

VESI- JA ETANOLIPOHJAISTEN KASVIVÄRJÄYSMENE- TELMIEN VERTAILU

Pohjoisen kasvien kemiallisten yhdisteiden ja niiden ominaisuuksien
liittäminen villatekstiileihin

F.BAD-tutkimushanke

Kemppainen Virpi

Opinnäytetyö

Maaseutuelinkeinot
Agrologi (AMK)

2020

Maaseutuelinkeinot
Agrologi (AMK)

Tekijä	Virpi Kemppainen	Vuosi	2020
Ohjaaja	Kirsi Muuttoranta		
Toimeksiantaja	Future Bio-Arctic Design (F.BAD) -tutkimushanke		
Työn nimi	Vesi- ja etanolipohjaisten värjäysmenetelmien vertailu		
Sivumäärä	70		

Ympäristötietouden lisääntyessä myös tekstiiliteollisuudessa on herännyt kiinnostusta löytää haitallisille ja vaarallisille kemikaaleille korvaavia yhdisteitä luonnosta. Innovatiivisten älytekstiilien valmistuksessa pyritäisiin hyödyntämään pohjoisten ja arktisten alueiden kasviuutteiden ja -kuitujen ominaisuuksia. Arktisten alueiden kasveissa on esimerkiksi hometta estäviä, UV-valolta suojaavia ja hyönteisiä karkottavia ominaisuuksia.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä ultraääniavusteisesti uutettujen vesi- ja etanolipohjaisten kasvivärjäysmenetelmien vertailua. Tutkimuksessa käytetyissä vesi- ja etanolipohjaisissa värjäysliuoksissa on yhdisteryhmiä, joilla voi olla tutkimustulosten kannalta hyviä ominaisuuksia ja näitä kasviyhdisteitä yritettiin saada vietyä tekstiiliin eri värjäystekniikoiden avulla.

Työn tutkimuksellinen tavoite oli selvittää, onko tekstiililaadulla, kasvilajin ominaisuuksilla ja eri värjäysmenetelmillä merkitystä värien voimakkuuteen. Tutkimukseen tekstiilinäytemateriaaleiksi valittiin karstavillalangasta kudottu neulepala ja neulahuovutettu villapala. Kasvivärjäykseen tutkittaviksi kasvimateriaaleiksi valittiin nokkonen, suopursu ja pietaryrtti.

Opinnäytetyö oli empiirinen tutkimus, jossa tekstiilinäytteille tehtiin värimittauksia ja visuaalista havainnointia. Työn kvantitatiivinen tutkimusosuus toteutettiin värimittaustulosten vertailuilla. Värimittauksessa käytettiin Konica Minolta CM-700d/CM-600d -värimittaria.

Vesi- ja etanolipohjaisten kasvivärjäysmenetelmien vertailussa saatujen tulosten perusteella kasvien esikäsittelyissä molemmilla uuttomenetelmillä tuli hyvä värisaanto ja vastaavasti tekstiilinäytteiden hyvä värjäytyvyys. Yksityiskohtaisemmin tarkasteltuina pietaryrtti-vesiliuos-, nokkos-etanoliliuos- ja Printex BF -nokkospainovärjäyksissä oli parhaiten siirtynyt väriyhdisteitä villatekstiileihin. Värjäytystä tekstiilinäytteistä teetetään myöhemmin kemiallisia laboratorioanalyysyjä ja pyritään löytämään korrelaatio fenolisten yhdisteiden pitoisuuksien kanssa.

Avainsanat F.BAD, kasvivärjäys, ultraääniavustettu uutto, värin mittaaminen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	LUONNONVÄREILLÄ VÄRJÄÄMINEN	9
2.1	Luonnonvärit	9
2.2	Värjättävät tekstiilimateriaalit	11
2.3	Tekstiilimateriaalien pesu.....	12
2.4	Puretusaineet.....	13
2.4.1	Metallisuolat	14
2.4.2	Luonnonpuretusaineet.....	14
2.5	Erilaiset puretustavat	15
2.6	Väriliuosten valmistus	15
2.7	Lankamateriaalien kasvivärjäys	16
2.8	Tutkimuksessa käytettävät luonnonkasvit.....	17
3	VÄRIN MÄÄRITYS TEKSTIILIMATERIAALISTA.....	20
3.1	Luonnonvärien voimakkuuteen vaikuttavat tekijät.....	20
3.2	Värin mittaaminen	20
3.3	CIELAB-mittausjärjestelmä	22
4	TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT KASVIVÄRJÄYSMENETELMÄT	24
4.1	Tutkimuksen tavoite	24
4.2	Lankojen keittopesu	25
4.3	Värjättävien lankojen esipuretus	25
4.4	Kasviliuosten valmistus.....	26
4.5	Kasvivärjäykset ultraäänitehostuksella huoneenlämpötilassa.....	27
4.6	Värjättyjen lankojen käsittely ultraäänivärjäysten jälkeen	27
5	TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT VÄRINKIINNITYSMENETELMÄT	29
5.1	Värimittausten tarkoitus	29
5.2	Konica Minolta CM-700/CM-600d.....	29
5.3	Värimittausten validointi	30
5.4	Tutkimuksen toteutus.....	31
5.4.1	Kasvien keruu ja punnitukset	32
5.4.2	Kasvi-vesiliuosten valmistus ja ultraäänikäsittelyt	33
5.4.3	Kasvien siivilöinti liuoksista	35

5.4.4	Dip and dry -värjäykset kasvivesiliuoksilla.....	36
5.4.5	Etanoli-kasviväriliuosten valmistus	37
5.4.6	Dip and dry -värjäykset etanolikasviväriliuoksilla.....	38
5.4.7	Kasviväripainopastojen valmistus.....	39
5.4.8	Alunaliuoslisäykset kasviväripastoille	40
5.4.9	Kasviväripainanta	41
5.5	Tekstiilinäytteiden värimittaukset	43
6	TULOKSET.....	44
6.1	Kasvi-vesiliuosvärjäyksen tulos	45
6.1.1	Neulahuovutettu villapala	45
6.1.2	Kudottu neulepala	46
6.2	Kasvi-etanolivärjäyksen tulos.....	48
6.2.1	Neulahuovutettu villapala	48
6.2.2	Kudottu neulepala	50
6.3	Printex BF -painovärjäyksen tulos	51
6.3.1	Neulahuovutettu villapala ennen huuhteluita.....	51
6.3.2	Neulahuovutettu villapala huuhteluiden jälkeen	52
6.3.3	Kudottu neulepala ennen huuhteluita	54
6.3.4	Kudottu neulepala huuhteluiden jälkeen.....	55
6.4	Alginaatti -painovärjäyksen tulos	56
6.4.1	Neulahuovutettu villapala ennen huuhteluita.....	56
6.4.2	Neulahuovutettu villapala huuhteluiden jälkeen	57
6.4.3	Kudottu neulepala ennen huuhteluita	59
6.4.4	Kudottu neulepala huuhteluiden jälkeen.....	60
6.5	Mittaustulosten yhteenveto	62
6.6	Johtopäätökset	63
7	POHDINTA	65
	LÄHTEET.....	68

ALKUSANAT

Haluan lämpimästi kiittää yhteistyöstä, ohjauksesta ja tiedonjakamisesta Luonnonvarakeskuksen tutkijaa Susan Kunnasta ja Lapin ammattikorkeakoulun Reeta Sipolaa. Heidän ansiostaan ja töiden joustavilla järjestelyillä opinnäytetyöni valmistui aikataulussa.

Haluan kiittää myös Rovaniemen Luonnonvarakeskuksen laboratorion Mauri Heikkilää ja Sari Välitaloa sekä Lapin yliopiston Jenni-Liisa Ylinivaa ja Ritva Jääskeläistä ystävällisestä yhteistyöstä.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

a*-arvo	CIELAB-mittausjärjestelmän punaisuus/vihreys -arvo (Arnkil 2020, 30)
b*-arvo	CIELAB-mittausjärjestelmän keltaisuus/sinisyys -arvo (Arnkil 2020, 30)
L*-arvo	CIELAB-mittausjärjestelmän vaaleus -arvo (Arnkil 2020, 30)
UÄ-uutto	ultraääniavusteinen uutto

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni tutkin erilaisten luonnonväreillä tehtävien kokeellisten värjäysmenetelmien käyttöä ja niillä saavutettavaa väriä. Tarkoituksena on selvittää, millä värjäysmenetelmällä saadaan paras mahdollinen värisaanto tekstiiliin. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, onko luonnonkasvien esikäsittelyillä, kasvimateriaalien tai tekstiilien ominaisuuksilla merkittävää eroa värjättyjen tekstiilimateriaalien värinvoimakkuuteen. Tämä tutkimus on yksi osa-alue laajemmasta tutkimushankkeesta, jossa erilaisilla kasvivärjäystekniikoilla pyritään löytämään Lapin luonnosta korvaavia yhdisteitä haitallisille ja vaarallisille kemikaaleille.

Luonnonvarakeskuksen, Lapin yliopiston ja Lapin ammattikorkeakoulun EAKR-yhteishankkeen, Future Bio-Arctic Design (F.BAD, Luonnonmukaisia älytekstiilejä Lapista), tavoitteena on löytää Lapin luonnosta tekstiiliteollisuudessa käytetyille haitallisille ja vaarallisille kemikaaleille korvaavia yhdisteitä (Luke 2016). Innovatiivisten älytekstiilien valmistuksessa hyödynnettäisiin pohjoisten ja arktisten alueiden kasviuutteiden ja -kuitujen ominaisuuksia. Arktisten alueiden kasveissa on esimerkiksi hometta estäviä, UV-valolta suojaavia ja hyönteisiä karkottavia ominaisuuksia. (European Commission 2018.)

Yhteishankkeessa luodaan arktisen alueen tekstiili- ja vaatetusalalle uusia materiaali- ja tuoteaihiota sekä kehitetään Lapin tutkimus-, osaamis- ja innovaatiokeskittymiä alueellisten vahvuuksien pohjalta. F.BAD-tutkimushanke on alkanut 1.5.2018 ja se päättyy 30.9.2021. (Euroopan aluekehitysrachasto 2020.) F.BAD-tutkimushankkeessa Lapin ammattikorkeakoulun työ- ja tutkimusosuudet ovat tutkittavien lankojen kasvivärjäyksissä sekä materiaali- ja stereomikroskopian avulla tutkittaviin kuituihin kiinnittyneiden tehoaineiden kuvantamisissa.

Työskentelin kesällä 2019 tutkimusavustajana F.BAD-tutkimushankkeessa. Työssäni sain hyödyntää aikaisempaa kliinistä laboratorio-osaamistani, sillä olen ammatiltani laboratoriohoitaja. Minulla on työkokemusta kliinisen kemian, hematologian, mikrobiologian ja patologian laboratorioista, joten tutkimuksellinen työympäristö sekä järjestelmällinen ja pikkutarkka työskentelytapa sopivat minulle erittäin hyvin. Tehtäviini kuului luonnonmukaisten älytekstiilien tutkimushankkeen

toimenpiteisiin osallistuminen. Työtehtäviäni olivat tutkimusnäytteiden valmistaminen ja käsittely, tutkimuksessa tarvittavien kasvien keruu ja näiden esikäsittely, eri työvaiheiden dokumentointi ja raportointi. Työtehtäviini kuului myös eri työvaiheiden ja kasvien kuvaaminen.

Laboratoriotaustaani hyödyntääkseni halusin opinnäytetyöni liittyvän tutkimukselliseen ympäristöön ja mahdollisesti laboratorio-olosuhteissa tehtäviin tutkimuksiin. F.BAD-tutkimushankkeen positiivisten kokemusten ansiosta sain aiheen ja toimeksiannon opinnäytetyölleni. Opinnäytetyön aihe on rajattu kokonaisuus vuonna 2019 kasvivärjäyskokeiluista saaduista kemiallisista ja mikrobiologisista kasvitutkimustuloksista. Tutkimukseen tekstiilinäyttemateriaaleiksi valittiin karstavillalangasta kudottu neulepala ja neulahuovutettu villapala. Kasvivärjäykseen tutkittaviksi kasvimateriaaleiksi valittiin nokkonen, suopursu ja pietaryrtti.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli ultraäänitehostuksella uuttaa kasveista kasvivärihuoksia ja tehdä tutkittaville tekstiilinäytteille kasvivärjäyksiä neljällä eri värjäysmekaniikalla. Tutkimuksessa käytetyissä vesi- ja etanolipohjaisissa värjäysliuoksissa on yhdisteryhmiä, joilla voi olla tutkimustulosten kannalta hyviä ominaisuuksia ja näitä kasviyhdisteitä yritetään saada vietyä tekstiiliin eri värjäysmekaniikoiden avulla. Työn tutkimuksellinen tavoite oli selvittää, onko tekstiililaadulla, kasvilajin ominaisuuksilla ja eri värjäysmenetelmillä merkitystä värien voimakkuuteen.

Opinnäytetyö oli empiirinen tutkimus, jossa tutkittaville tekstiilinäytteille tehtiin värimittauksia ja mittaustulosten tulkitsemisen tukena käytettiin tekstiilinäytteiden visuaalista havainnointia. Työn kvantitatiivinen tutkimusosuus toteutettiin värimittauksien vertailuilla. Saatujen tulosten perusteella tehtiin johtopäätöksiä opinnäytetyössä esitettyyn tutkimusongelmaan. Värimittauksista tekstiilinäytteistä tehdään myöhemmin lisää laboratorioanalyysjä Lukessa ja pyritään löytämään korrelaatio tulosten välille.

2 LUONNONVÄREILLÄ VÄRJÄÄMINEN

2.1 Luonnonvärit

Luonnosta saatavat väriaineet voivat olla eläin- tai kasviperäisiä. Luonnonvärejä käytetään moneen tarkoitukseen, esimerkiksi värjäykseen, pigmenttiväriaineiksi ja elintarvikekäyttöön. Vaikka luonnosta saatavia väriaineita on paljon, luonnon väri- kasvit sisältävät suhteellisen vähän väripigmenttiä ja ne vaativat monimutkaisen prosessin. Luonnonkasvien värin laatu voi suuresti vaihdella esimerkiksi kasvin kasvuolosuhteiden mukaan. Luonnon väriaineihin verrattuna synteettisillä väriai- neilla saadaan laadukas värjäystulos helpommin ja edullisemmin. (Hintsanen 2018; 2019.)

Värjäykseen sopivia luonnon väriaineita saadaan kaikesta materiaalista, joka on jollakin tavalla värillistä. Suomen luonnosta väriä saadaan kasvien varsista, leh- distä, kukista, juurista, kuorista, marjoista, hedelmistä ja kävyistä. Luonnonvär- jäyksissä käytetään myös sientä, kääpää, jäkälää ja levätkin ovat käyttökelpoista värimateriaalia. (Räisänen, Primetta & Niinimäki 2015, 25.) Käytettävissä olevien luonnon väriaineiden valinnassa tulee värien täyttää seuraavat kriteerit. Värin tu- lee olla voimakasta, pysyvää, vesiliukoista ja sen on sitouduttava kuituihin. Värin voimakkuus koetaan väri- aistimuksena. Päivänvalon spektriin kuuluvista monista väreistä joidenkin on lähes kokonaan heijastuttava silmään ja näin saadaan väri- aistimus. Riittävällä määrällä luonnonvärin raaka-ainetta on väriaineen lähes ko- konaan absorboitava muut värit, jotta syntyvä aistimus antaisi kirkkaan ja täyte- läisen värin. (Sundström & Sevelius 2003, 14.)

Värien pysyvyys näkyy valonkestävyytenä. Vaikka tekstiiliä pestään tai se altistuu auringonvalolle, tulee värin pysyä tekstiilissä riittävän kauan. Värin kestävyys riip- puu valitusta tekstiilimateriaalista ja sen käyttötarkoituksesta, esimerkiksi käyttö- vaatteille riittää lyhyempi valonkestävyys ja tekstiilitaideteoksille vaaditaan pitem- pää valonkestävyyttä. Vesiliukoisuusvaatimus perustuu siihen, että luonnonkas- veilla värjätessä työskennellään veden kanssa. Värien sitoutumiskyvyllä tarkoite- taan sitä, että vesiliukoinen yhdiste kiinnittyy mieluummin tekstiilikuituun kuin jää

veteen. Tietyt väriaineet kiinnittyvät helposti jopa toisiinsa ja silloin värikäsittelyssä saadaan voimakas väri ilman värikäsittelyä, kuten jäkälillä värjätessä. Toiset väriaineet tarvitsevat tietynlaista esikäsitteilyä värivoimakkuuden lisäämiseksi, kuten esipuretukset erilaisilla metallisuoloilla. (Sundström & Sevelius 2003, 16–18.)

Kemialliselta rakenteeltaan luonnon väriaineet ovat erityyppisiä. Ne voidaan jakaa rakenteensa perusteella muutamaaan pääryhmään. Tunnetuimmat pääryhmät ovat klorofyllit, antrakininonit, karotenoidit ja flavonoidit. Nämä voidaan jäsentää edelleen omiin alaryhmiin. (Räisänen ym. 2015, 194.)

Klorofylli on väriaine, jota kasvit käyttävät auringonvalon energian sitomiseen, lisäksi klorofylli on välttämätöntä kasvien yhteyttämiselle (Hintsanen 2020a). Lehtivihreän kromoforina on porfyriini, nelikulmainen rengasrakenne, joka rakentuu hiilestä ja typestä. Kromoforit määritellään siten, että ne ovat molekyylin rakenteosia, jotka siirtävät absorptiota pidemmälle aallonpituudelle (Jaarinen & Niiranen 2008, 54). Punalevät esimerkiksi saavat värinsä porfyriinistä. Mikäli porfyriininelikulmion keskelle liittyy yksi magnesiumiatomi, pystyy yhdiste absorboimaan sinistä ja punaista valoa tehokkaasti. Näin tulee vihreää lehtivihreää. (Sundström & Sevelius 2003, 36.)

Klorofylli imee voimakkaasti itseensä sinisen ja punaisen valon aallonpituuksia, kun taas vihreä valo heijastuu siitä pois. Siksi kasvimaailma näyttää vihreältä. Lehtivihreän lisäksi lehdissä on paljon muitakin pigmenttejä, kuten karotenoideja, joiden avulla kasvi voi hyödyntää auringonvalon spektriä laajemminkin. (Mulo 2016.) Tekstiiliväriaineiksi klorofyllit eivät sovellu, koska ne hajoavat helposti valon ja lämmön vaikutuksesta (Räisänen ym. 2015, 195).

Voimakkaita punaisia värejä saadaan väriaineilla, joiden kromoforina on **antrakinoni**. Ne kiinnittyvät helposti lankaan, jolloin välttämättä ei tarvita puretusta. Antrakinoneilla saadaan kirkkaita ja hyvin kestäviä värejä kellanpunaisesta punaiseen. Antrakinonivärejä saadaan esimerkiksi sienistä, jäkälistä ja matarakasveista. (Sundström & Sevelius 2003, 45–46.)

Vesiliukoiset **flavonoidit** tuottavat värejä keltaisesta ja oranssista siniseen. Flavonoidit toimivat kasveissa antioksidanteina ja suojaavat niitä muun muassa UV-säteilyltä. Flavonoidipitoisuuksien määrän on todettu olevan korkeimmillaan sekä kasvukauden alussa että kukinnan päätyttyä kasvukauden lopussa. Lehdissä on yli seitsemän kertaa enemmän flavonoideja kuin kasvivarsissa. Suurissa värjäysprosesseissa siis koko kasvin hyödyntäminen on tarkoituksenmukaisempaa kuin pelkkien lehtien kerääminen. (Räisänen ym. 2015, 195–196.)

Karotenoidit tuottavat väriä kapealla aallonpituusalueella. Värit vaihtelevat vaaleankeltaisesta syvänpunaiseen. Karotenoidit voidaan jakaa vesiliukoisiin ksantofylleihin ja rasvaliukoisiin karoteeneihin, esimerkiksi porkkanan β -karoteeni. Rasvaliukoiset yhdisteet eivät sovellu kasvivärjäykseen, koska ne liukenevat huonosti veteen ja eivät kiinnity tekstiilikuituihin. Tunnetuimpia karotenoideja sisältäviä värinlähteitä ovat sahramin eli krookuksen kukan luotit. (Räisänen 2015, 197.)

Antosyaaneja voidaan käyttää värjäyksissä, mutta niiden värinkesto ei ole hyvä. Antosyaanit ovat sinipunaisia, sinisiä ja punaisia kasviväriaineita kasvien solunesteessä. Yleisesti niitä on kukissa. Antosyaanit ovat happo-emäsindikaattoreita eli ne muuttuvat happamassa kirkkaanpunaisiksi ja emäksessä vihreiksi, violeteiksi tai sinisiksi. Vahvassa emäksessä antosyaanit muuttuvat keltaiseksi. Syksyisin lehtipuiden muuttuminen punaiseksi johtuu lehtien antosyaanimuodostuksesta. Antosyaaneja käytetään yleisesti elintarviketeollisuudessa ja elintarviketähtien koodinumero on E163. (Hintsanen 2018.)

2.2 Värjättävät tekstiilimateriaalit

Värjättäviä materiaaleja voi olla peräisin kasveista, eläimistä tai ne ovat kemianteollisuuden tuotteita. Kemianteollisuudesta peräisin olevia kuituja kutsutaan synteettisiksi kuduiksi. Synteettisillä kuduilla tarkoitetaan myös tekokuituja tai muovikuituja. Luonnonkuidut värjäytyvät kasviväreillä paremmin kuin synteettiset kuitut. Silkki kuten villakin proteiinipitoisena kuituna värjäytyy parhaiten luonnonväriaineilla. (Räisänen ym. 2015, 130; Tetri & Tuomi 2016, 32.)

Villa ottaa vastaan hyvin värejä, koska se sisältää useita aminohappoja, joissa on erilaisia väriä sitovia ryhmiä. Värjäysmateriaalina villa on monipuolinen, mutta se vanuttuu herkästi nopeissa lämpötilojen vaihteluissa, emäksisessä liemessä ja mekaanisessa muokkauksessa. Vahvat ja kuumat emäkset tuhoavat villakuidut. Villa kestää parhaiten, jos liemen pH-arvo on 4,5–7. Lisäksi villa on materiaalina varsin paloturvallinen. (Räisänen ym. 2015, 130; Tetri & Tuomi 2016, 32–34).

Villa on antimikrobinen, itsestään puhdistuva materiaali, sillä villan luontainen rasva eli lanoliini hylkii likaa ja vettä. Villaa ei saa pestä liian usein, jotta villan luonnollinen rasvaisuus ja antimikrobisuus eivät kärsi pesuista. Villan puhdistamisessa pahan hajun poistamiseen riittää tuulettaminen ja kosteuden poistamiseen kuivattaminen. (Blom 2018; Merino 2020.)

Luonnonkuituista selluloosa- eli kasvikuittuihin kuuluvat muun muassa pellava, puuvilla, hamppu ja juutti. Selluloosakuituihin luetaan myös selluloosamuuntokuidut. Ne on luonnon selluloosasta valmistettuja kuituja, kuten viskoosi, bambuviskoosi, modaali ja lyocell. Selluloosakuidun ominaisuuksiensa vuoksi pelloon, puuvillaan ja viskoosiin luonnonvärit eivät tartu yhtä voimakkaasti. Selluloosamateriaaleille tarvitaan pidempi värjäysaika ja mahdollisesti useita perättäisiä värjäyskäsittelyitä. Selluloosakuidut eivät kestä hyvin happoja ja voimakkaat hapot hajottavat koko kuidun. Selluloosakuituja värjätessä värjäysliemen pitää olla emäksinen, sillä se parantaa värin kiinnittymistä. Selluloosakuidut imevät hyvin kosteutta, minkä ansiosta väri- ja apuaineet imeytyvät hyvin kuituun. Paloturvallisuuden kannalta selluloosakuidut ovat erittäin huonoja, sillä ne palavat herkästi. (Räisänen ym. 2015, 130; Tetri & Tuomi 2016, 32.)

2.3 Tekstiilimateriaalien pesu

Langat tai tekstiilikankaat on pestävä huolellisesti ennen värjäystä, esimerkiksi itse kehrätty villalanka on yleensä likainen, rasvainen ja haisee selvästi villarasvalle. Villarasva ja muut epäpuhtaudet estävät väriaineiden kiinnittymistä kuituun. (Räisänen ym. 2015, 130.) Esimerkiksi kehräämöitten käsittelyn jäljiltä villalankaan jäänyt kehruuöljy on myös pestävä pois (Tetri & Tuomi 2013, 51). Ulkomaille

monet villan suurpesulat saavat huomattavia tuloja lanoliinin markkinoinnista irrottaessaan lanoliinin pois villasta niin tarkkaan kuin mahdollista. Tästä syystä kehräämöissä joudutaan käyttämään kehruuöljyä, jotta villakuidut saadaan tarttumaan paremmin toisiinsa ja vetolujuudeltaan sitkeiksi. (Puntila 2010, 11.)

Suoraan kehräämöltä ostetut likaiset ja hyvin rasvaiset villalankavyyhdyt voidaan pestä emäksisessä soodavedessä tai astianpesuainevedessä epäpuhtauksien poistamiseksi. Mikäli värjätään kaupan valmiita lankaeriä, pesua ei tarvita erikseen, sillä ne ovat valmiiksi puhdistettua villaa. Valkaisemattomalle puuvillalle tehty soodakäsittely irrottaa sen luonnollisia epäpuhtauksia ja kankaaseen lisättyjä käsittelyaineita. (Räisänen ym. 2015,130; Tetri & Tuomi 2016, 36.) Sooda- ja pesuainepesujen jälkeen lankavyyhdyt tai tekstiilit huuhdellaan huolellisesti ja jätetään kuivumaan.

2.4 Puretusaineet

Lankojen puretuksella syvennetään kasveista saatavia värisävyjä ja parannetaan värisävyjen kiinnittymistä lankoihin. Pääsääntöisesti luonnonväriaineet eivät kiinnity riittävän pysyvästi tekstiilikuituihin, joten tekstiilimateriaali täytyy esikäsitellä puretusaineella. Puretusaineen tarkoitus on kiinnittyä tekstiilikuituun ja väriaineeseen niin, että väriaine pysyy kuidussa puretusaineen välityksellä. Puretusaineiden käyttö lisää värjätyn materiaalin värinkestoja. (Räisänen ym. 2015, 133.) Esi-puretettuja lankoja voi säilyttää jopa vuoden (Riihivilla 2020).

Puretusaineen määrä tulee mitoittaa niin, että voidaan olettaa lähes kaiken aineen menevän kuituun. Näin värjäysliemeen ja sitä kautta ympäristöön kulkeutuisi mahdollisimman vähän metallisuoloja. Metallisuolojen käyttöä on vähennetty niiden ympäristölle ja terveydelle aiheuttamien haittavaikutusten vuoksi. Kasvi-värjäyksen perusohjeen puretusainemäärät perustuvatkin tutkimuksiin värjäysprosessissa käytettävistä optimaalisista kemikaalimääristä. (Räisänen ym. 2015, 133.)

2.4.1 Metallisuolat

Puretusaineina käytetään metallisuoloja ja yleisemmin käytetään alunaa eli kaliumalumiinisulfaattia ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$). Muita metallisuoloja ovat rautasulfaatti eli rautavihtrilli (FeSO_4) ja kuparisulfaatti eli kuparivihtrilli (CuSO_4). Aluna kirkastaa väriä, kupari vie sävyä vihreään päin, rauta taas tummentaa ja haurastuttaa lankaa suurina määrinä. Raudalle suositellaankin vain kymmenen minuutin jälkipuretusta värjäyksen loppuvaiheessa. (Räisänen ym. 2015, 134.) Alunalla on myös antimikrobinen vaikutus eli se tappaa bakteereita. Alunaa esimerkiksi käytetään akvaarioiden puhdistuksessa ja kivedeoranteissa. (Tetri & Tuomi 2008, 26.) Hintsasen Päivin mukaan aluna on luonnonvärjäyksessä ainoa suositeltava puretusaine (Hintsanen 2020b).

Alunan rinnalla käytetään usein viinikiveä. Viinikivi eli kaliumbitartraatti ($\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) toimii elektrolyytinä väriliemessä auttaen väriaineita kiinnittymään kuituun tasaisesti. Viinikivi myös kirkastaa punaisia ja keltaisia värejä. (Tetri & Tuomi 2008, 26.) Viinikivi lisää väri- ja puretusaineiden liukoisuutta veteen ja estää näin niiden saostumista värjäysastian pohjalle (Räisänen ym. 2015, 138).

2.4.2 Luonnonpuretusaineet

Osalla luonnonyhdisteillä on kyky toimia puretusaineena eli sitoutua niin väriaineeseen kuin kuituunkin. Luonnonpuretusaineiden kyky sitoa väriaineita perustuu joko kasvissa olevan orgaaniseen yhdisteeseen tai siihen, että kasvi kerää itseensä metallia, kuten alumiinia, kalsiumia tai magnesiumia, jotka toimivat puretusaineina. Luonnonpuretusaineina voidaan käyttää esimerkiksi raparperia, jossa purettavana aineena toimii oksaalihappo. (Räisänen ym. 2015, 245).

Luonnonpuretusaineina voidaan käyttää esimerkiksi puiden kuoria, jotka sisältävät tanniineja. Tanniinilla saadaan lopputuloksena usein ruskehtavampia värisävyjä. Tanniinilla purettujen materiaalien värinkestojen on todettu olevan samaa luokkaa kuin alunalla purettujen. Tanniinilla on myös todettu olevan antimikrobisia ominaisuuksia sekä liuosmuodossa että tekstiilissä. (Räisänen ym. 2015, 137, 245.)

2.5 Erilaiset puretustavat

Tekstiilimateriaalien purettaminen voidaan tehdä kolmella eri tavalla: esipuretuksella, puretuksella värjäyksen aikana ja jälkipuretuksella. Esipurettamisessa värjättävä materiaali käsitellään puretusaineelle ennen värjäystä. Puretusaine esimerkiksi aluna liuotetaan veteen, jonne lisätään kasteltu materiaali. Lämpötila nostetaan 80 °C:een yhden tunnin ajaksi, jonka jälkeen tekstiilimateriaali voidaan kuivata tai nostaa suoraan värjäysliemeen. Esipuretuksen etuna on se, että erillisellä puretusvaiheella saadaan puretusaine liittymään suoraan kuituun. Esipuretettu materiaali mahdollisesti saavuttaa suuremmalla todennäköisyydellä hieinan kylläisemmän eli vahvemman värin ja paremman värinkeston. (Räisänen ym. 2015, 134.)

Värjätessä purettaminen on kaikkein taloudellisinta, koska silloin puretukselle ei tarvita erillistä prosessia. Tällöin säästetään aikaa, energiaa ja vettä. Värjätessä purettaminen tapahtuu siten, että puretusaine liotetaan väriliemeen, minkä jälkeen sinne lisätään kasteltu tekstiilimateriaali. Materiaalia värjätään puretusaine-värjäysliemessä yksi tunti 80 °C:ssa. Tämän menetelmän haittana voi olla, että puretusainetta saostuu väriaineen tai värjäysliemessä olevien muiden yhdisteiden kanssa värjäysastian pohjalle. (Räisänen ym. 2015, 134.)

Jälkipuretus tehdään lisäämällä puretusaine värjäyksen lopussa väriliemeen ja jatkamalla värjäystä puretusaineen kanssa noin kymmenen minuuttia. Jälkipuretusta käytetään yleensä rautasulfaatille sen kuitua heikentävän ominaisuuden vuoksi. Jälkipuretuksiin turvaudutaan myös silloin, kun materiaalille halutaan liukuvärjäyssävytystä. (Räisänen ym. 2015, 134.)

2.6 Väriliuosten valmistus

Lähes kaikessa värjäyksessä aloitetaan ensin värikasvin esikäsitteilyllä. Värikasvi hajotetaan mahdollisimman pieneksi joko leikkaamalla tai muuten murskaamalla, jotta väriaine irtoaa paremmin. (Tetri Design 2020.) Tuoretta kasvimassaa tarvitaan noin kymmenkertainen määrä värjättävään materiaaliin verrattuna.

Kasvivärjäyksessä esimerkiksi nokkosia tarvitaan yksi kilo sata grammaa värjättävää tekstiilimateriaalia kohden. Kuivattua kasvi- tai sienimateriaalia tarvitaan yhtä paljon kuin on värjättävää tekstiilimateriaalia suhteessa 1:1, esimerkiksi kuivattuja pietaryrtin kukintoja sata grammaa ja värjättävää tekstiilimateriaalia sata grammaa. (Räisänen ym. 2015, 131.)

Punnitusten jälkeen kasvit silputaan. Kasviaineksen silppuamisella saadaan solurakenteet rikki ja väriaineet pääsevät vapautumaan veteen. Silputut kasvit laitetaan värjäysastiaan, esimerkiksi ruostumattomaan teräskattilaan ja vettä lisätään, kunnes kasvimassa peittyy kokonaan. Kasvimassaa liotetaan teräskattilassa ensin vuorokausi vedessä, mikäli kasvimateriaali on kovempaa. Puunkaarnat tai varvut vaativat yhden liotusvuorokauden. Pehmeärakenteisia kasveja ei tarvitse liottaa ennen väriliemen valmistusta. (Räisänen ym. 2015, 131.)

Väriaineiden irrottamiseksi riittää pilkkomisen lisäksi tunnin keittoaika liotusliemessään. Kovemmat aineet kuten varvut vaativat pidemmän keittoajan 1–3 tuntia, jotta väri irtoaa kasveista. Keittämisen jälkeen väriliemi joko siivilöidään tai kauhotaan ylimääräisistä kasveista. (Räisänen ym. 2015, 131.)

2.7 Lankamateriaalien kasvivärjäys

Väriliemi jäähdytetään ennen värjäämistä. Väriliemen jäähtyminen tapahtuu samalla, kun liemeen lisätään vettä siten, että liemen suhde värjättävään materiaaliin on noin 2–50:1 eli 2–5 litraa värilientä 100 grammaa tekstiilimateriaalia kohden. Väriliemen jäähdytyä noin 40 °C:een lasketaan hyvin kostutetut langat väriliemikattilaan. Lämpötilaa nostetaan hitaasti 80 °C:een. Jos lankoja ei ole esipuretettu, lisätään lämpimään vesitilkkaseen liuotetut puretusaineet veden lämpötilan ollessa 60 °C astetta. Jokainen puretusaine lisätään erikseen ja sekoitetaan huolellisesti väriliemeen. Langat nostetaan pois väriliemestä puretusaineen lisäyksen ajaksi. (Räisänen ym. 2015, 138.)

Lankoja pidetään liemessä noin tunnin ajan välillä hellävaraisesti sekoittaen. Sekoittaminen on tärkeää tasaisen värjäystuloksen saamiseksi. Liemen on koko

värjäyksen ajan oltava 80 °C -asteista, mutta se ei saa päästä kiehumään. Värjäyksen jälkeen tekstiilimateriaalit huuhdotaan asteittain haalenevassa vedessä, kunnes väriä ei enää irtoa kuidusta. Tekstiilimateriaalit tulee kuivattaa ilmavasti ja varjoisassa paikassa. Suorassa auringonvalossa kosteat luonnonväriaineet haalistuvat erittäin helposti. (Räisänen ym. 2015, 139.)

2.8 Tutkimuksessa käytettävät luonnonkasvit

Nokkonen (*Urtica dioica*) on luonnonvärjäyksissä yleisesti käytetty kasvi, vaikka sen värinkesto ei ole hyvä pelkällä alunapuretuksella. Nokkosen sisältämässä klorofyllissä ei ole happamia atomiryhmiä, joten se ei sitoudu villakuituun. (Winebridge 2020b.) Nokkosesta saadaan sammalvihreää väriä, vaikka yleensä vihreät kasvit antavat keltaista värisävyä. Nokkosen harmaaseen vivahtavan vihreän sävyn vuoksi nokkosesta saatava vihreä väri myös harmaantuu helposti. Nokkosta käytetään värjäyksen lisäksi kuitumateriaalina tekstiileihin ja paperiin. (Tetri & Tuomi 2008, 14; Tetri Design 2020.) Seuraavassa kuviossa 1. nokkonen on kuvattuna kesällä 2020.



Kuvio 1. Nokkosia aamuauringossa

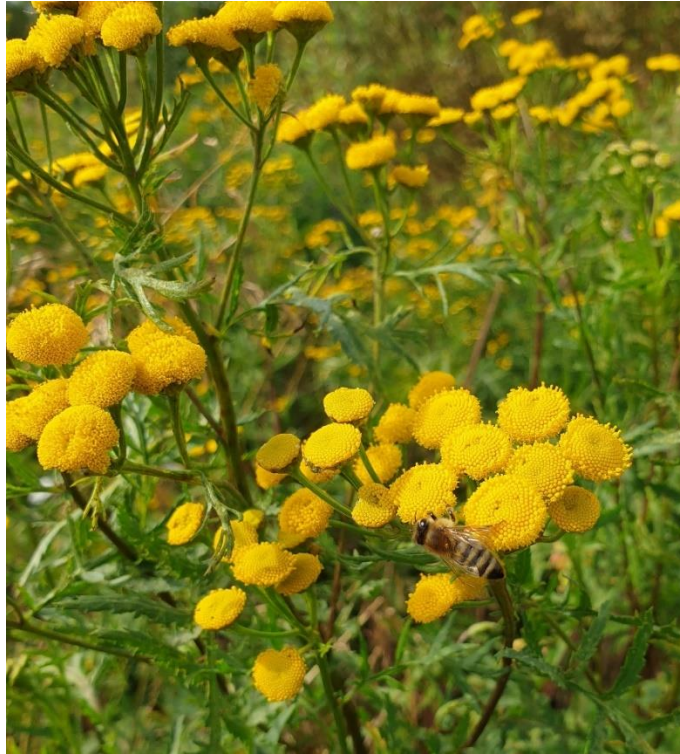
Suopursu (*Ledum palustre*) on ollut perinteisesti tärkeä värikasvi. Siitä saadaan keltaista, vihreää tai ruskeaa väriä eri vivahteina riippuen kasvin keräämisajan kohdasta ja värjäyksessä käytetyistä puresaineista. (Winebridge 2020a.) Suopursun tunnistaa voimakkaan aromaattisesta ominaisuustaan, joka johtuu sen sekundaariyhdisteistä, ledolista, palustrolista ja muista terpeniyyhdisteistä. Suopursu sisältää eteerisen öljyn komponenttien lisäksi monia fenolisia yhdisteitä, flavonoideja kuten kversetiinejä ja sen johdannaisia. Suopursulla on todettu olevan antioksidanttisia ja antimikrobisia ominaisuuksia. (Laurila 2018, 14–149, 151.)

Tuoksunsa vuoksi suopursu aiheuttaa voimakasta päänsärkyä ja kukat, lehdet sekä varpujen kuori sisältävät myrkyllisiä terpeenejä, jotka vaikuttavat keskushermostoon aiheuttaen pahoinvointia (Salo 2015, 181). Värjätessä tuleekin huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta. Puuvartinen suopursu sisältää tanniineja eli parkkiaineita ja suopursua käytetään esimerkiksi yhdessä pajun kanssa poronahkojen eli sisnojen parkitsemisessa (Saamelaisalueen koulutuskeskus & Jääskö 2008, 26). Suopursuvärjäyksissä kasvi myös itsessään toimii luonnonpuresaineena (Riihivilla 2009). Seuraavassa kuviossa 2. suopursu on kuvattuna kesällä 2020.



Kuvio 2. Suopursut kukintovaiheessa

Pietaryrtin (*Tanacetum vulgare*) kuivatuista kukista saadaan voimakas, lämpimän keltainen väri ja koko kasvista vihertävän keltainen väri. Vihreää väriä saadaan pelkästään lehdistä ja varsista. Kuivattuja pietaryrtin kukkia käytetään suhteessa 1:1 ja pienemmälläkin määrällä saadaan vaaleankeltaisia sävyjä. Kuivatuilla pietaryrttikimpuilla saadaan pidettyä tuholaisia pois villavarastoista. (Tetri & Tuomi 2008, 15.) Kuivattuna pietaryrtti karkottaa koita, kärpäsiä, sääskiä ja muurahaisia sisätiloista (LuontoPortti 2020). Myrkytystietokeskuksen mukaan pietaryrtti on myrkyllinen kasvi, mutta rohdoskäytössä pienen määrän syöminen harvoin aiheuttaa oireita (HUS 2020). Myös pietaryrtin ominaisuuksunsa vuoksi sisätiloissa värjätessä tulee huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta. Seuraavassa kuviossa 3. pietaryrtti on kuvattuna kesällä 2020.



Kuvio 3. Pietaryrttejä joutomaalla

3 VÄRIN MÄÄRITYS TEKSTIILIMATERIAALISTA

3.1 Luonnonvärien voimakkuuteen vaikuttavat tekijät

Luonnonväriaineilla värjätessä pyritään saamaan väriliemeen mahdollisimman suuri värisaanto. Väriaineet vapautetaan rikkomalla kasvin solurakenteita mahdollisimman tehokkaasti esimerkiksi saksilla, huhmarella ja jopa sauvasekoittimella. Oksasilppurilla leikkaaminen onnistuu niin tuoreille kuin kuivatuille kasveille. (Räisänen ym. 2015, 205.)

Värikasvien keittäminen tehostaa väriaineiden irtoamista, sillä korkea lämpötila lisää väriaineiden liukoisuutta. Irtoavan värin voimakkuus on suoraan verrannollinen mitä suurempi on kyseisen väriaineen vesiliukoisuus. Lisäksi on huomattu, että kuivatut kasvit värjäävät voimakkaammin kuin tuoreet kasvit. Väripigmenttien saantoa voidaan tehostaa myös uuttamalla kasveja etanolissa, koska väripigmentit liukenevat etanoliin paremmin kuin veteen. Värisaantoa voidaan lisätä myös nostamalla liuottimen, esimerkiksi veden pH:ta emäksiseksi ammoniakilla tai natriumhydroksidiliuoksella (NaOH). Veden pH:n säätämisessä täytyy muistaa, että liuoksen liian korkea emäksisyys vaurioittaa villaa. Lisäksi myös liian kuuma väriliemi on villalle vahingollista. (Räisänen ym. 2015, 205–206.)

Luonnonvärien voimakkuuteen vaikuttavat myös kuidun ja tekstiilimateriaalien rakenne. Luonnonväriaineilla parhaiten värjäytyvät proteiinipohjaiset kuidut, villa ja silkki. Lisäksi villa- ja silkkilangat ovat kuidun morfologisen rakenteensa vuoksi löyhäkierteisiä ja -sidoksia eli huokoisia. Selluloosakuidut, kuten pellava ja puuvilla värjäytyvät heikommin, sillä niillä on tiukkakierteinen ja tiivissidoksinen lanka. Selluloosakuidut värjäytyvät vaaleamman sävyisiksi kuin proteiinikuidut. Vahvemman värin saamiseksi saatetaan tarvita pidempiä värjäysaikoja tai useampia värjäyskertoja peräkkäin. (Räisänen ym. 2015, 206.)

3.2 Värin mittaaminen

Aineen kyky absorboida ultraviolettivalon ja näkyvän valon alueen säteilyä on peräisin kromoforeista. Värjättyjä tekstiilejä voidaan mitata spektrometrillä. Spekt-

rometrillä mitataan näytteeseen tulevan ja sen läpi kulkeneen valon intensiteettien suhde aallonpituuden funktiona. Seuraavassa taulukossa 1. nähdään, miten ihmissilmä havainnoi värin ja vastaavasti spektrometrillä mitattu absorboituneen valon määrä eri aallonpituuksissa (noin 400–700 nm) näkyy vastavärinä. (Jaarinen & Niiranen 2008, 54–55.)

Taulukko 1. Havaittu väri ja absorboitunut väri (Jaarinen & Niiranen 2008, 54–55)

Näytteen väri	Absorboituneen valon	
	aallonpituus	väri
kellanhvihreä	380–435 nm	violetti
keltainen	435–480 nm	sininen
oranssi	480–490 nm	vihreänsininen
punainen	490–500 nm	sinivihreä
purppura	500–560 nm	vihreä
violetti	560–580 nm	kellanhvihreä
sininen	580–595 nm	keltainen
vihreänsininen	595–650 nm	oranssi
sinivihreä	650–780 nm	punainen

Valon aallonpituusjakauma alkaa violetista (n. 400 nm) ja päättyy punaiseen (n. 700 nm). Värin mittaamiseen on olemassa hyvin tarkkoja laitteita, jotka mittaavat pinnan värillisyyden aallonpituusjakauman perusteella. Kansainvälinen mittausjärjestelmä CIELAB käyttää mittaamisessa hyväkseen värin eri aallonpituuksia. CIELAB-mittausjärjestelmä perustuu väriavaruuteen, jossa punainen/vihreä ja keltainen/sininen sekä valoisuus/tummuus ovat värin tunnistuksen kannalta merkittäviä muuttujia. (Tikkurila 2020.) CIELAB-mittausjärjestelmä ei kerro miltä väri näyttää, vaan ainoastaan kuinka paljon ja millä tavalla se eroaa toisesta mitatusta väriärsykkeestä (Arnkil 2020, 14).

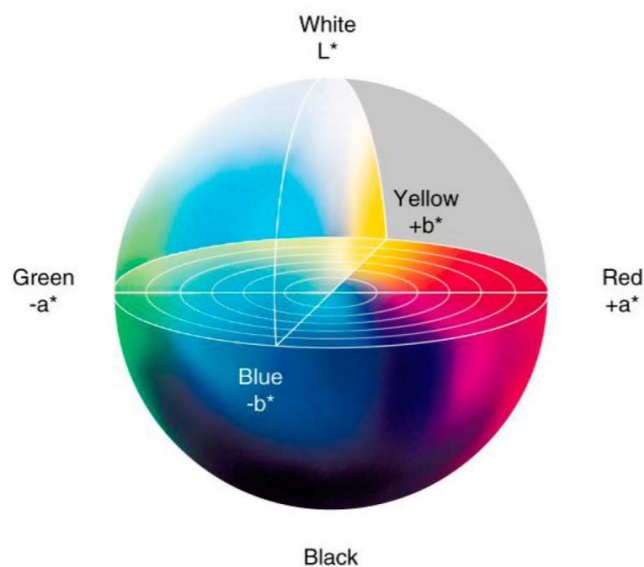
Suomessa värimittauksen edelläkävijää pidetään paperiteollisuutta. Ensimmäiset paperin vaaleusmittarit otettiin käyttöön 1950-luvulla ja silloin mitattiin paperinvaaleutta. Myöhemmin maali- ja tekstiiliteollisuus ottivat spektrofotometrit eli värimittarit käyttöön. Mittareiden tekniikka parani 1970-luvulla ja värimittareita alkoi

tulla käyttöön muun muassa elintarvike- ja kemianteollisuuteen. (Mitaten Finland 2015.)

3.3 CIELAB-mittausjärjestelmä

CIELAB on CIE:N (The International Commission on Illumination) vuonna 1976 julkaisema väriavaruus, jota kuvataan kolmiulotteisena symmetrisenä pallon muotoisena avaruutena. Kolmiulotteisen väripallon keskipisteessä kaikki väri on harmaata. Pallon ulkokehälle mentäessä värikylläisyys voimistuu ja värit muuttuvat puhtaammiksi ja kirkkaammiksi. (Arnkil 2020, 30.)

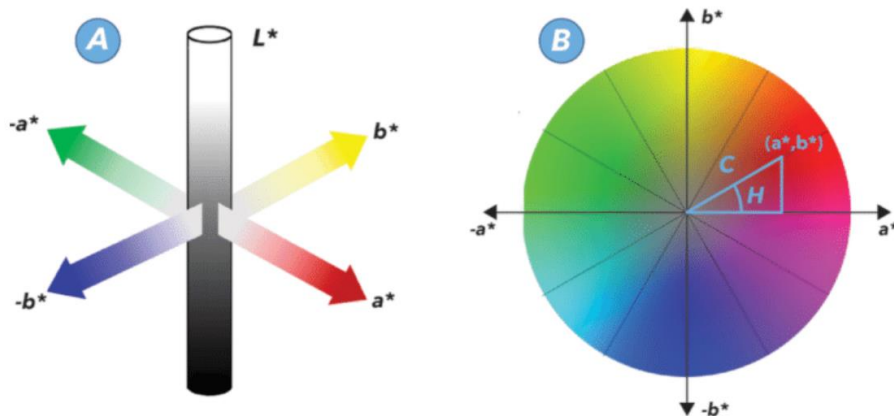
CIELAB-mittausjärjestelmässä parametreinä käytetään kirjaimia $L^*a^*b^*$. L^* (luminance) ilmaisee värin valoisuutta, a^* värin kromaattisuutta (värikylläisyys) akselilla vihreä - punainen ja b^* värin kromaattisuutta (värikylläisyys) akselilla sininen - keltainen. Värimittaustuloksissa suuri L^* -arvo tarkoittaa vaaleaa ja pieni arvo tummaa näytettä. Suuri a^* -arvo tarkoittaa punaisempaa ja pieni vihreämpää näytettä. Suuri b^* -arvo tarkoittaa keltaisempaa ja pieni sinisempää näytettä. (Ylhäinen 2012, 5; Konica Minolta 2020b) Seuraavassa kuviossa 4. on CIELAB-mittausjärjestelmän $L^*a^*b^*$ -arvot havainnollistettuna kolmiulotteisen väriavaruusmallin avulla. (Arnkil 2020, 30.)



Kuvio 4. CIELAB-väriavaruusmalli (Arnkil 2020, 30)

CIELAB-mittausjärjestelmä voidaan kuvata toisellakin tavalla (Kuvio 5.) Samassa $L^*a^*b^*$ -väriavaruudessa ilmaistavat väriarvot ovat sävy (hue-kulma h) ja kylläisyys (Chroma C^*). Näillä arvoilla hue-kulma ilmaisee värisävyn ja Chroma värin kylläisyyden tai voimakkuuden. (Mitaten Finland 2016.) Esimerkiksi kuvassa A. yksinkertaistettuna näkyy kolmiulotteinen CIELAB-väriavaruus, jossa L^* -akseli tarkoittaa värin vaaleutta. Kuvassa B. nähdään kaksiulotteinen CIELAB a^*b^* -taso, jossa kroma (C) eli värin kylläisyys muuttuu voimakkaammaksi kehän ulkoreunaa kohti ja kulma (H) kuvaa värin sävyä. (Israr 2020.)

Värin mittaamisella poistetaan värin kuvaamisen epämääräisyys. Samalla voidaan laskea eri mittausten välinen väriero. Värin mittaamisesta saaduista numeroarvoista nähdään värierojen suunnat eli onko kyse vaaleuden muutoksesta värin pysyessä samana vai onko värisävyssä eroa. (Mitaten Finland 2016.)



Kuvio 5. CIELAB-mittausjärjestelmä (Israr 2020)

4 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT KASVIVÄRJÄYSMENETELMÄT

4.1 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on muun muassa löytää Lapin luonnosta tekstiiliteollisuudessa käytetyille haitallisille ja vaarallisille kemikaaleille korvaavia yhdisteitä. Kesällä 2019 hankkeeseen liittyvässä tutkimuksessa testattiin lankojen värjäytyvyyttä matalissa lämpötiloissa ultraäänitehostuksella. Lisäksi testattiin, siirtyvätkö kasvien bioaktiivisten yhdisteiden ominaisuudet kasvivärjäyskokeiluilla lankoihin. Kasvivärjäykseen tutkittaviksi kasvimateriaaleiksi valittiin nokkonen, suopursu ja pietaryrtti. Värjättäviksi langoiksi valittiin rohdinpellava-, karstavilla- ja puuvillalanka.

Hankkeen kannalta kiinnostaviksi kasveiksi valikoituivat nokkonen, suopursu ja pietaryrtti, sillä ne sisältävät bioaktiivisia kasviyhdisteitä. Suopursulla ja pietaryrtillä on löydetty antimikrobisia, esimerkiksi hometta estäviä ja UV-suojaominaisuuksia sekä hyönteiskarkoteominaisuuksia. (Pålsson, Jaenson, Bäckström & Borg-Karlson 2008; Khan, Khan & Sukhcharn 2016; Laurila 2018, 14–149, 151.) Luonnonkuiduista kiinnostavimmiksi tekstiilimateriaaleiksi valikoituivat villa ja pellava, sillä ne ovat halpoja, kevyitä ja ympäristöystävällisiä. Villa itsessään on antimikrobinen luonnonkuitu ja se sisältää väriä sitovia aminohapporyhmiä eli värjäytyy helposti. Puuvillaa käytetään vertailukuituna ja jacquard -kudonnassa yleisesti loimilankana.

Seuraavissa luvuissa kerrotaan lyhyesti kesän 2019 kasvivärjäyksistä. Kasvivärjäyksissä kasvien esikäsittelyt poikkesivat normaaliohjeista siten, että kasveja ei keitetty etukäteen värin irrottamiseksi. Lankanäytteiden esikäsittelyt toteutettiin samalla tavoin kuin normaalistikin kasvivärjäyksissä. Itse värjäykset toteutettiin laboratoriomaisissa olosuhteissa eli huoneenlämmössä ja ultraäänitehostuksella. Tutkimushankkeessa testattiin kylmävärjäystekniikoita (seisotus ja uutto), koska testattavien kasvien bioaktiiviset yhdisteet voivat hajota korkeissa lämpötiloissa. Samalla haluttiin käyttää vähemmän energiaa ja aikaa vievää tekniikoita, joten kasvivärjäysten tehosteena käytettiin ultraääntä.

4.2 Lankojen keittopesu

Kasvivärjäyksissä tutkittavien lankanäytteiden huolellinen esikäsitteily oli yksi tärkeä vaihe laadukkaana laboratorioprosessin onnistumisessa. Langoissa saattaa olla villarasvoja tai kemikaaleja, jotka voivat häiritä puretus- ja kasvivärjäysaineiden kiinnittymistä, joten 2019 kesänä esikäsitteilynä tutkittaville langoille tehtiin ensin keittopesu sooda-ecover- pesuaineliuoksissa. Vesi lämmitettiin ensin 50 °C asteeseen, seuraavaksi lisättiin pesuaineet lanka/villamateriaalimäärän mukaan (sooda + ecover zero). Lisäyksen jälkeen pesuaineet sekoitettiin huolellisesti veteen ja sekoituksen jälkeen lisättiin esikostutetut langat/villamateriaali lämpimään pesuaineveteen.

Keittolevyllä pesuaineveden lämpötila nostettiin 85–95 °C asteeseen vesilämpömittarilla seuraten. Saavutetun lämpötilan jälkeen lankoja keitettiin 50 minuuttia pesuveden lämpötilaa edelleenkin seuraten. Pesuveden lämpötila ei saanut ylittää 95 °C astetta. Keittämisen jälkeen langoille/villalle tehtiin huolelliset huuhtelut juoksevalla vedellä. Huuhteluiden päätteeksi jokainen lankavyyhti puristeltiin varovaisesti ylimääräisestä vedestä ennen kuin lankavyyhdet/villamateriaali nostettiin kuivaustelineille kuivumaan.

4.3 Värjättävien lankojen esipuretus

Pestyt langat esipuretettiin tanniini- ja alunaviinikivi-liuoksissa. Lankojen puretusella syvennetään kasveista saatavia värisävyjä ja parannetaan värisävyjen kiinnittymistä lankoihin. Huolellisten vesihuuhteluiden ja kuivaamisten jälkeen langat/villamateriaali olivat valmiita kasvivärjäyksiin. Esipuretettuja lankoja/villamateriaalia voi säilyttää jopa vuoden.

Värjäyskokeiluja varten hyvin kuivuneista lankavyyhdeistä tehtiin pieniä kymmen gramman lankanippuja. Niputusten jälkeen testattavat langat jaettiin kahteen eri esipuretuskesittelyyn: tanniiniliuokseen (Lukessa uutettu männynkuoriuute) ja aluna-viinikiviliuokseen. Tanniiniliuosta (3–4 l) käytettiin sellaisenaan ja aluna-viinikiviliuos tehtiin suhteessa 75 grammaa alunajauhetta ja 37,5 grammaa viiniki-

vijauhetta viiteen litraa vettä. Aluna + viinikivijauhe –dekanterilasiin (1000 ml) lisättiin 900 millilitraa lähes kiehuvaa ionivapaata vettä, sekoitettiin hyvin lasisauvalla ja sen jälkeen hyvin liuennut aluna-viinikiviliuos kaadettiin kattilaan, jossa oli 4,1 litraa ionivapaata vettä, huolellisesti sekoittaen.

Seuraavaksi esipuretettavat näytelankaniput, jokaista kolmea eri lankalaatua sata grammaa eli 10 kappaletta lankanippuja x 3 eli yhteensä 30 kappaletta siirrettiin kahteen eri kattilaan. Kattilat nostettiin keittolevyille ja odotettiin lämpötilan nousua 80°C asteeseen. Saavutetun lämpötilan jälkeen näytelankanippuja keitettiin 60 minuuttia lämpötilan pysyessä sovitussa rajoissa (+80 - +90 °C) vesilämpömittarilla seuraten. Tunnin keittämisen jälkeen kattilat nostettiin syrjään jäähtymään ja lankaniput jätettiin vielä vuorokaudeksi kattiloihin puretusaineiden tehon voimistamiseksi. Seuraavana päivänä esipuretetut näytelankaniput puristettiin ylimääräisestä nesteestä ja lankaniput pujotettiin keppien varaan kuivumaan ilmavasti.

4.4 Kasviliuosten valmistus

Kasviliuokset valmistettiin siten, että silputtua tai pieniksi pätkiksi leikattua kasvia liotettiin vesikattilassa vuorokausi huoneenlämmössä. Jokainen eri kasviliuos (nokkonen, suopursu ja pietaryrtti) valmisteltiin samalla tavoin. Tuorepainoltaan yksi kilo pakastettua kasvia lyhyeksi leikattuna laitettiin teräskattilaan. Seuraavaksi kattilaan lisättiin vesihanasta vettä niin, että värikasvit peittyivät kunnolla veden alle. Kasvien annettiin olla vuorokausi kattilassa huoneenlämmössä. Seuraavana päivänä kattilan sisällöstä siivilöitiin Carita-liinan avulla kasviliuos erilliseen astiaan ja siivilöinnistä jäänyt kasvimassa otettiin talteen.

Suopursujen käsittelyiden työvaiheissa oli työturvallisuuden kannalta tärkeää huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta koneellista ilmanvaihtoa tehostamalla. Lisäksi suopursuliuoksen valmistuksessa tulevan voimakkaan katkun vähentämiseksi liuoskattila peitettiin eräpussilla. Lankanäytteiden vuorokauden huoneenlämpövärijäyksissä suopursudekanterilasit peitettiin parafilmillä.

4.5 Kasvivärjäykset ultraäänitehostuksella huoneenlämpötilassa

Värjäyskokeilut tehtiin kaikki samalla työohjeella eli ultraäänitehostuksella vesihauteella enintään 60 minuuttia. Veden lämpötila ei saanut nousta yli 40 °C asteen. Jokaisessa värjäysvaiheessa jokaisen värjättävän lankamateriaalin määrä oli sama eli kymmenen grammaa dekantterilasia kohden sekä liuos- ja kasvimassalisäykset olivat samat kaikissa työvaiheissa.

Ultraäänivärjäys 1:ssä eli liuosvärjäyksessä kasviliuoksen määrä oli 400 millilitraa / 600 millilitran dekantterilasi. Ultraäänivärjäys 2:ssä eli kasvimäski-etanoli -värjäyksessä jokaiseen 600 millilitran dekantterilasiin punnittiin 50 grammaa värjäysliuosten valmistuksessa syntynyttä kasvimassaa, kasvimassan tilavuuden ollessa silmämääräisesti noin 150–200 millilitraa. Seuraavaksi jokaiseen dekantterilasiin lisättiin 300 millilitraa absoluuttista etanolia (Etax Aa).

Referenssi 1:n lankanäytteitä ei kasvivärjätty ollenkaan. Jokaista esipuretettua kymmenen gramman lankanippua (3 kpl tanniini ja 3 kpl aluna-viinikivi) otettiin erilleen, huuhdeltiin kylmällä vedellä 20 minuuttia ja kuivattiin huoneenlämmössä. Referenssi 2:een eli purettamattomiin lankanäytteisiin tarvittavat liuos- ja kasvimassamäärät noudattivat edellisiä ohjeita. Referenssi 2:n kasvivärjäykset tehtiin ultraääniväestöisesti työohjeen mukaan.

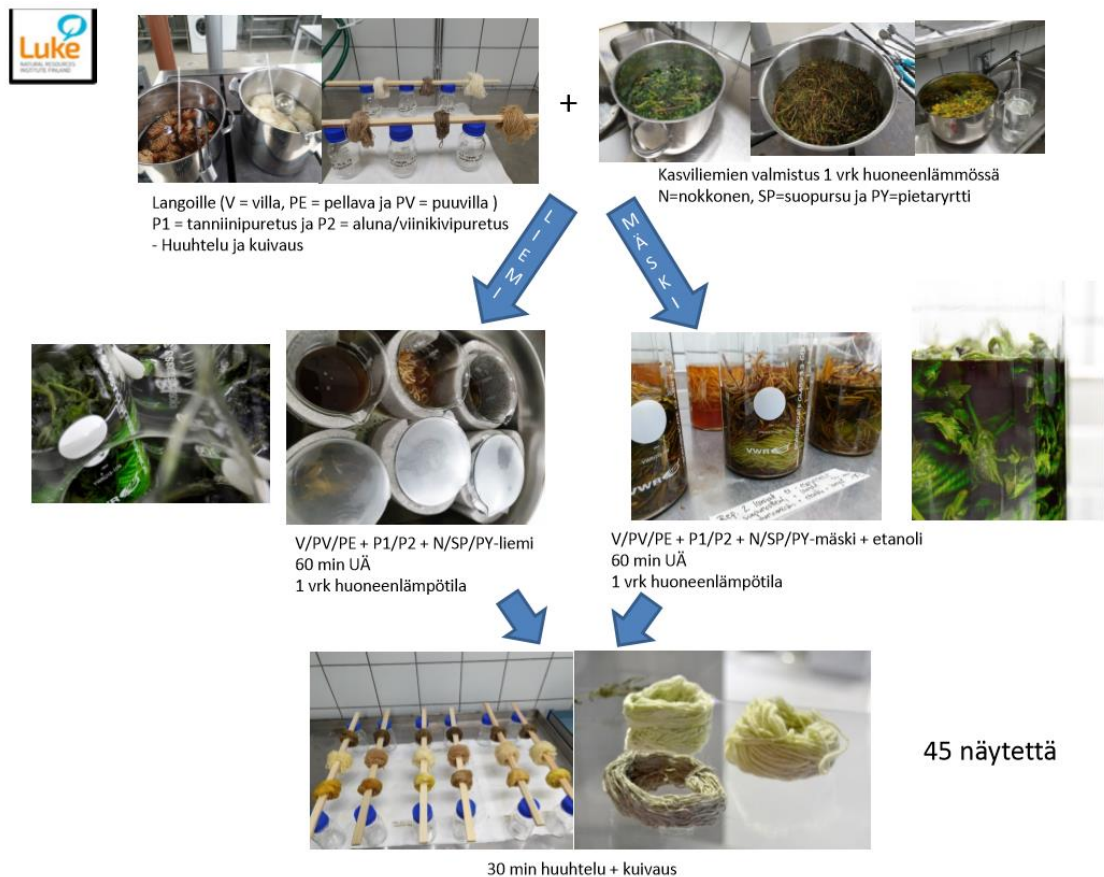
4.6 Värjättyjen lankojen käsittely ultraäänivärjäysten jälkeen

Ultraäänivärjäysten jälkeen kaikki dekantterilasit kasviliuoksineen, kasvimassoineen ja lankoineen jätettiin vielä vuorokaudeksi (väh. 21 h) huoneenlämpöön värjäytymään. Seuraavana päivänä värjättyjä näytelankoja huuhdeltiin juoksevan veden alla vähintään 30 minuuttia. Huuhteluiden helpottamiseksi laitettiin esipuretuskohtaisesti kaikki kolme näytelankanippua kerroksittain samaan dekantterilasiin ja huuhteluiden tehostamiseksi välillä vaihdettiin aina alimmainen lankanippu päällimmäiseksi.

Huuhteluiden jälkeen jokainen näytelankanippu puristeltiin varovaisesti ylimääräisestä vedestä ennen kuin laitettiin kuivumaan ensin pöytätasolle Carita-liinan

päälle ja myöhemmin lankaniput pujotettiin keppien varaan kuivumaan ilmastavasti. Lankanippujen annettiin kuivua vähintään neljä vuorokautta ennen kuin seuraavaksi tehtiin tarvittava määrä testilankanippuja eteenpäin lähetystä varten, Luonnonvarakeskuksen Otaniemen ja Lapin ammattikorkeakoulun Kemin toimipisteiden laboratorioihin tutkittaviksi. Jokaisen eri kasvivärjäyskokeilun työvaiheet etenivät alusta loppuun systemaattisesti kasvi-, menetelmä- ja puretuskohtaisesti merkittyinä sekaantumisten välttämiseksi.

Seuraavassa kuviossa 6. (Kunnas 2020) näkyvät havainnollistettuna näyttemateriaalien esikäsittelyt ja kasvivärjäykset ultraäänitehostuksella. Värjätyille lankanipuille tehtiin myöhemmin laboratoriotutkimuksia.



Kuvio 6. Näyttemateriaalien esikäsittelyt ja kasvivärjäykset (Kunnas 2020)

5 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT VÄRINKIINNITYSMENETELMÄT

Tutkimuksessa yhtenä tutkimusosa-alueena oli selvittää, onko luonnonkasvien esikäsitteilyillä, kasvimateriaalien tai tekstiilien ominaisuuksilla merkittävää eroa värjättyjen tekstiilimateriaalien värinvoimakkuuteen. Tutkimuksessa uutettiin ulträänitehostuksella vesi- ja etanolipohjaisia kasviväriliuoksia ja tehtiin tutkittaville tekstiilinäytteille kasvivärjäyksiä neljällä eri värjäystekniikalla. Tutkimuksessa käytetyissä vesi- ja etanolipohjaisissa värjäysliuoksissa oli yhdisteryhmiä, joilla voi olla tutkimustulosten kannalta hyviä ominaisuuksia. Kasviyhdisteitä vietiin tekstiileihin eri värjäystekniikoiden avulla. Värjäysmenetelminä olivat vesi- ja etanoli- dip and dry -kasvivärjäykset sekä Printex BF- ja alginaatti -kasviväripastapainotekniikoilla tehdyt värjäysmenetelmät.

5.1 Värimittausten tarkoitus

Värimittauksilla tutkittiin eri värjäysmenetelmien eroja värin kiinnittymiseen lankoihin/tekstiiliin ja värimittaukset olivat yksi tapa osoittaa, että yhdisteet olivat tarttuneet tekstiilinäytteisiin. Värimittatuista tekstiilinäytteistä tehdään myöhemmin lisää laboratorioanalyysyjä Lukessa ja Lapin AMK:ssa.

Värjättyt tekstiilinäytteet analysoidaan Luonnonvarakeskuksen (Luke) Otaniemen laboratoriossa. Lisäksi Luken laboratoriossa tehdään suopursun ja pietaryrtin öljyliukoisten yhdisteiden ylikriittistä CO₂ -uuttoa ja vesihöyrytislausta. Lapin ammattikorkeakoulun Kemin toimipisteen ELMA-laboratoriossa (Elektroniikka- ja materiaalilaboratorio) värjättyille tekstiilinäytteille tehdään materiaalimikroskooppisia kuvantamisia.

5.2 Konica Minolta CM-700/CM-600d

Tekstiilinäytteiden värin mittaamisessa käytettiin Konica Minolta CM-700d/CM600d -värimittaria. Mittauslaite oli kannettava spektrofotometri pallogeometrialla ja pystykohdistuksella. Laitteen mittausherkkyyys absorboituneen valon määrän mittauksissa eri aallonpituuksissa oli 400–700 nanometrin välillä. Mittauslaitteella tehdyt mittaustulokset olivat tarkkoja ja toistettavissa. Värimittarissa tarvittavan mittauspään tiedot olivat seuraavat: Target Mask Ø 8 mm (w/plate)

CM-A178 (Mitaten Finland 2019; Konica Minolta 2020a.) Värimittauksissa saadut numeeriset $L^*a^*b^*$ -arvot näkyivät laitteen LCD-näytöllä kahden desimaalin tarkkuudella.

5.3 Värimittausten validointi

Ennen varsinaisia mittauksia testattiin värimittarin luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta vertaamalla vuonna 2019 värimittattuihin näytelankoihin. Kalibroinnin jälkeen tehtiin validointimittauksia kesän 2019 esipuretuista (aluna +viinikivi ja tanniini) villa-, puuvilla- ja pellavalangoista sekä ei-puretetusta pellavalangasta. Värimittauksissa saatuja tuloksia verrattiin vuoden 2019 saatuihin mittaustuloksiin ja loppupäätelmäksi saatiin yhteneväiset, vertailukelpoiset mittaustulokset.

Seuraavaksi Konica Minolta CM-700d/600d -värimittarilla tehtiin referenssi- eli vertailutekstiilinäytteiden nollavärimittaukset useasta eri kohdasta värjäämättömistä tekstiileistä ja langoista (Kuvio 7.) Väri mitattiin karstavillalankavyyhdistä (neulepala), kampavillalankavyyhdistä (prototyyppi -tekstiili) ja neulahuovutetusta villapalasta,



Kuvio 7. Karstavillalanka, kampavillalanka ja neulahuovutettu villapala

Jokaisen mittauksen aikana kiinnitettiin huomiota siihen, että laitteen mittauspää oli mahdollisimman tiiviisti ja tasaisesti vasten mitattavaa tekstiilimateriaalia. Mittaustulokset kirjattiin Excel-taulukoihin.

5.4 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin hankkeen tutkimussuunnitelman ja työohjeiden mukaan. Kasviväriliuokset uutettiin vuonna 2019 ja 2020 kerätyistä ja pakastetuista kasveista. Tutkimuksessa käytettiin vähemmän energiaa vieviä kylmävärjäystekniikoita. Kasvien bioaktiiviset yhdisteet voivat hajota korkeissa lämpötiloissa, joten kasveista saatavien aktiivisten yhdisteiden uuttamista väriliuoksiin matalissa lämpötiloissa tehostettiin ultraäänikäsittelyillä. Etanoli- ja vesiuutoissa saatujen yhdisteiden kiinnittäminen tekstiilikuituihin tehtiin huoneenlämpötilassa eri värjäys tekniikoilla.

Tutkimuksen toteutus oli systemaattista tutkittavien tekstiilinäytteiden ja kasvien esikäsittelyä, tekstiilinäytteiden kasvivärjäystä ja värimittauksia Konica Minolta CM-700d/600d -värimittarilla. Kasvivärjäysten ja riittävän kuivumisen jälkeen tekstiilinäytteistä mitattiin väri. Tutkimustyö sisälsi tarkkaa raportointia ja dokumentointia kuvineen. Raportoinnissa kerrottiin tarkasti vaihe vaiheelta, mitä materiaaleja, reagensseja ja välineitä missäkin työvaiheessa oli käytetty, mitkä olivat materiaalien, reagenssien ja liuosten määrät ja sekä tutkimusnäytteiden esikäsittelyt. Raportoitaessa kerrottiin eri työvaiheet totuudenmukaisesti, myös työskennellessä tapahtuneet ja ilmenneet poikkeamat sekä sovelletut työmenetelmät.

Seuraavassa taulukossa 2. on työvaiheet kuvattuna tiivistetyssä muodossa. Taulukossa näkyy ultraäänitehostetut (UÄ) kasviväriliuosten esivalmistelut, värjättävien tekstiilinäytteiden kappalemäärät ja neljään eri värjäysmenetelmään tarvittavat kasviväriliuokset kokonaistilavuuksineen. Vuoden 2019 värjäyskokeiluista saatujen tulosten perusteella tehtiin mahdollisimman väkevät kasviväriliuokset, joten uutoissa käytettävien kasvimateriaalien määrä oli kaksinkertainen eli sata grammaa dekanterilasia kohden. Vuoden 2020 kasvivärjäysten työvaiheet kuvaillaan lyhyesti seuraavissa luvuissa.

Taulukko 2. Kasvien ja tekstiilinäytteiden käsittelyt

Uutteet (100 g pakas- tettua kasvia + 300 ml liu- osta) x 3	Valmistustapa < +40 °C, enint. 60 min.	Tekstiilit / kpl		Värjäysmenetelmä		
		Neula- huov.villa	Neule- pala	Alginaatti 350 ml	Printex BF 350 ml + 20 ml alunaliuos	Dip and dry 100 ml
Nokkonen (vesi)	UÄ-avusteinen uutto	2	2	x	x	värjäys
Nokkonen (etanoli)	UÄ-avusteinen uutto	2	2	etanoli saos- taa	etanoli saostaa	värjäys
Suopursu (vesi)	UÄ-avusteinen uutto	2	2	x	x	värjäys
Suopursu (etanoli)	UÄ-avusteinen uutto	2	2	etanoli saos- taa	etanoli saostaa	värjäys
Pietaryrtti (vesi)	UÄ-avusteinen uutto	2	2	x	x	värjäys
Pietaryrtti (etanoli)	UÄ-avusteinen uutto	2	2	etanoli saos- taa	etanoli saostaa	värjäys

5.4.1 Kasvien keruu ja punnitukset

Ennen kasvivärjäyksiä kerättiin tarvittavat määrät kasveja. Kesäkuun alussa kerättiin nokkosten latvaosia. Suopursuja kerättiin kesäkuun lopussa kukinnan jälkeen (Kuvio 8.) ja pietaryrttien kukintoja kerättiin heinäkuun puolessa välissä. Kerätyt kasvit puhdistettiin punnitusten yhteydessä ylimääräisistä roskista ja kukkavarsista sekä poistettiin hyönteisten jäljiltä vioittuneet lehdet.



Kuvio 8. Suopursun latvaosien keruuta kukinnan jälkeen

Laboratoriopankkinäytteiksi tarvittiin 5 x 100 grammaa jokaista kasvilaatua. Kasvit punnittiin tuorepainoltaan sadan gramman erissä ennen pakastuspusseihin (Minigrip) pussittamista. Neljän litran pakastuspusseihin punnittiin tuorepainoltaan 500 grammaa kasveja. Pussit merkittiin seuraavasti: kasvin nimi, paino, keruupäivämäärä, kerääjän nimikirjaimet ja keruupaikkakunta. Pussitetut ja esipakastetut kasvit vietiin Rovaniemen Luonnonvarakeskuksen (Luke) laboratorion pakastehuoneeseen säilytykseen. Seuraavassa kuviossa 9. on esimerkkinä pietaryrttikukintojen käsittelyn työvaiheet.



Kuvio 9. Pietaryrttikukintojen tuorepunnitusta ja pussitusta

5.4.2 Kasvi-vesiliuosten valmistus ja ultraäänikäsittelyt

Tekstiilinäytteiden värjäyksiin uutettiin mahdollisimman väkevä kasviväri-liuos. Dekanterilaseihin lisättiin ionivaihdettua vettä sen verran, että kasvit juuri ja juuri peittyivät nestepinnan alle. Kasveista saatavien aktiivisten yhdisteiden liukene-
mista kasviväri-liuoksiin tehostettiin Everest Ultrasonic -ultraäänilaitteella (Kuvio 10.)



Kuvio 10. Everest ultrasonic -ultraäänilaite

Ultraäänikäsittelyissä jokaisen vesiliuoksessa uutettavan kasvimassan määrä oli sama eli sata grammaa dekanterilasien kohden ja vesiliuoslisäykset 300 millilitraa kaikissa työvaiheissa (Kuvio 11.) Suopursu-dekanterilaseihin lisättiin ionivaihdetta vettä 350 millilitraa. Ylimääräisen viidenkymmenen millilitran lisäyksellä saatiin jäykempivartiset kasvit peittymään nestepinnan alle. Työohjeesta poikkeava nestelisäys kirjattiin ylös.



Kuvio 11. Suopursu-vesiliuosten esivalmistelut

Kasviväri-liuosten uuttamiset tehtiin kolmen kasvidekanterilasien sarjoissa (nokkonen, suopursu ja pietaryrtti) ja kaikki samalla työohjeella eli ultraäänitehostuksella vesihauteella enintään 60 minuuttia. Veden lämpötila ei saanut nousta yli 40 °C

asteen. Ultraäänihauteeseen vaihdettiin kylmä vesi aina ennen seuraavaa kasvi-vesiliuossarjan ultraäänikäsittelyä. Ultraäänikäsittelyn aikana kasveja muutaman kerran paineltiin lasisauvalla nestepinnan alle. Eri kasvien ultraäänikäsittelyt kestivät 56–60 minuuttia. Ultraäänikäsittelyiden ajat ja lämpötilat kirjattiin ylös.

Ultraäänikäsittelyiden jälkeen kasvidekantterilasit nostettiin työtasolle huoneenlämpöön. Kasvidekantterilasien päälle venytettiin parafilmit ja parafilmille tehtiin muutama reikä kasvien homehtumisen estämiseksi. Kasviuutteiden annettiin olla huoneenlämpötilassa yön yli seuraavaan päivään. Seuraavassa kuviossa 12. on suopursujen uuttaminen ultraäänitehostuksella ja parafilmillä peitetyt kasvivesiliuos -dekanterilasit.



Kuvio 12. Suopursujen uuttaminen ja parafilmillä peitetyt kasvidekantterilasit ultraäänikäsittelyiden jälkeen

5.4.3 Kasvien siivilöinti liuoksista

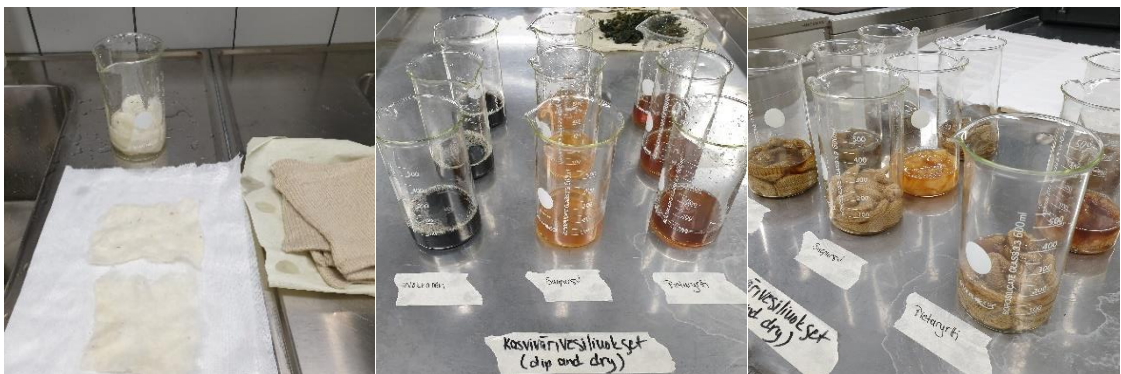
Seuraavana päivänä yön yli uutetut kasviuuttoliuokset siivilöitiin. Kasviliuokset mäskeineen kaadettiin Carita-liinalla peitettyyn dekanterilasiin. Saman kasvin kolmesta dekanterilasista tulevat liuokset ja kasvimäskit yhdistettiin ja säästettiin seuraaviin työvaiheisiin. Jatkotutkimuksia varten ylimääräiset kasvivesiliuokset pulloettiin näytepulloihin (Kuvio 13.) ja kasvimäskit pussitettiin Minigrip-pusseihin asianmukaisesti merkityin tiedoin. Näytteet vietiin myöhemmin Luken laboratorion pakastimeen säilytykseen.



Kuvio 13. Suopursumäskin siivilöintiä ja kemiallisiin analyysiin lähetettävät näytepullot

5.4.4 Dip and dry -värjäykset kasvivesiliuoksilla

Kolmeen puhtaaseen 600 millilitran dekanterilasiin lisättiin sata millilitraa kutakin kasviväri-vesiliuosta. Seuraavaksi huuhdeltiin kaksi kappaletta jokaista tekstiilinäytettä (neulepala ja neulahuovutettu villa) ionivaihdetulla vedellä. Huuhdeluista tekstiilinäytteistä kevyesti puristeltiin ylimääräinen vesi pois ennen kuin jokaiseen kasviliuokseen upotettiin kaksi rinnakkaista tekstiilinäytettä. Dekanterilasien päälle venytettiin parafilmit. Parafilmeihin pisteltiin muutama reikä kasviliuosten homehtumisen estämiseksi. Kasvivärjäysten annettiin tekeytyä huoneenlämpötilassa yön yli (Kuvio 14.)



Kuvio 14. Dip and dry -värjäysmenetelmä kasvivesiliuoksilla

Seuraavana päivänä tekstiilinäytteet nostettiin liuoksista ja kirjattiin huoneenlämpötilassa uuttamisessa käytetty tuntimäärä ylös (22 h). Jokainen tekstiilinäyte puristeltiin kuivaksi ylimääräisestä nesteestä ja kuositeltiin Carita-liinalla peitetulle työtasolle kuivumaan ilmastavasti (Kuvio 15.) Tekstiilinäytteiden annettiin kuivua viisi vuorokautta, minkä jälkeen tehtiin värimittaukset.



Kuvio 15. Kosteat tekstiilinäytteet kuositettuina

5.4.5 Etanoli-kasviväriiluosten valmistus

Puhtaaseen 600 millilitran dekanterilasiin punnittiin sata grammaa mahdollisimman "kuivaa" kasvivesiliuosten valmistuksesta jäänyttä kasvimäskiä. Jokaiseen kasvimäskidekanterilasiin lisättiin 300 millilitraa etanolia (Etax Aa). Etanolilisäyksen aikana kasvimäskiä paineltiin lasisauvalla dekanterilasin pohjalle.

Etanoli-kasviväriiluosten uuttamiset tehtiin samalla työohjeella kuin kasvi-vesiliuosten ultraäänikäsittelyissä (max. 60 min. ja $< +40^{\circ}\text{C}$). Käsittelyn jälkeen etanoli-kasvidekanterilasit nostettiin sivupöydälle ja dekanterilasien päälle venytettiin parafilmit etanolin haihtumisen estämiseksi. Etanoli-kasviuutteiden annettiin olla huoneenlämpötilassa yön yli seuraavaan päivään.

5.4.6 Dip and dry -värjäykset etanolikasviväriliuoksilla

Kasvimäskit siivilöitiin liuoksista Carita-liinan avulla (Kuvio 16.) Työohjeesta poiketen (100 millilitraa) etanolikasviväriliuosta saatiin noin 90 millilitraa / tekstiilinäytepari. Poikkeama kirjattiin ylös. Kolmeen puhtaaseen 600 millilitran dekanterilasiin lisättiin 90 millilitraa kutakin etanolikasviväri-vesiliuosta.



Kuvio 16. Etanoli-kasviuutettujen kasviliuosten voimakkaat värit

Seuraavaksi huuhdeltiin kaksi kappaletta jokaista tekstiilinäytettä (neulepala ja neulahuovutettu villa) ionivaihdetulla vedellä ja ylimääräiset vedet puristeltiin huolellisesti tekstiileistä pois. Jokaiseen etanolikasviliuokseen upotettiin kaksi rinnakkaisista tekstiilinäytettä (Kuvio 17.) Dekanterilasien päälle venytettiin parafilmit etanolin haihtumisen estämiseksi. Tekstiilinäytteiden annettiin olla etanolikasviliuoksissa huoneenlämmössä yön yli.



Kuvio 17. Dip and dry -värjäysmenetelmä etanoli-kasviväriliuoksilla

Seuraavana päivänä tekstiilinäytteet nostettiin liuoksista ja kirjattiin huoneenlämpötilassa uuttamisessa käytetty tuntimäärä ylös (22 h). Jokainen tekstiilinäyte puristeltiin kuivaksi ylimääräisestä nesteestä ja kuositeltiin Carita-liinalla peitetylle työtasolle kuivumaan ilmastavasti. Tekstiilinäytteitä kuivattiin viisi vuorokautta, minkä jälkeen tehtiin värimittaukset. Seuraavassa kuviossa 18. vasemmalla on kosteat tekstiilinäytteet ja oikealla kuivat tekstiilinäytteet viiden vuorokauden kuivumisen jälkeen.



Kuvio 18. Kosteat ja kuivat tekstiilinäytteet

5.4.7 Kasviväripainopastojen valmistus

Kasviväripastoihin käytettiin ainoastaan kasviväri-vesiliuosta, sillä etanoli saostaa alginaatin. Kasviliuos jaettiin kahteen 600 millilitran dekanterilasiin. Jokaista kolmea kasvikohtaista vesiliuosta tarvittiin 2 x 350 millilitraa (alginaattipasta / 350 ml kasviliuosta ja Printex BF –pasta / 350 ml kasviliuosta).

Alginaatti -paksunnosaine kuuluu lisäaineryhmiin emulgointi-, stabilointi- ja sakeuttamisaineet. Alginaatti on kemialliselta nimeltään natriumalginaatti (E401), jota valmistetaan eräistä Phaeophyceae -ruskolevistä. Alginaatit ovat alginaalihapon suoloja. Natriumalginaattia saa käyttää lähes kaikkiin elintarvikkeisiin. (Ruokavirasto 2020.) Tekstiilikemikaaleihin kuuluva Printex BF on paksunnosaine, jota käytetään painoväripastojen valmistuksessa. Paksunnosaine on

hydroksiatyloidun quarkumin ja muunnetun polysakkaridin seos. Printex BF sisältää säilytinaineena muun muassa vaaraa aiheuttavaa p-kloori-m-kresolia. Pak-sunnosaineen käsittelyssä oli huomioitava hyvän työhygienian ja turvallisuuskäytännön mukaisia suojautumis- ja hygieniaohjeita. (UIAH 2020.)

Alginaattipasta valmistettiin siten, että kasvikohtaiseen (nokkonen, suopursu ja pietaryrtti) 350 millilitran kasviliuokseen lisättiin 28 grammaa alginaattijauhetta sauvasekoittimella huolellisesti sekoittaen. Kasvialginaattipastat jätettiin huoneenlämpötilaan kannella peitettynä yön yli seuraavaan päivään. Alunajauhe (alumiinikaliumsulfaattidodekahydraatti $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) lisättiin kasvialginaattipastoihin vasta seuraavana päivänä vähän ennen tekstiilien seulapainantaa, koska aluna voi juoksettaa alginaattipastan. Juoksettunut alginaattipasta mahdollisesti vaikeuttaa seulapaino -työskentelyä.

Printex BF –pastat valmistettiin myös kolmelle eri kasviliuos pohjalle. Jokaiseen kasvikohtaiseen 350 millilitran kasviliuokseen lisättiin 14 grammaa Printex BF – jauhetta. Printex BF -lisäyksen aikana kasviväri-liuosta sekoitettiin hyvin sauvasekoittimella. Printex BF -kasviväripastat jätettiin huoneenlämpötilaan kannella peitettynä yön yli seuraavaan päivään (Kuvio 19.)



Kuvio 19. Printex BF -kasviväripastojen valmistus

5.4.8 Alunaliuoslisäykset kasviväripastoille

Seuraavana päivänä valmistettiin alunaliuokset. Kuusi grammaa alunajauhetta liuotettiin 20 millilitraan ionivaihdettua vettä ja lämmitettiin miedolla levylämmöllä,

kunnes alunajauhe oli kokonaan liennut nesteeseen. Alunaliuoksen annettiin jäähtyä huoneenlämpöiseksi.

Printex BF -kasviväripasta sekoitettiin sauvasekoittimella tasaiseksi massaksi 20 millilitran alunaliuoslisäyksen aikana. Jokaisen kasvikohtaisen väripastan kokonaistilavuudeksi tuli 370 millilitraa (Kuvio 20.) Alunaliuokset sekoitettiin Printex BF kasvikohtaisiin väripastoihin juuri ennen seuraavaa kasvikohtaista tekstiilinäytteiden väripastapainantaa.



Kuvio 20. Alunaliuoksen lisäystä suopursu-Printex BF -pastaan

Alun perin suunniteltiin alunaliuoslisäystä myös alginaattipastalle. Nokkosalginaattipastan valmistuksessa pastan koostumus juoksettui paksuksi ja jäykäksi alunalisäyksen aikana. Painoseulakäsittelyyn paakkuuntunut alginaattipasta alunalisällä ei soveltunut. Päätettiin, että seuraavat kasvialginaattipasta -painoseulakäsittelyt tekstiilinäytteille tehdään ilman alunalisää. Nokkosalginaattipastan valmistus ja tekstiilipainannat tehtiin seuraavalla viikolla. Työvaiheet toteutettiin samalla tavoin työohjeen mukaan.

5.4.9 Kasviväripainanta

Tekstiilinäytteet (2 x neulepala ja 2 x neulahuovutettu villa) kiinnitettiin maalarinteipeillä kulmistaan hyvin kiinni puhtaalle työtasolle ja tekstiilinäytteet käsiteltiin

yksi kerrallaan. Seulamuotti laitettiin huolellisesti väripainettavan tekstiilinäytteen päälle. Seulamuotin päälle kaadettiin riittävä määrä kasviväripastaa. Seulamuottia painettiin mahdollisimman tiukasti vasten painettavaa tekstiilinäytettä samalla, kun vedettiin muutamia vetoja ”raakkelilla” kasviväripastaa seulan läpi (Kuvio 21.)

Seulavetoja tehtiin keskimäärin kahdeksan kertaa väripastan koostumuksen mukaan (löysä, paksuhko). Lopuksi seulamuotti otettiin varovaisesti tekstiilinäytteen päältä. Väripainokäsittelyt seulamuotilla ja ”raakkelilla” toistettiin seuraaville tekstiilinäytteille. Seulavetojen jälkeen tekstiilinäytteet jätettiin kuivumaan työpöydälle joksikin aikaa ennen kuin ne irrotettiin varovasti teippauksista.



Kuvio 21. Tekstiilinäytteiden painoseulakäsittelyä

Tekstiilinäytteet pakattiin yksittäin tunnistetiedoin merkittyihin (alginaatti, kasvin ja tekstiilin nimi sekä päivämäärä) ilmatiiviisiin Minigrip-pusseihin. Kasviväripainotekstiilinäytteet siirrettiin jääkaappiin. Painovärjättyjen tekstiilinäytteiden väriin annettiin kiinnittyä jääkaapissa seitsemän vuorokautta, minkä jälkeen ne otettiin pois Minigrip-pusseista. Tekstiilinäytteiden annettiin kuivua vielä seitsemän vuorokautta huoneenlämpötilassa.

Kuivuneet tekstiilinäytteet huuhdeltiin väljässä vedessä juoksevan veden alla 20 minuuttia. Huuhteluiden jälkeen tekstiilinäytteistä puristeltiin varovaisesti ylimää-

räinen vesi pois ennen kuin ne kuositeltiin Carita-liinalla peitetyle työtasolle kuivumaan ilmavasti. Tekstiilinäytteiden annettiin kuivua viisi vuorokautta. Kuivista näytteistä mitattiin väri.

5.5 Tekstiilinäytteiden värimittaukset

Neljällä eri värjäysmenetelmällä käsitellyille tekstiilinäytteille tehtiin värimittauksia. Kasviväripainotekniikalla värjätyt ja kuivuneet tekstiilinäytteet mitattiin vielä uudelleen vesihuuhTELUIDEN ja tekstiilinäytteiden kuivumisen jälkeen. Jotta mittaukset olivat tilastollisesti luotettavia, tehtiin jokaisesta rinnakkaisesta tekstiilinäytteestä (2 kpl / tekstiilimateriaali) kymmenen rinnakkaismittausta tekstiilimateriaalin eri kohdista.

Jokaisen mittauksen aikana kiinnitettiin huomiota siihen, että värimittarin mittauspää oli mahdollisimman tiiviisti ja tasaisesti mitattavaa tekstiiliä vasten. Mittaus tulokset kirjattiin värjäysmenetelmäkohtaisesti nimettyihin Excel-taulukoihin ja mittaustuloksista laadittiin tilastokaavioita.

6 TULOKSET

Ennen ja jälkeen kasvivärjäysten rinnakkaismittauksista saaduista tuloksista analysoitiin tulosten keskiarvot, keskihajonnat ja laskettiin virhemarginaalit. Mittaus-tulokset laadittiin taulukko- ja kaaviomuotoon värjäysmenetelmäkohtaisesti. Kaavioiden avulla vertailtiin värjäämättömien (Kuvio 22.) ja värjättyjen tekstiilinäytteiden tulosten välillä tapahtuneita muutoksia.

Seuraavissa luvuissa kerrotaan analysoitavien tekstiilinäytteiden värimittaustuloksia. Kaavioiden tulkitsemisen tukena käytettiin CIELAB-mittausjärjestelmän väriavaruusmallia ja värikäsittelyistä tekstiilinäytteistä otettuja valokuvia.



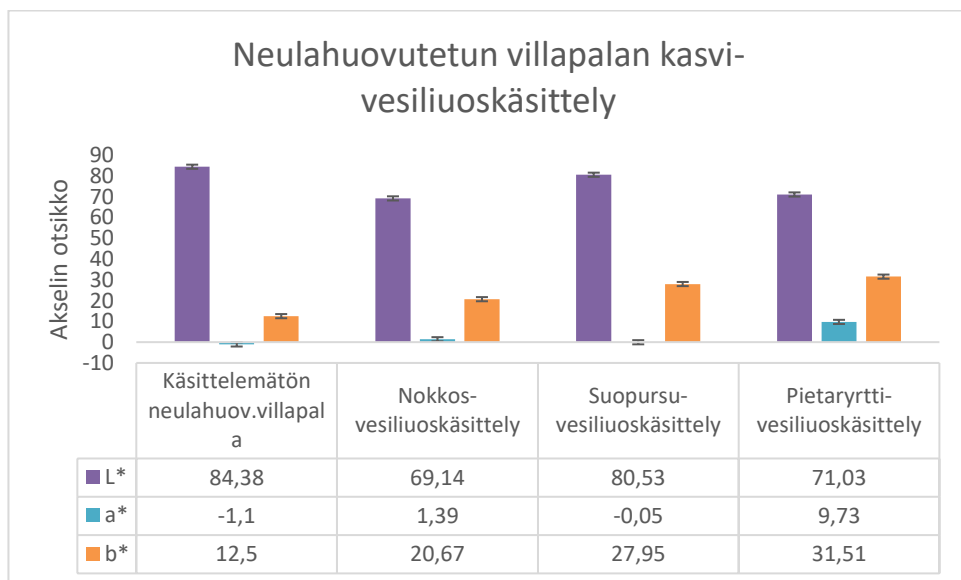
Kuvio 22. Tekstiilinäytteet ennen värjäyskäsittelyitä

6.1 Kasvi-vesiliuosvärjäyksen tulos

6.1.1 Neulahuovutettu villapala

Ionivaihdetussa vedessä uutetuista kasveista (Kuvio 23.) tekstiilien värimaailmat olivat hieman vaatimattomampia. Kasvi-vesiliuoksessa värjättyjen villapalojen värisävyt olivat parametri L^* -arvojen mukaan vaaleita. Nokkosvesiliuoksesta oli siirtynyt vähän vihreää väriä villapalaan ja se muutos oli nähtävissä niin visuaalisesti kuin parametri a^* -mittausarvoissakin.

Jokaisesta kasvista oli b^* -arvon mukaan siirtynyt keltaista väriä villapaloihin, kun tuloksia verrattiin nollanäytteeseen. Suopursu-vesiliuoksessa värjäytynyt villapala oli värisävyltään vaaleampi kuin pietaryrtti-vesiliuoksessa värjäytynyt villapala. Pietaryrtti-vesiliuoksessa värjättyyn villapalaan oli kiinnittynyt runsaasti punertavaa väriä, mikä nähtiin parametri a^* -arvojen positiivisissa mittausarvoissa hyvin selkeästi. Pietaryrtin oranssiin vivahtava, lämpimän keltainen väri ilmeni myös visuaalisestikin.



Kuvio 23. Neulahuovutetun villapalan kasvi-vesiliuoskäsittely

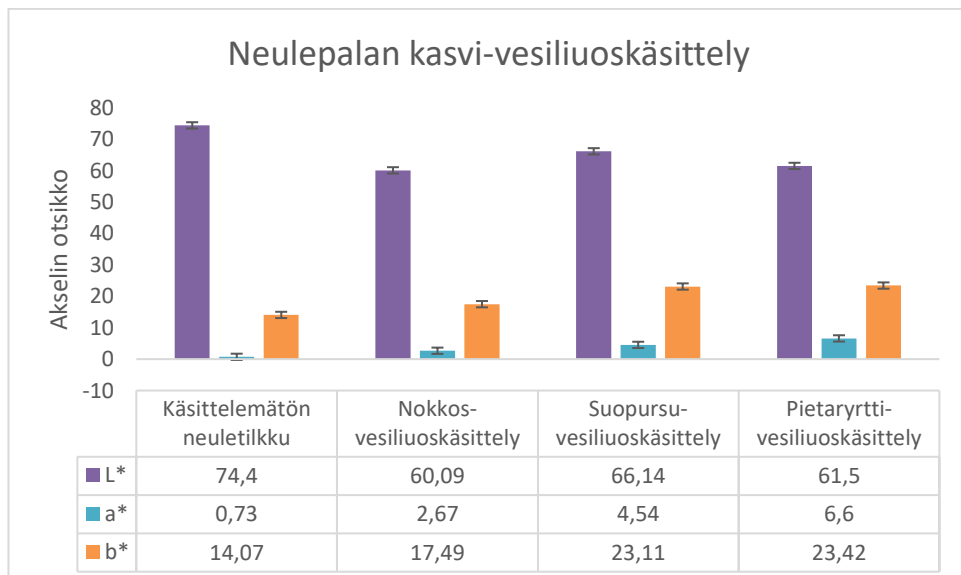
Seuraavassa kuviossa 24. nähdään nokkososen harmaanvihertävällä värisävyllä, suopursun vaaleankeltaisella ja pietaryrtin lämpimän keltaisella värisävyllä värjäytyneet villapalat. Villapalat olivat värjäytyneet tasaisesti, mikä helpotti värimitauksia.



Kuvio 24. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrttivesiliuosvärjätty neulahuovutetut villapalat

6.1.2 Kudottu neulepala

Kasvi-vesiliuoksessa värjättyjen neulepalojen (Kuvio 25.) värisävyt olivat parametri L^* -arvojen mukaan vaaleita. Vihreää väriä ei ollut merkittävästi siirtynyt tekstiilikuituihin. Parametri a^* positiivisten arvojen perusteella neulepalaan oli siirtynyt punertavaa värisävyä. Parametri b^* -arvojen mukaan nokkosvesiliuoksessa värjättyyn neulepalaan ei ollut merkittävästi siirtynyt keltaista väriä. Suopursu- ja pietaryrttivesiliuoksissa värjätessä oli neulepalaan siirtynyt keltaista väriä.



Kuvio 25. Neulepalan kasvi-vesiliuuskäsittely

Seuraavassa kuviossa 26. nähdään neulepalojen epätasainen värjäytyvyys vähäisen nestemäärän vuoksi. Värimittauksissa mitattavan alueen kohdistaminen

työskentelytilojen yleisvalaistuksessa oli hieman hankalaa, sillä selvästi voimakkaammin värjäntyneitä kohtia oli vähän ja vaikeasti havaittavissa.



Kuvio 26. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrttivesiliuosvärjätyt neulepalat

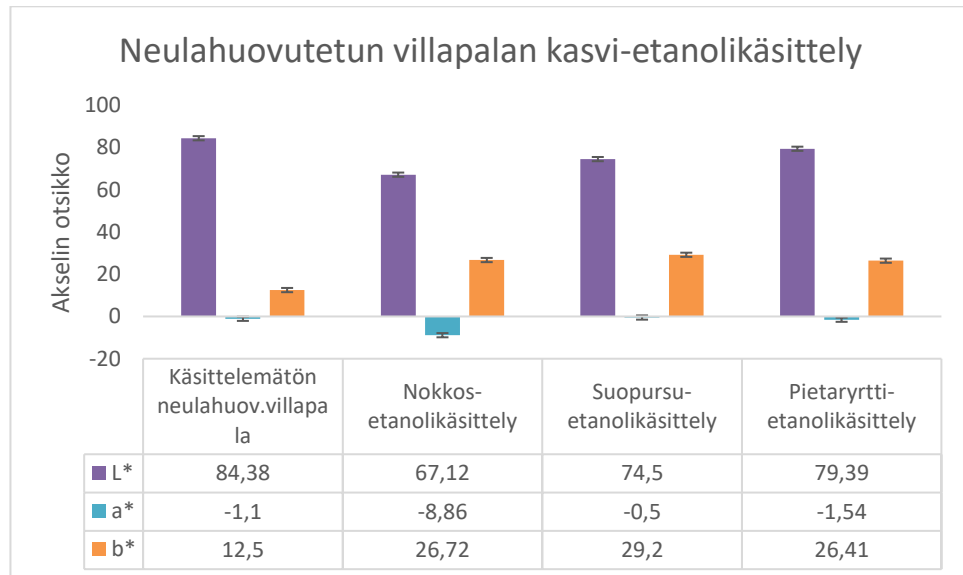
Neulepalat värjäytyivät molemmissa dip and dry -värjäyskäsitelyissä epätasaisesti. Ylimmäinen neulepala jäi osittain nestepinnan yläpuolelle ja se näkyi värjäytymisen laadussa. Joko pienempi tekstiilinäyte, kaksinkertainen määrä uutettua väriliuosta tai tekstiilinäytteiden kääntelevä vuorokauden kestävä värjäysprosessin aikana olisivat antaneet tasaisemman värjäytymistuloksen.

6.2 Kasvi-etanolivärjäyksen tulos

6.2.1 Neulahuovutettu villapala

Etanolissa uutetuista kasveista oli hyvin siirtynyt väriä villapaloihin (Kuvio 27.) Erityisesti runsaasti lehtivihreää sisältävästä nokkosesta oli siirtynyt villapalaan voimakasta, kirkkaamman vihreää väriä etanoliuuttamisella. Värin muutos nähtiin jo visuaalisestikin ja värimittaustulokset vahvistivat tämän muutoksen. Suopursusta ja pietaryrtistä oli siirtynyt keltaista värisävyä tekstiilikuituihin. Korkean parametri L*-arvon mukaan kaikilla kolmella tekstiilinäytteillä kasvivärit olivat sävyltään kirkkaita ja vaaleita.

Parametri a*-arvon mukaan nokkos-etanolikäsitellyssä villapalaan oli siirtynyt vihreää värisävyä huomattavasti. Parametri b*-arvojen mukaan keltaista väriä oli siirtynyt kaikista kasveista tekstiilikuituihin. Suopursun ja pietaryrtin keltaiset värisävyt nähtiin parametri a -arvojen ollessa likimain nollan luokkaa.



Kuvio 27. Neulahuovutetun villapalan kasvi-etanolikäsitely

Seuraavassa kuviossa 28. nähdään nokkos-etanoliliuoksessa käsitellyn villapalan voimakkaan kirkkaanvihreä väri. Suopursu-etanolikäsitellyssä värjätty villa-pala näkyy kuvan vasemmassa yläkulmassa.

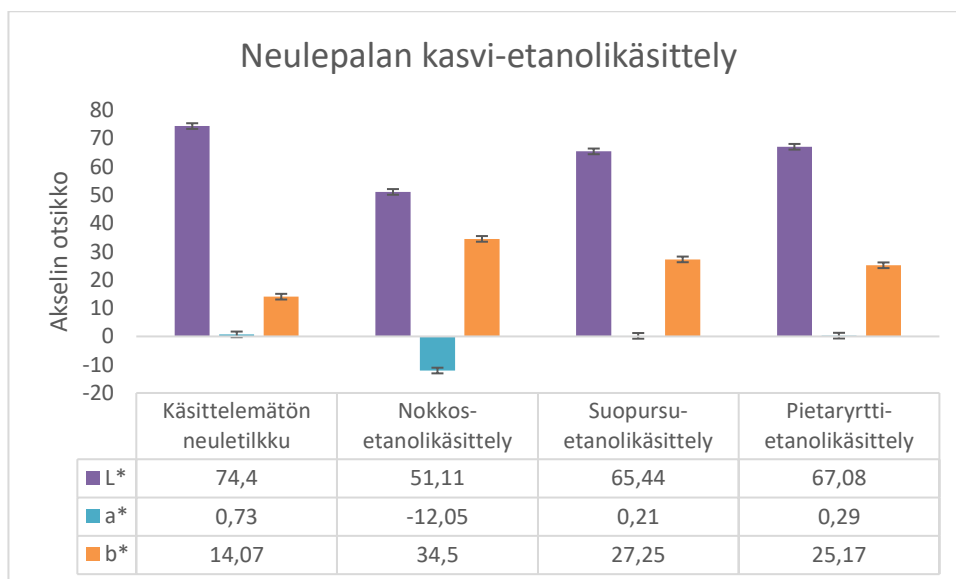


Kuvio 28. Nokkos-etanoliliuoksessa värjätyn villapalan värimittausta

6.2.2 Kudottu neulepala

Parametrit $L^*a^*b^*$ -arvojen mukaan kaikille kasvi -etanolikäsittelyille neulepaloille oli tapahtunut muutoksia (Kuvio 29.) Nokkos-etanolikäsittelyssä parametri L^* -arvon mukaan nokkosvärisävyn vaaleus oli muuttunut selvästi tummempaan verrattuna värjäämättömän neulepalan mittausravoihin. Neulepalojen suopursu- ja pietaryrtti-etanolikäsittelyssä kasvivärit olivat parametri L^* -arvojen mukaan kohtuullisen vaaleita.

Parametri a^* -arvoissa suopursu- ja pietaryrtti-etanolikäsittelyissä ei ollut tapahtunut merkittävää muutosta verrattuna nollanäytteeseen. Suopursu- ja pietaryrtti-etanolikäsittelyissä keltaista väriä oli siirtynyt tekstiilien kuituihin, joka näkyi parametri b^* -arvojen nousussa. Mittauksissa saaduissa arvoissa ilmeni se, että parametri b^* -arvon mukaan nokkosesta oli siirtynyt enemmän keltaista väriä kuin suopursusta ja pietaryrtistä.



Kuvio 29. Neulepalan kasvi-etanolikäsittely

Seuraavassa kuviossa 30. nähdään myös epätasainen värjäystulos, sillä kasvi-etanoliliuosta oli (90 millilitraa) liian vähän suhteutettuna neulepalan kokoon (15x15 cm). Neulepalat eivät olleet peittyneet kunnolla nestepinnan alle ja neulepalojen taitoskohtiin ei myöskään ollut imeytynyt riittävästi kasvi-etanoliliuosta.

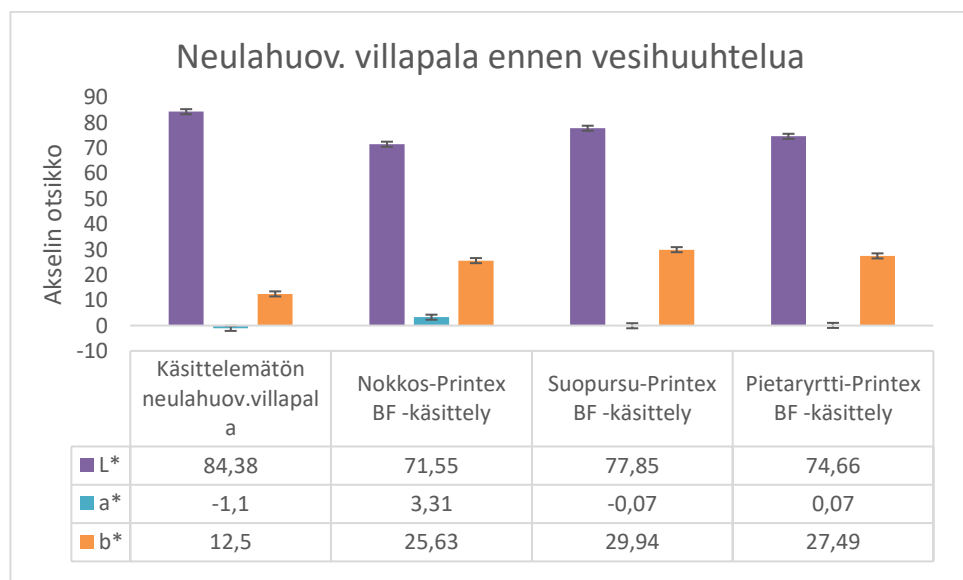


Kuvio 30. Neulepalat nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti-etanolikäsittelyn jälkeen

6.3 Printex BF -painovärjäyksen tulos

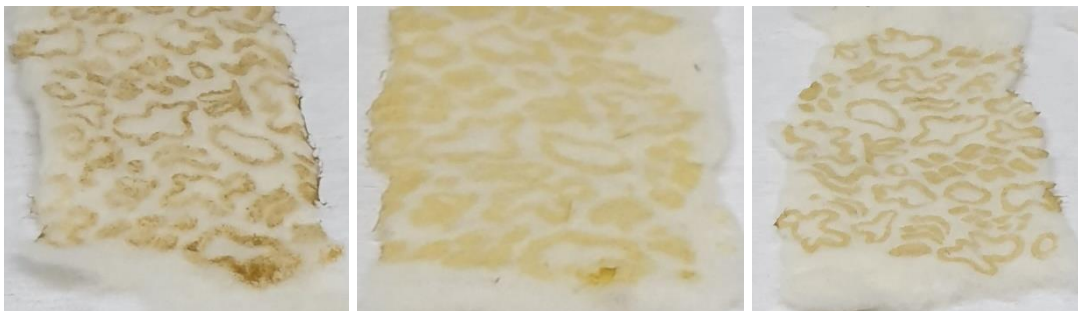
6.3.1 Neulahuovutettu villapala ennen huuhteluita

Printex BF -kasviväripainetuissa villapaloissa (Kuvio 31.) kaikki kasvivärit olivat parametri L-arvoltaan vaaleita. Nokkoskäsitellyssä tekstiilissä positiivisen parametri a^* -arvon perusteella todettiin villapalaan siirtyneen enemmän punertavaa värisävyä kuin suopursu- ja pietaryrtti-Printex BF -käsittelyillä. Vaikka kaikki kasvivärit olivat parametri b^* -arvon mukaan värisävyltään keltaisia, niin nokkosen oma voimakas vihreä väri muutti keltaisen värisävyä hieman vihertävään värisävyyteen.



Kuvio 31. Neulahuovutettu villapala ennen vesihuuhtelua

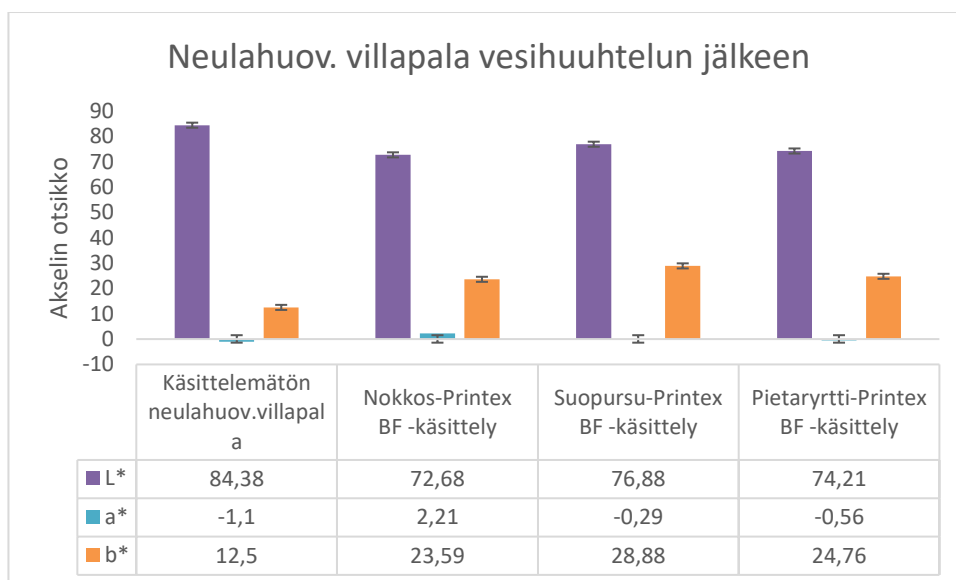
Seuraavassa kuviossa 32. nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti-Printex BF -painovärjätyt villapalat ennen huuhteluita. Suopursulla on selvästi keltaisempi värisävy kuin pietaryrtillä.



Kuvio 32. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti-Printex BF -painovärjätyt villapalat ennen huuhteluita

6.3.2 Neulahuovutettu villapala huuhteluiden jälkeen

Printex BF -painokäsittelyissä (Kuvio 33.) ennen ja jälkeen huuhteluiden mitattujen tulosten mukaan parametrit $L^*a^*b^*$ -arvoissa ei ollut suuriakaan eroja. Nokkos- ja pietaryrttiväriä oli hieman irronnut huuhteluiden aikana tekstiilinäytteistä.



Kuvio 33. Neulahuovutettu villapala vesihuuhtelun jälkeen

Seuraavassa kuviossa 34. nähdään, että Printex BF -käsittely alunalisällä parantavat värin pysymistä tekstiilinäytteissä. Alunalisän vaikutus nähdään selkeästi

vesihuuhteluiden jälkeen mitatuissa värituloksissa. Ennen ja jälkeen huuhteluiden mitatuissa arvoissa ei ole suuriakaan eroja.

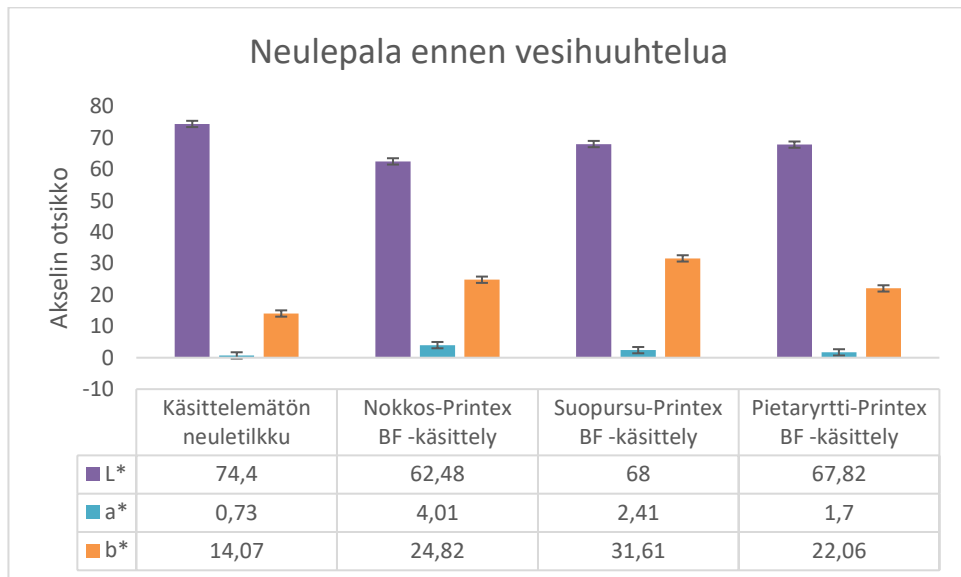


Kuvio 34. Norkos-, suopursu- ja pietaryrtti-Printex BF -painovärjättyt villapalat huuhteluiden jälkeen (vaaleat tekstiilimateriaalit)

6.3.3 Kudottu neulepala ennen huuhteluita

Printex BF -kasviväripainettujen (Kuvio 35.) neulepalojen mittaustulokset olivat parametrit $L^*a^*b^*$ -arvoiltaan samansuuntaiset kuin neulahuovutettujen villapalojen tulokset. Nokkoskäsittelystä tekstiilissä positiivisen a^* -arvon perusteella todettiin enemmän punertavaa värisävyä kuin vihreää.

Vaikka kaikki kasvivärit olivat b^* -värisävyiltään keltaisia, niin nokkosen oma voimakas vihreä väri muutti keltaisen värisävyä hieman vihertävään värisävyyn. Suopursusta oli siirtynyt runsaasti keltaista väriä tekstiilinäytteeseen, mikä näkyi selvästi korkeammasta b^* -arvosta verrattuna nokkoseen ja pietaryrttiin.



Kuvio 35. Neulepala ennen vesihuuhtelua

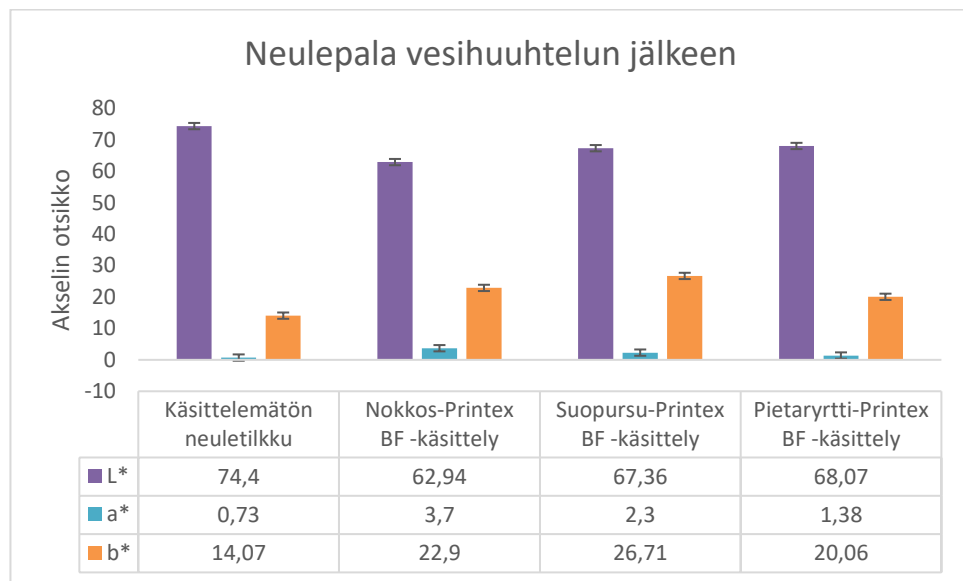
Seuraavassa kuviossa 36. Printex BF -painovärjät neulepalat. Suopursu erottuu selvästi voimakkaan keltaisella värillään.



Kuvio 36. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti-Printex BF -painovärjät neulepalat ennen huuhteluita

6.3.4 Kudottu neulepala huuhteluiden jälkeen

Printex BF -painokäsittelyllä värjättyjen neulepalojen (Kuvio 37.) ennen ja jälkeen huuhteluiden mitatuissa arvoissa ei ollut suuriakaan eroja. Neulepalojen värin vaaleus oli parametri L*-arvojen mukaan pysynyt aika lailla samana. Parametrit a* ja b*-arvojen mukaan kasviväriä oli jonkin verran irronnut huuhteluissa, mutta visuaalisesti eroa ei huomaa.



Kuvio 37. Neulepala vesihuuhtelun jälkeen

Seuraavassa kuviossa 38. nähdään, että huuhteluiden jälkeen tekstiilien värisävyissä ei näy muutoksia. Printex BF -käsittely alun alisella paransi värin pysymistä tekstiilinäytteissä. Ennen ja jälkeen huuhteluiden mitatuissa arvoissa ei ollut suuriakaan eroja.

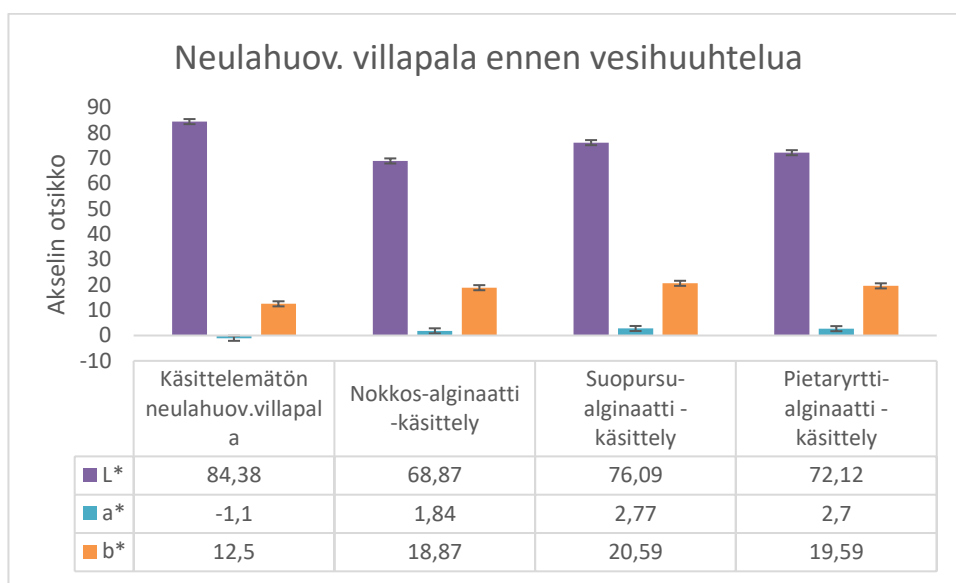


Kuvio 38. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti-Printex BF -painovärjätty neulepalat huuhteluiden jälkeen

6.4 Alginaatti -painovärjyksen tulos

6.4.1 Neulahuovutettu villapala ennen huuhteluita

Kasviväri-alginaattipastalla (Kuvio 39.) painettujen tekstiilinäytteiden kasvivärit olivat parametri L*-arvojen mukaan vaaleita. Parametri a*-arvoissa ei ollut suuriakaan muutoksia verrattuna nollanäytteeseen. Nokkoson pienempi a*-arvo viittaa siihen, että nokkosesta oli siirtynyt vihreää väriä villapalaan verrattuna suopursuun ja pietaryrttiin.



Kuvio 39. Neulahuovutettu villapala ennen vesihuuhtelua

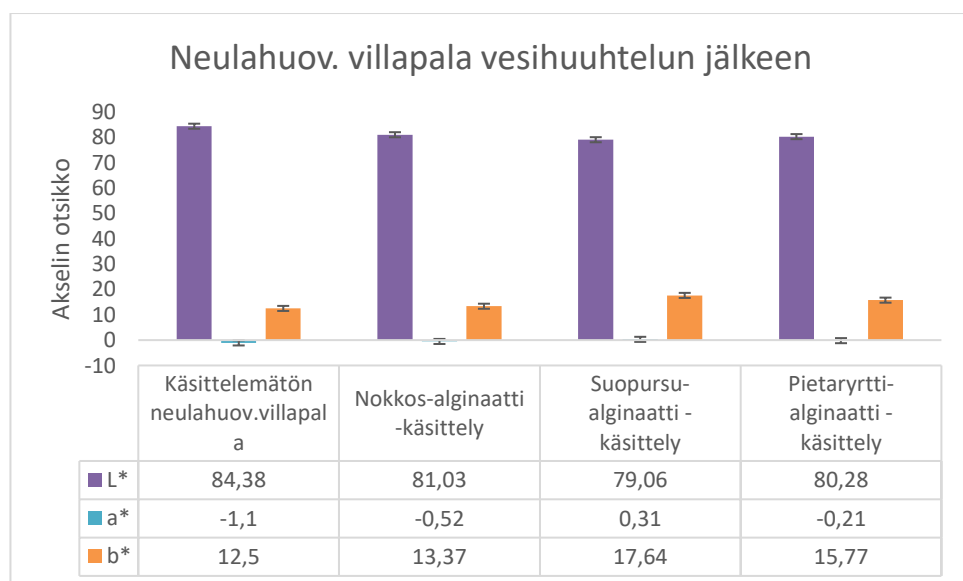
Seuraavassa kuviossa 40. nähdään nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti -alginaattipainovärjät villapalat ennen huuhteluita. Värit ja kuviot erottuvat hyvin. Nokkoson ja pietaryrtin värien sävy taittaa enemmän vihreään kuin keltaiseen.



Kuvio 40. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti -alginaattipainovärjätty villapalat ennen huuhteluita

6.4.2 Neulahuovutettu villapala huuhteluiden jälkeen

Huuhteluiden jälkeen kasvivärit eivät olleet pysyneet villapalojen kuiduissa. Parametri L^* -arvot olivat lähes samat kuin värjäämättömässä nollanäytteessä. Mitataustulosten a^* ja b^* -arvojen mukaan ja visuaalisen tarkastelun perusteella suopursun keltainen painoväri erottui selkeimmin villapalasta. Nokkosen vihreää väriä ei erottunut juuri lainkaan verrattuna nollanäytteeseen. Pietaryrtin vihertävän keltainen painoväri jäi parametrit $L^*a^*b^*$ -arvojen ja visuaalisestikin suopursun painoväriin verrattuna hieman heikommaksi (Kuvio 41.)



Kuvio 41. Neulahuovutettu villa vesihuuhtelun jälkeen

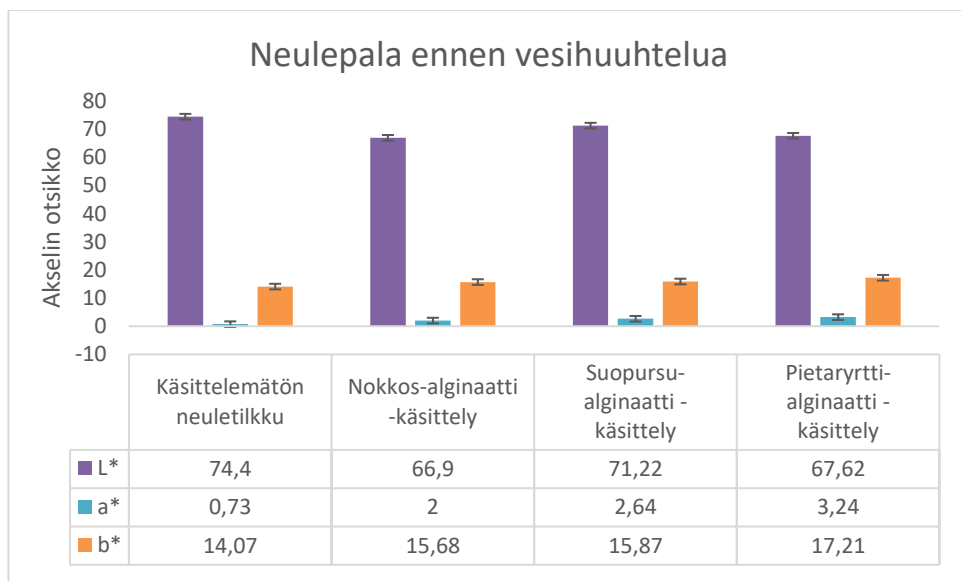
Seuraavassa kuviossa 42. nähdään kasvi-alginaattipainettujen villapalojen huono värinpysyvyys ilman alunalisää. Suopursu-alginaattipainovärjätty villapala erottuu väriltään parhaiten.



Kuvio 42. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti -alginaattipainovärjätty villapalat huuhteluiden jälkeen (vaaleat tekstiilimateriaalit)

6.4.3 Kudottu neulepala ennen huuhteluita

Neulepalassa (Kuvio 43.) nokkos- ja pietaryrtti-alginaattipastavärit olivat kiinnittyneet hyvin tekstiilikuituihin, joka näkyi nollanäytteeseen verrattuna matalassa parametri L^* -arvossa. Matalampi L^* -arvo viittaa värin tummuuteen. Suopursun värin vaaleus näkyi korkealla L^* -arvolla. Värien voimakkuudet parametrit a^* - ja b^* -arvoissa olivat pysyneet samassa verrattuna nollanäytteeseen. Edellisten huomioiden perusteella nokkos- ja pietaryrtin väriyhdisteitä oli siirtynyt hyvin neulepalaan kuituihin.



Kuvio 43. Neulepala ennen vesihuuhtelua

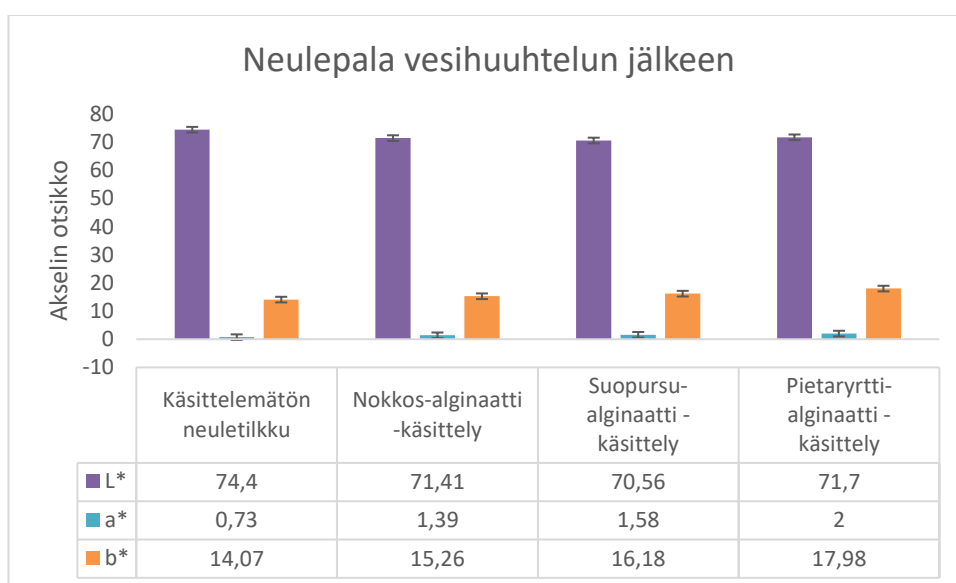
Seuraavassa kuviossa 45. nähdään suopursun painovärin huomattava vaaleus verrattuna nokkos- ja pietaryrtin painoväreihin. Lisäksi neulepalassa nähdään vaaleaa sakkaa, joka ei ollut imeytynyt tekstiilin kuituihin.



Kuvio 44. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti-alginaattipainovärjät neulepalat ennen huuhteluita

6.4.4 Kudottu neulepala huuhteluiden jälkeen

Huuhteluiden jälkeen kasvivärit eivät ole pysyneet neulepalojen kuiduissa (Kuvio 45.) Parametri L*-arvot olivat lähes samat kuin värjäämättömässä nollanäytteessä. Parametrit a* ja b*-arvojen mukaan ja visuaalisen tarkastelun perusteella suopursun pietaryrtin väriyhdisteet olivat hiukan paremmin pysyneet neulepalan kuiduissa kiinni. Nokkoson vihreää väriä ei erottunut juuri lainkaan verrattuna nollanäytteeseen. Kasvialginaatti -painovärjättyjen neulepalojen värinpysyvyys oli huono ilman alunalsää.



Kuvio 45. Neulepala vesihuuhtelun jälkeen

Huuhteluiden jälkeen väriä ei jäänyt paljoa tekstiileihin (Kuvio 46.) Ilman alunalsää väri ei kiinnittynyt hyvin ja 20 minuutin vesihuuhtelun jälkeen kasvivärit olivat irronneet huokoisen villapalan kuiduista lähes kokonaan. Ennen huuhteluita painovärjätty kohdat olivat helposti mitattavissa, mutta huuhteluiden jälkeen erityisesti nokkos-alginaattipastalla painetun kuvion erottaminen pohjatekstiilistä tuotti vaikeuksia.



Kuvio 46. Nokkos-, suopursu- ja pietaryrtti -alginaattipainovärjättyt neulepalat huuhteluiden jälkeen

Konica Minolta mittauspään kohdistamisessa painovärialueelle oli hieman vaikeuksia molemmilla kasviväripainotekniikalla värjättyjen tekstiilinäytteiden mittaamisessa. Painoväriin kuviot olivat pinta-alaltaan pieniä, keskimäärin viisi millimetriä ja itse mittauspään läpimitta oli kahdeksan millimetriä. Tekstiilinäytteen värimittausalojen tarkasta kohdistamisessa huolimatta mukaan tuli värjäytymättöä pohjatekstiilimateriaalia.

6.5 Mittaustulosten yhteenveto

Seuraavassa taulukossa 3. on koonti tekstiilinäytteiden parhaimmista värjäystuloksista. Taulukkoon on huomioitu matalat parametri L*-arvot, jotka viittaavat kasvivärien tummuuteen. Parametrit a* ja b*-arvoissa on huomioitu vaaka-akselien korkeimmat arvot, jotka viittaavat värjättyjen tekstiilinäytteiden värikylläisyyksien voimakkuuksiin. Painovärjättyjen tekstiilinäytteiden värjäystuloksista on huomioitu huuhteluiden jälkeen mitatut arvot. Taulukkokerkinnät selkeyttävät, että millä kasvilla oli paras värinsaanto ja vastaavasti näiden kasviyhdisteiden siirtyminen tekstiiliin.

Taulukko 3. Kasvikohtaisten värjäysmenetelmien parhaat parametri L*a*b*-arvot

Kasvikohtainen värjäysmenetelmä	Neulahuovutettu villa			Kudottu neulepala		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
nokkonen-vesiliuos (dip and dry)						
suopursu-vesiliuos (dip and dry)						
pietaryrtti-vesiliuos (dip and dry)						
nokkonen-etanoliliuos (dip and dry)						
suopursu-etanoliliuos (dip and dry)						
pietaryrtti-etanoliliuos (dip and dry)						
nokkonen Printex BF -painovärjäys						
suopursu Printex BF -painovärjäys						
pietaryrtti Printex BF -painovärjäys						
nokkonen alginaatti -painovärjäys						
suopursu alginaatti -painovärjäys						
pietaryrtti alginaatti -painovärjäys						

6.6 Johtopäätökset

Menetelmävertailussa keskityttiin vesi- ja etanolipohjaisten kasvivärjäysmenetelmien parhaaseen värjäytymistulokseen. Kokonaisuudessaan visuaalisesti tarkasteltuna kaikkien kasvien esikäsittelyissä molemmilla uuttomenetelmillä tuli hyvä värisaanto ja värien siirtyminen tekstiilinäytteisiin. Värimittaustulosten perusteella yksityiskohtaisemmin tarkasteltuna pietaryrtti-vesiliuosvärjäyksessä kumpaankin tekstiilinäytteeseen, neulahuovutettuun villapalaan ja kudottuun neulepalaan kiinnittyi hyvin väriyhdisteitä. Pietaryrtin lämpimän keltaista värisävyä siirtyi erityisesti neulahuovutettuun villapalaan.

Etanoliuuttamisen jälkeen nokkosesta siirtyi parhaiten väriyhdisteitä kumpaankin tekstiilinäytteeseen. Etanolin liuotinominaisuuden vuoksi väriyhdisteiden/pigmenttien irtoaminen värjäysliemeen oli tehokkaampaa. Etanoli oli parantanut kasviväriliuoksen muidenkin värisävyjen voimakkuutta. Etanoli-kasvivärjäysten jälkeen tekstiilinäytteiden keltaisen ja vihreän värisävyt olivat kirkkaampia kuin kasvivesiliuoksissa värjätyt tekstiilinäytteet. Vesi- ja etanoliliuos -värjäysmenetelmissä tekstiilinäytteitä ei värjäysten jälkeen huuhdeltu, joten värien pysyvyydestä ja voimakkuudesta ei ole vielä tuloksia.

Kasvivesiliuospohjaisessa Printex BF -painopastavärjäyksessä nokkosesta oli siirtynyt parhaiten väriyhdisteitä tekstiileihin. Värimittaustuloksissa ilmeni mielenkiintoinen poikkeavuus siinä, että nokkosella värjätyt tekstiilinäytteet mittaustulokseksi saatiin positiivinen a^* -arvo, joka viittaa punaiseen värisävyyteen. Nokkosen oman voimakkaan vihreän vuoksi a^* -arvon olettaisi olleen negatiivinen eli vihreää värisävyä.

Alginaatti-painopastan valmistuksessa käytettiin myös kasvivesiliuosta, joten tällä menetelmällä värjätessä suopursusta ja pietaryrtistä oli siirtynyt kohtuullisen hyvin väriyhdisteitä tekstiileihin. Alginaatti-kasviväripastalla painettuihin tekstiileihin kasvivärit kiinnittyivät hyvin, mutta odotetusti vesihuuhteluiden jälkeen tekstiileihin ei jäänyt väriä juuri lainkaan. Alginaatti -kasviväripainovärjäyksessä ei käytetty alunalisää, joten kasvivärit eivät pysyneet tekstiilikuiduissa huuhteluiden jäl-

keen. Näin ollen alginaatti-kasviväripastalla painettujen tekstiilinäytteiden värjäystulokset eivät ole tässä tutkimuksessa tulosten kannalta merkitseviä. Mikäli halutaan jatkossa kokeilla alginaatti-kasviväri -painantaa, niin silloin olisi hyvä esipurettua painettavat tekstiilit etukäteen alunalla.

Kun verrataan yhtä aikaa mittauksista saatuja numeerisia $L^*a^*b^*$ -arvoja ja visuaalisia huomioita, niin tarkasteltavista villakuitunäytteistä neulahuovutettuun villapalaan siirtyi parhaiten kaikkien kasvien väriyhdisteitä. Huokoisen materiaalin ansiosta neulahuovutetut villapalat vettyivät hyvin kasviväriiliuksissa ja värjäytyivät kauttaaltaan tasaisemmin.

Neulepalat olivat tiiviimpää, kudottua tekstiilimateriaalia. Värjäämättömän neulepalan värimittaustulos oli parametri L^* - arvon perusteella matalahko ja neulepala oli visuaalisestikin tummempi ennen värjäyksiä. Neulepalan tummemman pohjaväriin vuoksi kasvivärjäyksissä saatiin vaatimattomammat värisävymuutokset verrattuna vaaleampaan neulahuovuttuun villapalaan. Ainoastaan runsaasti vihreää väriä sisältävässä nokkos-etanoliliuosvärjäyksessä neulepalaan saatiin näkyvämpi värimuutos kuin suopursulla ja pietaryrtillä värjätessä.

Molemmilla kasviväripainopastalla värjättyjen tekstiilinäytteiden mittaussarjoissa huomattiin, että mitä enemmän ja paksulti oli mitattavalla alalla kasviväripastaa, niin sitä enemmän näkyi muutoksia parametreit $L^*a^*b^*$ - mittaustuloksissa. Värien voimakkuuteen vaikuttivat myös tekstiilinäytteiden huokoisuus / tiiviys, väripastan koostumus (vetinen / sopivan paksu / jäykkä, paakkuinen), painokuvion koko ja työntekijän kokemus / käsiala.

7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin vesi- ja etanolipohjaisten kasvivärjäysmenetelmien eroja villatekstiileissä. Kirjallisuuslähteiden mukaan esimerkiksi nokkosen väri ei kiinnity hyvin villaan, mutta värimittaustulosten mukaan neulahuovutettu villa ja kudottu neule värjäytyivät hyvin. Ultraäänitehostetussa kasviväriliuosten uuttamisessa ilmeisesti oli irronnut kasviväriyhdisteitä niin vesi- kuin etanolipohjaisiin liuoksiin, että nokkosella värjätessä oli mittaustulosten perusteella saatu merkittäviä muutoksia. Myös Printex BF -painovärjäyksessä nokkosen väriyhdisteet kiinnittyivät hyvin villatekstiilinäytteisiin.

Kirjallisuuslähteiden mukaan kuivatuista pietaryrtin kukinnoista saadaan lämpimän keltainen väri, joten tuorepakastetuista ja ultraäänitehostuksella uutetuista kukinnoista saatiin tässä tutkimuksessa samanlainen väritulos. Jos halutaan kehittää erilaisia ympäristöystävällisiä kasvivärjäystekniikoita ja jos halutaan tietyn tyyppistä värimaailmaa, niin uuttotekniikoiden valinnoilla on merkitystä.

Jatkotutkimuksia voisi tehdä alunapuretetuille tekstiilinäytteille, koska vuoden 2019 F.BAD-hankkeen kokeellisissa kasvivärjäysosioissa kävi ilmi, että alunapuretus vahvistaa värjäystulosta. Esipuretettujen villatekstiilien värimittaustuloksista voitaisiin saada aivan erilaisia tuloksia kuin mitä nyt tässä tutkimuksessa.

Mahdollisesti alunalisällä värien kiinnittyminen villatekstiileihin näkyisi voimakkaampina, syvempinä ja pysyvämpinä värisävyinä. Värimittaustuloksissa parametri L^* -arvot olisivat matalampia, mikä viittaisi tekstiilien värien tummuusasteeseen. Vastaavasti värjättyjen tekstiilien värikylläisyyksien voimakkuudet olisivat verrannollisia parametreit a^* ja b^* -vaaka-akselien korkeimpien arvojen mukaisesti. Mielenkiintoista olisi, että pysyvätkö matalissa lämpötiloissa ja ultraäänitehostuksella värjättyt kasvivärit tekstiileissä vesihuuhteluiden jälkeen. Toisaalta normaaliikäytössäkään villatekstiileitä ei saa pestä liikaa ja niiden puhdistamiseen riittää hyvä tuuletus.

Itselläni kysymyksiä herätti myös Printex BF- nokkospainovärjäyksessä villatekstiilien mittaustuloksissa saadut positiiviset a^* -arvot, jotka viittaavat punaiseen vä-

risävyyn. Sisältävätkö Printex BF paksunnosaine ja aluna ainesosia, jotka yhdessä reagoidessaan nokkosen väriyhdisteiden kanssa muuttivat kasvin vihreää ominaisväriä punaisempaan värisävyyn.

Tutkimuksessa kasvivärjätyille villatekstiilinäytteille tehdään myöhemmin laboratoriotutkimuksia. Villatekstiilinäytteiden värjäyksissä tulleissa muutoksissa, esimerkiksi nokkos-etanoliliuosvärjäyksessä ja pietaryrtti-vesiliuosvärjäyksessä, saatiin merkitsevät värimittaustulokset. Mielenkiintoista on, että löydetäänkö korrelaatiota värimittaustulosten ja fenolisten yhdisteiden pitoisuuksien kanssa.

Tutkimuksessa minulle kuuluva työosuus ei ollut tyypillistä laboratoriotyöskentelyä, mutta minusta oli virkistävää työskennellä täysin erilaisessa tutkimusympäristössä. Tutkimukseen tarvittavien luonnonkasvien keruu oli yksi työn mielekkyyttä lisäävistä työtehtävistä. Kasvien kasvuvaiheiden maastokartoituksilla ja sää tiedotusten seuraamisella oli tärkeä osuus esimerkiksi suunnitellessani töiden rytmittämistä.

Tutkimuksessa järjestelmällinen työskentely ja eri työvaiheiden dokumentointi olivat itselleni luontainen tapa työskennellä. Tekstiilinäytteiden, kasviväriliuosten ja työvaiheiden selkeät merkinnät värjäysten eri prosessien raportoinnissa takasivat sen, että kaikki tutkimuksessa tekemäni työvaiheet, niin onnistumiset kuin epäonnistumiset, ovat jäljitettävissä myöhemmin. Työvaiheiden systemaattinen, pikutarkka raportointi voi kuulostaa tylsältä, mutta raportointikin oli yksi tapa ilmaista itseäni.

Tutkimustyössäkin tulee toisinaan ennakoimattomia tekijöitä mukaan. Jokin menetelmä, reagenssi tai laite ei toimi, joten esimerkiksi etukäteen tehtävillä laite-testauksilla pyrin varmistamaan laitteiden toimintakunnon. Kasvivärjäyksissä oli tarpeen olla myös askeleen edellä ja ennakoida tulevia työvaiheita. Tutkimuksessa töiden oikealla ajoituksella varmistin eri työvaiheiden valmistumisen aikataulussa ennen seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä.

Opinnäytetyöhöni liittyvä tutkimus oli yksi osa-alue laajemmasta tutkimushankkeesta ja tässä tutkimuksessa tarvittiin kykyä tehdä itsenäistä työtä. Itsenäinen työ mahdollisti suunnitella töiden aikataulutukset eli työvaiheiden etenemiset ja

valmistumiset itselleni toimiviksi. Vaikka COVID-19-epidemian vuoksi lähikontakteja rajoitettiin minimiin, niin poikkeusjärjestelyistä huolimatta tutkimuksen valmistelut ja tutkimuksen toteutus onnistuivat mielestäni hyvin. Ennen eri värjäysmenetelmillä tehtävien töiden aloitusta tutkimussuunnitelmat ja työohjeet käytiin läpi yhdessä tutkimustyön ohjaajan, Luken tutkijan kanssa etäyhteydellä. Lisäksi työn ohjaaja oli tavoitettavissa joko puhelimitse tai sähköpostilla, esimerkiksi tutkimuksen toteutuksessa ilmenneissä lisäkysymyksissä.

Luonnonkasveihin ja niiden ominaisuuksiin liittyvä tutkimus on erittäin mielenkiintoinen ja ajankohtainen, koska tässä tutkimuksessa pyritään löytämään luonnonkasvien yhdisteistä ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja tekstiilien ominaisuuksien parantamiseen. Luonnonkasveista saatavia yhdisteitä on tutkittu niin kansallisesti kuin kansainvälisesti ja tutkimuksista on saatu merkittäviä tuloksia. Tutkimustulokset ovat lisänneet luonnonkasveihin liittyvää kiinnostusta muillakin osa-alueilla kuin vain tekstiiliteollisuuden näkökulmasta katsottuna. Mielenkiintoista on, että saadaanko tässä tutkimushankkeen tuloksissa esimerkiksi nokkosesta uutta tietoa, jota voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää muissa tutkimuksissa, kuten tuotantoeläinten tai luonnoneläinten rehuruokinnan kehittämisessä ja parantamisessa.

LÄHTEET

Arnkil, H. 2020. Värijärjestelmät ja väriyökalut. Viitattu 31.5.2020 https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/905495/mod_resource/content/1/Arnkil%20-%20V%C3%A4rij%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20-%20comp.pdf.

Blom, R. 2018. Vaikuttajamedia. Ekolifestyle. Villahousujen pesu ja lanoliinitus. Viitattu 9.10.2020 <https://roosablom.vaikuttajamedia.fi/2018/11/05/villahousujen-pesu-ja-lanoliinitus/>.

Euroopan aluekehitysrahasto 2018. Hankekuvaus A73811, Future Bio-Arctic Design – EURA2014. Viitattu 3.12.2020 <https://www.eura2014.fi/rrtiepa/projekti.php?projektikoodi=A73811>.

European Commission 2018. Developing smart, natural textiles in Lapland. Viitattu 12.5.2020 https://ec.europa.eu/regional_policy/en/newsroom/news/2018/06/21-06-2018-developing-smart-natural-textiles-in-lapland.

Hintsanen, P. 2018. Väriainetyyppejä. Viitattu 14.5.2020 <https://www.coloria.net/fysiikka/variaintyyppit.htm#luonnon>.

Hintsanen, P. 2019. Värjäys – Yleistä. Viitattu 14.5.2020 <https://www.coloria.net/varjays/yleista.htm>.

Hintsanen, P. 2020a. Lehtivihreä, Klorofylli, Klorofyllikuparikompleksi. Viitattu 25.11.2020 <https://www.coloria.net/varit/klorofylli.htm>.

Hintsanen, P. 2020b. Värjäyssanasto. Viitattu 14.5.2020 <https://www.coloria.net/varjays/sanasto.htm>.

HUS 2020. Aineet, kasvit ja sienet. Viitattu 19.5.2020 https://www.hus.fi/haku/myrkytystietokeskus?alphabetical_list=All&item_type=All&page=55.

Israr, A. 2020. Research Gate. Viitattu 20.5.2020 https://www.researchgate.net/figure/A-Three-dimensional-CIELAB-color-space-where-the-L-axis-represents-the-colors_fig2_318751900.

Jaarinen, S. & Niiranen, J. 2008. Laboratorion analyysitekniikka. 5. – 6 painos. Helsinki: Edita.

Khan, N.J., Khan, Z. & Sukhcharn, S. 2016. Stinging nettle (*Urtica dioica* L.): a reservoir of nutrition and bioactive components with great functional potential. Viitattu 29.10.2020 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-016-9410-4>.

Konica Minolta 2020a. Portable Spectrophotometers CM-700d / CM-600d. Viitattu 19.2.2020 <https://www5.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/colour-measurement/spectrophotometers-portable/cm-700d-cm-600d/specifications.html>.

Konica Minolta 2020b. What is CIE 1976 Lab Color Space? Viitattu 19.5.2020 <https://sensing.konicaminolta.asia/what-is-cie-1976-lab-color-space/>.

Kunnas, S. 2020. Näyttemateriaalien esikäsittelyt ja kasvivärjäykset ultraääniavusteisesti -kuvaliite. Sähköposti virpi.kemppainen@edu.lapinamk.fi 28.2.2020. Tulostettu 28.2.2020.

Laurila, M. (toim.) 2018. Kosteikkokasveista uusia elinkeinomahdollisuuksia. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 18/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Viitattu 16.2.2020 http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541748/luke-luobio_18_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Luke 2016. Future Bio-Arctic Design – luonnonmukainen älytekstiili. Viitattu 10.2.2020 <https://www.luke.fi/projektit/f-bad/>.

LuontoPortti 2020. Pietaryrtti. Viitattu 19.5.2020 <http://www.luontoportti.com/suomi/fi/kukkakasvit/pietaryrtti>.

Merino 2020. Miksi merinovilla? Merinovillan ominaisuudet. Viitattu 7.10.2020 <https://merinofin.fi/miksi-merinovilla-merinovillan-ominaisuudet/>.

Mitaten Finland 2015. Värimittauksen perusteet. Miksi värinhallinta on tärkeää? Viitattu 19.2.2020 <http://mitaten.fi/varimittarit.html>.

Mitaten Finland 2016. Väriero. Värierolla on väliä! Viitattu 20.5.2020 <http://mitaten.fi/varimittarit/teoriaa-vaerieroista.html>.

Mitaten Finland 2019. Konica Minolta CM-700d / CM-600d kannettava värimittari. Viitattu 12.2.2020 <http://mitaten.fi/tuotteet/17-suomi/tuoteartikkelit/41-konica-minolta-cm-700d-cm-600d.html>.

Mulo, P. 2016. Miksi lehtivihreä on juuri vihreää? Tiede 6/2016. Viitattu 7.3.2020 https://www.tiede.fi/artikkeli/kysy/miksi_lehtivihrea_on_juuri_vihreaa.

Puntila, M-L. 2010. Lammasyhdistys. Villa. Villan anatomia, ominaisuudet, laatuun vaikuttavat tekijät ja arvostelu. Viitattu 7.10.2020 <http://lammasyhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/03/villamoniste.pdf>.

Pålsson, K., Jaenson, T.G.T., Bäckström, P. & Borg-Karlson, A.-K. 2008. Tick repellent substances in the essential oil of *Tanacetum vulgare*. Viitattu 29.10.2020 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18283947/>.

Riihivilla 2009. Dyeing with natural dyes. Dyeing with rhododendron leaves Rhodonlehdillä värjäystä. Viitattu 25.11.2020 <http://riihivilla.blogspot.com/2009/02/dyeing-with-rhododendron-leaves.html>.

Riihivilla 2020. Dyeing with natural dyes. Puretus, luonnonvärien kiinnittyminen. Viitattu 12.2.2020 <http://riihivilla.blogspot.com/p/puretu.html>.

Ruokavirasto 2020. E401 – natriumalginaatti. Viitattu 7.10.2020 <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/elintarvikeparanteet/lisaaaineet/e-koodit/e401/>.

Räisänen, R., Primetta, A. & Niinimäki, K. 2015. Luonnonväriaineet. Helsinki: Maahenki.

Saamelaisalueen koulutuskeskus & Jääskö, V. 2008. Sisnaa poronnahkaa: Sisnanteon opas. Inari: Saamelaisalueen koulutuskeskus. Viitattu 25.11.2020 http://apumatti.redu.fi/admin/filecontrol/MS_12.pdf.

Salo, K. (toim.) 2015. Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut. Luonnonvarakeskus (Luke). Viitattu 31.5.2020 <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/520558>.

Sundström, E. & Sevelius, I. 2003. Värjäämme yrteillä, sienillä ja jäkälillä. Karkkila: Kustannus-Mäkelä.

Tetri Design 2020. Värjää lankasi vihreäksi nokkosella. Viitattu 6.3.2020 <https://tetridesign.com/varjaa-lankasi-vihreaksi-nokkosella/>.

Tetri, A. & Tuomi, R. 2008. Luonnonvärjäys. Helsinki: Multikustannus.

Tetri, A. & Tuomi, R. 2013. Sienivärjäys. Vantaa: Moreeni.

Tetri, A. & Tuomi, R. 2016. Tekstiilivärjäys. Helsinki: Moreeni.

Tikkurila 2020. Väri fysikaalisena ilmiönä. Viitattu 19.5.2020 <https://tikkurila.fi/pro/artikkeli/vari-fysikaalisena-ilmiona>.

UIAH 2020. Käyttöturvallisuustiedote. Printex BF. Viitattu 7.10.2020 <http://www.uiah.fi/mto/kemikaalit/aineet/printex/printex.htm>.

Winebridge, I. 2020a. Varvut värjärin padassa. Viitattu 6.3.2020 <http://viinasilta.blogspot.com/p/varvut-varjarin-padassa.html>.

Winebridge, I. 2020b. Vihreät kasvit värjärin padassa. Viitattu 14.5.2020 http://viinasilta.blogspot.com/p/blog-page_16.html.

Ylhäinen, A. 2012. Gelcoat- ja maalinäytteiden väri- ja kiiltomittaukset. Tutkimusraportti no. MAT12-15050-007. Energia- ja ympäristötekniikan laitos. Mikkelin ammattikorkeakoulu Oy. Viitattu 19.5.2020 http://www.finnboat.fi/linked/fi/Tutkimusraportti_MAT12-15050-007_Gelcoat_in_varimittaukset_korjattu_versio.pdf.