloridi ja kuparisulfaatti. Vuonna 1815 puunsuojauksessa alettiin suosimaan sinkkikloridia. Suuri kehitys puunsuojauksen historiassa oli Franz Mollin vuonna 1836 Iso-Britanniassa patentoima kivihiilitervakreosootin käyttö painekyllästysprosessissa. Kreosootista tuli yksi laajimmin käytetyistä puunsuoja-aineista, mikä oli seurausta tuohon aikaan laajalle levinneistä rautatieverkostoista.

Painekyllästyksen patentoi John Bethell vuonna 1838. Bethell-prosessi oli ensimmäinen merkittävä menetelmä, jossa puu kyllästettiin paineen avulla. Bethell-prosessi loi perustan vielä tänäkin päivänä käytetyille painekäsittelymenetelmille, joten sen voidaan katsoa olevan modernin puunsuojasteollisuuden alku. Prosessissa puu suljetaan painekammioon, jossa alipaineen avulla puunsoluista poistetaan ilmaa ja kosteutta. Sen jälkeen puu painekäsitellään suoja-aineella, jotka kyllästävät puusolun soluseinämän sekä ontelon, antaen puulle suojan lahoa, paloa ja tuhohyön-teisiä vastaan. (Freeman ym. 2003.)

Kuparinaftenaattia alettiin käyttämään puunsuoja-aineena Saksassa vuonna 1889 ja se on ollut kaupallisessa käytössä vuodesta 1911 alkaen. Kuparinafte-

naattia käytetään myös paikalla siveltävänä pinnoitteena. Toinen historiallisesti merkittävä puunsuoja-aine on vuonna 1928 patentoitu pentakloorifenoli (PCP), joka muodostuu kloorin reaktiossa fenolin kanssa. Se on laajalti käytetty öljypohjainen suoja-aine. (Freeman ym. 2003.) Pentakloorifenolin luovuttaminen markkinoille kiellettiin lailla Suomessa valtioneuvoston päätöksellä vuonna 2000 (Ympäristöhallinto 2017).

Ehkäpä historian merkittävin kylläste, CCA-kylläste (kupari-kromi-arseeni) patentoitiin vuonna 1938 Intialaisen Sonti Kamesamin toimesta. Kamesam tutki kestäviä puunsuojaratkaisuja kaivosten tukirakenteissa. (Freeman ym. 2003.) CCA-kyllästeet olivat pitkään markkinoiden tehokkaimpia ja käytetyimpiä puunsuoja-aineita. Ne kuitenkin kiellettiin Suomen laissa vuonna 2006 voimaan tulleen EU-asetuksen myötä. CCA-kyllästeiden sisältämä arseeni todettiin sekä terveydelle että ympäristölle haitalliseksi. CCA-kyllästeistä puuta käytettiin tyypillisesti sähkö- ja puhelinpylväissä. (Tukes 2022, A.)

3.2 SUOMALAISEN PINTAKÄSITTELYN HISTORIA

Suomessa puun pintakäsittelyn historia alkaa 1500-luvulta, kun tervaan tai muihin luontaisiin aineisiin sekoitettua punamultaa käytettiin puuseinien ja -kattojen maalaukseen. Punamultamaalilla eli keittomaalilla pyrittiin saamaan puupinnat tiiltä jäljitteleväksi, eli käsittelyn motiivina olivat esteettiset pyrkimykset.

(Museovirasto 2000.) Puuta on kuitenkin myös suojattu tervaamalla keskiajalta alkaen. Tervan tuotannolla on ollut suuri merkitys Suomen teollistumiseen. (Suomen luonnonmaalit 2016.)

1600-luvulla keittomaalia käytettiin vain kirkkojen ja raatihuoneiden estetiikan lisäämiseen. 1700-luvulla - jolloin keittomaalin nykyinen perusresepti muodostui - maalaus alkoi levitä myös kartanoihin ja kaupunkeihin. Jo tuolloin, keittomaalin käyttöä pyrittiin lisäämään mainostamalla sen puuta suojaavaa vaikutusta. 1800-luvulla keittomaali yleistyi jo koko kansan maaliksi mutta arvokkaimmat rakennukset käsiteltiin jo öljyväreillä. (Museovirasto 2000) 1920-luvun lopulla alkoi vielä nykyäänkin käytettyjen alkydisideaineiden kehitys (Tikkurila 2022). 1900-luvun alussa Suomen kansaa jopa kannustettiin puujulkisivujen maalaamiseen muun muassa olympialaisia varten, jotka oli tarkoitus järjestää vuonna 1940, mutta peruuntuivat lopulta sodan takia. Sodan jälkeen teolliset maalit, kuten lateksit veivät suosiota keittomaaleilta ja valtasivat pintakäsittelymarkkinat lähes kokonaan. (Museovirasto 2000) Lateksimaalien suosio perustui helppoon levitettävyyteen, mikä nopeutti maalaustyötä huomattavasti (Tikkurila 2022). 1950 – 1960 luvuilla käytettyjen lateksimaalien muodostama kalvo oli liian tiivis eikä päästänyt rakennusten kosteutta lävitseen, mikä aiheutti homehaittoja rakennuksissa (Puuproffa 2022). Tämä lasi lateksien suosiota ja toisaalta vaikutti nykypäivänä suosittujen hengittävien akrylaattimaalien kehitykseen. 1970-luvulla kuitenkin keittomaalien suosio al-

koi taas kasvaa (Museovirasto 2000). 2000-luvulla maali-teollisuuden tuotekehitys on pyrkinyt vähentämään maalien liuotepitoisuutta, minkä seurausta ovat korkeamman kiinteäainepitoisuuden omaavat tuotteet sekä liuotteettomat ja vesiohenteiset tuotteet (Tikkurila Oyj 2022, A). Nykypäivän käytetyimpiä maaleja ovat vesiohenteiset akrylaattimaalit, joiden suosio perustuu niillä saavutettaviin parhaimpiin huoltomaalausväleihin (Isoaho 2022). Maalituotteiden markkinoinnissa on kuitenkin nykypäivänä huomattavissa ekologisuuden ja vastuullisuuden korostaminen. Jo vuosisatoja käytettyjen biopohjaisten perinnemaalien kuten keittomaalien ja pellavaöljy-maalien suosio säilyy ja tulee luultavasti kasvamaan lähiaikoina. Jatkuvasti kehitetään myös uusia biopohjaisia pintakäsittelyaineita. (Holmi 2022.)

3.3 KESTÄVÄ KEHITYS

Kestävän kehityksen konsepti alkoi saamaan huomiota 1970-luvulla ja 1980-luvulla käsite virallistettiin maailmanlaajuisesti Maailmansuojelustrategiassa (World Conservation Strategy of 1980). Alkuperäinen kestävyys konsepti perustui maa- ja metsätaloudessa käytetyn kestävä tuotannon periaatteeseen: sardonkorjuussa korjataan vain sen verran, ettei vaaranneta tulevien vuosien sadon määrää. Eli kulutuksella pyritään vastaamaan nykyhetken tarpeisiin, varmistaen samalla, että tulevaisuuden tarpeisiin on riittävästi resursseja saatavilla. (Hill 2006, 1.) Vaikka ensimmäisen Maailmansuoje-

lustrategian julkaisemisesta on kulunut yli neljä vuosikymmentä, on nykyinen tappamme kuluttaa luonnonvaroja vieläkin kestävämmällä tasolla. Muutokset globaaleissa talouspoliittisissa järjestelmissä sekä ihmisten arvomaailmassa vievät aikaa.

Uusiutumattomien luonnonvarojen kulluttamisen ohella rakennusteollisuus on vastuussa suuresta osasta maailman energiakulutuksesta ja kasvihuonekaasupäästöistä. Noin 39 % globaaleista hiilipäästöistä on rakennetusta ympäristöstä ja rakennusteollisuudesta peräisin. 28 % syntyy rakennusten käytön aikaisesta energiankulutuksesta ja loput 11% syntyy rakennustuotteiden valmistuksesta ja kuljetuksesta, rakentamisesta ja elinkaaren päätteeksi myös tuotteiden hävittämisestä. (World Green Building Council, 2019, 6-7.) On siis perusteltua, että rakennusteollisuudessa käytettävien tuotteiden vastuullisuuteen on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota.

PUUN LISÄÄNTYVÄ KÄYTTÖ RAKENNUSTEOLLISUUDESSA

Ympäristötietouden lisääntyessä uusiutumattomia luonnonvaroja on alettu tietoisesti korvaamaan uusiutuvilla luonnonvaroilla, minkä vuoksi puunkäyttö lisääntyy jatkuvasti. Suomen työ- ja elinkeinoministeriö on kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassaan (2016) linjannut puurakentamisen edistämisen osana toimia, joilla Suomi pyrkii edistämään EU:ssa sovittujen energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamista vuoteen 2030 mennessä. EU:n tavoite vuodelle 2030 on vähentää kasvihuonekaasuja 40 %

vuoden 1990 tasoon verrattuna. Pitkällä aikavälillä Suomen tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016.) Linjauksen pohjalta kehitetyn puurakentamisen ohjelman tavoitteet on listattu Ympäristöministeriön (2016) sivuilla seuraavasti:

- "Tukea Suomen biotalousstrategiaa lisäämällä puunkäyttöä rakentamisessa, ja siten kasvattaa hiilen pitkäaikaisia varastoja."
- "Edistää puurakentamisen teollisen valmistuksen yritystoimintaa Suomessa."
- "Edistää kansainvälisesti kilpailukykyisen puurakentamisen osaamista Suomessa."
- "Lisätä puunkäyttöä julkisessa rakentamisessa."
- "Lisätä puunkäyttöä kaupunkirakentamisessa ja suurissa puurakenteissa."

PUUMATERIAALIN VASTUULLISUUS

Samalla kun puumateriaalin käyttö on lisääntynyt, puumateriaalin vastuullisuuteen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. Historiassa puumateriaalin parempi biologinen kestävyys saatiin käyttämällä pääasiassa kestäviä lehtipuulajeja ja erityisesti trooppisia lehtipuuta, mikä on vaikuttanut trooppisten metsien häviämiseen (Hill 2006, 12). Vaikka pääosa trooppisten metsien metsäkadosta johtuu muusta kuin teollisuuspuuhun liittyvistä hakkuista, on

huoli metsien kadosta aiheellinen. Sen lisäksi että metsät tuottavat materiaalisia resursseja ja elinkeinoja ihmisille ne toimivat hiilinieluinä ja ovat luonnon monimuotoisuuden kannalta erittäin arvokkaita. Kun luonnollisesti kestävien puulajien vastuullisuus on aiheellisesti kyseenalaistettu, teollisuus on siirtynyt havupuunkäyttöön ja vastuullisesti hoidettuihin metsiin. Jotta havupuulle on voitu saavuttaa hyväksyttävä käyttöikä etenkin ulkotiloissa, on suoja-aineiden käyttö ollut tarpeellista.

Suomen kannalta tropiikista tuotujen puunkäyttö voidaan katsoa eettisesti kyseenalaiseksi muistakin syistä. Pitkä kuljetusmatka lisää puutuotteiden hiilijalanjälkeä, mikä pätee tietysti myös muualta kaukaa tuotuihin rakennustarvikkeisiin. Tämän vuoksi on syytä pohtia myös puun alkuperää. Kuljetuksen lisäksi puunkäsittelyprosessit lisäävät käsiteltyjen tuotteiden hiilijalanjälkeä, minkä vuoksi on suotavaa pohtia käsittelystä saatua hyötyä ja sen tarpeellisuutta aina tapauskohtaisesti. Jatkuvasti kasvava ympäristötietous kuluttajien keskuudessa onkin lisännyt tuotteiden elinkaartietoon kysyntää viimeaikoina (Möttönen ym. 2018).

Elinkaaritarkastelut (Life-cycle Assessment) tutkivat tuotteiden perustavien vaikutusten ympäristöön. Tarkasteluissa otetaan huomioon tuotteen elinkaaren jokainen vaihe ja niiden ympäristölle aiheuttamat vaikutukset. (Sandberg ym. 2017.) Elinkaaritarkastelun tarkasteluvaiheet on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Tuotteen elinkaaritarkastelun tarkasteluvaiheet. (Goldsteijn 2020.)

On huomioitava, että esimerkiksi modifioitujen puutuotteiden valmistusprosessi on monivaiheinen ja saattaa sisältää useita eri kuljetus- ja jalostusvaiheita tavalliseen sahatavaraan verrattuna, mikä lisää tuotteen elinkaaritarkastelussa tarkasteltavia vaiheita ja tuotteisiin sitoutuneita energia- ja materiaalmääriä. Se ei kuitenkaan välttämättä tarkoita suurempaa ympäristövaikutusta, sillä tuotteiden käyttöikä pitenee ja ympäristövaikutukset jakautuvat pidemmälle aikavälille, mikä elinkaariarvioinnissa kompensoi tuotteen kokonaisvaltaisia ympäristövaikutuksia.

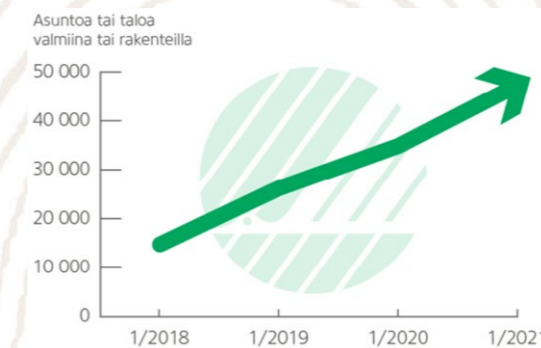
Ensimmäinen LCA-analyysi kehitettiin 1980-luvulla, jonka jälkeen on kehitetty useita menetelmiä ympäristövaikutusten tunnistamiseksi. Yleisimmät menetelmät keskittyvät seuraavien ympäristövaikutusindikaattoreiden tarkasteluun: (Sandberg ym. 2017)

- Happamoituminen,
- rehevöityminen,
- otsonikerroksen oheneminen,
- erilaiset ekomyrkyllisyydet,
- ilman epäpuhtaudet,
- resurssien käyttö ja kasvihuonepäästöt.

Viime vuosina kuluttajissa tapahtunut asennemuutos on saanut kuluttajat vaatimaan tuotteiden valmistajilta läpinäkyvyyttä mikä on vauhdittanut monien tuotteiden elinkaaritarkasteluita ja osa tuotteiden valmistajista on julkaissut niitä kuluttajien tarkasteltaviksi omilla verkkosivuillaan. Elinkaaritarkasteluja löytyy jo ainakin lämpömodifioidusta ThermoWood® - tuotteesta sekä asetyloidusta Accoya® - tuotteesta. Kun markkinoista kilpailevien tuotteiden ympäristövaikutuksista saadaan vertailukelpoista tietoa, valmistajat tulevat luultavasti kiinnostamaan entistä enemmän huomiota omien valmistusprosessien ja niissä käytettyjen raaka-aineiden eettisyyteen, säilyttääkseen oman kilpailukykynsä.

Ympäristötietoisuus on lisännyt myös erilaisten ympäristösertifikaattien tavoittelemista rakentamisessa. Joutsenmerkki on pohjoismaiden virallinen ympäristömerkki, joka on perustettu vuonna 1989 (Motiva Oy 2021). Jotta rakennus voi saavuttaa Joutsenmerkin on sen täytettävä tietyt vaatimukset, jotka koskevat erityisesti talon energiantarvetta, käytettyjä rakennusmateriaaleja sekä rakennusprosessia ja laadunhallintaa. Kriteereissä huomioidaan myös esimerkiksi sisäilman laatu ja rakennusjätteiden

kierrätys joihin puumateriaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa tehokkaasti. Myös rakennusmateriaalien on oltava erikseen Ympäristömerkinnän hyväksymiä tai ympäristömerkittyjä ja niiden alkuperä tarkastetaan. Joutsenmerkinnän kriteerejä myös tiukennetaan säännöllisin väliajoin. Kuvan 9 mukaisesti Joutsenmerkittyjen rakennuskohteiden määrä oli vuonna 2021 jo lähes 50 000 ja lukema kasvaa nopeasti ja tasaisesti. (Ympäristömerkintä Suomi Oy 2021, B.) EU-ympäristömerkki (EU-Ecolabel) on Joutsenmerkin kaltainen Euroopan unionin sisäinen ympäristömerkki, joka on perustettu vuonna 1992. Joutsenmerkin tavoin myös EU-ympäristömerkki myönnetään vain ympäristövaikutuksiltaan parhaille tuotteille sekä palveluille. (Motiva Oy 2021.) Joutsenmerkittyjen tuotteiden listalta löytyvät Accoya®, ThermoWood® ja Kebony® (Ympäristömerkintä Suomi Oy 2021, A).



Kuva 9. Joutsenmerkittyjen rakennuskohteiden määrä. (Ympäristömerkintä Suomi Oy 2021, B.)

Vuonna 2012 voimaan tulleen Valtioneuvoston asetuksen mukaan vuoteen 2020 tultaessa rakennus- ja purkujätteestä tulee kierrättää tai hyödyntää 70% muutoin kuin energiana tai polttoaineena (Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012). Paineekyllästetystä puusta tulee elinkaarensa päätteeksi ongelmajätettä, mikä hankaloittaa sen kierrätystä. Käytöstä poistetusta pinnoitetusta puusta tulee erikseen lajiteltavaa sekajätettä, mikä sekin hankaloittaa puun kierrätettävyyttä. (HSY 2022)

Jos alkuperäisestä käytöstään poistettua painekyllästettyä ja pintakäsiteltyä puuta ei onnistuta ohjaamaan uuteen käyttöön, hankaloittavat ne 70 %:n kierrätystavoitetta. Myös niiden polttaminen on rajoitettua, sillä palaessa niistä vapautuu myrkyllisiä yhdisteitä. Modifioitu puu on puolestaan käsittelemättömän puun tavoin helpommin kierrätettävissä ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi lastulevyjen raaka-aineena, mikäli niille ei keksitä uutta käyttötarkoitusta. Kierrätettävyyden kannalta modifioidun ja käsittelemättömän puutavaran käytön lisääminen olisi siis suotuisaa.

3.4 TALOUS

PUUTUOTTEIDEN HINTA

Puun jatkojalostaminen suojakäsittelmättömästä sahatavarasta eteenpäin nostaa aina tuotteen hintaa, sillä jokaiseen suojakäsittelymenetelmään kuuluu enemmän resursseja kuin pelkässä sahatavaran kuivauksessa. Tuotteen hinta muodostuu sen valmistamiseen käytetyistä tuotantotekijöistä kuten työvoimasta, tuotantolaitteiden ostojen ja huoltokustannuksista, käytetyistä raaka-aineista ja energiasta sekä kuljetuskustannuksista. Yleensä mitä haastavampi ja monimutkaisempi tuotteen jalostusprosessi on, sitä kalliimpi lopputuotteen hinnasta muodostuu. Tuotteiden hinta on vaikea saada tasolle, jonka asiakkaat ovat valmiita maksamaan. Tuotteen ollessa kallis, asiakas kääntyy herkästi vaihtoehtoisten materiaalien tai halvempien puutuotteiden puoleen. Etenkin modifioitujen puutuotteiden läpimurrolle onkin haasteena ollut tuotteiden korkea hinta. (Möttönen ym. 2018, 38)

Parhaiten kaupallistettu modifiointimenetelmä on Suomessa kehitetty ThermoWood®, jonka tasaisesti kasvava vuosittainen tuotantokapasiteetti oli liki 237 000 m³ vuonna 2021 (International ThermoWood® Association 2021). ThermoWood® -tuotteen menestystä selittää sen valmistusprosessi, jossa käytetään vain lämpöä ja vesihöyryä puun ominaisuuksien parantamiseen, minkä vuoksi tuotteen hinta on saatu pidettyä kohtuullisena (Ala-Viikari 2022, Boren 2022). Kemiallisessa modifioinnissa käy-

tetään aina jotain kemikaalia, joka nostaa tuotteen hintaa. Sen vuoksi kemiallisesti modifioitujen tuotteiden suosio ei ole yltänyt lämpöpuun tasolle (Boren 2022). Yksi tärkeimmistä syistä ThermoWood® -tuotteiden kaupalliseen menestykseen on myös tuotantolaitteiden suhteellisen pienet investointikustannukset (Ala-Viikari 2022, Hill 2006, 198).

Kemiallisesti modifioidut puutuotteet Accoya® (80 000 m³ vuosittainen tuotantokapasiteetti) ja Kebony® (44 000 m³ vuosittainen tuotantokapasiteetti) ovat myös kaupallisen mittakaavan saavuttaneita modifioituja puutuotteita, joiden tuotantokapasiteetin voidaan odottaa kasvavan merkittävästi lähivuosina uusien tuotantolaitosten ja lisääntyneen kysynnän myötä (Accsys 2021, Kebony® 2021). Suurempi tuotantokapasiteetti luultavasti tulee näkymään tuotteiden hintojen alenemisena viimeistään siinä vaiheessa, kun tuotantolaitosten pääomakustannukset on saatu maksettua. Edullisempi hinta taas tulee nostamaan tuotteiden kysyntää entisestään. Modifioitujen puutuotteiden saatavuus ja julkinen näkyvyys on myös melko vähäinen, mikä osaltaan selittää modifioitujen puutuotteiden pientä markkina-asemaa. Tuotteiden hinnan laskiessa ja käytön lisääntyessä julkinen näkyvyyskin tulee lisääntymään.

TALOUDELLINEN ELINKAARIAJATELU

Kertaluontoisten ostokustannusten lisäksi on tärkeää miettiä myös koko tuotteen elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia, joita muodostuu muun muassa tuotteiden huolto- ja korjauskustannuksista sekä käytöstä poistettavan materiaalin hävittämisestä syntyvistä kustannuksista. Suojakäsiteltujen tuotteiden käyttöikä on haasteellisemmissa käyttökohteissa yleensä myös huomattavasti käsittelemättömiä pidempi, mikä lisää niiden kannattavuutta käsittelemättömään sahatavaraan verrattuna. Käsittelemenetelmä tulisi aina valita käyttökodien huomioiden ja miettiä mitä ominaisuuksia kohteessa vaaditaan, jotta voidaan varmistaa tuotteelle mahdollisimman pitkä käyttöikä kuitenkin turhia kustannuksia lisäämättä.

Kuluttajien elinkaariajattelu voisi kasvattaa modifioitujen puutuotteiden markkina-asemaa, sillä ne kestävät usein huomattavasti pidempään kuin käsittelemätön sahatavara eivätkä useimmiten vaadi suuria huoltotoimia ja ne ovat myös käsittelemättömän sahatavaran tavoin helposti kierrätettävissä. Myös painekyllästetyt puutuotteet ovat pitkäkestoisia ja suhteellisen huoltovapaita, mutta ovat hävitettäessä ongelmajätettä, mikä nostaa tuotteen kokonaiskustannuksia.

3.5 SÄÄNTELY

Erilaiset säännökset ja määräykset asettavat vaatimuksia rakennustuotteiden ominaisuuksille. Kansallisella tasolla rakennusmääräykset asettavat vaatimuksia tuotteen ominaisuuksille koskien paloturvallisuutta, terveyttä, ääntä ja melua, energiatehokkuutta, esteettömyyttä, rakenteiden lujuutta, käyttöturvallisuutta ja kestävä kehitystä (Ympäristöministeriö 2022, A). Sääntely asettaa rajoitteita sille, mitä puunsuojakäsittelyssä käytetyt tuotteet saavat sisältää ja toisaalta asettavat tuotekehityksen ammattilaisille tavoitteita, mihin puunsuojatuotteilla pyritään esimerkiksi palonkeston suhteen. Vastuu kohteeseen sopivan tuotteen käytöstä on tuotteen käyttäjällä.

Euroopan kemikaalivirasto (ECHA) sääntelee teollisuudessa sallittujen kemikaalien käyttöä. Merkittävimpiä puunsuojateollisuutta koskevia asetuksia ovat Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista, Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta, (REACH-asetus) sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 528/2012 biosidivalmisteiden asettamisesta saataville markkinoille ja niiden käytöstä (Biosidiasetus). Biosidiasetus koskee biosidivalmisteiden markkinoille saattamista ja niiden käyttöä. REACH-asetuksella pyritään edistämään ihmisten terveyttä, ympäristön suojelua ja EU:n kemikaaliteollisuuden kilpailukykyä minimoimalla kemikaalien mahdollisesti aiheuttamia riskejä

(REACH-asetus). Suomen lainsäädännössä muun muassa kemikaalilaissa (2013/599) täydennetään ja toimeenpannaan EU:n kemikaaleihin liittyviä asetuksia ja säädöksiä. Suomessa biosidien käyttöä valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, josta on haettava luvat Suomessa myytäviin ja käytettäviin biosidivalmisteisiin (Tukes 2022, B).

Puun käsittelyaineissa käytettyjä myrkyjä on ajansaatossa kielletty Suomen laissa, mikä on vaikuttanut merkittävästi puun käsittelymenetelmien kehitykseen ja tutkimustyöhön. Vuonna 2006 voimaan tulleen EU-asetuksen myötä Suomessa kiellettiin CCA-kyllästeiden käyttö. CCA-kyllästeet sisältävät arseenia, joka todettiin sekä terveydelle että ympäristölle haitalliseksi. CCA-kyllästeistä puuta käytettiin tyypillisesti sähkö- ja puhelinpylväissä. (Tukes 2022, A.) CCA-kyllästeiden kieltäminen ja uusien kieltojen uhka on vauhdittanut ympäristöystävällisempien kyllästeiden ja modifiointimenetelmien kehitystä merkittävästi.

1.7.2013 asetetun EU-asetuksen myötä EU:n alueella markkinoille tulevilta rakennustuotteilta alettiin vaatia CE-merkintä, jonka tarkoitus on todistaa tuotteiden ominaisuuksia samalla verrattavissa olevalla tavalla. CE-merkinnän saa käyttöön, kun sovellettavan harmonisoidun tuotestandardin (hEN) tai eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA) vaatimukset on täytetty. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että markkinoille pyrkivästä tuotteesta testataan tietyt tuotekohtaiset ominaisuudet. Testautetaan tuotteensa, valmistaja laatii suoristusasiakirjan (DoP), jossa ilmoi-

tetaan kansallisten viranomaissäädösten täyttämiseen vaadittavat tuotteen ominaisuuksiin liittyvät arvot. Ominaisuuksien täyttäessä vaatimukset, tuote saa CE-merkinnän. (Ympäristöministeriö 2022, B) Rakennustuotteilta vaaditun CE-merkinnän vuoksi kestävien puutuotteiden testaus ja tutkimus on kasvanut, minkä myötä myös puutuotteiden kehitys on kiihtynyt. Toisaalta tuotteilta myös vaaditaan enemmän ja testaus on kallista ja hidasta, mikä voi osaltaan hidastaa uusien tuotteiden ilmestymistä markkinoille. (Möttönen ym. 2018.)

Rakennusmääräyksistä etenkin palomääräykset rajoittavat puun käyttöä rakentamisessa. Palomääräyksiä ja puun palonkestoa käsiteltiin tarkemmin kohdassa 2.4 Palonkesto. Palosuoja-aineilla voidaan nostaa puun paloluokkaa luokasta D-s2 luokasta B-s1, d0 luokkaan saakka (esim Nordtreat 2022, Teknos 2022, Tikkurila 2022). Tämä mahdollistaa puun käytön lisäämistä paloturvallisuuden kannalta vaativammissa rakennuskohdeissa. Palosuoja-aineita käsitellään tarkemmin kohdassa Palosuojamaalaus.

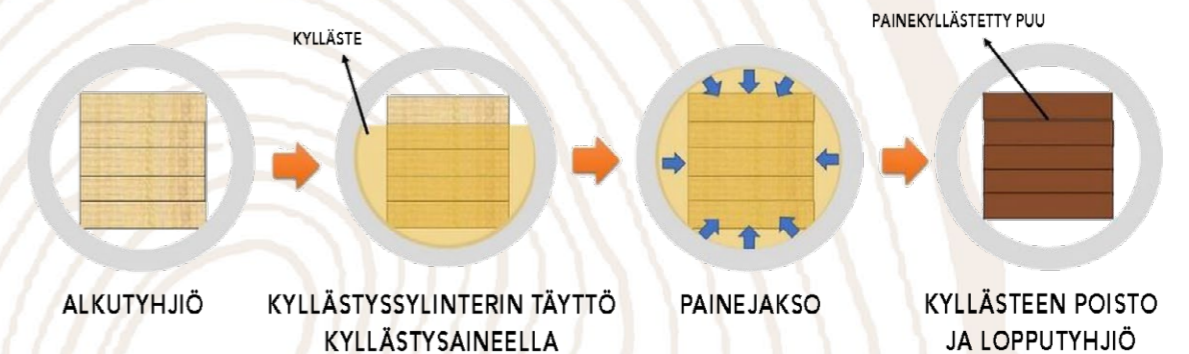
4

PUUN SUOJAKÄSITTELY- MENETELMÄT

Tässä diplomityössä puunsuojakäsittelymenetelmiksi katsotaan puun painekyllästys, modifiointi ja pintakäsittely. Menetelmästä riippuen niillä voidaan suojella puuta erilaisilta biologisilta ja mekaanisilta rasitteilta, palolta ja säältä. Useimmat menetelmät pyrkivät puun pitkäaikaiskestävyyteen parantamalla etenkin puun lahonkestoaa. Valitusta käsittelymenetelmästä riippuen niiden tavoitteena voi olla myös muiden ominaisuuksien, kuten ulkonäön muuttaminen.

4.1 PUUN PAINEKYLLÄSTYS

Puun painekyllästys on prosessi, jolla tähdätään puun parempaan biologiseen kestävyys. Paineekyllästetyt tuotteet soveltuvatkin vaatimaan ulkokäyttöön. Kyllästetty puutavara kestää 3-5 kertaa pitempää kuin kyllästämätön puu, mikä johtuu kyllästyksen aikaansaamasta lahonsietokyvystä. Paineekyllästysprosessissa suojaava lahottajasienelle myrkyllinen kyllästysaine saatetaan paineen avulla syvälle puuaineeseen, jolloin kyllästyksen vaikutus on huomattavasti pidempi kuin mitä puun pintaan siveltävillä tai ruiskutettavilla aineilla saavutetaan. (Väärä & Turunen 2014, 26.) Paineekyllästysprosessesja on useita, mutta useimmat prosesseista pitävät sisällään kuvassa 10 esitetyt vaiheet:



Kuva 10. Paineekyllästysprosessin vaiheet. (Cai ym. 2018. Tekijän muokkaama.)

Alkutyhjiön aikana puun solukosta imeetään 80 - 85 % alipaineen avulla suurin osa ylimääräisestä vedestä ja ilmasta pois, mikä antaa tilaa kyllästysaineelle. 15 - 60 minuuttia kestävä alkutyhjiön jälkeen kyllästyssylinteri täytetään kyllästysaineella. Kun kyllästyssylinteri on

täytetty, seuraa painejakso, jossa kyllästysaine saatetaan syvälle puun soluksoon 10 - 16 barin ylipaineen avulla. Painejakso kestää prosessista riippuen noin 1 - 3,5 tuntia. Painejakson jälkeen paine lasketaan, kyllästyssylinteri tyhjenetään ja kylläste siirretään varastosäiliöön. Vii-

meinen vaihe on lopputyhjiö, jossa ylimääräinen kyllästeaine poistetaan 80 - 85 % alipaineen avulla. Lopputyhjiö kestää noin 15 minuuttia. (Väärä & Turunen 2014, 26.)

Painekyllästyksessä käytettiin pitkään CCA-kyllästeitä (kupari-kromi-arseeni) lahoneston kannalta kaikista vaativimpiin kohteisiin. CCA-kyllästeet kiellettiin EU:n alueella 18. joulukuuta 2006 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista, Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta, (REACH-asetus) arseenissa todettujen vaarallisten aineiden vuoksi. CCA-kyllästettyä puuta ei enää valmisteta mutta sitä saa uudelleen käyttää vain ammattimaisesti erittäin vaativissa kohteissa. CCA-kyllästeiden käyttökiellon vuoksi nykyisin kyllästeaineina käytetään pääasiassa kuparisuoloja (Väärä & Turunen 2014, 28). Myös kreosoottia voidaan käyttää erityisen vaativissa kohteissa, mutta sen käyttö on ympäristö- ja terveysriskien vuoksi rajattu vain ammattikäyttöön. Muun muassa sähköpylväiden kyllästysaineita tutkineen Hannu Borenin mukaan kreosoottikyllästeillä voidaan saavuttaa jopa sama kestoikä kun kielletyillä CCA-kyllästeillä - noin 50-vuotta - kun kuparikyllästeiden odotettu kestoikä on huomattavasti edellä mainittuja lyhyempi, noin 20-30 vuotta (Boren 2010). Väärä ja Turunen (2014) luettelevat kyllästyksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät seuraavasti:

- Käytetty kyllästysaine
- Kyllästeen tunkeuma puumateriaaliin (miten syväälle aine imeytyy puuhun)
- Kyllästeaineen jäämä puumateriaalissa (kyllästeaineen määrä puun kuutiometriä kohden)

Suomessa kyllästetään puuta tuotenimellä Kestopuu®. Suomessa kyllästetyn puun valmistus perustuu Pohjoismaisen puunsuojaneuvoston NTR -laatu järjestelmään. NTR jakaa kyllästetyn puutavaran kyllästysluokkiin M, A, AB ja B, jotka perustuvat eurooppalaisiin standardeihin SFS-EN 335-1 ja SFS-EN 351-1. NTR-laatuluokat M-, A- ja AB vastaavat standardissa EN 351-1 esitettyä kyllästysluokkaa NP5. Jäljelle jäävät luokat B ja NP3 vastaavat toisiaan. (RT 21-11287 2017, 1-2.) Kyllästysluokat ja niissä tyypillisesti käytetyt suoja-aineet on esitetty taulukossa 3. Laatuvaatimukset asettavat edellytyksiä kyllästysaineen laadulle sekä pitoisuudelle ja tunkeumalle pintapuussa (Kestopuuteollisuus Ry 2012, 5). Painekyllästyksessä suositetaan pääasiassa mäntyä, johon kylläste saadaan tukeutumaan varsin helposti verrattuna muihin puulajeihin (Väärä & Turunen 2014, 28).

Taulukko 3. Kyllästysluokat. (RT 21-11287. 2017. 1-2.)

Kyllästysluokka (NTR)	Puunsuojausluokka EN 351-1	Tyypillinen suoja-aine	Suoja-aineen tunkeuma	Tunkeutuneen suoja-aineen määrä
M	NP5	Kreosoottiöljy	suoja-aine on tunkeutunut pintapuun läpi	täytettävä Tukesin päätöksen sekä NTR:n hyväksymisasiakirjan vaatimus
A		Cu-tuotteet (kupari) Kreosoottiöljy		
AB		Cu-tuotteet Metallivapaat tuotteet		
B	NP3	Orgaaniset öljypohjaiset tuotteet	vähintään 6mm lateraalinen ja vähintään 50mm pituus-suuntainen tunkeuma pintapuussa	

B- ja AB-luokkaan kyllästetyt puutavarat soveltuvat säälle ja kondenssikosteudelle alttiiksi joutuvalle puulle, joka kuitenkin ei ole maakosketuksessa tai pysyvästi kosketuksissa veden kanssa ja jonka vaurioituneet osat ovat helppo vaihtaa eivätkä aiheuta tapaturmavaaraa. Tällaisia ovat esimerkiksi ikkunat ja ulko-ovet sekä sateelle alttiiksi joutuvat ulkovarusteet ja piharakenteet, jotka eivät ole kosketuksessa maan kanssa. (RT 21-11287 2017, 2.)

A-luokkaan kyllästetyt puutavarat soveltuvat rakenteisiin, jotka joutuvat jatkuvaan kosketukseen maahan tai suola-

pitoisuudeltaan enintään 0,7 % olevaan veteen tai ovat vaativille sääoloille alttiina, ja joiden lujuus ei turvallisuussyistä saa heikentyä tai joiden vaihtaminen on haastavaa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sähkö- ja puhelinpylväät, ratapölkkyt, laiturien ja siltojen kantavat puurakenteet, aitojen ja porttien pylväät, ulkoportaat ja parvekerakenteet. (RT 21-11287 2017, 2.)



Kuva 11. Kestopuusta rakennettu terassi. (Kestopuuteollisuus Ry, 2022.)

M-luokkaan kyllästetyt puutavarat soveltuvat puulle, joka on suolaisessa merivedessä tai puulle, jolta vaaditaan erityistä kestävyttä ja lujuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi satama- ja venelaiturit sekä peruspaalut. Edellä mainitut käyttöluokat määritellään standardissa SFS-EN 335. (RT 21-11287 2017, 2.)

Kyllästetyn puutavaran lujuusominaisuudet eivät eroa merkittäväällä tavalla tavallisesta sahatavarasta, sillä kemiallisista reaktioista koostuva kyllästysprosessi ei riko puun solurakennetta. Lujuuslajiteltu sahatavara säilyttää siis CE-merkintänsä kyllästykseen jälkeenkin. (Kestopuuteollisuus Ry 2012, 5).

Vesipohjaisilla metallisuoloilla tai -yhdisteillä painekyllästetyn puun kosteuskäyttäytyminen on myös verrattavissa tavalliseen käsittelemättömään puuhun, sillä

painekyllästetty puu on hygroskooppista. Kreosotikyllästeet ja öljypohjaiset kyllästeet puolestaan hidastavat veden imeytymistä puuhun, mikä muuttaa puun kosteuskäyttäytymistä tavanomaiseen puuhun verrattuna. Painekyllästetyn puun mittapysyvyys ei eroa tavallisesta puusta, johtuen samanlaisesta tasapainokosteudesta. (Kestopuuteollisuus Ry 2012, 6-7.)

Kestopuussa© käytetyt kyllästeet eivät paranna puun palonkestoa ainakaan merkittävästi siten, että se vaikuttaisi puun paloluokkaan. Kestopuuta© voidaan kuitenkin käsitellä erilaisilla palonsuoja-aineilla mutta palonsuoja-aineen soveltuvuudesta tulee varmistua ennen käyttöä. (Kestopuuteollisuus Ry 2012, 8.) Painekyllästyksessä voidaan myös käyttää puun palonkestävyyttä paran-

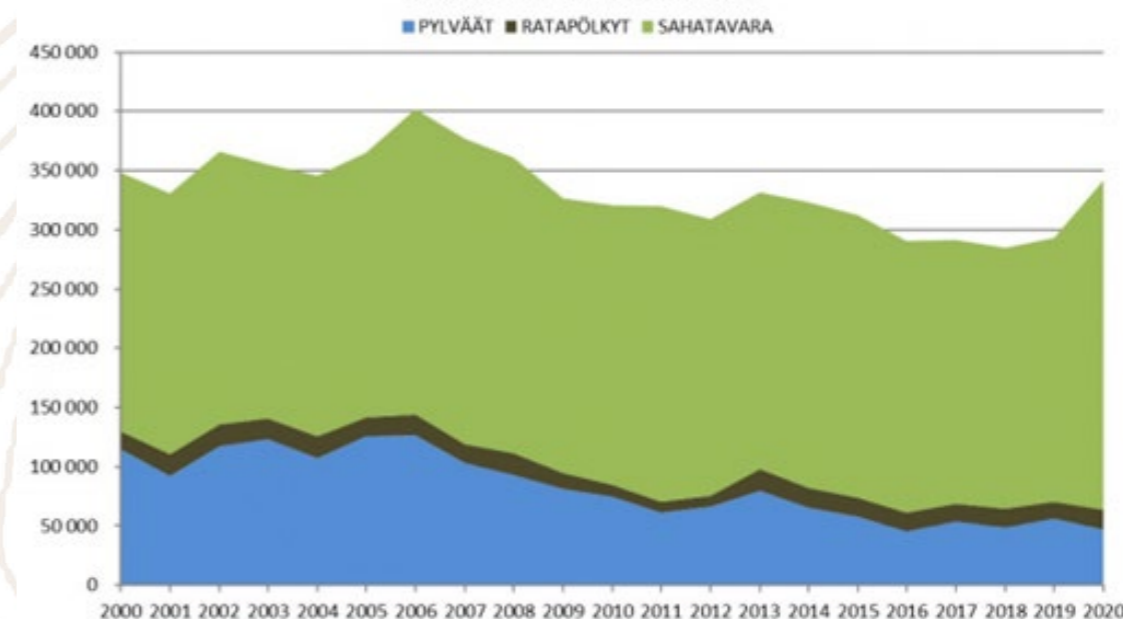
tavia kyllästysaineita (Väärä & Turunen 2014, 9).

Painekyllästyksessä käytettyjen myrkyllisten aineiden vuoksi painekyllästetty puu on ongelmajätettä, mikä tulee huomioida käytöstä poistettavan puun lajittelussa (HSY 2022). Kyllästeiden sisältämien myrkyllisten aineiden vuoksi tarpeetonta kyllästetyn puutavaran käyttöä tulisi välttää. Kyllästetty puu on tarpeen vain kohteissa, joilta vaaditaan erityisen pitkäaikaista kestävyttä ja kohteissa, jotka altistuvat erityisille rasitteille.

Suomessa valmistettua Kestopuuta tuotettiin vuonna 2020 lähes 342 000 kuutiometriä, joista kyllästetyn sahata-

varan osuus oli 278 000 m³, pylväiden 47 000m³ ja ratapölkkyjen 16 500 m³ (Kestopuuteollisuus ry 2020). Kuvas- ta 12 voidaan havaita, että kestopuun tuotanto on kuitenkin laskenut suhteellisen tasaisesti vuodesta 2006 alkaen, jolloin vuosittainen tuotanto on ollut noin 400 000 kuutiometriä. Etenkin kyllästettyjen pylväiden tuotanto näyttää laskeneen. Kyllästettyjen ratapölkkyjen ja sahatavaran tuotantomäärät näyttävät säilyneen muuten suhteellisen tasaisina, mutta kyllästetyn sahatavaran tuotanto näyttää siirtyneen kasvuun vuoden 2018 paikkeilla.

Teollisesti kyllästetyn puun tuotanto Suomessa 2000 - 2020



Kuva 12. Kestopuun tuotanto vuosina 2000 - 2020. (Kestopuuteollisuus ry 2020.)

4.2 PUUN MODIFIOINTI-MENETELMÄT

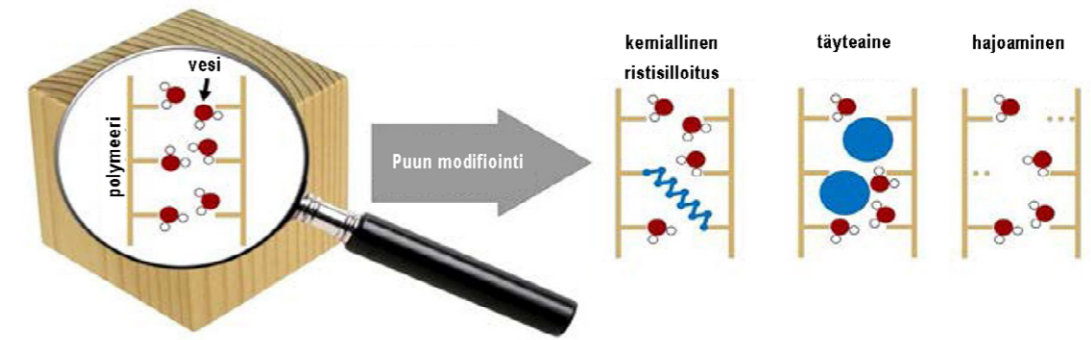
Puun modifiointi on kemialliseen, biologiseen tai fysikaaliseen käsittelyyn perustuva prosessi, jonka tavoitteena on ominaisuuksiltaan parempi materiaali, joka ei käytön aikana tai hävitettäessä tuota enemmän ympäristöhaittoja kuin modifioimaton puu. Modifioinnissa ei käytetä biosidisia aineita. (Hill 2006, 21-23.) Parempien ominaisuuksien lisäksi puun modifioinnin taustalla on halu tarjota ekologisempi vaihtoehto painekyllästykseen sekä eettisesti kyseenalaisille trooppisille puulajeille. Modifioinnin avulla puuhun voidaan lisätä myös uusia toiminnallisia ominaisuuksia lähes rajattomasti. (Arkkitehtuurimuseo MFA 2021.) Callum Hill (2006) luokittelee puun modifiointitavat neljään ryhmään seuraavalla tavalla:

- Kemiallinen modifiointi,
- lämpömodifiointi,
- modifiointi kyllästämällä ja
- pintamodifiointi.

Modifiointimuodosta riippumatta niillä pyritään muuttamaan puun soluseinän rakenneosien molekyyli-rakennetta pysyvästi. (Hill 2006, 21-23.) Modifiointi voi olla aktiivista, jolloin puumateriaalin kemiallinen rakenne muuttuu, tai passiivista, jolloin puumateriaalin kemiallisessa rakenteessa ei tapahdu muutoksia (Sandberg ym. 2017).

Useimmissa tutkituissa aktiivisissa modifiointimenetelmissä tapahtuu kemialli-

nen reaktio jonkin reagenssin ja soluseinämän polymeerien hydroksyyli-ryhmien välillä. Hydroksyyli-ryhmillä on keskeinen rooli puun ja veden vuorovaikutuksessa; kosteassa puussa vesimolekyylit asettuvat puun polymeerien väliin muodostaen vetysidoksia hydroksyyli-ryhmien ja yksittäisten vesimolekyylien välille. Muutos näiden vesimolekyylien lukumäärässä aiheuttaa puun kosteuselämisen. (Sandberg ym. 2017.) Modifiointimenetelmien suojausmekanismi perustuu yleensä puun kuivana pitämiseen estämällä vesimolekyyliä asettumasta puun polymeerien väliin. Tämä voi tapahtua puun polymeerien välisten kemiallisten ristisilloitusten, polymeereihin kiinnittyvien täyteaineiden tai polymeerien hajoamisen kautta (Sandberg ym. 2017). Kuva 13 havainnollistaa modifioinnin vaikutuksia puun solukossa.



Passiiviset modifiointimenetelmät

Aktiiviset modifiointimenetelmät

Modifiointikemikaali täyttää soluontelon	Modifiointikemikaali tunkeutuu soluseinämään	Modifiointikemikaali muodostaa heikkoja sidoksia puun komponenttien kanssa	Modifiointikemikaali muodostaa kovalenttisia sidoksia puun komponenttien kanssa	Modifiointi saa aikaan puun komponenttien rapautumista

Kuva 13. Kaaviokuva havainnollistaa modifioinnin vaikutukset puun soluseinämässä. (Sandberg ym. 2017. Tekijän muokkaama.)

Kemiallinen modifiointi tarkoittaa menetelmää, jossa puuhun lisätään puun soluseinän hydroksyyli-ryhmien kanssa reagoivaa kemikaalia (Hill 2006, 21-22). Kemiallinen modifiointi vähentää veden sitoutumismahdollisuutta puuhun, jolloin sen mittapysyvyys ja biologinen kestävyys paranevat. Kemiallinen modifiointi ja painekyllästysprosessit muistuttavat usein toisiaan. Tuotteet eroavat kuitenkin toisistaan, ja on tärkeää erottaa modifioidut tuotteet painekyllästetyistä tuotteista. Modifioidut tuotteet ovat aina myrkyttömiä eli ei-biosidisia sekä käytön aikana että kierrätettäessä. Painekyllästetyissä tuotteissa puolestaan käytetään biosidisia, myrkyllisiä aineita, ja siten niistä tulee elinkaarensa

päätteeksi myös ongelmajätettä. (Hill 2006, Arkkitehtuurimuseo MFA 2021) Lämpömodifioinnissa puuta lämmitetään 150 – 230 °C:n lämpötilassa jonkin suoja-aineen, kuten vesihöyryn, typpi-kaasun, kasvipohjaisten öljyjen tai tyhjiön ympäröimänä. Puuta lämmittämällä korkeassa lämpötilassa saadaan puun kemialliseen rakenteeseen muutoksia ilman, että siihen lisätään kemikaaleja. Etenkin puun hemiselluloosien hajoaminen vähentää puuhun mahdollisesti sitoutuvien vesimolekyylien määrää, jolloin puun hygroskooppisuus pienenee merkittävästi. Näin ollen puun mittapysyvyys ja biologinen kestävyys paranevat. Lämpökäsittely hajottaa puun rakennetta sen verran, että sen lujuuso-

minaisuudet heikkenevät. (Väärä & Turunen 2014, 8-9.)

Puun kyllästyksessä nestemäinen kyllästysaine saatetaan paineen avulla puun solukkoon, jossa se kytkeytyy puumateriaalin soluseiniin tai soluonteloihin. Riippuen kyllästysaineesta, kyllästyksellä voidaan vaikuttaa puun biologiseen kestävyteen ja palonkestävyyteen parantavalla tavalla. (Väärä & Turunen 2014, 9.)

Puun pintamodifioinnissa modifiointi kohdistetaan puumateriaalin pintaan. Muutoksia puun pinnassa voidaan saada aikaan kemiallisen-, biologisen-, tai fysikaalisen modifioinnin menetelmin. Tällä voidaan pyrkiä parantamaan esimerkiksi puupinnan palon-, sään- ja kulutuksen kestoja tai liiman ja pintakäsittelyainesten tartuntakykyä puuhun. (Hill 2006, 22.)

Edellä mainittuja modifiointimenetelmiä voidaan myös yhdistellä tavoitellusta lopputuloksesta riippuen. Modifiointimenetelmät valitaan aina lopputuotteen käyttökohteen perusteella. Monet modifiointimenetelmät pyrkivät parantamaan sekä puun biologisia että fysikaalisia ominaisuuksia. Kaikkia ominaisuuksia parantavaa modifiointimenetelmää tai menetelmäyhdistelmää ei kuitenkaan ole. Eri käyttökohteille tarkoitettuihin puutuotteisiin kohdistuu erilaisia rasitteita, joten ei ole tarpeenkaan löytää kaiken kattavaa ratkaisua. Esimerkiksi kantavalta rakenteelta vaaditaan jäykkyyttä ja lujuutta, kun taas ulkoverhouksessa käytetyille puutuotteille tärkeitä ominaisuuksia ovat säänkesto ja UV-valonkesto. Tulevaisuudessa tutkimus- ja kehitystyö voitaisiinkin kohdentaa tarkemmin tiettyihin ominaisuuksiin, sen sijaan että koitettaisiin parantaa puun ominaisuuksia kokonaisvaltaisesti. (Möttönen ym. 2018, 37.)

LÄMPÖMODIFIOINTI

Puun lämpömodifioinnin historia juontaa juurensa aina muinaiseen Egyptiin, jossa puuta poltettiin siten, että puun pinnalle syntyi hiilestä koostuva suojakerros, joka paransi puun biologista vastustuskykyä. Suomessa samaa menetelmää on käytetty muun muassa heinä- ja aitatolppien maanalaisissa osissa, suojaten niitä maaperän kosteudelta. Puun hiiltämisen avotulesa voitaisiin siis katsoa ensi askeleena puun todellista lämpömodifiointia kohti. Puunpinnan hiiltäminen on pintamodifiointimenetelmä, jota käytetään edelleen puunsuojaukseen.

Puun todellista lämpömodifiointia tutkittiin ensimmäisen kerran tieteellisesti 1900-luvun alussa. 1980-luvulle asti lämpömodifiointitutkimusta tehtiin pääasiassa Saksassa ja Yhdysvalloissa. 1990-luvulla Suomi, Ranska ja Alankomaat olivat johtavia puun lämpömuokkauksen tutkimuksessa. Alan suuri läpimurto tehtiin Suomessa vuonna 1993, kun VTT kehitti yhteistyössä puuteollisuusyritysten kanssa teollisen mittakaavan ThermoWood®-prosessin puutavaran ominaisuuksien parantamiseksi lämmöllä. (International ThermoWood® Association 2021.)

Nykyään puun lämpömodifiointia tehdään useilla eri tekniikoilla, joita kaikkia kuitenkin yhdistää käsittely noin 150 - 230 °C:n lämpötilassa jonkin suoja-aineen, kuten vesihöyryn, typpikaasun, kasvipohjaisten öljyjen tai tyhjiön ympäröimänä. Käsittelyn aiheuttama terminen hajoaminen johtaa puun massan pienenemiseen, mikä on seurausta puun hemiselluloosan hajoamisesta ja uuteainien haihtumisesta. Terminen hajoaminen ilmenee myös värin muuttumisena huomattavasti tummempaan sävyyn, sekä vähentyneenä puun hygroskooppisuutena. Vähentynyt hygroskooppisuus lisää puun mitta- ja muotopysyvyyttä sekä parantaa puun biologista kestävyttä. (Möttönen ym. 2018.)

Suomessa kehitetty ThermoWood®-prosessi on yksi parhaiten vakiintuneista puun modifiointimenetelmistä. ThermoWood® -lämpökäsittelymenetelmä voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat kuivaus korkeassa lämpötilassa, lämpömodifiointi ja jäähdytys, sekä

kosteuskäsittely. Menetelmässä ei käytetä kemikaaleja, vaan se perustuu puun kontrolloituun muuntamiseen lämmön, höyryn ja veden avulla. Menetelmä voidaan optimoida aina halutulle puulajille, sekä lehti- että havupuille. Prosessi johtaa pysyviin fysikaalisiin ja kemiallisiin muutoksiin koko puussa. (International ThermoWood® Association 2021.) Lopputuotteen ominaisuudet eroavat käsittelemättömästä puusta seuraavasti:

- vähentynyt kosteuseläminen
- parempi mitta- ja muotopysyvyys
- parempi biologinen kestävyys
- tummentunut väri
- ei hartsia ja pihkaa
- pienempi lämmönjohtavuus

Ominaisuuksiensa vuoksi lämpömodifioitua puuta on sovellettu verhoiluihin sisällä ja ulkona, sisustustuotteisiin, terrassi- ja puutarharakentamiseen ja puusepänteollisuuteen (International ThermoWood® Association 2021). Alemman lämmönjohtavuuden sekä pihkattomuutensa vuoksi ThermoWood® on myös erinomainen materiaali saunan pinnoille (Ala-Viikari 2022).



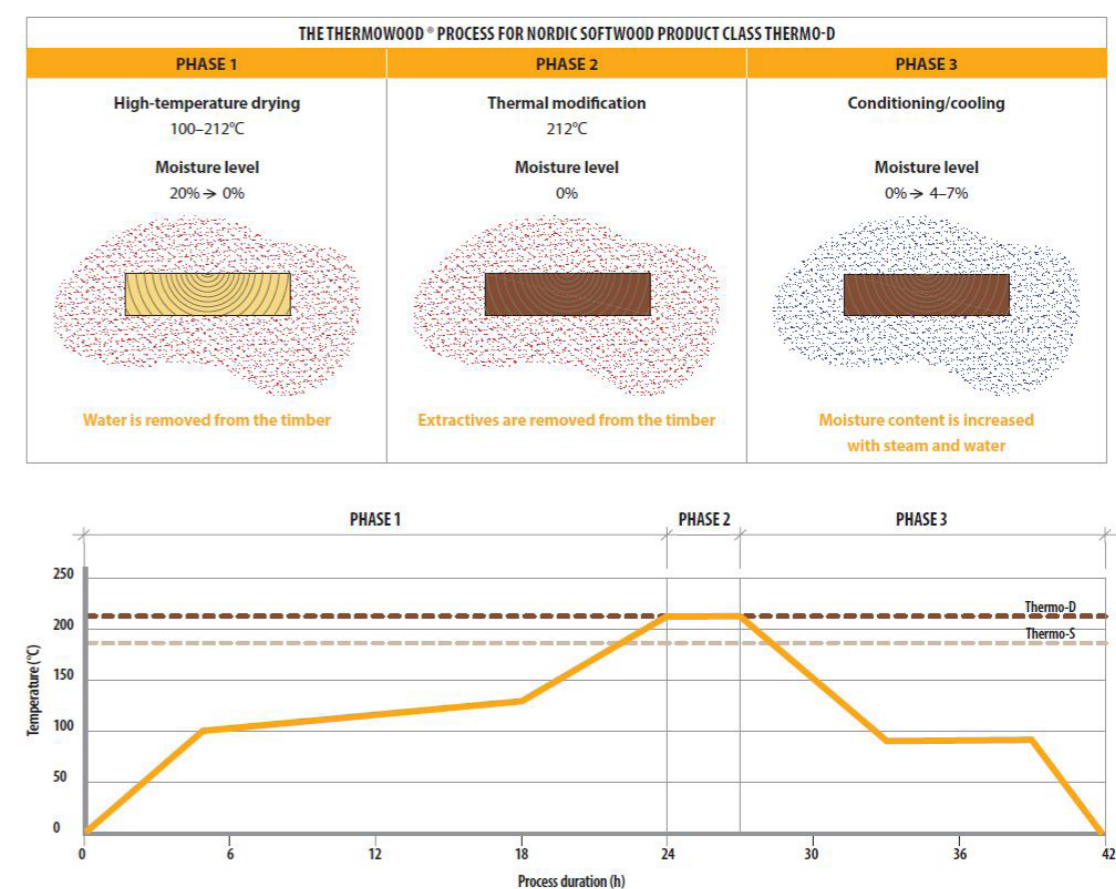
Kuva 14. ThermoWood®-tuotteella toteutettu patio. (International ThermoWood® Association 2021.)

Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa puut kuivataan korkeassa lämpötilassa. Uuni kuumennetaan nopeasti 100 - 130°C:seen, jonka jälkeen lämpötilaa lisätään vähitellen halutulle tasolle. Ensimmäisessä vaiheessa puun kosteus haihtuu lähes täysin.

Toisessa vaiheessa uunin lämpötilaa pidetään tasaisena ja varsinainen muutos puussa tapahtuu. Puusta erittyy hartsia ja muita orgaanisia yhdisteitä, jotka uutetaan pois tässä vaiheessa. ThermoWood® -tuotteet on jaettu kahteen eri luokkaan Thermo-S ja Thermo-D, jotka eroavat toisistaan käsittelyvaiheen lämpötilojen kohdalla. Thermo-S -luokkaan käsiteltävät lehtipuut käsitellään 185°C:ssa ja havupuut 190°C:ssa. Ther-

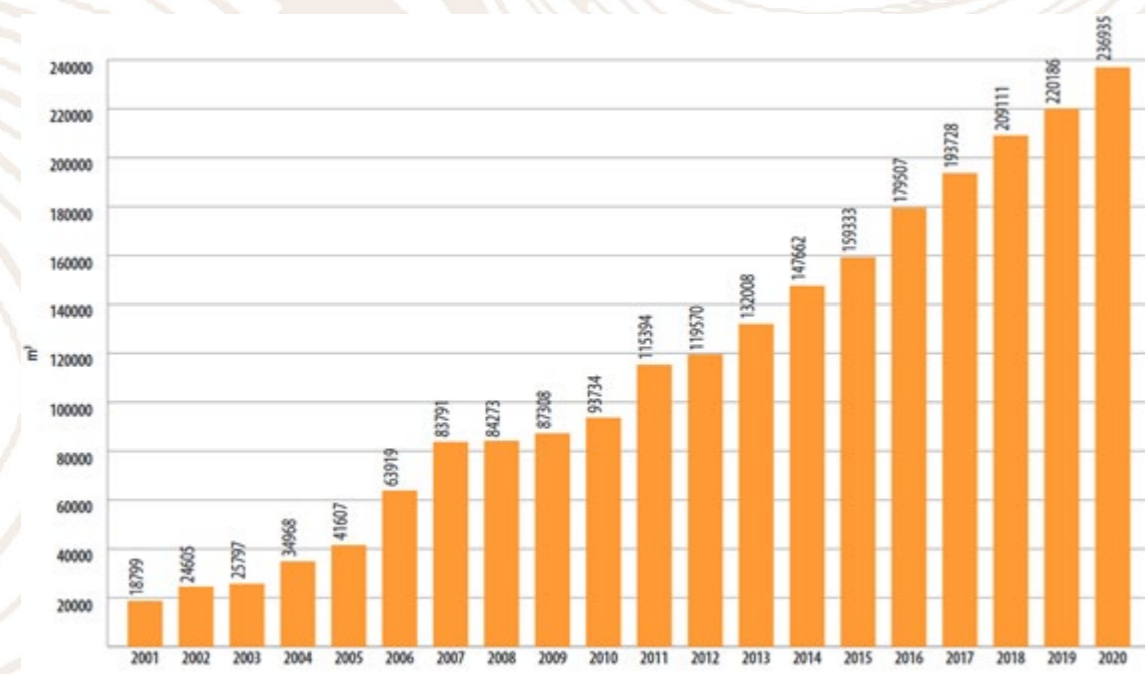
mo-D-luokan tuotteilla vastaavat lämpötilat ovat lehtipuilla 200 °C ja havupuilla 212 °C. (International ThermoWood® Association 2021.) Korkeampi lämpötila tuottaa voimakkaamman muutoksen puun ulkonäössä, stabiiliudessa ja mekaanisissa ominaisuuksissa. Thermo-D-luokan käsittelyllä saavutetaan parempi lahonkesto. (Möttönen ym. 2018, 16) Prosessin viimeisessä vaiheessa uunin lämpötilaa madalletaan vesisuihkujärjestelmän avulla. Kun lämpötila saavuttaa riittävän alhaiset lukemat, puun kosteuspitoisuutta nostetaan käyttämällä vettä ja höyryä, jotta puun työstettävyyttä ja mittapysyvyys paranee. Lopputuotteen kosteuspitoisuus on 4 – 7 %. (International ThermoWood® Association 2021.)

ThermoWood® -prosessin kesto riippuu tavoitettavasta tuoteluokasta, käytetystä puulajista ja sen kosteuspitoisuudesta sekä puun mitoista ja prosessia sovelletaan aina halutun lopputuloksen ja prosessissa käytetyn puun mukaisesti. Seuraavassa kuvassa on esimerkki ThermoWood® -menetelmästä ajan ja lämpötilan funktiona pohjoismaiseen havupuuhun ja Thermo-D -luokkaan toteutettuna. (International ThermoWood Association 2021.)



Kuva 15. Esimerkki ThermoWood®-menetelmästä ajan ja lämpötilan funktiona pohjoismaiseen havupuuhun ja Thermo-D-luokkaan toteutettuna. (International ThermoWood Association 2021.)

ThermoWood® -menetelmällä lämpökäsittely puu on parhaiten kaupallistettu modifioitu puutuote. Sen tuotantomäärät ovat kasvaneet suhteellisesti tasaisesti vuodesta 2001 alkaen. Vuoteen 2020 mennessä vuosittainen myyntiin menevän tuotteen tuotantomäärä on lähes 13-kertainen vuoteen 2001 verrattuna. (International ThermoWood Association 2021.) Seuraavassa kuvassa on esitetty ThermoWoodin® tuotantomäärät vuodesta 2001 vuoteen 2020.



Kuva 16. ThermoWood® -tuotteiden vuosittaisten tuotantomäärien kehitys kuutiometreinä. (International ThermoWood® Association 2021.)

Toinen vakiintunut lämpömodifiointimenetelmä on Alankomaissa kehitetty Plato® -menetelmä. Se koostuu myös kolmesta vaiheesta: kaksi erillistä lämpökäsittelyvaihetta ja niiden välinen kuivausvaihe. Ensimmäisessä hydrotermolyysiksi nimetyssä vaiheessa puuta lämpökäsitellään kosteassa tilassa noin

170 °C:ssa käyttämällä höyryä ja korkeaa painetta. Tämä prosessi kestää noin 30 – 60 minuuttia puun mitoista ja puulajista riippuen. Hydrotermolyysin jälkeen puu kuivataan huolellisesti ja hiljalleen, jotta vältetään puun halkeilulta. Kun puu on kuivatettu noin 8 %:n kosteuspuiteeseen, se kuumennetaan uudelleen

180°C:seen kuivissa ja hapettomissa olosuhteissa. (Platowood 2022, B.) Plato® -tuotteiden käyttösovelluksia ovat muun muassa julkisivulaudoitukset, ovet ja ovien ja ikkunoiden kehykset, sisätilojen pinnat, piharakentaminen ja meluaidat. Plato® -menetelmä parantaa valmistajan mukaan seuraavia ominaisuuksia: (Platowood 2022, A.)

- Parempi mittapysyvyys
- Parampi biologinen kestävyys
- Parempi lämmöneristävyyys
- Helposti työstettävä

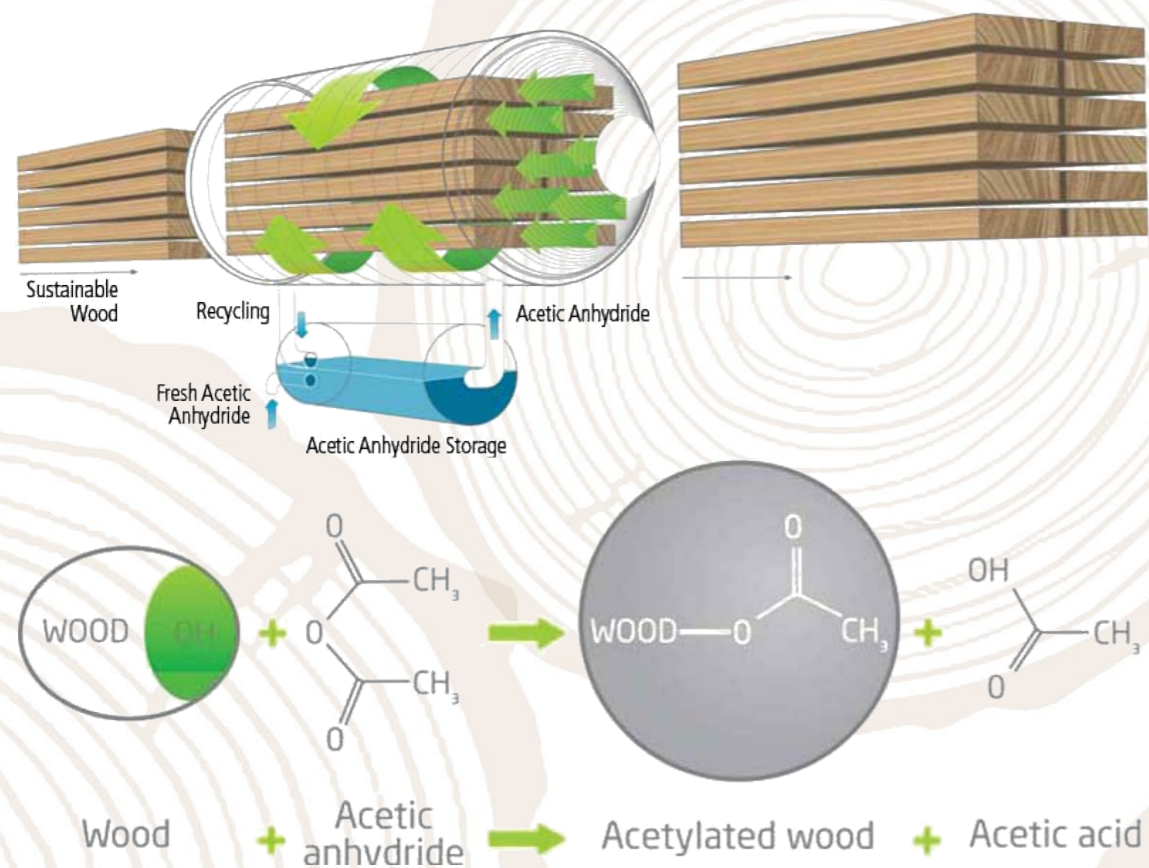
ThermoWood®- ja Plato®-menetelmien lisäksi on olemassa lukuisia muita lämpöön perustuvia modifiointimenetelmiä, joita ei tässä diplomityössä esitelty tutkimuksen rajallisesta laajuudesta johtuen.

ASETYLOINTI

Puun asetylointi on kemiallista modifiointia, jossa puu käsitellään etikkahappoanhydridilla, joka reagoi puun soluseinämän polymeerien hydroksyyli-ryhmien kanssa. Puun asetylointikäsitelyn periaatteet on peräisin 1900-luvun alkupuolelta. Kaupallisen mittakaavan asetylointikäsitely saavutti kuitenkin vasta vuosituhaten vaihteessa, minkä mahdollisti 1970-luvulla aloitetut tutkimukset. Nykyään asetyloitua puuta valmistetaan pääosin Alankomaissa tuotenimellä Accoya®. (Möttönen ym. 2018.) Asetylointi on lämpökäsittelyn ohella parhaiten kaupallistettuja puun modifiointimenetelmiä.

Luontainen puu sisältää pieniä määriä asetyyli-ryhmiä, jotka ovat hydrofobisia, eli ne hylkivät vettä. Asetyyli-ryhmien määrä suhteessa puun polymeerien hygroskooppisiin hydroksyyli-ryhmiin ei ole kuitenkaan riittävä puun kestäväksi ja vakaan suorituskyvyn takaamiseksi. (Accsys 2022, A)

Asetyloinnissa puu reagoi etikkahappoanhydridin kanssa korkeassa lämpötilassa. Reaktion aikana puun polymeerien hydroksyyli-ryhmät korvautuvat asetyyli-ryhmillä ja puusta vapautuu etikkahappoa. Etikkahappo aiheuttaa hajuhaittoja sekä heikentää puun lujuutta, joten se pyritään poistamaan puusta kokonaan (Väärä & Turunen. 2014). Asetyyli-ryhmät toimivat täyteaineena puun soluseinämässä ja asetyloitussa puu jää ikään kuin turvonneeseen tilaan. Kuva 17 havainnollistaa puun asetylointiprosessia ja puussa tapahtuvia kemiallisia muutoksia.



Kuva 17. Asetylointiprosessi. (Construction Canada 2017.)

Asetyloitu puu sisältää samoja ainesosia kuin luonnollinen puu, mutta ainesosien suhteita on muutettu. Kosteutta hylkiviä asetyyliryhmiä on lisätty ja kosteutta sitovia hydroksyyliiryhmiä vähennetty. Tämän ansiosta asetointi parantaa puun mittavakautta ja biologista kestävyttä. (Accsys 2022. A)

Asetyloinnin astetta kuvataan WPG-arvolla, joka tarkoittaa asetointikäsitteystä seurannutta puun painon nousua (Väärä & Turunen 2014, 70). Asetyloitu puu ylittää lahonkestoltaan luokkaan 1, kunhan WPG-arvo ylittää 20-prosenttia. Modifioinnin voimakkuuden lisäksi lahonkesto riippuu puun altistumisesta vesikosketukselle ja vesikosketuksen vaikutusajasta (Alfredsen & Pilgård 2014). Asetyloitu puu kestää hyvin UV-valoa ja se on helppo pintakäsitellä. Vähenty-

neen kosteuselämisen ja mittavakauden ansiosta maalattu asetointu puu on huomattavasti huoltovapaampi, kun vertaa maalattuun mutta modifioimattomaan puuhun (Larsson 2013). Kuvassa 18 on esitetty vertailun vuoksi säänvaihtelulle viideksi vuodeksi altistettuja asetointuja ja käsittelemättömiä puukappaleita. Pidemmät huoltovälit ovat hyvä syy valita asetointu puu modifioimattoman sijaan. Puun asetointu ei muuta puun lujuusominaisuuksia, pientä kovuuden lisäystä lukuun ottamatta. (Möttönen ym. 2018, 22.)

maalattu vesiohenteisella akrylaattimaalilla

maalaamaton



asetointu - käsittelemätön

asetointu - käsittelemätön

Kuva 18. Asetyloidut ja modifioimattomat puupaneelit altistettuna säänvaihtelulle viideksi vuodeksi. (Larsson 2013, tekijän muokkaama.)

Accoya® on Alankomaissa tuotettua asetyloitua puuta, jonka valmistamiseen käytetään FSC-sertifioitua radiatamäntyä. Accoya® -tuotteita käytetään muun muassa ulkovuorauksiin, terassi- ja kansilaudoituksiin sekä oviin ja ikkunoihin. (Accsys 2022, A.) Seuraavassa kuvassa on Jätkäsaaressa sijaitseva kerrostalo, jonka julkisivussa on käytetty asetyloitua Accoya® -puuta.



Kuva 19. Accoya® -tuotteella toteutettu julkisivu Helsingin Jätkäsaaren rakennetussa kerrostalossa. (Accsys 2022, B.)

Accoya® -tuotteille on myönnetty jopa 50 vuoden takuu, jos tuotetta ei käytetä maanalaisiin rakenteisiin. Maanalaisissa ja veden kanssa kosketuksessa olevissa rakenteissa tuotteelle annetaan kuitenkin jopa 25 vuoden takuu. (Accsys 2022, A) Accoyan® valmistajan (2021) mukaan tuotteen ominaisuudet eroavat käsittelemättömästä puutavarasta seuraavasti:

- parempi säänkesto
- parempi lahon- ja hyönteistenkesto
- parempi mittapysyvyys
- parempi kovuus
- parempi pintakäsiteltävyys sekä pidempi huoltoväli maalatuille pinnoille
- parempi lämmöneristävyys

Vuonna 2018 Accoyan® tuotantokapasiteetti oli vielä 40 000 m³ mutta vuoteen 2021 mennessä tuotantokapasiteettia saatiin nostettua jopa puolella, jolloin vuotuinen tuotantokapasiteetti oli jo 60 000 m³. 28.5.2021 valmistuneen uuden asetylointireaktorin odotetaan kasvattavan tuotantokapasiteettia entisestään jopa kolmanneksella, jolloin kuluvan vuoden 2022 tuotanto tulisi olemaan jo 80 000 m³. Vuoteen 2025 Accoyaa® valmistava Accsys pyrkii viisinkertaistamaan vuoden 2018 tuotantokapasiteetin, jolloin tuotantokapasiteetti olisi jo 200 000 m³. (Accsys 2022, C) Accoyan® tuotantokapasiteetin voidaan siis odottaa kasvavan nopeasti lähivuosina.

FURFULOINTI

Puun modifiointi furfuloimalla on kemiallista modifiointia, jossa puu kyllästetään furfuryylialkoholilla. Furfuryylialkoholia valmistetaan biopohjaisista tuotteista saadusta furfaalista. Furfuloinnissa kovalenttisin sidoksin muodostunut furraani-polymeeri haarautuu ja kytkeytyy puun soluseinämän polymeereihin. (Väärä & Turunen 2014, 74.) Puun furfulointia alettiin tutkimaan 1950-luvulla, mutta vasta 2000-luvun alussa se saavutti kaupallisen tason. Kehitystyön taustalla ovat pääasiassa olleet kanadalaiset, norjalaiset ja ruotsalaiset yritykset ja tutkimuslaitokset. (Hill 2006, 189)

Furfuloinnin ensimmäisessä vaiheessa puu painekyllästetään furfuryylialkoholia ja kemiallista reaktiota nopeuttavia katalyyttejä sisältävällä liuoksella, jotta puuhun saadaan riittävä tunkeuma. Seuraavan vaiheen aikana puuta lämmitetään

80 - 140 °C:ssa höyryn avulla noin 6 - 8 tuntia, jolloin furfuryylialkoholi polymeerituu ja kovettuu. Tämän seurauksena haaroittuneet ja verkottuneet furraani-polymeerit kytkeytyvät puun soluseinän polymeereihin pysyvästi. Lopuksi puun kosteus saatetaan lopulliseen kosteuteensa kuivaamalla. (Homan ym. 2004, 370.) Nykyään furfuloitua puuta valmistetaan Norjassa sekä Belgiassa tuotenimellä Kebony®.

Furfulointi parantaa puun mittapysyvyyttä, lahon- ja hyönteistenkestoa sekä puun kovuutta. Furfulointi värjää puun myös kauttaaltaan tummemmaksi. Myös furfuloinnin astetta kuvataan WPG-arvolla. Ominaisuuksien muutos on riippuvainen WPG-arvon noususta. Kuusi viikkoa kestäneen lahotuskokeen aikana furfuloitu mänty sekä käsittelemätön mänty altistettiin Coniphora puteana-lahottajasienelle. Käsittelemättömän puun massahäviö kuuden viikon jälkeen oli 40 % kun 30 % WPG-arvoon furfuloitun puun massahäviö oli olematon. WPG-arvon vaikutus mittapysyvyyteen on myös suoraviivainen. Mittapysyvyyttä mitataan ASE-arvolla, joka kasvaa suoraviivaisesti WPG-arvon noustessa ja WPG-arvon ylittäessä 30 % on kosteuseläminen vähentynyt jo puolella. Myös kimmokerrointa furfulointi näyttää parantavan sitä enemmän, mitä isompi on furfuloitun puun WPG-arvo. (The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification 2007, 84.)

Kebony® on Norjassa ja Belgiassa tuotettua furfuloitua puuta, jota valmistetaan FSC-sertifioiduista pohjoismaisista männystä ja radiatamännystä. Tuotetta

markkinoidaan ekologisena vaihtoehtona trooppisille lehtipuille kohteisiin, joissa puulta vaaditaan kovuutta ja mittapysyvyyttä. Myös Kebonyn® ulkonäkö muistuttaa trooppisia puulajeja. Kebonyn® -tuotteita sovelletaan verhouksiin,

kansiin ja terasseihin sekä ulkokalusteisiin. Tuotteille annetaan 30-vuoden takuu. (Kebony® 2022, A.) Kuvassa 20 on Kebony® -terassilaudoituksella toteutettu kävelykatu.



Kuva 20. Kebony® terassilaudoituksella toteutettu kävelykatu. (Kebony® 2022, B.)

Kebonyn® tutkimus- ja kehitystyö alkoi vuonna 1997, mutta vasta vuonna 2009 ensimmäinen tehdas rakennettiin ja täysimittainen tuotanto alkoi (Kebony 2022, A). Vuodesta 2011 vuoteen 2018 Kebony®-tuotteiden kaupallinen kasvu ja kansainvälinen kysyntä on noussut noin 30 % vuosittain. Vuonna 2017 tuotteiden vuosittainen tuotantokapasiteetti oli 22 000 m³. Tuotanto kasvoi vuonna 2018 uuden tehtaan myötä puolella, jolloin tuotteiden tuotantokapasiteetti oli liki 44 000 m³. (Mantanis 2017) Kebonyn®

lisäinvestointisuunnitelmien tavoitteena on kasvattaa tuotantokapasiteettiaan nelinkertaiseksi. Vuonna 2021 Kebony® julkisti Jolt Capitalin ja Lightrockin johtamasta onnistuneesta 30 miljoonan euron rahoituskierroksesta, jonka avulla Kebony® pyrkii laajentamaan tuotantolaitoksiaan ja markkinakasvuun. (Kebony® 2021, C.) Kebonyn® voidaan siis odottaa kasvavan nopeasti lähivuosina.

PIIPOHJAISET KYLLÄSTYSMENETELMÄT

Silikaatit ovat piistä ja hapestä, yhdestä tai useammasta metallista sekä mahdollisesti vedystä koostuvia piihappojen suoloja (Möttönen ym. 2018, 25). Silikaateista vesilasiasia on eniten tutkittu puunsuojaukseen. Vesilasi (natriumsilikaatti) on piioksidin ja natriumoksidin vesiliuos, jossa pii- ja natriumoksidin moolisuhdetta ja liuoksen konsentraatiota voidaan tarpeen mukaan vaihdella (Boren 2010, 57). Vesilasin valmistuksessa kvartsi reagoi väkevän natriumhydroksidiliuoksen kanssa (Möttönen ym. 2018, 25). Vesilasi ei aiheuta terveys- tai ympäristöhaittoja, mutta korkean pH-arvon omaava liuos voi käsiteltäessä aiheuttaa terveysriskin (Boren 2010, 57).

Vesilasin käyttöä puun kyllästyksessä on tutkittu paljon. Veden haihtuessa vesilasi kovettuu ja polymeroituu reagoidessaan puun karboksyyliyhymien kanssa. Polymerisoitumista ja vesilasin kiinnittymistä puuhun tehostetaan lämpökäsittelyllä. Vesilasin kiinnittymistä puuhun parannetaan usein myös tehosteaineilla, kuten metallisuoloilla, happamilla öljyillä ja hapoilla. (Boren 2010, 58)

Mitä suurempi moolisuhteista vesilasi-liuosta kyllästyksessä käytetään, sitä tehokkaampi vaikutus vesilasikyllästetylle puulle saadaan. Suurempi moolisuhte parantaa myös vesilasin pysyvyyttä puussa. (Väärä & Turunen, 56.) Vesilasikyllästyksen haasteena on ollut riittävän tunkeuman saaminen puuhun varsinkin happamilla puulajeilla kuten havupuut, mikä on heikentänyt merkittävästi kyllästykäsittelyn tehoa. Tunkeumaa voidaan

parantaa pienentämällä vesilasin moolisuhdetta, mutta se on liukoisempaa, joten se huuhtoutuu pois ajan myötä sekä heikentää puun ominaisuuksia korkeamman pH-arvon vuoksi. (Boren 2010, 58.) Vesilasikyllästetyn puun ominaisuudet ovat seuraavat:

- Parantuneet lujuus- ja kimmo-ominaisuudet,
- parempi kovuus,
- parempi mittapysyvyys kosteusvaihteluissa,
- parempi kiinnikkeiden, kuten naulojen ja ruuvien pysyvyys,
- suurempi tiheys,
- parempi palonkestävyys,
- parempi lahonkesto sekä
- parempi termiittien ja muiden tuhohyönteisten kesto.

Yhdysvaltojen markkinoilla on ollut vesilasilla kyllästettyä puuta tuotenimellä TimberSIL. Tuotteen alkutaival näytti lupaavalta, mutta se ei koskaan tehnyt läpimurtoa markkinoilla. Tuote ei menestynyt muun muassa jakeluongelmien ja käyttöön otetuissa tuotteissa esiintyneiden laho-ongelmien vuoksi. Tuotteen suorituskyky ei todellisuudessa siis vastannut valmistajan väittämää, eikä valmistaja kyennyt julkaisemaan tarvittavia testituloksia todistaakseen tuotteensa suorituskyvyn. (Gibson 2016) Suomessa Stora Enso on valmistanut vesilasikyllästettyä puuta tuotenimellä Q-Treat, mutta sekään ei menestynyt ja poistui markkinoilta. Puun kyllästäminen vesilasilla vaatii siis lisää tutkimus- ja kehitystyötä.

Silikaattia käytetään nykyisin ruotsalaisissa Organowood® -puutuotteissa (Mötönen ym. 2018, 25). Organowood® on modifioitua sahatavaraa, jossa luonnossa esiintyviä piimolekyyliä on sidottu puukuituihin painekyllästyksen avulla. Käsittelyn seurauksena puu fossiloituu ja piimolekyylit muodostavat fyysisen esteen lahottajasienelle ja tulelle sekä vettä- ja likaahylkivän pinnan, mikä vähentää puun huoltotarvetta tulevaisuu-

dessä. Organowood® -puutavaran lahoamattomuudelle annetaan 10 vuoden takuu. Organowood® -tuotteet ovat myös palonkestoltaan tavallista puuta kestävämpiä. Organowood® -lattiamateriaaleille annetaan Bfl-s1 paloluokitus ja seinärakenteille Cs1,d0 paloluokitus. (Organowood® AB 2019) Kuvassa 21 on Organowood® -tuotella toteutettu maauimala Tanskassa.



Kuva 21. Pääosin Organowood® -tuotteilla toteutettu maauimala Tanskan År-husissa. (Organowood® AB 2019)

Organowoodista® on kehitetty myös puuta suojaava pintakäsittelyjärjestelmä, joka koostuu kolmesta tuotteesta. Organowood® Puunsuoja 01 on vesiliukoinen piimineraaleista ja luonnollisista kasviaineista koostuva puunsuojakäsittelyaine, joka suojaa puuta lahoamista vastaan ja lisää käsitellyn pinnan palonkestoa. Organowood® Puunsuoja 02 suojaa puuta liialta ja vedeltä, muodostamalla vettähylkivän pinnan, joka

estää likaa tarttumasta puuhun ja tekee puhdistuksesta helpompaa. Puunsuojajärjestelmän kolmas tuote on Organowood® Puupesu 03, jota käytetään likaantuneiden pintojen puhdistamiseen ulkona. Yhdessä tuotteet muodostavat puupinnoille kattavan suojakäsittelyjärjestelmän, joka lisää puun elinikää, torjuu kosteusvahinkoja, parantaa palonkestoa ja pitää puun pinnan siistinä. (Organowood® AB 2022.)

PUUN PINTAMODIFIOINTI

Puun modifiointi voidaan joskus kohdistaa pelkästään puukappaleen pintaan, jolloin puhutaan puun pintamodifioinnista. Puun pintamodifioinnilla tavoitellaan usein samanlaisia vaikutuksia kuin perinteisillä puun pinnoitusmenetelmillä mutta modifioinnin periaatteiden mukaisesti, eli pysyvästi ja ilman biosidisia aineita.

Toivottuja ominaisuuksia voi olla liimojen ja pinnoitteiden tarttuvuuden ja pysyvyyden parantuminen, kosteuden läpäisyvyyden ehkäiseminen, UV-säteilyn ja rapautumisen kestävyysparantaminen, palon- ja termiitinkeston parantuminen ja muun mekaanisen kestävyysparantaminen (Petrič 2013).

Nykyisin tunnetuin ja suositaan kasvattava pintamodifiointimenetelmä on puun hiiltäminen. Puupinnan hiiltämisen historia ulottuu useita vuosituhansia taaksepäin. Ainakin muinaisten Egyptiläisten tiedettiin suojaavan puuta polttamalla siten, että puun pinnalle syntyi hiilestä koostuva suojakerros, joka paransi puun biologista vastustuskykyä (International ThermoWood® Association 2021). Tätä menetelmää on käytetty myös Suomessa suojaamaan esimerkiksi maahan upetettavia aitaolppia ja heinäpaaluja (Novemberg Oy 2020).

Hiillettyä puuta alettiin käyttää japanissa 1700-luvulla ulkoseinien lahon- ja säänsuojaukseen. Japanissa Yakisugi nimellä tunnettu menetelmä on perusta länsimaissa käytetylle hiiltokäsittelylle, joka länsimaissa tunnetaan paremmin nimellä Shou Sugi Ban. Prosessissa puun pintaa poltetaan avotullessa sen verran,

että pintaan muodostuu ohut hiilikerros. Hiiltämisen jälkeen puu harjataan ja pestään sekä lopuksi käsitellään luonnonöljyllä. Öljytty pinta tulee uusia säännöllin väliajoin rasituksesta riippuen. (Novemberg Oy 2020) Menetelmää voidaan yhdistää myös muihin puunkäsittelymenetelmiin. Esimerkiksi asetyloitua, furfuroitua ja lämpömodifioitua puuta voidaan jatkojalostaa hiiltämällä. (Collins 2018)

Nykyäänkin käytettyä pintamodifiointimenetelmää suositaan rakennusten ulkoverhouksissa ja sen suosio on kasvanut viime vuosina entisestään. Hiili muodostaa puun pintaan kauniin mustan kerroksen, joka myös suojaa puuta säältä, kosteudelta ja laholta, eikä muuta väriään ajan kanssa, kuten useat muut ulkoverhouksissa käytetyt puutuotteet (Novemberg Oy 2020). Hiilletyn puun yhdistäminen muuten harmaantuvaksi jäävään puupintaan voisi olla hyvä keino luoda arkkitehtonisesti mielenkiintoisia julkisivuja (Arkkitehtuurimuseo MFA, 2021). Hiilletty puu syttyy tuleen myös tavallista puuta hitaammin, joten sen palonsieto kyky on hieman parantunut. Hiillettyä pintaa voidaan myös käsitellä palosuoja-aineilla.

Puupinnan hiiltäminen on toteutettavissa käsityönä ja teollisesti mutta laadukas ja tasainen jälki vaatii tarkkuutta. Suomessa menetelmää ei ole kuitenkaan vielä teollistettu, joten tuotteet valmistetaan tilauksesta ja tehdään käsityönä (Novemberg Oy 2020). Hiiltämisen teollistamisen haasteena on todennäköisesti hiilletyn puun epävakaa kysyntä.



Kuva 22. Hiilletystä puusta valmistettu ulkoverhous Helsingin Hernesaareen rakennuksessa ravintola Birgitassa. (Puuinfo 2020, B.)

4.3 PUUN PINTAKÄSITTELY

Puun pintakäsittelyjen ensisijaiset motiivit ovat käsiteltävän pinnan estetiikan lisääminen sekä suojaaminen. Pintakäsittelyn suojaavaa vaikutusta on korostettu viime aikoina etenkin pintakäsittelytuotteiden valmistajien toimesta. Tuotteiden tehokas markkinointi on johtanut kuluttajien uskomukseen, jonka mukaan puupinnat vaativat ulkotiloissa aina pintakäsittelyn, jos halutaan saavuttaa puupinnan pitkäaikainen kestävyys. Puiset ulkoverhouslaudat ja -paneelit ovat tuoteluokka, joissa eniten käytetään pintakäsittelyaineita (Nikkola 2022, Holmi 2022).

Yleisimmät syyt puun vaurioitumiseen ovat seurauksia liiallisesta ja pitkäkestoisesta kosteudesta. Kosteuden aiheuttamia vaurioita voidaan kuitenkin ulkotiloissakin usein välttää tehokkaasti suojaamalla puu maakosteudelta ja suoralta sateelta sekä pitämällä huoli puun tehokkaasta kuivumisesta. Oikeilla suunnittelu- ja toteutusratkaisuilla voidaan lisätä puun pitkäaikaiskestävyyttä edullisesti ja tehokkaasti sekä toisaalta pidentää myös pintakäsittelyn huoltomaalausväliä, mikä vähentää huoltotoimenpiteitä huomattavasti. Esimerkiksi puisen ulkoverhouksen pitkäaikaiskestävyyttä parantavat seuraavat tekijät (Puuinfo 2020, C.):

- Ulkoverhouslaudan suuremmat dimensiot (suositus > 25 mm), puulaji ja siitä käytetty osa (mieluiten kuusi tai männyn sydänpuu),
- puukappaleen alhainen kosteus asennettaessa (kosteus < 18 %),
- riittävä rakenteellinen suojaus, esimerkiksi räystäät, suojaellitykset ja puukappaleen tarpeeksi pitkä etäisyys maahan (suositus > 500 mm),
- huolehditaan tehokkaasta kuivumisesta - jos pinta pääsee kastumaan – ettei vesi pääse imeytymään puuhun (viistetyt pinnat, tippanokat, verhouksen taustan ilmaväli),
- vältetään ulkoverhouslautojen jatkoksia ja suojaamattomia lautojen päitä ja pyritään suojaamaan liitokset, jatkokset ja kiinnityskohdat,
- lautojen asennukset, kiinnitykset ja pintakäsittelyt toteutetaan huolellisesti valmistajan ohjeen mukaisesti,
- varmistetaan että tarvittavat huoltotoimenpiteet tehdään oikeaoppisesti ja riittävän ajoissa.

Kosteuden lisäksi ulkotiloissa näkyviin jäävää puupintaa vaurioittaa varsinkin auringon UV-säteilyn aiheuttama valorapautuminen, joka kuitenkin aiheuttaa lähinnä esteettisiä vaurioita, kuten puun pinnan nukkaantumista, harmaantumista ja pientä halkeilua (Hill 2006, 43). Jos esteettiset vauriot eivät haittaa, puupinnalle ei välttämättä tarvita suojakäsittelyä, kunhan huolehditaan sen riittävästä kuivana pysymisestä.

Pintakäsittelyllä voidaan kuitenkin hidastaa veden imeytymistä puuhun ja näin ehkäistä kosteuselämistä, biologisia haittatekijöitä ja säänkestävyyttä. Lisäksi pintakäsittelyillä voidaan suojata puuta pinnan kulumiselta, likaantumiselta, homehtumiselta ja UV-valolta sekä parantaa puun palonkestokykyä. (Puuinfo 2020, C.)

Pintakäsittelyjen ulkoverhouksien pitkäaikaiskestävyyteen voi vaikuttaa myös se, miten pintakäsittely on toteutettu. Pintakäsittelyt tulisi aina toteuttaa kosteudelta suojassa, jotta saavutetaan mahdollisimman laadukas pinta. Pintakäsittelyt toteutetaan nykyisin enenevässä määrin teollisesti esivalmistettuina kontrolloisissa olosuhteissa. Näin varmistetaan mahdollisimman laadukkaasta ja pitkäikäisestä maalausjäljestä ja vähennetään työmaalla tehtäviä maalaustöitä. (Isoaho 2022) Tehdasmaalatut tuotteet ovat suosittuja etenkin kohteissa, joissa työmaa- ja huoltomaalaus on haastavampaa (Nikkola 2022).

MAALITUOTTEET

Maaleista ja lakoista voidaan puhua yhteisnimellä maalituotteet. Ne sisältävät sideaineita, liuotteita ja apuaineita ja maalit myös pigmenttejä. Lakat muodostavat läpinäkyvän kalvon levitysalustalle, sillä ne eivät sisällä pigmenttejä. Maalituotteet voidaan jakaa liuotteen perusteella vesi- tai liuotinhenteiseksi. Liuotinhenteiset maalituotteet kuivuvat hitaasti ja ovat hyvin kestäviä. Vesiohenteiset maalit kuivuvat nopeasti. Sideaineen tehtävä on sitoa pigmentit ja tartuttaa maali alustaansa, sekä kuivessaan antaa suojaava kalvo käsiteltävälle alustalle. Sideaine parantaa puun sään- ja lämpövaihteluidenkestoa sekä veden ja kemikaalien kestoa. Sideaineen valinnalla voidaan vaikuttaa myös maalituotteen kuivumisnopeuteen ja työstöominaisuuksiin. (Puuproffa 2022)

Liuotteen tehtävä on liuottaa maalin sideainetta, alentaa maaliaineen juoksevuutta sekä säädellä tuotteen levitysominaisuuksia, tasoittumista ja kuivumisnopeutta. Apuaineilla voidaan parantaa maalin ominaisuuksia nopeuttamalla sen kuivumista, parantaa säilyvyyttä ja ehkäistä homeen kasvua maalipurkissa, parantaa tasoittuvuutta sekä estää UV-valon aiheuttamaa kellastumista. (Puuproffa 2022)

Akrylaattimaalit ovat vesiohenteisia maaleja, joissa sideaineena toimii veden dispergoitu polymeeri. Kuivussa akrylaattimaaleista haihtuu vesi, jolloin levitysalustalle jää sideaineena toimivien polymeerihiukkasten muodostama muovinen kalvo. Vesi haihtuu maalista nopeasti, minkä vuoksi myös maalikal-

vosta tulee kosketuskuiva hyvin äkkiä. (Puuproffa 2022) Akrylaattimaalien etu on hyvä tartuntakyky, värin ja kiillon säilyminen, vesihöyrynläpäisevyys sekä veden-, kulutuksen-, ja puhdistuksenkestävyys (Teknos Oy 2022, A). Vesiohenteiset maalit sopivat parhaiten rakennusmaalaukseen ulkona ja sisällä. Akrylaattimaaleja voidaan käyttää myös huonekalujen sekä ovien ja ikkunoiden maalaamiseen, mutta nopean kuivumisen vuoksi se on haastavaa. (Puuproffa 2022) Akrylaattimaaleilla saavutetaan nykyisin parhaat, noin 10 – 15 vuoden huoltomaalausvälit puisille ulkoverhouksille (Isoaho 2022).

Akrylaattimaaleja:

- Tikkurila Pika-Teho
- Tikkurila Ultra-talomaalit
- Tikkurila Vinha
- Teknos Akrylin
- Teknos Nordica Eko ja Matt



Kuva 23. Tikkurila Ultra - polyakrylaattimaalilla maalattu puujulkisivu. (Tikkurila 2022, C.)

Öljymaalit ovat hitaasti hapettumalla kuivuvia maaleja, joiden sideaineena voi toimia esimerkiksi alkydiöljy, pellavaöljy tai muu kuivuva öljy. Öljymaalit muodostavat puualustalle hengittävän pinnan, josta vesihöyry pääsee puun kastuessa haihtumaan läpi. (Puuproffa 2022)

Pellavaöljymaaleissa sideaineena toimii vernissa, joka on keitettyä pellavaöljyä. Perinteisissä pellavamaaleissa ei ole hai-

tallisia yhdisteitä. Pellavaöljy voidaan myös modifioida polymerisoimalla, jolloin puhutaan modifioidusta vernissasta tai stand-öljystä. Nykyisin teollisissa pellavaöljymaaleissa sideaine on usein täysin modifioitua vernissaa. (Puuproffa 2022.)

Pellavaöljymaaleja:

- Tikkurila Lin Pellavaöljymaali
- Uula Pellavaöljymaali



Kuva 24. Uula pellavaöljymaalilla maalattu puujulkisivu. (Uula Color Oy 2022, A.)

Alkydiöljymaaleissa sideaineena toimii alkydillä, eli syntetisellä hartsilla modifioitu pellavaöljy. Modifioinnin seurauksena pellavaöljy polymerisoituu, jonka vuoksi maalista tulee paksumpaa ja maalikalvosta kestävämpi. Alkydiöljymaalit kuivuvat hitaammin kuin akrylaattimaalit ja niiden hyviä ominaisuuksia ovat hyvä tartuntakyky, korkea kiilto sekä hyvä veden-, kosteuden- ja etenkin kulutuksenkesto. Alkydiöljymaalit tyypillisesti kestävät ajan myötä ja saattavat hilseillä isoina lastuina. (Teknos Oy 2022, A.)

Alkydiöljymaaleja:

- Teknos Teknolin
- Tikkurila Teho Öljymaali

Keittomaalit ovat ekologinen, luonnontekoinen ja perinteinen vaihtoehto maalaukseen. Keittomaalit ovat vesipohjaisia maaleja, joissa sideaineena toimii ruis- tai vehnä jauhoista keitetty tärkkelysliisteri. Sideaine muodostaa lujuudeltaan heikon, kosteutta läpäisevän kalvon, jonka läpi kosteus pääsee haihtumaan.

Pigmentteinä käytetään punamultaa, keltamultaa ja muita maavärejä. Lisäaineina voidaan käyttää muun muassa rautasulfaattia, vernissaa ja suolaa. (Museovirasto 2000.)

Keittomaaleja saa nykyään valmiina kaupasta mutta ne voidaan myös itse keittää. Keittomaalin parhaita ominaisuuksia on taloudellisuus ja pitkäikäisyys sekä helppo uusittavuus tarvittaessa. Keittomaalit vanhenevat hitaasti pölyämällä pois. Jos maalattu pinta halutaan pitää uuden näköisenä, on maalausvälinä noin 10 vuotta mutta hitaasti pölyävä maali-pinta voi kestää ilman uusintamaalauksia jopa 30-50 vuotta. Keittomaaleja käytetään puupinnoilla, jotka kykenevät imeämään vettä. Eli pinnan tulisi olla höyläämätön, maalaamaton tai aikaisemmin keittomaalilla maalattu. (Museovirasto 2000.)

Keittomaaleja:

- Uula Keittomaali
- Tikkurila Aito Punamultamaali
- Teknos Tranemo Punamultamaali



Kuva 25. Uula keittomaalilla maalattu ovi. (Uula Color Oy 2022, B)

Lakkaus soveltuu puupinnoille sekä ulko- että sisätiloissa. Lakat eivät sisällä pigmenttiä joten ne muodostavat levitysalustalle läpinäkyvän kalvon, joka päästää puun syykuvion läpi. Lakkaus tulee toteuttaa kuivalle ja puhtaalle pinnalle. Jos pinta on aiemmin lakattu, tulee se karhentaa ennen uusintalakkausta. Maalien tapaan lakat ovat joko vesiohenteisia tai liuotinhohteisia. Uretaanialkydilakat soveltuvat ulkokäyttöön. Sisäkäyttöön soveltuvat vesiohenteiset polyuretaaniakrylaatti-, polyuretaani- ja akrylilakat. Lakkojen käyttökohteet ovat pitkälti samat kuin maalien, mutta tavoitteena on jättää puun pinta näkyviin. Käyttökohteita ovat puiset seinien ja kattojen verhoukset sisällä ja ulkona, lattiat, kaiteet ja listat, ikkunat, ovet sekä kalusteet. (Puuinfo 2020, C)

Lakatuotteita:

- Tikkurila Unica Super uretaanialkydilakka
- Tikkurila Parketti-Ässä lattialakka
- Tikkurila Paneeli-Ässä Titan paneelilakka
- Teknos Natura sisälakka
- Teknos Helo Aqua erikoislakka



Kuva 26. Lakattu puulattia. (Tikkurila Oyj 2022, D)

VAHAUS

Vahaus soveltuu puhtaiden puupintojen käsittelyyn. Vahat koostuvat tuotteista riippuen kasviöljystä, kasvivahoista, akryylisideaineista ja synteettisiä vahoista. Lisäksi vahat sisältävät usein pigmenttejä, kuivikkeita, vettä ja UV-suojaa-aineita. Vahaa levitetään puuhun useita kerroksia, joiden annetaan kuivua välillä. Käsittely kyllästää puunsolukon kosteutta kestäväksi ja likaa hylkiväksi. Vahattavan pinnan tulee olla puhdas ja kuiva sekä aikaisemmin käsittelemätön. Vahatut pinnat vaativat säännöllistä huolto-vausta käyttökohteesta ja puulajista riippuen. Käyttökohteita ovat kuivien sisätilojen pinnat kuten lattiat, seinät, sisäkatot, huonekalut ja kalusteet. (Puuinfo 2020, C)

Vahatuotteita:

- Osmo Color Öljyvaha
- Osmo Color Uvivax
- Tikkurila Supi Saunavaha
- Teknos Satu Saunavaha

PETSAUS

Petsit ovat myös joko vesi- tai liuotinhenteisiä tuotteita, joilla tavoitellaan puupinnoille läpikuultavaa värisävyä. Ne sisältävät kasviöljyä, pigmenttejä tai kuivikkeita. Maalituotteista poiketen petsit eivät sisällä sideaineita, joten niillä ei ole suojaavaa vaikutusta. Petsien kuivuttua, tulee pinta suojata öljyllä, vahalla tai lakalla. Petsausta käytetään lähinnä huonekaluihin, mutta myös sisätilojen puupintojen värjäämiseen. Petsattavan puupinnan tulee olla puhdas, kuiva, pinnoittamaton ja käsittelemätön. (Puuinfo 2020, C)

Petsituotteita:

- Osmo Color Öljypetsi
- Tikkurila Parketti-Ässä Petsi

PALOSUOJAMAALAU

Paloo hidastavat pinnoitteet voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: paloo hidastavat kyllästeet, paisuvat palosuoja-aineet sekä liekkiä tukahduttavat pintamaalit. Paloo hidastavat kyllästeet imeytyvät puun huokosiin ja vapauttavat kuumentuessaan paloo tukahduttavaa kaasua. Yleensä kyllästekäsittely toteutetaan teollisesti ennen asentamista, jotta saadaan mahdollisimman suuri ala puutuotteesta suojattua. Paisuvat palosuoja-aineet puolestaan muodostavat kalvon puun pintaan. Maalin kuumetessa se

paisuu, muodostaen eristävän vaahtokerroksen puun pintaan, mikä suojaa puuta liekeiltä ja kuumuudelta. Paloo hidastavat pintamaalit, tukahduttavat kuumetessaan liekkejä ja pitävät ne loitolla pinnasta. (Coatings.fi 2022) Taulukkoon 4 on kerätty markkinoilla olevia palosuoja-pinnoitteita sekä niille annettuja euroluokituksia.

Taulukko 4. Palosuoja-pinnoitteet. (Nordtreat 2022, B, Teknos 2022, B, Tikkurila Oyj 2022, B.)

Valmistaja	Tuote	Kuvaus	Mahdollinen euroluokitus	Huoltoväli
Teknos Oy	Teknosafe 2407-00	paisuva vesiohenteinen palosuoja-pohjamaali puujulkisivuille	B-s1,d0 (vaatii päällemaalauksen sopivalla maalilla)	10-20 vuotta (teollinen maalaus + maalaus työmaalla), 5-10 vuotta ilman työmaalla tehtyä pinta-maalausta
Tikkurila Oyj	Fontefire WF	paisuva vesiohenteinen palosuoja-aine puupinnoille sisällä	B-s1, d0	-
Nordtreat Oy	NT DECO	vesipohjainen palosuoja-aine sisä- ja ulko-käyttöön	B-s1, d0	säärasituksessa 5-15 vuotta

Useilla palosuojapinnoitteilla puutuotteiden paloluokkaa voidaan nostaa tavallisesta D-s2 -luokasta B-s1, d0 luokkaan saakka, mikä mahdollistaa puun käytön lisäämistä palovaatimusten kannalta haastavammissa ja suuremmissa rakennuskohteissa. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 sallii B-s1, d0 -luokan tuotteiden käytön P1-paloluokan enintään 56-metriä korkeiden rakennusten ulkoverhouksissa. Tämä mahdollistaa kyseiseen euroluokkaan palosuojattujen puutuotteiden käytön esimerkiksi useissa kerrostaloissa ja julkisissa rakennuksissa. Ulkotiloissa käytettynä palosuojamaalit vaativat kuitenkin säännöllistä huoltokäsittelyä, jotta palosuojainaisuus säilyy. Tämä voi nostaa tuotteen käyttökustannuksia.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 myös useilta sisäverhouksilta edellytetään B-s1, d0 euroluokkaa. Tällaisia ovat P1 ja P2 luokan hoitolaitokset ja kerrosaltaan 300 m²:n ylittävät myymälät, näyttelyhallit ja kirjastot, P2 luokan majoitus ja työpaikat sekä useat tilat joissa säilytetään tai käsitellään polttoaineita tai muita palovaarallisia aineita kuten autokorjaamot ja -huoltamot, teknisen huollon tilat, kattilahuoneet, syötöhuoneet ja nestemäisen polttoaineen varastot. Myös näissä käyttökohteissa palosuojaineet mahdollistavat puun laajemman käytön rakentamisessa.

Pinnoitteiden lisäksi on myös kehitetty puuhun imeytettäviä palosuojaineita. Ne perustuvat palamattomiin kemikaaleihin, joiden läsnäolo puussa estää

hapensaannin puun palamisprosessiin, estäen näin palon leviämisen (Möttönen ym. 2018, 12). Merkittävimpiä nykyään käytettyjä palonestoaineita ovat fosforia ja booria sisältävät yhdisteet. Monet näistä suoja-aineista ovat vedellä liukenevia ja biosidisia, minkä vuoksi kehitystyö ei-biosidisten ja liukenemattomien palosuojakemikaalien osalta jatkuu. (Rowell & Dietenberger 2013, 146) Eniten tutkittuja ei-biosidisia palosuojakemikaaleja ovat silikaattiyhdisteet (Möttönen ym. 2018, 12).

TERVAUS

Terva muodostaa puupinnalle joustavan vettähylykivän kalvon, joka suojaa puuta myös auringonvalolta. Tervaa valmistetaan pääasiassa kuivatislaamalla mäntyä, mutta valmistukseen voidaan käyttää muitakin puulajeja. Puun suojaaminen tervalla on merkittävä osa Suomen historiaa. Suomi on keskiajalta lähtien ollut Euroopan suurin tervanvalmistaja ja tervalla on ollut merkittävä rooli Suomen teollistumisessa. (Suomen luonnonmaalit Oy 2016.)

Tervan käyttö puunsuojauksessa on ollut ajan saatossa monella tapaa uhanalaista. Tervan käyttö puunsuojaukseen oli yleistä 1950-luvulle saakka, jolloin maali- ja kyllästysteollisuus syrjäyttivät tervan suurelta osin (Suomen luonnonmaalit Oy 2016).

2000-luvun alussa EU:n viranomaiset tutkivat haitallisia puunsuoja-aineita, joiden mukana tervan käyttö meinattiin kieltää vuoteen 2006 tultaessa (Yleisradio 2003). Suomi haki kuitenkin Museoviraston aloitteesta mäntytervalle poik-

keuslupaa, jonka Euroopan komissio ja EU-maat hyväksyivät vuoteen 2010 saakka. Poikkeuslupan myötä tervaa sai edelleen käyttää historiallisten rakennusten ja veneiden sekä muiden kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden kohteiden suojaamiseen. (Suojanen 2006.) Poikkeuslupa kävi lopulta tarpeettomaksi, kun EU:n biosidiviranomaiset katsoivat, ettei terva kuulu biosidien joukkoon, sillä tervan teho perustuu myrkyllisyyden sijaan fysikaaliseen esteeseen (Parkkonen 2007).

REACH-asetuksen myötä EU:n alueella valmistettavilta ja markkinoille saatavilta aineilta alettiin vaatia rekisteröintiä vuoteen 2018 mennessä. EU:n kemikaaliasetuksen myötä ilman rekisteröintiä tervaa, tai muita aineita ei saa valmistaa tai maahantuoda yli tonnia

vuodessa. Tervaa valmistetaan pitkälti käsityönä, joten kallis rekisteröintiprosessi oli uhka tervaa pieninä sivutulona valmistaville tahoille. (Suomen luonnonmaalit Oy 2016.) Tervan REACH-rekisteröinnin saamiseksi perustettiin Eläkön terva ry, joka keräsi tervan rekisteröintiin vaadittavat kustannukset ja terva saatiin rekisteröityä määräaikaan mennessä toukokuussa 2018 (Kemianteollisuus 2018).

Puun käsittely tervalla on siis edelleen kelpo tapa suojata puuta kosteudelta ja säältä ja sitä käytetään pääasiassa kulttuurihistoriallisesti arvoikkaita kohteissa, etenkin vanhojen kirkkojen katoissa.



Kuva 27. Kirkon kattoa tervataan uudelleen. (Lemin kirjava 2017.)

5

HAASTATTELUTUTKIMUS

5.1 HAASTATTELUIDEN KUVAAUS

Teoriaa tukemaan toteutettiin haastattelututkimus, jossa haastateltiin puunkäsittelyn ammattilaisia ja alan kokeneita tutkijoita. Haastattelumenetelmäksi valikoitui puolistrukturoitu teemahaastattelu, jossa teemat apukysymyksiin laadittiin etukäteen, ja lähetettiin haastateltaville tutustuttaviksi. Kysymykset teemoineen toimivat haastattelun runkona, joka ohjasi haastatteluissa käytyä keskustelua.

Haastatteluiden tavoitteena oli kerätä uutta tietoa ja uusia näkemyksiä puunkäsittelymenetelmien potentiaalista puurakentamisen lisäämisessä ja puunkäsittelytuotteiden kehityssuunnista. Haastatteluteemat ja -kysymykset muodostuivat pitkälti kirjallisuustutkimuksessa havaittujen kehityssuuntien pohjalta. Haastatteluteemat ja -kysymykset on esitetty liitteissä A ja B. Haastattelukysymyksiin tehtiin pieniä muutoksia haastateltavien asiantuntijuus ja osaamisala huomioiden mutta haastatteluteemat pidettiin pitkälti samoina. Liitteessä B esitettyjä kysymyksiä käytettiin pintakäsittelytuotteiden edustajia haastateltaessa. Muuten käytettiin liitteessä A esitettyjä kysymyksiä.

Haastattelut sovittiin sähköpostitse ja toteutettiin Microsoft Teams-videoneuvotteluohjelman välityksellä. Ohjelma mahdollisti haastatteluiden nauhoittamisen, mikä helpotti haastattelutulosten analysointia. Haastatteluiden jälkeen videotallenteet käytiin läpi ja haastattelutulokset kirjoitettiin puhtaaksi, ja lä-

hetettiin haastateltaville vielä sähköpostitse tarkastettaviksi ja täydennettäviksi. Tarkennuksia tuli sähköpostien ja yhden uuden Teams-neuvottelun välityksellä.

Haastateltavat asiantuntijat mietittiin yhdessä ohjaavan professorin Markku Karjalaisen kanssa. Haastateltaviksi haluttiin asiantuntijoita laajasti eri puunkäsittelyteollisuuden osa-alueilta. Pintakäsittelytuotteiden asiantuntijoita kysyttiin eri tuotevalmistajilta, Tikkurila Oyj:ltä, Teknos Oy:ltä ja Uula Color Oy:ltä. Yritykset ehdottivat henkilöstöstään parasta henkilöä vastaamaan heille ennakoon lähetettyihin kysymyksiin.

Lämpömodifioinnin ja painekyllästyksen asiantuntijuutta saatiin ThermoWood® ja Kestopuu® -tuotteita edustavilta yhdistyksiltä, Lämpöpuuyhdistys ry:ltä ja Kestopuuteollisuus ry:ltä. Näiden lisäksi asiantuntijuutta saatiin Aalto-yliopiston puutekniikan laitoksen tutkimusryhmästä sekä kestäviä puuratkaisuja toimittavalta livari Mononen Oy:ltä. Haastatteluihin osallistuneet asiantuntijat on lueteltu seuraavassa taulukossa.

Taulukko 5. Lista haastateltavista asiantuntijoista

Puun modifioinnin ja painekyllästykseen asiantuntijat		
Nimi:	Organisaatio:	Titteli:
Hannu Boren	Iivari Mononen Oy	laatu- ja ympäristöpäällikkö
Ella Springare	Kestopuuteollisuus ry	toiminnanjohtaja
Jukka Ala-Viikari	ThermoWood®	toimitusjohtaja
Kristiina Lillqvist	Aalto yliopisto	tutkimusryhmän varajohtaja
Pintakäsittelytuotteiden asiantuntijat		
Ilkka Isoaho	Teknos	avainasiakaspäällikkö
Timo Holmi	Uula Color Oy	myyntipäällikkö
Juha Nikkola	Tikkurila	RDI-manager

5.2 HAASTATELTAVIEN NÄKEMYKSET

Tähän osioon on koottu teemoittain haastatteluista kerättyjä asiantuntijoiden näkemyksiä puunsuojaukseen ja sen tulevaisuuteen liittyen. Asiantuntijoiden näkemyksistä saa kattavan kuvan puunsuojateollisuuden nykytilasta ja sen tärkeimmistä kehityssuunnista.

PAINEKYLLÄSTETYN JA MODIFIOIDUN PUUN KEHITYS

Nykyisin käytetyillä kyllästeillä on onnistuttu korvaamaan aiemmin kielletyt CCA- kyllästeet (Boren, Springare). CCA-kyllästeet korvattiin vesipohjaisilla kuparikyllästeillä, jotka ovat olleet käytössä noin 20-vuotta, ja osoittautuneet käytössä tehokkaiksi ja toimiviksi. Niitä käytetään sahatavaran, tele- ja sähköpylväiden sekä riista-aitojen kyllästämiseen. Varsinkin pylväskäyttö on erittäin vaativaa johtuen siitä, että ne ovat suoraan maakosketukseen asennettavia

kappaleita. Nykypäivän kyllästeet ovat kuitenkin olleet toimivia vaativammassakin olosuhteissa. Myös terassi- ja piharakentamisessa kyllästeet ovat osoittaneet toimivuutensa ja vastanneet asiakkaiden käyttöikäodotuksiin ja -tarpeisiin. (Springare) Kyllästeet testataan ja hyväksytään nykyään CCA-kyllästeisiin verraten. Hyväksyntää ei anneta, jos kyllästeellä saavutetut ominaisuudet eivät ole riittävät testatuilla pitoisuuksilla vrt. CCA (Boren). Yhteispohjoismaista NTR-laaturjärjestel-

mää kehitetään, tuotteiden suorituskykyä testataan maakenttäkokeissa sekä suoja-ainepitoisuuksia arvioidaan. Tuotteen laadun eli kestävyden on oltava kunnossa, jotta tuotteen kilpailukyky ja uskottavuus säilyy ja ennen kaikkea vastaa käyttäjien tarpeisiin hyvää henkilöturvallisuutta edellyttävissä rakenteissa. (Springare)

Puunsuojausmenetelmät tulevat kehittämään luultavasti modifioinnin ja painekyllästykseen ominaisuuksia yhdisteleviin ratkaisuihin, joista esimerkkinä kupariöljykyllästeet, joissa öljy pitää puun kuivana ja suoja-aineet kuten kupari estää lahon etenemistä, jos puu pääsee kastumaan. Hyväksytyjen biosidien määrä tulee kuitenkin vähenemään. (Boren) Kupariöljykyllästeet ovat olleet Yhdysvalloissa pitkään käytössä. Ensimmäisel-

le valmisteelle on Suomessa on saatu hyväksyntä Tukesilta viime kesänä, ja on todennäköistä, että ne otetaan jossain vaiheessa käyttöön. Kupariöljykyllästeet ovat teolliseen käyttöön vielä selkeästi pidemmän käyttöiän tuovia ratkaisuja. (Springare) Kupariöljykyllästetty puu saa kyllästyksen myötä vihreän sävyn, kuten kuvassa 28 (Scanpole 2020).

Kemikaaliregulaatio asettaa alalle paineita kehittyä ja löytää uusia ratkaisuja. (Springare) Painekyllästettyihin tuotteisiin on jo tullut rajoitustoimia, mutta nykyisin käytetyt tuotteet ovat varmasti todettu turvallisiksi omissa käyttökohteissaan (Lillqvist). Kyllästysaineita kuitenkin kehitetään jatkuvasti (Springare, Lillqvist). Uusien kyllästysaineiden markkinoille saattaminen on todella hidas ja pitkä prosessi, jonka lopputulos on epä-



Kuva 28. Kupariöljyllä kyllästettyjä puupylväitä. (Scanpole 2020.)

varma. On tietysti lähtökohtaisesti hyvä, että tuotteiden markkinoille saattamista säädellessä ja edellytetään riittävät näytöt siitä, että puunsuoja-aineet on turvallisia ja tehokkaita. Riittävän tehokkaan puunsuojaamisen edellytykset ja jatkuvuus tulee kuitenkin voida säilyttää, jotta puunkäyttö vaativissa ulko-olosuhteissa voidaan turvata. (Springare)

Kysynnän puolelta kestävien puutuotteiden tulevaisuus näyttää hyvältä. Ilmastomuutos lisää puutuotteiden ja kestävien puutuotteiden kysyntää monella tapaa. Tuotteille tulee myös uusia mahdollisia käyttökohteita. Suomessa ei esimerkiksi käytetä tällä hetkellä juuri ulkoverhouksissa painekyllästettyä puuta, mutta ilmasto-olosuhteiden muuttuessa haastavammiksi, voi olla, että painekyllästetyn puun käytöstä myös ulkoverhouksissa aletaan keskustella. Ilmastomuutos ja sen vaikutukset tulevat lisäämään kysyntää ja kasvattamaan kestävien puutuotteiden tarvetta, mahdollisuuksia olisi siis tuotantovolyymien lisäämiseen. (Springare)

Asiakas määrittelee aina mikä on tuotteen osalta vaatimustaso. Tuotteen toimivuudesta vaaditaan konkreettisia näyttöjä, jotta sen voidaan todeta vastaavan tarpeita. Lisääntynyt kysyntä avaa markkinoita uusille tuotteille ja on hyvä, että uusia vaihtoehtoja syntyy, joista asiakkaat voivat valita toimivimman omiin käyttötarpeisiinsa. Eri tuotteet soveltuvat eri käyttöön. Painekyllästetty puu on tutkitusti toimiva, kotimainen tuote, jonka saatavuus on erinomainen ja hinta järkevä. Nämä ovat painekyllästetyn puun edut mihin harva kilpaileva tuote

on pystynyt vastaamaan. (Springare) Painekyllästetylle puulle on selkeä markkinapaikkansa tulevaisuudessakin, varsinkin hintansa puolesta. Painekyllästetty puu on niin merkittävästi edullisempi vaihtoehto modifioituihin puutuotteisiin verrattuna. Vain todella merkittävien kieltojen myötä painekyllästetyksen käyttö voisi vähentyä. Mutta koska hinta määrää yleensä niin paljon tuotteiden käyttöä, on painekyllästettyjä tuotteita varmasti myös jatkossa saatavilla. (Lillqvist) Ajoittain spekulodaan, että jokin korvaisi painekyllästetyn puun käytön, mutta mitään signaaleja sen puolesta esimerkiksi tuotantovolyymien osalta ei ole. Varsinkin viime vuodet ovat olleet hyviä painekyllästetyn puun tuotantovolyymien osalta. (Springare) Esimerkiksi lämpöpuulla ja painekyllästetyllä puulla on samoja käyttökohteita ainoastaan piharakentamisessa, ja niiden vaikutus toistensa markkinaosuuksiin on vähäinen (Ala-Viikari).

Ilmasto- ja ympäristöhuolet näkyvät kasvavissa määrin puunsuojamenetelmien kehityksessä ja kysynnässä. Isoilla asiakkailla on usein suuremmat tavoitteet - kuten hiilineutraalius - ja siten myös suuremmat vaatimukset käyttämiensä tuotteiden osalta. Pienemmille asiakkaille ja yksityishenkilöille usein riittää että rakennusmateriaali on puu. Nykyisin tuotteilta usein vaaditaan erilaisia sertifikaatteja, joilla voi osoittaa tuotteiden täyttävän tietyt ominaisuudet. Tämä myös osaltaan vaikuttaa siihen mitä tuotteilta halutaan. Näin ollen puutuotteiden ympäristövaikutuksiakin testataan enenevässä määrin. (Boren)

Modifioiduilla puutuotteilla ja erilaisilla puukomposiiteilla on jossain käyttökohteissa pyritty korvaamaan markkinoilta kieltojen vuoksi poistuneita kyllästettyjä tuotteita. Kiinnostus modifioituihin tuotteisiin on kasvussa ja on hyviä argumentteja niiden kehittämisen puolesta. Puuta pyritään jalostamaan sellaiseksi, että se kestää paremmin ja että sen elinkaari on pidempi ja toisaalta pystytään myös laajentamaan puun käyttöä sellaisissa kohteissa, joissa puuta ei muuten voitaisi käyttää. (Lillqvist)

Modifioinnilla voidaan siis laajentaa puun käyttöalaa ja käyttökohteita ja toisaalta vähentää puun huoltotarvetta ja pidentää elinkaarta. Jos ajatellaan ympäristöä, niin myrkyttömyys on varmasti myös tärkeä pinnalla oleva tavoite. Esimerkiksi lämpöpuun valttina on se, ettei puuhun lisätä muita aineita. Modifiointi siis lähtökohtaisesti pyrkii myrkyttömyyteen ja siihen, ettei se ainakaan pahentaisi tuotteen ympäristövaikutuksia. (Lillqvist)

Ympäristönäkökulmasta kaikilta materiaaleilta vaaditaan jatkossa enemmän, koska huomio menee käytönaikaisten ympäristövaikutusten lisäksi myös materiaalien kokonaisvaltaiseen ympäristövaikutukseen, mikä lisää materiaalien hiilijalanjäljen tarkastelua. Ympäristövaikutuksia tullaan tarkastelemaan yhä enemmän ja enemmän ja näihin tulee luultavasti jonkinlaisia raja-arvoja, joita pyritään alittamaan. Elinkaarivaikutuksia tarkastellessa huollontarve on myös merkittävässä roolissa. Ei ole kuitenkaan pelkästään kyse materiaaleista, vaan myös niiden oikeanlaisesta käyt-

töstä. Myös rakenteellisilla ratkaisuilla pyritään pidentämään tuotteiden elinkaarta entistä enemmän. Rakennusten suunnittelussa tullaan huomioimaan kokonaisvaltaisemmin elinkaariaasiat ja ympäristövaikutukset. Esimerkiksi rakennusmateriaalien kierrätettävyyteen sen elinkaaren päätyttyä tullaan myös kiinnittämään huomiota. Materiaaleille tulevaisuudessa asetetut vaatimukset voivat olla siis hyvinkin monipuolisia. (Lillqvist)

PINTAKÄSITELYTUOTTEIDEN KEHITYS

Suomessa ulkoverhoukslaudat ja -paneelit ovat tuoteryhmä, jossa selkeästi eniten käytetään pintakäsittelyä. (Nikkola, Holmi) Sisäverhouksissa käytetään maalien lisäksi paljon myös vahoja. (Holmi) Trendi siirtyy ja on jo pitkälti siirtynyt siihen, että puu pohja- ja pintamaalataan kontrolloiduissa olosuhteissa esivalmistetusti, jotta sille voidaan luvata 10 – 15 vuoden huoltomaalausväli. (Nikkola) Pintakäsittelyn puutavaran käsittelyä työmailla on vaikea kontrolloida ja pitkään paikallaan seisovat materiaalit saattavat altistua sää- ja kosteusrasitteille. (Nikkola, Isoaho) Ulkoverhouksautojen teollisen pohjamaalaus sai alkunsa Norjassa 90-luvun alkupuolella, jossa maalattiin paljon märkää puuta työmaalla, mikä aiheutti laho-ongelmia maalipinnan alla. Teollisen pohjamaalauksen myötä ongelmasta päästiin eroon. Asiakkaat haluavat hyvin pitkälle jalostettuja tuotteita myös siksi, että työmäärä työmaalla olisi mahdollisimman pieni. Nykyään suurin osa ulkoverhoukslaudoista toimitetaan työmaille jo "välimalaattuna" (pohja +

1 pinta) sekä myös lisääntyvässä määrin jopa täysin teollisesti valmiiksi maalattuina. (Isoaho) Tehdasmaalattut tuotteet ovat kannattavia etenkin kohteissa, joissa työmaa- ja huoltomaalaus on haastavampaa, kuten suuret julkiset kohteet. (Nikkola)

Ympäristö- ja ilmastohuolet näkyvät siinä minkälaisia sertifikaatteja tuotteille vaaditaan. (Nikkola) Kaikista pintakäsittelyaineista tulee entistä ekologisempia, johon ohjataan jo lainsäädännölläkin, mutta myös kuluttajat entistä enemmän vaativat näitä asioita. Eli jos haluaa kauppaa saada aikaan, on tuotteen oltava sellainen, että sitä halutaan käyttää. Osa kuluttajista on valveutuneita, mutta etenkin ammattipuolella kuten arkkitehteissä ja suunnittelijoissa on havaittavissa selkeä ero. Uuden nuoren suunnittelijoiden sukupolven myötä suunnittelijoiden haluavat käyttää töissään yhä enemmän ekologisempia materiaaleja. (Holmi) Arkkitehtien ja muiden suunnittelijoiden suunnitelmissa on nykyisin hyvin tarkkaan määritelty, minkälaisia tuotteita halutaan, kuten esimerkiksi päästövapaita M1-luokiteltuja tuotteita. (Isoaho) Monet tuotteiden valmistajat pyrkivät esimerkiksi ilmoittamaan tuotteen biopohjaisuusprosentin, jolla pyrkivät osoittamaan tuotteiden ekologisempaa suuntaa (Holmi). Puhutaan paljon myös elinkaarilaskelmista, jotka ottavat huomioon maalin valmistukseen käytettävät raaka-aineet, niiden alkuperä ja kuinka paljon vaikkapa energiaa ja vettä on käytetty maalin valmistukseen. Elinkaarilaskemia ja sen pohjalta hiilijalanjälkeä ja GWP-arvoa (Global Warming Potential)



Kuva 29. Teollisella pohjamaalauksella tai täysin valmiiksi maalatuilla tuotteilla voidaan vähentää työmaalla tehtäviä maalaustöitä sekä varmistaa maalauksen hyvä laatu. (Rajala 2017.)

kysytään erilaisten sertifikaattien ja dokumenttien muodossa. Etenkin julkisissa rakennuskohteissa voi tuotteille olla asetettuna raja-arvot, jotka määrittävät voidaanko tuotetta käyttää kyseisessä kohteessa. Näissä tapauksissa usein elinkaarilaskelmaa kysytään. (Nikkola) Vesiohenteiset tuotteet ovat tänä päivänä käytetyimpiä pintakäsittelyaineita. Liuotinohenteiset maalit ja öljymaalit ovat jääneet lähes kokonaan pois. Nykyään vesiohenteiset tuotteet ovat huomattavasti kestävämpiä ja pitkäikäisempiä kuin vanhat liuotinohenteiset tuotteet. Alkydiöljymaalien ongelmana on niiden kovettuminen ja elastisuuden häviäminen vanhetessaan ja näin ne eivät kestä puun elämistä ollenkaan, jolloin maalipinta alkaa halkeilla, samoin niiden uv-kesto on heikko ja ne menettävät näin kiillon hyvinkin nopeasti. Nykyiset akrylaatit eli vesiohenteiset maalit ovat huomattavasti elastisempia koko elinkaaren ajan, mihin perustuu vesiohenteisten maalien suosio. (Isoaho) Yleensä käytetään peittomaaleja, jolloin puu suojataan kokonaan sävytetyllä, peittäväällä maalilla. Lisäksi kysytään kuullotteita, joista puun pintakuvio näkyy läpi. Vielä ei kovin suosittu mutta varmaan tulevaisuudessa myös täysin läpinäkyvät pintakäsittelyt - jotka näyttävät siltä ettei puuta olisi lainkaan käsitelty - tulevat kasvattamaan suosiotaan. (Nikkola) Valmistajien käyttämissä sideaineissa on nykyisin suuria eroja. Suurimmalla osalla tuotevalmistajista tuotteet perustuvat tällä hetkellä jonkinlaiseen alkydiin, alkydihartsiin tai jonkinlaiseen muovijohdannaiseen kuten akrylaattiin. Uula

Color puolestaan käyttää tuotteissaan vain biopohjaisia sideaineita. (Holmi) Pintakäsittelyaineissa tullaan käyttämään yhä enenevässä määrin biopohjaisia sideaineita fossiilisten raaka-aineiden sijaan. Siirtymä biopohjaisiin sideaineisiin tulee jatkumaan myös tulevaisuudessa. (Nikkola, Isoaho, Holmi) Ennen pellavaöljy oli pääasiallinen raaka-aine biopohjaisissa tuotteissa mutta nykypäivänä pyritään kehittämään myös uusia erilaisia kasvipohjaisia ratkaisuja. (Holmi) Akrylaatit tuskin ovat ihan heti poistumassa, sillä ne ovat äärimmäisen hyviä suojaamaan puuta ja myös hyvin hengittäviä tänäpäivänä. (Isoaho) Toisaalta ilmastomuutokseen liittyy vahvasti muovittomuus, joka tulee varmasti olemaan rakentamisen megatrendi. Tuotteista pyritään tekemään sellaisia, ettei niistä pääse mikromuoveja irti ympäristöön. (Holmi)

Toinen tuotteissa havaittava suuntaus on eri toiminnallisuuksia sisältävät sideaineet, joilla voidaan saada aikaan esimerkiksi nopeammin kuivuvia tuotteita tai pidempään kestäviä tuotteita, jolloin oletuksena on että huoltomaalausväliä saataisiin pidennettyä. (Nikkola) Ilmastomuutokseen liittyen pidempi huoltomaalausväli ja tuotteiden pitkäaikaiskestävyys ovat selkeitä tavoitteita (Nikkola, Isoaho). Etenkin kun puuta käytetään yhä enemmän myös isoissa julkisissa kohteissa - joissa huoltomaalaus on haastavampaa - on suotavaa käyttää pidemmän huoltovälin tuotteita. (Nikkola) Pintakäsittelyjen pidemmissä elinkaarisissa on ratkaisevassa asemassa myös se, miten puurakenteita on tehty. Virheelli-

siä rakenteita kuten vesitaskuja ja tasopintoja tulee välttää, jottei vesi pääsee makaamaan pitkäksi aikaa. Päätypuun suojaus on myös merkittävässä asemassa työmailla. Päätypuut jätetään usein käsittelemättä, vaikka puu nimenomaan luontaisesti imee itseensä kosteutta päätypuusta. Kosteuden aikaan saama kosteuseläminen aiheuttaa päätypuiden halkeamisen. Vaikka tämä ymmärretään, päätypuu jää usein silti maalaamatta, sillä päätyjen maalaaminen aiheuttaa lisätyötä työmailla. Kun tällaiset asiat huomioidaan, saadaan tämän päivän pintakäsittelyille pitkiä huoltomaalauksivälejä. (Isoaho)

Ilmasto- ja ympäristökysymykset ovat keskiössä pintakäsittelyaineiden tuotekehityksessä, mikä asettaa toisaalta haasteita, kun erilaisia tuotteissa käytettyjä raaka-aineita ja biosideja kielletään EU:n kemikaaliviraston toimesta. (Isoaho, Holmi) Maalikalvon homesuojaukseen vaikuttaa biosidiasetus ja kemikaalilainsäädäntö, jotka ohjaavat, minkä tyyppisiä biosideja ja raaka-aineita voidaan käyttää. Näihin tulee jatkuvasti tiukennuksia. (Nikkola) Biosidit täytyy jollain aina korvata. Korvaavat tuotteet on aina yleensä ”kevyempiä” myrkkyjä, joiden homeenkesto ja kesto ylipäänsä on usein heikompi. (Isoaho)

Samaan aikaan Suomen ilmasto-olosuhteet ovat muuttuneet hankalimmiksi ilman suhteellisen kosteuden nousun sekä toisaalta kuumempien kesien johdosta. Tämä näkyy etenkin kosteina, leutoina talvina ja syksyinä. Kosteiden kelien lisääntyminen tarkoittaa sitä, että homeitiöiden määrät on huomattavasti

korkeampia kuin ennen, minkä vuoksi puupintojen homehtuminen on lisääntynyt. Tämän vuoksi myös Keski-Euroopassa yleisenä käytäntönä olleet rakennusten ulkoverhousten huoltopesut tulevat yleistymään myös Suomessa. Ilmasto-olosuhteiden muuttuminen haastavammaksi samaan aikaan kun suoja-aineita kielletään, asettaa haasteita tuotekehitykselle. Maalipinnan puhtaana säilymiseen ja pidempään elinkaareen pyritään löytämään uusia biopohjaisia ratkaisuja. (Holmi, Isoaho)

TUOTTEIDEN KAUPALLISTAMINEN

Kaupallisten tuotteiden menestystä selittää ainakin se, että tuotteita voidaan valmistaa teollisesti suurina eriä, jolloin hinta saadaan kannattavaksi. Uusia potentiaalisia menetelmiä voi tutkijoilla olla paljonkin, mutta kynnyksen niiden teollistamiseen voi olla hyvinkin suuri. Kaupalliseen menestykseen vaaditaan myös se, että asiakkaat saadaan vakuutettua tuotteen toimivuudesta. (Lillqvist)

Painekyllästetyn puun kaupallinen menestys johtuu varmaankin hyvästä saatavuudesta, sopivasta hinnasta ja kotimaisuudesta. Olemassaolon peruste on kuitenkin toimivuus sääälle alttiissa rakenteissa, mitkä altistuvat suoralle sateelle tai maasta nousevalle kosteudelle, mitkä kasvavat toistuvasti ja missä kosteus pysyy pitkään. Tällaisiin kohteisiin ei ole paljoa hyviä vaihtoehtoja. (Springare) Painekyllästettyä puuta myös saa todella hyvin ja monessa eri koossa, ja hinta on kuluttajalle ja teollisuuden asiakkaille sopiva ja erittäin kilpailukykyinen, mikä on iso osa tuotteen menestystä (Lillqvist,

Springare). Myös kotimaisuus on valtti useisiin kilpailijoihin verrattuna. Kuluttajat osaavat arvostaa kotimaisuutta. (Springare)

ThermoWoodin® tuotantovolyyminä on tilastoitu vuodesta 2001 ja tilastoidaan edelleen vuosittain ja joka vuosi on todettu kasvua (Ala-Viikari). ThermoWood® -tuotteiden menestys johtuu pitkälti sen verrattain edullisesta valmistusmenetelmästä, jossa käytetään pelkkää lämpöä ja vesihöyryä (Boren, Ala-Viikari). Muissa menetelmissä käytetään yleensä jotain kemikaalia, mikä nostaa tuotteen hintaa merkittävästi (Boren). Lisäksi tuotteen lopulliseen hintaan vaikuttaa tuotannon käynnistykseen vaadittavat investointikustannukset. (Boren, Ala-Viikari) ThermoWoodin valmistusprosessia on kehitetty 90-luvun alusta alkaen ja tuote on ollut jo pitkään käytössä. Tuotetta oli kehittämässä yrityskonsortio, joten kehitystyön valmistuttua teknologian käyttöönsä ottava yritysperusta oli jo valmiina olemassa. ThermoWoodin® valmistusteknologia on investointikustannuksiltaan edullinen verrattuna esimerkiksi Kebonyyn® ja Accoyaan®. Vaikka ThermoWood® on ollut markkinoilla noin 20 vuotta, on se tuotteena aika uusi ja hakee vielä kasvumarkkinoita. Jatkuvasti Suomesta viedään noin 60:een maahan lämpömodifioitua puuta. Noin 90 – 95 % Suomessa tuotetusta ThermoWoodista® viedään ulkomaan markkinoille, kuten Keski-Eurooppaan. Kaikkia ThermoWoodin® potentiaalisia markkinoita ja kaikkia käyttömahdollisuuksia ei ole vielä selvitetty ja kaikkia tuotteen ominaisuuksia tuskin on

hyödynnetty (Ala-Viikari).

Puunsuojaustuotteet tähtäävät pääasiassa puun parempaan lahonkestoon. Kun markkinoilla on olemassa jo kustannustehokkaasti valmistettavia tuotteita, joilla saavutetaan riittävä lahonkesto, on uusien tuotteiden vaikea menestyä, ellei niiden hintataso vastaa markkinoilla jo olevia. (Boren)

Modifioitujen puutuotteiden markkinoille saattaminen vaatii pitkäjänteistä työtä ja testausta, jotta materiaalien kestästä voidaan tulla takuuseen. Koska modifioitujen tuotteiden hinta on usein korkeampi, on pystyttävä myös perustelemaan tuotteiden paremmuus ja kestävyys, jotta tuotteesta ollaan valmiita maksamaan enemmän. Vaikka tuote saataisiin markkinoille, kuluttajien vakuuttuminen tuotteen kestävydestä vie aikaa. (Lillqvist)

PALONKESTON MERKITYS

Puurakentamista lisättäessä puun palosuojauskesto on lisääntynyt (Ala-Viikari). Palonkeston lisäämiseen löytyy ratkaisuja, mutta se missä määrin ne mahdollistavat puun käytön lisäämistä rakentamisessa on kiinni vallitsevista palomääräyksistä. (Nikkola, Boren) Tuotteet kehitetään vähintäänkin sellaisiksi, etteivät ne edistäisi palamista. Sitten on erikseen tuotteet, jotka tukahduttavat paloa, joita on vielä aika vähän saatavilla. (Holmi) Puun palosuojauksen kriteerit on tullut jossain määrin myös kevyemmiksi. Enää palosuojauskesto ei tarvita yhtä paljon kuin esimerkiksi 5 vuotta sitten, jolloin korkeammat puukerrostalot jouduttiin käsittelemään kokonaisuudessaan palosuojauskestoilla. (Isoaho) Nykyi-

sin riittää usein, että paloturvallisuuden kannalta oleellimmat paikat kuten häätuloskäynnit käsitellään palosuojamaalein (Isoaho, Nikkola).

Palosuojamaalit tulivat markkinoille noin 10 vuotta sitten. Sinä aikana on vuosittain havaittu kasvua palosuojatuotteiden kysynnässä. Varsinkin viime vuosina, kun puurakentamista on ruvettu valtionkin puolesta tukemaan, on palosuojatuotteiden kysyntä kasvanut, eikä kysyntä tule ainakaan vähentymään tulevina vuosina. (Isoaho) Suomi poikkeuksellisen puurakennettu maa ja valtaosa rakennuksista on jo puurakenteisia. Nykyisin kuitenkin puurakentamisen lisääntyminen näkyy siinä, kun myös julkisia rakennuksia on alettu suunnittelemaan puusta. (Holmi) Erityisesti isompien puurakenteisten ja -verhoiltujen julkisten rakennuskohteiden myötä palosuojamaalattujen puutuotteiden kysyntä on lisääntynyt (Holmi, Nikkola, Isoaho). Palosuojamaalaus osin mahdollistaakin näiden isompien kohteiden rakentamisen puusta (Isoaho). Myös modifioinnilla voidaan parantaa puun palonkestoa. Esimerkiksi puun pinnan hiiltämisellä on puun palonkestoa parantavia vaikutuksia. (Lillqvist)

Palosuojamaalit kehitetään hyväksi todettujen standardisoiuihin testeihin perustuen. (Nikkola) Palonkeston ja etenkin palosuojan pitkäaikaiskestävyyden testauksessa kuitenkin on haasteita, jotka vaikuttavat uusien palosuojamenetelmien syntyyn. (Boren) Palotestaus ja siitä aiheutuvat maksut lähinnä hidastavat tuotteiden kehitystä varsinkin pienten yritysten kohdalla. Palotestaus ja sitä

koskeva standardisointi on haastavaa, mutta tulee luultavasti tasaantumaan, kun palotestaus yleistyy ja palosuojatuotteita testataan määrätietoisemmin. (Holmi)

TERMIITINKESTON MERKITYS

Lämpimissä maissa kuten, Etelä-Euroopan ja Aasian maissa tuhohyönteiset ovat todellinen ongelma ja puumateriaalin tulee olla sellainen, ettei tuhohyönteiset sitä syö. Ongelma ei koske juurikaan Suomea, ainakaan vielä. (Isoaho, Holmi, Nikkola, Lillqvist) Tuhohyönteiskestävyyden merkitys voi kuitenkin kasvaa tulevaisuudessa (Lillqvist, Springare). Suomessa ja pohjoismaissa ne valmistajat joilla on vientiä lämpimiin maihin joutuvat ottamaan asian jo huomioon (Nikkola, Springare). On olemassa rekisteröityjä puunsuoja-aineita, joilla voidaan termiitinkeston vaikuttaa (Nikkola). Termiittisuoja tänäkin päivänä valmistetaan ja on valmistettu jo pidemmän aikaa. Nämä tuotteet on lähinnä Pohjois-Afrikan maihin menneitä hirsirakennuksia, joihin näitä aineita laitetaan. (Isoaho)

Termiittisuojiin käyttö ja käsittely on hyvin luvanvaraista (Isoaho). Rekisteröidyt puunsuojat vaativat pitkän ja kalliin rekisteröintiprosessin, joka sisältää useita erilaisia testejä. Joissain määrin myös raaka-ainetoimittajat ovat patenteilla suojanneet omia teknologioitaan. (Nikkola) Tietyillä kyllästeillä on hyvä vastustuskyky termiittejäkin vastaan (Springare). Puun termiitinkeston lisääviä ratkaisuja löytyy ja tulevaisuudessa niiden toimivuus on lähinnä regulaatioky-

symys, johon vaikuttaa se mitä biosideja tullaan kieltämään (Isoaho, Boren). Myös modifiointimenetelmistä voidaan löytää ratkaisuja puun parempaan termiitinkeston (Boren, Lillqvist), mutta niiden menestyminen on pitkälti hintakysymys. (Boren)

KÄSITTELEMÄTÖN PUU

Alun perin maalausta tehtiin pelkästään esteettisistä syistä, eikä maalaamisella ei edes ajateltu olevan muuta hyötyä kuin massasta erottuminen ja kauneuskäsitykset. Paksuissa hirsirakenteissa voitaisi kuvitella käsittelemättömiä rakenteita nykyisinkin ja ne jätetäänkin usein harmaantumaan. (Holmi, Isoaho) Joidenkin mielestä se on kaunista ja toisaalta käsittelemätön puu sulautuu paremmin luonnon sekaan. (Holmi)

Kun ulkoverhouslaudoille haetaan pitkäaikaisempaa kestoja, niin pintakäsittelystä ei päästä eroon. (Isoaho) Otsonikadon myötä UV-arvot ovat toista kuin aikoinaan, joten maalauksen merkitys suojakäsittelynäkin kasvaa, eikä se ole enää pelkkää estetiikkaa. (Holmi) Pin-



Kuva 30. Termiitit vahingoittavat puurakenteita syömällä puuhun laajoja luolaverkostoja. (Mullennix 2022.)

takäsittelyaineiden yksi tärkeimmistä tehtävistä on suojata puuta mekaanista, kemiallista ja UV-rasitusta vastaan sekä pitäähän maailmassa olla väriä (Isoaho). Nykyisin vesiohenteisilla tuotteilla saadaan usein 15 vuoden huoltomaalausväli. Jos ajatellaan, että puisella ulkoverhouksella on noin 50 vuoden mittainen elinkaari, jonka aikana se maalataan muutaman kerran, ei sillä hirveän mittaavaa vaikutusta ole ulkoverhouksen hiilijalanjäljen kasvuun. (Isoaho) Jos puu jätetään maalamatta, sillä voi olla maalipinnan verran vaikutusta tuotteen hiilijalanjälkeen, mutta tällöin huoltotyön määrä kasvaa. (Nikkola) Jos katsotaan koko rakennuksen elinkaarta niin käsittelemättömän pinnan ympäristökuormitus on välillisten vaikutusten myötä käsittelemättömää puuta suurempi kasvavien huoltotoimenpiteiden vuoksi (Nikkola, Isoaho), puhumattakaan, että se olisi taloudellisesti järkevää ja kannattavaa (Isoaho).

Nykyisin taloista koitetaan tehdä myös energiataloudellisesti tehokkaita eli myös tiiviitä. Siksi puun käsittely on myös kannattavaa, jottei puu halkeile. Näin ollen maalauksen merkitys tulee yhä vaan kasvamaan. Varsinkin jos ilmastonmuutos tästä vielä etenee ja kelit muuttuvat yhä raskaammiksi ja kovemmiksi, niin puun suojaaminen ja pintakäsittely tulee olemaan tarpeellista tulevaisuudessakin. (Holmi)

Modifioidut puutuotteet - kuten Accoya® - voisivat pärjätä hyvin ilman pintakäsittelyä. (Nikkola) Käsittelemättömällä puulla toteutettuja rakennusratkaisuja kannattaa kehittää. Nykyään valtioneu-

voston asettaman asetuksen mukaan vaaditaan että rakennuksen elinkaaren päätteeksi rakennusjätteestä 70 % olisi kierrätettävissä tai hyödynnettävissä suoraan materiaalina. Käsittelemätön, maalaamaton puu on helposti uudelleen käytettävissä vaikkapa lastulevyihin. Puun harmaantuminen on oikeastaan ainoa muutos, jos puu saadaan pidettyä kuivana rakenteissa. (Boren)

Puurakenne kestää, jos se on oikein suunniteltu. Hyvinkin vanhoja rakennuksia on säilynyt käsittelemättöminä. (Ala-Viikari) Puu kestää kyllä hetkellisesti suuriakin kosteusrasituksia, kunhan se pääsee kuivumaan. Tässä asiassa pitäisi puhua järeämmistä dimensioista ja rakenteellisen puunsuojauksen merkityksestä, eli yritetään tuoda esiin järkevää rakennustapaa, jossa suojataan puuta kastumiselta ja pidetään huoli siitä, että rakenteet ovat tuulettuvia ja niillä on mahdollisuus kuivua. (Springare) Puurakenteet ovat pitkäikäisiä, kunhan ne tuulettuvat ja vältetään kotelomaisia rakenteita, joissa kosteus vaikuttaa pitkän aikaa. Kun rakennuksessa on kunnon räystäävät niin kyllä seinät kestävät, pysyvät kuivana ja tuulettuvat. (Ala-Viikari)



Kuva 31. Oikein rakennettuna hirsirakennukset kestävät ilman minkäänlaisia suojakäsittelyitä. (Puuproffa 2022.)

5.3 HAASTATTELUTULOSTEN ANALYYSINTI

Haastatteluissa esiin tulleet näkemykset olivat pitkälti yhteneviä ja toisiaan tukevia. Myös jonkin verran toisistaan eroavia näkemyksiä esiintyi, joskaan ne eivät olleet toisiaan poissulkevia.

Haastattelutulosten arvioinnissa on huomioitava haastateltavien asema eri tuotteiden edustajina, mikä saattaa vaikuttaa heidän näkemyksiinsä. Haastateltaviksi valittiin laajasti eri tuotteiden edustajia, jotta haastatteluista kertyisi mahdollisimman monipuolisia näkemyksiä. Kaiken kaikkiaan haastatteluissa esiintyi vain vähän puolueellisuutta ja oli positiivista huomata, että tuotteiden edustajat puhuivat pitkälti samojen asioiden puolesta, eikä omien tuotteiden asemaa koitettu parantaa esimerkiksi muiden tuotteiden heikkouksiin viitaten.

Tulosten luotettavuutta arvioidessa on myös huomioitava, että näkemyksillä pyritään luomaan kattavaa kuvaa tulevaisuudesta, jonka faktuaalinen ennustaminen on haastavaa. Asiantuntijoiden näkemykset ovat kuitenkin yleisesti ottaen hyvin perusteltuja ja nykytilanteeseen pohjautuvia, ja näin ollen niistä saatiin muodostettua vakuuttava ennakoarvio puunsuojateollisuuden tulevaisuudesta.



Asiantuntijoiden mukaan nykyisin painekyllästyksessä käytetyt kylästeet ovat olleet riittävän tehokkaita korvaamaan aiemmin markkinoilta poistuneet

CCA-kyllästeet. Paineekyllästysteollisuuden isoin haaste on kuitenkin yhä kemikaaliregulaatiot, joiden odotetaan jatkossa lisääntyvän. Käytännössä tämä tarkoittaa painekyllästyksessä hyväksytyjen kemikaalien vähenemistä. Esimerkiksi jo tarkoin rajoitettujen kreosoottikyllästeiden käyttökielto on todennäköistä jo 2020-luvulla (Boren 2022). Kemikaalien vähenemisen vuoksi erilaisia kyllästeitä kehitetään jatkuvasti, mutta uusien kyllästeiden saattaminen markkinoille on hidasta, kallista ja epävarmaa. Kupariöljykyllästeet ovat hyvä esimerkki vaativan puunsuojauksen kehityksestä ja kreosoottikyllästeiden käyttökieltoon valmistautumisesta.

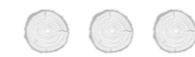
Yhtä mieltä asiantuntijat olivat siitä, että painekyllästetyn puun markkina-asema tulee olemaan vahva jatkossakin. Tätä puoltavat myös esimerkiksi Kestopuun® kysynnän kehitys ja nykytila, jotka vaikuttavat lupaavilta myös tulevaisuuden kannalta. Kestopuun® tuotantovolyymit tulevat luultavasti kasvamaan entisestään lisääntyvän puurakentamisen myötä. Kestopuun® vahvaa markkina-asemaa selittävät muun muassa ratkaisun hyvä saatavuus, kotimaisuus, edullisuus ja toimivuus haastavissa olosuhteissa sekä käyttökokemukset ja näytöt pitkältä ajalta.

Jopa näkemyksiä painekyllästetyn puun mahdollisten käyttökohteiden laajenemisen puolesta esitettiin. Hyvä argumentti sen puolesta on ilmastonmuutoksen myötä yhä haastavammiksi muuttuvat sääolosuhteet. Toisaalta lisääntyneen ympäristötietouden myötä tuotteiden myrkyttömyyttä arvostetaan

yhä enemmän. Modifioidut puutuotteet kuten Kebony® ja Accoya® tarjoavat myrkyttömiä vaihtoehtoja kohteisiin, joissa puulta vaaditaan kestävyttä. Kuitenkaan toistaiseksi modifioidut puutuotteet eivät ole olleet uhka painekyllästetyn puun markkina-asemalle, johtuen pääasiassa tuotteiden kalliista hinnasta ja toisaalta useiden tuotteiden kohdalla vain osittain samoista käyttösovelluksista.

Asiantuntijoiden mukaan tuotteiden kaupalliseen menestykseen vaaditaan etenkin näyttöä tuotteen toimivuudesta, jotta asiakkaat saadaan vakuutettua. Lisäksi tuotteelta vaaditaan kilpailukyistä hintaa, johon vaikuttavat etenkin tuotteen valmistusprosessi ja siihen vaadittavat raaka-aineet ja investointikustannukset. Tuotetta on voitava myös valmistaa suuria eriä kerralla, jotta hinta pysyy sopivana. Esimerkiksi ThermoWoodin® ja Kestopuun® menestystä Suomessa selittävät myös tuotteiden kotimaisuus.

Lisäksi uusien puunsuojausmenetelmien markkinoille tuominen on kallista ja vaatii pitkäjänteistä työtä ja testausta sekä myös rohkeutta. Esimerkiksi ThermoWoodilla® oli yrityspohja valmiina, minkä vuoksi sen oli verrattain helppo käynnistää tuotanto tutkimustyön valmistuttua. Modifioituja puutuotteita kannattaa kuitenkin kehittää ja markkinoilla on tilaa myös uusille kestäville puutuotteille. Etenkin tuotteiden kierrätettävyyttä ja elinkaaritarkasteluiden kasvava kysyntä ovat hyviä argumentteja modifioitujen puutuotteiden käytön lisäämisen puolesta.



EU:n kemikaaliviraston asettamat kemikaalikiellot aiheuttavat haasteita myös pintakäsittelyteollisuudelle. Maaleissa hyväksytyt biosidit vähenevät, ja kielletyt kemikaalit joudutaan korvaamaan toisilla, usein vähemmän tehokkailla biosideilla. Tämä on haastavaa, sillä samaan aikaan ilmastonmuutoksen myötä Suomen ilmasto-olosuhteet muuttuvat kosteammiksi, minkä vuoksi etenkin homeongelmat yleistyvät. Myös UV-arvot ovat nousseet ilmakehän otsonikadon myötä, mikä tehostaa puun valorapautumisen vaikutusta. Asiantuntijoiden näkemysten mukaan tämä kasvattaa puun pintakäsittelyn merkitystä puunsuojauksessa.

Kaikki asiantuntijat olivat samaa mieltä siitä, että maalien biopohjaiset sideaineet tulevat yleistymään. Vesiohenteisista akrylaateista puhuttaessa esiintyi kuitenkin ristiriitaisia näkemyksiä. Vesiohenteiset akrylaattimaalit ovat nykyisin yleisimmin käytettyjä maaleja ulkoverhouksissa niiden kestävyden ja pitkäikäisyyden vuoksi. Niillä saadaan paras, usein jopa 15 vuoden mittainen huoltomaalausväli. Osa asiantuntijoista oli sitä mieltä, että vesiohenteiset akrylaattimaalit tulevat olemaan jatkossakin suosittuja niiden toimivuutensa vuoksi. Kuitenkin osa asiantuntijoista oli sitä mieltä, että ympäristötietouden lisääntyessä muovittomuus tulee olemaan rakentamisen trendi, mikä puoltaisi näkemystä akrylaattimaalien vähenevästä käytöstä. Joka tapauksessa yhtä mieltä oltiin siitä,

että pintakäsittelyteollisuudessa ollaan menossa ekologisempaan suuntaan, osin lainsäädännöstä johtuen ja osin kuluttajien vaatimuksista johtuen. Etenkin julkisissa rakennuskohteissa tietoa tuotteen ympäristövaikutuksista saatetaan kysyä, mikä voi vaikuttaa tuotevalintaan. Näin ollen tuotevalmistajat siis kehittävät tuotevalikoimaansa ekologisempaan suuntaan, jotta tuotteiden kilpailukyky säilyy.

Myös tapa, jolla puuta pintakäsitellään, on asiantuntijoiden mukaan muuttamassa. Puiet ulkoverhoukselaudat pintakäsitellään nykyisin mahdollisimman valmiiksi, jotta työmaalla tehtävä maalausväli jäisi mahdollisimman vähäiseksi. Teollisella esimaalauksella taataan myös pidempi huoltomaalausväli, kun maalaus tehdään kontrolloiduissa ja muuttamattomissa olosuhteissa. Teollinen esimaalaus ei ole kuitenkaan kovinkaan uusi ilmiö, mutta sen merkitys on kasvanut, kun puuta käytetään yhä enemmän suurissa kohteissa, joissa maalaus- ja huoltotyöt ovat haastavampia.



Näkemykset käsittelemättömän puun käytöstä vaihtelivat. Keskustelut liittyivät pitkälti puisiin ulkoverhouksiin, sillä ne ovat kohde, jossa käsittelemättömä puuta voitaisiin ajatella käytettävän ja jossa pintakäsiteltyjä tuotteita käytetään eniten. Etenkin pintakäsittelytuotteiden edustajat olivat pitkälti sitä mieltä, että pintakäsittelyn merkitys puunsuojauksessa tulee vain kasvamaan ilmasto-olosuhteiden muuttuessa haastavammiksi.

Muutokset UV-arvoissa ja ilman suhteellisessa kosteudessa tulevat rasittamaan puuta entisestään. Ihmiset myös haluavat väriä elämäänsä jatkossakin.

Näkemyksiä käsittelemättömän puun käytön puolesta esitettiin myös. Käsittelemättömiä puuratkaisuja kannattaisi kehittää ainakin sen vuoksi, että se olisi alkuperäisestä käytöstä poistettaessaan helposti kierrätettävissä.

Jotta puuta voitaisiin käyttää käsittelemättömänä, tulisi kiinnittää huomiota entistä enemmän rakenteellisiin ratkaisuihin. Sama pätee tosin myös, kun tavoitellaan pitkiä huoltomaalausvälejä pintakäsitellyille puujulkisivuille. Järeämmät dimensiot, ilmat rakenteet, räystät ja vettä lammikoivien rakenteiden välttäminen nousivat esiin puurakenteiden ja käsiteltyjen puupintojen pitkäaikaiskestävyyttä lisäävistä rakenteellisista ratkaisuista puhuttaessa.



Termittejä ei nähty kovin suurena uhkana Suomen kannalta. Termittien ja muiden tuhohyönteisten leviäminen Suomeen ilmaston lämpenemisen myötä nähtiin kuitenkin mahdollisena tulevaisuuden skenaariona, mutta sitä ei koettu ainakaan ajankohtaisena haasteena eikä tuotekehitys ole juurikaan sen osalta muuttunut.

Termitinkestoa lisääviä rekisteröityjä puunsuojarakaisuja on olemassa ja niitä viedään lämpimiin maihin muun muassa Etelä-Euroopassa, Aasiassa ja Pohjois-Afrikassa. Tulevaisuudessa ratkaisujen toimivuus riippuu siitä, mitä biosideja

tullaan kieltämään. Uusien rekisteröityjen puunsuojien kehittäminen vaatii paljon testausta ja on kallista sekä hidasta. Modifioinnista voidaan löytää ympäristöystävällisiä ratkaisuja termiitinkestoon, mutta ratkaisujen hinta on suurin haaste niiden laajamittaiselle käytölle.



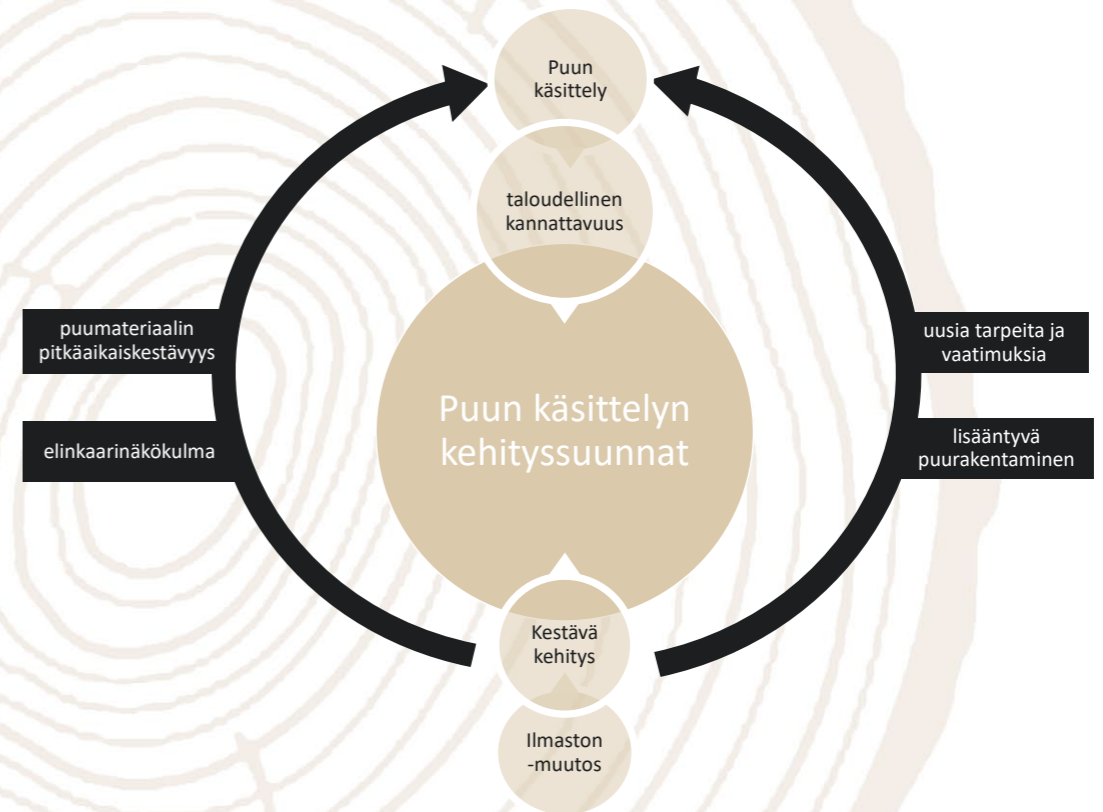
Puurakentamista lisättäessä tarve puun palosuojakäsittelyille on lisääntynyt. Palosuojakäsittelyillä on noin vuosikymmenen mittainen markkinahistoria, jonka aikana kysyntä on vuosittain kasvanut. Kysyntä on kasvanut etenkin johtuen puun käytöstä isommissa rakennuskohteissa, joissa ennen käytettiin tyypillisesti muita materiaaleja. Palosuojakäsittelyt osin mahdollistavat näiden isojen rakennuskohteiden rakentamisen puusta.

Enemmistö asiantuntijoista oli sitä mieltä, että suurimmat haasteet palosuojakäsittelyihin liittyen koskevat palotestausta. Etenkin palosuojauksen pitkäaikaiskestävyyden testaus on haastavaa. Palotestaus ja sen hinta lähinnä hidastavat tuotekehitystä ja vaikuttavat näin uusien hyväksytyjen palosuojamenetelmien syntyyn. Pieni osa haastateltavista näki palotestauksen vain pakollisena vaiheena tuotekehitystä. Palotestauksen uskotaan kuitenkin tasaantuvan tulevaisuudessa määrätietoisemmän palotestauksen myötä.

6

JOHTOPÄÄTÖKSET

Puunsuojakäsittelyteollisuuden ja puutuotteiden kehitykseen vaikuttavat hyvin monenlaiset ilmiöt. Päälimmäisenä alan kehitystä muovaavat tänä päivänä ilmastonmuutokseen ja kestäväan kehitykseen voimakkaasti liittyvät asiat. Kun puhutaan kaupallisista tuotteista on selvää, että myös markkinatalouteen liittyvät asiat vaikuttavat merkittävällä tavalla tuotteiden kehitykseen. Kaiken kehityksen päämääränä on aina lopulta tuotteiden toimivuus niille suunnatuissa käyttökohteissa. Kuva 32 havainnollistaa tutkimuksen viitekehystä.



Kuva 32. Tutkimuksen viitekehys.

Rakennusteollisuudessa käytettyjen tuotteiden ympäristöystävällisyyteen ohjataan jo osin lainsäädännölläkin. EU:n kemikaaliviraston asettamat kiellot ja uusien kieltojen uhka ovat ohjanneet tuotekehityksen vähemmän myrkyllisten tuotteiden kehitykseen. Ympäristön suojelemisen ohella lainsäädännöllä pyritään myös suojaamaan ihmisten terveyttä kemikaalien mahdollisesti aiheuttamilta riskeiltä. Markkinoille tulevat aineet on rekisteröitävä, mikä edellyttää tuotteiden testausta. Tämä osaltaan lisää tuotteiden testausta, mutta toisaalta etenkin pienempien valmistajien kohdalla nostaa kynnystä uusien tuotteiden kehittämiseen, sillä testaus- ja rekisteröintiprosessi on hidas ja kallis.

Lainsäädännön lisäksi ympäristöystävällisyyteen kannustetaan erilaisia sertifikaatteja myöntämällä. Sertifikaatteja käytetään osoittamaan tuotteiden ja rakennusten ympäristövaikutuksia. Ympäristösertifikaatteja ja tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista kysytään enenevässä määrin etenkin isoissa julkisissa rakennuskohteissa. Sertifikaatit kannustavat tuotteiden valmistajia kehittämään ja testaamaan tuotteidensa ympäristövaikutuksia, mikä osaltaan edistää tuotteiden kehittymistä ekologisempaan suuntaan.

Ilmastonmuutos aiheuttaa myös uusia haasteita tuotteille, osin suoraan ja osin välillisesti puurakentamisen lisääntymisen kautta. Suoria ilmastonmuutoksen myötä kasvavia haasteita Suomessa ovat ilman suhteellisen kosteuden lisääntyminen sekä UV-säteilyn voimistuminen otsonikadon myötä. Suhteellisen ilman-

kosteuden lisääntyessä etenkin puupintojen homeongelmat ovat lisääntyneet. Myös puutuotteiden lahonriski kasvaa ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa. Korkeammat UV-arvot puolestaan voimistavat puun harmaantumista, nukkaantumista ja lämpörapautumista. Myös termiittien levinneisyysalueiden kasvaminen on odotettavissa ilmaston lämmitessä, jolloin puutuotteiden tuohyönteiskeston merkitys kasvaa, ainakin tuotteiden vientimarkkinoilla. Termiitit saattavat tulevaisuudessa olla ongelma myös Suomessa, mutta toistaiseksi ne eivät aiheuta uhkaa Suomessa käytetyille puutuotteille.

Välillisesti ympäristöasiat lisäävät haasteita puutuotteille puurakentamisen lisääntymisen kautta, kun puuta käytetään yhä enemmän isoissa julkisissa rakennuskohteissa. Kun isoja kohteita halutaan toteuttaa puusta, etenkin palomääräykset asettavat rajoitteita puun käytölle. Palosuoja-aineilla ja myös joidenkin puun modifiointimenetelmien avulla on voitu jossain määrin lisätä puun käyttöä isoissa kohteissa. Palotuotteiden testauksessa ja etenkin palonkeston pitkäaikaiskestävyyden testauksessa on haasteita ja se on myös kallista, mikä saattaa hidastaa uusien palosuojatuotteiden markkinoille saattamista.

Kun puutuotteiden kohtaamat rasitteet kasvavat ja niille asetetut vaatimukset lisääntyvät samalla kun puunsuoja-aineissa käytettyihin kemikaaleihin tulee kieltoja, joutuu puunsuojausteollisuus erityisen haasteen eteen. Puunsuoja- tuotteiden kehittäjät joutuvat tutkimaan ympäristöystävällisempiä ja terveelli-

sempiä ratkaisuja, joiden täytyy toimia yhä haastavammassa olosuhteissa. Kemikaalikiellot saattavat toisaalta avata markkinoita modifioiduille puutuotteille, jotka ovat etenkin kalliimpien hintojensa vuoksi jääneet aiemmin vähäisemmälle käytölle.

Vaikka ympäristöhuoliin liittyvät toimet aiheuttavat haasteita suurelle osalle puutuotteista, on selvää, että ympäristöhuolista on enemmän hyötyä kuin haittaa puunsuojausteollisuudelle. Ympäristötietouden myötä puurakentaminen lisääntyy, ja kaikkien puutuotteiden kysynnän kasvun voidaan odottaa jatkuvan tulevaisuudessakin, mikä lisää tuotteiden tutkimisen, kehityksen ja myymisen kannattavuutta.

6.1 YHTEENVETO PAINEKYLLÄSTYKSEN KEHITYSSUUNNASTA

Puun kyllästysaineissa havaittuja myrkyjä on kielletty, mikä on lisännyt puunsuojausmenetelmien tutkimusta. Esimerkiksi CCA-kyllästeiden käyttökielto on lisännyt uusien kyllästysaineiden sekä ei-biosidisten modifioitujen tuotteiden tutkimus- ja kehitystyötä huomattavasti. Tämän kehitys tulee jatkumaan, sillä uhka lisääntyvistä biosidikielloista on ajankohtainen. Puun käsittelyssä käytetään edelleen ympäristölle ja terveydelle haitallisia biosidisiä kemikaaleja, joiden käyttöä katsotaan yhä kriittisemmin. Paineekyllästyksessä käytetyt myrkyt tekevät puusta käyttöikänsä päätteeksi myös ongelmajätettä, pilaten näin yhden puun parhaista ominaisuuksista, eli helpon kierrätettävyyden. Edellä mainittujen ongelmallisten seikkojen vuoksi puun kyllästyksessä käytettyjä biosideja tullaan ajansaatossa kieltämään yhä enemmän. Jo tarkoin rajoitettujen kreosoottikyllästeen täyskieltoa voidaan odottaa jo lähivuosille (Boren 2022).

Kupariöljykyllästeet tuotiin Suomen markkinoille vuoden 2020 alussa. Kupariöljykyllästeen kehitykseen ovat vaikuttaneet pääasiassa ympäristötietoisuus sekä kreosoottikyllästeen mahdolliseen käyttökieltoon valmistautuminen. (Scanpole 2020.) Kupariöljykyllästetyn puun tuominen perinteisten kyllästeiden rinnalle on esimerkki painekyllästyksen kehityssuunnasta vähemmän biosideja sisältävien ja ympäristöystävällisempien kyllästeiden suuntaan erittäin vaativassa

käytössä. On selvää, että painekyllästyksessä sallitut biosidiset aineet tulevat vähemmän, minkä vuoksi painekyllästys alkaa muistuttamaan yhä enemmän modifiointia. Biosidien väheneminen voisi pitkällä aikavälillä johtaa jopa perinteisen painekyllästyksen kieltoon. Painekyllästyksen kieltoon uskoo Aalto-yliopiston puuteknikan tohtori Lauri Rautkari (Arkkitehtuurimuseo MFA, 2021).

Painekyllästetty puu on kuitenkin edelleen markkinajohtaja haastaviin olosuhteisiin tarkoitetuissa puutuotteissa. Menetelmä on niin edullinen ja tehokas keino suojata puuta haastavissa olosuhteissa, että painekyllästyksen täyskieltoa on tuskin odotettavissa ainakaan lähivuosille. Niin kauan, kun painekyllästettyä puuta markkinoilla esiintyy, sen tuotantovolyymit tulevat luultavasti kasvamaan lisääntyneen puurakentamisen myötä, kuten on käynyt tähänkin saakka. Ilmastonmuutoksen myötä haastavammiksi muuttuvat Suomen ilmasto-olosuhteet voisivat jopa aiheuttaa painekyllästyksen puun käyttökohteiden laajenemisen esimerkiksi ulkoeristykseen (Springare 2022).

6.2 YHTEENVETO PUUN MODIFIOINNIN KEHITYSSUUNNASTA

Vain harvat modifioidut puutuotteet ovat menestyneet markkinoilla. Modifioitujen puutuotteiden verrattain heikkoa markkina-asemaa selittävät ainakin tuotteiden kallis hinta sekä markkinoilta jo löytyvät tehokkaat ja edulliset vaihto-

ehdot puunsuojaukseen, kuten painekyllästetty puu.

ThermoWood® -lämpömodifiointimenetelmä on parhaiten vakiintunut modifiointimenetelmä, jonka menestystä selittävät sen valmistusprosessi, jossa käytetään vain lämpöä ja vesihöyryä, sekä valmistuslaitteistoon vaadittavat verrattain edulliset investointikustannukset. Prosessin kehitystyön taustalla oli myös laaja yritysperusta, joka otti menetelmän käyttöönsä kehitystyön valmistuttua. Tämä oli suuri etu, sillä menetelmien kaupallistaminen vaatii pitkäjänteistä työtä ja testausta, rahaa sekä rohkeutta. Suomessa ThermoWoodin® menestystä selittää myös sen kotimaisuus. Nykyisin ThermoWoodin® toimivuudesta on myös kokemusta ja näyttöjä, mikä on tärkeää, jotta asiakkaat saadaan vakuutuneeksi tuotteesta ja tuote voi menestyä. Tuotteen toimivuus on asiantuntijoiden mukaan lopulta tärkein tuotteen menestykseen vaikuttava tekijä.

Asetyloitu puutuote Accoya® ja furfuroitu puutuote Kebony® ovat myös onnistuneet tuotteidensa saattamisessa kaupalliselle asteelle. Accoyan® ja Kebonyn® hintaa kasvattaa ainakin prosessissa käytettyjen kemikaalien hinta. Molemmat tuotteet ovat kuitenkin vahvistaneet laajentavansa tuotantokapasiteettiaan lähiaikoina. Tuotantokapasiteetin kasvaessa on odotettavissa myös tuotteen hinnan alenemista, jolloin tuotteiden kysyntä ja käyttö tulevat lisääntymään. Kebonysta® ja Accoyasta® alkaa olla käyttökokemuksia jo pidemmältä ajalta, mutta Suomessa niiden käyttö on vielä uutta ja myös vähäistä. Kun näis-

tä tuotteista saadaan kokemuksia myös Suomen olosuhteista ja tuotteet saavat lisää näkyvyyttä, voi näiden modifioitujen tuotteiden käyttö yleistyä Suomesakin.

Toisaalta modifioitujen tuotteiden vähäistä käyttöä Suomessa selittänee myös tuotteiden kaukainen alkuperä, mikä kasvattaa tuotteiden hiilijalanjälkeä ja ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi Accoyaan® käytetty radiatamänty kasvatetaan Uudessa-Seelannissa, josta puun kuljettaminen tehtaalle Alankomaihin ja siitä edelleen Suomeen, voidaan nähdä kyseenalaisena, vaikka puun elinkaari kuinka piteneisi (Arkkitehtuurimuseo MFA 2021, Lillqvist 2022).

Ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja siihen liittyvien elinkaaritarkasteluiden kasvava kysyntä ja puurakentamisen lisääntyminen tulevat kuitenkin avaamaan markkinoita yhä enemmän modifioituille puutuotteille ja siten modifioitujen puutuotteiden merkitys puunsuojauksessa tulee kasvamaan. Modifioidun puun helppo kierrätettävyys on painekyllästyksen ja pintakäsittelyn puuhun verrattuna suuri etu, joka kasvattaa ympäristötietouden lisääntyessä merkitystään. Pitkällä aikavälillä biosidiregulaatioiden lisääntyessä modifioiduista tuotteista saattaa jopa tulla puunsuojateollisuuden uusi normaali. Tämä edellyttää kuitenkin tuotteiden hintojen alenemista sekä lisää näyttöjä tuotteiden toimivuudesta.

6.3 YHTEENVETO PUUN PINTAKÄSITTELYN KEHITYSSUUNNASTA

Kuten painekyllästysolosuhteita myös pintakäsittelyolosuhteita uhkaa EU:n kemikaaliviraston asettamien kemikaalikieltojen lisääntyminen. Esimerkiksi pinnoitteissa käytettyjen bisfenoli A:n, formaldehydin ja pigmenttinä käytetyn titaanidioksidin käyttöä on jo rajoitettu (Aalto yliopisto 2021). Kun maaleissa hyväksytyt biosidit vähenevät, kielletyt kemikaalit joudutaan korvaamaan uusilla, usein vähemmän tehokkailla aineilla. Samalla Suomen ilmasto-olosuhteet muuttuvat puupinnoille yhä haastavammiksi UV-säteilyarvojen kasvaessa ja ilman suhteellisen kosteuden lisääntyessä. Ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa etenkin puupintojen homeongelmat ovat lisääntyneet. Homeongelmat voivat lisääntyä entisestään kun homeen kasvua ehkäiseviä fungisidejä kielletään. Homeongelmien lisääntymisen myötä rakennusten homepesut tulevat luultavasti yleistymään myös Suomessa. Asiantuntijat odottavat UV-arvojen kasvattavan pintakäsittelyn merkitystä puunsuojauksessa entisestään. Maaleissa on havaittavissa myös yhä enemmän biopohjaisten sideaineiden käyttöön siirtyminen. Tämä tulee näkymään esimerkiksi vanhojen keittomaalien ja pellavaöljymaalien lisääntyvässä käytössä, mutta myös uusien kasviperäisten ratkaisujen kehittämisessä. Esimerkiksi puuteollisuuden sivutuotteena syntyvää ligniiniä on tutkittu puunsuojaineena ja sillä on todettu olevan

korroosiota ja jääymistä estäviä, vettä-hylkiviä sekä antibakteerisia ja UV-säteilyltä suojaavia vaikutuksia (Aalto yliopisto 2021).

Nykyisin parhaat 10 – 15 vuoden huoltomaalausvälit puupinnoille saadaan vesiohenteisilla akrylaattimaaleilla. Biopohjaisten maalien suosion lisääntyessä ja toisaalta ympäristötietoisuuden myötä kasvava muovittomuuden trendi tulevat luultavasti vaikuttamaan muovipohjaisten akrylaattimaalien suosioon tulevaisuudessa. Tällä hetkellä niiden asema on kuitenkin vahva, johtuen niiden toimivuudesta ja pitkistä huoltomaalausväleistä. Pitkät huoltomaalausvälit ja tuotteiden pitkäaikaiskestävyys ovat selkeitä ympäristöasioihin, mutta myös talouteen ja resursseihin liittyviä tavoitteita. Etenkin puurakentamisen lisääntyminen isoissa julkisissa kohteissa - joissa huoltomaalaus on haastavampaa - lisää pidemmän huoltomaalausvälin merkitystä.

Maalauksen tapa on siirtynyt pitkälti tehdasmaalaukseen, jossa puupinnat maalataan kontrolloiduissa olosuhteissa ennen työmaalle viemistä. Nykyään suurin osa ulkoverhouslaudoista toimitetaan työmaille pohja- tai välimaalattuina sekä lisääntyvässä määrin jopa täysin teollisesti valmiiksi maalattuina. Kontrolloiduissa olosuhteissa tehtävällä maalauksella voidaan varmistaa pintakäsittelylle mahdollisimman pitkä huoltomaalausväli.



Kuva 33. Ligniinillä käsitelty jakkara.
(Fotoni Film & Communications 2021.)

6.4 JATKOTUTKIMUS- EHDOTUKSET

Tutkimuksessa havaittujen kehityssuuntien jatkotutkimukselle on varmasti kysyntää ja esimerkiksi ympäristöystävällisiä puunsuojamenetelmiä ja biopohjaisia puunsuoja-aineita tutkitaan jo paljon. Tuotekehitys vaatii kuitenkin jatkuvaa tutkimustyötä. Esimerkiksi puuteollisuuden sivutuotteena syntyvän ligniinin käyttöä ja ligniinikäsittelyn yhdistämistä osaksi tuotantoketjua voisi tutkia lisää. Erialaisten puunsuojamenetelmien kokonaisvaltaisia elinkaarivaikutuksia ja pitkäaikaiskestävyydellä saavutettuja ekologisia ja taloudellisia hyötyjä olisi myös hyvä tutkia lisää, jotta saataisiin enemmän vertailukelposta tietoa eri materiaalien hyödyistä. Vain harvoista puutuotteista on saatavilla elinkaaritarkasteluja. Suomessa käytetään lämpökäsitellyn puun lisäksi vain todella vähän modifioituja puutuotteita, mikä osittain selittyy niiden kaukaisesta alkuperästä. Esimerkiksi asetyloidun puun tutkiminen ja valmistaminen paikallisesti suomalaisesta puusta kannattaisi, sillä puutuotteiden tuominen kaukaa on eettisesti kyseenalainen ratkaisu, varsinkin kun osaamista ja raaka-aineita Suomesta löytyy.

Puun pitkäaikaiskestävyyttä tavoiteltaessa myös arkkitehtisuunnittelijoiden tulisi yhä enemmän tutkia puun pitkäaikaiskestävyyttä lisääviä rakenneratkaisuja omassa suunnittelutyössään. Tämä voisi mahdollistaa täysin käsittelemättömän puun käyttöä, mutta myös pidentää suojakäsittelyjen rakenteiden elinkaarta sekä vähentää tehtävien huoltotoimien ja siten myös huoltokustannusten määrää.

LÄHTEET

- Aalto yliopisto. 2021. Biopohjainen puunsuoja päihittää perinteiset synteettiset vaihtoehtot. Aalto yliopisto. Viitattu: 15.4.2022 Saatavissa: <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/biopohjainen-puunsuoja-paihittaa-perinteiset-synteettiset-vaihtoehtot>>
- Accsys. 2022. A. Accoya®. Viitattu: 18.1.2022. Saatavissa: <<https://www.accoya.com>>
- Accsys. 2022. B. Sustainability at the heart of construction. Accoya®. Viitattu: 18.1.2022. Saatavissa: <<https://www.accoya.com/uk/project/wood-city/#project-gallery-4>>
- Accsys. 2021. Accsys welcomes arrival of fourth Accoya® wood acetylation reactor. Viitattu 23.2.2022. Saatavissa: <<https://www.acsysplc.com/acsys-welcomes-arrival-of-fourth-accoya-wood-acetylation-reactor/>>
- Ala-Viikari, J. 2022. Sähköposti- ja Teams-videokeskustelu.
- Alfredsen, G. & Pilgård, A. 2014. Postia placenta decay of acetic anhydride modified wood – Effect of Leaching. Wood Material Science and Engineering 9(3): 162–169. Viitattu 18.1.2022.
- Arkkitehtuurimuseo MFA. 2021. "Puhutaan puusta -keskusteluklubi / Lauri Rautkari: Tulevaisuuden puutuotteet" YouTube video, 23:55, julkaistu 27.4.2021 Viitattu: 7.2.2022 Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=_4R9H9vP0R8>
- Boren, H. 2010. Tulevaisuuden sähköpylväs. Energiateollisuus Ry. Viitattu: 18.2.2022. Saatavissa: <https://energia.fi/files/1043/Tulevaisuuden_sahkopylvaat_loppuraportti.pdf>
- Boren, H. 2022. Sähköposti- ja Teams-keskustelu.
- Buczowski, G., & Bertelsmeier, C. 2017. Invasive termites in a changing climate: A global perspective. Ecology and evolution, 7(3), 974-985. Viitattu: 7.2.2022
- Cai, M., Fu, Z., Cai, Y., Li, Z., Xu, C., Xu, C., & Li, S. 2018. Effect of impregnation with maltodextrin and 1, 3-dimethylol-4, 5-dihydroxyethyleneurea on Poplar wood. Forests, 9(11), 676. Viitattu: 19.2.2022.
- CEN. 2016. Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. EN 350:2016. (Brussels: CEN - European Committee for Standardization). Viitattu: 19.2.2022.
- Coatings.fi. 2022. Palosuojamaali puulle. Viitattu: 4.4.2022. Saatavissa: <<https://www.coatings.fi/palosuojamaali-puulle/>>
- Collins, S. 2018. What is charred wood (Shou Sugi Ban)?. Bridger Steel Inc. Viitattu: 15.3.2022. Saatavissa: <<https://www.bridgersteel.com/blog/what-is-charred-wood>>
- Construction canada. 2017. Building Green With Modified Wood: Using acetylated wood to take sustainability to new levels. Kenilworth Media Inc. Viitattu: 11.3.2022. Saatavissa: <<https://www.constructioncanada.net/building-green-modified-wood-using-acetylated-wood-take-sustainability-new-levels/3/>>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 528/2012 biosidivalmisteiden asettamisesta saataville markkinoilla ja niiden käytöstä. Viitattu: 4.4.2022
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista, Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta (REACH-asetus). Viitattu: 7.2.2022
- Feist, W. C., & Hon, D. N. S. 1984. Chemistry of weathering and protection. The chemistry of solid wood, 207, 401-451. Viitattu: 19.2.2022.
- Freeman, M. H., Shupe, T. F., Vlosky, R. P., & Barnes, H. M. 2003. Past, present, and future of the wood preservation industry. Forest products journal, 53(10), 8. Viitattu: 19.2.2022.
- Gibson, S. 2016. TimberSIL May Live to See Another Day. Fine Homebuilding. Viitattu: 19.2.2022. Saatavissa: <<https://www.finehomebuilding.com/2016/04/27/timbersil-may-live-to-see-another-day>>
- Goldsteijn 2020. Life Cycle Assessment (LCA) explained. PRé Sustainability B.V. Viitattu: 8.3.2022. Saatavissa: <<https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/>>
- Graham, R. D. 1973. History of wood preservation. Wood deterioration and its prevention by preservative treatments, 1, 1-30. Viitattu: 18.1.2022.
- Hill, C.A.S. 2006. Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. Viitattu: 18.1.2022.
- Holmi, T. 2022. Sähköposti- ja Teams-videokeskustelu.
- Homan, W. J. & Jorissen, A. J. M. 2004. Wood modification developments. Heron, Vol. 49 No. 4. 2004. Viitattu: 18.1.2022. Saatavissa: <<http://heronjournal.nl/49-4/5.pdf>>
- Hon, DN-S. 2000. Weathering and photochemistry of wood. Hon, DN-S., Shiraishi, N., (toim.), Wood and cellulosic chemistry. 2nd ed. New York, Marcel Dekker. 512–46. Viitattu: 18.1.2022.
- HSY. 2022. Jätteet ja kierrätys. HSY. Viitattu: 11.4.2022 Saatavissa: <<https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/>>
- Ilmatieteen laitos. 2022. Ilmastonmuutoskysymyksiä. Ilmatieteen laitos. Viitattu: 29.3.2022 Saatavissa: <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksia>>
- International Thermowood® Association. 2021. ThermoWood® Handbook. International Thermowood® Association. Helsinki. Viitattu: 13.1.2022. Saatavissa: <<https://www.thermowood.fi/esitteet-ja-kirjat>>
- Isoaho, I. 2022. Sähköposti- ja Teams-videokeskustelu.
- Kebony®. 2021. Kebony® raises EUR 30 million in funding round led by Jolt Capital and Lightrock. PR Newswire. 28.10.2021. Viitattu: 23.2.2021. Saatavissa: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/kebony-raises-eur-30-million-in-funding-round-led-by-jolt-capital-and-lightrock-301409941.html>>
- Kebony®. 2022. A. The Modification Process. Kebony®. Viitattu: 19.1.2022. Saatavissa: <<https://us.kebony.com/technology/the-process/>>

- Kebony®. 2022. B. Boardwalk decking. Viitattu: 19.1.2022. Saatavissa: <<https://us.kebony.com/products/decking/boardwalk/>>
- Kemianteollisuus. 2018. Terva rekisteröitiin ajoissa. Viitattu: 15.4.2022. Saatavissa: <<https://www.kemianteollisuus.fi/fi/uutishuone/uutiset/terva-rekisteroitin-ajoissa/>>
- Kemikaalilaki 2013/599. Annettu Helsingissä 9.8.2013. Viitattu: 4.4.2022. Saatavissa: <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130599>>
- Kestopuuteollisuus Ry. 2012. Paineekyllästetty puu. Viitattu: 8.2.2022.
- Kestopuuteollisuus Ry. 2020. Kyllästysteollisuus Suomessa. Kestopuu.fi. Viitattu: 11.3.2022. Saatavissa: <<https://www.kestopuu.fi/kestopuuteollisuus-ry.html>>
- Kestopuuteollisuus Ry. 2022. Kestopuu. Viitattu: 13.3.2022. Saatavissa: <<https://www.kestopuu.fi/>>
- Kiema, S. Niemelä, T. Terho, M. 2012. Sienet ja laho Helsingin puissa. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2012:8 Viitattu: 24.1.2022
- Kuopion kaupunki. 2022. Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset. Kuopio.fi. Viitattu: 10.4.2022 Saatavissa: <<https://www.kuopio.fi/ilmastonmuutos-ja-sen-vaikutukset>>
- Larsson Brelid, P. 2013. Benchmarking and state of the art for modified wood. Viitattu: 24.1.2022.
- Lemin kirjava. 2017. Kirkon katto uuteen tervaän. Leminkirjava.fi. Viitattu: 15.4.2022 Saatavissa: <<https://www.leminkirjava.fi/2017/06/kirkon-katto-uuteen-tervaan/>>
- Lillqvist, K. 2022. Sähköposti- ja Teams-videokeskustelu.
- Mantanis, G. I. 2017. Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: A review of the present scaled-up technologies. *BioResources*, 12(2), 4478-4489. Viitattu: 24.2.2022.
- Motiva Oy. 2021. Ympäristömerkintä. Motiva.fi. Viitattu: 16.3.2022. Saatavissa: <<https://www.motiva.fi/ratkaisut/ymparistomerkinna>>
- Mullennix, B. 2022. Using Orange Oil to Treat Dry Wood Termites. *The Spruce*. Viitattu: 21.4.2022. Saatavissa: <<https://www.thespruce.com/orange-oil-to-treat-drywood-termites-2656314>>
- Museovirasto. 2000. Keittomaali. Korjauskortisto 12. Viitattu: 28.2.2022. Saatavissa: <<https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/korjauskortti-12.pdf>>
- Möttönen, V., Boren, H., & Herajärvi, H. 2018. Puun ominaisuuksien modifiointi: Menetelmät ja tutkimuksen tila. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2018 Viitattu: 24.1.2022.
- Nikkola, J. 2022. Sähköposti- ja Teams-videokeskustelu.
- Nordtreat. 2022. A. Puun palosuojaus: puutuotteet ja paloturvallisuus. Nordtreat.com. Viitattu: 9.2.2022. Saatavissa: <<https://www.nordtreat.com/fi/resurssit/puun-palosuojaus>>
- Nordtreat. 2022. B. NT DECO. Nordtreat.com. Viitattu: 10.2.2022. Saatavissa: <<https://www.nordtreat.com/fi/palonsuoja-aineet/nt-deco>>
- Novenberg Oy. 2020. Shou-sugi-ban hiilleytetyt verhoustuotteet. Viitattu: 12.4.2022. Saatavissa: <<https://novenberg.fi/shou-sugi-ban/>>
- OrganoWood® AB. 2019. OrganoWood Stud timber – product datasheet. Organo-wood.com. Viitattu 18.2.2022. Saatavissa: <<https://organowood.com/en/documents/>>
- OrganoWood® AB. 2022. Pintakäsittely. Organowood.com. Viitattu: 3.4.2022 Saatavissa: <<https://organowood.com/fi/puunsuoja/>>
- Parkkonen, S. 2007. Tervan käyttöä puun kyllästeenä ei kielletä. Helsingin sanomat. Viitattu: 15.4.2022. Saatavissa: <<https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000004471518.html>>
- Petrič, M. 2013. Surface modification of wood: a critical review. *Reviews of Adhesion and Adhesives* 1: 216–247. Viitattu: 13.2.2022.
- Platowood. 2022. A. Benefits. Platowood.com. Viitattu: 12.3.2022. Saatavissa: <<https://www.platowood.com/why-platowood/benefits/>>
- Platowood. 2022. B. Platonizing. Platowood.com. Viitattu 12.3.2022. Saatavissa: <<https://www.platowood.com/why-platowood/platonizing/>>
- Puuinfo. 2020. A. Puun ominaisuudet. Puuinfo.fi. Viitattu: 24.1.2022. Saatavissa: <<https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/>>
- Puuinfo. 2020. B. Julkiset rakennukset. Puuinfo.fi. Viitattu: 14.3.2022. Saatavissa: <<https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/julkiset-rakennukset/kahvilapaviljonki-birgitta/>>
- Puuinfo. 2020. C. Puupinnat. Puuinfo.fi. Viitattu: 1.3.2022. Saatavissa: <<https://puuinfo.fi/puupinnat/>>
- Puuproffa. 2022. Pintakäsittelytavat. Puuproffa.fi. Viitattu: 1.3.2022. Saatavissa: <<https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/>>
- Rajala, S. 2017. Uuden talon maalaus - amatöörin opit ja maalausvinkit. *Etuovi.com*. Viitattu: 21.4.2022. Saatavissa: <<https://www.etuovi.com/koti/blogi/uuden-talon-maalaus-amatoorin-opit-ja-maalausvinkit/>>
- Reinprecht. 2016. Wood deterioration, protection, and maintenance. John Wiley & Sons Incorporated. Viitattu: 13.2.2022.
- Rowell, R. M., & Dietsberger, M. A. 2013. Thermal properties, combustion, and fire retardancy of wood. *Handbook of wood chemistry and wood composites*, 127-149. Viitattu: 26.2.2022.
- RT 08-11229 (KH 90-00601). 2016. Puurakenteiden tuohyönteiset ja niiden torjunta. *Rakennustietosäätiö RTS*. Viitattu: 25.1.2022.
- RT 08-11286 (KH 90-00653). 2017. Puurakenteiden home- ja lahottajasienet sekä bak-teerit. *Rakennustietosäätiö RTS*. Viitattu: 25.1.2022.
- RT 103131. 2019. Rakennuksen paloluokan määrittäminen ja keskeiset palotekniset vaatimukset. *Rakennustietosäätiö RTS*. Viitattu: 9.2.2022.
- RT 21-11287. 2017. Kyllästetty puutavara. *Rakennustietosäätiö RTS*. Viitattu: 7.2.2022.
- Sandberg, D., Kutnar, A., & Mantanis, G. 2017. Wood modification technologies-a review. *Iforest-Biogeosciences and forestry*, 10(6), 895. Viitattu: 10.2.2022.
- Scanpole. 2020. Hiilikaivosten tukipaaluista moderniin infrarakentamiseen. *Scanpole.com*. Viitattu: 21.4.2022. Saatavissa: <<https://www.scanpole.com/tuotteet/pylvaat/tuotantoketju/>>

SFW Construction. 2022. Eugene Dry Rot Repair. Sfvconstruction.com. Viitattu: 10.4.2022. Saatavissa: <<https://sfwconstruction.com/eugene-dry-rot-repair/>>

Smeland, K. A., Liland, K. H., Sandak, J., Sandak, A., Gobakken, L. R., Thiis, T. K., & Burud, I. 2016. Near infrared hyperspectral imaging in transmission mode: assessing the weathering of thin wood samples. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 24(6), 595-604. Viitattu: 10.4.2022.

Springare, E. 2022. Sähköposti ja Teams-videokeskustelu.

Suojanen, E. 2006. Tervaperinne jatkuu EU:n poikkeusluvalla. Turun sanomat. Viitattu: 15.4. 2022. Saatavissa: <<https://www.ts.fi/uutiset/1074146405>>

Suomen Luonnonmaalit Oy. 2016. Terva puunsuojauksessa. Suomenluonnonmaalit.fi. Viitattu: 15.4.2022. Saatavissa: <<https://suomenluonnonmaalit.fi/terva-puunsuojauksessa/>>

Teknos Oy. 2022. A. Pieni maalisanasto. Teknos.com. Viitattu: 1.3.2022. Saatavissa: <<https://www.teknos.com/fi-FI/kuluttajat-ja-ammattilaiset/maalausohjeet/pieni-maalisanasto/>>

Teknos Oy. 2022. B. Puupintojen palosuojamaalaus. Teknos.com. Viitattu: 10.2.2022. Saatavissa: <<https://www.teknos.com/fi-FI/teollisuus/erikoispinnoitteet/palosuojaus-ja-kuumankestavat-tuotteet/puun-palosuojamaalaus/>>

The Proceedings of the Third Conference on Wood Modification. 2007. Viitattu: 1.2.2022.

Tikkurila Oyj. 2022. A. Sideaineiden ja maalityyppien kehityksestä. Tikkurila.fi. Viitattu: 6.3.2022. Saatavissa: <<https://tikkurila.fi/pro/artikkeli/sideaineiden-ja-maalityyppien-kehityksesta>>

Tikkurila Oyj. 2022. B. Fontefire WF. Tikkurila.fi. Viitattu: 10.2.2022. Saatavissa: <<https://tikkurila.fi/teollisuus/tuotteet/fontefire-wf>>

Tikkurila Oyj. 2022. C. Ultra Classic. Tikkurila.fi. Viitattu: 15.4.2022. Saatavissa: <<https://tikkurila.fi/tuotteet/ultra-classic>>

Tikkurila Oyj. 2022. D. Parketti-Ässä 20. Tikkurila.fi. Viitattu: 15.4.2022 Saatavissa: <<https://tikkurila.fi/tuotteet/parketti-assa-20>>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). 2022. A. Arseenilla kyllästetyn puun käyttö vain ammattimaisesti. Tukes.fi. Viitattu: 20.1.2022. Saatavissa: <<https://tukes.fi/kemikaalit/biosidit/biosidien-turvallinen-ja-kestava-kaytto/arseenin-kayton-rajoitukset>>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). 2022. B. Biosidivalmisteiden hyväksyminen. Tukes.fi. Viitattu: 4.4.2022. Saatavissa: <<https://tukes.fi/kemikaalit/biosidit/biosidivalmisteiden-hyvaksyminen>>

Työ ja elinkeinoministeriö. 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiastaan vuoteen 2030. Tem.fi. Viitattu: 5.2.2022 Saatavissa: <<https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>>

Uula Color Oy. 2022. A. Uula pellavaöljymaali. Uula.fi. Viitattu: 15.4.2022 Saatavissa: <<https://www.uula.fi/tuotteet/ulkomaalit/uula-pellavaoljymaali/>>

Uula Color Oy. 2022. B. Uula keittomaali – Aito punamultamaali. Uula.fi. Viitattu: 15.4.2022 Saatavissa: <<https://www.uula.fi/tuotteet/ulkomaalit/uula-keittomaali-aito-punamultamaali/>>

Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012. Viitattu: 16.3.2022.

Väärä, T., & Turunen, H. 2014. Modifioidut puutuotteet. Viitattu: 16.1.2022.

World Green Building Council, 2019. Bringing Embodied Carbon Upfront. Pdf-tiedosto. Viitattu: 4.2.2022. Saatavissa: <https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/09/2.-WorldGBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront_CONFIDENTIAL_190919_media-release-v5.pdf>

Yleisradio Oy. 2003. EU kieltämässä tervan käytön puun suojana. Yle.fi. Viitattu: 15.4.2022. Saatavissa: <<https://yle.fi/uutiset/3-5146119>>

Ympäristömerkintä Suomi Oy. 2021. A. Tuotteet ja palvelut. Joutsenmerkki.fi. Viitattu: 15.3.2022. Saatavissa: <<https://joutsenmerkki.fi/tuotteet-ja-palvelut/>>

Ympäristömerkintä Suomi Oy. 2021. B. Joutsenmerkitty rakentaminen kasvussa – laatua, vähähiilisyttä ja hyvää sisäilmaa arvostetaan. Joutsenmerkki.fi. Viitattu: 15.3.2022. Saatavissa: <<https://joutsenmerkki.fi/joutsenmerkitty-rakentaminen-kasvussa-latua-vahahiilisytta-ja-hyvaa-sisailmaa-arvostetaan/>>

Ympäristöhallinto. 2017. Pentakloorifenoli (PCP). Ympäristö.fi. Viitattu 8.2.2022. Saatavissa: <<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B4F88A1D4-5C52-454A-B671-A94244530199%7D/134723>>

Ympäristöministeriö. 2016. Puurakentamisen ohjelma. Ym.fi. Viitattu: 5.2.2022. Saatavissa: <<https://ym.fi/puurakentaminen>>

Ympäristöministeriö. 2022. A. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ym.fi. Viitattu: 11.4.2022 Saatavissa: <<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>>

Ympäristöministeriö. 2022. B. CE-merkintä. Ym.fi. Viitattu: 20.1.2022. Saatavissa: <<https://ym.fi/ce-merkinta>>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Viitattu: 9.2.2022.

Fotoni Film & Communications. 2021. Biopohjainen puunsuoja päihittää perinteiset synteettiset vaihtoehdot. Aalto yliopisto. Viitattu: 15.4.2022 Saatavissa: <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/biopohjainen-puunsuoja-paihittaa-perinteiset-synteettiset-vaihtoehdot>>

KUVALUETTELO

- Kuva 1.** Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaikutus puun kosteuspuiteeseen. (Puuinfo 2020, A.)
- Kuva 2.** Puun solukon kuivuminen. (Puuinfo 2020, A.)
- Kuva 3.** Lahottajasienen aiheuttamia muutoksia rakennuksen kantavissa rakenteissa. (SFW Constructuion 2022.)
- Kuva 4.** Homesieni kehittyy herkästi ulkoilmaan rajoittuvilla pinnoilla. (RT 08-11286, 2017.)
- Kuva 5.** Mahdollinen skenaario termiittien levinneisyydestä vuonna 2050. (Buczowski & Bertelsmeier, 2017.)
- Kuva 6.** Vuosirenkaiden aiheuttamia muutoksia kuivuneen sahatavaran leikkausprofiilissa. (Puuinfo 2020, A.)
- Kuva 7.** Sään aiheuttamia epätasaisia muutoksia. (Smeland ym. 2016)
- Kuva 8.** Tuotteen elinkaaritarkastelun tarkasteluvaiheet. (Goldsteijn 2020.)
- Kuva 9.** Joutsenmerkittyjen rakennuskohteiden määrä. (Joutsenmmerkki 2021.)
- Kuva 10.** Paineekyllästysprosessin vaiheet. (Cai ym. 2018. Tekijän muokkaama.)
- Kuva 11.** Kestopuusta rakennettu terassi. (Kestopuuteollisuus Ry, 2022.)
- Kuva 12.** Kestopuun tuotanto vuosina 2000 - 2020. (Kestopuuteollisuus ry 2020)
- Kuva 13.** Kaaviokuva havainnollistaa modifioinnin vaikutukset puun soluseinämässä. (Sandberg ym. 2017. Tekijän muokkaama.)
- Kuva 14.** ThermoWood®-tuotteella toteutettu patio. (International ThermoWood® Association 2021.)
- Kuva 15.** Esimerkki ThermoWood®-menetelmästä ajan ja lämpötilan funktiona pohjoismaiseen havupuuhun ja Thermo-D -luokkaan toteutettuna. (International ThermoWood Association 2021.)
- Kuva 16.** ThermoWood® tuotteiden vuosittaisten tuotantomäärien kehitys kuutiometreinä. (International ThermoWood® Association 2021.)
- Kuva 17.** Asetylointiprosessi. (Construction Canada 2017.)
- Kuva 18.** Asetyloidut ja modifioimattomat puupaneelit altistettuna säävaihtelulle viideksi vuodeksi. (Larsson 2013, tekijän muokkaama.)
- Kuva 19.** Accoya® -tuotteella toteutettu julkisivu Helsingin Jätkäsaareen rakennetussa kerrostalossa. (Accsys 2022, B)
- Kuva 20.** Kebony® terassilaudoituksella toteutettu kävelykatu. (Kebony® 2022, B.)
- Kuva 21.** Pääosin OrganoWood® -tuotteilla toteutettu maauimala Tanskan Århusissa. (OrganoWood® AB 2019)
- Kuva 22.** Hiilletystä puusta valmistettu ulkoverhous Helsingin Hernesaareen rakennetussa ravintola Birgitassa. (Puuinfo 2020, B.)
- Kuva 23.** Tikkurila Ultra-polyakrylaattimaalilla maalattu puujulkisivu. (Tikkurila 2022, C)
- Kuva 24.** Uula pellavaöljymaalilla maalattu puujulkisivu. (Uula Color Oy 2022, A)
- Kuva 25.** Uula keittomaalilla maalattu ovi. (Uula Color Oy 2022, B)
- Kuva 26.** Lakattu puulattia. (Tikkurila Oyj 2022, D)
- Kuva 27.** Kirkon kattoa tervataan uudelleen. (Lemin kirjava 2017.)
- Kuva 28.** Kupariöljyllä kyllästettyjä puupylväitä. (Scanpole 2020.)
- Kuva 29.** Teollisella pohjamaalauksella tai täysin valmiiksi maalatuilla tuotteilla voidaan vähentää työmaalla tehtäviä maalaustöitä sekä varmistaa maalauksen hyvä laatu. (Rajala 2017.)
- Kuva 30.** Termiitit vahingoittavat puurakenteita syömällä puuhun laajoja luolaverkostoja. (Mullennix 2022.)
- Kuva 31.** Oikein rakennettuna hirsirakennukset kestävät ilman minkäänlaisia suojakäsittelyitä. (Puuproffa 2022.)
- Kuva 32.** Tutkimuksen viitekehys.
- Kuva 33.** Ligniinillä käsitelty jakkara. (Fotoni Film & Communications 2021.)

TAULUKKOLUETTELO

- Taulukko 1.** Lahottajasienten tyypillisiä kasvuolosuhteita. (RT 21-10880 2017.)
- Taulukko 2.** Euroluokituksen paloluokkien ominaisuudet. (Nordtreat 2022)
- Taulukko 3.** Kyllästysluokat. (RT 21-11287. 2017. 1-2.)
- Taulukko 4.** Palosuojapinnoitteet. (Nordtreat 2022, Teknos 2022, Tikkurila 2022)
- Taulukko 5.** Lista haastateltavista asiantuntijoista.

LIITE A: HAASTATTELUTEEMAT JA -KYSYMYKSET

Teema 1: Paineekyllästys.

- Ajansaatossa on kielletty kyllästyskäsittelyaineita kuten arseenia sisältävät CCA-kyllästeet, onko näille löydetty tehokasta korvaajaa?
- Miltä perinteisen painekyllästetyn puun tulevaisuus näyttää?
- Tulevatko modifioidut puutuotteet syrjäyttämään painekyllästetyn puun?

Teema 2: Ilmastonmuutos.

- Ilmasto- ja ympäristöhuolet ovat lisänneet modifioitujen puutuotteiden kysyntää, näkyvätkö huolet modifioitujen puutuotteiden kehityksessä tänä päivänä?
- Puurakentamista on lisätty ja lisätään edelleen osana Suomen ilmastostrategiaa, vaaditaanko puurakentamisen lisääntymisen myötä puulta enemmän?

Teema 3: Kaupalliset modifiointimenetelmät.

- Lämpökäsitelty puu on ollut modifioiduista tuotteista kaupallisesti menestynein, onko tulossa muita?
- Miksi vain harvat modifioidut puutuotteet ovat menestyneet kaupallisesti? (Thermo-Wood®, Accoya®, Kebony®)

Teema 4: Palosuojaus.

- Nykyisillä palosuojakäsittelyillä puun paloluokkaa voidaan nostaa D-luokasta C- ja B- luokkiin asti, mahdollistaako tämä puun käytön lisäämistä rakentamisessa?
- Palosuojapintakäsittelyt vaativat ulkotiloissa säännöllistä huoltokäsittelyä, voidaanko modifioinnilla saavuttaa pysyvämpää vaikutusta puun palonkestoon?

Teema 5: Termiitinkesto.

- Ilmastonmuutoksen myötä termiittien levinneisyysalueet kasvavat, voidaanko modifioinnilla parantaa puun termiitinkesto.

Teema 6. Entä jos puu jätetään käsittelemättä?

- Mahdollisuus pienentää tuotteen hiilijalanjälkeä ja huoltotyötä ja -kustannuksia?
- Kuinka laajasti käsittelemätöntä puuta voitaisiin käyttää Suomen haastavassa ilmastossa?

LIITE B: HAASTATTELUTEEMAT JA -KYSYMYKSET

Teema 1: Puun pintakäsittelytuotteiden kehitys.

- Mitkä ovat nykyisin kysytyimpiä puun pintakäsittelytuotteita?
- Onko tiettyjen puun pintakäsittelytuotteiden kysynnässä ja kysynnän muutoksessa selviä eroja?
- Mitkä ovat puun pintakäsittelyn tärkeimmät kehityssuunnat ja mihin nykypäivän tuotekehitys keskittyy?

Teema 2: Ilmastonmuutos.

- Puurakentamista on lisätty ja lisätään edelleen osana Suomen ilmastostrategiaa, vaaditaanko puurakentamisen lisääntymisen myötä puulta ja puun pintakäsittelytuotteilta enemmän?
- Näkyykö ilmasto- ja ympäristöhuolet ja lisääntyminen puurakentaminen puun pintakäsittelyaineiden tuotekehityksessä tänä päivänä?

Teema 3: Palosuojakäsittely.

- Nykyisillä palosuojakäsittelyillä puun paloluokkaa voidaan nostaa D-luokasta C- ja B- luokkiin asti, mahdollistaako tämä puun käytön lisäämistä rakentamisessa?
- Onko palosuojatuotteiden kysynnässä näkynyt muutoksia puurakentamisen lisääntyessä?

Teema 4: Termiitinkesto.

- Ilmastonmuutoksen myötä termiittien levinneisyysalueet kasvavat, voidaanko puun pintakäsittelyillä parantaa puun termiitinkesto.

Teema 5. Entä jos puu jätetään käsittelemättä?

- Mahdollisuus pienentää tuotteen hiilijalanjälkeä ja huoltotyötä ja -kustannuksia?
- Kuinka laajasti käsittelemätöntä puuta voitaisiin käyttää Suomen haastavassa ilmastossa?