Tampereen yliopisto

Elli Oksanen

LAMPAANVILLAN KÄSITTELY KUTISTUMISEN VÄHENTÄMISEKSI

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta

Kandidaatin tutkielma

Maaliskuu 2025

TIIVISTELMÄ

Elli Oksanen: Lampaanvillan käsittely kutistumisen vähentämiseksi, Methods for shrink-proofing sheep wool
Kandidaatin työ
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaatinohjelma, Materiaalitekniikka
Maaliskuu 2025

Nyky-yhteiskunnassa tekstiileiltä vaaditaan konepesun kestoa. Tämä koskee myös villasta valmistettuja tuotteita. Villavaatteet kutistuvat pesussa ja se lyhentää niiden käyttöikää ja vähentää käyttömukavuutta. Tässä työssä tarkastellaan villakuitua, sen kutistumista ja eri menetelmiä kutistumisen vähentämiseksi.

Villakuidun pinnan suomurakenne aiheuttaa kuituun kitkakerroineron. Pestessä villasta valmistettua vaatetekstiiliä pesukoneessa, villa joutuu märkänä mekaanisen työn kohteeksi, jolloin se kutistuu. Kutistumista tapahtuu, kun kuidut jäävät kitkakerroineron vuoksi kiinni toisiinsa muodostaen solmuja. Kun kuituihin kohdistuu voimaa, ne pääsevät liikkumaan vain tiettyyn suuntaan. Kuitujen pituus lyhenee, ja isommassa mittakaavassa vaatetekstiilin pinta-ala pienenee, eli se kutistuu.

Kutistumista voidaan ehkäistä monilla eri keinoilla. Kaikkien keinojen tavoitteena on pienentää kitkakerroineron vaikutusta ja joko helpottaa kuituja liikkumaan toistensa lomitse tai estää liikettä tapahtumasta. Menetelmät voidaan jakaa kemiallisiin ja fysikaalisiin menetelmiin. Kemiallisissa menetelmissä jokin kemiallinen aine reagoi kuidun pinnan kanssa. Fysikaalisilla menetelmillä aiheutetaan kuidun pinnan kemialliseen rakenteeseen muutoksia esimerkiksi ultraviolettisäteillä tai plasmalla.

Tällä hetkellä käytetyin kutistumisen estokeino on kloori-Hercosett-menetelmä, jossa kloorilla kuidun pinta esikäsitellään hapettamalla sidoksia rikki, jonka jälkeen pinta päällystetään polymeerillä. Menetelmä on tehokas, mutta klooriyhdisteet ovat ympäristölle haitallisia. Menetelmälle pyritään kehittämään ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja.

Tämän kirjallisuuskatsauksen perusteella mahdollisia tulevaisuuden menetelmiä ovat erilaiset esikäsittelyt yhdistettynä polymeeripäällystykseen. Erityisesti plasma ja entsyymit ovat ympäristön kannalta hyviä esikäsittelyitä. Lisäksi ultraviolettisäteilyn ja silkin valmistuksesta sivutuotteena saatavan serisiini-polymeerin yhdistämistä on tutkittu. Vaihtoehtoiset keinot ovat kalliita toteuttaa ja prosessin teho ei yllä kloori-Hercosett-käsittelyn tasolle.

Avainsanat: Kutistuminen, lampaanvilla, konepestävä

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei
☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia: ChatGPT

Tekoälysovellusten nimet ja versiot:
-ChatGPT-3.5

Käyttötarkoitus: Käytin tekoälyä työn alussa antamaan ideoita näkökulmista työn rajaamiseen. Lisäksi olen käyttänyt tekoälyä lähteiden kielen kääntämiseen laajasti. Olen myös pyytänyt tekoälyä tekemään tiivistelmiä lähteistä. Työn loppuvaiheessa pyysin tekoälyä arvioimaan työn selkeyttä.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty:
Lähteiden kääntäminen: Johdanto, luvut 2-4.
Työn selkeyden arvioiminen: Luku 4 ja yhteenveto

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. VILLA 2
2.1 Villalangan ja -kankaan valmistus 2
2.2 Kuidun rakenne 4
2.3 Tärkeät perusominaisuudet 5
3. KUTISTUMINEN 7
4. KÄSITTELYT KUTISTUMISEN VÄHENTÄMISEKSI 10
4.1 Kemialliset menetelmät 10
4.1.1 Kloorikäsittely 10
4.1.2 Muut hapettavat käsittelyt 12
4.1.3 Entsyymit 12
4.1.4 Polymeeripäällystys 13
4.2 Fysikaaliset menetelmät 15
4.2.1 Plasma 15
4.2.2 Ultraviolettisäteily 15
4.3 Menetelmien vertailu 16
5. YHTEENVETO 19
LÄHTEET 20

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DCCA	engl. dichloroisocyanuric acid, dikloori-isosyanuurihappo
Hercosett 125	engl. polyamide-epichlorohydrin resin, polyaminoamidi- epikloori-hydriini
pH	engl. Potential of hydrogen, happamuusasteikko
PMS	engl. Peroxymonosulfuric acid, peroksirikkihappo
UV-säteily	Ultraviolettisäteily

1. JOHDANTO

Villa on eläinperäinen kuitu, jota käytetään laajalti tekstiileissä eri käyttökohteissa. Villa on luonnostaan lämpöä eristävä, pehmeä ja joustava. Nämä ominaisuudet tekevät villasta suositun materiaalin vaatetekstiileissä. Villakuidun rakenteen takia se kutistuu herkästi mekaanisen käsittelyn vaikutuksesta kosteassa ympäristössä. Käsittelemättömänä pesukoneessa villatekstiilit kutistuvat. [1] Keinoja vähentää villan kutistumista on kehitetty ja konepesunkesto on saavutettu usealla eri menetelmällä. Noin 70 % konepestävistä villatekstiileistä käsitellään kloori-Hercosett-menetelmällä. Käsittelyn aikana vesistöön joutuvat klooriyhdisteet ovat ympäristölle haitallisia, ja menetelmälle pyritään jatkuvasti kehittämään yhtä tehokasta, mutta ympäristön kannalta parempaa tapaa käsitellä kuidut. [2]

Tämän työn tavoitteena on kirjallisuuskatsauksen muodossa selvittää mistä lampaanvillan kutistuminen johtuu. Lisäksi työssä vertaillaan kutistumista vähentäviä menetelmiä ja pyritään löytämään paras käsittely kutistumisen ehkäisemiseksi. Kutistumiseneston lisäksi vertailussa otetaan huomioon menetelmien vaikutukset ympäristöön sekä villan muihin ominaisuuksiin.

Työ jakautuu kolmeen osaan. Teoriaosuudessa käsitellään villan valmistusmenetelmiä, sen rakennetta ja tärkeitä perusominaisuuksia. Tämän jälkeen luvussa 3 käsitellään kutistumista, määritellään kutistumisen eri luokat ja tarkastellaan, mistä se johtuu. Lopuksi esitellään kirjallisuudesta löytyviä käsittelyjä ja keinoja kutistumisen vähentämiseksi sekä vertaillaan näitä ympäristön vaikutusten, kutistumisen eston ja villan muiden ominaisuuksien säilymisen kannalta. Työssä käsitellään villakuitua, -lankaa ja -kangasta. Työssä keskitytään 100 % lampaanvillaan ja villasekoitteet jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

2. VILLA

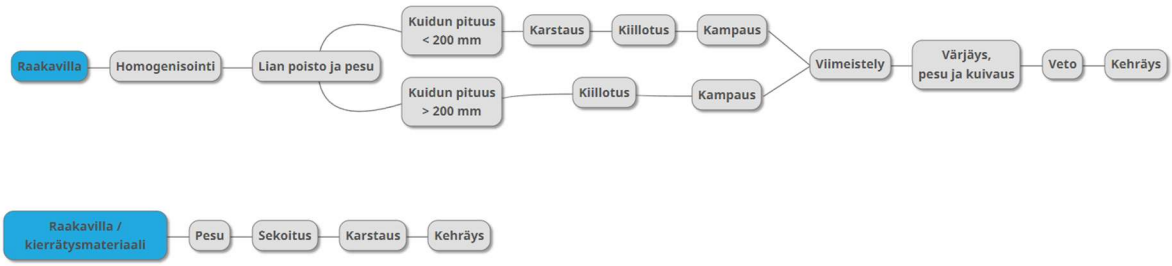
Työssä käsitellään lampaanvillaa, joka kuuluu eläinkuituihin. Eläinkuituja ovat muun muassa lampaan-, kashmirvuohen-, angoravuohen-, kamelin- ja alpakanvillat. [1] Lampaanvillaa tuotetaan ympäri maailman. Villan tuotanto on merkittävää muun muassa Kiinassa, Australiassa ja Uudessa-Seelannissa. [1] Tuotetusta villasta 56 % käytetään vaatetukseen, 42 % kodin tekstiileihin ja 2 % teollisuuden sovelluksiin [3]. Vaatetusta ovat muun muassa villapaidat ja -hameet, kun taas kodintekstiileihin luetaan esimerkiksi viltit. Teollisuuden sovelluksiin kuuluu esimerkiksi villan käyttö akustisissa paneeleissa [4].

Villa on yleinen nimitys materiaalille, jota tässä työssä käsitellään. Villakuidulla tarkoitetaan yksittäistä karvaa, joka kasvaa nahan ulkopuolella [5]. Työssä käytetään tästä eteenpäin termiä villa, kun puhutaan materiaalista yleisesti ja termiä kuitu, kun halutaan tarkastella villaa pienemmässä mittakaavassa.

2.1 Villalangan ja -kankaan valmistus

Villa keritään lampaasta tyypillisesti kerran tai kaksi vuodessa [1]. Villaa kutsutaan raakavillaksi, ennen mitään käsittelyjä [5]. Keritty villa pestään huolellisesti, sillä se saattaa sisältää jopa 80 painoprosenttia epäpuhtauksia, kuten hikeä ja villarasvaa [1]. Pesemisen jälkeen villa lajitellaan. On olemassa satoja villaa tuottavia lammasrotuja, joita jaotellaan muun muassa eri villatyyppien mukaan. On pelkkää alusvillaa tuottavia, pelkkää peitinvillaa tuottavia, edellisten kahden risteytyksiä ja sekavillaa tuottavia rotuja. Villatyyppien erottelun lisäksi, villoja lajitellaan niiden laadun mukaan. Laatua arvioidaan puhtauden, pituuden, lujuuden, värin ja kuituvikojen perusteella. Lisäksi yksi arvioitava kriteeri on villan hienous eli sen kiharuus. Mitä kiharampi villa, sitä hienompi se on. Hienommasta villasta saadaan tehtyä ohuempaa lankaa ja kangasta. [1,5,6]

Villakuidun pituus määrittää villalangan valmistusmenetelmän valinnan. Lankaa voidaan valmistaa pääasiallisesti kahdella tavalla: kampavilla- ja karstavillatekniikoilla. Pitkät villakuidut valmistetaan kampavilla- ja lyhyemmät karstavillatekniikalla. Kampavillamenetelmällä valmistamalla saadaan laadukasta ohutta lankaa, josta voidaan valmistaa esimerkiksi hansikkaita, vauvan vaatteita tai muita hienompia tekstiileitä. Karstavillamenetelmällä taas saadaan karkeampaa lankaa, joka soveltuu paremmin esimerkiksi ulkoiluvaatteisiin ja hattuihin. [7]



Kuva 1. Yllä kampavilla- ja alla karstavillatekniikan vaiheita [3]

Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettuna vaiheittain kampavilla- ja karstavillatekniikat. Kampavillatekniikassa on enemmän vaiheita, joissa kaikissa pyritään tekemään langasta sileämpää ja ohuempaa. Alussa raakavilla homogenisoidaan eli lajitellaan ja sekoitetaan. Sen jälkeen villa pestään huolellisesti, jotta raakavillan sisältämät epäpuhtaudet eivät pääsisi vaikuttamaan valmiin tuotteen ominaisuuksiin tai sen puhtauteen. [3] Pesuvaiheessa käsiteltävän villan massa pienenee, sillä iso osa raakavillasta on epäpuhtauksia [1]. Pesun jälkeen villa vielä lajitellaan kuidun pituuden mukaan. Alle 200 mm:n kuidut karstataan, kiillotetaan ja kammataan, kun taas yli 200 mm:n kuiduille riittää pelkkä kiillotus ja kampaus. Karstaamalla varmistetaan kuitujen yhdensuuntaisuus. Viimeistelyvaiheessa villa värjätään, pestään ja kuivataan. [3,8] Tässä vaiheessa villa on isona yhtenäisenä irtovillana, josta valmistetaan kehräämällä lankaa. Kampavillamenetelmän vetovaiheessa irtovilla valmistellaan kehräämistä varten, vetämällä siitä yhdensuuntaista ohutta esilankaa. Lopuksi villa kehrätään langaksi. [5]

Karstavillamenetelmässä voidaan raaka-aineena käyttää lyhyempiä kuituja kuin kampavillamenetelmässä. Villa pestään ja sitten se homogenisoidaan eli sekoitetaan hyvin. Tämän jälkeen villa karstataan ja kehrätään langaksi. [6] Karstavillamenetelmällä lopputuote on karkeampaa ja ilmavampaa eivätkä kaikki kuidut ole valmiissa tuotteessa yhdensuuntaisia [8].

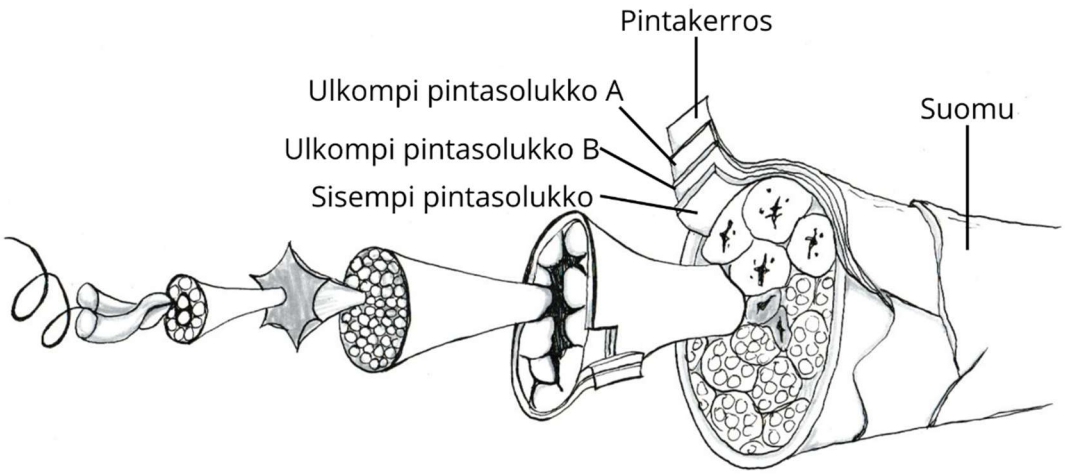
Villalangoista valmistetaan tasomaisia tekstiilejä kutomalla ja neulomalla. Kutomalla valmistetaan kangas, jossa langat risteävät toistensa kanssa muodostaen yhtenäisen rakenteen. Neulomalla voidaan valmistaa suoraan valmis tuote, neulos tai kankaan tapainen tasomainen tekstiili. Neuloksessa silmukat sitovat langat toisiinsa. Kankaan ominaisuudet riippuvat siihen käytetystä langasta sekä valmistusmenetelmästä. [5]

2.2 Kuidun rakenne

Villa on luonnon eläinkuitu, joka koostuu proteiineista eli keratiineista [2]. Kuitu kasvaa nahan pintakerroksesta hiuspussista. Kasvaessa siihen muodostuu useita kerroksia. Täysikasvuisesta kuidusta on havaittavissa kolme eri pääaluetta: pintakerros, sisäkerros ja ydinkanava. Ydinkanava esiintyy vain karkeilla kuiduilla. [1,2]

Koko pintakerrosta kutsutaan nimellä suomukerros, ja se jakautuu pintakerrokseen, ulompaan pintasolukkoon ja sisempään pintasolukkoon. Ulompi pintasolukko voidaan vielä jakaa kahteen kerrokseen: A ja B. Kerros A on ulompana suoraan pintakerroksen alla, kerros B taas on suoraan kerroksen A alla. Nämä osuudet on merkitty kuvaan 2 erillisinä kerroksina. [9] Ulommaisen ohuen pintakerroksen tarkoituksena on suojata kuitua esimerkiksi sään vaikutuksilta [5].

Kuvassa 2 on havaittavissa kuidun suomumainen rakenne. Suomut avautuvat kohti latvaa, ja niiden muoto vaihtelee rodun ja iän mukaan. Suomukerros muodostuu amorfisista proteiineista, jotka ovat kiinnittyneet toisiinsa. [1,9,10] Juuri kuidun suomumaisella rakenteella on suurin vaikutus kutistumisen säätelyyn [9].

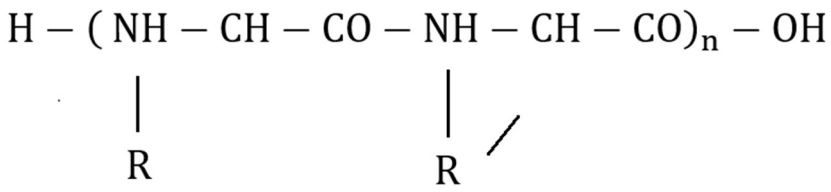


Kuva 2. Villakuidun rakenne [9]

Sisäkerros sisältää kuidun runkosolut, jotka määräävät kuidun lujuuden, pehmeyden ja venyvyyden. Lisäksi sisäkerros aiheuttaa karvalle sen tyypillisen kiharan muodon eli

määri. Kihartuminen tapahtuu, kun sisäkerroksen kaksi osaa kasvavat eri tahtia, jolloin niiden kristalloitumisaste on eri. [5] Sisäkerroksen aminohappoketjujen väliset sidokset tekevät kuidusta lujan. Jos sidokset menevät rikki, kuidun mittapysyvyys kärsii. [2]

Villan kemiallinen rakenne koostuu molekyylirungosta ja siihen kiinnittyvistä aminohapporyhmistä. Aminohapporyhmät määräävät kemialliset ja mekaaniset ominaisuudet kuidulle. [10] Kuvassa 3 on piirretty villan molekyylirakenne, jossa R-kirjaimet kuvaavat villan eri aminohapporyhmiä. Ryhmiä on 18, mukaan lukien kysteiini ja tyrosiini [2]. Solurakenne ja proteiinit sekä niiden järjestäytyminen aiheuttavat villalle sen fysikaaliset ominaisuudet kuten kimmoisuuden ja vahvuuden [11]. Aminohapporyhmät muodostavat molekyylien välille sidoksia, jotka vahvistavat kuidun rakennetta. Vahvistavia sidoksia ovat sähköiset van der Waalsin voimat, vetysidokset, suolasillat sekä kystiinisidokset. Kystiinisidokset yhdistävät villan eri molekyylejä toisiinsa kovalenttisidoksilla. [1]



Kuva 3. Villan molekyylirakenne [1]

2.3 Tärkeät perusominaisuudet

Villan hyviä ominaisuuksia erityisesti vaatetarkoituksessa ovat lämmöneristyskyky, kosteudensiirtokyky, joustavuus sekä värjäytyvyys. Villa palautuu venytyksestä ja painaumista hyvin, eikä se rypisty. Lisäksi kuidun suomurakenne hylkii vettä ja likaa. Villa on luonnostaan paloturvallinen, sillä tuli kytee villassa eikä lähde leviämään. [12] Villa kestää huonosti emäksiä mutta suhteellisen hyvin happoja. Luonnostaan villa kestää huonosti tuhoeläimiä. [1] Moni villan heikkouksista liittyy veteen. Märkänä sen lujuus heikkenee ja se menettää muotonsa pestäessä. [12] Lisäksi nyppyyntyminen, eli esiin työntyvien kuidun päiden sotkeutuminen toisiinsa, on tekstiileissä vältettävä ominaisuus [1].

Villan tuotannossa ja esimerkiksi lampaiden jalostuksessa seurattavia ominaisuuksia ovat muun muassa kuidun halkaisija, pituus, lujuus ja kiharuus [3]. Prosessoinnin (kampavilla) aikana seurataan tärkeimpinä myötymää, kuidun halkaisijaa sekä lian määrää. Näillä ominaisuuksilla on suurin vaikutus prosessin aikana. Lisäksi seurataan värimuutoksia, pituuden ja halkaisijan vaihtelevuutta sekä eri kuitujen alkuperää, esimerkiksi lampaan rotua ja kuidun ikää. [3] Villan ominaisuuksiin vaikuttaa lampaan elinympäristö ja ravinto. Ympäristötekijät vaikuttavat esimerkiksi villan kosteuspitoisuuteen. Kosteuspitoisuuden kasvaminen vaikuttaa merkittävästi kimmokertoimeen ja murtovenymään, sekä materiaalille ominaisiin lämpötiloihin, kuten sulamiseen ja lasisiirtymään. [10]

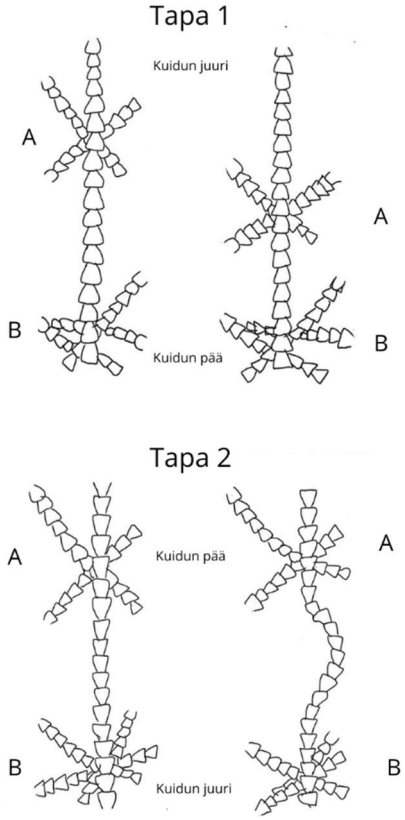
3. KUTISTUMINEN

Villan kutistuminen voidaan jakaa pääasiassa kahteen eri luokkaan: huopuminen ja kuitujen relaksaatiosta johtuva kutistuminen. Huopumista ilmenee, kun kuidut ovat liikkeessä toisiaan vasten kosteassa ympäristössä. Kuitujen relaksoituminen tarkoittaa jäännösjännitysten vapautumista, jolloin villa pääsee kutistumaan. [2,13]

Villan huopumiskyky eli sen vanuvuus tarkoittaa kuitujen takertumista toisiinsa kiinni. Sitä esiintyy, kun kuitua käsitellään mekaanisesti emäksisessä tai happamassa ympäristössä. Esimerkiksi pesukoneessa pesuaineen emäksisyys ja linkoaminen aiheuttavat huopumista, mikä johtaa myös tekstiilin kutistumiseen. [1,5]

Kuitujen takertuminen toisiinsa johtuu kuidun pinnan suomurakenteesta. Suomumainen pinta aiheuttaa eri suuruiset kitkakertoimet eri suunnista kuitua tarkasteltuna. Kitkaeron vaikutuksesta kuidut liikkuvat valikoivasti toisiinsa nähden. Kuidun suuntaisen kitkakertoimen ollessa pienempi kuin kuitua vasten, kukin kuitu liikkuu kohti omaa juurtaan. Toisiinsa takertuneet kuidut pyrkivät liikkumaan eri suuntiin, jolloin syntyy solmuja, jonka seurauksena kuidut lyhenevät ja kankaan pinta-ala pienenee. [9]

Kun kuidut joutuvat puristavan voiman alaisiksi, Shorterin mukaan on olemassa kaksi pääasiallista tapaa, miten yksittäiset kuidut kutistuvat [9]. Kumpikin tapaus on kuvattu kuvassa 4 esiintyvien esimerkkien kautta. Esimerkeissä yksittäisessä kuidussa on kaksi kohtaa, joissa useampi kuitu risteää muodostaen solmun. Toinen solmu on löysempi ja toinen tiukempi. Tiukemmassa oleva solmu ei pääse liikkumaan mihinkään, ja kuitu on siitä kohtaa paikallaan. Löysempikään solmu ei pysty liikkumaan itse kuituun nähden, mutta se pystyy liikkumaan suhteessa ympäristöön. Tavassa 1 kutistua, tiukempi solmu on kuidun päässä ja tavassa 2 solmu on kuidun juuressa. [9]



Kuva 4. Kutistuminen kuidun huopuessa [9]

Tavan 1 mukaisesti kuidussa olevien solmujen välinen etäisyys lyhenee ja kuitu kokonaisuudessaan kutistuu. Solmu A liikkuu niin kauan kohti kuidun juurta, kunnes jännitys pysäyttää sen. Pesun aiheuttama mekaaninen työ aiheuttaa kuidussa löystymistä ja solmu A pääsee taas liikkumaan kohti juurta. Kuitusolmu A ei pääse liikkumaan takaisin päin, suomurakenteen aiheuttaman kitkan vuoksi, joten kuidun rakenne tiivistyy solmujen välillä niin paljon, kuin sen on mahdollista kutistua. Tavassa 2, tiukempi solmu B on lähellä kuidun juurta. Kuidun yläosassa oleva löysempi solmu A liikkuu kohti juurta, välissä olevan kuitukappaleen taittuessa silmukan muotoon. [9]

Kutistumiseen vaikuttaa lisäksi moni muukin ominaisuus, kuin kuidunpinnan kitka. Villakuidun pituus vaikuttaa tutkimusten mukaan kutistumiseen enemmän kuin kuidun hienous. [14] Kuidun hienouden ja huopumisen välille ei voida vetää suoraa korrelaatiota. Tutkimuksen mukaan hienompi kuitu on joissain tapauksissa alttiimpi huopumiselle, kuin karkeampi ja paksumpi kuitu. Vaikutus on kuitenkin pieni ja artikkelissa mainitaan kuidun kiharuuden ja sääolojen vaikuttavan enemmän kuin sen halkaisijan. [14]

Kutistuminen ei aina ole epätoivottu seuraus. Vanuttaessa valmistetaan huopunutta kangasta. Kankaasta halutaan paksumpi, jolloin sen lujuus kasvaa ja ilmanläpäisevyys pienenee. Näitä ominaisuuksia vaaditaan esimerkiksi villakangastakeilta. Myös esimerkiksi biljardipöydän kankaat, armeijan varusteet ja hatut valmistetaan vanutetusta villakankaasta. [14,15] Vanuttaessa kangasta kuidut käyttäytyvät edellä kuvatun tavan 1 mukaisesti [9].

Relaksaatiosta johtuva kutistuminen johtuu jäännösjännitysten häviämisestä. Jäännösjännityksiä syntyy valmistuksen eri vaiheissa kuten vedon, kehräyksen, värjäyksen tai viimeistelyn aikana. Jäännösjännitykset ilmenevät väliaikaisina sidoksina muun muassa aminohapporyhmien välillä. Vetysidokset ja ionisillat ovat yleisimpiä syntyneistä sidoksista. Nämä sidokset reagoivat veden kanssa ja aukeavat. Ennen laukeamista, lanka tai kangas on virittynyt prosessoinnin myötä pitkäksi, työstösuunnan mukaisesti. Sidosten ratketessa materiaali pääsee kutistumaan jännityksestä vapautuneeseen mittaan ja muotoon. Pelkkä vesi ei kuitenkaan aina riitä jäännösjännitysten purkamiseen ja joskus siihen tarvitaan esimerkiksi liuotinta. [9,14]

4. KÄSITTELYT KUTISTUMISEN VÄHENTÄMISEKSI

Suurin osa kutistumisen estokeinoista pyrkivät vaikuttamaan kuidunpintaan, jotta kuidun muut ominaisuudet pysyvät koskemattomina. Käsittelyt on jaettu kemiallisiin ja fysikaalisiin menetelmiin, joista kummassakin pyrkimyksenä on pienentää kuidun luontaista kitkaeroa. [2,14]

Villa saa kansainvälisen Woolmark sertifikaatin, jos se täyttää asetetut kriteerit. Työssä puhutaan villatuotteiden konepesusta ja sen kestämisestä. Woolmarkin mukaan tässä työssä käsiteltävä villatuote, esimerkiksi hame, on konepesunkestävä, jos se kutistuu pituussuunnassa maksimissaan 5 %. Eri tuotteiden välillä sertifikaatin rajat vaihtelevat, mutta suurimmassa osassa 5-10 %:n kutistuminen on sallittua. [16]

4.1 Kemialliset menetelmät

Kuidun kemiallinen käsittely on yleinen tapa kutistumisen estämiseksi. Käsittelyllä pyritään muokkaamaan kuidun pintaa siten, että kitkaerot tasoittuvat. Kemiallisilla menetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joissa kemiallinen aine reagoi kuidun pinnassa vaikuttaen suomukerroksessa. Kemialliset reaktiot usein tasoittavat suomuja poistaen niitä osittain, tai saamalla suomujen reunat syöpymään tasaisemmaksi ja hitsaantumaan kiinni. Kemiallisten reaktioiden seurauksena kuidut voivat myös kiinnittyä itsestään toisiinsa muodostamalla sidoksia kuitujen välille. Lisäksi kemialliset menetelmät sisältävät kuidun päällystämisen suojaavalla polymeerikerroksella. [14]

4.1.1 Kloorikäsittely

Klooriyhdisteiden käyttö kutistumisen estossa on tällä hetkellä kaikkein käytetyin ja tehokkain keino. Villan käsittelyssä kloori toimii hapettimena. Se reagoi kuidun ulomman pintasolukko A:n sisältämien aminohappojen kanssa, poistaen niitä ja syövyttäen suomun reunoja sileämmiksi. Kloori vaikuttaa myös aminohappojen välisiin peptidisidoksiin hajottaen niitä. Kloorilla käsittely poistaa pinnan rasvoja, mikä helpottaa kuitua luomaan sidoksia toisten kuitujen tai päällystyspolymeerin kanssa. Yhdessä kaikki kloorin aiheuttamat reaktiot tekevät kuidun pinnasta hydrofiilisemmän. Kun käsitelty kuitu kastetaan veteen, vesi turvottaa kuitua ja tekee siitä pehmeämpää. Suomut pääsevät liukumaan toistensa yli niiden kasvaneen viskoelastisuuden ja pehmeyden myötä. [9,11,14]

Käsittelyn myötä pinnan kitka kasvaa niin kuidun myötäisesti, kuin sitä vastaan. Kitkojen kasvu vaikeuttaa kuitujen liikettä ja kitkaeron pieneneminen taas helpottaa kuituja liukumaan toisiaan vasten. [9,11] Esimerkki kuidun kitkojen ja kitkaeron muutoksesta on esitetty taulukossa 1. Esimerkissä villa on kloorattu vedessä ilman erillistä kostutusainetta ja ominaisuudet on mitattu märästä villasta [9].

Taulukko 1. Kloorikäsittelemättömän ja -käsitellyn kuidun kitkat ja kitkaero [9]

	Kuidun myötäinen kitka	**Kuidun vastainen kitka**	**Kitkaero**
Käsittelemätön kuitu	0,21	0,37	0,16
Käsitelty kuitu	0,91	0,92	0,01

Kloorausta voidaan käyttää sellaisenaan kuidun käsittelyyn mutta yleisimmin sitä käytetään yhdessä polymeeripäällystyksen kanssa [14]. Kloori-Hercosett-käsittely tehdään noin 70 %:lle konepestävistä villatuotteista [2]. Kloori-Hercosett-käsittelyssä villa ensin hapetetaan kloorilla, jonka jälkeen kuidut päällystetään polyaminoamidi- epikloorihydriinihartsilla (Hercosett 125). Kuidun päällystäminen sulkee suomut ja kitkaerot eri suuntiin häviävät. Kloori rikkoo sidoksia kuidun pinnasta, jotta hartsi voi muodostaa kovalenttisia sidoksia kuituun. [2,14]

Tavallisessa kloori-Hercosett-menetelmässä käytetään hapettimena natriumhypokloriittia, sen hinnan ja tehokkuuden vuoksi. Käsittely kuitenkin tarvitsee neutralisoinnin ja sen vuoksi teollisuudessa vaatteiden ja kankaiden käsittelyssä käytetään myös diklooriisosyanuurihappoa (DCCA). DCCA:n sisältämä kloori reagoi hitaammin kuidun kanssa ja reaktiota voidaan säädellä lämpötilalla ja happamuusasteikolla (pH). Vaikka tällä tavoin reaktiota on helpompi säädellä, on se kuitenkin kalliimpaa ja jälki ei ole yhtä tasaista. [2]

Materiaalihävikki eri käsittelyn vaiheissa, kuidun kellastuminen ja värjäyksen vaikeutuminen sekä ympäristölle haitallisten aineiden käyttö ovat kloori-Hercosett-menetelmän huonoja puolia. Ympäristölle haitallisten yhdisteiden määrää prosessin aikana on kuitenkin mahdollista rajata. Kloorikäsittelyt ovat edullisia ja tehokkaita, minkä vuoksi ne ovat

edelleen suosituimpia keinoja vähentää kutistumista. Ympäristön huomioiminen teollisuuden sovelluksissa on kuitenkin ohjannut kehitystyötä poispäin klooraukseesta. [2,9,11]

4.1.2 Muut hapettavat käsittelyt

Kloori toimii hapettavana aineena villan käsittelyssä. Korvaavia vaihtoehtoja kloorille on kehitetty, mutta mikään ei ole päätynyt teollisen mittakaavan sovelluksiin kustannusten ja energiankäytön haasteiden vuoksi. Klooraukseen hapettava vaikutus saadaan myös käyttämällä muun muassa perhappoja, joista erityisesti peroksirikkihappoa (PMS) sekä kaliumpermanganaattia. Aineita käytetään tavallisesti epäorgaanisten suolojen liuoksissa ja niiden tehtävänä on rajoittaa suomujen turpoamista, jotta reaktiot saadaan rajattua tapahtumaan vain kuidun pinnalla. [2,9,14]

Perhappojen vaikutus kutistumisen estoon on pieni, ellei hapon konsentraatiota nosteta korkeammaksi. Tarpeeksi korkea konsentraatio, kutistumisen eston kannalta on liian kova kuidulle, ja sen muut ominaisuudet kärsivät. Lisäksi konepesunkeston saavuttamisen jälkeen taso ei pysy yllä useamman pesun ajan. [2] Käsittelyn aikana hapettamisen jälkeen villalle tehdään pelkistys. Pelkistettäessä kuidut käsitellään natriumsulfiitilla tai natriumvetysulfiitilla. Pelkällä PMS:llä tai muulla perhapolla käsittely on vähemmän tehokasta kuin klooraus. Ero voi johtua muun muassa siitä, että klooraus vaikuttaa myös peptidisidoksiin ja pinnan rasvoihin. Happoja käytettäessä nämä kutistumisen eston tehokkuuteen vaikuttavat keinot jäävät käyttämättä. [9]

Kaliumpermanganaatti vaikuttaa happojen tavoin aminohappoihin. Kysteiini hapetetaan kysteiinihapoksi. Kaliumpermanganaation sisältämä mangaanidioksidi reagoi kuidun kanssa ja se poistetaan jälkikäteen käsittelemällä villa natriumvetysulfiitilla. Kaliumpermanganaattikäsittely kasvattaa kuidun myötäistä kitkaa, kun suomut pääsevät turpoamaan. Kuitenkin kuitua vastaan oleva kitka pysyy suhteellisen lähellä alkuperäistä arvoa. Kuitujen kitkaero pienenee ja kuitu on pehmeämpi, kuin klooraukseen seurauksena. [9]

4.1.3 Entsyymit

Entsyymit ovat luonnollisia katalyyttejä eli ne tehostavat ja nopeuttavat reaktioita. Entsyymit eivät itse aiheuta reaktioita eikä niissä myöskään tapahdu kemiallisia muutoksia. Entsyymit ovat proteiineja ja koostuvat aminohapporyhmistä ja niiden välisistä peptidisidoksista. Aminohapporyhmiä on monia ja ne voivat olla yhdistyneenä toisiinsa monilla

eri tavoilla. Entsyymit ovat spesifejä ja tarvitsevat toimiakseen juuri oikeanlaisen kemiallisen reaktion. [17]

Proteaasi on entsyymi, joka vaikuttaa suomujen peptidisidoksiin ja hajottaa. Proteaasi ei sellaisenaan sovellu kutistumisen ehkäisemiseen, sillä se hajottaa rakenteita ensisijaisesti kuidun pinnan sisäpuolella. Tällöin kuidun muut ominaisuudet kärsivät. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan muokkaamalla proteaaseja siten, että ne vaikuttavat vain kuidun pintaan. Peptidisidosten lisäksi proteaasi voi hajottaa keratiinia, jos kuitua käsitellään proteaasin lisäksi aineella, joka pystyy hajottamaan keratiinin rikkisidoksia. Niin peptidisidosten kuin keratiininkin hajottaminen saa polymeerikerroksen tarttumaan kuituun paremmin, sekä saa suomujen reunat syöpymään sileämmiksi. [18]

Proteaasin käyttö olisi ympäristöystävällisempi tapa käsitellä kuitua kuin kloori. Tämän vuoksi proteaasin huonoille puolille on pyritty kehittämään ratkaisuja. On tutkittu proteaasia, jota on muokattu parantamalla sen ominaisuuksia. Proteaasin käsittelyn jälkeen sen rakenne tiivistyi, eikä se enää tunkeutunut kuidun sisälle, vaan vaikutus jäi pintakerrokseen. Tutkimuksen mukaan muokatulla proteaasilla käsitelty villa saavutti konepesunkestävän tason, lujuuden ja muiden ominaisuuksien pysyessä pääosin muuttumattomina. Lisäksi sen värjäytyvyysominaisuudet paranivat. [18]

Lipaasit vaikuttavat pinnan rasvoihin eli lipideihin. Villan alkuvaiheen prosesseissa villaa pestään ja pesun tehostamiseksi villaa voidaan käsitellä lipaaseilla. Bakteerista tuotettu entsyymi on ympäristöystävällinen ja tekee pinnasta kostuvamman. Lipaasit eivät vaikuta kuidun aminohappojen sidoksiin, vaan poistavat rasvoja, jotta pinta imisi vettä paremmin. Kun villa pystyy imemään itseensä enemmän vettä, kuidut pääsevät helpommin liukumaan toistensa yli, jolloin kutistumista ei tapahdu niin herkästi. [19]

Entsyymipohjaiset menetelmät ovat ympäristön kannalta parempia vaihtoehtoja, mutta ne eivät pysty kilpailemaan kloori-Hercosett-menetelmälle muilla vertailun osa-alueilla. Käsittelyt ovat epätasaisia, hitaita ja kutistumisenesto ei ole yhtä hyvä kuin kloori-Hercosett-menetelmällä saavutettu. [2]

4.1.4 Polymeeripäällystys

Polymeereillä on päällystetty villakuituja jo lähes 70 vuoden ajan. Eri polymeerit ovat tuoneet erilaisia lopputuloksia. Yleisesti polymeeripäällystyksen tarkoituksena on sulkea

pinnan suomukerros, jotta kitkaero tasaantuu. Lisäksi polymeerit saavat aikaan kuitujen välisiä sidoksia, jotka taas estävät kuitujen liikkeen toisiinsa nähden. Kutistumisen ehkäisemiseksi osa polymeeripäällystyksistä tarvitsee esikäsittelyn. Esikäsittelyssä kuidun pinta valmistellaan polymeerille, jotta se sitoutuu kuituun paremmin ja nopeammin. Esikäsittelyt voivat olla kemiallisesti hapettavia tai fysikaalisia. Polymeerejä voidaan hyödyntää myös ilman esikäsittelyä mutta se on harvinaista. Polymeerin parempi sitoutuminen kuituun takaa kestävämmän kutistumisen eston. Pestessä tekstiiliä polymeeripäällystys kuluu pois kuidun pinnalta, jolloin kuitu altistuu kutistumiselle. Mitä tiukemmin polymeeri on sitoutunut kuituun, sitä enemmän pesukertoja tarvitaan päällysteen kulumiseksi. [2,9]

Polymeeri tarttuu käsittelemättömän kuidun pintaan vain, jos pinnalla on korkeampi pintajännitys kuin polymeerillä. Harvalla polymeerillä on luontaisesti kuitua matalampi pintajännitys, joten ne eivät pysty levittymään kuidulle ilman kuidun pintajännityksen kasvattamista. Pinnankostuvuus tarkoittaa pinnan kykyä imeä vettä ja sitä voidaan mitata pintajännityksellä. Kostuvuutta voidaan parantaa kemiallisilla ja fysikaalisilla esikäsittelyillä. [9]

Esikäsittelyjen tarkoituksena on nostaa kuidun pintajännitystä ja muokata kuidun pintaa, jotta polymeeri sitoutuu siihen helpommin. Esimerkiksi kloori, kloori-Hercosett-käsitteyssä, nostaa kuidun pintajännityksen alkuperäisestä $45 \cdot 10^{-5} \frac{N}{cm}$ lähes kaksinkertaiseen $70 \cdot 10^{-5} \frac{N}{cm}$. Hercosett 125-polymeerin pintajännitys on $52 \cdot 10^{-5} \frac{N}{cm}$, jolloin kloorin aiheuttama jännityksen nosto riittää polymeerin tasaiseen levittymiseen. Pintajännityksen noston lisäksi kloori aiheuttaa kuidun pinnalle anionisia ryhmiä, jotka houkuttelevat luokseen kationisia ryhmiä. Hercosett 125-polymeeri sisältää azetidinium-ryhmiä, jotka reagoivat helposti kuidun anionisten ryhmien kanssa. Hercosett 125-polymeeri on juuri azetidium-ryhmien vuoksi hyvä päällystyspolymeeri. [14]

Polymeerikäsittelyiden haittana on kankaan mahdollinen jäykistyminen. Osa päällystepolymeereistä on synteettisesti valmistettuja, eivätkä ne ole biohajoavia. Villa ei tällöin polymeeripäällystyksen kanssa ole täysin biohajoava. [9,20] Villan kutistumisen esto ei saavuta villateollisuuden vaatimuksia pelkällä polymeeripäällystyksellä [2].

4.2 Fysikaaliset menetelmät

Fysikaalisilla menetelmillä pyritään tekemään kuidun pinnasta kostuvampi. Kuidun pintajännitys alenee ja polymeeri pääsee sitoutumaan pintaan paremmin. Fysikaalisia menetelmiä käytetään pääosin esikäsittelyinä polymeeripäällystykselle. [20]

4.2.1 Plasma

Plasma on aineen neljäs olomuoto. Se on sähkövirran synnyttämää, osittain ionisoitunutta kaasua. [2] Plasmaa voidaan käyttää kutistumisen vähentämiseksi kohdistamalla matalalämpöistä plasmaa kuidun pintaan. Plasmasäteilyllä aktivoidaan pintaa, jolloin suomut syöpyvät ja kitkaerot pienenevät. Plasmalla voidaan myös poistaa pinnan rasvoja, jolloin polymeerit pääsevät sitoutumaan kuituun paremmin. Myös kuidun pintajännitys kasvaa käsittelyssä. [2,14]

Plasmakäsittelyllä saadaan hyvää ja kestävää jälkeä kutistumiseneston kannalta. Lisäksi on raportoitu plasmakäsittelyn kasvattavan myös villan repäisylujuutta. Menetelmä on kuitenkin kallis ja se saattaa vahingoittaa kuitua. Ratkaisua haetaan kehittämällä plasmakäsittelyä yhdistämällä se polymeeripäällystykseen, jolloin konepestävä taso saavutetaan. Polymeeripäällystykseen soveltuu moni eri biohajoava polymeeri kuten serisiini ja kitosaani. [14] Myös Hercosett 125-polymeeri soveltuu plasman kanssa käytettäväksi ja lopputuloksena on pesun kestävä villa, ilman kloorin haitallisia ympäristövaikutuksia. [2]

4.2.2 Ultraviolettisäteily

Ultraviolettisäteilyä (UV-säteily) voidaan käyttää kutistumisen estokeinona, yhdessä polymeeripäällystyksen kanssa. Yksinään UV-säteilyttäminen ei paranna kuidun kutistumisen estoa konepestävälle tasolle. UV-säteily aiheuttaa pinnan molekyylien virittymisen ja hajoamisen. Pinnan kostuvuus kasvaa, jolloin polymeerikerros tarttuu siihen paremmin. Yhdessä polymeerikerroksen kanssa UV-säteilytetty kuitu kestää konepesun. Kuidun värjäytyvyys paranee ja muut ominaisuudet, kuten lujuus, ei kärsi. [20]

Villan käsittelyä yhdessä UV-säteilyllä ja silkin valmistuksesta saatavalla serisiinillä on tutkittu. UV-säteilyllä valmistellaan kuidun pinta polymeeripäällystykselle. Serisiini on luonnonpolymeeri ja biohajoava. Lisäksi se on silkin valmistuksessa tuleva sivutuote,

jota tällä hetkellä joutuu vesistöihin suuria määriä. Tutkimuksen mukaan näiden kahden menetelmän yhdistäminen johtaa konepestävään villaan, jonka valmistaminen on kestävää ympäristön kannalta. Hyvistä seurauksista huolimatta UV-säteilyyn tarvittavat laitteet ovat kalliita ja menetelmä ei ole vielä käytössä teollisessa mittakaavassa. [20]

4.3 Menetelmien vertailu

Taulukkoon 2 on poimittu käsittelyjä ja niitä on vertailtu kutistumisen eston, ympäristön ja kuidun muiden ominaisuuksien kannalta.

Taulukko 2. Kutistumista estävien menetelmien vertailu [2,9,11,14,17,18]

Menetelmä	Kutistumisen esto	Ympäristön vaikutukset ja energian käyttö	Kuidun muiden ominaisuuksien säilyminen
Klooraus	• Konepestävä taso.	• Klooriyhdisteet ovat ympäristölle vaarallisia.	• Karkea kuitu.
PMS	• Ei konepestävä taso.	• Voimakas happo vaatii neutralisoinnin.	• Muut ominaisuudet kärsivät.
Kaliumpermanganaatti	• Ei konepestävä taso.	• Vaarallinen eliöille.	Pehmeä kuitu.
Entsyymit	• Ei konepestävä taso.	• Kallis. • Ympäristölle ystävälliset aineet.	• Kellastuminen. • Proteaasi vaikuttaa kuidun sisällä ja heikentää muita ominaisuuksia.
Polymeeripäällystys	• Pienentää tehokkaasti kitkaeron. • Ei konepestävä taso.	• Luonnonpolymeerien käyttö.	• Kangas voi jäykistyä, muut ominaisuudet eivät muutu.
Plasma	• Konepestävä taso.	• Kallis. • Ympäristölle ystävälliset aineet.	• Vahingoittaa kuitua.
UV-säteily	• Ei konepestävä taso.	• Kallis. • Ympäristölle ystävälliset aineet.	• Muut ominaisuudet eivät muutu.

Klooria lukuun ottamatta yksikään menetelmä ei paranna kutistumisen estoa Woolmark sertifikaatin vaatimalle tasolle [16]. Monella menetelmällä on hyviä ominaisuuksia ympäristön ja kuidun muiden ominaisuuksien osalta. Näitä menetelmiä on kehitetty yhdistämällä niitä ja taulukossa 3 on esitetty kirjallisuudessa esiintyviä yhdistelmiä, joilla on saavutettu konepesun kestävä taso.

Taulukko 3. Yhdistettyjen menetelmien vertailu [2,9,11,14,17,18,20]

Menetelmä	Kutistumisen esto	Ympäristön saasteet ja energian käyttö	Kuidun muiden ominaisuuksien säilyminen
Kloori-Hercosett-käsittely	• Vakaa ja onnistuva menetelmä. • Konepestävä taso.	• Energiatehokas menetelmä. • Klooriyhdisteet ovat ympäristölle vaarallisia. • Materiaalihävikki.	• Karkea kuitu. • Kellastuminen ja värjäyksen vaikeus.
Muokattu proteaasi	• Konepestävä taso.	• Ympäristölle ystävälliset aineet.	• Saattaa vahingoittaa kuituja sisältä. • Värjäytyvyys paranee.
Plasma ja polymeeripäällystys	• Konepestävä taso.	• Ympäristölle ystävälliset aineet. • Biopohjaiset polymeerit. • Kallis.	• Saattaa vahingoittaa kuituja sisältä. • Värjäytyvyys paranee.
UV-säteily ja serisiinipäällystys	• Konepestävä taso.	• Ympäristölle ystävälliset aineet. • Pienet erät ja pitkät käsittelyajat.	• Muut ominaisuudet eivät kärsi. • Värjäytyvyys paranee.

Kun vertailussa on käsittelyt, jotka kaikki tekevät villasta konepesun kestävän, on tärkeää pohtia eroja ympäristön ja kuidun muiden ominaisuuksien kannalta. Ympäristön kannalta paras vaihtoehto on luonnollisten aineiden käyttö. Proteaasi on luonnollinen aine, eikä sen käyttö aiheita ympäristölle ongelmia. Polymeeripäällystyksessä voidaan käyttää myös biopohjaisia polymeerejä, joiden ympäristövaikutukset ovat pienemmät, kuin esimerkiksi synteettisesti valmistetun Hercosett 125-polymeerin. Esimerkiksi plasmakäsittelyn ja biopohjaisen polymeeripäällysteen yhdistäminen on ympäristöystävällinen keino

vähentää kutistumista. Plasman käyttö on kuitenkin kallista ja sen vuoksi ei niin kannattavaa. UV-säteilyn ja serisiinin yhdistämistä on tutkittu ja vaikka menetelmä on ympäristöystävällinen, laitteet ovat kalliita. [2] Energian käytön kannalta kloori-Hercosett-käsittely on hyvä. Se on edullinen ja tehokas menetelmä, jonka lopputulos on vakaa. Käsittelynopeudet ovat lisäksi huomattavasti pienempiä kuin muilla korvaavilla menetelmillä. [2,14] Klooriyhdisteet ovat eliöille vaarallisia ja siltä kannalta entsyymit, plasma, UV-säteily ja biopohjaiset polymeerit ovat parempia vaihtoehtoja [2].

Muiden kuituominaisuuksien säilymisen kannalta polymeeripäällystys on hyvä vaihtoehto, sillä se ei muuta kuitujen rakennetta merkittävästi. Polymeeripäällystys voi kuitenkin tehdä kuidusta tai kankaasta jäykkää, mutta seurauksia voidaan säädellä valitsemalla oikea polymeeri oikeaan sovellukseen. Plasmakäsittely, UV-säteily ja muokatun proteaasin käyttö voivat jopa parantaa värjäytyvyyttä. Mutta plasman ja proteaasin tapauksessa muut ominaisuudet saattavat kärsiä. Kloori-Hercosett-käsittelyssä kuitu karkenee ja sen värjäytyvyys heikkenee. [2,14]

Kokonaisuudessaan paras menetelmä riippuu käyttökohteesta ja siitä, mitä ominaisuuksia painotetaan eniten. Jos tärkeintä on tehokas kutistumisen esto, polymeeripäällystys yhdistettynä esikäsittelyyn on paras ratkaisu. Ympäristöystävällisyyttä korostettaessa entsyymit, sekä fysikaaliset menetelmät ovat suositeltavimmat vaihtoehdot, mutta niiden korkea hinta rajoittaa käyttöä. Kuidun muiden ominaisuuksien säilymisen kannalta UV-säteily on varmin menetelmä. Kaikki taulukkoon 4 nostetut vaihtoehtoiset menetelmät ovat ympäristön ja kuidun muiden ominaisuuksien säilymisen kannalta parempia vaihtoehtoja kuin kloori-Hercosett-menetelmä. Menetelmät ovat kalliita ja niiden teho ei riitä kattamaan valmistuksen kuluja, joten ne eivät ole vielä teollisessa mittakaavassa käytössä. Plasmakäsittelyä biopohjaisen polymeerin kanssa pidetään mahdollisena korvaavana menetelmänä kloori-Hercosett-käsittelylle [2].

5. YHTEENVETO

Villakuidun kutistumisen esto on pesukonepesun kannalta tärkeä ominaisuus nyky-yhteiskunnassa. Työssä käsitelty lampaanvillan kutistuminen tapahtuu pesussa mekaanisen rasituksen ja märän ympäristön seurauksena. Kutistuminen johtuu kuidun luonnollisesta rakenteesta. Pinnan suomukerros aiheuttaa kuidulle kitkaeron, jolloin kuidun myötäinen kitka on pienempi kuin vastainen. Kun kuidut pesukoneessa törmäävät toisiinsa, ne jäävät kiinni ja pääsevät kitkaeron vuoksi liikkumaan vain yhteen suuntaan. Syntyy solmuja ja kuitujen pituus lyhenee ja esimerkiksi villavaatteiden pinta-ala pienenee. Kuitujen kitkaeron aiheuttamaa kutistumista kutsutaan huopumiseksi. Kuidut voivat kutistua myös, kun niiden valmistusvaiheessa syntyneet jäännösjännitykset vapautuvat kosteassa ympäristössä.

Työssä käydään läpi eri menetelmiä kutistumisen vähentämiseksi. Menetelmillä kutistumista pyritään ehkäisemään pääasiallisesti estämällä kuitujen liike tai tasoittamalla kuitujen kitkaeroa. Keinot kutistumisen vähentämiseksi on jaettu kemiallisiin ja fysikaalisiin menetelmiin. Kemiallisin keinoin kuidun suomukerroksesta pyritään poistamaan materiaalia, tai kuituja pehmennetään. Esimerkiksi kloori-Hercosett-menetelmässä kloorilla hapetetaan kuidun pinnan sidoksia. Sidokset hajoavat ja pinta pehmenee. Lisäksi kuidut päällystetään polymeeripäällysteellä, mikä tasoittaa kuidun pintaa. Kitkaeron pienentämisen lisäksi polymeeripäällyste saa kuidut tekemään sidoksia toistensa kanssa, jolloin niiden liike toisiinsa nähden vähenee. Fysikaalisia menetelmiä on esimerkiksi pinnan käsittely UV-säteillä tai plasmalla.

Työssä vertailluista menetelmistä kloori-Hercosett-menetelmä on tällä hetkellä käytetyin sen tehokkuuden ja alhaisen hinnan vuoksi. Prosessin aikana ympäristöön joutuu haitallisia klooriyhdisteitä, joiden vuoksi menetelmälle pyritään kehittämään vaihtoehtoja. Kutistumisen ehkäisemisen kannalta parhaita menetelmiä ovat polymeeripäällystykset, kuidun esikäsittelyn kanssa. Esikäsittelyistä ympäristöystävällisimpiä ovat entsyymipohjaiset käsittelyt. Esimerkiksi proteaasi on luonnollinen aine ja entisestään parantaa joitakin kuidun ominaisuuksia. Myös UV-säteilyllä ja plasmalla käsittely ovat ympäristön ja kutistumisen eston kannalta hyviä vaihtoehtoja. Tällä hetkellä vaihtoehtoiset menetelmät eivät vielä ole teollisessa mittakaavassa käytössä, sillä kloori-Hercosett-menetelmä on halvempi ja tehokkaampi tapa vähentää villan kutistumista pesussa.

LÄHTEET

[1] I. Boncamper, Tekstiilioppi. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 2011, s. 153–190.

[2] M.M. Hassan, C.M. Carr, A review of the sustainable methods in imparting shrink resistance to wool fabrics, Elsevier B.V, Journal of advanced research, 2019-07, Vol.18, pp.39–60, DOI: 10.1016/j.jare.2019.01.014.

[3] A.F. Botha, The measurement of wool fibre properties and their effect on worsted processing performance and product quality. Part 1, The objective measurement of wool fibre properties. CRC Press; 2020, DOI: https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1201/9781003072881.

[4] J. Broda, M. Bączek, Acoustic Properties of Multi-Layer Wool Nonwoven Structures. J Nat Fibers 2020-11 Vol17 11 2020;2020: pp.1567–1581. DOI: https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1584078.

[5] R. Markula Tekstiilitieto. WSOY; 2001.s. 64–73, 151 ja 175

[6] W.S. Simpson, G. Crawshaw, Textile Institute (Manchester, England) Content Provider. Wool: Science and Technology. Burlington : Elsevier Science; 2002. pp. 160–180

[7] I. Bianco, G. Picerno, G.A. Blengini. Life Cycle Assessment (LCA) of Worsted and Woollen processing in wool production: ReviWool® noils and other wool co-products Journal of cleaner production, Elsevier Ltd, 2023-08, Vol.415, pp.137877, Article 137877, 2023, DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137877

[8] Wool Production and Processing, The Woolmark Company, 10.6.2021. video, Saatavissa (viitattu 20.2.2025): https://www.youtube.com/watch?v=YwRbyTCqOQY

[9] B.S. Gubta. Friction in textile materials, Cambridge : Woodhead, 2008, s. 253–282

[10] A.R. Bunsell. Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres. Cambridge: Woodhead Publishing; 2009. s. 100–110

[11] N. A. G. Johnson, I. M. Russell, Advances in wool technology, Cambridge : Woodhead Publishing ; Boca Raton : CRC Press, 2009, s. 86–177.

[12] Villa, Suom Tekstiili & Muoti, Saatavissa (viitattu 24.2.2024): https://www.stjm.fi/tekstiili-kuidut/villa/

[13] D. Sun, M. Lebedytė, M. Owais Raza Siddiqui. Mechanical finishing of wool for improved property and functionality. Wool Handb., United Kingdom: Elsevier Science & Technology, 2024, s. 123–137. DOI: 10.1016/B978-0-323-99598-6.00018-9

[14] H. El-Sayed. Antishrink finishing of woolens: shrink-resist treatment on woolens using various physical and chemical methods. Wool Handb, United Kingdom: Elsevier Science & Technology, 2024, pp. 381–399. DOI: 10.1016/B978-0-323-99598-6.00012-8

[15] S. Mowafi, H. El-Sayed. Functional finishing of wool. Wool Handb. 1., Cambridge, MA : Woodhead Publishing; 2024. s. 159–180

[16] The Woolmark Company. Knitted apparel products. 2016. Saatavissa (viitattu 20.2.2025): https://files.woolmark.com/download/assets/ak-1_knitted_apparel_products_2016-1_3nov14_f.pdf/ee677cc6e64911ee99de0663ebb19da4?pi_content=48fd247cc32dbaf8f6d2a29a91d88a678df221cd73a98f4bc142f43a7a9ffe22

[17] A. Cavaco-Paulo, G.M. Gübitz. Textile processing with enzymes. Cambridge : Woodhead, 2003, s. 1–4

[18] J. Mei, N. Zhang, Y. Yu, Q. Wang, J. Yuan, P. Wang, et al. A novel “trifunctional protease” with reducibility, hydrolysis, and localization used for wool anti-felting treatment. Appl Microbiol Biotechnol, Berlin/Heidelberg: 2018-11 Vol.102 21 pp. 9159–9170, Springer Berlin Heidelberg,, 2018. DOI: 10.1007/s00253-018-9276-y

[19] M. A. Taleb, S.K. Gomaa, M.I. Wahba, R.A. Zaki, A.F. El-Fiky, H.A. El-Refai, et al. Bioscouring of wool fibres using immobilized thermophilic lipase. Int J Biol Macromol 2022-01 Vol194 pp.800–810, Netherlands: Elsevier B.V, 2022, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.11.128.

[20] D. Gubta, S. Natarajan. Cleaner process for shrink proofing of wool using ultraviolet radiation and sericin. J Text Inst 2017-01 Vol.108 1 pp.147–153, Manchester: Taylor & Francis, 2017, DOI: 10.1080/00405000.2016.1160757