

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

**TEKSTIILITEOLLISUUDEN MATERIAALIEN  
YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA PURE WASTE  
ESIMERKKINÄ UUSISTA TOIMINTATAVOISTA**

**Environmental impacts of textile materials and  
Pure Waste as an example of new policies**

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, VTT, Jarkko Levänen  
Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, VTM, Anna Härri

Lappeenrannassa 28.5.2021  
Emma Saarinen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Emma Saarinen

### **TEKSTIILITEOLLISUUDEN MATERIAALIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA PURE WASTE ESIMERKKINÄ UUSISTA TOIMINTATAVOISTA**

Kandidaatintyö  
2021

39 sivua, 1 taulukko ja 1 kuva

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, VTT, Jarkko Levänen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, VTM, Anna Härri

Hakusanat: kandidaatintyö, tekstiiliteollisuus, ympäristövaikutus, puuvilla, polyesteri

Tekstiiliteollisuus on yksi nykypäivän suurimmista ja samalla saastuttavimmista teollisuudenaloista. Tekstiilien tuotanto luo vakavia haasteita kestäväyydelle, sillä niiden valmistukseen kuluu paljon resursseja, ja aiheuttaa useita ympäristölle ja ihmisille haitallisia saasteita. Lisääntynyt kulutus ja tekstiilien lyhentynyt käyttöikä johtavat vuosittain suureen tekstiilijättemäärään, josta suurin osa ei päädy uusiokäyttöön.

Tässä kandidaatintyössä selvitetään, millaisia ympäristövaikutuksia puuvilla- ja polyesterikuiduilla on koko elinkaarensa aikana. Tarkasteltavia ympäristövaikutuksia ovat veden kulutus, kemikaalien käyttö, vaikutukset maaperään sekä hiilijalanjälki. Lisäksi työssä käsitellään ympäristövaikutusten pienentämiseksi kehitettyjä uusia toimintatapoja, joista esimerkkinä käytetään suomalaista tekstiilialan yritystä Pure Wastea.

Työssä havaittiin sekä puuvillan että polyesterin tuotannolla olevan merkittäviä ympäristövaikutuksia. Puuvillan tuotantoon kuluu paljon vettä ja kemikaaleja, millä on myös maaperän kannalta haitallisia vaikutuksia. Polyesterin tuotannossa oleellimmat ympäristövaikutukset ovat hiilijalanjälki sekä käyttövaiheessa syntyvät päästöt. Lisäksi polyesteristä irtoavat mikromuovit saastuttavat maaperää ja vesistöjä. Kierrätyksellä ja uudelleenkäytöllä pystyttäisiin pienentämään kummankin kuidun ympäristövaikutuksia.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT  
LUT School of Energy Systems  
Degree Programme in Environmental Technology

Emma Saarinen

### **ENVIRONMENTAL IMPACTS OF TEXTILE MATERIALS AND PURE WASTE AS AN EXAMPLE OF NEW POLICIES**

Bachelor's thesis

2021

39 pages, 1 chart and 1 figure

Examiner: Assistant professor, D.Sc. (Social Sciences), Jarkko Levänen

Instructor: Junior Researcher, M.Sc. (Social Sciences), Anna Härri

Keywords: bachelor's thesis, textile industry, environmental impact, cotton, polyester

Textile industry is one of modern day's largest and most polluting industries. The production of textiles creates serious challenges to sustainability, as they require a lot of resources to manufacture, and causes several pollutants that are harmful for people and the environment. Increased consumption and shortened service life of textiles leads to a large amount of textile waste each year, most of which does not end up being reused.

This bachelor's thesis investigates the environmental impacts of cotton and polyester fibers throughout their life cycle. The environmental impacts considered are water consumption, use of chemicals, effects on the soil and carbon footprint. The thesis also deals with new policies developed to reduce these environmental impacts, of which a Finnish textile company Pure Waste is used as an example.

In the thesis, it was discovered that both cotton and polyester production have significant environmental impacts. Cotton production consumes a lot of water and chemicals, which also has harmful effects on the soil. In polyester production the most significant impacts are the carbon footprint and the emissions generated during the use phase. In addition, microplastics released from polyester contaminate soil and water systems. The environmental impacts of both fibers could be reduced by recycling and reusing.

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLLYS

## SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne .....	7
1.2	Tekstiilien elinkaari.....	8
2	PUUVILLA .....	10
2.1	Veden kulutus.....	10
2.2	Kemikaalien käyttö .....	11
2.3	Vaikutukset maaperään .....	14
2.4	Hiihijalanjälki.....	16
2.5	Kierrätyspuuvilla.....	17
3	POLYESTERI .....	19
3.1	Veden kulutus.....	19
3.2	Kemikaalien käyttö .....	20
3.3	Vaikutukset maaperään .....	22
3.4	Hiihijalanjälki.....	23
3.5	Kierrätyspolyesteri .....	24
4	PURE WASTE .....	26
4.1	Tuotantoprosessi .....	26
4.2	Kestävyyden edistäminen.....	26
4.3	Toiminnan haasteet ja tulevaisuus .....	27
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
6	YHTEENVETO.....	32
	LÄHTEET .....	34

## SYMBOLILUETTELO

### Alkuaineet ja yhdisteet

CaCO <sub>3</sub>	kalsiumkarbonaatti
CH <sub>4</sub>	metaani
CO	hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
HFC	fluorihilivedyt
K	kalium
N	typpi
N <sub>2</sub> O	dityppioksidi
NO <sub>x</sub>	typen oksidit
P	fosfori
PFC	perfluorihilivedyt
SF <sub>6</sub>	rikkiheksafluoridi
SO <sub>2</sub>	rikkidioksidi

### Lyhenteet

CO <sub>2</sub> e	hiilidioksidiekvivalentti
GWP	Maapallon lämpenemispotentiaali
PET	polyetyleenitereftalaatti
WHO	Maailman terveysjärjestö

## 1 JOHDANTO

Tekstiiliteollisuudessa tuotettiin 110 miljoonaa tonnia kuitua vuonna 2018, mikä teki vaatteista ja tekstiileistä maailman neljänneksi suurimman teollisuudenalan (Palacios-Mateo et al., 2021, 1). Kuitutuotannon lisääntyminen luo vakavia haasteita kestäväyydelle, ja tekstiiliteollisuus onkin yksi nykypäivän saastuttavimmista teollisuudenaloista (Shabbir, 2019, 1). Tekstiilien valmistukseen kuluu paljon resursseja, ja siitä aiheutuu useita erilaisia saasteita, joista on haittaa sekä ympäristölle että ihmisille (Dahlbo et al., 2017, 45). Esimerkiksi vuonna 2015 tekstiiliteollisuus tuotti 1,7 miljardia tonnia hiilidioksidipäästöjä ja kulutti 79 miljardia kuutiometriä vettä (Palacios-Mateo et al., 2021, 1).

Vaatteiden suuri kysyntä on luonut niin sanotun pikamuotiteollisuuden, jonka tarkoituksena on valmistaa suuria määriä vaatteita mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Pikamuotia kutsutaankin usein kertakäyttöiseksi muodiksi vaatteiden kehnon laadun ja alhaisen hinnan vuoksi. (Blackburn, 2015, 236.) Koska uusia vaatemallistoja tuotetaan pikamuotiteollisuudessa jatkuvasti, tietyt tuotteet menevät nopeasti pois muodista (Muthu, 2019, 23). Tämä johtaa useimmiten siihen, että vaatteita heitetään pois vain muutaman käyttökerran jälkeen.

Saksassa vuonna 2019 tehtyjen arvioiden mukaan vaatteiden keskimääräinen käyttöikä onkin nykyään vain 4,4 vuotta. Lisääntyneen kulutuksen ja lyhyemmän käyttöiän yhdistelmä on johtanut maailmanlaajuisen tekstiilijätteen lisääntymiseen, joka kasvoi 92 miljoonaa tonniin vuonna 2015. (Palacios-Mateo et al., 2021, 1.) Euroopan parlamentin (2019) tekemän arvion mukaan luonnonvarojen kulutus, tuotannon päästöt sekä tekstiilijätteen määrä tulevat nousemaan vähintään 50 % vuoteen 2030 mennessä, jos tekstiilien tuotantoa jatketaan nykyisillä toimintatavoilla.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on vertailla tekstiiliteollisuuden materiaalien ympäristövaikutuksia sekä pohtia materiaalien kierrätettävyyttä. Työ rajattiin niin, että vertailtaviksi kuiduiksi valittiin puuvilla ja polyesteri, jotka ovat tällä hetkellä kaikista käytetyimmät kuidut tekstiiliteollisuudessa (Muthu, 2019, 2). Käsiteltäviksi ympäristövaikutuksiksi valittiin veden kulutus, kemikaalien käyttö, vaikutukset maaperään sekä hiilijalanjälki. Työssä pohditaan tekstiilin koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia aina materiaalin tuotannosta

kierrätykseen, uudelleenkäyttöön tai hävitykseen asti. Työssä pohditaan myös sitä, kuinka uusilla toimintatavoilla voitaisiin vähentää kyseisiä ympäristövaikutuksia. Tästä esimerkkinä käsitellään suomalaista tekstiilialan yritystä Pure Wastea.

## 1.1 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Työn pääasiallinen tutkimusmenetelmä on kirjallisuustarkastelu, jossa perehdytään aiheeseen liittyviin artikkeleihin ja muihin julkaisuihin. Tiedonlähteitä etsittiin useista eri tietokannoista, mutta pääasiallisesti käytettiin LUT Prima sekä Scopus-tietokantaa. Yksi tutkimusmenetelmä oli myös Pure Wasten kanssa tehty haastattelu.

Työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1) Millaisia ympäristövaikutuksia tekstiiliteollisuuden materiaaleilla on?
- 2) Miten materiaalien käytön ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää uusilla toimintatavoilla?

Työ on jaettu kahteen osioon tutkimuskysymysten perusteella. Ensimmäisessä osiossa, eli luvussa 2 ja 3, perehdytään puuvillan ja polyesterin ympäristövaikutuksiin kirjallisuuteen pohjautuen. Toisessa osiossa, eli luvussa 4, käsitellään Pure Wastea esimerkkinä uusista toimintatavoista. Luvussa 5 esitetään tutkimuskysymyksistä syntyneet johtopäätökset, ja työ päätetään yhteenvetoon luvussa 6.

## 1.2 Tekstiilien elinkaari



**Kuva 1.** Kiertotalous. (Suomen Tekstiili & Muoti.)

Tekstiilin elinkaari alkaa kuvan 1 mukaisesti raaka-aineen tuotannosta. Raakamateriaalit voidaan jakaa alkuperänsä perusteella joko luonnonkuituihin tai tekokuituihin (Kozłowski, 2021). Luonnonkuidut jaetaan kasvi- ja eläinkuituihin, kun taas tekokuidut jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin kuituihin. Orgaanisia kuituja ovat erilaiset muuntokuidut sekä synteettiset kuidut. (Talvenmaa & Mustonen, 2011, 12.) Työssä käsiteltävistä kuiduista puuvilla kuuluu kasvikiuituihin ja polyesteri synteettisiin kuituihin.

Raakamateriaalin tuotannon jälkeen kuidusta valmistetaan lankaa, josta voidaan valmistaa kangasta joko kutomalla tai neulomalla. (Muthu, 2014, 5.) Tätä seuraa viimeistely, joka on tärkeä askel tekstiilien valmistuksessa ennen niiden tekemistä käyttökelpoisiksi (Shabbir, 2019, 4). Valmiit tuotteet päätyvät tehtailta kuluttajille vähittäiskaupan välityksellä. Käyttö ja hävitys ovat tekstiilin elinkaaren viimeiset vaiheet, jotka ovat suuresti riippuvaisia kuluttajista. Hävitysvaiheessa tekstiili voidaan joko uudelleenkäyttää, kierrättää, polttaa tai viedä kaatopaikalle. (Muthu, 2014, 23–25.)



Geissdoerfer et al. (2017, 759) määrittelee kiertotalouden järjestelmänä, jossa resurssien ja energian käyttöä sekä syntyvien päästöjen ja jätteiden määrää minimoidaan siten, että energiaa ja materiaalia kierrätetään arvoketjussa. Tällöin arvoketjusta muodostuisi suljettu ympyrä, kuten kuvassa 1. Tekstiilien tuotanto on monimutkainen prosessi, minkä vuoksi se on yleensä erittäin globaalia ja hajautettua (Muthu, 2014, 3). Siksi koko arvoketjun muuttaminen ekologiseksi kerralla on vaikeaa. Arvoketjun muutos vaatii oman aikansa ja tarvitsee sekä yritysten että kuluttajien toimintatapojen muutosta.

## 2 PUUVILLA

Puuvilla on tällä hetkellä maailmanlaajuisesti käytetyin luonnonkuitu. Sitä tuotetaan vuosittain noin 25 miljoonaa tonnia, joka vastaa noin 40 % koko tekstiilintuotannosta. Suurin osa puuvillan tuotannosta tapahtuu Kiinassa, USA:ssa, Intiassa ja Pakistanissa. (van Dam, 2008, 4.)

Puuvillan tuotannossa voidaan ajatella olevan kaksi päävaihetta: maatalousvaihe sekä teollinen vaihe (Chapagain et al., 2006, 187). Molemmilla vaiheilla on omat ympäristövaikutuksensa, joista merkittävimmät johtuvat kemikaalien käytöstä, veden kulutuksesta ja elinympäristön muuttamisesta maatalouden käyttöön (WWF, 2021). Tuotantovaiheen lisäksi myös käyttö- ja hävitysvaiheella on merkittäviä vaikutuksia ympäristöön.

### 2.1 Veden kulutus

Kaikkien tekstiilien tuotannossa ensimmäinen vaihe on raakakuiduntuotanto, jolla on erilaisia vaikutuksia makeaan veteen (Stone et al., 2020, 2). Maatalousvaiheessa puuvillakasvin kasteluun kuluu valtavia määriä vettä. Kastelu tapahtuu osittain sateen, eli vihreän veden, avulla, mutta suurin osa kastelusta tapahtuu sinisellä vedellä, eli keinotekoisella kastelulla. (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 107.) Keinotekoisesti kasteltu puuvilla on kalliimpi kasvattaa kuin sadekasteltu, mutta se on tuottoisampaa, säännöllisempää, laadukkaampaa ja sen kypsyminen on lyhyempi (Roche, 1994, 24). Kastelun ympäristövaikutuksia määrittäviä tekijöitä ovat lähteen haavoittuvuus, käytetyn veden laatu ja määrä, suolaantumisen todennäköisyys sekä käytön tehokkuus (Kooistra et al., 2006, 8).

Puuvillan yleisimmässä kastelumenetelmässä kasteluvettä saadaan useimmiten joko läheisestä joesta tai alemmista maaperän kerroksista. Tämä kastelutapa on halpa ja yksinkertainen, mutta se ylittää maailmalla vain enimmillään 40 % tehokkuuteen. Tämä siis tarkoittaa, että 60 % kaikesta kasteluun käytetystä vedestä ei päädy itse kasville. Tätä kastelutapaa pystytään kuitenkin optimoimaan erilaisilla suojelutekniikoilla, kuten mullalla. (Kooistra et al., 2006, 6–9.)

Maailman vedenkulutuksesta 2,6 % kuluu puuvillan tuotantoon (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 107), ja yhden puuvillakilon tuottamiseen tarvitaan 10 000–17 000 litraa vettä (Kooistra et al., 2006, 6). Suuri vedenkulutus vaurioittaa vesiympäristöjä ja vähentää makean veden varastoja aiheuttaen kuivuusongelmia viljelyalueilla (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 107). Veden hajauttamisella ja puuvillanviljelyn aiheuttamalla pilaantumisella on myös vakavia seurauksia tärkeisiin ekosysteemeihin (WWF, 2021). Esimerkiksi laajoissa kasteluhankkeissa jokia ohjataan ja padotaan, mikä johtaa merkittäviin loppupään vaikutuksiin, kuten vesipulaan. Pintaveden tasot saattavat laskea veden liiallisen käytön seurauksena, mikä voi johtaa merialueen pienentymiseen sekä kala- ja kasvilajien vähenemiseen. Puuvillanviljelyn osuus makean veden vähentymisestä on arvioiden mukaan 1–6 %. (Kooistra et al., 2006, 6, 8.)

Myös puuvillan teollisuusvaiheessa kuluu paljon vettä. Keskitasoinen integroitu tekstiilitehdas tuottaa noin 15 tonnia valmiita kankaita päivässä, johon kuluu vettä noin 3840 m<sup>3</sup>. Tästä määrästä noin 44 % menee viimeistelyyn ja käsittelyyn, mikä johtaa noin 1500 m<sup>3</sup> nestemäisiin jätevesiin päivittäin. (Banuri, 1999, 41.) Värjäyslaitoksilla syntyvillä suurilla jätevesimäärillä on myös haitallisia vaikutuksia ympäristöön (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 107). Puuvillan tuotannon märkäprosessit kuluttavat vettä keskimäärin 360 m<sup>3</sup>/tonni, josta valkaisun osuus on noin 8 %, värjäyksen 39 % ja painatuksen 53 %. Viimeistelyvaiheessa vettä kuluu noin 136 m<sup>3</sup>/tonni. (Chapagain et al., 2006, 193.)

## 2.2 Kemikaalien käyttö

Tavanomaiset puuvillan tuotantotavat sisältävät runsaasti lannoitteita ja torjunta-aineita (WWF, 2021). Puuvillan viljelyssä käytetään synteettisiä lannoitteita, jotka ovat typen (N), fosforin (P) ja kaliumin (K) yhdisteitä, sekä orgaanisia lannoitteita, kuten eläinlantaa. Orgaaniset lannoitteet toimivat myös maaperän orgaanisten aineiden pitoisuuksien ylläpitäjinä, mutta niiden kohdalla saatetaan kuitenkin kärsiä tappioita, jos lannoitetta ehtii haihtua tai huuhtoutua syvempiin maakerroksiin ennen kuin kasvit ovat ottaneet sen talteen. Synteettisen lannoitteen kasvit voivat ottaa välittömästi, ja jos sitä levitetään kasvin tarpeiden mukaan, käytännössä mitään ei menetetä ympäristöön. (Kooistra et al., 2006, 9–10.)

Puuvilla on altis hyönteisille ja sairauksille, joten se tarvitsee paljon torjunta- ja hyönteismyrkkyjä (Shabbir, 2019, 3). Maailmanlaajuisesti 15 % puuvillan satohäviöistä tapahtuu hyönteisten vaurioista, minkä vuoksi torjunta-aineita käytetään pääasiassa hyönteisten ja maaperän kaasuttamiseen maaperässä leviävien taudinaiheuttajien torjumiseksi. Torjunta-aineiden levitystekniikka vaikuttaa ratkaisevasti ympäristövaikutuksiin ja erityisesti ihmisten altistumiseen:

- Lentokoneilla tehtävää ilmaruiskutusta käytetään 13 % viljelyalueista. Se on kuitenkin levitystapana epätarkka, ja sillä on merkittävät aineiden kulkeutumiskäsit. Ilmaruiskutuksen tuloksena saattaa olla esimerkiksi työntekijöiden, veden ja kasvien saastumista.
- Traktoriruiskutuksessa torjunta-aineita sisältävät säiliöt kiinnitetään traktorin takaosaan, josta ne levitetään mahdollisimman laajalle alueelle. Sitä käytetään noin 35 % viljelyalueista.
- Kentällä käsin tehtävää ruiskutustapaa käytetään noin 52 % viljelyalueista. Se on halpaa ja tehokasta, mutta käytön aikana kaasunaamari on välttämätön työntekijän terveyden kannalta. (Kooistra et al., 2006, 10–11.)

Siksi onkin tärkeää, että torjunta-aineita käyttäisi vain koulutetut henkilöt, ruiskutus tehtäisiin oikeanlaisilla välineillä ja torjunta-aineina käytettäisiin vain hyväksytyjä aineita. Tällä hetkellä monet hyönteiset ja kasvit ovat lisäksi kehittäneet vastustuskyvyn niiden hävittämiseksi kehitetyille torjunta-aineille, mikä pakottaa viljelijät etsimään uusia aineita tähän käyttötarkoitukseen (Kalliala & Nousiainen, 1999, 12).

Torjunta-aineen tyyppin ja määrän valinta riippuu viljeltävästä kasvista sekä sijainnista. Pienet puuvillanviljelijät käyttävät yhä joitakin Maailman terveysjärjestön (WHO) erittäin myrkyllisiksi luokittelemia aineita, jotka muodostavat edelleen merkittävän osan puuvillan hyönteismyrkkyjen markkinoista. Monia vanhempia, halpoja, patentoimattomia, myrkyllisiä ja ympäristössä pysyviä kemikaaleja käytetään laajasti kehittyvissä maissa, mikä aiheuttaa terveysongelmia sekä paikallista ja maailmanlaajuista ympäristön saastumista. (Kooistra et al., 2006, 12.)

Vaikka puuvillaa kasvatetaan vain 2,4 % maailman peltoalasta, on sen viljelyn arvioitu kulluttavan 11 % maailman torjunta-aineista ja 25 % hyönteismyrkyistä (Chapagain et al., 2006, 192). Lisäksi on arvioitu, että noin 50 % kaikista kehittyvissä maissa käytettävistä torjunta-aineista käytetään puuvillan viljelyyn (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 108). Monet puuvillan viljelyssä käytetyistä torjunta-aineista kuuluvat pyrethroideihin, jotka ovat erittäin myrkyllisiä kaloille. Näiden aineiden ei pitäisi kuitenkaan kertyä ympäristöön tai olla haitaksi esimerkiksi ihmisille. Ihmisille kaikista vaarallisin rikkakasvien torjunta-aine on syanatsiini (cyanazine), jota käytetään yhä 18 % viljelyalueista. (Kooistra et al., 2006, 12–14.)

Torjunta-aineiden käyttö johtaa aina muidenkin kuin kohdeorganismien altistumiseen ja ei-toivottuihin sivuvaikutuksiin. Ne voivat päätyä ei-kohdealueille esimerkiksi ilman, valumisen tai pohjaveteen vuotamisen kautta. Torjunta-aineiden ympäristövaikutuksiin vaikuttaa merkittävimmin aineen myrkyllisyys, ruiskutusmenetelmä, käyttötiheys sekä käytetty kertamäärä. (Kooistra et al., 2006, 14.)

Laajakirjoisten torjunta-aineiden käyttö vaikuttaa kielteisesti biodiversiteettiin (Kooistra et al., 2006, 36). Lisäksi ne uhkaavat maaperän ja veden laatua sekä aiheuttavat haittaa maataloustyöntekijöille ja lähialueen asukkaille (WWF, 2021). Suurin osa käytetyistä torjunta-aineista pääsee joko pohjaveteen tai pohjavesimuodostumiin (Chapagain et al., 2006, 192.), ja arvioiden mukaan 50–70 % pinta- ja pohjavedessä olevasta typestä ja fosforista on peräisi lannoitteista. Nitraatti huuhtoutuu helposti pinta- ja pohjaveteen, ja fosfori sitoutuu sedimenttiin ja edistää rehevöitymistä, millä voi olla tuhoisa vaikutus vesiekosysteemiin. (Kooistra et al., 2006, 10.) Orgaanisten maatalousstrategioiden käyttö mahdollistaisi kemikaalien käyttöön sekä happamoitumiseen ja rehevöitymiseen liittyvien haitallisten ympäristövaikutusten vähenemisen (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 108).

Teollisuusvaiheessa pääsaasteena voidaan pitää jätevesien pääsemistä vesistöihin ja maaperään. Pesun, värjäyksen ja valkaisun nestemäiset jätevedet sisältävät orgaanisia ja epäorgaanisia kemikaaleja sekä suspendoituneita kiintoaineita, kuten rasvaa. Jätevedet alentavat liuenneen hapen määrää vesistöissä, uhkaavat vesieliöitä ja vahingoittavat veden esteettistä

arvoa sekä alavirran laatua. Tekstiilien jalostuksen kolmesta suurimmasta teollisuusprosessista, joita ovat kehruu, kudonta ja viimeistely, pääasialliset ympäristöongelmat liittyvät viimeistelyyn. Viimeistelyvaiheessa käytetään erilaisia kemikaaleja, kuten happoja, emäksiä ja kemiallisia väriaineita, joista aiheutuvat jätevedet edellyttävät aina asianmukaista käsittelyä ennen ulkoiseen viemäriin johtamista. (Banuri, 1999, 39–41.)

Tekstiilien käsittely sisältää useita märkäprosesseja (valkaisu, merserointi, värjäys, viimeistely), jotka aiheuttavat nestemäistä jätevettä vaihtelevalla jätekoostumuksella (Banuri, 1999, 41). Esimerkiksi puuvillan värjäys aiheuttaa monia erilaisia ympäristövaikutuksia, koska siihen sisältyy suuria määriä energiaa, vettä, höyryä ja kemikaaleja, kuten valkaisuaineita ja väriaineita (Esteve-Turrillas & de la Guardia, 2017, 107). Tällä hetkellä suurimmalla osalla tekstiilitehtaista ei ole riittäviä järjestelyjä jäteveden puhdistamiseksi ennen ulkoiseen viemäriin päästämistä. Lisäksi ulkoinen vesiallas toimii monissa tapauksissa kastelukanavana, joten käsittelemättömät kemikaalit voivat vaikuttaa kasteluveden laatuun. (Banuri, 1999, 41.)

### **2.3 Vaikutukset maaperään**

Puuvillaa viljellään noin 2,4 % maailman viljelysmaasta (Chapagain et al., 2006, 192), mikä heikentää maaperän laatua vakavasti. Vaikka sen viljelyyn keskittynyt maailmanlaajuinen alue on pysynyt vakiona viimeisten vuosikymmenten aikana, puuvillan tuotanto on kuluttanut ja heikentänyt maaperää monilla alueilla. Vakiintuneiden peltujen pilaantuessa viljelyä laajennetaan uusille alueille, mikä johtaa elinympäristön tuhoutumiseen. (WWF, 2021.)

Puuvillan tuotanto pilaa maata suolaantumisen ja eroosion avulla. Arviolta jopa sadan miljoonan hehtaarin kokoinen maa-alue on hylätty aikaisemmasta intensiivisestä, erityisesti puuvillan, viljelystä aiheutuneen maaperän suolapitoisuuden vuoksi (Kooistra et al., 2006, 8). Maaperän suolaantumisen tarkoitetaan sitä, kun kasteluveden mukana maaperään pääsee kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ) ja liukoisia suoloja, jotka kerääntyvät maaperän pintakerrokseen. Suolaantumista tapahtuu, kun veden haihtumisnopeus ylittää sademäärän, mikä on uhka kastelualueille. Tällä hetkellä noin kolmasosa kastellusta maa-alasta on jossain määrin suolaantunutta tai tulee suolaantumaan lähitulevaisuudessa. Puuvillan osalta tämän osuuden

on arvioitu kasvavan, koska sitä viljellään yleensä herkemmillä alueilla. Eroosioon, eli maaperän kulumiseen, puolestaan vaikuttaa esimerkiksi viljelyyn käytetyn maaperän pinta-ala, kastelu- ja sademallit, maaperän tyyppi sekä toimenpiteet eroosion estämiseksi. Eroosion ehkäiseminen ei yleensä kuitenkaan sisälly puuvillan tavanomaisiin viljelymenetelmiin. (Kooistra et al., 2006, 35–36.)

Kun maatalouteen tarvitaan lisää maata, johtaa se usein esimerkiksi metsien hävittämiseen tai kosteikkojen tyhjentämiseen. Jos maaperä ei sovellu pitkäaikaiseen vuosittaiseen maatalouskäyttöön, johtaa se puolestaan maaperän nopeaan rappeutumiseen. Lisäksi maankäytön on havaittu aiheuttavan vaikutuksia myös biodiversiteettiin. Maankäyttöön merkittävimmin vaikuttavia tekijöitä ovat tuottavuus hehtaarilta, synteettisten lannoitteiden käyttö, kasteluveden käyttö ja alkuperä sekä käytetyn lisämaan arvo. (Kooistra et al., 2006, 17, 36.)

Käytön aikana suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat puuvillatekstiilien pesusta. Yksittäisiä mikrokuituja on arvioitu irtoavan 9000–14 000 pestyä puuvillakangasgrammaa kohden (Zambrano et al., 2021, 5). Lisäksi tutkimuksilla on osoitettu puuvillan vapauttavan pesussa polyesteriä enemmän mikrokuituja (Palacios-Mateo et al., 2021, 10). Vapautuvat mikrokuidut pääsevät jätevedenpuhdistamoihin pesulaitteiden jätevesien mukana. Vaikka jätevedenpuhdistamoilla on suhteellisen suuri mikrokuitujen poistokyky (yli 98 %), vapautuu ympäristöön silti suuria määriä epäpuhtauksia. (Zambrano et al., 2021, 2). Tämä johtuu siitä, ettei jätevedenpuhdistamoita ole suunniteltu mikrokuitujen poistamiseen sekä siitä, ettei näitä tekniikoita ole vielä otettu käyttöön useimmissa prosesseissa (Zambrano et al., 2019, 404).

Mikrokuitujen vapautumiseen vaikuttaa pesuaineen käyttö sekä pesulämpötila. Puuvillan kohdalla korkeammassa lämpötilassa peseminen nostaa mikrokuitujen vapautumista merkittävästi, minkä lisäksi pesuaineen käyttö lisää vapautuvien mikrokuitujen määrää (Zambrano et al., 2019, 399). Useiden tutkimusten perusteella puuvilla kuitenkin hajoaa biologisesti makeassa vedessä ja meriympäristössä, toisin kuin synteettiset kuidut (Zambrano et al., 2021, 2). Pesusta aiheutuvia ympäristövaikutuksia käsitellään vielä tarkemmin luvuissa 3.1–3.3.

## 2.4 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälkeä käytetään ihmisen toiminnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa, ja se ilmaistaan grammoina, kilogrammoina tai tonneina hiilidioksidiekvivalenttia. Kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia kaasuja ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O), fluorihilivedyt (HFC), perfluorihilivedyt (PFC) sekä rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>) (Rana et al., 2015, 143). Maapallon lämpenemispotentiaali (GWP) taas on suhteellinen mitta, joka kertoo, kuinka paljon tietyn kasvihuonekaasumassan arvioidaan vaikuttavan ilmaston lämpenemiseen. Hiilidioksidi toimii vertailukohtana muiden kaasujen kasvihuonekaasupäästöjen vertailussa. (Muthu et al., 2012, 1065–1066.) Kaikilla kasvihuonekaasuilla on oma kertoimensa suhteessa hiilidioksidiin, jonka avulla ne muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO<sub>2</sub>e).

Puuvillan hiilidioksidipäästöt ovat noin 8 kg CO<sub>2</sub>/kg ja energian kulutus noin 15 kWh/kg. Kuidun tuotanto, tavaroiden valmistus, kauppa ja kuljetus aiheuttavat noin 50 % CO<sub>2</sub>-päästöistä, ja loput 50 % aiheutuu päivittäisestä käytöstä. (Rana et al., 2015, 150, 156.) Puuvillan CO<sub>2</sub>-päästöt kuitenkin vaihtelevat hieman maittain (Muthu, 2014, 12).

Viljelyvaiheessa puuvillakasvi absorboi fotosynteesissä hiilidioksidia, mikä pienentää nettohiilidioksidimäärää hieman (Kalliala & Nousiainen, 1999, 12). Puuvillatekstiilien teollisuusvaiheessa suurimmat kasvihuonekaasupäästöt tulevat kuidunvalmistusvaiheessa. CO<sub>2</sub>-päästöjä puolestaan syntyy merkittävästi viimeistelyvaiheessa, jossa noin 40 % päästöistä tulee pesemisestä ja höyrytyksestä, 50 % kuivatuksesta ja 10 % kemikaalien käytöstä. (Rana et al., 2015, 150–151.) Puuvillan GWP puolestaan on suurimmillaan värjäyksessä ja vaateen valmistuksessa (Zhang et al., 2015, 999).

Tehtyjen tutkimusten perusteella noin puolet puuvillavaatteen CO<sub>2</sub>-päästöistä syntyy vaateen käyttövaiheessa (Rana et al., 2015, 150). Käytön aikana merkittävimmät päästöt johtuvat pesusta ja kuivauksesta, joiden vaikutus hiilijalanjälkeen riippuu esimerkiksi pesuveden lämpötilasta. Korkeamman lämpötilan on havaittu johtavan suurempaan hiilijalanjälkeen. (Wang et al., 2015, 468, 472.) Käytön aikaisten päästöjen vaikutus hiilijalanjälkeen riippuu siis suuresti kuluttajasta.



Moazzem et al. (2018, 3) arvioi tutkimuksessaan puuvillan hiilijalanjäljeksi on noin 1760 kgCO<sub>2</sub>e/tonni. Hiilijalanjäljestä noin 12 % aiheutuu viljelyvaiheesta, 28 % valmistusprosesseista, 31 % käyttövaiheesta, 2 % hävitysvaiheesta ja loput 27 % pakkaamis-, kuljetus-, vähittäismyynti- ja jakeluvaiheesta. (Moazzem et al., 2018, 4.)

## 2.5 Kierrätyspuuvilla

Elinkaarensa lopulla tekstiili voidaan joko kierrättää, uudelleenkäyttää tai hävittää (Muthu, 2014, 10). Suurin osa käytöstä poistetuista vaatteista sekoitetaan muun kotitalousjätteen kanssa, ja vain pieni osa kerätään asianmukaisesti ja viedään lajitteluun. Oikein kerättyjen ja lajiteltujen vaatteiden osuus oli noin 15–20 % vuonna 2017. Vaatteiden hävitys kaatopaikoille ja polttolaitoksiin aiheuttaa saasteita, mutta ympäristövaikutusten kannalta suurempi haitta on arvon menetys. Hävitetyn vaateen arvo korvataan valmistamalla uusia vaatteita, minkä ympäristökuormitus on paljon hävittämisprosessia suurempi. (Palacios-Mateo et al., 2021, 13–14.) Jos hävitetyt vaatteet voitaisiin uudelleenkäyttää tai kierrättää, alkuperäisten materiaalien arvo säilyisi, jolloin uusien vaatteiden valmistaminen olisi tarpeetonta.

Vaikka puuvilla onkin yksi käytetyimmistä tekstiilikuiduista (Muthu, 2019, 2), vain noin 15 % ostetuista puuvillavaatteista päätyy kierrätettäväksi tällä hetkellä. Arvioiden mukaan yli 80 % kaikista puuvillajätteistä kuitenkin soveltuisi mekaaniseen kierrätykseen uusiksi tekstiileiksi. (Johnson et al., 2020, 19, 21.) Tekstiilin hävitysvaihtoehdoista polttamisen on todettu aiheuttavan suurimmat ympäristövaikutukset (Dahlbo et al., 2017, 51), kun taas kierrätys on todistettu lupaavaksi tavaksi vähentää hiilijalanjälkeä (Muthu et al., 2012, 1065).

Puuvillan yleisiä kierrätystoimintoja ovat mekaaninen ja kemiallinen kierrätys (Moazzem et al., 2021, 2). Mekaanisessa kierrätyksessä tekstiili silputaan kuitutilaan, josta se voidaan esimerkiksi kehrätä uudeksi langaksi. Mekaaninen kierrätys lyhentää kuituja, mikä heikentää niiden laatua. Lisäksi mekaanisesti kierrätettyä materiaalia sisältävät kankaat voivat käyttää vain 20–30 % kierrätetyistä kuiduista ennen kuin kankaan laatu heikkenee huomattavasti. (Johnson et al., 2020, 23.) Koska kierrätetyn puuvillan laatu on suhteellisen heikko neitseel-

liseen puuvillaan verrattuna, sekoitetaan siihen usein neitseellistä puuvillaa laadun parantamiseksi. Sekoitussuhde on useimmiten 55 % kierrätettyä ja 45 % neitseellistä puuvillaa. (Moazzem et al., 2021, 2, 5.) Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet myös alhaisten sekoitussuhteiden, kuten 20 %, aiheuttavan merkittäviä ympäristösäästöjä. (Johnson et al., 2020, 23.)

Kemiallisen kierrätyksen aikana tekstiili käy läpi useita kemiallisia prosesseja (Talvenmaa & Mustonen, 2011, 33), joiden avulla kuidut erotetaan toisistaan uuden materiaalin valmistusta varten. Tätä kierrätystapaa käytetään tuottamaan uusia kuituja, joita voidaan käyttää useissa tuotteissa (Johnson et al., 2020, 24). Kemiallinen kierrätys soveltuu kuitenkin pääasiassa synteettisille kuiduille ja kuitusekoitteille. Lisäksi sen käyttöä rajoittaa erilaiset tekniset esteet, kalliit kierrätysprosessit sekä edulliset ensiökuidut. (Moazzem et al., 2021, 3.) Kemiallisella kierrätystavalla saataisiin korkealaatuisimpia tuotteita, mutta sillä on muita kierrätystapoja merkittävämmät ympäristövaikutukset (Muthu, 2020, 23).

Käytettäessä kierrätyspuuvillaa neitseellisen puuvillan sijasta voidaan vähentää CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöjä huomattavasti. Thomas et al. (2012, 26) tekemän tutkimuksen mukaan kierrättämällä puuvillatekstiili suljetussa kierrossa voitaisiin syntyviä päästöjä vähentää 1280 kgCO<sub>2</sub>e/tonni. Samalla voitaisiin vähentää viljelysmaan käytön tarvetta sekä erilaisten kemikaalien, kuten torjunta- ja väriaineiden, käyttöä ja välttää siten myös maaperään aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Lisäksi voitaisiin säästää energiaa, sillä yhden puuvillakuitutonnin uudelleenkäyttö tarvitsee vain 2,6 % neitseellisen kuidun tarvitsemasta energiasta (Rana et al., 2015, 148). Puuvillan kierrättämistä hankaloittaa kuitenkin tekstiileissä olevat väriaineet sekä puuvillan joukkoon sekoitettavat muut kuidut (Chen & Burns, 2006, 253).

### 3 POLYESTERI

Polyesteri on tällä hetkellä käytetyin synteettinen kuitu (Muthu, 2019, 2). Sen suurin tuottajamaa on Kiina (Wu, 2020, 1), ja vuonna 2017 sitä tuotettiin 54 miljoonaa tonnia (Mikkonen, 2018). Öljypohjaisesta polyetyleenitereftalaatista (PET) valmistetut polyesterivaatteet hallitsevat markkinoita tällä hetkellä. PET-vaatteiden kulutus heikentää maan, veden ja ilman laatua, tuhoaa ekosysteemejä ja vaarantaa ihmisten terveyden. (Palacios-Mateo et al., 2021, 1.)

Tavanomaisten polyesterivaatteiden valmistus alkaa öljyteollisuudesta, jossa raakaöljyä uutetaan ja jalostetaan kemianteollisuudessa käytettävien PET:n ja muiden kemikaalien tuottamiseen. Kemianteollisuudessa PET-pelletit muunnetaan kuiduiksi ekstruusiolla ja kehräämällä, minkä jälkeen ne muunnetaan kankaiksi neulomalla tai kutomalla. (Palacios-Mateo et al., 2021, 2.)

#### 3.1 Veden kulutus

Veden käyttö polyesterituotannossa on alle 0,1 % puuvillanviljelyyn tarvittavasta vesimäärästä (Kalliala & Nousiainen, 1999, 13), sillä siinä kuluu noin 17 litraa vettä polyesterikuitukiloa kohden (Muthu, 2014, 16). Polyesterin valmistusvaiheessa veden käyttö on suurimmillaan langanvalmistuksessa, mutta koko elinkaaren aikana vettä kuluu eniten kuidun käyttövaiheessa (Wu, 2020, 5).

Pigmenttejä ja väriaineita voidaan lisätä polyesteritekstiileihin eri tuotantovaiheissa. Ne voidaan sekoittaa sulan polymeerin kanssa tai lisätä kuituihin, lankoihin, kankaisiin tai vaatteisiin käyttämällä erilaisia tekniikoita, joilla on vaihtelevia vaikutuksia ympäristöön. Perinteisesti suosituin menetelmä on erävärjäys, jossa vettä voi kulua jopa 150 litraa kangaskiloa kohden. Erävärjäyksessä tekstiilituotteet upotetaan vesiliuokseen, joka sisältää väriaineita ja kemikaaleja, kuten polyesterin värjäyksessä yleisesti käytettäviä dispersioaineita. (Palacios-Mateo et al., 2021, 5.)

Dispersiovärit liukenevat huonosti veteen, jolloin hiukkamaiset väriaineet saattavat pysyä kuidun pinnalla myös värjäysprosessin jälkeen. Näiden ei-toivottujen väriaineiden poistaminen tavanomaisin menetelmin kuluttaa paljon vettä ja aiheuttaa jätevesien pilaantumista. Jätevesi muodostuu vedestä, jota käytetään prosessin neljässä vaiheessa: värjäys, ensimmäinen pesu, pelkistävä pesu ja loppupesu, joissa veden kokonaiskulutus voi ylittää 110 litraa / kg. Tämä pesuprosessi edellyttää pelkistävien aineiden käyttöä ja kuluttaa yli kolme neljäsosaa prosessissa tarvittavasta kokonaisvedestä. Lisäksi dispersioväreillä tehty värjäys tuottaa jätevettä, jolla korkea epäpuhtauspitoisuus. (Manea et al., 2020, 2, 6, 8.)

Polyesterin kohdalla vettä kuluu huomattavasti eniten vaatteiden käyttövaiheessa. Käytön aikana vettä kuluu suuria määriä vaatteiden pesuun, josta syntyy myös paljon hiilidioksidipäästöjä (Wu, 2020, 5). Käyttövaiheessa vaatteet pestään, usein rumpukuivataan ja silitetään, mikä kuluttaa vettä ja sähköä. Kokonaiskulutus riippuu kuitenkin viime kädessä kuluttajan käyttäytymisestä, johon vaikuttaa esimerkiksi asuinalue, ilmasto, ikä ja elämäntapa. Palacios-Mateo et al. (2021, 7) arvioiden mukaan keskimääräinen vedenkulutus pesukertaa kohden on Euroopassa 60 litraa ja Pohjois-Amerikassa 144 litraa, mikä oletetuilla pesutiheyksillä vastaisi 10 000 litraa eurooppalaisissa ja 41 000 litraa pohjoisamerikkalaisissa kotitalouksissa vuosittain. Pyykinpesun jälkeen jäteveteen jääneet pesuaineet päästetään suoraan ympäristöön tai poistetaan osittain puhdistamossa alueesta riippuen. Puhdistettavan pyykin suuren jätevesimäärän takia huomattavat määrät pesuaineita joutuu kuitenkin ympäristöön jopa käsittelyn jälkeen, mikä saattaa vahingoittaa vesi- ja maaekosysteemejä. (Palacios-Mateo et al., 2021, 7–8.)

### **3.2 Kemikaalien käyttö**

Raakaöljy on monimutkainen seos, joka täytyy puhdistaa ja prosessoida ennen kuin siitä saadaan PET:n valmistukseen käytettäviä yhdisteitä, kuten eteeniglykolia ja tereftaalihappoa. Nämä prosessit vapauttavat haitallisia toksineja, kuten BTEX-yhdisteitä (bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleeni), hiukkasia, typenoksideja (NO<sub>x</sub>), rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) ja hiilimonoksidia (CO). Nämä yhdisteet voivat vaikuttaa ilman saastumiseen sekä ilmaston

lämpenemiseen. Öljyvarojen parempi hallinta päästöjen määrän ja vakavuuden vähentämiseksi parantaisi lähiympäristöä ja siten myös asukkaiden toimeentuloa ja terveyttä. (Palacios-Mateo et al., 2021, 3.)

Polyesterin värjäykseen käytettävät dispersiovärit ovat joko jauhe- tai nestemuodossa. Jauhevärit sisältävät 40–60 % dispersioaineita, nestemäiset taas 10–30 %. Dispersioväreillä värjätessä on käytettävä apuaineita, kuten pelkistimiä ja sakeuttamisaineita, ja ne saattavat aiheuttaa allergisia reaktioita joutuessaan iholle. Lisäksi dispersiovärit ovat huonosti biohajoavia. (Chavan, 2011.) Tehtaiden työntekijät joutuvat kosketuksiin mikrokuitujen, synteettisten väriaineiden ja petrokemikaalien kanssa päivittäin hengitettynä tai ihokontaktin kautta, mikä vaarantaa heidän terveytensä ja lisää hengityselinten häiriöiden, kuten astman, ja allergioiden esiintyvyyttä. Pitkäaikaiseen altistumiseen (10–20 vuotta) on havaittu johtavan myös suurempaan keuhkosyövän ilmaantuvuuteen. (Palacios-Mateo et al., 2021, 5.)

Väriaine ei kulu missään värjäysprosessissa koskaan täysin loppuun, vaan osa väristä jää aina jäteveeteen (Manea et al., 2020, 1). Osa värjäysprosessissa käytettävistä kemikaaleista voi olla vaarallisia, joten jätevesi on puhdistettava ennen hävittämistä tai uudelleenkäyttöä. Jäteveden käsittely on yleinen käytäntö Euroopassa, mutta useat muut tekstiilejä tuottavat maat pumppaavat jätevedet suoraan vesistöihin aiheuttaen ympäristön pilaantumista maaperään ja veteen joutuvien päästöjen kautta, mistä aiheutuu suoraa haittaa ekosysteemille. (Palacios-Mateo et al., 2021, 5.) Euroopan komission (2018) arvioiden mukaan noin 20 % maailman veden pilaantumisesta johtuukin tekstiilituotteiden värjäyksestä ja viimeistelystä.

Pyykinpesuaineiden käyttö on yhdistetty makean veden pilaantumiseen ja rehevöitymiseen. Pesuainekomponenteilla, kuten pinta-aktiivisilla aineilla, on tärkeä rooli ympäristövaikutusten suhteen, koska osa niistä voi olla peräisin petrokemiallisista lähteistä ja osa taas biopohjaisia vaihtoehtoja. Pinta-aktiiviset aineet ja niiden sivutuotteet heikentävät veden laatua ja hapettumista, mikä voi vahingoittaa vesieläimiä ja kasveja vakavasti. Fosfaatteja sisältävät pesuaineet aiheuttavat makean veden rehevöitymistä, minkä vuoksi ne ovat kiellettyjä joissakin maissa. (Palacios-Mateo et al., 2021, 7–8.)

### 3.3 Vaikutukset maaperään

PET:n valmistuksessa käytettävä raakaöljy on loukussa syvällä maan sisällä olevissa kivi-kerroksissa, josta se uutetaan poraamalla ja pumppaamalla, mikä kuluttaa energiaa ja häiritsee ympäröivää ekosysteemiä. Öljyä ja uuttamisen aikana käytettyjä kemikaaleja vuotaa usein ympäristöön, mikä aiheuttaa kielteisiä vaikutuksia sekä ympäröivään väestöön että ympäristöön. Usein myös kuljetuksen aikana tapahtuu öljyn, kemikaalien ja PET-pellettien vuotoja. (Palacios-Mateo et al., 2021, 3, 6.)

Tekstiileistä irtoavia mikrokuituja voi päästä ilmaan, kun vaatteita käytetään, sekä veteen pesun ja kuivaamisen aikana. Alustavien tutkimusten mukaan mikrokuitupäästöt vedessä johtuvat pääasiassa pyykin jätevesistä, joko suorista päästöistä tai jätevedenpuhdistamoilta. (Palacios-Mateo et al., 2021, 8, 11.) Polyesterin pesussa vapautuvien mikrokuitujen määrään vaikuttaa pesulämpötila sekä pesuaineen käyttö, kuten puuvillallakin. Polyesterikankaasta irtoaa kuitenkin vähemmän mikrokuituja, ja yksittäiset kuidut ovat kooltaan puuvillakan-kaasta irtoavia kuituja pienempiä. Polyesteri on kuitenkin synteettisistä polymeereistä valmistettu kuitu, joten siitä irtoaa pesussa myös mikromuovia. (Zambrano et al., 2019, 395, 399–400.)

Vaikka pesussa vapautuvien mikrokuitujen määrän mittaamiseksi on tehty useita tutkimuksia, käytetyistä menetelmistä ei tällä hetkellä ole standardisointia, mikä voi johtaa vaihteleviin tuloksiin (Zambrano et al., 2019, 395). Eräässä tutkimuksessa polyesterivaatteen kuitenkin arvioitiin vapauttavan noin 1900 mikrokuitua pesukertaan kohden (Palacios-Mateo et al., 2021, 9; Zambrano et al., 2019, 395). Pyykin jäteveden on arvioitu muodostavan 35 % kaikista valtamerien mikroplastisen pilaantumisen kokonaismäärästä, ja arvioiden mukaan suurin osa jätevesissä olevista mikrokuiduista onkin peräisin polyesteristä (Zambrano et al., 2019, 395, 405). Mikrokuituja on löydetty joista, kanavista, järvistä, meristä ja valtameristä, minkä lisäksi niitä on havaittu myös monenlaisissa kaloissa sekä kalaa syövässä linnuissa. Mikrokuitujen esiintyminen meren eliöissä voi aiheuttaa useita ongelmia ekosysteemille. (Palacios-Mateo et al., 2021, 11–12.)

Monissa maissa jätevedestä poistettuja mikrokuituja säilytetään jätevesilietteessä, jota käytetään lannoitteena, koska se on arvokas ravinteiden lähde. Tämä tarkoittaa, että 63 000–430 000 tonnia mikromuovia lisätään Euroopan viljelysmaille vuosittain (Nizzetto et al., 2016, 1), minkä lisäksi mikrokuituja on havaittu viljelysmailla ympäri maailmaa. Mikrokuituja on siten päässyt myös ravintoketjuun, ja niitä on havaittu monissa organismeissa, kuten hedelmä- ja vihanneskasveissa. (Palacios-Mateo et al., 2021, 10–12.) Syötyjen mikrokuitujen määrä riippuu esimerkiksi ruokavaliosta, ja tyypillisen amerikkalaisen ruokavalion on arvioitu sisältävän 39 000–52 000 mikrohiukkasta yhtä henkilöä kohden vuosittain. Tämän luvun on arvioitu nousevan 74 000–121 000:een, jos otetaan huomioon myös hengitettyjen mikrokuitujen määrä. (Cox et al., 2019, 1.) Maatalouden vaikutusten lisäksi maan pilaantuminen mikromuoveilla ja muilla mikrokuiduilla vaikuttaa sekä maaperän ominaisuuksiin että maaperässä eläviin organismeihin. (Palacios-Mateo et al., 2021, 12.)

### 3.4 Hiilijalanjälki

Polyesterin tuotanto on energiaintensiivinen prosessi (jopa 35 kWh/kg), joka tuottaa paljon kasvihuonekaasuja (Muthu, 2014, 16). Sen tuotanto vaatii uusiutumattomia resursseja, kuten fossiilisia raaka-aineita, mikä johtaa keskimäärin 63 % puuvillan tuotantoa suurempaan energiankulutukseen kuitukiloa kohden (Kalliala & Nousiainen, 1999, 12–13).

Polyesterin hiilidioksidipäästöt ovat noin 19 kgCO<sub>2</sub>/kg, mikä on yli kaksi kertaa enemmän kuin puuvillalla (Rana et al., 2015, 156). Tuotantovaiheessa eniten CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyy polyesterin valmistuksessa sekä langanvalmistuksessa, jotka aiheuttavat tuotantovaiheessa merkittävimmän vaikutuksen GWP:hen. Huomattavasti eniten CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyy kuitenkin käyttövaiheessa polyesterivaatteen pesussa ja kuivauksessa, joilla on myös suurin merkitys ilmaston lämpenemisen kannalta. Tämän myötä polyesterivaatteen GWP on suurimmillaan käyttövaiheessa. (Wu, 2020, 5–6.)

Moazzem et al. (2018, 3) tekemän tutkimuksen mukaan polyesterin hiilijalanjälki on noin 5360 kgCO<sub>2</sub>e kuitutonna kohden. Tuotantovaiheessa suurin vaikutus hiilijalanjälkeen on PET:n tuotannolla ja kehruulla, joiden osuudet hiilijalanjäljestä ovat noin 29 % ja 22 %. Koko elinkaaren aikana eniten CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöjä syntyy kuitenkin polyesterivaatteen

käyttövaiheessa. Käyttövaiheen osuus hiilijalanjäljestä on noin 31 %, ja sen aikana kuluu myös huomattavasti eniten energiaa. Kuljetuksen ja hävityksen osuudet hiilijalanjäljestä ovat 4 % ja 1 %, ja loput 13 % aiheutuvat kankaan valmistus-, esikäsitteily-, värjäys-, viimeistely- ja ompeluvaiheista. (Moazzem et al., 2018, 12.) Käyttövaiheen vaikutus polyesterin hiilijalanjälkeen riippuu kuitenkin viime kädessä kuluttajasta.

### 3.5 Kierrätyspolyesteri

Koska tavanomainen PET ei ole biohajoavaa, polyesterivaatteita kerääntyy usein kaatopaikoille, mikä johtaa pitkään kulutuksen jälkeiseen elämään (post-consumer life). Kaatopaikalla tekstiilit altistuvat sään eri vaikutuksille, mikä johtaa ajan myötä kankaiden pirstoutumiseen. Tämä vapauttaa tuotannon aikana käytettyjä haitallisia lisäaineita sekä mikrokuituja, jotka pilaavat maata, vettä ja ilmaa. Kaatopaikkaa parempi vaihtoehto on jätteiden polttaminen, vaikka poltettaessa jätteet muuttuvatkin myrkyllisiksi kaasuiksi. Polttaminen ei vie yhtä paljon tilaa kuin kaatopaikka, ja vaikutukset ilmansaasteisiin voidaan osittain tai kokonaan kompensoida ottamalla talteen energiaa, joka muuten olisi tuotettu fossiilisilla polttoaineilla. PET-tekstiilien polttaminen tuottaa esimerkiksi CO<sub>2</sub>:ta, CO:ta, bentseeniä ja tereftaalihappoa, jotka ovat ympäristölle ja ihmisten terveydelle vaarallisia. (Palacios-Mateo et al., 2021, 14–15.)

Polyesterin uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen tarvitaan vain 1,8 % siitä energiasta, joka kuluisi neitseellisen kuidun tuottamiseen (Rana et al., 2015, 148), ja sitä voidaan kierrättää joko mekaanisesti, kemiallisesti tai termisesti. Suurin osa polyesteristä kierrätetään mekaanisesti, koska se on muita kierrätystapoja halvempaa, eikä se vaadi muita synteettisiä aineita kuin puhdistusaineita (Palacios-Mateo et al., 2021, 15). Mekaanisella kierrätyksellä kuidun laatu voi kuitenkin heikentyä, minkä vuoksi se tulisi puuvillan tavoin sekoittaa neitseelliseen kuituun. Kemiallisella kierrätyksellä puolestaan saataisiin tuotettua korkealaatuisempaa materiaalia, mutta se kuluttaa paljon työvoimaa ja energiaa, mikä johtaa korkeampiin kustannuksiin. (Muthu, 2020, 90.)

Terminen kierrätys on synteettisille kuiduille soveltuva menetelmä, jossa kuidut sulatetaan lämmön avulla (Talvenmaa & Mustonen, 2011, 32) PET-pelleteiksi, joita voidaan käyttää



esimerkiksi uusien vaatteiden valmistukseen. Terminen kierrätys saattaa kuitenkin heikentää kuidun laatua, minkä lisäksi sen haittoja ovat korkea energiankulutus sekä lisäaineiden siirtyminen uuteen tuotteeseen (Palacios-Mateo et al., 2021, 15).

Raporttien mukaan polyesterin tuotannossa käytetään vuosittain 70 miljoonaa barrellia öljyä, joka vastaa yli 8000 miljoonaa litraa. Käyttämällä kierrätyspolyesteriä neitseellisen polyesterin sijaan voitaisiin siis vähentää riippuvuutta raakaöljystä ja estää muoveja saastuttamasta ympäristöä. Kierrätyspolyesteri on myös ominaisuuksiltaan lähes samanlaista kuin neitseellinen polyesteri, ja sitä voidaan uudelleenkäyttää valmistusketjussa. Lisäksi polyesteriä kierrättämällä saataisiin vähennettyä poltosta aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä ja estettyä myrkyllisiä päästöjä. (Muthu, 2020, 51, 54.) Thomas et al. (2012, 26) tekemän tutkimuksen mukaan kierrättämällä polyesteri suljetussa kierrossa voitaisiinkin syntyviä päästöjä vähentää 4520 kgCO<sub>2</sub>e/tonni. Kierrätetyllä polyesterillä on myös voimakas vaikutus GWP:n vähenemiseen, jonka osalta kaikista suurin vaikutus saataisiin aikaan kierrättämällä polyesteri mekaanisesti (Muthu, 2020, 14).

Vaikka polyesterin kierrätyksellä on monia etuja, polyesteri on puuvillan tavoin kuitenkin vaikea kierrättää muihin kuituihin sekoitettuna eikä 100 %:sta polyesteriä voida myöskään kierrättää loputtomasti (Muthu, 2020, 54). Tämän lisäksi kierrätyspolyesterista irtoaa edelleen pesujen yhteydessä mikrokuituja, mikä saastuttaa vesiympäristöjä ja maaperää (Frost et al., 2020, 36).

## **4 PURE WASTE**

Pure Waste on vuonna 2013 perustettu suomalainen tekstiilialan yritys, joka valmistaa ja myy 100 % kierrätysmateriaalista valmistettuja tekstiilituotteita. Yrityksen toiminnan perustana on sitoumus ympäristöystävällisten ja eettisten ratkaisujen tekemiseen. Pure Wasten tavoitteena on muuttaa tekstiiliteollisuutta ekologisempaan suuntaan, mikä vaatii sekä toiminta- että ajattelutapojen muutosta. (Pure Waste, 2019, 2.)

### **4.1 Tuotantoprosessi**

Pure Wasten valmistamat langat ovat sekoitus yrityksen omilta ompelutehtailta kerätystä, mekaanisesti kierrätetystä puuvillasta sekä kierrättäjältä kerätyistä PET-pulloista valmistetusta kierrätyspolyesteristä (Pure Waste, haastattelu, 2021). Tällä hetkellä yritys käyttää pääasiassa vain yhtä materiaalikoostumusta, joka on 60 % puuvillaa ja 40 % polyesteriä (Pure Waste, 2019, 7).

Yrityksen toiminta on keskittynyt Intiaan, jossa tekstiiliteollisuuden leikkuujäte kerätään ja kierrätetään sen syntysijoilla. Tuotantoprosessi alkaa leikkausjätteen lajittelulla laadun ja värin mukaan, minkä jälkeen leikkausjäte avataan mekaanisesti kuiduiksi. Väriaineita ei käytetä, joten leikkausjätteen väri määrittää tuotteen lopullisen värin. Tämän jälkeen puuvillakuitu sekoitetaan polyesteriin, joka on valmistettu termisesti PET-pulloista. Sekoitekuitu kehrätään langaksi, minkä jälkeen lanka joko neulotaan tai kudotaan kankaaksi lopullisesta käyttötarkoituksesta riippuen. Ompelutehtaalla kangas leikataan ja ommellaan valmiiksi vaatteeksi. (Pure Waste a.)

### **4.2 Kestävyyden edistäminen**

Pure Waste edistää toiminnassaan kestävyyttä monin tavoin. Prosesseissa vältetään haitallisten kemikaalien käyttöä, ja valmiit kankaat pestään suljetussa vedenkierrossa ja -puhdistusjärjestelmässä (Pure Waste, 2019, 9). Käyttämällä tuotannossa kierrätettyä materiaalia voidaan tarjota uusi elämä leikkuujätteelle, ja siten välttää sen joutuminen kaatopaikalle tai

polttavaksi. Lisäksi säästetään vettä, joka olisi kulunut puuvillan viljelyyn ja erilaisiin märkäprosesseihin, kuten värjäykseen. Esimerkiksi Pure Wasten valmistaman t-paidan tuotannossa kuluu 99 % vähemmän vettä ja syntyy 50 % CO<sub>2</sub>-päästöjä vähemmän kuin vastaavalla neitseellisestä materiaalista valmistetulla tuotteella (Pure Waste a).

Pure Waste korostaa toiminnassaan myös taloudellista, sosiaalista sekä ympäristövastuuta (Pure Waste b). Luonnonvarojen vastuullinen käyttö ja vastuu ympäristöstä ovat tärkeitä seikkoja, ja koska tekstiiliteollisuudessa syntyy valtava määrä leikkuujätettä, sen hyödyntäminen tuotannossa on yksi uusista merkittävistä toimintatavoista. Ympäristön huomioiminen on tärkeää kaikilla tuotannon osa-alueilla, mihin Pure Waste yrittääkin vaikuttaa monin tavoin. Yrityksen tuotanto toteutetaan tuulivoimalla, tuotteita suunniteltaessa otetaan huomioon niiden kierrätettävyys ja kuljetusvaiheessa vältetään lentorahtia (Pure Waste b).

Pure Waste haluaa toiminnassaan korostaa myös läpinäkyvyyttä ja avoimuutta, sillä ne ovat avainasemassa työolojen ja ympäristövaikutusten parantamisessa. Siksi yritys haluaakin tarjota kaikille työntekijöilleen tasa-arvoisen ja turvallisen työympäristön. (Pure Waste, 2019, 15, 19.) Myös taloudellinen vastuu on tärkeää, koska liiketoiminnan ollessa kannattavaa voidaan tarjota työpaikkoja ja ekologisia vaihtoehtoja asiakkaille. Kun liiketoiminta on kannattavaa, on myös mahdollista kehittää tuotantotapoja entistä ekologisempaan suuntaan.

Ympäristövaikutusten pienentämisessä vaatteiden oikeanlainen hoito on tärkeää. Pure Waste tarjoaakin verkkosivuillaan vaatteiden hoito- ja korjausohjeita. Lisäksi yritys ottaa takaisin sellaisia omia tuotteitaan, joita asiakkaat eivät käytä enää. Tällä hetkellä Pure Waste ei kuitenkaan pysty käyttämään omia tekstiilejään kierrätysprosessissa, joten ne kierrätetään muilla tavoin, esimerkiksi komposiitiksi. (Pure Waste, 2019, 35–36.)

### **4.3 Toiminnan haasteet ja tulevaisuus**

Yritys kohtaa toiminnassaan myös muutamia haasteita. Tällä hetkellä yhtenä haasteena on värikohtainen saatavuus, minkä myötä yrityksen tarjoama värivalikoima on suppea (Pure Waste, haastattelu, 2021). Saatavilla olevan leikkuujätteen väri määrittää lopullisen tuotteen värin, minkä takia tuotteiden väri hieman vaihtelee. Lisäksi haasteena on se, että puuvillaa

on viime vuosikymmenten aikana yritetty kasvattaa nopeasti suuria määriä, mikä on heikentänyt sen laatua (Pure Waste, haastattelu, 2021). Tämän myötä myös puuvillaisen leikkujätteen laatu on kärsinyt.

Nykyisin kaikki tuotettu lanka menee yrityksen omaan tuotantoon, mutta tarkoituksena olisi avata lankamyynti myös yritysasiakkaille tulevaisuudessa (Pure Waste, haastattelu, 2021). Työn alla on myös hankkeita esimerkiksi tekstiilien kestävyys edistämiseksi (Pure Waste, 2019, 37).

Lisäksi Pure Waste pyrkii etsimään polyesterille korvaavaa vaihtoehtoa, jotta öljypohjaisten kuitujen käyttöä saataisiin pienennettyä (Pure Waste, 2019, 8). Yritys onkin jo testannut monia materiaaleja, mutta niitä ei ole kaupallistettu, koska varman tuotantoketjun takaamisessa ei ole vielä onnistuttu (Pure Waste, haastattelu, 2021). Toisaalta tavoitteena on myös löytää riittävän pitkää kierrätettyä puuvillakuitua, jotta sen joukkoon ei tarvitsisi sekoittaa muita kuituja. Tämä helpottaisi myös puuvillan kierrättämistä. (Pure Waste, 2019, 8.)

Ympäristönäkökulmasta tekstiiliteollisuus ei pysty koskaan olemaan täysin päästötön, minkä vuoksi haitalliset vaikutukset pitäisi tiedostaa ja niitä pitäisi pyrkiä minimoimaan. Siksi myös Pure Waste on sitoutunut toimintansa hiilijalanjäljen pienentämiseen, ja päätaavoitteena onkin olla 90 % hiilineutraali vuonna 2025 (Pure Waste, 2019, 29). Yrityksen tavoitteena on myös toimia esimerkkinä muille lisäämällä tietoisuutta kuluttaja- ja yritysken-  
tässä.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tekstiiliteollisuudella on monia erilaisia ympäristövaikutuksia, jotka vaihtelevat kuidusta riippuen. Tekstiilien valmistus, käyttö ja hävitys aiheuttavat huomattavia vaikutuksia maan veden varastoihin ja maaperän tilaan. Taulukossa 1 on vertailu puuvillan ja polyesterin merkittävimpiä ympäristövaikutuksia toisiinsa. Taulukkoon on merkitty, kummalla kuidulla on suurempi vaikutus kyseisessä ympäristövaikutuskategoriassa.

**Taulukko 1.** Puuvillan ja polyesterin merkittävimmät ympäristövaikutukset.

	Puuvilla	Polyesteri
Veden kulutus	x	
Vaikutukset maaperään	x	x
Kemikaalien käyttö	x	
Hiilijalanjälki		x
Energian kulutus		x
Helposti kierrätettävää		x
Uusiutuvaa	x	
Biohajoavaa	x	

Taulukon 1 perusteella voidaan todeta kummankin kuidun aiheuttavan huomattavia vaikutuksia ympäristöön, minkä vuoksi uusien toimintatapojen kehittäminen on tärkeää. Puuvillan tuotannossa keskeisimmät vaikutukset tulevat veden kulutuksesta ja kemikaalien käytöstä, ja polyesterillä ne aiheutuvat hiilijalanjäljestä ja energian kulutuksesta. Lisäksi molemmilla kuiduilla on merkittäviä vaikutuksia maaperään. Polyesteri on helpommin kierrätettävää kuin puuvilla, mutta puuvilla on puolestaan uusiutuvaa ja biohajoavaa.

Pure Waste toimii yhtenä esimerkkinä uusista toimintatavoista, jotka voisivat muuttaa tekstiiliteollisuutta ympäristöystävällisempään suuntaan. Kierrättämällä tekstiilijätettä uusiokäyttöön sitä päätyy vähemmän kaatopaikoille ja poltettavaksi. Tällöin valmistettavia tuotteita varten ei tarvitse valmistaa kuituja neitseellisestä materiaalista, ja samalla voidaan

pienentää tuotteiden vesi- ja hiilijalanjälkiä. Tässäkin toimintatavassa tarvitaan vielä kehitystä, jotta voitaisiin esimerkiksi kierrättää valmistettu sekoitekuitu uudelleenjalostettavaksi, mikä on tällä hetkellä hyvin hankalaa.

Uusille tekstiileille on jatkuvasti tarvetta, minkä vuoksi tekstiilien tuotantoa on mahdotonta lopettaa kokonaan. Sen takia olisikin tärkeää kehittää valmistusprosesseja ekologisemmiksi ja kierrätys- ja uudelleenkäyttömahdollisuuksia entistä paremmiksi. Yritysten rooli on tässä merkittävä, sillä ilman ekologisten vaihtoehtojen tarjontaa, kuluttajilla ei ole muuta vaihtoehtoa kuin ostaa epäekologisesti ja epäeettisesti tuotettuja tekstiilituotteita.

Uudenlaisilla liiketoimintamalleilla pystyttäisiin mahdollistamaan myös kiertotalouden mukaiset liiketoimintamallit. Kiertotalouden kannalta keskeisimpiä kehityksen kohteita olisivat tekstiilien elinkaaren alku- ja loppupää. Alkupäässä oleellista olisi materiaalien valmistuksen kehittäminen. Esimerkiksi puuvillan kohdalla veden kulutuksen ja kemikaalien käytön vähentäminen olisi tärkeää, koska tämänhetkiset toimintatavat eivät ole kestäviä. Siirtymällä tehokkaampaan kasteluun ja ympäristöystävällisempiin torjunta- ja väriaineisiin voitaisiin vaikuttaa merkittävästi puuvillakuidun ympäristövaikutusten syntyyn. Materiaalien valmistuksen kehittäminen parantaisi myös vaatteiden laatua, minkä avulla voitaisiin pidentää niiden käyttöikää.

Elinkaaren loppupäässä olisi tärkeää se, miten materiaaleja kerätään edellisestä kierrosta ja miten niitä uudelleenjalostetaan. Olennaista olisi kehittää etenkin sellaisia toimintatapoja, joissa kuidun laatu ei kärsi ja joissa kuitua voitaisiin käyttää uudelleen monia kertoja. Käytön aikaisia vaikutuksia voitaisiin puolestaan vähentää ihmisten kulutus- ja ajatustapoja muuttamalla, mikä vaatii myös paljon työtä. Etenkin polyesterin kannalta oleellista olisi kehittää joko kankaita sellaisiksi, ettei niistä irtoaisi yhtä paljon mikrokuituja, tai pesukoneita ja jätevedenpuhdistamoja sellaisiksi, etteivät ne päästä vaatteista irronneita mikrokuituja ympäristöön.

Tekstiilien kulutuksen vähentäminen on myös yksi oleellinen ratkaisu ympäristövaikutusten vähentämisessä, koska kysynnän ollessa pientä vaatteita ei valmistettaisi niin suurella volyyymilla. Toisaalta tekstiilien kulutuksen lopettaminen kokonaan ei kuitenkaan voisi olla

vaihtoehto, sillä se veisi monelta ihmiseltä työpaikan. Siksi olisikin tärkeää, että kulutus voitaisiin saada kestävämmälle tasolle ja tekstiilialan työntekijöille voitaisiin tarjota hyvät työolot ja riittävästi palkkaa. Muutoksen aikaansaamiseksi olisi tässäkin oleellisinta tiedottaa kuluttajia aiheesta sekä vaatia yrityksiä siirtymään kestävämpiin liiketoimintamalleihin.

## 6 YHTEENVETO

Puuvillan tuotannossa käytetään merkittävä määrä vettä sekä erilaisia kemikaaleja, kuten torjunta- ja väriaineita. Suuri vedenkulutus viljelyvaiheessa aiheuttaa kuivuusongelmia viljelyalueilla ja vaurioittaa vesiympäristöjä. Puuvillan tarvitsemat torjunta-aineet ovat usein vaarallisia ja aiheuttavat terveysongelmia sekä ympäristön saastumista.

Polyesterin tuotannossa syntyy enemmän hiilidioksidipäästöjä ja kuluu enemmän energiaa, mikä johtaa kolme kertaa suurempaan hiilijalanjälkeen kuin puuvillalla. Polyesterin tuotannossa veden kulutus on hyvin vähäistä, eikä kemikaalejakaan juuri käytetä väriaineiden lisäksi.

Molemmilla kuiduilla on merkittäviä vaikutuksia maaperään. Puuvillan runsas kastelu ja torjunta-aineiden käyttö aiheuttavat maaperän pilaantumista ja kuivuusongelmia, ja raakaöljynotto maaperästä polyesterin tuotantoa varten vahingoittaa ympäröivää ekosysteemiä. Lisäksi molempien kuitujen värjäyksestä ja viimeistelyssä syntyvät jätevedet saastuttavat maaperää ja vesistöjä. Sekä puuvilla- että polyesterivaatteista irtoaa käytön, pesun ja kuivauksen mikrokuituja, mutta polyesteristä irtoavat mikromuovit ovat huomattavasti haitallisempia ympäristölle. Mikrokuituja on levinnyt laajasti vesistöihin ja maaperään, minkä lisäksi niitä on päätynyt myös esimerkiksi ravintoketjuun.

Polyesteri on helpommin kierrätettävää kuin puuvilla. Molempien kuitujen laatu kuitenkin kärsii etenkin yleisesti käytettävässä mekaanisessa kierrätystavassa, minkä vuoksi myös kierrätystavoissa on kehitettävää. Pure Waste on osoittanut toiminnallaan kierrätyksen olevan oleellinen keino tekstiilien hiilijalanjäljen pienentämisessä, joten senkin kannalta kierrätysmetodeja tulisi saada entistä paremmiksi. Kierrätyksellä voitaisiin pienentää myös veden kulutusta ja kemikaalien käyttöä, mikä vähentäisi samalla maaperään aiheutuvia päästöjä.

Toimintatapojen muuttamisessa kestävämpään suuntaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota materiaalin valmistustapoihin ja kierrätettävyyteen. Pure Waste toimii hyvänä esimerkkinä



uusista toimintatavoista, joissa hyödynnetään materiaalien kierrätystä. Vaikka yrityksen toiminnassa onkin vielä kehitettävää, on ympäristövaikutusten syntyyn pystytty jo vaikuttamaan huomattavasti. Yrityksillä on suuri rooli myös kuluttajien ajatus- ja toimintatapojen muutoksessa, eikä tämä muutos tule syntymään hetkessä. On kuitenkin tärkeää, että yritykset tarjoavat kuluttajille ekologisempia vaihtoehtoja, jotta kuluttajat pystyisivät osallistumaan kestävämmän tekstiiliteollisuuden tukemiseen ja siten myötävaikuttamaan sen välttämättömään muutokseen.

## LÄHTEET

Banuri, T. 1999. Pakistan: Environmental Impact of Cotton Production and Trade. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development. 58 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 26.2.2021] Saatavissa: [https://www.iisd.org/system/files/publications/pk\\_Banuri.pdf](https://www.iisd.org/system/files/publications/pk_Banuri.pdf)

Blackburn, R. 2015. Sustainable Apparel - Production, Processing and Recycling. Elsevier. 262 s. ISBN: 978-1-78242-339-3.

Chapagain, A., Hoekstra A., Savenije, H. & Gautam, R. 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. vol 60. 186–203 s. ISSN 0921-8009.

Chavan R. 2011. 16 - Environmentally friendly dyes. Teoksessa: Clark, M. Handbook of Textile and Industrial Dyeing. 2011. 1. painos. Woodhead Publishing. 515–561 s. ISBN: 9781845696955.

Chen, H. & Burns, L. 2006. Environmental Analysis of Textile Products. Clothing and textiles Research Journal. vol 24. no 3. 248–261 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 20.3.2021] Saatavissa: <https://journals-sagepub-com.ezproxy.cc.lut.fi/doi/pdf/10.1177/0887302X06293065>

Cox, K., Covernton, G., Davies, H., Dower, F., Juanes, F. & Dudas, S. 2019. Human Consumption of Microplastics. Environmental science & technology. vol 53. 7 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 3.3.2021] Saatavissa: <https://pubs-acsc-org.ezproxy.cc.lut.fi/doi/pdf/10.1021/acs.est.9b01517>

Dahlbo, H., Aalto, K., Eskelinen, H. & Salmenperä, H. 2017. Increasing textile circulation—Consequences and requirements. Sustainable Production and Consumption. vol 9. 44–57 s. ISSN: 2352-5509.

European Commission. 2018. Circular Economy: New rules will make EU the global front-runner in waste management and recycling.

Esteve-Turrillas, F. & de la Guardia, M. 2017. Environmental impact of Recover cotton in textile industry. vol 116. 107–115 s. ISSN 0921-3449.

Frost, H., Zambrano, M., Leonas, K., Pawlak, J. & Venditti, R. 2020. Do Recycled Cotton or Polyester Fibers Influence the Shedding Propensity of Fabrics During Laundering? AATCC Journal of Research. vol 7. Special Issue One. 32–41 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 18.3.2021] Saatavissa: <https://doi.org/10.14504/ajr.7.S1.4>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. & Hultink E. 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production. vol 143. 757–768 s. ISSN: 0959-6526

Johnson, S., Echeverria, D., Venditti, R., Jameel, H. & Yao, Y. 2020. Supply Chain of Waste Cotton Recycling and Reuse: A Review. AATCC Journal of Research. vol 7. 2020 Special Issue One. 19–31 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.3.2021] Saatavissa: <https://doi.org/10.14504/ajr.7.S1.3>

Kalliala, E. & Nousiainen P. 1999. Environmental profile of cotton and polyester-cotton fabrics. Life Cycle Assessment. AUTEX Research Journal. vol 1. no. 1. Tampere University of Technology. 13 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 3.3.2021] Saatavissa: [http://www.autexrj.com/cms/zalaczone\\_pliki/2b.pdf](http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/2b.pdf)

Kooistra, K., Termorshuizen, A. & Pyburn, R. 2006. The sustainability of cotton: consequences for man and environment. Science Shop Wageningen University & Research Centre. 60 s. ISBN: 90-6754-90-8585-000-2.

Kozlowski, R. 2012. Handbook of natural fibres. Woodhead publishing. 620 s. ISBN: 978-1-845-69-697-9.

Manea, L., Berteau A-P. & Berteau, A. 2020. Polyester Dyeing and its Environmental Impact. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 9 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 4.3.2021] Saatavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/877/1/012062/meta>

Mikkonen, H. 2018. Tutustu uusiin kuitutilastoihin! Suomen Tekstiili & Muoti. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.3.2021] Saatavissa: <https://www.stjm.fi/uutiset/tutustu-uusiin-kuitutilastoihin/>

Moazzem, S., Crossin, E., Daver, F. & Wang, L. 2018. Baseline scenario of carbon footprint of polyester t-shirt. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. vol 11. no 1. 14 s. ISSN: 1940-8676.

Moazzem, S., Wanga, L., Daverb, F. & Crossinc, E. 2021. Environmental impact of discarded apparel landfilling and recycling. Resources, conservation, and recycling. vol 166. 13 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.3.2021] Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920306534?via%3Dihub>

Muthu, S., Li, Y., Hu, J. & Ze, L. 2012. Carbon footprint reduction in the textile process chain: Recycling of textile materials. Fibers and Polymers. Institute of Textiles & Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong. vol 13. no 8. 1065–1070 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 14.3.2021] Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/content/pdf/10.1007/s12221-012-1065-0.pdf>

Muthu, S. 2014. Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain. The Textile Institute Book Series. 2. painos. Woodhead Publishing. 196 s. ISBN: 978-0-12-819783-7.

Muthu, S. 2019. Fast Fashion, Fashion Brands and Sustainable Consumption. Textile Science and Clothing Technology. 1. painos. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 54 s. ISBN: 978-981-13-1267-0.

Muthu, S. 2020. Environmental Footprints of Recycled Polyester. Textile Science and Clothing Technology. 1. painos. Singapore: Springer Singapore. 104 s. ISBN: 978-981-13-9577-2.

Mäki, S. Suomen Tekstiili & Muoti. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.3.2021] Saatavissa: <https://www.stjm.fi/toiminta-alueemme/vastuullisuus/kiertotalous/>

Nizzetto, L., Mutter, M. & Langaas S. 2016. Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? Environmental science & technology. vol 50. 3 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 3.3.2021] Saatavissa: <https://pubs-acscs.org.ezproxy.cc.lut.fi/doi/abs/10.1021/acs.est.6b04140>

Palacios-Mateo, C., van der Meer, Y. & Seide, G. 2021. Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability. Environmental Sciences Europe. 25 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 3.3.2021] Saatavissa: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-020-00447-x>

Pure Waste a. Prosessi. [verkkojulkaisu] [viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://www.purewaste.com/fi/purewaste-maailma/tuotanto/prosessi>

Pure Waste b. Vastuullisuus. [verkkojulkaisu] [viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://www.purewaste.com/fi/purewaste-maailma/meista/vastuullisuus>

Pure Waste. 2019. Vastuullisuusraportti. 23 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://drive.google.com/file/d/1miL9637JrFcctcNvukZhgRQJgysMYu2g/view>

Pure Waste-yrityksen edustaja. 2021. Haastattelu. 12.2.2021. Pure Waste.

Rana, S., Pichandi, S., Moorthy, S., Bhattacharyya, A., Parveen, S. & Fanguero, R. 2015. Carbon Footprint of Textile and Clothing Products. Teoksessa: Muthu, S. 2015. Handbook of Sustainable Apparel Production. Taylor & Francis Group. 141–165 s. ISBN: 9781482299373.

Roche, J. 1994. The International Cotton Trade. Cambridge: Woodhead Publishing. 302 s. ISBN: 1855731045.

Šajn, N. European Parliament. 2019. Environmental impact of the textile and clothing industry: What consumers need to know.

Shabbir, M. 2019. Textiles and Clothing – Environmental Concerns and Solutions. John Wiley & Sons. 323 s. ISBN 978-1-11952-6-315.

Stone, C., Windsor, F., Munday, M. & Durance, I. 2020. Natural or synthetic – how global trends in textile usage threaten freshwater environments. The Science of the total environment. vol 718. 10 s. ISSN: 0048-9697.

Talvenmaa, P. & Mustonen, M. 2011. Tekstiilien kierrätys ja hyötykäyttö: mahdolliset teknologiat. Tampereen teknillinen yliopisto. 46 s. [verkkójulkaisu] [viitattu 19.3.2021] Saatavissa: <https://docplayer.fi/7398964-Tekstiilien-kierratys-ja-hyotykaytto-mahdolliset-teknologiat.html>

Thomas, B., Fishwick, M., Joyce, J. & van Santen, A. 2012. A Carbon Footprint for UK Clothing and Opportunities for Savings. Environmental Resources Management Limited (ERM). 73 s. [verkkójulkaisu] [viitattu 19.4.2021] Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/306145659\\_A\\_Carbon\\_Footprint\\_for\\_UK\\_Clothing\\_and\\_Opportunities\\_for\\_Savings](https://www.researchgate.net/publication/306145659_A_Carbon_Footprint_for_UK_Clothing_and_Opportunities_for_Savings)

van Dam, J. 2008. Natural fibres and the environment: environmental benefits of natural fibre production and use. Symposium on Natural Fibres. Wageningen University. 3–17 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 13.2.2021] Saatavissa: <http://www.fao.org/3/i0709e/i0709e03.pdf>

Wang, C., Wang, L., Liu, X., Du, C., Ding, D., Jia, J., Yan, Y. & Wu, G. 2015. Carbon footprint of textile throughout its life cycle: a case study of Chinese cotton shirts. Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd. vol 108. osa A. 464–475 s. ISSN: 0959-6526.

World Wildlife Fund, WWF. 2021. Cotton. [verkkojulkaisu] [viitattu 24.2.2021] Saatavissa: <https://www.worldwildlife.org/industries/cotton>

Wu, Z. 2020. Haode Evaluating the Life-cycle Environmental Impacts of Polyester Sports T-shirts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd. 10 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 3.3.2021] Saatavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/474/2/022017>

Zambrano, M., Pawlak, J., Daystar, J., Ankeny, M., Cheng, J. & Venditti, R. 2019. Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. Marine Pollution Bulletin. vol 142. 394–407 s. ISSN: 0025-326X.

Zambrano, M., Pawlak, J., Daystar, J., Ankeny, M. & Venditti, R. 2021. Impact of dyes and finishes on the microfibers released on the laundering of cotton knitted fabrics. Environmental Pollution (1987). vol 272. 10 s. ISSN: 0269-7491.

Zhang, Y., Liu, X., Xiao, R. & Yuan, Z. 2015. Life cycle assessment of cotton T-shirts in China. The International Journal of Life Cycle Assessment; Dordrecht. vol. 20. no 7. 994–1004 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 10.3.2021] Saatavissa: <https://www-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/1690358027/fulltextPDF/9BE0ADC749F34CFFPQ/1?ac-countid=27292>