

# **Kierrätyspuun pintakäsittelyominaisuudet**

**RAPUPUU-hanke**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Puutekniikka

2021 Kevät

Joona Ikonen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Ikonen, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 46	
Työn nimi <b>Kierrätyspuun pintakäsittelyominaisuudet</b> RAPUPUU-hanke		
Tutkinto Insinööri (AMK), Puutekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio LAB-ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia käytöstä poistetun kierrätyspuun pintakäsittelyominaisuuksia. Tutkimuksen painopiste keskittyy erityisesti käytöstä poistetun C- ja CCA-kyllästetyn mäntypuutavaran ominaisuuksiin, ja potentiaalisen uusintakäytön kartoitukseen. Tutkimus toteutettiin osana LUT-yliopiston ja LAB-ammattikorkeakoulun yhteistä RAPUPUU-hanketta, jonka tarkoituksena on edistää purkupuun materiaalihyödyntämistä polttamisen sijaan.</p> <p>Opinnäytetyö on jaettu selvitys- sekä tutkimusosaan. Selvitysosassa käydään läpi yleisimpiä puumateriaalin tuhoajia, yleisimmin käytettyjä kyllästeitä sekä niiden lainsäädäntöä, XRF-tekniikan toimintaperiaatetta sekä yleisimpiä pintakäsittelyaineita. Tutkimusosassa kartoitetaan C- sekä CCA-kyllästetyn kierrätyspuutavaran pintakäsittelyominaisuuksia kolmella eri testimetodilla. Näitä tuloksia verrataan pintakäsittelyominaisuuksien kontrolliryhmän testituloksiin, kuin myös uuden, kyllästämättömän mäntysahatavaran ominaisuuksiin.</p> <p>Tutkimuksista selvisi, että eri pintakäsittelymetodeilla on vaikutus veden imeytymiseen puutavaraan, sekä myös vaikutus veden kykyyn liuottaa myrkyllisiä arseeniyhdisteitä CCA-kyllästetystä puutavarasta.</p>		
Asiasanat kiertotalous, kierrätyspuu, kyllästetty puu, RAPUPUU		

## Abstract

Author(s) Ikonen, Joonas	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 46	
Title of Publication <b>Surface treatment properties of recycled wood</b> RAPUPUU-project		
Name of Degree Engineer (UAS), Wood Technology.		
Name, title and organization of the client LAB University of Applied Sciences		
Abstract <p>The purpose of this thesis is to examine the surface treatment properties of decommissioned and recycled timber. The primary focus of the thesis are the properties of decommissioned C- and CCA-impregnated pine timber. The research was carried out as a part of the RAPUPUU project; a joint project of LUT University and LAB University of Applied Sciences, with the purpose of promoting the utilization of recycled wood in Finland.</p> <p>The thesis is divided into a research part and an experimentation part. In the research part, the most common wood material decomposers, the most common wood preservatives, the principle of XRF technology and the most common surface treatment agents are reviewed. In the experimentation part, the surface treatment properties of C- and CCA-impregnated wood are tested by three different test methods. These results are compared with the test results of the untreated control group, as well as with the properties of the new, non-impregnated pine sawn timber.</p> <p>The performed tests proved, that different surface treatment methods affect the absorption of water into timber, as well as the ability of water to dissolve toxic arsenic compounds from CCA-impregnated timber.</p>		
Keywords circular economy, recycled wood, impregnated wood, RAPUPUU		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Puun suojaamiseen käytettävät kyllästeet.....	2
3	Kierrätyspuun hyödyntämisen haasteet .....	5
3.1	Olosuhteiden vaihtelun aiheuttama rappeutuminen .....	6
3.2	Lahottajat sekä tuholaiset .....	7
3.2.1	Hyönteiset .....	7
3.2.2	Bakteerit .....	7
3.2.3	Ruskolaho .....	7
3.2.4	Valkolaho ja Korroosiolaho .....	8
3.2.5	Sinistäjä sienet .....	9
3.2.6	Katkolaho .....	10
4	XRF-tekniikka.....	11
5	Pintakäsittelyaineet.....	13
5.1	Maalit.....	13
5.2	Maalityypit .....	14
5.3	Lakat.....	15
5.4	Vahat.....	17
5.5	Öljyt .....	17
5.6	Muut pintakäsittelyaineet .....	18
5.7	Pintakäsittelyn tartuntamekaniikka.....	18
6	Kokeellinen osa .....	20
6.1	Testiasetus .....	20
6.2	Uittoveden arseenipitoisuuden mittaaminen XRF-menetelmällä. ....	26
6.3	Pinnoitteen tarttuvuuden testaaminen hilaristikko-menetelmällä .....	28
7	Tulokset.....	31
7.1	XRF-testit .....	31
7.2	Veden imeytyvyys pinnoitteen läpi .....	32
7.3	Hilaristikko .....	35
8	Yhteenveto .....	39
8.1	Johtopäätökset .....	39
8.2	Johtopäätöksissä huomioitavaa.....	39
8.3	Kehitysehdotukset .....	40
9	Lähdeluettelo .....	41

## Liitteet

Liite 1. Puulajien sydänpuun lahonkesto (SFS EN 350 2016)

Liite 2. Lahonkeston arvostelutaulukko (SFS EN 350 2016)

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö laadittiin osaksi LAB-ammattikorkeakoulun sekä LUT-yliopiston yhteistä *Rakennus- ja purkupuusta valmistettujen tuotteiden tuoteturvallisuus* (RAPUPUU) -hanketta. Hankkeessa toimii yhteistyössä LUT-yliopiston Professori Timo Kärjen Kuitukomposiitti- tutkimusryhmä sekä LAB-ammattikorkeakoulun puutekniikka (Lillqvist 2020).

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY 11. artiklan mukaan, kaikkien EU:n jäsenmaiden täytyy kasvattaa rakennus- ja purkupuujätteen kierrätys 70 % vuoteen 2020 mennessä. Suomessa tämä ei ole kuitenkaan toteutunut, sillä lähes kaikki puupohjainen energijäte hyödynnetään energiana polttamalla (Häkämies ym. 2019). RAPUPUU-hankkeessa pyritään etsimään uudelleenkäyttökohteita puupohjaiselle rakennus- ja purkupuujätteelle. Tähän puujätteeseen sisältyy vaaralliseksi luokiteltua kyllästepuujätettä, jonka luovuttaminen yleiseen käyttöön on kiellettyä. (Lillqvist 2020; Timonen 2017).

Purkupuun jalostaminen jatkojalosteiksi vaatii kattavan lajitteluketjun lahon, roskien, hiekan, naulojen sekä ruuvien poistamiseksi puutavarasta. Lainsäädännön asettamat rajoitukset kyllästepuun loppusijoituskohteille ja käsittelylle myös rajoittavat mahdollisuuksia huomattavasti, ja edellyttävät myös erityisvalmisteluja itse jalostusprosessiin. Kyllästetyn purkupuun uusiokäyttöä on rajattu lainsäädännön turvin hyvin kapealle alalle kyllästeiden myrkyllisyyden takia.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia teollisuudessa sekä kuluttajilla yleisesti käytössä olevien pintakäsittelyaineiden ominaisuuksia kyllästetyssä purkupuussa, ja näiden aineiden potentiaalia parantaa purkupuun teknisiä ominaisuuksia.

## 2 Puun suojaamiseen käytettävät kyllästeet

Nykyään Suomessa käytettävä ja Kestopuu-tuotemerkillä myytävä kyllästepuu on suurimaksi osaksi kupariyhdisteillä kyllästettyä mäntyä, kyllästettynä luokkiin A ja AB (Puu-info, a). Ennen vuotta 2007, arseenia sekä kromioksidia sisältävien kromattujen kupariarsenaatti (CCA) -kyllästeiden käyttö oli myös laillista, mutta Euroopan parlamentin ja neuvoston REACH-asetuksen, (EY) N:o 1907/2006 tultua voimaan, CCA-kyllästetyn puun käyttö kiellettiin kokonaan Euroopassa. CCA-kyllästetyn puun luovuttaminen yksityisten tahojen käyttöön on ollut kiellettyä jo vuodesta 2004. Samassa asetuksessa myös rajoitettiin kivihiilitervapohjaisten kreosoottikyllästeiden käyttöä rakentamisessa. (Timonen 2017, 6; Työterveyslaitos 2017a.)

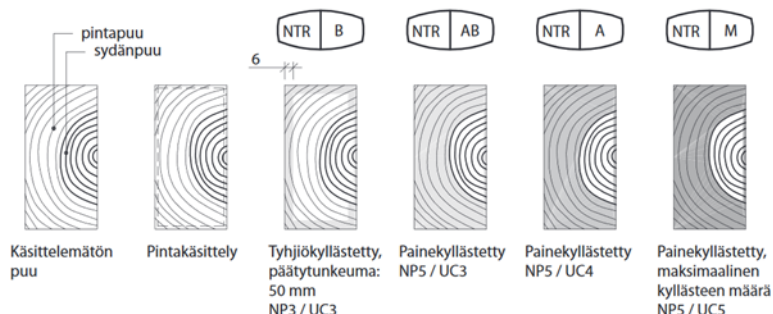
CCA-kyllästeen vaikuttavat aineet ovat arseeni, kupari sekä kromi. Arseenin sekä kuparin tehtävä kyllästeessä on estää lahottajien hyökkäys puumateriaaliin, kun taas kromi lukitsee kupari- ja arseeniyhdisteet puun solukkaan. (Better Health Channel.)

Arseenipohjaiset suolakyllästeet eivät hajoa luonnossa, ja niiden on todettu olevan erittäin haitallisia vesieliöille. Hengitettynä arseeni voi aiheuttaa nenän ja kurkun ärsytystä. Ihon läpi imeytyessään tai nieltynä arseeni voi vaikuttaa sisäelinten, verenkierron sekä hermoston toimintaan. Pitkäaikainen altistuminen arseenille voi johtaa syöpään. (Työterveyslaitos 2003)

Kromi esiintyy CCA-kyllästeissä pääasiassa kuusiarvoisena kromi(VI) yhdisteinä, mutta pelkistyy kiinnittyessään kolmiarvoiseksi kromi(III) yhdisteiksi. Kolmiarvoinen kromi ei yleensä aiheuta oireita, mutta kuusiarvoisen kromin on todettu aiheuttavan hengitettynä kutinaa, nenän vuotoa ja jopa haavaumia, nenäverenvuotoa ja keuhkosyöpää. Ihokontaktissa kuusiarvoisen kromin on todettu aiheuttavan ärsytystä sekä haavaumia. Nieltynä suurina määrinä, kromiyhdisteet voivat aiheuttaa sisäelinvaurioita, kouristuksia ja kuoleman. (Työterveyslaitos 2003).

Kreosootin toiminta perustuu polysyklisiin aromaattisiin hiilivetyihin, joita yhdisteessä on satoja erilaisia. Kreosootti on veteen niukkaliukoista, mutta osa kreosootin hiilivety-yhdisteistä haihtuvat ilmaan, aiheuttaen hengitysteiden ja silmien oireita. Ihokosketuksessa kreosootti voi aiheuttaa ärsytysoireita, ja osa kreosootin yhdisteistä voi imeytyä ihon kautta elimistöön, aiheuttaen oireita heikotuksesta oksenteluun. Toistuva altistuminen kreosootille on todettu lisäävän syövän riskiä ja vaikuttaen negatiivisesti lisääntymiskykyyn sekä sikiön kehitykseen. (Työterveyslaitos 2017a.)

Kyllästetty puu jaetaan neljään luokkaan: M, A, AB ja B. Luokitus perustuu pohjoismaisen Puunsuojaneuvoston laatimaan NTR-luokitukseen sekä standardien SFS-EN 335-1 ja SFS-EN 351-1 määrittelemiін käyttöluokkiin (Kuva 1 ja 2).



Kuva 1. Esimerkki kyllästeaineen tunkeumasta (Rakennustieto 2017)

Kyllästysluokka	Suoja-aine (kylläste)
M	Kreosoottiöljy
A	Cu-tuotteet (kupari) Kreosoottiöljy
AB	Cu-tuotteet Metallivapaat tuotteet
B	Orgaaniset öljypohjaiset tuotteet

Kuva 2. Eri kyllästysluokkien mukaisia suoja-aineita (Rakennustieto 2017)

Koska kylläste ei tunkeudu puuaineksessa mantopuuta syvemmälle, ydinpuu jää ilman kyllästettä. (Rakennustieto 2017, RT 21-11287) Tämä luo haasteita kyllästetyn kierrätyspuun jatkotyöstölle, sillä kyllästetyn puun halkaiseminen tai höylääminen ei ole suositeltavaa sydänpuun paljastumisen takia. Vaikka männyn sydänpuu torjuu luontaisesti lahottajia joh-tuen sydänpuun suuresta pihka- ja hartsipitoisuudesta, suomalaisen mäntyputtavaran sydänpuu on määritelty ”kohtalaisen kestäväksi” lahon kestossaan standardin EN 350 (2016) mukaan. (Puuinfo, c; SFS EN 350 2016) Työstöpinnat tulisivin suojata sopivalla puunsuoja-aineella laholle alttiin sydänpuun suojaamiseksi (Kestopuuteollisuus ry 2012, 2).

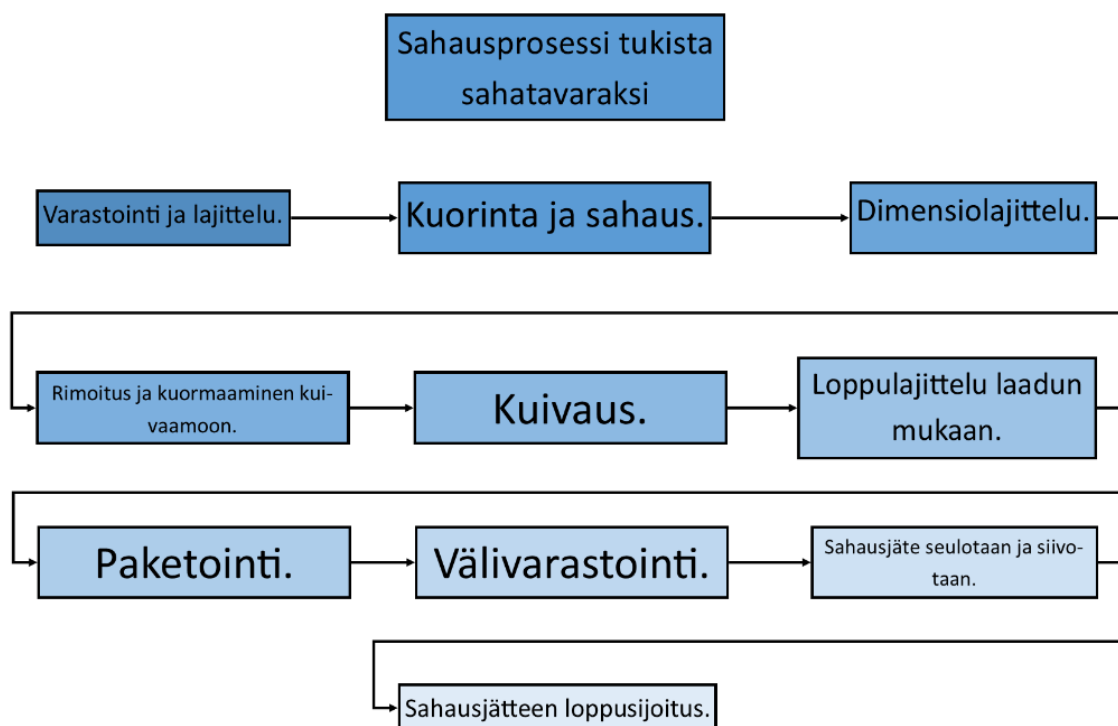
Myrkyllisen kyllästepuun esiintyminen purkujätteessä tuo haasteita sen kierrätykselle. CCA-kyllästetty puu luokitellaan ongelmajätteeksi, joka vaikeuttaa kierrätyspuun työstämistä ja jalostamista käyttökelpoiseksi tuotteeksi. (Työterveyslaitos. 2017b.) Ongelmajäte-luokittelun takia, CCA-kyllästetyn puun jalostuslinjaston täytyisi olla erillään kyllästemättömän puun



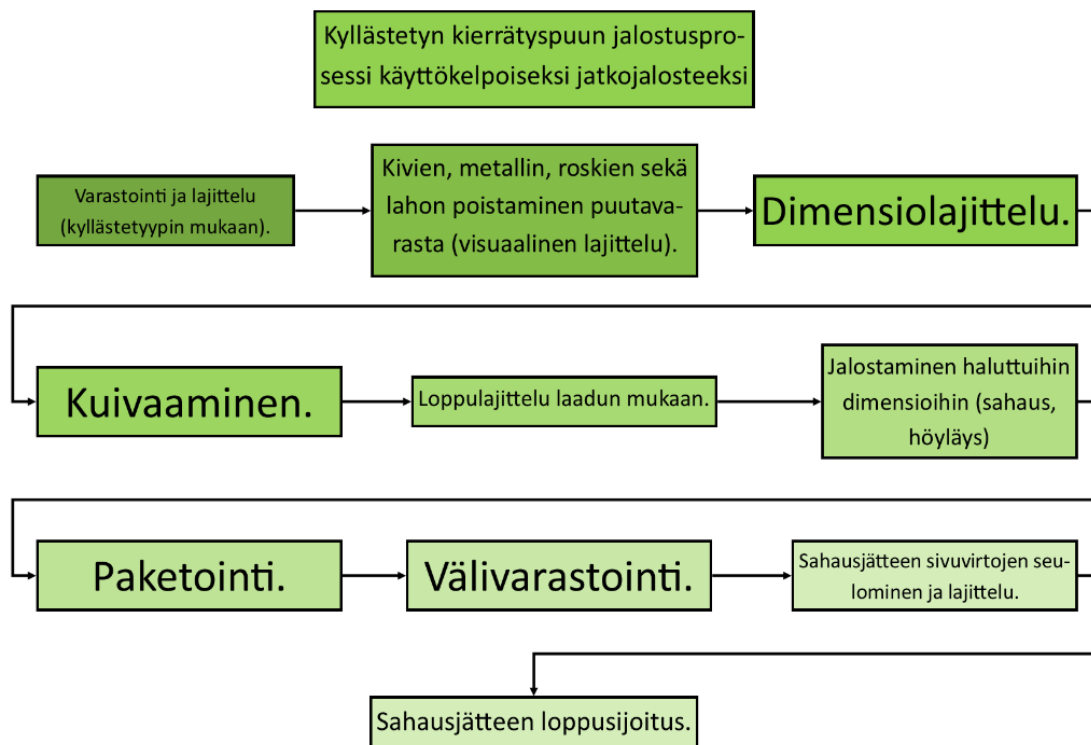
jalostuksesta, jottei kummankin jalostuksessa syntynyt jäte sekoittuisi keskenään. CCA-kylästetyn puun työstäminen asettaa myös sitä työstävän henkilön vaaraan, joten ilmanvaihdon, purunpoiston sekä suojaruusteiden tulisi olla vaarallisen jätteen käsittelyyn sopivia.

### 3 Kierrätyspuun hyödyntämisen haasteet

Kierrätettävän purkupuun mahdollinen uusiokäyttö massiivipuumuodossaan määräytyy kierrätyspuun iän, aiemman käyttökohteen, dimensioiden, kyllästeen määrän sekä kyllästetyypin mukaan. Kierrätyspuumateriaalin heterogeenisuus verrattuna normaaliin, vastasahattuun massiivipuusahatavaraan on huomattavasti suurempi, ja sen jatkojalostaminen valmiiksi tuotteeksi vaatii useita työvaiheita sekä pidemmän tuotantoketjun. Kierrätyspuumateriaalin jalostus voidaan lähtökohtaisesti ajatella yhtä pitkänä prosessina kuin vastakaadetun männyn jalostaminen myyntikelpoiseksi jatkojalosteeksi. Kuvissa 3 ja 4 vertaillaan sahan tuotantolinjaston sekä työssä käytetyn purkupuun jalostuksen vaiheita.



Kuva 3. Sahausprosessi (mukailtu Ropilo & Kauppinen 2017)



Kuva 4. Kierrätyspuun jalostus (Kuva: Joonas Ikonen)

### 3.1 Olosuhteiden vaihtelun aiheuttama rappeutuminen

Pitkäaikainen altistuminen vaihtelevalla ilmastokosteudella, lämpötilalla, UV-säteilyllä sekä mekaaniselle rasitukselle aiheuttaa muutoksia puun rakenteessa (Virta 2000, Ahokas 2009, 11–12 mukaan; Kestopuu 2009, Ahokas 2009, 21 mukaan; Worrall; Puuproffa, a). Puumateriaaliin voi ajan kuluessa ilmestyä näkyviä halkeamia tai mikrohalkeamia pintapuuhun tai sydänpuuhun, jotka heikentävät puutavaran teknisiä ominaisuuksia. CCA-kyllästetyn puutavaran kohdalla puun halkeamat myös mahdollistavat veden kulkeutumisen syvemmälle puuainekseen, liuottaen haitallisia CCA-yhdisteitä ja kuljettaen niitä rakenteen pintaan, vesistöihin tai maaperään. Puurakenteen pinnassa olevat aineet voivat hankauksen tai muunlaisen kontaktin seurauksena kulkeutua puutavarasta henkilön vaatetukseen tai iholle. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1.) Syvät halkeamat sekä muut haavaumat puuaineksessa mahdollistavat myös veden sekä lahottajaorganismien kulkeutumisen puuaineksen ytimeen, ohittaen suojaavan kyllästeaineen (Kestopuuteollisuus ry 2012). Myös pitkäaikainen altistus auringon UV-säteilyllä vahingoittaa puun ligniiniä, ennen pitkää hajottaen ligniinirakenteet. Tätä ligniinin hajoamista UV-säteily toimesta kutsutaan foto-oksidaatioksi. (Perma-Chink Systems, inc 2020.)

## 3.2 Lahottajat sekä tuholaiset

Puutavaralle olennaisimmat tuhoajat voidaan jakaa kuuteen luokkaan: Hyönteiset, bakteerit, kantasienistä johtuvat ruskolaho ja valkolaho, kotelosienistä johtuva katkolaho sekä kotelosienistä, mikrobeista ja hiivasienistä johtuva sinistymä (Avikainen 2015, 4; Worrall; Kankaanhuhta & Väkevä 2000). Suolakyllästeiselle puulle, kuten CCA- sekä C-kyllästeille, yleisimpiä lahotyyppejä ovat katkolaho sekä ruskolaho, mutta myös valkolahoa tavataan suolakyllästetyssä puussa, joskin harvoin (Energiateollisuus ry 2009, Avikainen 2015, 19–20 mukaan).

### 3.2.1 Hyönteiset

Puutavaralle haitallisia hyönteisiä ovat pistiäiset, termiitit, kuoriaiset sekä muurahaiset. Hyönteisten aiheuttamat vahingot puutavaralle ovat suhteessa pienemmät kuin lahottajasienillä, mutta hyönteiset voivat toiminnallaan edesauttaa lahon etenemistä puuaineksessa. Hyönteiset voivat kaivaa reittejä puuaineksen sisäosiin, joita lahottajasienet voivat hyödyntää leviämisesään. Joskus myös hyönteisten kairaamien onkaloiden verkosto voi olla niin kattava, että se huomattavasti heikentää puumateriaalin kuormituksen kestoa. (Kärkkäinen 2007, Avikainen 2015, 4 mukaan.)

### 3.2.2 Bakteerit

Bakteerit kykenevät hajottamaan puumateriaalissa olevaa selluloosaa. Niiden aiheuttama hajoaminen on lahottajasieniin verrattuna hyvin vähäistä. Bakteerit yleensä estävät sienten leviämistä puussa, mutta saattavat edesauttaa katkolahon menestymistä ja leviämistä. Bakteerit kykenevät jopa tuhoamaan yleisiä kyllästysaineita, näin edesauttaen muiden lahottajien toimintaa. (Clausen 1996, Avikainen 2015, 4 mukaan.)

### 3.2.3 Ruskolaho

Ruskolaho hajottaa puumateriaalista selluloosan sekä hemiselluloosan, jättäen jäljelle tummanruskean, hapettuneen, ligniinin (Kuva 3). Ruskolahon alkuvaihe on ei-entsyymattista hajottamista, jossa lahottajasieni tuottaa erilaisia kemiallisia yhdisteitä, mukaan lukien vetyperoksidia sekä oksaalihappoa, jotka pilkkovat selluloosan sekä hemiselluloosan molekyylirakenteen pienemmiksi osiksi. Lahottajasienen erittämät entsyymit kykenevät muuntamaan lyhytketjuiset hiilihydraatit sokereiksi, jotka sieni käyttää ravinnoksi. (Worrall.)



Kuva 5. Ruskolaho (Beentree 2006)

### 3.2.4 Valkolaho ja Korroosiolaho

Valkolahottajat muodostavat kahta erilaista lahotyyppiä; valkolahoa sekä korroosiolahoa. Valkolahoa esiintyy yleisimmin lehtipuissa, kun taas korroosiolahoa esiintyy useammin havupuissa. Valkolahottajat ovat myös yleisin varastolahon aiheuttaja. (Mäkelä ym.1999, 2–4.) Valkolahottajat ovat ainoita eliöitä, jotka kykenevät hajottamaan kaikkia puun rakennesiä, mukaan lukien vaikeasti hajotettavaa ligniiniä. Tämän valkolahottajasieni saavuttaa mineralisoimalla puun ligniinin entsyymaattisella hapetuksella. Näitä entsyymejä ovat esimerkiksi lakkaasi, ligniiniperoksidaasi, mangaaniperoksidaasi ja versatiiliperoksidaasi (Kuva 4) (Worral.)

Korroosiolahossa valkolahottajasieni hajottaa ligniiniä sekä selluloosaa samanaikaisesti, jonka johtaa lahokohdan ruskeaan väriin. Myös korroosiolahossa lahokohtaan voi ilmestyä valkoisia täpliä, johtuen ligniinin ennen aikaisesta hajoamisesta. Tätä kutsutaan nimellä ”selektiivinen delignifikaatio”, jossa valkolahottaja hajottaa puuaineksesta ensin hemiselluloosan ja ligniinin, jättäen jälkeensä lähes puhtaan valkoisen, kuituisen selluloosan. (Worral.) Ligniinin hajotessa kokonaan, lahottaja hajottaa myös jäljellä olevan selluloosan (Mäkelä ym.1999, 2).



Kuva 6. Valkolaho (Auró 2016)

### 3.2.5 Sinistäjä sienet

Sinistäjä sienet leviävät itiöinä sekä sienirihmastoina puumateriaalissa, ja ovat hyvin yleinen haitta varastoidussa puussa. Sinistäjä sienet eivät itsessään heikennä puuaineksen teknisiä ominaisuuksia, mutta sinistäjä sienien aiheuttama värimuutos saattaa olla merkki siitä, että puumateriaalissa saattaa olla lahottajia (Kuva 5). (Puuproffa, b).



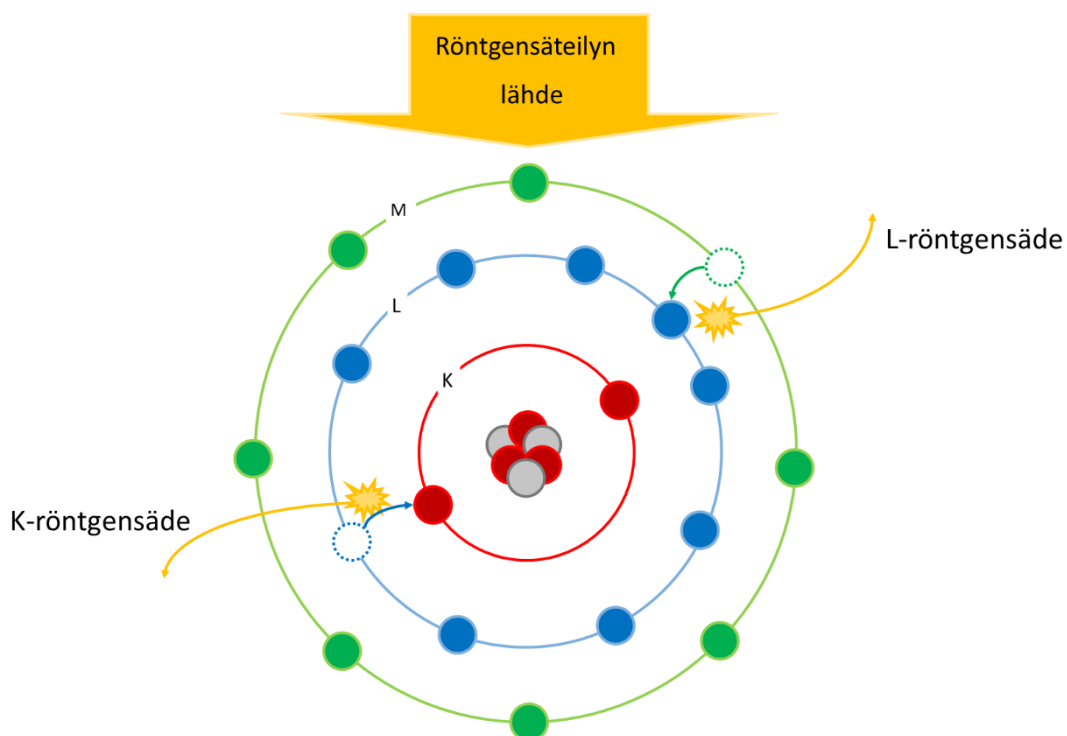
Kuva 7. Sinistäjä sienien värjäämää mäntypaneelia (Wikimedia Commons 2017)

### 3.2.6 Katkolaho

Katkolahon hajottamismekanismi perustuu kaksivaiheiseen hajottamiseen, jossa lahottajasieni kasvattaa mikroskooppisia sienirihmastoja, jotka tunkeutuvat puumateriaaliin. Saavuttaessaan puusolukon sekundääriseinämän kerroksen s<sub>2</sub>, rihmastot alkavat kasvaa kohtisuoraan puusolukon kuituja vasten. Tämän jälkeen sieni tuottaa puun soluseinämän selluloosaa hajottavia entsyymejä, kuten endo-l,4-glukanaasia, ekso-l,4-B-glukanaasia ja 1,4-B-glukosidaasia. Sienirihmaston erittämät entsyymit hajottavat puumateriaalia ympäriltään, luoden puumateriaaliin onkaloverkoston, joka haurastuttaa puumateriaalia ja alentaa sen teknisiä ominaisuuksia. (Goodell ym. 2008, 15). Kyllästysaineetkaan eivät välttämättä estä katkolahon leviämistä puussa (Pohjois-Pohjanmaan korjausrakentamiskeskus PORA).

## 4 XRF-teknologia

XRF (X-ray fluorescence, suomeksi röntgenfluoresenssi) on materiaalianalyttinen keino tutkia materiaalien alkuainepitoisuuksia. Se perustuu röntgensäteilyn kykyyn irrottaa elektroneja atomin elektronikuorilta, jonka seurauksena atomi vapauttaa energialtaan tietyn suuruisen röntgensäteen (Kuva 8). Tätä atomin vapauttamaa säteilyä voidaan kutsua sen “sormenjäljeksi”, sillä se on ainutlaatuinen kullekin alkuaineelle. Tämän säteilyn energiaa voidaan mitata erityisellä XRF-mittarilla, joka tunnistaa ja laskee sille annetun näytteen alkuainepitoisuudet. (Ask A Scientist Staff 2020.)



Kuva 8. XRF-toimintaperiaate (mukailtu Ask A Scientist Staff 2020)

Röntgenfluoresenssin toimintaperiaate on seuraava:

- Analysoitavaa näytettä säteilytetään XRF-mittarilla
- Kun energialtaan sopivan suuruisen röntgensäde osuu atomiin, se irrottaa elektronin atomin sisimmältä elektronikuorelta.
- Saavuttaakseen minimienergiatilan, atomi luovuttaa elektronin ulommalta elektronikuoreltaan sisimmälle elektronikuorelle. Sen jälkeen seuraavaksi ulompi elektronikuori luovuttaa elektronin sisemmälle elektronikuorelle. Tämä jatkuu, kunnes jokainen elektronikuori on saavuttanut minimienergiatilan.



- Siirtyessään aikaisempaa elektronikuortaan sisemmälle kuorelle, elektroni putoaa alemmalle energiatasolle. Tämän seurauksena atomi vapauttaa röntgensäteen. Tämän säteen energian suuruus on suoraan verrannollinen elektronin kahden eri energiatason erotukseen (Kuva 8).
- XRF-mittari analysoi atomin vapauttamaa röntgensäteilyä, ja tämän avulla kykenee tunnistamaan kyseisen alkuaineen ja sen määrän analysoitavassa näytteessä. Yksittäisten röntgensäteiden energian suuruus kertoo, mikä alkuaine on kyseessä, kun taas röntgensäteiden tiheys kertoo alkuaineen konsentraation näytteessä. (Ask A Scientist Staff 2020.)

## 5 Pintakäsittelyaineet

Puumateriaalin ulkonäköä, UV-säteilyn-, kosteuden- sekä kulutuksenkestoa voidaan muokata monin eri pintakäsittelymetodein. Vaihtoehdot käsittävät vesi- sekä liuotinhenteiset vaihtoehdot, jotka voidaan luokitella moneen eri luokkaan käyttötarkoituksensa sekä koostumuksensa mukaan.

### 5.1 Maalit

Maalit ovat pintakäsittelymateriaaleja, joiden päätarkoituksena on suojauksen lisäksi muuttaa maalattavan kohteen ulkonäköä (Lexico.com). Maalit koostuvat pääasiallisesti neljästä pääraaka-aineesta: Pigmenteistä, liuotteista, sideaineesta sekä apuaineista.

Sideaineet sitovat maalin komponentit toisiinsa ja muodostavat kalvon maalattavaan kohteen pintaan. Muodostuva kalvo parantaa kohteen teknisiä ominaisuuksia, suojaamalla pintaa esimerkiksi kosteudelta, lämpötilan vaihteluilta ja kemikaaleilta. Sideaine muodostaa kalvon kuivuessaan joko hapettumalla kemiallisen reaktion seurauksena tai fysikaalisesti, maalissa olevan liuottimen haihduttua. (Puuproffa, c.).

Pigmentit voidaan jaotella Orgaanisiin- sekä epäorgaanisiin pigmentteihin. Orgaaniset pigmentit valmistetaan pääasiassa kasvi- ja eläinkunnan tuotteista, kun taas epäorgaaniset pigmentit valmistetaan niin sanotuista maaväreistä tai synteettisesti valmistamalla. Pigmenttien pääasiallinen tehtävä on sävyttää maali haluttuun värisävyyteen ja peittävyys, mutta pigmenttejä voidaan myös käyttää apuaineina muokkaamaan maalin ominaisuuksia, kuten UV-säteilyn tai sääolosuhteiden kestoa. Esimerkiksi titaanidioksidi, toiselta nimeltään titaanivalkoinen, on pigmentti, jota käytetään eri käyttötarkoituksissa suojaamaan kohdetta UV-säteilyltä. Sitä myös sekoitetaan sinkkivalkoiseen pigmenttiin parantamaan sinkkivalkoisen sään kestoa. (Suomen luonnonmaalit Oy; Titanium dioxide manufacturers association; Puuproffa, d.)

Apuaineiden tehtävä on muokata maalien teknisiä ominaisuuksia vaikuttamalla esimerkiksi maalien viskositeettiin, säilyvyyteen tai UV-säteilyn kestoon (Talbert 2008, 73). Liuotteen tehtävä taas on säädellä maalin viskositeettia, joka vaikuttaa maalin levitysominaisuuksiin, kuivumisnopeuteen sekä tasoittumiseen. Maaleissa käytettäviä liuotteita ovat esimerkiksi vesi tai erilaiset orgaaniset liuottimet, kuten mineraalitärpätti, metanoli, etanoli ja aseton. (Puuproffa, c; Veijalainen & Liukkonen.)

Vesiohenteiset maalit sopivat rakennusmaalaukseen sekä sisäkäyttöön. Vesiohenteisiä alkydimaaleja voidaan myös käyttää ovien, ikkunoiden sekä huonekalujen maalaamiseen.

Osa aikaisemmin liuotinpohjaisista maaleista on korvattu vesiohenteisilla maaleilla. (Puuproffa, c; Veijalainen & Liukkonen.)

Liuotinohenteiset maalit soveltuvat sisä- sekä ulkokäyttöön. Liuotinohenteiset alkydimaalit sopivat huonekalujen, ovien ja ikkunoiden maalaamiseen. Öljymaalit taas soveltuvat ulkoalusteiden, -ovien ja -ikkunoiden maalaamiseen sekä vanhojen huonekalujen entisöintiin. Noin 10 000–20 000 työntekijää altistuu vuosittain liuotinhöyryille säännöllisin väliajoin. Liuottimen hengittäminen saattaa aiheuttaa huimausta, ja pidempi altistus saattaa altistaa pysyville keskushermoston muutoksille. (Puuproffa, c; Veijalainen & Liukkonen.)

## 5.2 Maalityypit

Maalit voidaan jaotella vesiohenteisiin muovidispersiomaaleihin eli latekseihin, liuotinohenteisiin öljymaaleihin, alkydimaaleihin ja reaktiomaaleihin. Lisäksi muita maaleja ovat niin sanotut ”perinnemaalit”, esimerkiksi keittomaalit, kuten punamultamaali, temperamaalit kuten kaseiinimaali ja munatemperamaali sekä liimamaalit. (Puuproffa, e; Puuproffa, f.)

Lateksimaalit koostuvat pääasiassa veteen sekoitetusta polymeeristä, joka muodostaa kalvon veden haihduttua. Pinnan kiiltoaste on yleensä himmeä, mutta myös puolikiiltäviä lateksimaaleja valmistetaan. Lateksimaalin pinta kuivuu pölykuivaksi noin tunnin kuluttua levityksestä, päälle maalattavaksi vuorokaudessa, saavuttaen lopullisen kovuutensa viikon kuluessa.

Öljymaali on perinteinen maalityyppi. Öljymaalit koostuvat pellavaöljystä sekä puutäpätistä. Öljymaalien ominaisuuksia ovat korkea kiilto ja säänkestävyys sekä helppo levitettävyyssiveltimellä. Pellavaöljy on itsestään syttyvä aine, ja pellavaöljyn levitykseen käytettävät välineet on käsiteltävä asiaan kuuluvalla tavalla. Öljymaalit kuivuvat pääosin hapettamalla yhdessä päivässä—kolmessa viikossa.

Alkydimaalit ovat osaksi hapettumalla ja osaksi haihtumalla kuivuvia, hyvin kestäviä maaleja. Alkydimaalit kuivuvat noin 1–3 päivässä. Alkydimaalit ovat liukoisia mineraalitäpättiin sekä jotkut alkydimaalit myös veteen. (Puuproffa, e; Tikkurila Oyj.)

Reaktiomaalit ovat kemiallisesti kuivuvia, monikomponenttisia maaleja. Yleensä reaktiomaalit koostuvat maalista, kovetteesta sekä ohenteesta. Kuivumisaika on noin 15 minuuttia – 4 tuntia. Reaktiomaalit ovat yleensä happokovetteisia, ja jonka sideaineena toimii epoksi, alkydi polyuretaani tai muu hartsi. Ohenteena käytetään yleensä tolueenia, isobutanolia, isopropanolia ja myös ksyleenia sekä asetonia. (Puuproffa, e.)

Keittomaalit ovat Suomessa jo 1600-luvulta asti käytössä olleita maaleja. Keittomaalien sideaineena toimii kasvitärkkelyspohjainen, perinteisesti vehnä- tai ruisjauhoista keitetty liisteri. Keittomaalien ohenteena käytetään vettä, ja pigmenttinä maavärejä, yleisesti punamultaa. Keittomaaleja käytetään yleensä ulkokäytössä, jossa ne muodostavat vettä läpäisevän, mutta lujuudeltaan heikon kalvon. Punamultamaalin maalausväli voi kuitenkin olla 10–50 vuotta. (Museovirasto 2000, 3.)

Temperamaalit ovat joko kananmunasta tai maidon kaseiinista valmistettuja maaleja (Puuproffa, f). Kaseiinimaali koostuu maidosta eristetyistä kaseiiniproteiineista, joka on liuotettu alkaaliseen liuokseen, kuten ammoniakkiin, booraksiin, bikarbonaattiin tai soodaan. Kaseiinimaali soveltuu käyttökohteiltaan puu-, rappaus-, sekä levypinnoille, ja kuivuu kosketuskuivaksi aikaisintaan noin puolessa tunnissa. Lopullinen kuivuminen kestää noin kaksi viikkoa. Kaseiinimaali on luontaisesti valkoista, mutta sitä voidaan sävyttää pigmenteillä. Liuotinkemikaalien puuttumisen takia, kaseiinimaali soveltuu astmaatikoille. Kaseiiniliiman suosittu käyttökohde on sisätiloissa. (Källbom 2012, 25; Puuproffa, f; Kymin palokärki.)

Kananmunatempera on kananmunasta, kasviöljyistä, pigmentistä sekä vedestä koostuva seos. Alun perin munatemperaa käytettiin ikoni- sekä lasimaalaukseen, mutta se soveltuu myös huonekaluihin muodostaen erittäin kestävä pinnan. Kanamunatempera on säilytettävä ainesosiansa takia jääkaapissa, mutta säilyvyyttä voidaan jatkaa liuottamalla maaliin liivatelehti. Kananmunatempera on käytetty tuhansia vuosia; jo muinaiset egyptiläiset koristelivat sarkofageja käyttämällä munatemperaa. (Puuproffa, f)

Liimamaali koostuu eläimen, esimerkiksi jäniksen nahkasta ja luista keitetystä liimasta, liitujauhosta sekä vedestä. Väriltään liimamaali on valkoista, mutta sitä voidaan sävyttää pigmenteillä. Liimamaalia käytetään lähinnä entisöintikohteissa, taidekehystäjien sekä koriste-maalarien töissä. Liimamaalia on myös käytetty huonekaluissa, kattojen ja seinäpintojen maalauksessa sekä rappauspinnoilla. (Puuproffa, f; Vuolle-Apiala 2012, Ahlroth 2015, 10 mukaan.)

### 5.3 Lakat

Lakkojen tarkoitus on muodostaa lakattavan kohteen pintaan läpinäkyvän, suojaavan kalvon. Myös lakat voidaan maalien tavoin luokitella vesiohenteisiin lakkoihin, öljylakkoihin, reaktiolakkoihin sekä alkydilakkoihin. Muita lakkatyyppejä on nitroselluloosalakka sekä sel-lakka. (Puuproffa, g.)

Vesiohenteiset lakat koostuvat vedestä sekä veteen sitoutuneesta polymeeristä. Vesiohenteisiä lakkoja saa eri kiiltoasteina himmeästä kiiltävään. Vesiohenteiset lakat soveltuvat

sisäkäyttöön eri käyttökohteissa, esimerkiksi lattialaudat ja parketti, puiset rakennuslevyt sekä lelut. (Puuproffa, g.)

Öljylakat koostuvat kuivuvasta kasviöljystä, kuten pellavaöljystä tai kiinanpuuöljystä ja ohenteesta, kuten pineenitärpätistä. Niin kuin öljymaalitkin, öljylakat ovat itsestään syttyviä. Öljylakat soveltuvat huonekaluihin sekä sisäverhous- ja lattialautojen lakkaukseen. Tietyt öljylakat soveltuvat myös veneiden lakkaukseen, jolloin öljyn lisäksi sideaineena toimii fenolihartsia. (Puuproffa, g.)

Alkydilakat ovat täpättiohenteisia lakkoja, joiden sideaineena toimii alkydihartsia tai uretaanialkydihartsia. Alkydilakkoja löytyy eri kiiltoasteita himmeästä kiiltävään. Käyttökohteiksi soveltuvat sisätiloissa olevat puupinnat. (Puuproffa, g.)

Reaktiolakat ovat joko yksi- tai kaksikomponenttisiä, liuotinohenteisiä lakkoja. Reaktiolakkoja käytetään huonekaluteollisuudessa sekä parkettilattioiden pintakäsittelyyn. Sideaineena reaktioloikoissa on yleensä alkydihartsin ja aminohartsin seos. Reaktiolakkoja ovat esimerkiksi katalyytti-, epoksi- ja polyuretaanilakat. (Puuproffa, g.)

Nitroselluloosalakka on liuotinohenteinen lakka, joka kehitettiin 1920-luvulla. Nitroselluloosalakka pääasiassa korvasi sellakan käytön huonekaluteollisuudessa. Sidenaineena lakkassa toimii nitroselluloosa, joka sekoitetaan 80/20 sekoitusasteella siihen sopivaan liuottimeen, kuten tolueeniin tai asetoniin. (Puuproffa, g.)

Sellakka on luonnosta saatava, kestopuuvien kaltainen polymeeri (Kuva 9). Sellakkaa muodostuu Kerria-suvun lakkakuoriaisten elimistössä, jotka erittävät sitä toukkiensa suojaiksi (Baboo & Goswami 2010, 2). Sellakkaa on käytetty huonekalujen pintakäsittelyaineena 1800-luvun alusta 1900-luvun alkuun, gramofonilevyjen valmistusmateriaalina sekä sähkökomponenteissa. Nykyään sellakkaa käytetään pintakäsittely- sekä väriaineena maaleissa, lääkkeissä, hedelmissä sekä virvoitusjuomissa. (Flexner 2017; Baboo & Goswami 2010, 177–179.) Sellakan nimitys juontaa juurensa sanskritin sanaan ”Lakh”, joka tarkoittaa lukua 100 000. Tämä luku viittaa useisiin sellakkakuoriaisen toukkiin, jotka peittävät isäntäpuun oksia haudonta aikana. (Baboo & Goswami 2010, 11.) Puuteollisuudessa sellakan ohenteena käytetään spriitä, ja levitettäessä se jättää erittäin kiiltävän pinnan. Sellakka soveltuukin pääasiassa vanhojen huonekalujen entisöintiin (Puuproffa, g)



Kuva 9. Sellakkahartsia (Kuva: Joonas Ikonen)

#### 5.4 Vahat

Vahat voidaan luokitella luonnonvahoihin sekä kaupan valmisvahoihin. Luonnonvahoja ovat esimerkiksi mehiläisvaha ja karnaubavaha. Kaupan valmisvahoja ovat Osmocolorin kaltaiset öljyvahat, erilaiset Antiikkivahat sekä parafiinivahat. Vahat tekevät hylkivän kalvon vahatun puun pintaan, joka hylkii pölyä sekä likaa. (Puuproffa, h.)

Karnaubavaha on brasilialaisen karnaubapalmun, *Copernicia ceriferan*, erittämä kasvipohjainen vaha. Karnaubavahaa käytetään huonekaluihin sekä käyttöesineisiin, kuin myös kiillokkeena makeisissa sekä lääkkeissä, sakeuttamisaineena liuottimissa sekä kovetteena painomusteissa. (The Editors of Encyclopedia Britannica).

Mehiläisvaha on mehiläisen pesiinsä erittämää vahaa, joka toimii rakennusaineena mehiläisen toukkia sekä hunajaa suojaavalle kennostolle. Niin kuin karnaubavahaa, mehiläisvaha käytetään pinnoittamaan käyttöesineitä sekä huonekaluja, elintarviketeollisuudessa makeisten sekä hedelmien pintakäsittelyssä sekä kosmetiikassa kosteuttajana ja silottajana (Collission 2015; Puuproffa, h; Ruokavirasto; Allergia.fi 2019).

Valmisvahat ovat sekoituksia, jotka saattavat sisältää vahan lisäksi esimerkiksi pellavaöljyä. Esimerkkinä valmisvahasta ovat Osmocolorin valmistamat öljyvahatuotteet (Puuproffa, h).

#### 5.5 Öljyt

Öljyt voidaan luokitella kuivuviin sekä kuivumattomiin öljyihin. Kuivuvia öljyjä ovat esimerkiksi pellavaöljy sekä siitä valmistettava vernissa eli keitetty pellavaöljy, tungöljy eli

kiinanpuuöljy, unikkoöljy, kalaöljy, sekä rypsi- ja rapsiöljy. Kuivumattomia öljyjä ovat puuvil-lansiemenöljy, risiiniöljy, pähkinäöljy sekä parafiiniöljy.

Kuivuvat öljyt soveltuvat hyvin ruoan kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin. Ohenteena toi-mii yleensä puutärpähti, mutta myös vesiohenteisia luonnonöljytuotteita myydään kulutta-jille, esimerkiksi Teknos Aqua Wood Oil. Kuivuvat öljyt muodostavat öljymaalien sekä lak-kojen pääraaka-aineen (Puuproffa, h; Teknos.).

Kuivumattomien öljyjen käyttöä ei suositella sellaisenaan, mutta sekoitettuna apuaineisiin niitä voidaan käyttää pintakäsittelyssä. Tästä poikkeuksena parafiiniöljy, jota käytetään lai-turien öljyämiseen sellaisenaan sekä saunan lauteiden pintakäsittelyyn. Parafiiniöljy on raa-kaöljyteollisuuden sivutuote. (Puuproffa, h; Apteekkituotteet.fi; Dictionary.com.)

## 5.6 Muut pintakäsittelyaineet.

Hautaterva on perinteisesti männyn kannoista kuivatislaamalla valmistettava aine. Tervan tavallisimmat käyttökohteet ovat ulkona käytettävien puurakenteiden suojaaminen ja kylläs-täminen, kuten laiturit, hirsirakennukset, puiset veneet sekä ulkokalusteet. Tervanpoltolla on Suomessa monisataa vuotiset perinteet. (Aaltonen 2015; Puuproffa, i; Kujanpää 2011, 9.)

Vihtrilli on rikkihapon avulla valmistettava metallisuola. Vihtrilliä valmistetaan joko rautasulfaatista, kuparisulfaatista tai sinkkisulfaatista. Rauta- ja kuparivihtrilliä on käytetty ulkora-kennusten, kuten hirsitalojen suojaukseen sen UV-valolta sekä tuholaisilta suojaavien omi-naisuuksien takia. (Hytönen 2011, 5; Puuproffa, j.)

## 5.7 Pintakäsittelyn tartuntamekaniikka

Pintakäsittelyn laatu riippuu kahdesta päätekijästä, koheesiosta sekä adheesiosta. Kohee-siolla tarkoitetaan pintakäsittelyn omaa kestävyyttä, ja adheesiolla tarkoitetaan pintakäsitel-tävän materiaalin sekä pintakäsittelyaineen välisten sidosten kestävyyttä ja vakautta. Vial-linen koheesio näkyy valmiissa pintakäsittelyssä esimerkiksi naarmuina sekä halkeamina itse pinnassa, kun taas viallinen adheesio voi ilmetä esimerkiksi kuplina sekä kupruina pin-takäsittelyssä. (Petrie 2012).

Onnistunut adheesio sekä koheesio ovat kumpikin tärkeitä onnistuneelle pintakäsittelylle. Onnistuneen adheesio saavuttamiseksi, pintakäsittelyn tarvitsee joko imeytyä syvälle pin-takäsiteltävään pintaan, muodostaa pinnan kanssa kemiallisia sidoksia tai käyttää hyväk-seen pinnan karheutta ja rosoisuutta, mekaanisesti lukittautumalla pinnan epätasaisiin koh-tiin. (Petrie 2012).

Pintakäsittelyn imeytyminen perustuu pintakäsiteltävän kohteen sekä pintakäsittelyn välisiin heikkoihin dispersiovoimiin, eli van der Waalsin voimiin. Näiden molekyyli-tason voimien syntymiseksi, pintakäsittelyn sekä pinnan on oltava enintään viiden ångströmin, eli 0,5 nanometrin etäisyydellä toisistaan. Pintakäsittelyaineen sekä pinnan välinen tasainen kontakti tunnetaan nimellä "kostutus". Epäonnistunut kostutus johtaa ilmakupliin sekä epätasaiseen adheesioon pinnan sekä pintakäsittelyaineen välillä, joka voi johtaa pinnan kupruiluun. (Petrie 2012).

Jotkin pintakäsittelyaineet on suunniteltu muodostamaan kemiallisia, kovalenttisiä sidoksia käsiteltävän pinnan kanssa. Esimerkkinä tällaisista sidoksista ovat tartunnan edistäjäaineet, jotka muodostavat niin sanotun "sillan" pintakäsittelyaineen sekä pinnan väliin, muodostaen sidoksia kummankin kanssa. (Petrie 2012).

Pintakäsittelyaineet voivat myös käyttää hyväkseen pinnan mikroskooppisia epätasaisuuksia sekä pieniä laaksoja ja koloja, täyttäen nämä ja kuivuessaan lukittautuvat mekaanisesti paikalleen. Pinnan pienet epätasaisuudet myös lisäävät pinnan tartuntapinta-alaa, luoden lisää kontaktipintaa dispersiovoimille. (Petrie 2012).



## 6 Kokeellinen osa

Suoritetujen kokeiden tarkoituksena oli tutkia CCA- sekä C-kyllästeitä sisältävän, käytöstä poistetun mäntypuutavaran pintakäsittelyominaisuuksia. Olennaisimpana osana testejä oli määrittää ja tarkkailla CCA-kyllästetyn puutavaran sisältämän arseenin mahdollista liukenemista erilaisten teollisuuteen sekä kuluttajille markkinoitavien pintakäsittelyaineiden läpi. Tämä toteutettiin uittotestillä, jossa pintakäsitteltyjä kappaleita uitettiin vedessä 14 vuorokauden ajan, jonka jälkeen vesinäytteen arseenipitoisuus mitattiin. Näitä arseenipitoisuuksia verrattiin pintakäsittelemättömän kontrolliryhmän pitoisuuksiin.

Veden imeytymistä puutavaraan myös seurattiin kokeiden aikana. Koekappaleet punnittiin ennen uittoa, 7 vuorokauden uiton jälkeen sekä viimeiseksi 14 vuorokauden uiton jälkeen. Testien tarkoituksena oli vertailla eri pintakäsittelymetodien vedenläpäisykykyä ja vertailla niitä keskenään. CCA-kyllästettyjen koekappaleiden kohdalla tarkoitettiin myös tutkia pintakäsittelyn vedenläpäisykyvyn sekä koekappaleiden luovuttaman arseenin välistä korrelaatiota. Lopuksi osalle kappaleista suoritettiin standardin SFS- EN ISO 2409 mukainen hilaristikkokoe, jossa määritettiin pintakäsittelyn tarttuvuus puumateriaaliin 14 vuorokauden uiton jälkeen. Kyllästetyn kierrätyspuutavaran lisäksi valmistettiin vertailuun erä koekappaleita kyllästämättömästä, puusepätkuivasta männystä.

### 6.1 Testiasetelma

Testit alkoivat koekappaleiden valmistuksella. Käytettävä puutavara saatiin Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:ltä. Testeissä käytettävät yksilöt valittiin dimensioiden, kyllästepitoisuuden sekä ulkonäön perusteella. Tarkoituksena oli valita puutavaraa, jossa on mahdollisimman vähän halkeamia, joka oli mahdollisimman suoraa tai mahdollista höylätä suoraksi, eikä se saanut sisältää jäämiä nauloista, kivistä sekä muusta jätteestä, joka voisi aiheuttaa vahinkoa salin konekannalle. Koekappaleiden valmistus aloitettiin helmikuussa, joten ulkosäilytyksessä ollut puutavara oli jäässä. Valitut kappaleet siirrettiin sisätiloihin sulamaan ennen työstön aloittamista.

Sulatusvaiheessa ongelmaksi muodostui valitun puutavaran halkeilu. Osa valitusta puutavaraasta halkesi täysin käyttökelvottomaksi, joka aiheutti aikataulullisia ongelmia (Kuva 10).



Kuva 10. Haljennutta puutavaraa (Kuva: Joonas Ikonen)

Sopivan puutavaran löydyttyä, kappaleet höylättiin ja sahattiin oikeisiin mittoihin. Testikappaleiden dimensioiksi valittiin  $(130 \pm 2)$  mm  $\times$   $(70 \pm 2)$  mm  $\times$   $(20 \pm 2)$ . Kyseisen dimension testikappaleet oli helppo säilyttää, mahdollista työstää tarjolla olevasta puutavarasta ja ne olivat pinta-alaltaan tarpeeksi suuria hyvän ruisku- ja pensselimaalaustuloksen takaamiseksi. Jokaiselle pintakäsittelylle valmistettiin 5 kappaletta testipalikoita kustakin testattavasta puutavaratypistä; CCA-kyllästetystä mäntykierrätyspuusta, C-kyllästetystä mäntykierrätyspuusta sekä kyllästämättömästä mäntysahatavarasta. Jokaisesta laudasta sahattiin yhteensä 5 kappaletta testikappaleita, joista 4 kappaletta pintakäsiteltiin eri aineilla ja joista 1 jätettiin pintakäsittelemättä. Yhteensä testikappaleita valmistettiin 75 kappaletta. Tähän kappalemäärään sisältyi 4 eri pinnoitetyyppiä sekä pinnoittamattomat kontrollikappaleet.

Pintakäsittelyaineiksi valikoitiin seuraavat tuotteet:

- Teknos Teknol JRM. Vesiohenteinen, akrylaatti pohjainen reunamaali.
- Teknos Visa Premium. Vesiohenteinen, akrylaatti-alkydi pohjainen hybridisideainemaali.
- Teknos Woodex Aqua Wood Oil. Vesiohenteinen luonnonöljy ulkokäyttöön.

- Tikkurila Unica Super 90. Lakkabensiiniohenteinen uretaanialkydilakka.

Näiden lisäksi hankittiin Teknos Woodex Aqua Base Plus ja Tikkurila Valtti pohjusteet, sekä Tikkurila Lakkabensiini 1050 -ohenne. Teknol JRM maali saatiin tutkimuskäyttöä varten Jussi Järviseltä Teknos Oy:ltä.

Pintakäsittelyaineiden valintaperusteina olivat niiden saatavuus sekä tarkoitettu käyttökohde. Valitut pintakäsittelyaineet ovat valmistajiensa mukaan soveltuvia ulkokäyttöön, sekä Teknol JRM lukuun ottamatta, levitettävissä vanhoille sekä kuluneille pinnoille. Teknol JRM sisällytettiin testeihin Teknos Oy Jussi Järvisen suosituksesta. Valitut pintakäsittelyaineet ovat myös tyypiltään laajasti kuluttaja- sekä teollisuuskäytössä käytettyjä aineita.

Ennen maalausta kappaleita tasaannutettiin ( $23 \pm 2$ ) °C lämpötilassa ja ( $50 \pm 5$ ) % kosteudessa kunnes kappaleiden paino säilyi vakiona. Kappaleiden kosteus mitattiin GANN Hydromette UNI 2 kosteusmittarilla (Kuva 10). Kappaleiden keskimääräinen kosteus ennen maalaamista oli 4,6 %.



Kuva 11. Kosteusmittari (Kuva: Joonas Ikonen)

Testikappaleet maalattiin niin, että testikappaleen ympärille muodostuu yhtenäinen suojaava maalikerros. Jokaisen kappaleen reunat pyöristettiin 120 karkeuden hiekkapaperilla tasaisen maalikalvon takaamiseksi.

Ensimmäisenä Visa Premium, sekä Woodex Aqua Wood Oil pinnoitettavat kappaleet pohjustettiin Teknos Woodex Aqua Base Plus pohjusteella kummankin pintakäsittelyaineen tuoteselosteiden suositusten mukaisesti. Tikkurila Unica Super 90 kohdalla pohjusteeksi

suositeltiin Tikkurilan Valtti pohjustetta. Kummankin pohjusteen levitykseen suositeltiin sivellintä (Kuva 12).



Kuva 12 Testikappaleet kuivumassa (Kuva: Joonas Ikonen)

Kappaleiden annettiin kuivua perjantai–maanantai välisen ajan. Pohjusteiden kuivuttua, levitettiin ensimmäiset kerrokset Visa Premiumia, Woodex Aqua Wood Oilia sekä Unica 90 lakkaa. Kunkin tuotteen tuoteselosteen mukaan pintakäsittelyaineita oli suositeltavaa ohentaa pohjamaalaukselta varten imeytymisen parantamiseksi. Visa Premiumia sekä Woodex Aqua Wood Oilia ohennettiin vedellä painon mukaan 10 %. Unica Super 90 -lakkaa ohennettiin suositusten mukaisesti 20 % Tikkurilan lakkabensiini 1050- ohenteella. Levitysmetodina käytettiin sivellintä tuoteselosteiden sanelemien ohjeiden mukaisesti. Aqua Wood Oilin suositeltu kuivumisaika päällemaalaukselta varten oli 24 tuntia, joten levityksen jälkeen pintakäsittelyjen annettiin kuivua vuorokauden. (Teknos Group. 2021; Teknos Group. 2018; Tikkurila Oyj. 2020.)

Kuivumisajan jälkeen, kappaleisiin levitettiin toiset kerrokset pintakäsittelyä. Tällä kertaa pintakäsittelyaineet jätettiin ohentamatta. Toisen kerroksen jälkeen kappaleiden annettiin kuivua toinen vuorokausi.

Siveltävien pintakäsittelyjen kuivuessa, Teknol JRM pinnoitettavat koekappaleet valmistettiin pintakäsittelyä varten. Tällä kertaa suositeltu levitysmetodi oli ruisku. Kappaleisiin levitettiin yhteensä kaksi kerrosta ohentamatonta pintakäsittelyä. Teknol JRM suositeltu kuivumisaika päällemaalaukselta varten oli noin 2 tuntia, mutta levityksen myöhäisestä ajankohdasta johtuen kappaleiden annettiin kuivua seuraavaan päivään. Kuivumisajan jälkeen

levitettiin toinen kerros. Kappaleiden annettiin kuivua viikonlopun yli (Kuva 13). (Teknos Group. 2010.)



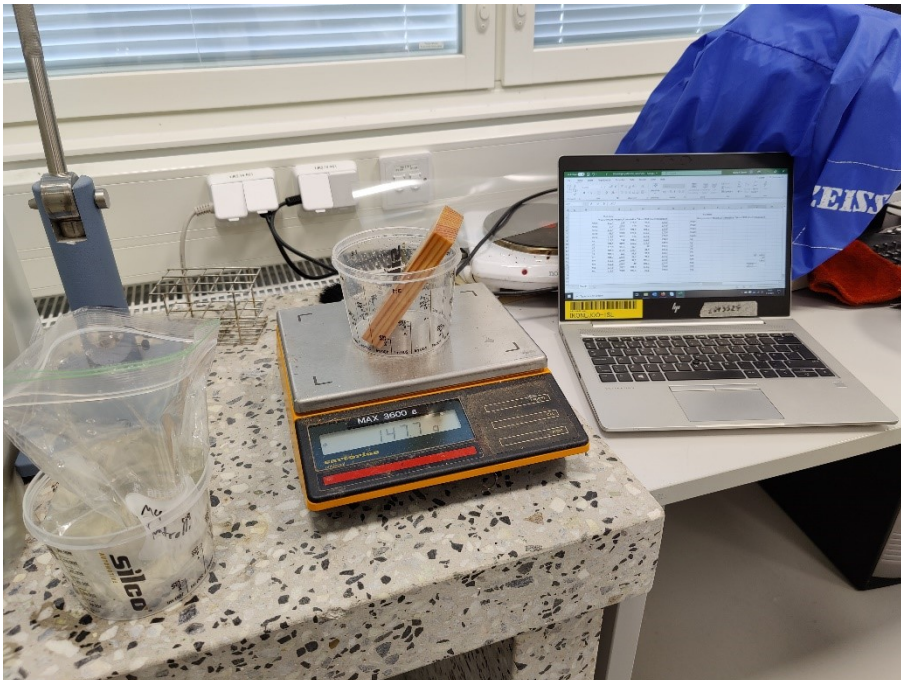
Kuva 13. Teknol JRM mäntykappaleessa (Kuva: Joonas Ikonen)

Pintakäsittelyjen kuivuttua, koekappaleet valmistettiin punnitusta sekä uittoa varten. Jokainen koekappale punnittiin, jonka jälkeen ne suljettiin 1 litran Amergrip® ilmatiiviisiin pakastepusseihin. Jokaiseen pussiin kirjattiin kappaleen materiaali joko C, CCA tai M -merkinällä. "C" tarkoittaa kuparikyllästettä, "CCA" taas kromattua kupariarsenaattia ja "M" tarkoittaa kyllästämätöntä mäntyä. Pusseihin myös merkattiin kyseisen kappaleen pintakäsittely merkinnöillä Visa, Oil, Vene, JRM tai Kontrolli. "Visa" tarkoittaa Visa Premium, "Oil" tarkoittaa Aqua Wood Oil, "Vene" tarkoittaa Unica Super 90, "JRM" tarkoittaa Teknol JRM ja "Kontrolli" tarkoittaa pinnoittamatonta kontrolliryhmän kappaletta. Tämän jälkeen pakastepussit täytettiin vedellä ja testikappaleiden annettiin liota vedessä 14 vuorokauden ajan (Kuva 14).



Kuva 14. Testikappaleet vedessä (Kuva: Joonas Ikonen)

Seitsemän vuorokauden kohdalla kappaleet otettiin väliaikaisesti ulos pusseistaan, punnittiin märkinä ja painot kirjattiin ylös (Kuva 15).



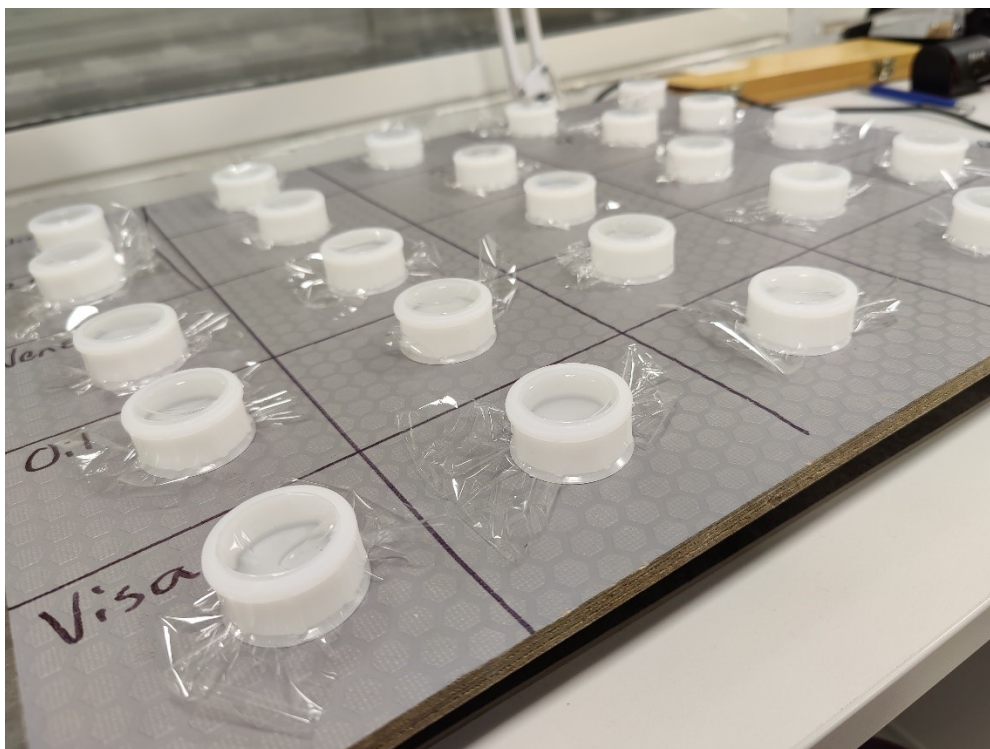
Kuva 15 Testikappaleiden punnitus (Kuva: Joonas Ikonen)

Uiton jälkeen kappaleet punnittiin jälleen ja tulokset kirjattiin ylös. Kappaleet poistettiin liotuksesta ja siirrettiin kuivumaan huoneilmaan yhden vuorokauden ajaksi. Jäljelle jääneestä

CCA-kappaleiden uittovedestä valmisteltiin XRF-näytteet veden arseenipitoisuuden mittaamista varten. Teknol JRM, Visa Premium sekä Unica Super 90 pintakäsittelyaineilla pinnoitetut kappaleet valmisteltiin hilaristikko-testiä varten.

## 6.2 Uittoveden arseenipitoisuuden mittaaminen XRF-menetelmällä.

Jokaisesta CCA-kyllästettyä puutavaraa sisältäneestä uittovesipussista laadittiin nestenäytteet (Kuva 16).



Kuva 16. Nestenäytteet (Kuva: Joonas Ikonen)

Arseenipitoisuuden mittaamiseen käytettiin LAB Ammattikorkeakoulun Hitachi X-MET8000 käsikäyttöistä XRF-mittaria, siihen kuuluvaa pöytätelinettä sekä Windows 10 yhteensopivaa käyttöliittymää (Kuvat 17, 18 ja 19).

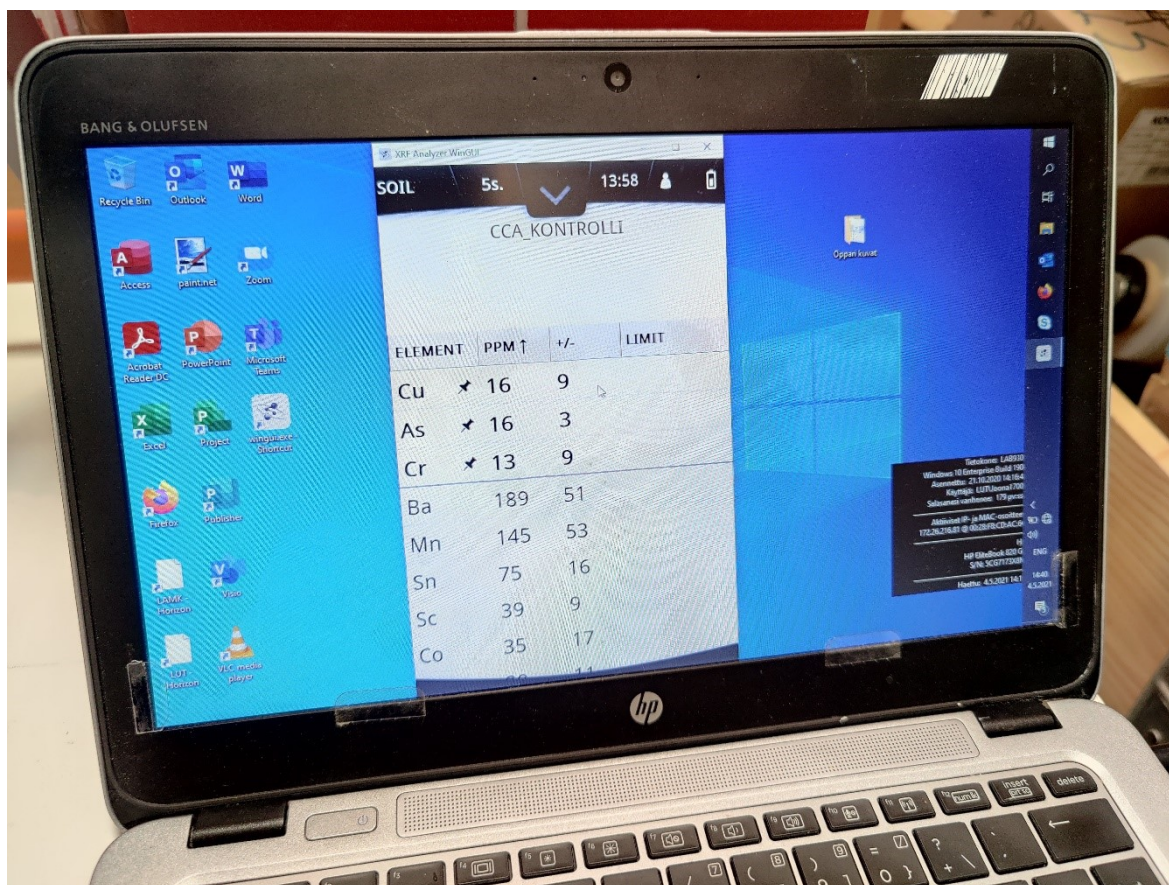


Kuva 17. XRF-mittari valmiustilassa (Kuva: Joonas Ikonen)



Kuva 18. XRF-mittari Hitachi X-MET8000 (Kuva: Joonas Ikonen)





Kuva 19 XRF-mittarin PC-käyttöliittymä (Kuva: Joonas Ikonen)

Näytekupit asetettiin yksi kerrallaan telineeseen ja arseenipitoisuus mitattiin. Mittarin ilmoittama arvo näytteen arseenipitoisuudelle kirjattiin ylös. Arseenin määrä ilmoitettiin yksikössä PPM = Parts per million (partikkeli miljoonaa partikkeliä kohden).

### 6.3 Pinnoitteen tarttuvuuden testaaminen hilaristikko-menetelmällä

Standardissa SFS-EN ISO 2409:2020. Maalit ja lakat, luetellaan vaatimukset hilaristikkokokeen suorittamiselle.

Kuivumisen jälkeen valitut testikappaleet valmistettiin hilaristikkokoetta varten. Teknol JRM, Visa Premium sekä Unica Super 90 pinnoitetut kappaleet sisällytettiin kokeeseen, koska kyseiset pintakäsittelyaineet muodostavat selkeän kalvon. Kokeen suorittamiseksi käytettiin standardin vaatimaa, käsikäyttöistä hilaristikko-työkälyä, jolla naarmutettiin koekappaleen pintaa Kuva 20 osoittamalla tavalla. Yhteen koekappaleeseen naarmutettiin yhteensä 6 ristikköä, 3 kappaleetta per puoli.



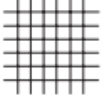
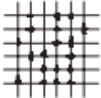
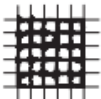
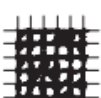

Kuva 20. Hilaristikko (Kuva: Joonas Ikonen)

Naarmutuksen jälkeen jokaista hilaristikkoa analysoitiin. Tarkkailun apuna käytettiin Erichsen model 456 USB-luuppia (Kuva 21).



Kuva 21. USB-luuppi (Kuva: Joonas Ikonen)

Hilaristikkotestin päätarkoituksena on tarkkailla eri pinnoitteiden hilseilyä sekä adheesiota. Hilaristikoille annettiin arvosana asteikolla 0–5 noudattaen standardin EN 2409 vaatimuksia (Kuva 22).

Classification	Description	Appearance of surface of cross-cut area from which flaking has occurred <sup>a</sup> (Example for six parallel cuts)
0	The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.	
1	Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross-cut area not greater than 5 % is affected.	
2	The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross-cut area greater than 5 %, but not greater than 15 %, is affected.	
3	The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and/or it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross-cut area greater than 15 %, but not greater than 35 %, is affected.	
4	The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area greater than 35 %, but not greater than 65 %, is affected.	
5	Any degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.	—

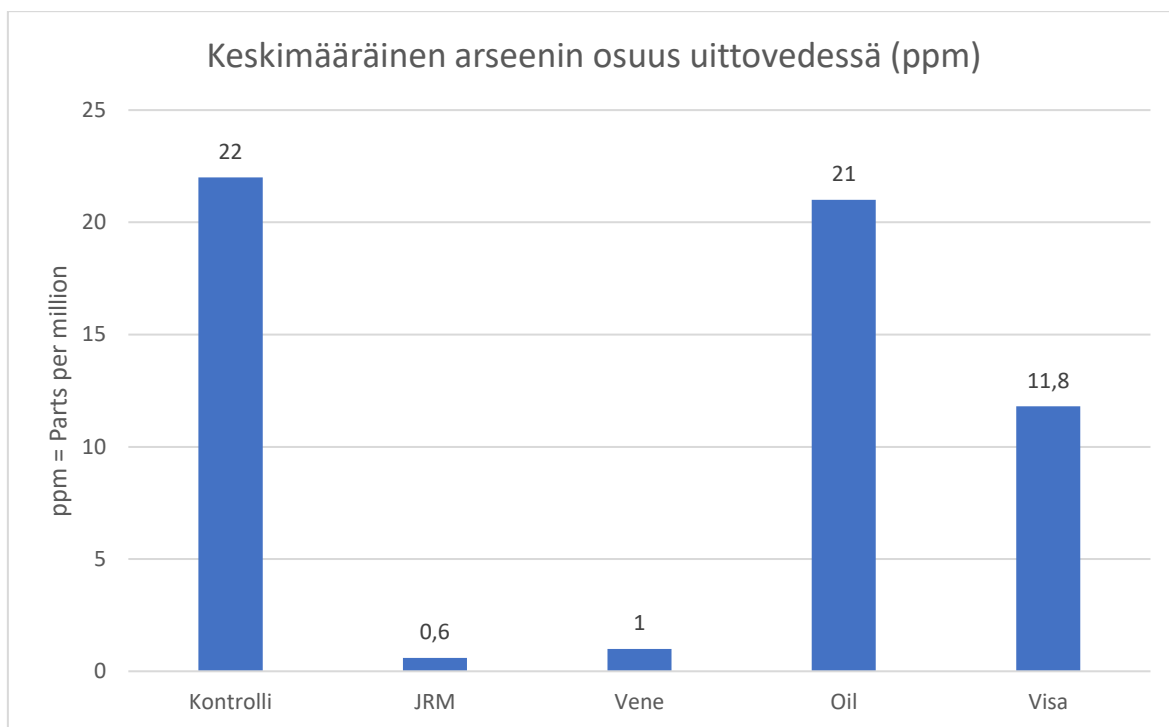
<sup>a</sup> The figures are examples for a cross-cut within each step of the classification. The percentages stated are based on the visual impression given by the pictures and the same percentages will not necessarily be reproduced with digital imaging.

Kuva 22. Hilaristikon arvostelukriteerit (EN 2409)

## 7 Tulokset

### 7.1 XRF-testit

Kullekin pinnoitetyypille laskettiin keskimääräinen uittoveden arseenipitoisuus ja tulos ilmoitettiin yhden desimaalin tarkkuudella (Kuvio 1).



Kuvio 1. Keskimääräinen arseenin osuus uittovedessä

	1	2	3	4	5	Keskiarvo	Keskihajonta
Kontrolli	30	29	29	16	6	22	9,5
JRM	0	0	0	3	0	0,6	1,2
Vene	3	2	0	0	0	1	1,3
Oil	12	35	29	24	5	21	11,0
Visa	9	24	6	9	11	11,8	6,3

Taulukko 1. Keskiarvot ja keskihajonta (yksikkö: ppm = parts per million)

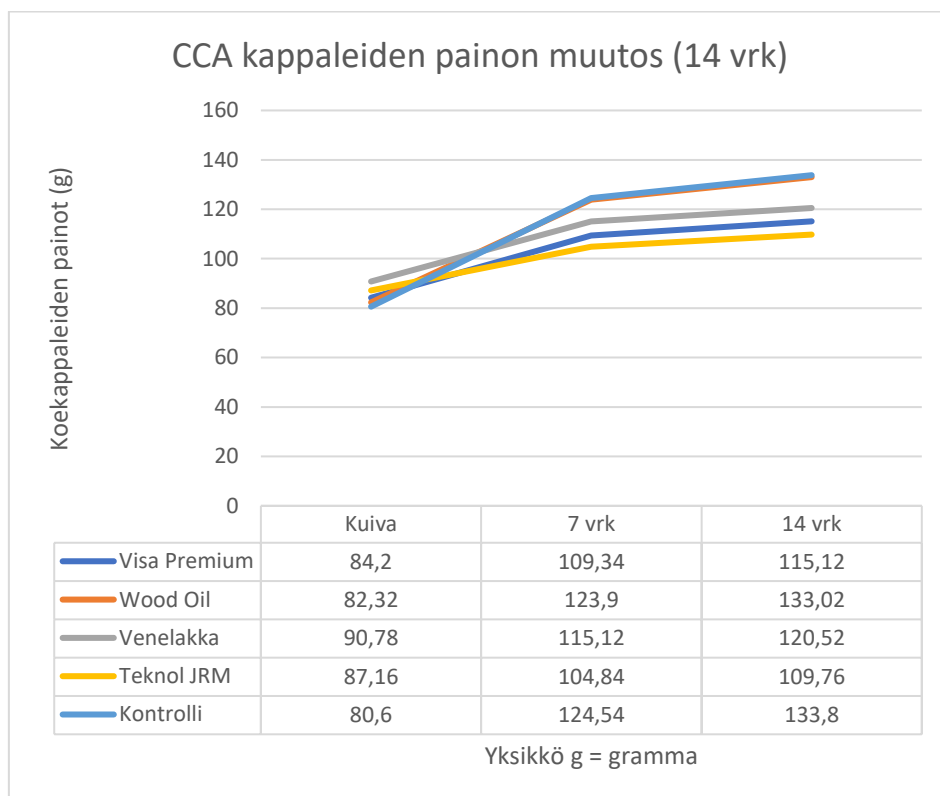
Pinnoittamaton kontrolliryhmä oli luovuttanut keskimääräisesti eniten arseenia tuloksella 22 ppm. Vähiten oli luovuttanut Teknos Teknol JRM tuloksella 0,6. Teknos Aqua Wood Oil oli tuloksessaan hyvin lähellä kontrolliryhmän tulosta ja Tikkurila Unica Super 90 tulos voidaan jopa ilmoittaa samansuuruisena kuin Teknol JRM:n tulos. Tuloksissa on huomioitava XRF-mittarin antama mittaustoleranssi, joka pysyi koko testin ajan keskimäärin  $\pm 3$  ppm.

Kontrolliryhmän sekä Aqua Wood Oil kappaleiden kohdalla mittanäytteiden arseenipitoisuuksissa oli suurta hajontaa (Taulukko 1). Aqua Wood Oilin kohdalla keskihajonta oli

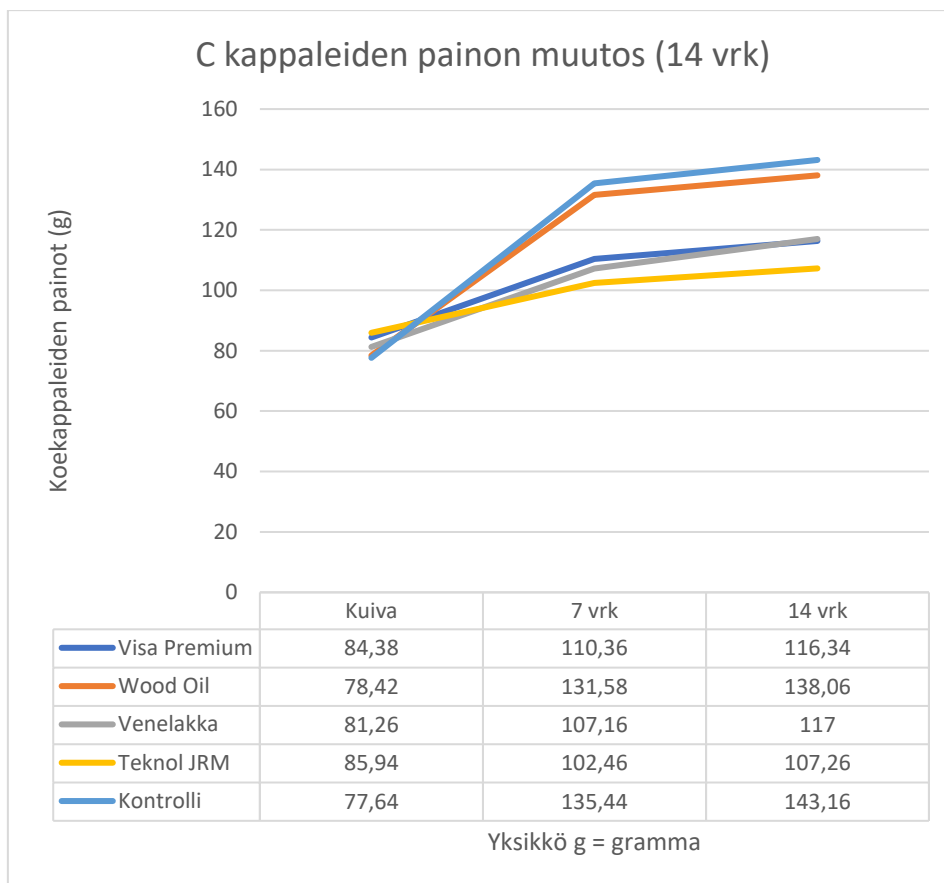
suurinta, hajonnan ollessa keskimääräisesti 11 ppm verran tulosten keskiarvosta. Pienin keskihajonta oli Teknos JRM näytteillä, luvun ollessa 1,2 ppm. Suuret erot keskihajonnassa saattavat johtua testipalikoissa käytettävästä puutavarasta. Yksittäisten lankkujen välillä oli selkeitä eroja niissä käytettyiden kyllästeaineiden tunkeumassa. Vaikka testipaloja valmistettaessa tarkoituksena oli varmistaa, että kussakin testipalassa oli visuaalisesti havaittavissa selkeä osuus kyllästettyä pintapuuta, sen saavuttaminen oli hyvin haastavaa tai lähes mahdotonta puutavaran heterogeenisyyden takia.

## 7.2 Veden imeytyvyys pinnoitteen läpi

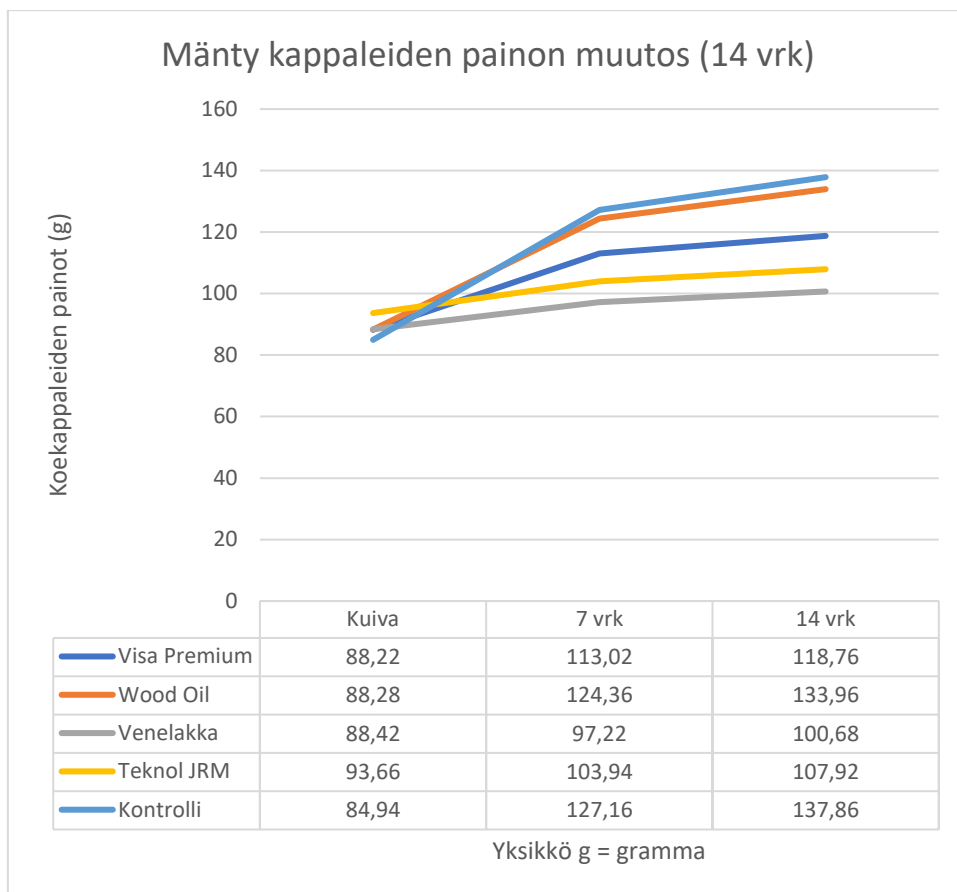
Jokaisen CCA-kyllästetyn, C-kyllästetyn sekä kyllästämättömän mäntykappaleen painot kirjattiin ylös kolmena ajankohtana uiton aikana. Jokaiselle kyllästetyypille laskettiin keskimääräiset painot jokaiselta kolmelta punnitukselta, jonka jälkeen oli mahdollista johtaa eri kyllästeiden painon muutos 14 päivän ajalta (Kuviot 2, 3 ja 4).



Kuvio 2. CCA-kappaleiden painon muutos



Kuvio 3. C-kappaleiden painon muutos



Kuvio 4. Mäntykappaleiden painon muutos

CCA-kappaleiden kohdalla painon muutos oli tasaisinta. Kalvon muodostavien pintakäsittelyaineiden kohdalla painonmuutos on kuitenkin lievempää kuin kontrollikappaleilla sekä Aqua Wood Oililla.

C-kappaleissa ero oli suurempi. Kontrollikappaleiden sekä öljytyjen kappaleiden paino melkein kaksinkertaistui 7 vuorokauden uiton jälkeen. Kalvon muodostavilla pintakäsittelyaineillakin painon nousu on hieman jyrkempää verrattuna CCA-kappaleisiin.

Kyllästämättömän männyn kohdalla pintakäsittelyiden vedenläpäisykykyyn on syntynyt suurempaa hajontaa. Teknol JRM sekä Unica Super 90 suoriutuvat paremmin kyllästämättömän männyn kohdalla kuin kyllästetyn kierrätyspuun. Visa Premiumin vedenläpäisy vaikuttaa olevan samaa luokkaa kyllästetyn sekä kyllästämättömän männyn kohdalla.

### 7.3 Hilaristikko

Jokaisen hilaristikkotestikappaleen arvosanojen keskiarvo sekä -hajonta laskettiin ja kirjattiin ylös. Eri pintakäsittelyaineilla käsiteltyjen kyllästetyyppien tuloksista laskettiin vielä keskimääräiset keskiarvot sekä -hajonnat. Annetut arvosanat ovat kirjattuna oheisiin taulukoihin. Vaikka standardin mukaisissa testeissä arvosanat annetaan asteikolla 1–5, tulosten keskiarvot sekä -hajonnat on ilmoitettu taulukoissa yhden desimaalin tarkkuudella selkeämmän havainnollistamisen takia. Kaikkien koekappaleiden arvosanojen pyöristetyt keskiarvot ovat ilmoitettuna Taulukossa 5.

	Naarmu 1	Naarmu 2	Naarmu 3	Naarmu 4	Naarmu 5	Naarmu 6	KA	s
Vene_CCA1	1	2	2	1	1	1	1,3	0,5
Vene_CCA2	1	1	1	2	1	1	1,2	0,4
Vene_CCA3	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_CCA4	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_CCA5	2	2	2	1	1	2	1,7	0,5
Keskiarvo							1,2	0,3
Vene_C1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_C2	2	2	2	2	1	2	1,8	0,4
Vene_C3	2	2	2	2	2	2	2,0	0,0
Vene_C4	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_C5	3	3	3	4	4	4	3,5	0,5
Keskiarvo							1,9	0,2
Vene_M1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_M2	1	2	2	1	1	1	1,3	0,5
Vene_M3	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_M4	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Vene_M5	1	1	1	1	1	2	1,2	0,4
Keskiarvo							1,1	0,2
Koko otos							1,4	0,2

Taulukko 2. Unica Super 90 hilaristikkotulokset



	Naarmu 1	Naarmu 2	Naarmu 3	Naarmu 4	Naarmu 5	Naarmu 6	KA	s
Visa_CCA1	3	2	2	2	2	2	2,2	0,4
Visa_CCA2	3	1	1	1	1	1	1,3	0,7
Visa_CCA3	2	2	1	1	1	2	1,5	0,5
Visa_CCA4	2	1	1	1	1	1	1,2	0,4
Visa_CCA5	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Keskiarvo							1,4	0,4
Visa_C1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Visa_C2	2	1	2	3	2	2	2,0	0,6
Visa_C3	1	2	2	1	2	3	1,8	0,7
Visa_C4	2	2	3	1	2	1	1,8	0,7
Visa_C5	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Keskiarvo							1,5	0,4
Visa_M1	1	1	1	1	1	2	1,2	0,4
Visa_M2	2	1	2	1	1	1	1,3	0,5
Visa_M3	2	1	1	1	1	2	1,3	0,5
Visa_M4	1	1	2	2	1	2	1,5	0,5
Visa_M5	1	1	2	1	2	1	1,3	0,5
Keskiarvo							1,3	0,5
Koko otos							1,4	0,4

Taulukko 3. Visa Premium hilaristikko tulokset

	Naarmu 1	Naarmu 2	Naarmu 3	Naarmu 4	Naarmu 5	Naarmu 6	KA	s
JRM_CCA1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_CCA2	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_CCA3	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_CCA4	1	2	2	1	3	1	1,7	0,7
JRM_CCA5	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Keskiarvo							1,1	0,1
JRM_C1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_C2	5	5	4	1	1	2	3,0	1,7
JRM_C3	3	1	1	4	1	4	2,3	1,4
JRM_C4	1	1	1	2	1	1	1,2	0,4
JRM_C5	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Keskiarvo							1,7	0,7
JRM_M1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_M2	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_M3	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_M4	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
JRM_M5	1	1	1	1	1	1	1,0	0,0
Keskiarvo							1,0	0,0
Koko otos							1,3	0,3

Taulukko 4. Teknol JRM Hilaristikko tulokset

	CCA	C	Mänty
Venelakka	1	2	1
JRM	1	2	1
Visa	1	2	1

Taulukko 5. Kaikkien kappaleiden KA

CCA-kyllästetty sekä kyllästämätön mänty saivat kumpikin keskimääräisen arvosanan 1 jokaisesta pinnoitteesta. C-kyllästetty mänty suoriutui testeistä huonommin keskiarvolla 2 jokaisen pinnoitteen kohdalla (Taulukko 5).

Unica Super 90 pinnoitetuista testikappaleista kyllästämätön mänty sekä CCA-kyllästetty mänty suoriutuivat hyvin samankaltaisesti. C-kyllästetyn männyn keskimääräinen tulos sen sijaan erosi kyllästämättömästä sekä CCA-kyllästetystä männystä 0,7–0,8 arvosanayksiköllä. C-kyllästetyn männyn keskimääräiseen arvosanaan vaikutti huomattavasti kappale C5, jonka hilaristikoiden keskimääräinen arvosana oli 3,5 (Taulukko 2).

Visa Premium pinnoitettujen testikappaleiden kohdalla C- ja CCA-kyllästettyjen sekä kyllästämättömien kappaleiden arvosanojen välillä ei ole huomattavaa eroa keskiarvon tai keskihajonnan suhteen. Tulokset olivat tasaväkisiä kaikkien kyllästetyyppien välillä (Taulukko 3).

Teknos JRM pinnoitettujen testikappaleiden kohdalla CCA-kyllästettyjen sekä kyllästämättömien mäntykappaleiden tulokset ovat samankaltaisia. Huonoiten suoriutui C-kyllästetyt kappaleet, jonka tulosten keskiarvon ero on 0,7–0,6 arvosanayksikköä verrattuna kyllästämättömään sekä CCA-kyllästettyyn mäntyyn (Taulukko 4).

## 8 Yhteenveto

### 8.1 Johtopäätökset

Pintakäsittelyaineilla voidaan parantaa käytetyn kyllästepuun teknisiä ominaisuuksia. Kalvon muodostavilla pintakäsittelyaineilla voidaan pienentää veden imeytymistä puuainekseen, sekä ehkäistä myrkyllisten kyllästeaineiden liukenemista ympäröivään veteen.

Akrylaatti- sekä uretaanialkydi- pohjaisten pintakäsittelyaineiden potentiaalia olisi kannattavaa tutkia jatkossakin. Teknol JRM sekä Unica Super- pinnoitteet onnistuivat lähes kokonaan estämään arseenin liukenemisen ympäröivään veteen 14 vuorokauden uiton ajan. Kumpikin pintakäsittelyistä muodostivat kiinteän kalvon kappaleen ympärille, joiden vedenläpäisy oli alhainen verrattuna muihin pintakäsittelyaineisiin. Valmistajien laatimissa tuoteselosteissa kumpikin tuote oli tarkoitettu suojaamaan pinnoitettavaa kohdetta kosteudelta sekä rasitukselta (Teknos Group 2010; Tikkurila Oyj 2020). Alhainen vedenläpäisykyky saattaa selittää alhaisen arseenin liukenemisen veteen.

Laadukkaalla pintakäsittelyllä olisi mahdollista ratkaista tiettyjä lainsäädännön esittämiä haasteita arseenikyllästetyn kierrätyspuutavaran uusiokäytöstä. Pintakäsittelyllä on myös potentiaali pidentää uusiokäytettävän puutavaran käyttöikää entisestään, ehkäisemällä ylimääräisen veden imeytymistä, sekä estämällä lahottajien pääsyn paljaaseen ydinpuuhun.

### 8.2 Johtopäätöksissä huomioitavaa

Öljytyjen sekä pintakäsittelemättömien koekappaleiden uittovedessä oli 14 vuorokauden uiton jälkeen havaittavissa pieniä säikeitä sekä puun siruja, jotka olivat irronneet pussissa olevasta koekappaleesta. Osassa pintakäsittelemättömiä testikappaleita näkyi selkeitä haajoamisen merkkejä kappaleiden pinnassa. Nämä pienet säikeet ovat potentiaalisesti vaikuttaneet XRF-mittarin mittaustulokseen, sillä niitä on voinut päästä satunnaisia määriä nestenäytteisiin. Tämä voi muuttaa johtopäätöstä testien tuloksista, koska siinä tapauksessa XRF-mittari ei ole mitannut veteen liunneen arseenin määrä, vaan veteen murentuneen, arseenipitoisen puuaineksen määrää vedessä. Silloin tulosten tarkkuus pintakäsittelyn kyvystä estää mikroskooppisten kyllästepartikkelien liukeneminen veteen voidaan kyseenalaistaa. Tästä voidaan myös päätellä, että pintakäsittelyaineen kyky estää arseenipitoisen materiaalin kulkeutuminen veteen perustuu pintakäsittelyn kykyyn sulkea mureneva puuaines kiinteän kalvon alle, sen sijaan että kalvo estäisi kyllästepartikkelien kulkeutumisen lävitseen.

### 8.3 Kehitysehdotukset

Mahdollisissa jatkotutkimuksissa olisi hyödyllistä ottaa hilaristikkotesteihin mukaan kuivana pidettävät versiot jokaisesta pintakäsittely- sekä kyllästetyypistä. Tämä toisi selkeää lisäarvoa hilaristikkotesteille, sillä se toisi lisää vertailukohteita mihin verrata uitettuja kappaleita. Myös kalvon paksuuden merkitys arseenin liukenemiseen pintakäsittelyn läpi olisi mahdollisesti hankkeen kannalta arvokasta tietoa ja hyvä jatkotutkimuskohde.

## 9 Lähdeluettelo

Aaltonen, T. 2015. Pelastuuko Suomalainen Terva? Kemia-lehti. 4/2015. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2015/06/Pelastuuko\\_suomalainen\\_terva\\_Kemia-lehti\\_12\\_06\\_2015.pdf](http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2015/06/Pelastuuko_suomalainen_terva_Kemia-lehti_12_06_2015.pdf)

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). CCA-Treated Wood. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.atsdr.cdc.gov/CCA-Treated\\_Wood\\_Factsheet.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/CCA-Treated_Wood_Factsheet.pdf)

Ahlroth, A. 2015. Liimamaalin kestävyys ja ominaisuudet. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93521/Ahlroth\\_Annika.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93521/Ahlroth_Annika.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ahokas, J. 2009. Modifioitujen puutuotteiden kilpailukyky eri kohteissa. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5253/Ahokas\\_Jaana.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5253/Ahokas_Jaana.pdf?sequence=1)

Allergia.fi. 2019. Mehiläisvaha. Allergia-, Iho- ja Astmaliitto ry. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.allergia.fi/allergia/allergiset-iho-oireet/kosmetiikka-allergia/mehilaisvaha-cera-alba/#f53cd973>

Apteekkituotteet.fi. Parafiiniöljy 200 ml. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.apteekkituotteet.fi/Parafiinioeljy>

Ask A Scientist Staff. 2020. What is XRF (X-ray fluorescence) and how does it work? Thermo Fisher Scientific. Viitattu 6.5.2020. Saatavissa <https://www.thermofisher.com/blog/ask-a-scientist/what-is-xrf-x-ray-fluorescence-and-how-does-it-work/>

Auró. 2016. White rot on oak. Viitattu 13.5.2021. Saatavissa [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:White\\_rot\\_on\\_oak.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:White_rot_on_oak.JPG)

Avikainen, J. 2015. Sähköjakeluverkon puupylväiden lahoaminen eri ympäristöissä. Aalto-yliopisto. Diplomityö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16239/master\\_Avikainen\\_Jarkko\\_2015.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16239/master_Avikainen_Jarkko_2015.pdf?sequence=1)

Baboo, B & Goswami, D.N. 2010. Processing Chemistry and Applications of Lac. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa: <https://archive.org/details/processingchemis00unse/page/4/mode/2up>

Beentree. 2006. Cubical rot checked quercus bialowieza 3 beentree. Viitattu 13.5.2021. Saatavissa [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cubical\\_rot\\_checked\\_quercus\\_bialowieza\\_3\\_beentree.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cubical_rot_checked_quercus_bialowieza_3_beentree.jpg)

Better Health Channel. Copper chrome arsenic (CCA) treated timber. Department of Health, State Government of Victoria, Australia. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/HealthyLiving/copper-chrome-arsenic-cca-treated-timber>

Collission, C. 2015. A Closer Look: Beeswax wax glands. Bee culture. 3/2015. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.beeculture.com/a-closer-look-beeswax-wax-glands/>

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2008/98/EY

Flexner, B. 2017. A Short History of How Shellac Became Known as a Sealer. Cruz Bay Publishing. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.popularwoodworking.com/flexner-on-finishing-woodworking-blogs/short-history-shellac-became-known-sealer/>

Goodell, B., Jellison, J., Qian, Y. 2008. Fungal Decay of Wood: Soft rot – Brown rot – White Rot. University of Maine. Artikkel. Viitattu 6.5.2020. Saatavilla [https://www.researchgate.net/publication/216694122\\_Fungal\\_Decay\\_of\\_Wood\\_Soft\\_Rot-Brown\\_Rot-White\\_Rot](https://www.researchgate.net/publication/216694122_Fungal_Decay_of_Wood_Soft_Rot-Brown_Rot-White_Rot)

Hytönen, K. 2011. Omavalmisteiset sisämaalit. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33947/Hytönen\\_Karoliina.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33947/Hytönen_Karoliina.pdf)

Häkämies, S., Lehtonen, K., Lähdesmäki-Josefsson, K., Pitkämäki, A. 2019. Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous, loppuraportti. Viitattu 13.5.2021 Saatavissa <https://www.ym.fi/download/noname/%7B03D4B199-2FF6-43DA-93A3-96C19B5B78E0%7D/155463>

Kankaanhuhta, V., Väkevä, J. 2000. Sinistäjäsienet. Luonnonvarakeskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit\\_kansi/sclero-p.htm](http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/sclero-p.htm)

Kestopuuteollisuus ry. 2012. PAINEKYLLÄSTETYN KESTOPUUN KÄYTTÖ- JA TURVALISUUSOHJE. Ohje. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.netrauta.fi/attachments/products/tammiston\\_puu/terassikestopuu/Kestopuun\\_kayttoturvallisuus.pdf](https://www.netrauta.fi/attachments/products/tammiston_puu/terassikestopuu/Kestopuun_kayttoturvallisuus.pdf)

Kujanpää, E. 2011. Terva – Historia, valmistus ja käyttö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36168/Kujanpaa\\_Elisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36168/Kujanpaa_Elisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kymin palokärki. Kaseiinitempera- ja liima. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://kauppa.kyminpalokarki.fi/category/117/kaseiinitempera-ja-liima>

Källbom, A. 2012. Mjök- och kaseinfärger. Göteborgs Universitet. Opinnäytetyö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <http://hdl.handle.net/2077/32110>

Lexico.com. Meaning of paint in English. Viitattu 6.5.2021. Saatavilla <https://www.lexico.com/definition/paint>

Lillqvist, K. 2020. Purkupuu uudelleen käyttöön! viitattu 13.5.2021. Saatavissa <https://blogit.lab.fi/sustainability/2020/04/09/purkupuu-uudelleen-kayttoon/>

Museovirasto. 2000. Korjauskortisto: Keittomaali. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/korjauskortti-12.pdf>

Mäkelä, M., Korhonen, K., Lipponen, K. 1999. Tunne puuraaka-aineen lahoviat. Metsäteho Oy & Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tunne\\_puuraakaaineen\\_lahoviat\\_opas.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tunne_puuraakaaineen_lahoviat_opas.pdf)

Paraffin. Dictionary.com. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.dictionary.com/browse/paraffin-oil>

Permachink Systems. 2020. What is Causing Wood Damage? Coastal Living and Effects of UV Light. Perma-Chink Systems, inc. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.permachink.com/blog/wood-damage>

Petrie, E. 2012. Fundamentals of Paint Adhesion. Materials Today. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.materialstoday.com/metal-finishing/features/fundamentals-of-paint-adhesion/>

Pohjois-Pohjanmaan korjausrakentamiskeskus PORA. Laho. Viitattu 6.5.2021. Saatavilla <https://www.ouka.fi/oulu/ppm/laho>

Puuinfo, a. Paineekyllästetty sahatavara. Puuinfo Oy. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/painekyllastetty-sahatavara/>

Puuinfo, b. Puun ominaisuudet. Puuinfo Oy. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/painekyllastetty-sahatavara/>

Puuinfo, c. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/>

Puuproffa, a. Puun lujuus. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/puun-liitokset/liitosten-vaatimukset/lujuus-puunrakenne/>

Puuproffa, b. Rakenneviat. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-kerrokset/rakenneviat/>

Puuproffa, c. Maalituotteet. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/maalituotteet/>



Puuproffa, d. Pigmentit. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/pigmentit/valkoiset/>)

Puuproffa, e. Maalit. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/maalit/>

Puuproffa, f. Muut maalit. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/muut-maalit/>

Puuproffa, g. Lakat. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/lakat/>

Puuproffa, h. Vahat ja öljyt. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021 Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/vahat-ja-oljyt/>

Puuproffa, i. Terva ja suopa. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021 Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/terva-ja-suopa/>

Puuproffa, j. Muut aineet. Pro Puu –keskus. Viitattu 6.5.2021 Saatavissa <https://puuproffa.fi/puutieto/pintakasittelytavat/muut-aineet/>

Rakennustieto Oy. 2017. Eri kyllästysluokkien mukaisia suoja-aineita. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2021-11287>

Rakennustieto Oy. 2017. Esimerkki pintakäsittely- tai kyllästysaineen tunkeuman syvyydestä ja kyllästysaineen määrästä. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2021-11287>

Ropilo, J & Kauppinen, T. 2017. Sahausprosessi tukista sahatavaraksi. Teoksessa Varis, R. (toim.) Sahateollisuus. Jyväskylä: Kirjakaari Oy, 83.

RT 21-11287. Kyllästetty puutavara. 2017. Rakennustieto Oy. Viitattu 6.5.2020. Saatavissa <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2021-11287>

Ruokavirasto. E901 – Mehiläisvaha, valkoinen, keltainen. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/elintarvikeparanteet/lisaaineet/e-koodit/e901/>

SFS-EN 350 2016. Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 2409. 2020. Paints and varnishes. Crosscut test. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

Suomen luonnonmaalit Oy. Pigmentit ja sävytysvärit. Viitattu 6.5.2021 Saatavissa <https://suomenluonnonmaalit.fi/tuote-osasto/pigmentit-ja-savytysvarit/>

Talbert, R. 2008. Paint technology handbook. Boca Raton. CRC Press. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <http://ceb.ac.in/knowledge-center/E-BOOKS/Paint%20Technology%20Handbook%20-%20R.%20Talbert.pdf>

Teknos Group. 2010. Teknol JRM reunamaali Tuoteseloste. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa [https://www.teknos.com/document/tds/fi\\_4002-20\\_6.pdf](https://www.teknos.com/document/tds/fi_4002-20_6.pdf)

Teknos Group, a. 2018. Woodex Aqua Wood Oil Tuoteseloste. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa [https://www.teknos.com/document/tds/fi\\_9481\\_6.pdf](https://www.teknos.com/document/tds/fi_9481_6.pdf)

Teknos Group, b. 2021. Visa Premium Erikoispeittosuoja Tuoteseloste. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa [https://www.teknos.com/document/tds/VISA%20PREMIUM\\_1252-00\\_TDS\\_fi.pdf](https://www.teknos.com/document/tds/VISA%20PREMIUM_1252-00_TDS_fi.pdf)

Teknos. Aqua Wood Oil. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.teknos.com/fi-FI/tuotteet/woodex-aqua-wood-oil/>

The Editors of Encyclopedia Britannica. Carnuba Wax. Encyclopedia Britannica. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.britannica.com/technology/carnauba-wax>.

Tikkurila Oyj. 2020. Unica Super 90 Tuoteseloste. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa <https://tikkurila.fi/sites/default/files/unica-super-90-fi-pds-tikkurila-1607112035.pdf>

Tikkurila Oyj. Maalin tunnistaminen. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://tikkurila.fi/tikkurilan-maalilinja/maalin-tunnistaminen>

Timonen, V. 2017. Käytöstä poistettujen CCA-kyllästettyjen sähköpylväiden käsittelymahdollisuudet sekä jälkimarkkinat. Lappeenrannan Teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.elenia.fi/fles/c6b2d6788ead43ede53ec3ffa348da99cc8e40e2/ka-yto-sta-poistettujen-kyllastettyjen-sa-hko-pylva-iden-ka-sittelymahdollisuudet-ja-ja-lkimarkkinat-julkinen-versio.pdf>

Titanium dioxide manufacturers association. What is Titanium Dioxide? Viitattu 6.5.2021. Saatavilla <http://tdma.info/what-is-titanium-dioxide/>

Työterveyslaitos. 2003. OVA-ohje tiivistelmä: Arseenipitoiset suolakyllästeet- tiivistelmä. Viitattu 13.5.2021. Saatavissa <https://www.ttl.fi/ova/tarskyl.html>

Työterveyslaitos. 2017a. OVA-ohje: Kreosootti. Viitattu 13.5.2021. Saatavissa <https://www.ttl.fi/ova/kreosootti.html>

Työterveyslaitos. 2017b. OVA-ohje. Arseenipitoiset suolakyllästeet. Viitattu. 15.5.2021. Saatavissa <https://www.ttl.fi/ova/ccakyll.html>

Veijalainen, H., Liukkonen, T. Orgaaniset liuottimet. Työterveyslaitos. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/orgaaniset-liuottimet/>

Wikimedia Commons. 2017. Beetle Killed Bluestain Pine. Viitattu 13.5.2021. Saatavissa [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beetle\\_Killed\\_Bluestain\\_Pine.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beetle_Killed_Bluestain_Pine.jpg)

Worral, J. Wood Decay. College of Environmental Science and Forestry, State University of New York. Viitattu 6.5.2021. Saatavissa <https://forestpathology.org/general/wood-decay/>

## Liitteet

### Liite 1. Puulajien sydänpuun lahonkesto (SFS EN 350 2016)

N°	Scientific name	Code acc. to EN13556	Common name	Origin	Density/ kg/m <sup>3</sup> at 12 % MC	Durability of heartwood				Treatability		Sap wood width	Additional data / information when available
						Fungi	Ano-bium	Ter-mites	Heart-wood	Sap wood			
24	<i>Pinus sylvestris</i> L.	PNSY	E: Scots Pine Redwood F: Pin sylvestre D: Kiefer, Föhre	Europe	500–520–540	3–4 (2–5)	D	D	S	3–4	1	s-m	This species exhibits a wide range of durability against basidiomycete fungi when tested under laboratory conditions
25	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	PSMN	E: Douglas Fir F: Douglas D: Douglasie	N America	510–530–550	3	D	D	S	4	3	s	Not resistant to marine borers
				cultivated in Europe	470–510–520	3–4 (3–5)					2–3		
26	<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.	SESM	E: Sequoia D: Küstensequoie	N America;		2	n/a	n/a	M	n/a	n/a	n/a	
27	<i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich	TADS	E: Southern cypress F: Cyprès chauve D: Sumpfzypressen	N America;		2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
28	<i>Taxus baccata</i> L.	TXBC	E: Yew F: If D: Eibe	Europe	650–690–800	2	D	D	n/a	3	2	vs	
29	<i>Thuja plicata</i> (D. Don)	THPL	E: Western Red Cedar F: Western Red Cedar D: Riesenlebensbaum	N America	330–370–390	2	D	D	S	3–4	3	s	Not resistant to marine borers
				Cultivated in UK		3 (1)							

### Liite 2. Lahonkeston arvostelutaulukko (SFS EN 350 2016)

Durability class	Description
DC 2	Durable
DC 3	Moderately durable
DC 4	Slightly durable
DC 5	Not durable