

# **LÄMPÖKÄSITELLYN PUUN SÄÄNKESTO IKKUNANPUITTEESSA**

Vertailupohjana sormijatkettu mänty

## Tiivistelmä

Tekijä Nykänen, Ilkka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 43	Valmistumisaika Lokakuu 2020
Työn nimi <b>Lämpökäsitellyn puun säänkesto ikkunanpuitteessa</b> <b>Vertailupohjana sormijatkettu mänty</b>		
Tutkinto Puutekniikan insinööri (AMK)		
<p>Tarkoituksena oli tehdä nopeutettu säätestaus laboratoriossa neljälle eri tavoin modifioiduille puumateriaalille. Pääpaino oli lämpökäsitellyllä puulla. Verrokkimateriaalina toimi sormijatkettu mänty. Testikappaleet olivat ikkunan pienoispuitteita asennusvalmiiksi varusteltuina joko maalattuna tai ilman maalia. Testissä seurattiin puun ja maalin hajoamisilmiöitä olosuhdekaapissa. Näin oli tarkoitus saada vertailevaa kuvaa tuotteiden sääkestävyydestä ja käyttöiästä ikkunanpuitteessa.</p> <p>Ilmastonmuutoksen vuoksi on tärkeää löytää materiaaleja, joilla on pieni hiilijalanjälki. Sääkestävyys on uloimmassa ikkunan puitteessa tärkeää. Siinä sormijatkettua mäntyä sääkestävämpi puumateriaali pidentäisi käyttöikä ja alentaisi siten hiilijalanjälkeä.</p> <p>Vertailussa lämpökäsitelty kuusi ja mänty pärjäsivät hyvin ja jopa lämpökäsittelyä raskaammin modifioituihin tuotteisiin verraten. Testattujen materiaalien käyttöiän arvioimiseksi tarvittaisiin tietoa männyn hajoamisominaisuuksien muutoksesta ajan suhteen. Näin voitaisiin määrittää vastaavuuskertoimia itse testille. Vastaavuuskerroin tarkoittaa sitä, kuinka monta tuntia olosuhdekaapissa vastaa vuosia luonnossa.</p> <p>Materiaalin käyttöiällä on yhteys hiilijalanjälkeen ja sen määrittämiseen. Tämä testausjakso ei antanut riittävästi tietoa käyttöiän määrittämiseen, mutta vertailutietoa sen verran, että lämpökäsitellyn puun käyttöä ikkunan puitteissa kannattaisi tutkia lisää. Lisätutkimuksessa lämpökäsiteltyä puumateriaalia voisi esimerkiksi lajitella kohdistetusti ikkunatuotantoa varten ja maalamisen sijaan voisi kokeilla jotain muuta pintakäsittelyä. Tutkimusta itse säärasitustestauksen parissa voisi jatkaa ja erityisesti olosuhdekierron määrittämisessä, jotta se voitaisiin kohdentaa puumateriaaleille sopivaksi.</p>		
Asiasanat Nopeutettu säärasitus, säänkesto, valorapautuminen, kosteuseläminen, lämpökäsitelty puu, hiilijalanjälki, hajoamiskäyrä, käyttöikä, ikkunanpuite		

## Abstract

Author(s) Nykänen, Ilkka	Type of publication Bachelor's thesis	Published October 2020
	Number of pages 43	
Title of publication <b>Weather resistance of thermally treated wood as a window frame</b> Compared to finger-jointed pine		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
Abstract <p>The thesis deals with an accelerated weathering test which was used to study some modified wood materials. The aim was to compare those products to traditional finger-jointed pine. The product specimens were small-sized window frames assembled and furnished as real window frames. Both white painted frames and nonpainted ones were used. Properties such as gloss, color, weight, dimensions and humidity of wood were measured weekly during a weathering chamber test. Some visual observations were done before and after the test.</p> <p>Overall, it is important to use raw materials which have a small global warming potential (GWP). That is important overall in construction business, but also with single products like a window frame. The outermost window frame is exposed to outdoor weather. Thus, to build it from weather resistant wood material with long service life would low GWP of the whole window.</p> <p>Thermally treated spruce and pine succeed evenly with more heavily treated wood. There is a need to develop specified test for a modified wood and study especially thermally treated wood more. Further numerical data should be gathered about natural outdoor ageing of pine. By drawing time degradation curves from both outdoor and accelerated ageing and comparing them together, it is possible to define the acceleration factor of the test. That helps to determine lifetime of a product made from a tested material.</p> <p>Lifetime of a product has a connection to GWP. There is not enough information around this test to estimate lifetime for tested wood products. Instead some proposals for further study cases are possible to do. Sorting of wood for a thermal treating may improve quality of wood aimed to be used in windows. Instead of painting the frame, some other surface treatments could also be considered.</p>		
Keywords accelerated weathering, weather resistance, surface degradation, thermal treated wood, global warming potential, degradation curve, window frame, product lifetime		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	IKKUNA JA SEN MATERIAALIT .....	2
2.1	Ikkunan merkitys.....	2
2.2	Ikkunan rakenne .....	2
2.3	Karmin ja puitteen materiaalit .....	3
2.4	Ikkunan materiaalivalinta .....	3
2.5	Tuotteen hiilijalanjälki.....	4
2.6	Ikkunamateriaalien ympäristöseloste .....	5
3	PUUN HAJOAMISMEKANISMIT JA NIIDEN MERKITYS SUOJAUKSESSA .....	6
3.1	Valorapautuminen ja lahoaminen.....	6
3.2	Puun eläminen.....	8
3.3	Hajoamisessa kaikki vaikuttaa yhdessä ja erikseen .....	9
3.4	Hajoamismekanismien ymmärtäminen suojauksessa .....	9
3.5	Hajoamiselta suojaaminen.....	10
3.5.1	Kosteat olosuhteet .....	10
3.5.2	Vähemmän kosteat olosuhteet .....	10
3.6	Puumateriaalin modifiointi kestävämmäksi .....	10
3.7	Rakenteellinen suunnittelu ja maalauksen onnistuminen .....	11
4	TESTATTAVAT TUOTTEET .....	12
4.1	Sormijatkettu mänty .....	12
4.2	Lämpökäsiteltypuu tuotemerkillä Thermowood .....	12
4.3	Tuote X ja Y.....	12
5	SÄÄRASITUS .....	13
5.1	Ikkunanpuitteen hajoaminen ja sen säärasitustestaaminen .....	13
5.2	Säärasituksen mallintaminen ulkona ja laboratoriossa .....	13
5.3	Nopeutettu säärasitus laboratoriossa .....	14
5.4	Nopeutetussa säärasituksessa huomioitavat hajoamisilmiöt.....	15
5.5	Nopeutetun testin suunnittelu .....	15
5.6	Säätetäukseen soveltuvat standardit.....	16
6	SÄÄRASITUKSEN TOTEUTUS.....	17
6.1	Testauslaitteisto.....	17
6.2	Testattavat puitteet .....	17
6.3	Mittalaitteisto.....	19

6.4	Olosuhdekierto eli sykli .....	22
6.5	Seuratut ominaisuudet ja olosuhteet .....	22
6.6	Rasitusvastaavuus olosuhdekaapin ja luonnon olosuhteiden välillä .....	24
7	TULOKSET .....	25
7.1	Mittaustulokset .....	25
7.1.1	Puiteiden massan ja kosteuden muutokset .....	25
7.1.2	Värimuutokset säärasitustestin aikana .....	27
7.1.3	Kiiltomuutokset .....	28
7.1.4	Mittamuutokset .....	29
7.1.5	Hilaristikkotesti ja muut havainnot .....	30
7.1.6	Kosteuden vaihtelu puitekappaleessa .....	34
7.2	Tulosten arviointi .....	36
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39
	LÄHTEET .....	41
	LIITTEET .....	44

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lämpökäsittelyn männyn ja kuusen soveltuvuutta ikkunanpuittemateriaaliksi. Aiemmin on tutkittu mm. niiden soveltuvuutta ikkunan tuotantoprosessiin. Tuotannon aloittamiseksi olisi vielä tiedettävä niiden säänkesto etenkin perinteisempään puumateriaalin, sormijatkettuun mäntyyn verrattuna.

Säänkestoa tutkitaan yleensä nopeutetuilla säärasitustesteillä laboratoriossa tai kenttäkokeilla luonnon olosuhteissa. Ensin mainittu sopii ajankäytöllisesti paremmin opinnäytetyön yhteyteen ja antaa tuloksia tuotekehittelyn perustaksi nopeammin. Vertailupohjan laajentamiseksi mukaan otettiin pari muutakin modifioitua puutuotetta, joita ei kuitenkaan mainita nimeltä tässä opinnäytetyössä. Testikappaleina toimi pienoiskokoiset ikkunan puitteet, joista oli kutakin testitapausta kohden maalattu ja maalamaton versio.

Nopeutettu säätestaus suoritettiin LAB-testauslaboratoriossa. Sen tilaajana olivat Lammin ikkuna oy ja Lunawood Oy. Testauksen päämäärä oli saada vertailevaa tietoa säärasituksen seurauksena tapahtuvista muutoksista puumateriaalissa tai sitä peittävässä maalipinnassa. Muutoksia kiillossa, väreissä, kosteudessa, maalin pysyvyydessä ja mitoissa seurattiin ennen ja jälkeen testin sekä viikoittain testin aikana.

Tarkastelemalla muutoksia ajan suhteen ja vertaamalla näin saatuja hajoamiskäyriä männyn vastaaviin hajoamiskäyriin olisi mahdollista arvioida materiaalin kestävyyttä luonnon olosuhteissa. Tällä olisi merkitystä itse kestävyyden lisäksi myös tuotteen käyttöikää arvioitaessa. Käyttö- ja huoltoikä taas antaisi avaimen arvioida tuotteen hiilijalanjälkeä sen elinkaaren aikana

Hiilijalanjälki on yksi ilmastonmuutoksen myötä materiaali valintaan, tuotesuunnitteluun, tuotantoon ja markkinointiin noussut termi ja tekijä. Siksi tuotekehittelyssä on tärkeää etsiä riittävän kestäviä pienen hiilijalanjäljen omaavia materiaaleja, joilla voidaan korvata suuren hiilijalanjäljen omaavia materiaaleja.

## 2 IKKUNA JA SEN MATERIAALIT

### 2.1 Ikkunan merkitys

Ikkuna on rakenteellisena osana useimmissa rakennuksissa. Ikkunaan kohdistuu paljon vaatimuksia. Sen perimmäinen tarkoitus on päästää valoa sisälle, mutta se ei siitä huolimatta saisi olla seinän heikoin osa. Sen täytyy pitää sade, tuuli, kylmyys, äänet ulkopuolella siinä missä itse seinänkin. Ikkunan muodolla, koolla ja teknisellä toteutuksella täydennetään koko rakennuksen ulkonäköä ja käyttökokemusta sisätiloissa. Varsinkin asuinrakennuksissa ikkuna on yksi merkittävimmistä viihtyisyyden tekijöistä. Ikkuna tuppaa olemaan itsestäänselvyys, jonka toimivuutta ei oikeastaan huomioida ennen kuin toimintahäiriöiden yhteydessä.

Ikkuna on käynyt läpi suuria muutoksen historiansa aikana. Alkujaan oli vain aukko seinässä. Sitten aukkoa täytettiin läpikuultavilla nahkoilla. Lasi oli alku sille ikkunalle minkä me tunnemme. Lasitekniikan kehittyessä kämmenen kokoisesta ikkunasta on päästy jopa 10 neliön suuruisiin yksiruutuisiin ikkunoihin. Ikkunalasikertoja ja puitteita on matkan varrella tullut lisää. Ikkunoiden lämmöneristävyys on ollut tuotekehityksen kohteena viimeisinä vuosikymmeninä. Langattomat verkot ovat tuoneet oman haasteensa ikkunoille, koska nykyinen seinä useimmiten estää radioaaltojen etenemisen sisätiloihin. Ikkunan pitäisi siis toimia niiden läpäisijänä tai jopa vahvistajana.

### 2.2 Ikkunan rakenne

Ikkunakokonaisuuteen kuuluu kolme pääosaa lasi, puite ja karmi (kuva 1). Listoilla peitetään karmin ja seinäaukon välinen sauma. Lisäksi on kahvoja, tiivisteitä heloja, saranoita jne. Lisävarusteita voi nykyaikaisessa ikkunassa olla paljonkin esimerkiksi: hyönteisverkko, tuuletusventtiili ja integroitu kaihdin. Uloimman lasin puite joutuu sään armoille, kun taas sisin puite huoneen puoleisena, on enemmän rakennuksen sisällä vallitsevien olosuhteiden vaikutuspiirissä.



Kuva 1. Puu-alumiini-ikkuna

### 2.3 Karmin ja puitteen materiaalit

Nykyisin karmi- ja puittemateriaalit voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: puu, muovi ja metalli. Puu on perinteinen materiaali, mutta rinnalle on tullut PVC-U muovi ja alumiini. Varsinkin uloimmassa puitteessa alumiini on vakiinnuttanut asemansa. Muovi on suhteellisen yleistä Keski-Euroopassa.

### 2.4 Ikkunan materiaalivalinta

Rakennuksen käyttötarkoitus, tyyppi, ikä ja rakennusmateriaali vaikuttavat siihen mitä materiaalia ikkunakarmeissa ja puitteissa halutaan ja saa käyttää. Valintaan vaikuttaa mm. ikkunan tekniset, ulkonäölliset ja kustannukselliset ominaisuudet. Teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat paljon viranomaismääräykset. Se minkä näköisiä ikkunoita rakennetaan ja mistä materiaalista valmistetaan, perustuu suunnittelutrendeihin, yleiseen taloudelliseen tilanteeseen ja tuotantokustannuksiin. Tuotantokustannusten ja ostajien maksaman hinnan erotuksesta saatava voittomarginaali on oleellista valmistavan yrityksen kannalta. Tässä taas materiaalien helpolla saatavuudella ja työstettävyydellä on oma sijansa.



Öljyyn perustuva laivarahtaus pitkiäkin matkoja on ollut läsnä pitkään niin raaka-aineiden kuin itse tuotteidenkin puolella. Esimerkiksi työkustannuksia on voitu alentaa siirtelemällä tuotantoa kauaskin itse markkina-alueista tai materiaalilähteistä. Näin ei tulevaisuudessa välttämättä ole.

Ilmastonmuutos ei ole enää mikään heikkosignaali tulevaisuustutkijoiden visioissa vaan sen vaikutus näkyy nyt jo laajalti taloudessakin. Sen estämisen ja rajoittamisen toimet ovat synnyttäneet tuotevertailuun uuden termin nimeltä hiilijalanjälki.

## 2.5 Tuotteen hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljen kohdalla on syytä huomioida ainakin seuraavat asiat. Sen suuruus riippuu esimerkiksi raaka-aineiden kuljetusmatkoista, tuotteen valmistusprosessista, tuotteen käyttäjästä ja käytön loputtua loppukäsittelystä. Materiaali, jonka hiilijalanjälki on huomattavan suuri voi nostaa esimerkiksi ikkunan hiilijalanjäljen suureksi, vaikka se edustaisi ikkunassa vain pientä tilavuus- tai painoprosenttia. Liitteessä 3 on ruotsalaisen ikkunavalmistajan ympäristöselosteen kuvia, joissa on nähtävissä ikkunamateriaalien hiilijalanjälki raaka-aineittain ja paino-osuuksina.

Puuta pidetään hiilineutraalina materiaalina, koska se ei sisällä fossiilista hiiltä. Se sitoo ilmakehän hiiltä itseensä, joten sitä pidetään tässä mielessä jopa hiilinieluna. On kuitenkin syytä aina muistaa, että metsän uusiutumiskierto on luontaisesti noin 100 vuotta. Mikäli puu hakataan, prosessoidaan tuotteeksi, tuote käytetään loppuun ja loppu käsitellään siten, että koko ketjun pituus on alle 100 vuotta, ei siitä tehtyä tuotetta voida katsoa hiilinieluksi. Koska näin toimien puu on irrotettu metsän uusiutumiskiertoa lyhyempään kiertoon. Puulla voidaan kuitenkin korvata materiaaleja, joilla on suuri hiilijalanjälki. Tällöinkin on muistettava, että metsät toimivat luonnon monimuotoisuuden ylläpitäjinä. Niiden merkitys tässä mielessä voi olla arvokkaampi kuin niistä saatavan puun käyttö hiiltä ilmakehään tuottavien tuotteiden kompensoijana.

Mitä pidemmälle puuta on muokattu mekaanisesti, modifioitu tai kuljeteltu sitä suurempi on todennäköisesti puutuotteen hiilijalanjälki. Kaikki tuo vaatii energiaa, joka nykyisin on usein fossiilista alkuperää. Mikäli puun prosessoinnilla saavutetaan pitkä käyttöikä voi tilanne olla toinen. Samoin tilanne voi muuttua, mikäli prosessoinnin energia ja siinä käytetyt aineet on tuotettu ilman fossiilisen hiilen läsnäoloa.

Itse tuotteen tai sen materiaalien valmistusta siten, että se tukee ympäröivää sosiaalista-loudellista yhteisöä, riistämättä luonnonvaroja loppuun, kutsutaan kestäväksi kehitykseksi. Keinot kestävän kehityksen saavuttamiseksi ja hiilijalanjäljen pienentämiseksi ovat usein

samoja. Ne eivät ole kaukana periaatteesta, joka on vallinnut ennen koneellista kuljettamista eli hyödykkeet valmistettiin lähellä käyttöpaikkaa ympäröivän alueen raaka-aineista.

Tuotteen, palvelun tai vaikka valmistusprosessin hiilijalanjäljen laskentaan on olemassa laskentastandardeja ja menetelmiä, mutta ne eivät ole aina yksiselitteisiä tai edes riittävän tarkkoja vertailtaessa eri tekijöiden merkitystä ilmastolle. Kuluttajan kannalta tilannetta voi helpottaa, kun muistaa tarkastella edes joitakin tuotteen ominaisuuksia kuten helppohoitaisuutta, käyttöikä, materiaalien alkuperää tai loppukäsittelyä käytön jälkeen. Ympäristöselosteen lukemisesta on hyötyä, mutta sellaista ei aina ole saatavilla.

## 2.6 Ikkunamateriaalien ympäristöseloste

Yhä useammille rakennusmateriaaleille on löydettävissä EPD (Environmental Product Declaration) eli ympäristöseloste. Selosteiden yksi olennainen osa on arvio materiaalin hiilijalanjäljestä. Taulukossa 1 on esitetty muutamien ikkunoissa mahdollisesti esiintyvien materiaalien hiilijalanjälki eli GWP (Global Warming Potential). Kaikki syntyvät kasvihuonekaasupäästöt on muunnettu CO<sub>2</sub> -ekvivalenteiksi. Luvut eivät ole suoraan verrattavissa. Jotta vertailua voisi tehdä erityyppisten ikkunoiden välillä kattavasti, olisi tiedettävä eri materiaalien osuus ikkunassa, ikkunan suunniteltu käyttöikä ja sen materiaalien kohtalo ikkunan muuttuessa rakennusjätteeksi. Pintakäsittelyaineet, silikonit, lasi ja liimat olisi otettava myös mukaan vertailuun, koska ne voivat muodostaa merkittävän osan hiilijalanjäljestä.

Taulukko 1. Materiaalien ilmastoa lämmittävä vaikutus (Swedish Wood 2018, Puuteollisuus ry 2019, Lunawood 2019, Aluminum Association 2014 ja Firat 2017)

Tiedot kerätty ympäristöselosteista		A1-A3	C3	A1-A3	C4	D
Tuotteen GWP	[kg CO <sub>2</sub> ekv] /	Tuotanto	Biogeeninen varasto	> 100 vuotta	Loppusi joitus	Uudelleen- käyttö
Ruotsalainen sahatavara (kuusi/mänty)	m <sup>3</sup>	138,07	715	-577		
Suomalainen sahatavara (kuusi/mänty)	m <sup>3</sup>	72,45	728	-656		
Thermo-D	m <sup>3</sup>	315	657	-342		
Thermo-S	m <sup>3</sup>	248	657	-409		
Extruded aluminium used for windows	metric ton	6570			2,17	-4130
White PVC Profiles Products used for windows	metric ton	4970,6			460,5	

Karkeasti voidaan sanoa, että esimerkiksi puu-alumiini-ikkunan hiilijalanjälki muodostuu kolmesta tekijästä: lasista, alumiinisista puitteista ja listoista sekä heloitusten metalleista. Puun osuus hiilijalanjäljestä on pieni, vaikka se olisi modifioitua puuta. Tilanne muuttuu, mikäli modifioimalla puun käytettävyys saadaan esimerkiksi sääkestävyydeltään niin hyväksi, että sillä voidaan korvata alumiinipuite. Tällöin puun käyttö pienentää huomattavasti koko ikkunan hiilijalanjälkeä. (Svenska Fönster Ab 2020.)

### 3 PUUN HAJOAMISMEKANISMIT JA NIIDEN MERKITYS SUOJAUKSESSA

#### 3.1 Valorapautuminen ja lahoaminen

Puun hajoamisessa on syytä erottaa eri vaiheet ja tavat toisistaan. Metsän puu kuollessaan lahoaa, kaatuu ja maatuu metsämaahan. Tämän saavat aikaan lahottaj sienet, bakteerit ja hyönteiset. Tavoitteena on, että rakennuspuuta ei päästetä lahoamaan vaan se korkeintaan ikääntyy sään vaikutuksesta lähinnä pintaosiltaan. Auringon valo vaikuttaa kahdella tapaa. Pilvivarjojen, sadekuurojen ja suoran auringonpaisteen vaihtelu muuttaa puun pintasolukon kosteutta ja lämpötilaa nopeassa rytmissä. Jatkuessaan vuosia tämä johtaa pintapuussa soluseinämien säröilyyn ja halkeilemiseen, vaikka ne ovatkin suhteellisen kestäviä näille muutoksille. Soluseinämien mikroskooppiset halkeamat kiihdyttävät tapahtumaketjua mahdollistaen kuivumisen ja kastumisen nopeutumisen myös makrotasolla. Auringon UV-säteily aiheuttaa puolestaan foto-oksidaatiota, joka kellastuttaa pintasolukon ligniiniä. Ligniini hajoaa ja huuhtoutuu pois jättäen selluloosan jäljelle. Tämä näkyy harmaana nukkana esimerkiksi kelohongan pinnalla. (Kaila 1997, 296-300.) Tämä nukka suojaa itse asiassa puun pintaa ja hidastuttaa valorapautumista. Valorapautuminen syö puun pintaa noin 5-12 mm vuosisadassa, mutta se hidastuu nukkaantumisen vuoksi (Siikanen 2008, 73).

Vuosien mittaan auringonvalo aiheuttaa sälöjä ja halkeamia välittömästi pintasolukkojen alapuolellekin muutamien millien syvyydellä paikallisen kosteusvaihtelun seurauksena. Juuri paikallisuus tekee siitä eri asian kuin puun läpi ulottuvat lämpötila- ja kosteusmuutokset pidempiaikaisten olosuhdemuutosten seurauksena. Mekanismi on tosin sama eli puun solujen kokomuutokset kosteuden muuttuessa, mutta tapahtuma alue on rajatumpi ja sijaiten vain valolle altistuvissa pinnoissa. Ilmiö on usein havaittavissa vanhojen hirsirakennusten eteläisillä seinillä tai ulkovuorauksilla (kuvat 2). Kuvien mökissä eteläisen seinän hirren maali ja pintakerros on valorapautunut. Mökin käyttöaste on ollut pieni ja sisälämpöä ei ole ollut tarjolla kuivaamaan sivuttaissateen kastelemaa seinää. Laho on päässyt kehittymään. Saman mökin itäisellä seinällä, joka on myös hyvin tuulelta suojassa, maalipinta on edelleen ehjä eikä hirren pinta ole sälöillä (kuva 3). Lämpölaajeneminen on puulla merkityksetöntä, mutta lämpötila vaikuttaa sekundäärisesti kosteuden muutokseen.



Kuva 2. Auringonvalolle ja sivuttaissateelle altistunut mökkiseinä Vesijärvellä Enonsaarella



Kuva 3. Saman mökin auringon valolta ja tuulelta suojassa ollut seinä

Kosteus on ehkä oleellisin vaikuttava tekijä puun hajoamiseen. Näin on siksi, että kosteus on lahottaja- ja sinistäjäsiemenille elämisen edellytys. Kuiva puu ei lahoa ja siksi rakennuspuun kosteus pitäisi vallitsevasti olla alle 20%, koska sitä korkeammassa kosteudessa lahottajasienet alkavat viihtyä (Kaila 1997, 305). Kosteus ei taas toisaalta rapauta puuta kuten aurinko. ”Aurinko puun syö ei sade”, oli vanha sanonta pärekattojen tekijöillä. Kuitenkin hallitsematon kosteus jatkuessaan antaa lahottajasienille elinolosuhteet, ja niiden vaikutus ulottuu aina pintaa syvemmälle. Kasvaessaan ne heikentävät puun mekaaniset lujuusominaisuudet suhteellisen nopeasti (Kärkkäinen 2003, 312). Sinistäjäsiemenet tosin aiheuttavat pelkästään puun tummumista, mutta eivät vaikuta mekaanisiin ominaisuuksiin (Kärkkäinen 2003, 305–306).

Ilman epäpuhtaudet kuten noki ja siitepöly voivat liata puun pintaa. Tuulen mukana kulkeva hiekka tai tomu voi kuluttaa hiomalla puun pintaa. Jotkin epäpuhtaudet voivat vaikuttaa puhun tai pinnoitteeseen kemiallisesti, mutta haitallisimmillaan ne estävät puun kuivumista tai rikkovat maalipintaa. Siten ne edesauttavat olosuhteiden muodostumista ja pysymistä otollisina lahottajasienille.

### 3.2 Puun eläminen

Rakennuspuun elämisellä tarkoitetaan puun kosteuden muutoksista johtuva tilavuuden muuttumista eli turpoamista tai kutistumista. Kyllästymisaste, jossa puun soluseinät eivät enää ota vettä vastaan, on suomen valtapuulajeilla noin 30%. Puun kuivussa sen alle se alkaa kutistua anisotrooppisesti. Puun kosteuden noustessa se turpoo vastaavasti, mutta vain siihen saakka, kunnes kyllästymispiste on saavutettu. Puun eläminen ei ole hajoamista ja ominaisuus ei katoa oli puu kuinka vanhaa tahansa. Vain lahoaminen, modifiointi tai kyllästyspisteen ylittävä puun kosteus lopettaa sen. Ilmiön huomiotta jättäminen voi tosin aiheuttaa vaurioita, jotka edesauttavat hajoamista. Ulkokuoraukselaudoit tai ikkunapuu on sahalta saavuttuaan ja käyttökohteessa käytännössä jatkuvasti alle 30% kosteudessa eli dimensiomuutoksia tapahtuu jatkuvasti enemmän tai vähemmän.

Puu on myös viskoelastista eli se voi muuttua pysyvästi tai hetkellisesti muotoaan, mikäli se joutuu mekaaniseen rasitukseen. Pysyvyys edellyttää rasituksen jatkumista pitkään ja mielellään kuivumisprosessin läpi, jolloin rasituksen loputtua muodon palautuminen ei enää tapahdu täydellisesti (Kaila 1997, 263). Tämäkin on puun ominaisuus, jonka huomiotta jättäminen voi aiheuttaa ongelmia. Tosin ilmiötä on etenkin ennen käytetty hyväksi esimerkiksi reien jalaksien tai puusuksien muotoilussa höyryä apuna käyttäen (Möttönen, Boren ja Heräjärvi 2018, 24).

### 3.3 Hajoamisessa kaikki vaikuttaa yhdessä ja erikseen

Valorapautuminen, lahoaminen tai puun kosteuseläminen ovat ilmiöitä, jotka vaikuttavat yhdessä ja erikseen. Usein yksi asia johtaa toiseen. Lisäksi itse puumateriaalilla on merkityksensä. Valittavana on eri puulajeja ja niistä eri menetelmillä tehtyjä puutuotteita. Jopa sahaustekniikalla ja puun kasvupaikalla on merkityksensä. Hitaasti kasvanut tiheäsyinen mänty, joka on sahattu syyn suuntaisesti, on aivan eri tuote kuin nopeasti kasvanut harvasyinen mänty, joka on sahattu tangenttipinnan suuntaisesti.

Näkyvällä paikalla oleva rakennuspuu yleensä suojataan pintakäsittelyllä, joka suojaa puuta auringon valon ja sateen vaikutukselta. Pintakäsittelyaine on useimmiten maali, joka altistuu auringonvalolle, kosteus- ja lämpötilavaihtelulle aivan kuten puukin. Näin on myös ikkunapuitteiden kohdalla. Ne yleensä suojataan maalaamalla jo ulkonäkösyistäkin. Siksi onkin syytä huomioida myös maalin hajoaminen, kun käsitellään puitteiden säänkestoa.

### 3.4 Hajoamismekanismien ymmärtäminen suojauksessa

Auringonvalon rapauttava ja harmaannuttava vaikutus kohdistuu puun pintaosaan tai sen pintakäsittelyaineeseen. Lahoaminen sen sijaan etenee puussa niin syväälle kuin sille vain on edellytykset olemassa. Ravinto eli puu, lämpö, happi ja kosteus ovat edellytyksenä. Happea on yleisimmissä rakennuskohteissa aina saatavilla. Lämpötilaväli, jossa lahottajaisien viihtyvät on 0 – 40 C° (Varis 2017, 131).

Oleellisin seikka lahoamisen estämisessä on kosteus, koska toisin kuin muita tekijöitä, sitä on helpompi kontrolloida. Kosteuden pitäminen puussa alle 20% tai sen nopea kuivuminen alle 20% on kaiken perusta puun lahoamisen estämiseksi. Tämä on tärkeä tekijä myös puuta hajoamiselta suojattaessa. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 80 % ja lämpötilan alle 20 C° puun tasapainokosteus nousee tuolle 20% rajalle. Talven pakkasessa puu ei tosin lahoa oli sen kosteus mikä tahansa. Nykyiset leudot ja kosteat talvet ovatkin entistä haastavampia puurakenteille.

Rakennuspuun läpi koko käyttöiän jatkuva kosteuseläminen ja varsinkin sen ensimmäinen kuivatusvaihe alle 20% kosteuteen altistaa puun halkeamille ja muodon muutoksille (Varis 2017). Riittävä kosteuden hallinta ja ilmiön huomioiminen rakennesuunnittelussa ja itse rakentamisessa pienentää huomattavasti sen haittoja ja sitä voidaan jopa hyödyntää. Ulkokuuoralauslaudassa esimerkiksi sydän puolen suunta ulospäin edesauttaa tiiviimmän sauman muodostumista lautojen välille.

## 3.5 Hajoamiselta suojaaminen

### 3.5.1 Kosteat olosuhteet

Puuta käytetään yleisesti myös selvästi kosteissa olosuhteissa esimerkiksi puun ollessa maa- tai vesikosketuksessa. Tällöin poistetaan yleensä lahottajasienten kasvun edellytys tavalla tai toisella tekemällä puu niille myrkylliseksi. Vanhoja jo lähes käytöstä poistuneita keinoja tähän on puun pintakerroksen hiiltäminen, tervaaminen tai vielä elävän puun pihkaannuttaminen. Viime vuosisadalla yleistyi puun teollinen kyllästäminen, jossa puuhun imeytetään lahottajasienten ja mikrobien toimintaa estävää kreosoottia tai CCA-kyllästeitä (kupari-kromi-arseeni). Nykyisin kreosootin käyttö on tarkasti käyttökohderajattua ja on käytännössä sallittua vain ratapölkkyissä ja sähkötolpissa. Kromi ja arseeni ovat poistuneet ja jäljelle on jäänyt vain kuparisuolat (Turunen & Väärä 2014, 28). Kyllästylylle puulle on olemassa aivan oma kierrätysreitinsä loppukäsittelyä varten.

### 3.5.2 Vähemmän kosteat olosuhteet

Perinteisesti ja edelleenkin vallitsevat rakennuspuun suojaustavat ulkoilman kosteutta ja sivuttaissateen hetkellisesti aiheuttamaa kostumista vastaan ovat rakenteellinen suunnittelu ja pintakäsittely maalaamalla. Näiden lisäksi entisaikoina ja varsinkin hirsirakentamisessa käytettiin sydänpuuta tai tiukkasyistä puuta. Hirren pinta saatettiin piiluumalla veistää, jolloin puun pintasolukko muuttui tiiviiksi ja kovaksi vettä huonosti läpäiseväksi rakenteeksi. Hirsien päät saatettiin myös nuijia, jotta pinta tuli piiluumisen tapaan vettä heikosti läpäiseväksi. Pyöröhirsien hallittu halkaisu vain ytimeen saakka saatettiin tehdä pystytysvaiheessa. Halkeamien piilottaminen seinän sisään oli näin mahdollista ja siellä ne saivat laajeta tai supistua kosteuselämisen myötä katseilta piilossa.

## 3.6 Puumateriaalin modifiointi kestävämmäksi

Kyllästäminen eli kemiallisen modifioinnin lisäksi puuta lämpökäsitellään, jolla saadaan puun tasapainokosteus alennettua merkittävästi alemmaksi kuin normaalissa kuivaamo kuivatussa sahatavarassa. Prosessissa puun pH alenee, hemiselluloosa hajoaa ja puu tummu läpikotaisesti. Nämä tapahtumat tekevät lämpökäsittelystä puusta lahonkestävää, mikrobikestävää ja sen kosteus eläminen pienenee lähes merkityksettömäksi. Mekaaniset ominaisuudet kärsivät jonkin verran samoin kuin työstettävyys. Lämpökäsittelystä puusta on olemassa kaksi tuoteluokkaa Thermo-S ja Thermo-D. Ensinmainittu käsitellään puulaajista riippuen 185...190 °C asteessa ja jälkimmäinen 200...212 °C asteessa. Thermo-D on biologiselta kestävyydeltään parempi kuin Thermo S, mutta sen taivutuslujuus on heikentynyt. (Lämpöpuuyhdistys 2020.)

Asetyloinnissa puun asetyleeni pitoisuutta kasvatetaan niin paljon, että puun soluseinät ovat kyllästyneitä eli puu ei enää turpoa. Puun paino kasvaa, mutta väri ei muutu, ellei prosessissa käytetä väriaineita. Yleisesti käsittelyssä käytetään etikka anhydrideja, jolla saadaan kasvatettua asetyylin määrää puussa. Sivutuotteina asetyloinnissa syntyy etikkahappoa ja vähäisissä määrin lannoitteita ja uuteaineita. Asetylointi parantaa puun kosteusteknisiä ominaisuuksia ja lahonkestoa. Puun mittapysyvyys voi parantua yli 90 %. Käsitteilyn vaikutukset puuhun ovat samankaltaisia kuin lämpökäsittelyssä, mutta käsittely ei muuta puun väriä. Prosessissa on mahdollista myös värjätä puuta, mikäli näin halutaan. Lisäksi asetylointi lisää puun painoa ja tekee siitä myrkyllistä tuholaisille, muttei luonnolle. (Laitinen 2008, 56–60.)

Furfuloinnissa tapahtuu lähes sama asia kuin asetyloinnissa, mutta asetyleenin sijaan puu kyllästetään maatalousjätteestä saatavalla furfuraalialkoholilla, jossa ei ole luontoa vahingoittavia yhdisteitä. Käsittely tummentaa puuta, mutta käsittelemättömänä furfuloitu puu harmaantuu ulkona. Furfulointi parantaa puun mittapysyvyyttä 40–80% sekä parantaa lahonkestoa ja tekee siitä kovempaa. Furfuloitua puuta markkinoidaan vaihtoehtona trooppisille puille. (Laitinen 2008, 56–60.)

Joskus palataan vanhaan ja hyväksi koettuun tapaan muuttaa puuta, joka on kuitenkin aikojen kuluessa unohtunut. Japanissa on hiillostettu, harjattu, pesty ja öljytty puuta ammoisina aikoina saaden se kestävänsä säätä. Nykyisin Yakisugi-hiillostettuja ulkoeristustuotteita on tarjolla eri hiilostus- ja harjausasteilla myös Suomessa. (Novenberg 2020.)

### 3.7 Rakenteellinen suunnittelu ja maalauksen onnistuminen

Rakentamisessa ulko-olosuhteiden hallintaan liittyy paljon muutakin kuin edellä mainitut puun modifiointikeinot tai maalaus. Rakenteellisella suunnittelulla ja itse rakennusvaiheen toteutuksella on tärkeä merkitys. Rakenteellinen suunnittelu tarkoittaa lähinnä puun suojaamista suoralta sateelta ja puurakenteen nopean kuivumisen mahdollistamista hetkellisen kastumisen varalta esim. kondensoitumisen tai sivuttaissateen seurauksena. Tuuletusraot, näkymättömissä olevat maalamattomat pinnat, pitkät räystäät, jyrkät katot, tippalistat jne. edustavat tätä tekniikkaa.

Maalaus suojaa yhtäältä sateelta, mutta samalla se voi myös sulkea kosteuden taakseen aiheuttaen otolliset olosuhteet lahoamiselle. Maali heikentää jossain määrin vesimolekyylien diffuusiota soluseinämistä ilmaan ja toisin päin. Ilmiön voimakkuuteen vaikuttaa olennaisesti maalin sideaineen koostumus. Esimerkiksi ulkokuorituksen tuulettavuus, joka pääsääntöisesti saadaan aikaan rimakoolauksella mahdollistaa puun kuivumisen maali-pinnan takaa ja estää siten lahoamiselle otolliset olosuhteet puun sisällä.



## 4 TESTATTAVAT TUOTTEET

### 4.1 Sormijatkettu mänty

Ikkunavalmistajalla on tietyssä määrin mahdollisuus vaikuttaa raaka-aineen laatuun. Se voi tilata sahalta tiheäsyisempää ja mahdollisimman oksatonta mäntyä, joka on kuivattu haluttuun kosteuteen. Mäntyä jalostetaan kuitenkin pääasiassa sormijatkamalla oksien ja muiden merkittävien vikojen poistamiseksi. Näin saatua aihiota käytetään karmien ja puitteiden tekoon. Mänty pintakäsitellään lähes aina ennen asiakkaalle toimittamista, mutta testiä varten tehtiin myös pintakäsittelemätön puite, jotta pystytään arvioimaan pintakäsittelyn vaikutusta lopputulokseen.

### 4.2 Lämpökäsitelty puu tuotemerkillä Thermowood

Testissä käytettiin lämpökäsiteltyä mäntyä ja kuusta, joka kuuluu Thermo-D luokkaan. Huomioitavaa on, että lämpökäsitelty puu ei juuri sovellu sormijatkoksen tekemiseen. Lämpökäsittelyyn menevää raaka-ainetta ei ollut kuitenkaan lajiteltu erikoisesti ikkunan valmistukseen sopiviksi laaduiksi.

### 4.3 Tuote X ja Y

Materiaalien tuotenimiä ei mainita tutkimuksen tilaajien toivomuksesta. Ne ovat kuitenkin tunnetuilla modifiointitekniikoilla käsiteltyjä puumateriaaleja. Huomioitavaa on, että modifiointi lisää yleensä prosessointikertoja ja itse prosessointi kuluttaa energiaa. Tällä voi olla tuotteen hiilijalanjälkeä kasvattava vaikutus, ellei se sitten kompensoidu pidentyneellä käyttöiällä.

## 5 SÄÄRASITUS

### 5.1 Ikkunanpuutteen hajoaminen ja sen säärasitustestaaminen

Edellä on puhuttu yleisesti rakennuspuun hajoamisesta. Ikkuna, karmeineen ja puitteineen ei ole näiden asioiden ulkopuolella. Se kuuluu itse asiassa riskirakenteisiin talorakentamisessa (Jelle 2011, 22). Varsinkin kattoikkunat ovat usein paikkoja, joista sadevesi pääsee talon muihin rakenteisiin. Tässä työssä keskitytään seinäikkunan uloimman puitteen säänkestoon ja siihen sopivien puumateriaalien löytämiseen testaamalla viittä eri puutuotetta. Ikkunan uloin puite altistuu ulkoilmalle. Lisäksi se on ainakin osin sisä- ja ulko-olosuhteiden rajapinnassa vaikkakin lämpöä hyvin eristävien sisempien lasielementtien läpi ei nykyisin enää lämpöä johdukaan siinä määrin kuin ennen. Puitteen materiaalin olisi siis kestettävä noissa olosuhteissa halutun käyttöiän verran.

Maali suojaa puuta sateelta, likaantumiselta, auringon valolta ja valkeana auringon valon kuumementavalta vaikutukselta, mutta ennen kaikkea se antaa mahdollisuuden erilaisten väri vaihtoehtojen käyttöön taloa somistettaessa. Tuotteet testataankin maalattuina ja ilman maalia.

### 5.2 Säärasituksen mallintaminen ulkona ja laboratoriossa

Varmin keino selvittää miten jokin uusi materiaali käyttäytyy ikkunan puitteessa ja kestää vuosia kestäväää säärasitusta on tehdä siitä puite ja laittaa se koekäyttöön vuosiksi eteenpäin. Tuotekehittelyssä ei ole kuitenkaan aikaa kymmenien vuosien havainnointiin. Ratkaisu tähän on nopeutettu säätestaus laboratoriossa. Tällöin voidaan mallintaa olosuhteita ulkona ja kiihdyttää niiden vaikutusta siten, että havainnointiaika voi olla vain viikkoja vuosien sijaan.

Näin ei voida toimia täysin ilman kokemuksia ulkoilmasta jollain perinteisellä tuotteella. Perinteinen tuote toimii vertailupohjana testin uusille tuotteille. Samalla se toimii vertailupohjana itse vanhentumisilmille. Sen vanhentumistavat ja niiden havainnointimenetelmät pitäisivät olla tiedossa. Mikäli testissä ilmenee tässä perinteisessä tuotteessa hajoamismuotoja, joita ei ole havaittu ulkona, on laboratorio-olosuhteissa selkeä poikkeama luonnon olosuhteisiin. Testiä ei voi pitää tällöin onnistuneena. Toisinpäin ajatellen, jos jokin hajoamistapa puuttuu laboratoriotestauksessa, on syytä selvittää ainakin syy sen puuttumiseen. Se voi johtua rasiustekijöiden pienemmästä määrästä tai sitten itse virheestä rasiustasoissa.

Mikäli testattaisiin täysin uuden tyyppistä tuotetta jonka hajoamisesta ei ole mitään kokemuspohjaa pitäisi tehdä molemmat sekä nopeutettu säätetaus, että ulkoilmatestaus jotta selvitetään ainakin se ovatko hajoamisilmiöt samoja kummassakin tapauksessa. Tässä testauksessa vertailupohjatuote oli perinteinen sormijätketusta männystä tehty ikkunan puite. Sellaisia on ollut käytössä vuosia ja niiden säänkesto tunnetaan.

### 5.3 Nopeutettu säärasitus laboratoriossa

Kohdassa 5.1 mainittiinkin jo, että puite testataan maalattuna ja maalamattomana. Maalaus suojaa yhtäältä kosteudelta, mutta väärin tehtynä se voi myös sulkea kosteuden taakseen aiheuttaen otolliset olosuhteet lahoamiselle. Lahoaminen on hallitsemattoman kosteuden vakavin seuraus, mutta sitä ei suoranaisesti testata nopeutetuilla säärasitustesteillä. Samoin tuulen, lumen ja epäpuhtauksien vaikutus jää yleensä pois, koska laboratorio laitteistot eivät yleensä tue niiden huomioimista. Kosteudesta voidaan toki vetää yhteys puun lahoamiseen, ellei tuote ole modifioitu siten, että kosteanakaan se ei suosi mikrobikasvua.

Jäljelle jäävät UV-valo, sade ja kosteus, lämpötilanmuutokset ja ääriämpötilat. Nopeutettu säärasitus ei siis koskaan saavuta kaikkia ulkoilman rasitustekijöitä eikä niiden yhteisvaikutuksia, koska esimerkiksi mikrobit, ja epäpuhtaudet jäävät pois. Näin ollen, se ei koskaan vastaa täysin ulkoilmarasitusta eikä siten voi olla 100% yhtenevä tulostensa puolesta.

Sää ulkona vaihtelee päivittäin ja vuodenajoittain. Muutoksen nopeus on yleensä hitaampi kuin mitä laboratoriossa olosuhdekaapin sisällä tapahtuu. Tässä piileekin osasy laboratoriossa aikaan saatuun nopeampaan hajoamiseen. Lisäksi laboratoriossa voidaan ylittää luonnossa esiintyviä altistustasoja ja myös näin nopeuttaa hajoamista. Olosuhdevaihtelun nopeuttamisella ja rasitustasojen voimakkuuksilla on rajansa, joita ei voi kuitenkaan ylittää väärinmäärittä itse hajoamista. Emme voi esimerkiksi nostaa lämpötilaa niin korkeaksi, että puu alkaa palaa, koska se ei ole normaalia hajoamista. Olosuhteita ei yleensä kannata vaihdella niin nopeassa rytmissä, että testattavat kappaleet eivät ehdi tasaantua yhteen tilaan, kun jo ollaan siirtymässä toiseen, ellei näin tapahdu luonnossakin.

#### 5.4 Nopeutetussa säärasituksessa huomioitavat hajoamisilmiöt

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääosin valorapautumisen ja kosteuselämisen aikaansaamiin muutoksiin puussa ja pinnoitteessa. Muutoksia havainnoimalla ja mittaamalla on mahdollista seurata hajoamisen kehittymistä.

Muutoksia on odotettavissa ainakin materiaalin kosteudessa, pinnan kiillossa ja pinnan väreissä. Näkyviä muutoksia voi ilmetä halkeamina, mittojen muutoksina, pinnoitteen irtoiluna tai muutoin pinnoitteen haurastumisena. Näitä ominaisuuksia on seurattava testauksen aikana useita kertoja, jotta voidaan piirtää niiden heikkeneminen ajan kuluessa eli ts. hajoamiskäyrä. Kun vertailutuotteen vastaava käyrä tunnetaan, voidaan laboratoriasituksen suhde luonnonolosuhteisiin karkeasti selvittää. Esimerkiksi, jos mänty tummuisi kokonaisväriluvultaan 20 yksikköä ( $\Delta E = 20$ ) kolmessa vuodessa luonnossa ja samansuuruisen muutos tapahtuu laboratoriotestissä viikon jälkeen, on suhde nähtävillä. Voidaan päätellä karkeasti, että yksi viikko laboratoriossa vastaa kolmea vuotta luonnossa.

Luonnonolosuhteet vaihtelevat maapallolla hyvinkin paljon. On aivan eri asia olla päiväntasaajalla tai vaikka Suomen Lapissa. Siksi ajallista vastaavuutta arvioitaessa on otettava huomioon ilmasto-olosuhteet. Niitä voidaan luokitella leudoiksi tai ankariksi. Tässä työssä UV-altistus on laskettu Etelä-Suomen tasoa apuna käyttäen.

#### 5.5 Nopeutetun testin suunnittelu

Testin suunnittelussa voidaan edetä seuraavien vaiheiden kautta:

1. Pyritään simuloimaan ulko-olosuhteita ja vasta sitten mahdollisesti kiihdyttämään niiden aiheuttamaa hajoamista kammiossa.
2. Tutkitaan luonnossa esiintyville olosuhteille ääriarvot, kuten kosteudelle, UV-valolle ja lämpötilalle.
3. Määritellään materiaalin reagointiajat tiettyyn ulko-olosuhteen muutokseen nähden. Puu on esimerkiksi hygroskooppinen materiaali eli se sopeutuu ympäröivään ilmakehän kosteuteen saavuttaen tasapainokosteuden tietyssä ajassa.
4. Reagointiajoilla voidaan määrittää minimi altistusaika tietylle olosuhteelle. Jos esimerkiksi halutaan materiaalikappaleen lämpötilan tasaantuvan kokonaisuudessaan kappaleessa, ei lämpötilan muutossykliä kannata tehdä nopeammaksi kuin tasaantumisen edellyttämä aika. Jos taas lämpötilan muuttuminen pintaosissa riittää, niin sykli voi olla nopeampi.
5. Voidaan tehdä useita peräkkäin toistettavia syklejä.

6. Testiä voidaan optimoida lisäämällä kiihdytystä yhden olosuhdetekijän osalta ke-rallaan. Näin pyritään löytämään optimi arvo. Esimerkiksi lämpötilan kohottaminen nostaa kosteuden ja UV-valon hajottavaa vaikutusta, mutta jossain on raja, jota ei enää voida ylittää häiritsemättä prosessin kulkua. (Crewdson 2008.)

## 5.6 Säätestaukseen soveltuvat standardit

Yleisesti hyväksyttyä standardia olosuhdetestaukselle ei ole olemassa (Annala 2012,19). Yksittäisiä standardeja erilaisille materiaaleille, olosuhteille ja laitetekniikoille on toki ole-massa. Näitä voidaan jaotella esimerkiksi käytetyn UV-valolähteen, testauspaikan (ulko-kenttä tai laboratorion olosuhdekaappi), testattavien materiaalien suhteen. Lakoille ja maaleille on esimerkiksi olemassa eri standardit riippuen altistuspaikasta. Koekenttä tes-tille ulkona on ISO 2810 ja ksenon valolle laboratoriossa ISO 11341. Jälkimmäinen ei to-sin enää ole voimassa. Käytännössä standardien käytön haasteena saattaa olla käyttöoi-keuksien hankkiminen.

Koska nyt testataan tuotetta, joka vaihtoehtoisesti maalataan auringonvalon rapauttavaa vaikutusta vastaan, on testauksessa osin sovellettu standardia SFS EN ISO 16474-1 ja SFS EN 927-6. Kiiltoa on mitattu perustuen standardiin SFS-EN ISO 2813. Maalin tarttu-vuutta on mitattu SFS-EN ISO 2409. Silmin havaittavien muutosten voimakkuuden luokit-telussa on käytetty SFS-EN ISO 4628 ja SFS-EN ISO 2409 (liite 2).

## 6 SÄÄRASITUKSEN TOTEUTUS

### 6.1 Testauslaitteisto

Puitteet altistettiin säärasitukselle kahdessa eri olosuhdekaapissa (kuva 4). Toisessa kaapissa ei ollut UV-lamppuja. UV-lampullisen kaapin sadetus osoittautui vialliseksi testin aikana. Molemmissa olosuhteiden ohjaukseen käytetään Jumo Imago 500 -ohjain järjestelmää. Siihen kuuluu myös olosuhdetiedon tallentava tietokone, mutta se ei testausaikana ollut käytettävissä. Sadetuksessa käytetty vesi oli tislattua vettä.



Kuva 4. Säärasitustestauksessa käytetyt olosuhdekaapit

### 6.2 Testattavat puitteet

Testikappaleina käytettiin ikkunanpuitetta, joiden mitat olivat noin 380 x 380 x 48 mm. Olosuhdekaappiin saatiin näin mahtumaan 10 puitetta. Kustakin materiaalista oli siis edustettuna yksi maalattu ja yksi maalaamaton versio. Tulosten edustavuuden ja varmuuden kannalta olisi ollut parempi, jos puitteita olisi ollut esimerkiksi vähintään kolme kutakin tapusta kohden. Myös yksi tummalla maalilla maalattu puittepinta olisi voinut olla mukana. Näin olisi saatu mukaan valkoista pintaa nopeammin ja kuumemmaksi auringon valon seurauksena lämpenevä tumma pinta. Tämä olisi kuitenkin nostanut testikappaleiden määrän jo 45:een.

Tällöin olisi pitänyt testata joko useammalla kaapilla tai useampia kertoja tai pienempiä kappaleita. Koon pienentäminen taas olisi johtanut puitteesta luopumiseen ja pelkkien puukappaleiden testaamiseen. Pienentämistä ei haluttu tehdä koska puite sisältää lasin, silikonin, saranatavit, tiivistenauroja jne. Nyt haluttiin nähdä myös, miten kaikki puitteen materiaalit yhdessä selviävät säärasituksesta. Useammat testausjaksot taas olisivat venyttäneet aikataulua kohtuuttomasti ja useamman kaapin käyttö olisi edellyttänyt useita samanlaisia kaappeja.

Puitekappaleet oli höylätty, kasattu ja maalattu Lammin Ikkunan tuotantotiloissa. Maalina käytettiin valkoista sähköstaattisesti ruiskutettavaa 2-komponenttista polyuretaanipintamaalia (Liite 4). Puitteet oli kasattu paineilmapistoolilla naulaamalla (kuva 5). Maalatut puitekappaleet on näin ollen maalattu kauttaaltaan eli niissä ei ole maalitonta pintaa esimerkiksi liimausta varten.

Kustakin testattavasta tuotteesta valmistettiin maalattu ja maalamaton puite. Ne asetettiin vastakkain siten, että sisäpuolet jäivät suljettuun tilaan tiivistenaurohan ollessa välissä (kuva 6). Tällä haluttiin mallintaa puitteen olotilaa itse käyttökohteessa. Sielläkin sen sisäpuoli on suljetussa tilassa ulkopuolen jäädessä ulkoilmalle alttiiksi. Yhteensidotut puitteet asetettiin olosuhdekaappiin kuvassa 7 näkyvällä tavalla. Niitä kierrätettiin vasemmalta oikealle viikoittain, jotta UV-altistus olisi yhtä suuri jokaisen puitteen osalta.



Kuva 5. Naulattu puiteliitos kuvattuna säärasituksen jälkeen



Kuva 6. Samaa materiaalia olevat puitteet ennen yhteen sitomista



Kuva 7. Yhteensidottujen puitteiden sijoittelu olosuhdekaapissa

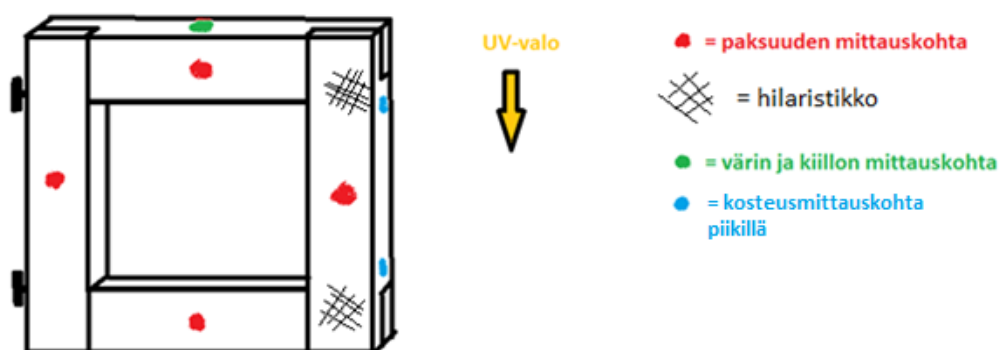
### 6.3 Mittalaitteisto

Kiiltomittaus tehtiin Erichsenin kiiltomittarilla (kuva 8). Mittausgeometriaksi oli asetettu 60 astetta, jolloin mittausalue on noin 10 x 20 mm ellipsi. Mittaus suoritettiin aina samasta kohtaa puitetta (kuva 9).





Kuva 8. Käytetty kiiltomittari Pico Glossmaster 500



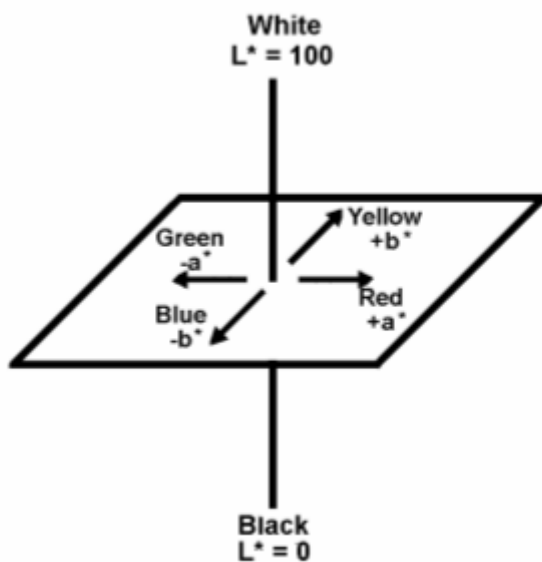
Kuva 9. Yksittäisen puitteen mittauskohtia

Massan punnituksessa käytettiin vaakaa (kuva 10), jonka mittatarkkuus oli gramman kymmenes. Kahden puitteen välissä olleen tiivistenauhan paino vähennettiin sen puitteen painosta, jossa nauha oli kiinni (kuva 6).



Kuva 10. Massan punnituksessa käytetty vaaka

Värejä mitattiin kuvassa 12 näkyvällä mittarilla. Mittauskohta oli sama kuin kiillon mittauksessa (kuva 8). Mittaus suoritettiin valitsemalla mittarista CIELAB -väriavaruus (kuva 11). Kokonaisvärimuutos laskettiin kaavalla 1. L edustaa mustan tai valkoisen määrää, jolla on maksimiarvot 0 ja 100. Sen sijaan a:lla ja b:llä maksimiarvoja ei ole. Delta arvot ovat kahden tapauksen erotuksen arvoja eli muutoksen arvoja.



Kuva 11. CIELAB -väriavaruus (HunterLab 1996)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$



Kuva12. Värimittari Minolta Chroma Meter CR-200.

## 6.4 Olosuhdekierto eli sykli

Olosuhdekierto määriteltiin osin kohdassa 5.5 esitetyllä tavalla. Ajatuksia ja ideoita kierron muodostamisesta saatiin lisäksi opinnäytetyöstä, jossa käsiteltiin julkisivujen säätestäusta (Annala 2012). Standardit SFS-EN ISO 4892-3 ja 927-6 olivat myös taustalla. Sääkaapeissa oli käytössä sadetuksen, lämpötilan ja UV-valon ohjaukset. Liitteessä 1 on nähtävissä ohjelmajaksot ja toistokerrat. Lyhyesti kuvattuna säärasitustesti sisälsi aluksi kaksi viikkoa hyvin kuivaa UV-altistusta, jossa lämpötila vaihteli välillä  $-5 \dots 50 \text{ C}^\circ$ . Loput kaksi viikkoa sisälsivät pimeässä sadetta ja kosteutta, lämpötilan ollessa välillä  $-5 \dots 40 \text{ C}^\circ$  välillä.

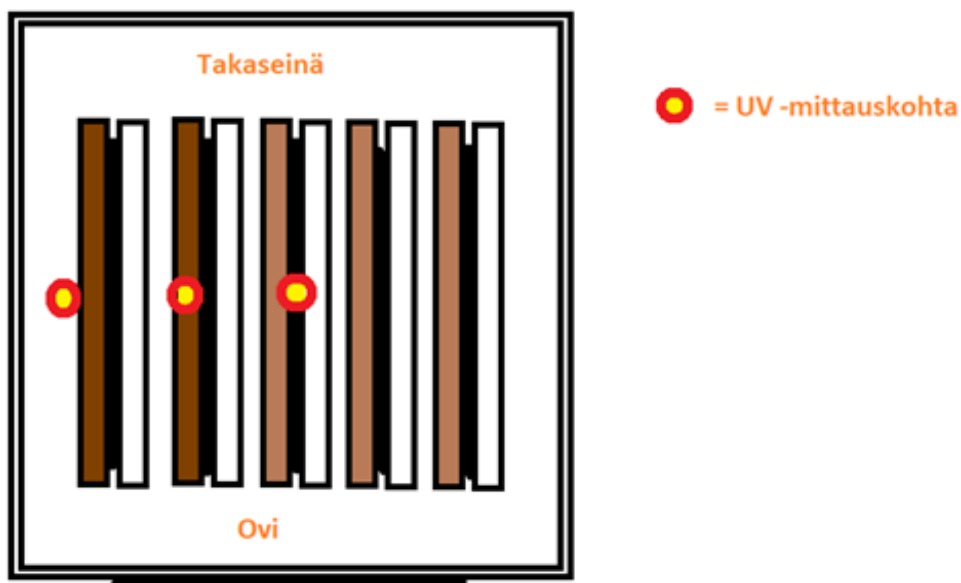
## 6.5 Seuratut ominaisuudet ja olosuhteet

Mittauksissa seurattiin massaa, kiiltoa ja väriä. Massan muutokset osoittavat suoraan muutoksia puun kosteudessa. Kosteutta mitattiin suoraan myös piikkikosteusmittarilla ja pintakosteusmittarilla, mutta koska kyseessä on osin voimakkaastikin modifioidut puumateriaalit eivät tulokset ole kaikilta osin luotettavia. Hilaristikkotesti tehtiin ennen ja jälkeen säätestin. Tämä kertoo maalin pysyvyydestä pinnassa. Puitteen paksuus, leveys ja korkeus mitattiin mittamuutosten seuraamiseksi.

UV-altistus saatiin aikaan olosuhdekaapin Osramin HTC 400 - 241 UV-lampuilla. Kolmen lampun antama valotehon arvioimiseksi mitattiin valoteho kaapin sisäpuolelta UV-mittarilla, joka mittaa UVA aallonpituusalueelta (315...400 nm) tulevaa tehoa (kuva 13). Mittari antoi ulkona keskipäivällä lukemaksi noin  $30 \text{ W/m}^2$ . Samaan aikaan ilmatieteen laitos varoitti UV-indeksin olevan 6:ssa. Valoteho mitattiin kolmesta kohtaa puitteiden yläpinnan tasolla (kuva 14). Näiden mittauksen keskiarvo oli noin  $30 \text{ W/m}^2$ . Tässä kohtaa oletetaan, että lamppujen teho kestää samalaisen koko testin ajan. Puitteiden sijaintia muutettiin kaapissa siten, että jokaisen seuranta mittauskerran jälkeen puitteita kierrätettiin vasemmalta oikealle, jotta ne saisivat mahdollisimman saman määrän UV-valoa (kuva 7).



Kuva 13. Valotehon mittaukseen aalloalueella (315...400 nm) käytetty mittari



Kuva 14. UV -lampujen tehon mittaus ylhäältä katsottuna

Lämpötilan tai kosteuden muutoksista kaapin sisältä ei ollut varmentavaa mittaustietoa käytettävissä mittaustietoa tallentavan tietokoneen puuttumisen vuoksi. Sadetuksen aikana ilman suhteellinen kosteus oli oletettavasti 100%. Muutoin voidaan todeta, että kaksi viikkoa oli kuivaa ja kaksi viikkoa kosteaa lämpötila rajojen  $-5 \dots 50 \text{ C}^\circ$  sisällä.

## 6.6 Rasitusvastaavuus olosuhdekaapin ja luonnon olosuhteiden välillä

Auringonvalon kokonaissäteily määrä Etelä-Suomen tasolla vaakapinnalle on 3,2 GJ/m<sup>2</sup>. Tästä noin 6% on UV-alueella. UV-alueesta taas 95% on UV-A alueella. Lämpötilan vaikutusta UV-valon vaikuttavuuteen korjataan 0,67 kertoimella. Kertomalla kokonaismäärä mainituilla kertoimilla saadaan tulokseksi 122,2 MJ/m<sup>2</sup>, joka on siis UV-A alueella saapuvan säteilyn määrä vuodessa. (European Organisation for Technical Assessment 2004, 9.)

Olosuhdekaapissa UVA-lamppujen tehoksi vastaavalla UV-A alueella saatiin noin 30 W/m<sup>2</sup>. Niinpä yhden vuoden rasitusta luonnossa vastaava tuntimäärä olosuhdekaapissa saadaan kaavasta 2 (Atlas Electric Devises Company 2001, 63).

$$\frac{122200 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}}{(30 \text{ W} / \text{m}^2 * 3,6)} = 1144 \text{ h} \quad (2)$$

## 7 TULOKSET

### 7.1 Mittaustulokset

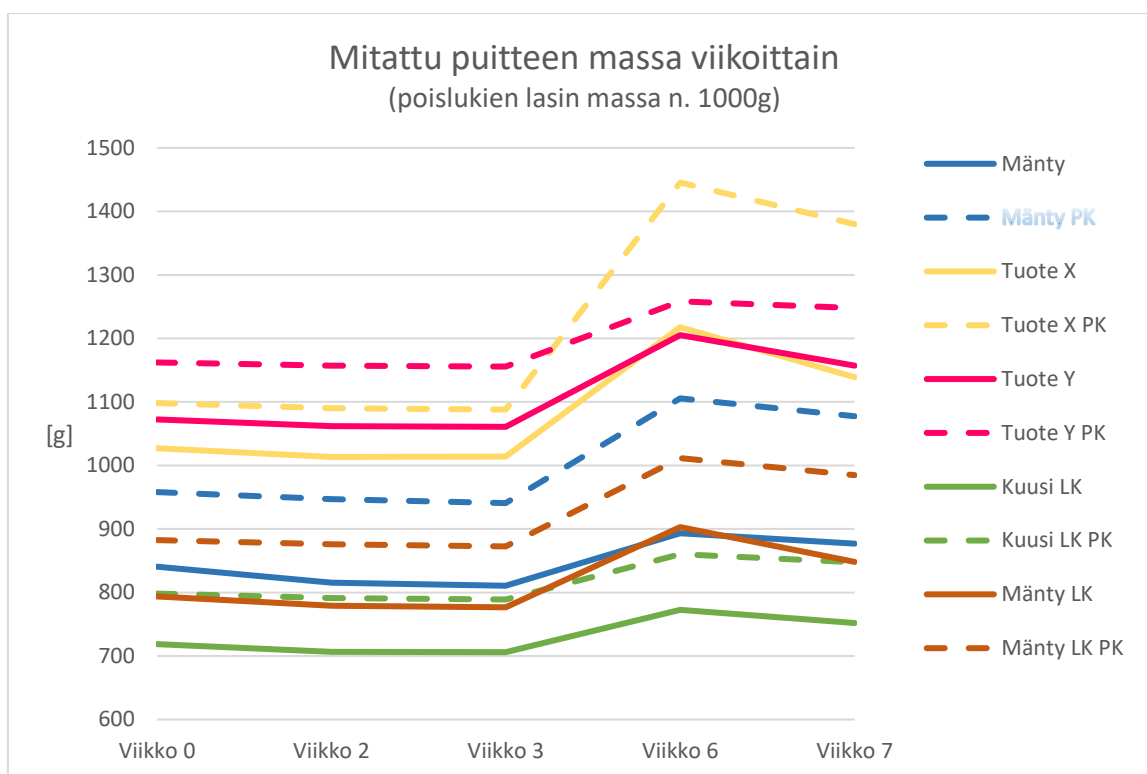
Olosuhdekaappi käynnistettiin 18. toukokuuta. Mittauskerta, jossa ominaisuudet mitattiin ensimmäisen kerran, oli 12. toukokuuta. Tuolloin saadut tulokset edustavat tilannetta ennen testiä. Puitteet säilytettiin toimistoilmaa muistuttavissa olosuhteissa ennen testin alkua. 25. toukokuuta oli kulunut viikko testausta ja tehtiin testin ensimmäinen seurantamittaus. Kesäkuun ensimmäisenä päivänä oli testiä kulunut kaksi viikkoa. Tuolloin tehtiin toinen seurantamittaus. Samalla havaittiin, että käytössä olevan olosuhdekaapin sadetus ei toimi. Tuolloin päätettiin siirtää puitteet toiseen kaappiin, jossa sadetus toimi, mutta UV-valoa ei ollut saatavilla. Seuraavilla kahdella seurantamittauskerralla puitteet olivat niin märkiä, että seurantamittauksia ei kaikilta osin tehty. Viimeinen mittauskerta oli viikko testiajan loppumisen jälkeen eli 23. kesäkuuta. Puitteet otettiin olosuhdekaapista 16. kesäkuuta ja saivat tasaantua toimisto-olosuhteissa viikon ennen viimeistä mittauskertaa, jonka tulokset edustavat siis ominaisuuksia testin jälkeen. Tästä poiketen massa mitattiin myös kaksi viikkoa testin loppumisen jälkeen. Taulukossa 2 on mittauspäivät viikoittain.

Taulukko 2. Ikkunapuitteiden testauksen kesto ja tarkastelupäivät

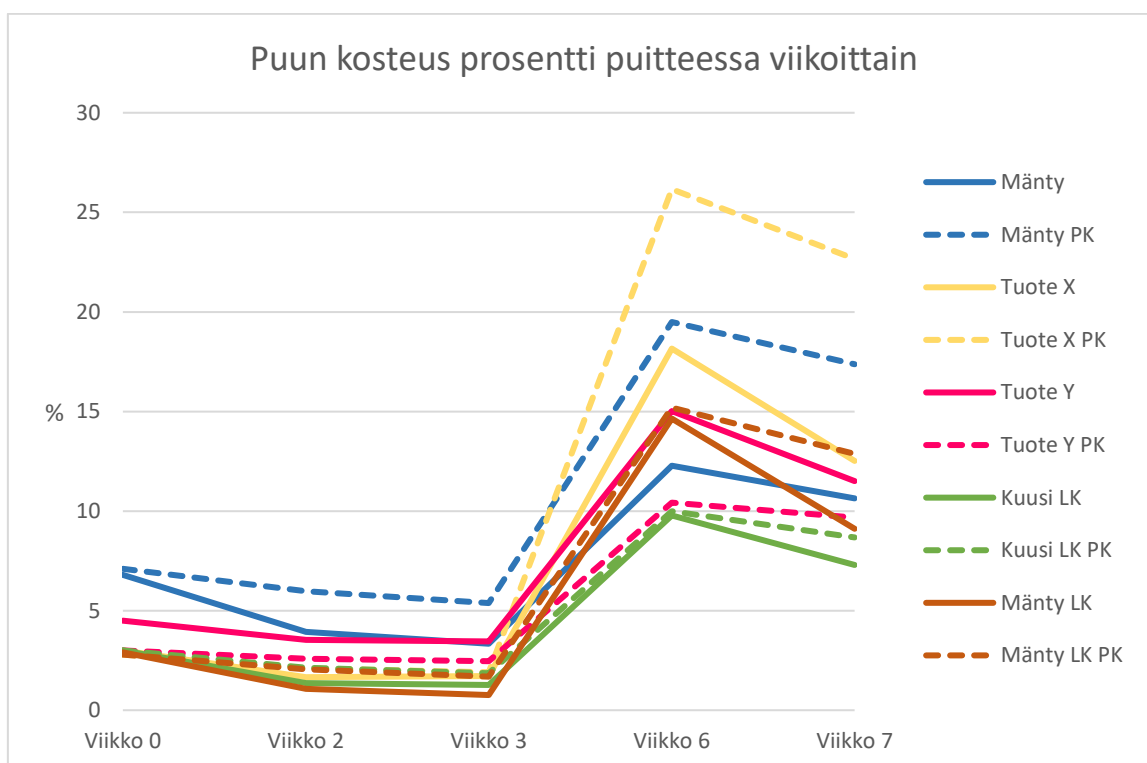
Testausviikot							
	Säärasituksen aloitus			S.rasituksen lopetus		Tasaantuminen	
12.5.2020	18.5.2020	25.5.2020	1.6.2020	9.6.2020	16.6.2020	23.6.2020	30.6.2020
Viikko 0	Viikko 1	Viikko 2	Viikko 3	Viikko 4	Viikko 5	Viikko 6	Viikko 7

#### 7.1.1 Puitteiden massan ja kosteuden muutokset

Jos puitteen massa pienenee, on sen täytynyt kuivua tai päinvastaisessa tilanteessa kasvaa. Kuvassa 15 on massan mittaustulokset viikoittain. Viikko nollan piikkikosteusmittarilla mitatusta kosteudesta on johdettu kuivapaino (kuva 28). Huomioidaan tässä kohtaa se, että piikkikosteusmittarilla mitattaessa saattaa puun modifiointi aiheuttaa virhettä. Puun kosteusprosentti on laskettu vähentämällä kuivapaino mitatusta massasta ja jakamalla erotus mitatulla massalla. Eri mittauskerroille lasketut puun kosteusprosentit on esitetty kuvassa 16.



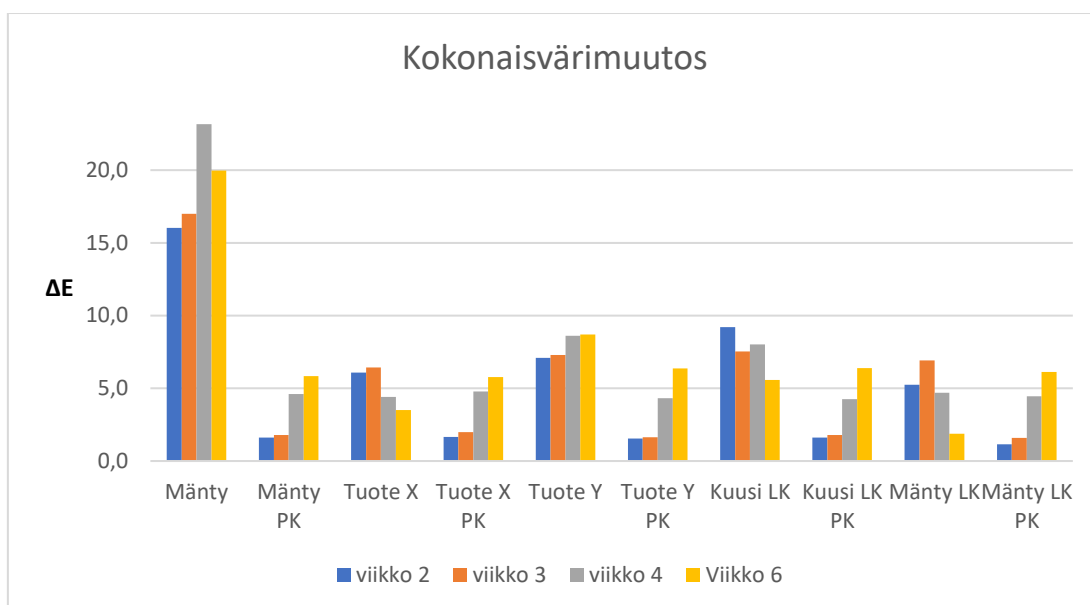
Kuva 15. Puitteen massa eri mittauskerroilla (Tässä kuvassa ja tuonempana tekstissä PK = pintakäsitelty ja LK = lämpökäsitelty)



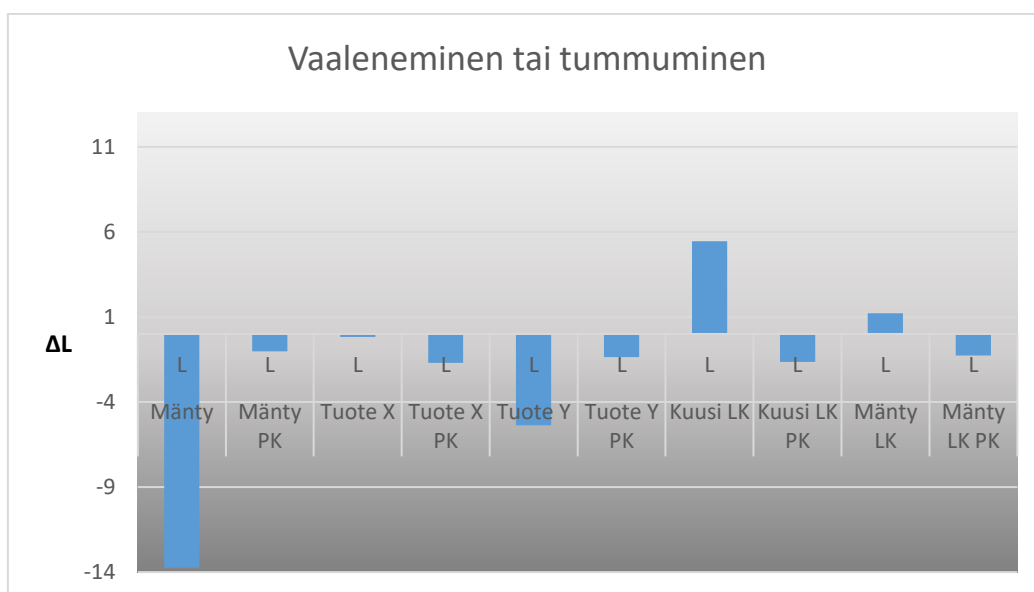
Kuva 16. Puitepuun laskettu kosteusprosentti eri mittauskerroilla

### 7.1.2 Värimuutokset säärasitustestin aikana

Kokonaisvärimuutos säätestin ajalle on laskettu kaavalla 1. Se ei kerro muutoksen suuntaa vaan suuruuden. Muutosta verrataan aina lähtötilanteeseen eli viikon 0 mittaukseen eli keltainen viikon 6 tolppa on vertailu alku ja lopputilanteen välillä. Muutos on nouseva maalaatuilla puitteilla ja laskeva maalaamattomilla. Kuvissa 18 - 20 värisävy, jonka suuntaan pylväs kasvaa on voimistunut testin aikana. Sävy muutoksissa on verrattu lopputilannetta alkutilanteeseen eli viimeisen mittauksen arvosta on vähennetty ensimmäisen mittauksen arvo.

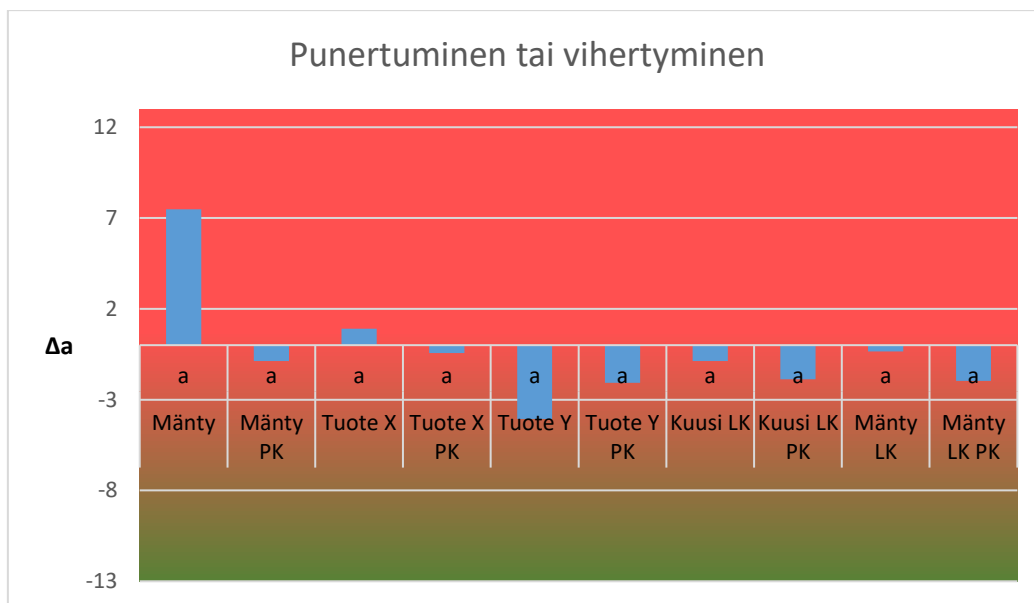


Kuva 17. Kokonaisvärin muutoksia viikko nolnaan verrattuna

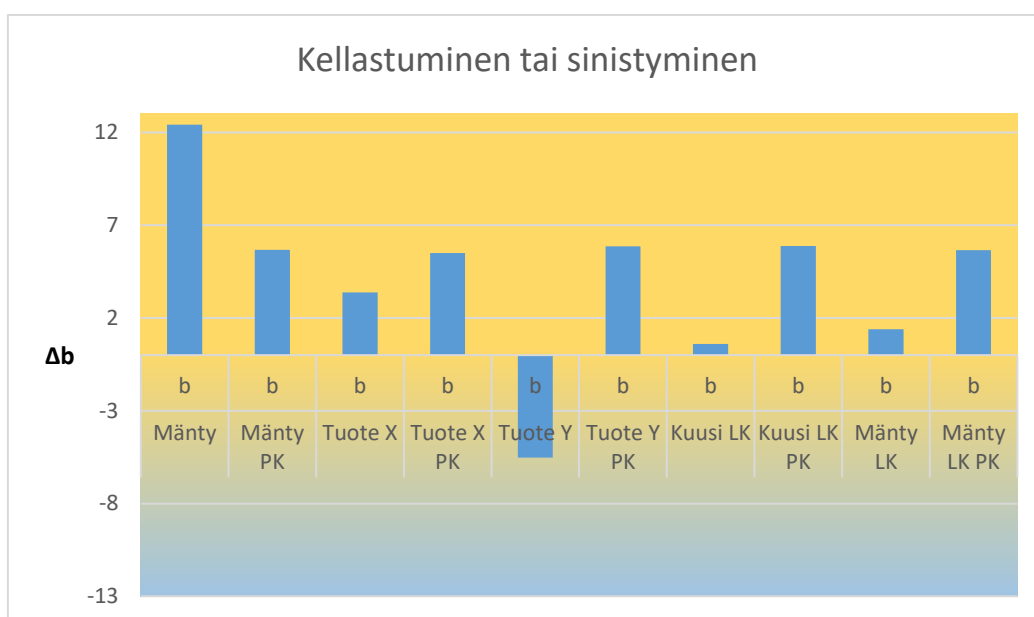


Kuva 18. L -arvon muutos koko testin ajalta





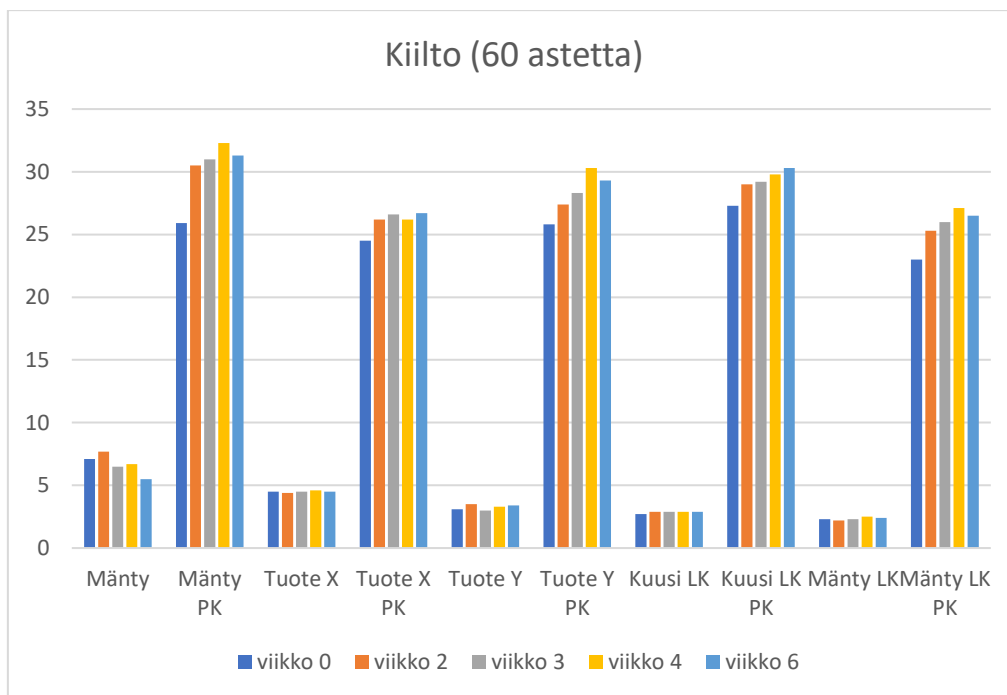
Kuva 19. a -arvon muuttuminen koko testin ajalta



Kuva 20. b -arvon muuttuminen koko testin ajalta

### 7.1.3 Kiiltomuutokset

Kiillonmittaus suoritettiin standardin SFS-EN ISO 2813 mukaisesti. Tulokset on esitetty kuvassa 21. Mitä suurempi arvo on, sitä parempi kiilto.

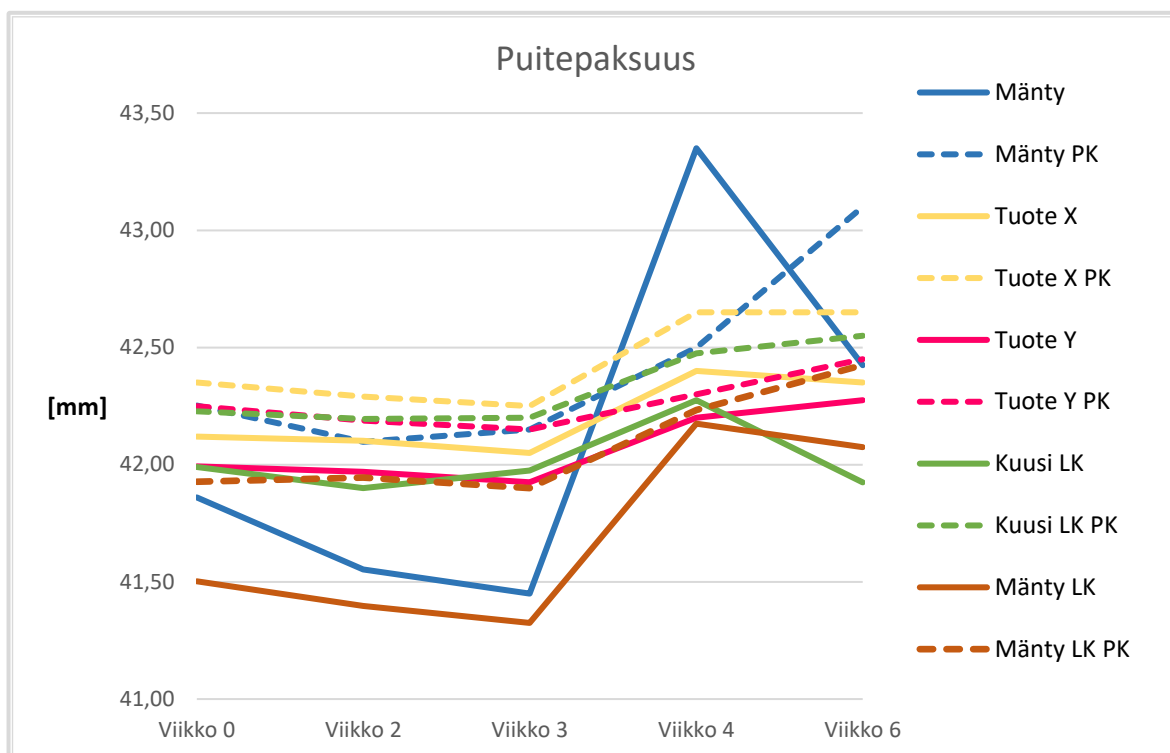


Kuva 21. Kiillon mitatut arvot

#### 7.1.4 Mittamuutokset

Puitteen paksuus, leveys ja korkeus mitattiin. Paksuusmittaus tehtiin työntömitalla, jonka tarkkuus oli 0,01 mm. Mittauskohtana oli puitesivun keskikohta (kuva 6). Jokaisen puitteen neljän sivun mittauksesta laskettiin keskiarvo, joka on esitetty kuvassa 22 eri mittauskerroilta. Paksuusmuutokset olivat alle prosentin luokkaa mäntyä lukuun ottamatta.

Puiteiden piteuden ja leveyden muutokset olivat myös männyllä suurimmat. Leveydessä ero oli männyllä suurimmillaan 4 mm ja korkeudessa 2 mm. Hyvin pieni, mutta havaittava trendi leveyden ja korkeuden muutosten välillä oli näkyvissä siten, että leveys vaihteli enemmän kuin korkeus yleisesti puitteissa. Mittaustarkkuus oli millin luokkaa ja muutokset promillen luokkaa. Mainittakoon tässä kohtaa selvennykseksi, että puitekappaleen pituus ja leveys on eri asia kuin puitteen leveys ja korkeus.

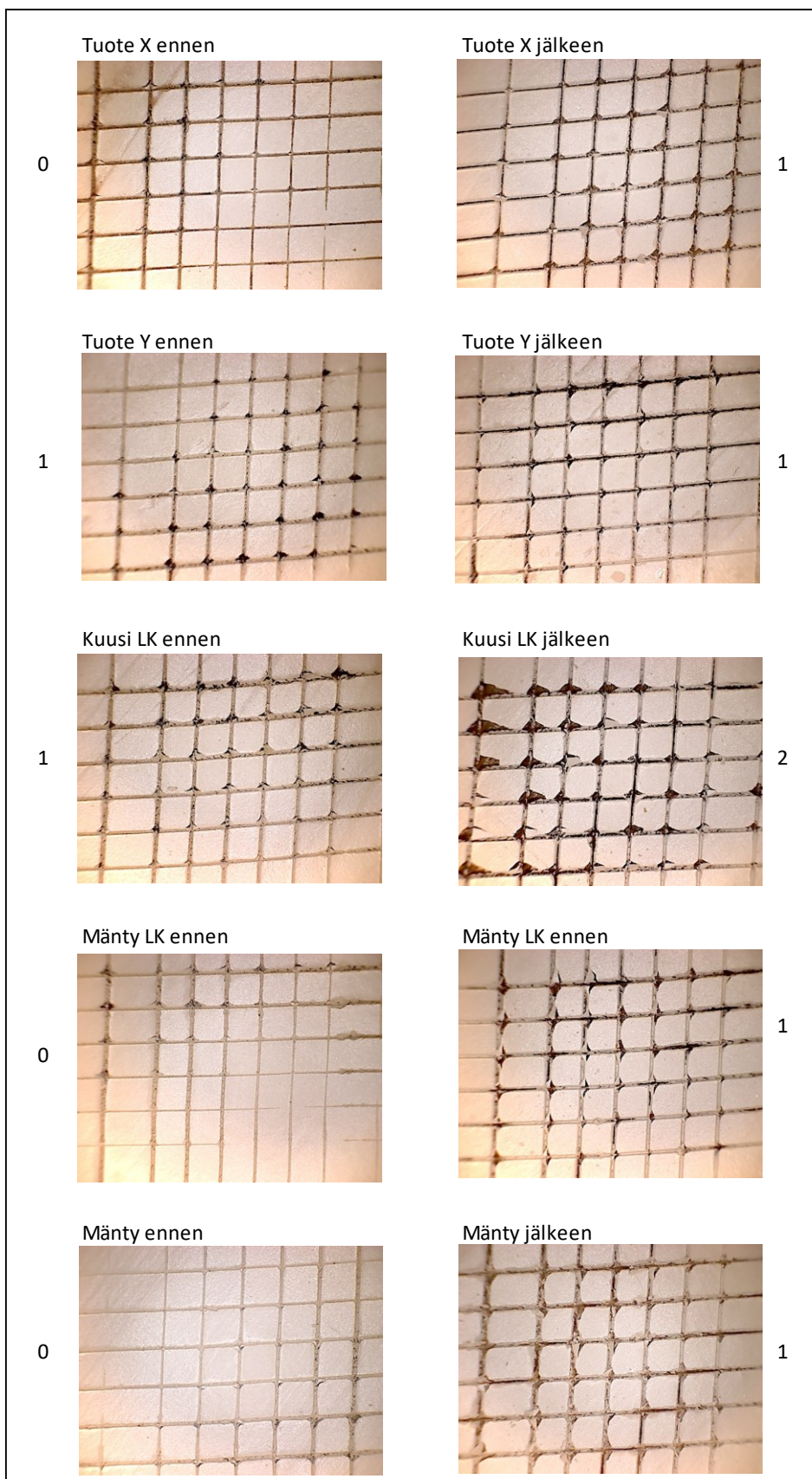


Kuva 22. Puitteen paksuuden muutokset

### 7.1.5 Hilaristikkotesti ja muut havainnot

Hilaristikkotesti suoritettiin standardin SFS-EN ISO 2409 mukaisesti. Tulokset ja luokitus on esitetty kuvassa 23. Hilaristikko raapaistiin maalattuihin puitteisiin niiden sisäpuolen sivulle (kuva 9). Ennen ja jälkeen -ristikot tehtiin samaan puitekappaleeseen, jotta mahdolliset kappalekohtaiset erot eivät vaikuttaisi tulokseen.

Värimuutoksia ja muita säärasitustestin aikana syntyneitä muutoksia havainnoitiin silmämääräisesti standardin SFS-EN 4628-1 mukaisella luokituksella (taulukot 3 ja 4). Taulukoissa mainituista muutoksista löytyy kuvia seuraavasti: tuote Y:n värimuutos (kuva 24), männyn tummuminen (kuva 25), lämpöpuun halkeamat (kuva 26) ja kuusen silkkimäinen kiilto (kuva 27). Kuvassa 25 näkyvä vaalea neliö on se osa pintaa, joka on ollut testin aikana kuormaliinan alla.



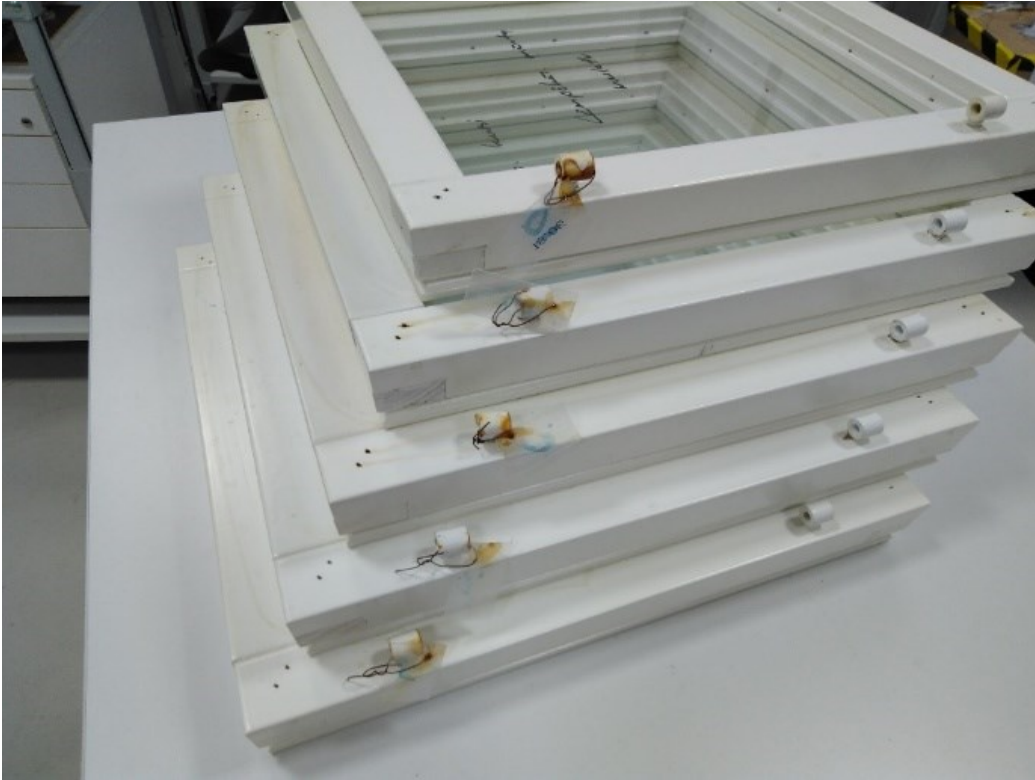
Kuva 23. Hilaristikkotestin tulosten standardin mukainen luokittelu

Taulukko 3. Visuaalisesti arvioitu värien muutos standardin SFS-EN 4628-1 ja sen taulukko kolmen mukaisesti luokiteltuna

30.6.2020	Värimutoksen voimakkuus	Luokitus
Mänty	tummunut ruskeaksi	4
Mänty PK	kellertynyt	2
Tuote X	haalistunut	2
Tuote X PK	kellertymää	2
Tuote Y	haalistunut	1
Tuote Y PK	kelertymää	3
Kuusi LK	haalistunut	3
Kuusi LK PK	kellertymää	2
Mänty LK	haalistunut	2
Mänty LK PK	kelertymää	2

Taulukko 4. Muita huomioita ja voimakkuuden arvio standardin SFS-EN 4628-1 ja sen taulukko kolmen mukaisesti luokiteltuna

30.6.2020	Muut huomiot	Luokitus
Mänty	alapuolinen puite tummunut vähiten	0
Mänty PK	saumat korostuvat	3
Tuote X	likainen ulkoasu	3
Tuote X PK	kittirimahalkeama	1
Tuote Y	silkkimäinen kiilto	1
Tuote Y PK	kelertymää myös UV-altistuksen ulkopuolella	3
Kuusi LK	silkkimäinen kiilto, halkeama	1
Kuusi LK PK	halkeama	1
Mänty LK	kaksi halkeamaa	1
Mänty LK PK	kittirimahalkeama, saumat korostuvat	2



Kuva 24. Maalattut puitteet testin jälkeen pinottuna, tuote Y on keskimmäisenä



Kuva 25. Männyn ruskettumista altistuspinalla





Kuva 26. Maalamaton lämpökäsitelty kuusi säärasituksen jälkeen



Kuva 27. Lämpökäsittelyssä puussa näkyviä halkeamia männyssä ja oikealla kuusessa

#### 7.1.6 Kosteuden vaihtelu puitekappaleessa

Puitteiden puun kosteusmittaus ennen ja jälkeen tehtiin piikkikosteusmittarilla (kuva 28). Näytemäärän ollessa hyvin minimaalinen ja piikin reikien välttämiseksi mitattiin modifioimattoman maalatun männyn kosteutta myös tuotetta vahingoittamattomalla kosteusmittarilla Merlin (kuva 29). Mittaus tehtiin viikolla 7 eli kahden viikon tasaantumisen jälkeen. Mielenkiinnon ja vertailun vuoksi kyseisellä mittarilla mitattiin myös lämpökäsiteltyä maalaamatonta kuusta.

Maalattun männyn kosteus oli noin 23 % mikä kielii edelleen kosteudesta. Kostein kappale oli saranapuolen vastainen kappale, joka on kuvassa 30 vihreällä värillä esitetty. Kyseinen kappale oli kappale, johon oli tehty hilaristikkotestit ja piikkikosteusmittarilla yksi reikäpari ennen säärasitusta. Reiät oli kuitenkin kitattu ennen säärasitusta. Kuvassa 31 mittarin asetukset olivat käsittelemättömälle kuuselle, ei lämpökäsitellylle puulle, joten tulos on vain suuntaa antava. Merlin -mittarissa on eri puulajeille omat asetuksensa, mutta ne eivät huomioi modifiointimuutoksia. Kosteus oli selkeästi alempi kuin lämpökäsittelemättömällä männyllä.



Kuva 28. Piikkikosteusmittari, GANN Hydromette Uni 2



Kuva 29. Kosteusmittaus Merlin -kosteusmittarilla puitesivun eri kohdista



30.6.2020	Mittarin asetukset							
	07,049,40							
<b>Mänty PK</b>								
<b>Mittauskohdat</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Kappale</b>	<b>Mittauskohdat puitteessa</b>			
1	12,3	13,1	25,2					
	12,5	13,3	23,4		1	2	3	
	11,8	12,8	23,4				1	
<b>Keskiarvot</b>	<b>12,20</b>	<b>13,07</b>	<b>24,00</b>	<b>16,42</b>				
2	36	22,8	34,6					
	37,2	22,9	30,9				2	
	37,5	22,7	30,6					
<b>Keskiarvot</b>	<b>36,90</b>	<b>22,80</b>	<b>32,03</b>	<b>30,58</b>			3	
3	31,3	20,7	15,8		3	2	1	
	30,1	20,3	16					
	32,9	20,1	15,5					
<b>Keskiarvot</b>	<b>31,43</b>	<b>20,37</b>	<b>15,77</b>	<b>22,52</b>				
	<b>Puitteen keskiarvo</b>			<b>23</b>				

Kuva 30. Merlin -kosteusmittarilla saatuja tuloksia maalatululle männylle

30.6.2020	Mittarin asetukset							
	05,043,40							
<b>Kuusi LK, PK</b>								
<b>Mittauskohdat</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Kappale</b>	<b>Mittauskohdat puitteessa</b>			
1	8	7,3	9,9					
	8,2	8,1	10,7		1	2	3	
	8,3	7,8	10,6		3		1	
<b>Keskiarvot</b>	<b>8,17</b>	<b>7,73</b>	<b>10,40</b>	<b>8,77</b>				
2	7,7	5,6	6,8					
	9,1	5,9	8,1		2		2	
	8,8	6,7	8,1					
<b>Keskiarvot</b>	<b>8,53</b>	<b>6,07</b>	<b>7,67</b>	<b>7,42</b>	1		3	
3	10,1	6,7	9,4		3	2	1	
	11,2	7,1	8,7					
	10,4	6,6	8,8					
<b>Keskiarvot</b>	<b>10,57</b>	<b>6,80</b>	<b>8,97</b>	<b>8,78</b>				
4	9,8	8,6	6,1					
	9,6	8	6,4					
	9,4	8	6,8					
<b>Keskiarvot</b>	<b>9,60</b>	<b>8,20</b>	<b>6,43</b>	<b>8,08</b>				
	<b>Puitteen keskiarvo</b>			<b>8</b>				

Kuva 31. Merlin -kosteusmittarilla saatuja tuloksia maalatululle lämpökäsitellylle kuuselle

## 7.2 Tulosten arviointi

Crewdson esittää säärasitus testin toimivuuden arvioimiseksi testien toistamista, hajomista kuvaavien ominaisuuksien seuraamista testin aikana ja tilastollisia menetelmiä joka yksinkertaisimmillaan tarkoittaa keskiarvoilla vertailua. Toistolla voidaan selvittää ovatko

tulokset saman suuntaisia vai vaihtelevatko ne satunnaisesti. Testin aikaisen hajoamisen seuraaminen mahdollistaa hajoamiskäyrien piirtämisen. Niissä kuvataan muutosta ajan kuluessa. Tämä edellyttää riittävän monta, yleensä vähintään 5, mittauskertaa testin aikana. hajoamiskäyrä taas mahdollistaa kiihdytyskertoimen määrittämisen edellyttäen, että on olemassa taustatietoa luonnollisesta hajoamisesta kentällä, kuten kohdassa 5.4 kuvattiin. (Crewdson 2008.)

Nopeutetun säärasituksen vastaavuutta luonnolliseen rasitukseen ulko-olosuhteissa voi arvioida myös altistusmäärällä ainakin UV-valon tapauksessa. Kun tiedämme, paljonko UV-valoa keskimäärin tulee auringosta Etelä-Suomen alueelle vuodessa ja paljonko sitä on tullut olosuhdekaapissa testin aikana, voimme laskea vastaavuuden näiden välille (kaava 2).

Tässä työssä emme tehneet toistoja. Käytössä ei ole ollut väriin tai kiiltoon liittyvää tietoa luonnon olosuhteissa tapahtuvasta männyn hajoamisesta. Ainut keino vastaavuuden edes karkeaksi arvioimiseksi jää UV-altistuksen varaan. Se oli olosuhdekaapista mitatun UVA -arvon, olosuhdekierron UVA -jaksojen yhteenlasketun ajan (liite 1) ja laskentakaavan 2 mukaan arvioiden noin 90 vuorokautta. Kiihdytys jäi näin varsin vähäiseksi.

On myös muistettava, että käytimme vai yhtä puitetta kutakin testitapausta kohden. Tällöin sattuman merkitys puitteissa korostuu. Testin perusteella esitettävät arviot materiaalin toimivuudesta perustuvatkin tässä työssä yhden näytekappaleen ominaisuuksiin eikä esimerkiksi tilastolukuun, joka on saatu suuresta joukosta samaa materiaalia edustavia näytekappaleita.

Massamuutoksia ja niistä johdettuja kosteuden muutoksia tarkastelemalla (kuvat 15 ja 16) syntyy sellainen yleiskuva kuva, että maalaus ei edistä kosteuden poistumista puusta. Se ei myöskään estänyt kappaleita täysin kostumasta, vaikka ne olivat kauttaaltaan maalattuja. Veden poistuminen on hitaampaa maalatuissa kappaleissa. Modifioidut puutuotteiden alkukosteus oli pienempi kuin normaali puusepäнкуivan puun kosteus, ollen alle 5%. Mänty oli lähempänä 7%, kun puusepäнкуivana puuna pidetään pääsääntöisesti 8 -14 prosentin kosteudessa olevaa puuta (Varis 2017, 143).

Kaksi viikkoa rasituksen jälkeen kosteus oli lahoamisen kannalta otollisessa pitoisuudessa vain tuotteen X maalatussa puitteessa. Lahoamisriskiä yritetään pienentää yleensä modifioinnilla. Siksi lahoamisriskin kohoamisesta tuotteessa X ei voi päätellä pelkän kosteuden perusteella. Männyn maalattu puite oli viikko rasituksen jälkeen vielä kosteudeltaan lähellä 20%. Seuraavan viikon aikana sen kosteus laski kuitenkin turvalliselle alueelle. Kun tarkasteluun otetaan mukaan paksuuden muutokset (kuva 22) havaitaan, että vain männnyllä kosteusmuutos aiheutti noin 1...4% mittamuutosta. Tuote X ei merkittävästi mitoiltaan

muuttunut, vaikka se imi kosteutta lähes 300 grammaa. Tämä selittynee sillä, että vain modifioimattomalla männyllä soluseinämät ovat vielä imukykyisiä. Modifioiduilla tuotteilla ne ovat menettäneet tämän ominaisuutensa. Niissä vesi menee pääasiassa soluonteloihin eikä täten aiheuta muodon muutoksia.

Oma tarinansa lienee tuo maalatun männyn paksuuden kasvu 0,5 mm kaksi viikkoa testin päättymisen jälkeen (kuva 22). Se voi olla satunnaisvirhettä tai sitten jopa merkki jostain biologisesta prosessista kosteahkon puun sisällä. Vastaavasti maalamaton kuusi sen sijaan palautui täysin entiseen paksuuteensa kahden viikon aikana rasituksen loppumisesta.

Puitteen kappaleissa kosteutta näytti Merlin-mittauksen perusteella esiintyvän eniten kappaleiden päissä (kuva 30 ja 31). Tällaista trendiä on havaittavissa noissa kahdessa mitatussa kappaleessa. Sille voisi olla syy naulauksen sijainti tai päätyjen poikkisahaus pinta.

Maalaamaton lämpökäsitelty kuusi pärjäsi kosteuden suhteen parhaiten. Tähän voi olla yksi syy kuusen solurakenteessa. Sen soluhuokokset sulkeutuvat kuivauksessa tai lämpökäsittelyn seurauksena ja siksi kuusta ei yleensä esimerkiksi kyllästetä (Kaila 1997, 247). Normaali maalaamaton mänty pärjäsi myös hyvin muodon muutoksia lukuun ottamatta.

Kiilto pysyi maalatuilla puolihimmeän arvoissa testin ajan. Arvoituksellista on arvojen pienoinen nousu kauttaaltaan ja myös sadejakson aikana (kuva 21). Yleensä maalin sideaine alkaa UV-rasituksen seurauksena säröillä, jolloin valo taittuu useampaan suuntaan pinnasta aiheuttaen matta -ominaisuuden kasvua.

Hilaristikkotestissä lämpökäsitelty kuusi oli huonoin, mutta muutos oli suhteellisen pieni (kuva 23).

Värien osalta voi nähdä maalamattoman männyn tyypillisen ilmiön eli sen tummumisen tai kellastumisen valoaltistuksen myötä (kuva 25). Tämä näkyy selkeästi männyn sävy muutoksissa ja kokonaisvärimuutoksessa (kuvat 17-20). Kaikki maalatut puitteet kellastuivat hivenen. Maalatuissa puitteissa kokonaisvärimuutos testin kuluessa oli kasvava, kun se maalaamattomilla oli vähenevä. Tälle voi olla useita syitä, mutta pintakäsittelemätön puu tummuu yleensä UV- altistuksen aluksi, mutta rasituksen edetessä se harmaantuu. Maalatuissa tuotteissa kellastuminen näytti etenevän myös kosteusjakson aikana. Tuote Y näytti visuaalisen tarkastelun pohjalta kellertyvän eniten ja myös UV- altistuksen ulkopuolelta (taulukot 3 ja 4 sekä kuva 24). Lämpökäsitelty kuusi maalaamattomana vaaleni väreilleen ja sai silkkimäistä kiiltoa (kuva 26).

Muita havaintoja olivat maalaamattomassa lämpökäsitellyssä puussa näkyvät halkeamat (kuva 27).

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkoituksena oli tutkia säärasituksen aiheuttamia muutoksia puitemateriaaleissa ja verrata niitä perinteiseen sormijatkettuun mäntyyn. Testattu näytemäärä ei ollut testattavaa tuotetta kohden edustava, joten testin odotusarvo oli suuntaa antava. Sen perusteella tehtyjä päätelmiä on myös tarkasteltava tämä huomioiden.

Modifioidut tuotteet olivat mittapysyviä. Maalaus ei parantanut kosteuden poistumista puumateriaalista ja toisaalta ei estänyt puumateriaalin kostumista. Havaitut kosteudet nousivat yli 15% tuote X:ssä ja modifioimattomassa maalatussa männyssä.

Maalatut pinnat kellastuivat rasitusjakson aikana, mutta muutos oli pieni lukuun ottamatta tuote Y:tä. Lämpökäsitellyn maalaamattoman kuusen ja maalaamattoman tuote Y:n pinnat saivat silkkimäistä kiiltoa muistuttavaa patinaa testin aikana. Maalaamaton mänty tummui ja kellastui UV-valon vaikutuksesta, mikä on männylle tyypillinen ominaisuus.

Kuudessa maali pysyi kiinni heikoiden hilaristikkotestin mukaan sen saadessa ainoana luokituksen 2. Tämä tarkoittaa noin 5...15 % hilseilyä leikkausristikossa. Tässä voisi olla lisätutkimuksen paikka parhaimman maalaustavan tai maalin löytämiseksi.

Lämpökäsitellyissä maalaamattomissa tuotteissa oli havaittavissa ainakin yksi halkeama puitetta kohden, joka oli syntynyt säärasituksen aikana. Raaka-aineen lajittelu voisi olla yksi keino tähän ilmiöön, koska lämpökäsitellyn puun osalta sormijatkaminen on haastavaa ja kenties kokonaan poissuljettu vaihtoehto.

Testi oli siinä mielessä lupaava, että mitattujen ominaisuuksien osalta lämpökäsitellyt puut pärjäsivät muihin modifioituihin tuotteisiin nähden vähintäänkin tasavertaisesti. Jatkotutkimukselle riittää kiinnostusta itse tuotteiden kuin testausmenetelmänkin osalta. Testauksessa kannattaa kehittää UV-rasituksen tehoa, olosuhdekaapin olosuhteiden mittausta ja digitaalista tallentamista ja testikappaleiden määrän nostamista. Hyvää oli testikappaleiden seuraaminen viikoittain ja seuraamista voisi jatkaa pidemmällekin testin jälkeisellä taasaantumisjaksolla, jotta palautuminen testiä edeltävään tilaan esim. kosteuden osalta voidaan nähdä.

Testin suhteen edellä mainituilla toimenpiteillä voidaan olosuhdekiertoa optimoida ja määrittää sille jokin vastaavuus luonnossa tapahtuvaan puun hajoamiseen nähden. Näin voidaan päästä arvioimaan tuotteen huolto- ja käyttöikä.

Puun modifiointi esimerkiksi lämpökäsittelyllä todennäköisesti pidentää puitteen käyttöikää, mutta toisaalta modifiointi kasvattaa valmistusvaiheen hiilijalanjälkeä. Varmimmin ikkunan hiilijalanjälki saadaan pieneneväksi, jos modifioitun puun käytettävyyden on niin hyvä, että alumiinipuite tai alumiinilistat voidaan sillä korvata.

## LÄHTEET

AkzoNobel. 2020. Tuoteseloste D-DUR polyuretaaniliima [viitattu 22.8.2020]. Saatavissa:

<https://www.turunvarite.fi/uploads/NscVfNUd/D-Dur-PU-pintamaali-2675-756251.pdf>

Aluminum Association. 2014. EPD Extruded aluminium [viitattu 20.8.2020]. Saatavissa:

<https://www.aluminum.org/extruded-aluminum>

Annala, P. 2012. Mineraalipohjaisten julkisivumateriaalien säänkestävyyden tutkiminen laboratoriossa. Diplomityö [viitattu 29.7.2020]. Tampereen teknillinen yliopisto.

Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/21252/Annala.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Atlas Electric Devises Company. 2001. Weathering testing guidebook [viitattu 22.8.2020]. Atlas material testing solutions. Saatavissa:

<http://www.strenometer.dk/Files/Downloads/Guidebook.pdf>

Crewdson, M. 2008. Outdoor weathering must verify accelerated testing [viitattu

28.7.2020]. Q-Lab Weathering Research Service. Saatavissa: <https://www.q-lab.com/documents/public/9d677625-3d76-47a0-8099-daf3b24290fc.pdf>

European Organisation for Technical Assessment. 2004. Exposure procedure for artificial Weathering. EOTA Technical Reports. [viitattu 29.8.2020]. Saatavissa:

<https://www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/28/38/>

Firat. 2017. EPD White PVC Profiles for Windows and Doors [viitattu 20.8.2020].

Saatavissa: <https://www.environdec.com/Detail/?Epd=10403>

HunterLab. 1996. CIE L\*a\*b\* Color Scale. Application note Vol. 8, No.7 [viitattu

29.8.2020]. Saatavissa: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/glass/GlassTheories/CIE\\_Lab\\_info.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/glass/GlassTheories/CIE_Lab_info.pdf)

Jelle, B. 2012. Review: Accelerated Climate Ageing of Building Materials, Components and Structures in the Laboratory, Journal of Material science. 2012/18

Kaila, P. 1997. Talotohtori, Rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo WSOY

Kärkkäinen M. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.

Laitinen 2008. Puun modifiointimenetelmät. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö [viitattu 29.7.2020]. Saatavissa:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11742/2008-04-30-02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lunawood oy. 2019. EPD Lunawood Thermowood® of Nordic Pine and Spruce and Radiata Pine [viitattu 21.8.2020]. Saatavissa: <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/selaa-epd-ymparistoselosteita/>

Lämpöpuuyhdistys ry. 2020 Thermowood [viitattu 29.8.2020]. Saatavissa: <http://thermowood.palvelee.fi/1>

Möttönen, V. Boren, V. Heräjärvi. H. 2018 Puun ominaisuuksien modifiointi, Menetelmät ja tutkimuksen tila. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2018. Helsinki. Luonnonvarakeskus

Novenberg. 2020. Shou-sugi-ban hiilleytetyt verhoustuotteet. [viitattu 1.9.2020]. Saatavissa Novenbergin kotisivuilla: <https://novenberg.fi/shou-sugi-ban/>

Puuteollisuus ry. 2019. EPD Suomalainen kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta [viitattu 20.8.2020]. Saatavissa <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/selaa-epd-ymparistoselosteita/>

SFS-EN ISO 2409. 2013. Maalit ja Lakat. Hilaristikko. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 2813. 2014. Kiillon määrittäminen kulmilla 20°, 60° ja 85°. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS EN 927-6.2018 Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 6: Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 4628. 2016. Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 1: Yleistä ja merkintäjärjestelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 16474-1. 2013. Paints and varnishes. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 1: General guidance Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki. Rakennustieto Oy

Swedish wood. 2014. EPD Swedish sawn dried timber of spruce and pine [viitattu 20.8.2020]. Saatavissa: <https://www.environdec.com/Detail/?Epd=14140>

Svenska fönster Ab. 2020. EPD Wood- and wood aluminum clad windows [viitattu 21.8.2020]. Saatavissa: [https://www.environdec.com/Epd-Search/?search\\_type=simple&Category=15364](https://www.environdec.com/Epd-Search/?search_type=simple&Category=15364)

Turunen, H. Väärä, T. 2014. Modifioidut puutuotteet. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja A. Nro 49. Kouvola. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Varis, R. 2017. Sahateollisuus. Kustannuspalvelut kirjakaari oy. Suomen sahateollisuusmiesten yhdistys ry.



## LIITTEET

## Liite 1. Testauksessa Käytetyt Olosuhdekierrot

18.5.2020 - 1.6.2020

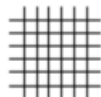
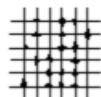
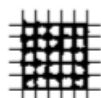
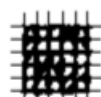
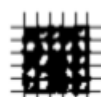
Ohjelmarivi	T [C°]	Aika [h]	Vesi	Säteilyvoima	Rasitus mekanismi
1	50	8	kuiva	30 W/m <sup>2</sup>	UVA rasitus + lämpö
2	15	0,25	sadetus	ei päällä	Lämpöisku alas + sade
3	10	3,75	kuiva	30 W/m <sup>2</sup>	UVA rasitus + kosteus
4	-5	1	kuiva	ei päällä	jäätyminen
5	40	1	kuiva	30 W/m <sup>2</sup>	UVA rasitus
6	-5	1	kuiva	ei päällä	jäätyminen
7	20	0,9	kuiva	30 W/m <sup>2</sup>	UVA rasitus
8	10	0,1	sadetus	ei päällä	sade
9	-5	1	kuiva	ei päällä	märkänä jäätyminen
10	40	2	kuiva	30 W/m <sup>2</sup>	UVA rasitus + lämpö
11	-5	1	kuiva	ei päällä	jäätyminen
12	40	4	kuiva	30 W/m <sup>2</sup>	UVA rasitus + lämpö
<b>summa</b>		<b>24</b>			

2.6.2020 - 16.6.2020

Ohjelmarivi	T [C°]	Aika [h]	Vesi	Säteilyvoima	Rasitus mekanismi
1	40	2	kuiva	ei päällä	lämpö
2	20	0,25	sadetus	ei päällä	sadetus ja lämpöshokki
3	40	2,75	kuiva	ei päällä	lämpö ja kosteus
4	30	0,75	kuiva	ei päällä	kondensointi
5	20	0,25	sadetus	ei päällä	sadetus
6	20	2,25	kuiva	ei päällä	kosteus
7	25	0,5	kuiva	ei päällä	lämpö
8	20	0,25	sadetus	ei päällä	sadetus
9	20	1	kuiva	ei päällä	kosteus
10	-5	2	kuiva	ei päällä	jäätyminen
<b>summa</b>		<b>12</b>			

## LIITE 2. Hilaristikkotestin - ja muutosten voimakkuus luokittelu

Taulukko 1 Koetulosten luokittelu

Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut <sup>a)</sup> (Esimerkki kuudelle rinnakkaisleikkaukselle)
0	Leikkausurien reunat ovat täysin sileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut.	
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut.	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta tai urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 5 % mutta korkeintaan 15 %.	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta korkeintaan 35 %.	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta korkeintaan 65 %.	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti.	-

<sup>a)</sup> Luvut ovat esimerkkejä hilaristikosta eri luokissa. Ilmoitetut prosenttiosuudet perustuvat kuvien perusteella saatuaan silmämääräiseen vaikutelmaan, eikä samoja prosenttiosuuksia välttämättä saada digitaalisella kuvantamisella.

Lähde: (SFS-EN ISO 2409)

Taulukko 3 Luokitusasteikko muutosten voimakkuuden merkitsemiseksi

Luokitus	Virheiden määrä
0	muuttumaton, ts. ei havaittavaa muutosta
1	hyvin pieni, ts. juuri havaittavissa oleva muutos
2	pieni, ts. selvästi havaittavissa oleva muutos
3	kohtalainen, ts. hyvin selvästi havaittavissa oleva muutos
4	merkittävä, ts. selvä muutos
5	hyvin merkittävä muutos

Lähde: (SFS-EN ISO 4628)

### LIITE 3. Svenska Fönsterin hiilijalanjälkitietoa eräistä sen valmistamista ikkunoista

#### CONTENT DECLARATION

Window material (weight per m<sup>2</sup> window)

PRODUCT COMPONENTS	WOOD SIDE-HUNG	WOOD ALUMINUM SIDE-HUNG	WOOD FULLY REVERSIBLE	WOOD ALUMINUM FULLY REVERSIBLE
Glass cassette (kg)	22.29	22.29	22.29	22.29
Wood (kg)	11.29	10.72	11.29	10.72
Steel (kg)	2.40	2.40	3.77	3.77
Aluminum (kg)	0.98	2.50	1.55	3.08
EPDM (kg)	0.49	0.49	0.49	0.49
Paint (kg)	0.47	0.47	0.47	0.47
Sealants (kg)	0.05	0.05	0.05	0.05
Glue (kg)	0.09	0.09	0.09	0.09
Plastic (kg)	0.13	0.23	0.11	0.21
<b>TOTAL</b>	<b>38.2</b>	<b>39.2</b>	<b>40.1</b>	<b>41.1</b>

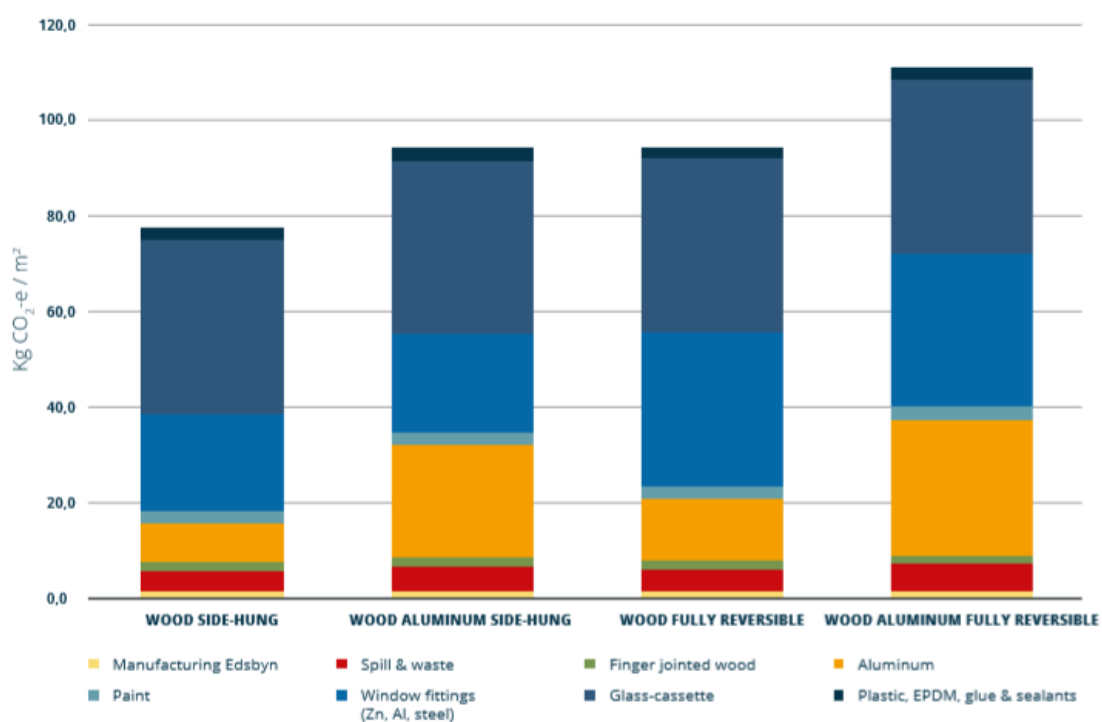


Figure 2. Global warming potential (kg CO<sub>2</sub>-ekv) per 1 m<sup>2</sup> window, broken down by input material.

Lähde: (Svenska Fönster Ab 2020)

## Liite 4. Polyuretaanimaalin tuoteseloste



10/05

Wood Finishes and Adhesives

<b>D-DUR 1907 NCS S-0502 Y</b>	<b>1132-01907</b>	<b>2675-756251</b>
--------------------------------	-------------------	--------------------

### TUOTETYYPPI

D-DUR pintamaali on sähköstaattisesti ruiskutettava 2-komponenttinen polyuretaanipintamaali. Se soveltuu erittäin hyvin puupinnoille, joilta vaaditaan hyvää säänkestävyyttä, esim. ikkunoihin, oviin ja puutarhakalusteisiin. Tikсотrooppisuuden ansiosta D-DUR maalia voidaan ruiskuttaa suuriakin määriä reunoilla sekä pystypinnoilla ilman valumista. D-DUR pintamaali kuuluu Tintflex-sävytysjärjestelmään.

### TEKNISET TIEDOT

<b>Tyyppi:</b>	2-komponenttinen polyuretaanipintamaali
<b>Tiheys (ISO 2811):</b>	2675-756251 n. 1,25 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Kuiva-ainepitoisuus:</b>	n. 60 paino %
<b>Kiilto (Gardner 60°):</b>	n. 25
<b>Sävy:</b>	Sävytettävä
<b>Teoreettinen riittoisuus (m<sup>2</sup> / litra):</b>	n. 8 (märkäkalvo 120 µm, kuivakalvo n. 50µm)
<b>Toimitusviskositeetti:</b>	Tikсотrooppinen
<b>VOC (g / l):</b>	n. 506, 2675-756251

### KÄYTTÖOHJE

<b>Levitysmäärä suositeltu (märkälevitys):</b>	Ruiskutus (Ilmahajotteinen, korkeapaine, HVLP ja sähköstaattinen)
<b>Levitysmenetelmät:</b>	7000-012009 D-Dur Hardener 919 30 tilavuus %
<b>Kovete:</b>	n. 4 h

<b>Käyttöaika (20°C):</b>			
<b>Kuivumisaika (levitysmäärä n. 120g/m<sup>2</sup>):</b>	Lämpötila	Hiontakuiiva	Pinkkauskuiva
	20°C	4-5 h	8 h
	40°C	2-3 h	3-4 h

<b>Alhaisin kuivumislämpötila:</b>	18°C ilman kosteuden ollessa enintään 65 %
<b>Käyttöviskositeetti (DIN 4/20°C):</b>	20- 40 s
<b>Ohenne ja työvälineiden pesu:</b>	6500-046001 ilmahajotteiseen- ja korkeapaine ruiskutukseen. 6500-047001 ja 6500-048001 sähköstaattiseen ruiskutukseen. Pesuun 6500-046001.
<b>Syttyvyys:</b>	Syttyvä
<b>Varastointi:</b>	Suljetussa astiassa, viileässä tilassa + 5° C - +20° C
<b>Varastointikestävyys:</b>	12 kk
<b>Kuljetus:</b>	Kuljetusluokka 3, III / VAK
<b>Huom!</b>	Katso D-Dur pintamaalin ja kovetteen 7000-012009 käyttöturvallisuustiedotteet.

### ESIKÄSITTELY

Maalattavan pinnan tulee olla pohjamaalattu ja hiottu esim. paperilla nro 240.

<b>PAKKAUSKOKO:</b>	2675-756251	20 l
	7000-012009	5 l, 12 l
	6500-046001	20 l, 200 l
	6500-047001	20 l, 200 l
	6500-048001	20 l, 200 l

Vain teolliseen käyttöön. Tiedot ovat suuntaa antavia ja sitoumuksetta. Käänny tarvittaessa Puuteollisuusmaalien teknisen palvelun puoleen. Tuotteen toiminta perustuu laboratoriotesteihin ja käytännön kokemuksiin. Käyttäjän tulee aina varmistua tuotteen soveltuvuudesta käyttökohteeseen ja työmenetelmiin.

Akzo Nobel Industrial Coatings Ab, Puuteollisuusmaalit, PO Box 138, FIN-01531 VANTAA  
Puh. +358 10 841 9500, fax +358 10 841 9599  
[www.akzonobel.com/wood/fi](http://www.akzonobel.com/wood/fi)

Lähde: (AkzoNobel 2020)