

Elina Jaakkola

TEKSTILIJÄTTEEN KIERRÄTYSMENE- TELMÄT

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Tammikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Elina Jaakkola: Tekstiilijätteen kierrätysmenetelmät
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaatinohjelma, Materiaalitekniikka
Tammikuu 2024

Tekstiilijätteellä tarkoitetaan käyttökelvottomia vaatteita ja tekstiilejä, joita ei voida sellaisenaan käyttää uudelleen. Tekstiilijätteet aiheuttavat haittaa ympäristölle kasvavalla jätemäärällä. Vuosittain tekstiilijätettä syntyy noin 92 miljoonaa tonnia, josta vain 1-2 prosenttia kierrätetään. Pikamuodin ja lyhyen käyttöiän vuoksi suuri määrä tekstiilejä päätyy roskiin. Tekstiilin kierrätyksellä vähennetään ympäristöhaittaa ja parannetaan resurssitehokkuutta.

Tekstiilijätettä voidaan kierrättää erilaisilla menetelmillä. Tässä työssä selvitettiin, mitä menetelmiä on ja mitkä ovat niiden peruseriaatteet. Tarkastellaan myös miten tekstiilin materiaali vaikuttaa kierrätettävyyteen. Kierrätyksessä tekstiilijätteet kerätään, lajitellaan ja kierrätetään valitulla menetelmällä. Lajittelussa tekstiilijäte voidaan lajitella sekä materiaalin että värin mukaan. Tekstiilijätettä kierrätetään mekaanisesti, kemiallisesti ja termisesti. Mekaanisessa kierrätyksessä tekstiilit silputaan ja revitään kuiduiksi. Kemiallinen kierrätys voidaan toteuttaa monomeeri- tai polymeeritasolla. Tekstiilikuidut voidaan liuottaa polymeeritasolla kuiduiksi. Monomeeritasolla kuidut pilkotaan kemiallisten reaktioiden avulla.

Työssä selvisi, että kemiallisella kierrätyksellä voidaan tuottaa neitseellistä kuitua vastaavaa kuitua, toisin kuin mekaanisesti kierrätetty kuitu vaatii neitseellisen kuidun sekoittamista kierrätettyyn materiaaliin. Tekstiilien mekaanisessa kierrätyksessä kuitupituus lyhenee, mikä heikentää kuidun lujuutta. Kierrätys ei ole ainoa menetelmä, vaan tekstiilijätettä voidaan hyödyntää myös energiantuotannossa.

Lainsäädännöllä vaikutetaan luonnonvarojen ja ympäristön kestävään käyttöön sekä ihmisten terveyteen. Tekstiilit ja tekstiilijätteet ovat monen lain ja asetuksen piirissä. Tekstiilit sisältävät monia kemikaaleja, esimerkiksi väriaineita, pinnoitteita, palonestoaineita, pehmentimiä tai torjunta-aineita. Tekstiilijätteen kierrätys on välttämätöntä kestäväen tulevaisuuden kannalta. Tekstiilialaa pyritään viemään kohti vihreämpiä käytäntöjä. Tulevaisuudessa tekstiilien tulisi olla pitkäikäisiä, kierrätettäviä, korjattavia, kierrätysmateriaalista valmistettuja sekä ilman vaarallisia kemikaaleja. Pikamuodista ja kertakäyttökulttuurista on tarkoitus siirtyä kohti uudelleenkäyttöä ja korjauspalveluja.

Avainsanat: tekstiilijäte, tekstiilin kierrätys, mekaaninen kierrätys, kemiallinen kierrätys, tekstiilikuitu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Olen aina ollut kiinnostunut kierrätyksestä ja maailmantilasta. Elämäni ohjaa vahvasti ekologisuus, ympäristöstä huolehtiminen ja kestävä kehitys. Yliopisto-opiskelujen aikana nämä arvot olleet tulleet entistä tärkeämmiksi, joten on ollut mahtavaa syventyä tekstiilien kierrätykseen ja sen mahdollisuuksiin sekä uhkiin tarkemmin.

Kandidaatintyön kirjoitusprosessi oli minulle henkilökohtaisesti todella uuvuttava ja aika ajoitin epätoiveikas. Siksi haluankin kiittää isääni tukena olosta, ystäviä haasteideni kuuntelusta, treeniyhteisöä, Taysin neuropolin hyvää henkilökuntaa sekä Annamari Lainetta. En aina uskonut, että saisin tämän valmiiksi.

Tampereella, 9.1.2024

Elina Jaakkola

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEKSTIILIJÄTE	2
2.1 Maailman tekstiilituotannon nykytila	2
2.2 Tekstiilijätteen määrä	4
3. TEKSTIILIJÄTTEEN KIIERRÄTYSPROSESSIT	5
3.1 Lajittelu	5
3.2 Mekaaninen kierrätys	6
3.3 Kemiallinen kierrätys	7
3.3.1 Puuvilla	7
3.3.2 Synteettiset kuidut	8
3.4 Terminen kierrätys	8
3.5 Terminen konversio	8
3.6 Kierrätyksen ongelmat	9
4. HYÖDYNNETTÄVYYS	11
4.1 Käyttökohteet	11
4.2 Rester	12
4.3 Infinited Fiber Company	12
5. LAINSÄÄDÄNTÖ	14
5.1 Tekstiilijätettä koskeva lainsäädäntö	14
5.2 Tulevaisuuden näkymät	15
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	17
LÄHTEET	18

1. JOHDANTO

Tekstiiliteollisuus vastaa noin 10 % maapallon hiilidioksidipäästöistä sekä 20 % pilaantuvista vesistä. Hiilidioksidipäästöjen määrä on suurempi kuin lento- ja meriliikenteen päästöt yhteensä. Tekstiileiden tuottamiseen liittyy paljon ympäristöongelmia kuten puhtaan veden pilaantuminen, luonnonvarojen ylikulutus, kasvavat kasvihuonepäästöt sekä tekstiilijätteen hävittäminen polttamalla tai viemällä kaatopaikalle. (European Parliament 2020)

Vaatteiden tuotanto on kaksinkertaistunut 2000-luvun alusta nykyhetkeen ja sen odotetaan kasvavan edelleen. Samaan aikaan käyttöikä on lyhentynyt huomattavasti. Pika-muodin ja sosiaalisen median myötä trendit vaihtuvat nopeasti. Tällöin tekstiilijätettä syntyy enemmän. Tekstiilijäteongelmaa ratkaistaan erilaisilla kierrätysmenetelmillä. Vielä vain murto-osa tekstiilijätteistä päätyy kierrätykseen. Teknologioita on kuitenkin kehitetty tekstiilijätteen kierrättämiseksi takaisin kuiduksi. Neitseellisen materiaalin käyttö on kuitenkin edelleen halvempaa. (European Parliament 2020)

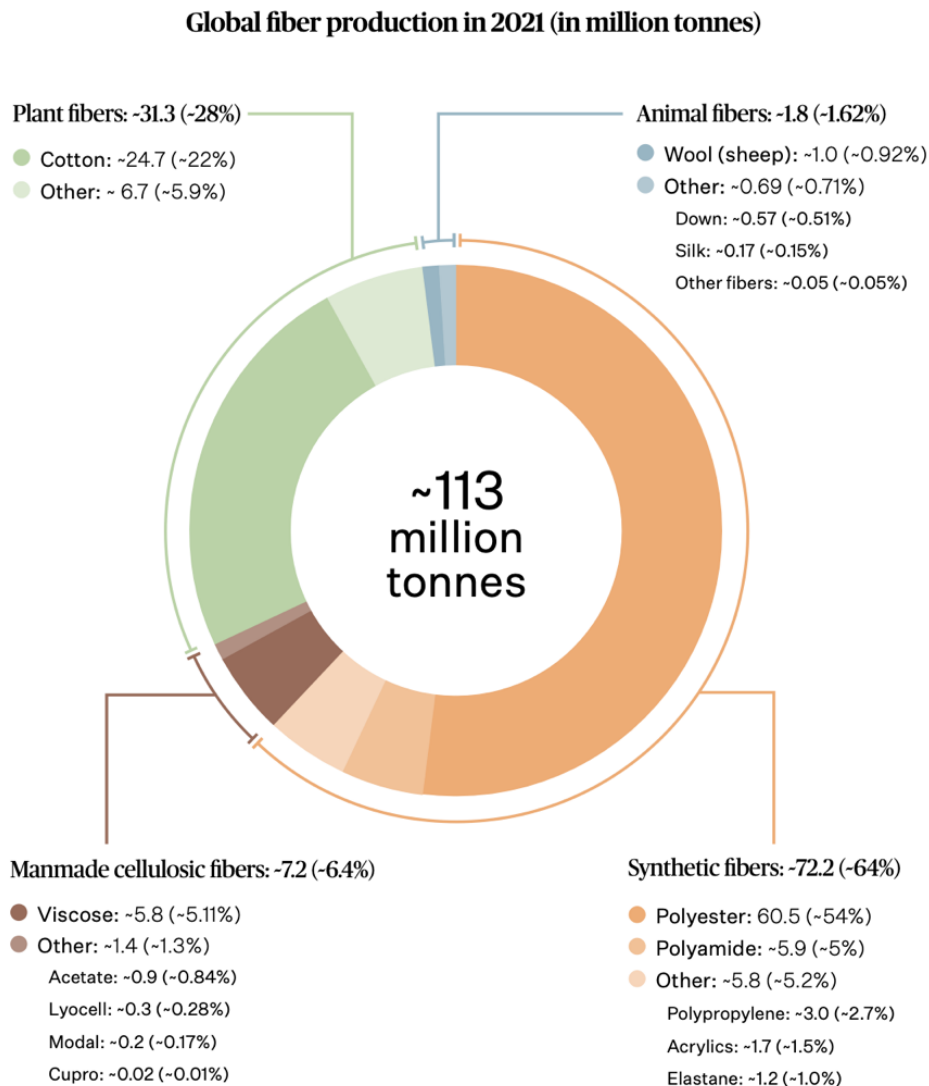
Tässä työssä selvitetään tekstiilijätteiden tilaa nyt ja mitä kierrätysmenetelmiä poisto-tekstiileille käytetään. Tarkoituksena on selittää eri kierrätysmenetelmien perusperiaatteet ja miten kuiduksi kierrätettyä tekstiilijätettä voidaan hyödyntää.

2. TEKSTIILIJÄTE

Tekstiilijätteeksi luokitellaan sellaiset tekstiilit, jotka eivät kelpaa kuluttajalle tai uudelleenkäyttöön ilman käsittelyä. Yleensä tekstiilijätteet ovat rikkinäisiä tai loppuun käytettyjä vaatteita sekä muita tekstiilejä. (Salmenperä 2017) Ehjät ja käyttökelpoiset tekstiilit voidaan ja ne kannattaa käyttää uudelleen.

2.1 Maailman tekstiilituotannon nykytila

Tekstiilituotanto on ollut kasvussa kauan. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana tuotanto on lähes kaksinkertaistunut 58 miljoonasta tonnista 109 miljoonaan tonniin. Vuonna 2021 tekstiilien tuotanto oli yli 113 miljoonaa tonnia. (Statista 2022) On arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä tuotanto kasvaa 149 miljoonaan tonniin (Textile Exchange 2022). Kuten alla olevasta kuvasta 1 nähdään, polyesteri materiaalina on kaikista käytetyin. Se on yli puolet (54 %) koko maailman tekstiilituotannosta. Jos jaetaan tekstiilien tuotanto kilogrammoiksi henkilöä kohden, niin tuotanto on noussut 45 vuodessa 8,4 kilogrammasta 14 kilogrammaan. Kun tuotanto kasvaa, luonnollisesti myös jätteiden määrä kasvaa. (Kamppuri et al. 2019a)



Kuva 1. Maailman tekstiilikuitutuotanto vuonna 2021 (Textile Exchange 2022)

Synteettisten kuitujen osuus maailman tuotannosta on merkittävä. 1990-luvun puolivälistä saakka, synteettiset kuidut ovat olleet käytetympiä kuin puuvilla, joka oli johtavassa asemassa siihen asti. Puuvilla on edelleen toiseksi yleisin tekstiilimateriaali. Yhä tärkeämmäksi nousseen selluloosakuidun (MMCF) osuus maailman tuotannosta on 6,4 %. On arvioitu, että tekstiilituotanto aiheuttaa 10 % maailman hiilidioksidipäästöistä, joka on enemmän kuin meriliikenne ja kansainväliset lennot yhteensä (Guillot 2022).

2.2 Tekstiilijätteen määrä

Koska vaatteiden hinnat ovat laskeneet, kulutus on lisääntynyt sen mukaisesti. Vuoden 1996 jälkeen ostettujen tekstiilien määrä on kasvanut 40 %. Pikamuoti on vaikuttanut vaatteiden käyttöikään. Euroopassa heitetään vuosittain pois keskimäärin 11 kilogrammaa tekstiilejä vuosittain henkilöä kohden. (Guillot 2022) Yhdysvalloissa poisheitettyjen tekstiilien määrä on jopa 37 kilogrammaa vuodessa henkilöä kohden (Jäärni 2021). Materiaalien kierrätyksellä on suuri merkitys, koska tekstiilijätteen määrä on valtava. Vuosittain tekstiilijätettä syntyy maailmanlaajuisesti noin 92 miljoonaa tonnia, josta suuri osa päättyy kaatopaikoille tai poltettavaksi (Niinimäki et al. 2020).

3. TEKSTIILIJÄTTEEN KIERRÄTYSPROSESSIT

Tekstiilien kierrätyksessä kirpputorit ja kierrätyskeskukset ovat ensisijaisessa asemassa. Uudelleenkäyttö ei kuitenkaan aina ole järkevää tai mahdollista esimerkiksi tekstiilin kunnon vuoksi. Neitseellisten materiaalien käyttöastetta tulisi vähentää ja korvata osa kierrätetyillä materiaaleilla. (Kamppuri et al. 2019a) Tässä luvussa tarkastellaan, mitä vaiheita sekä millaisia kierrätysmenetelmiä on ja niiden perusperiaatteet. Mekaaninen kierrätys on yleisesti käytetty menetelmä, mutta kemiallisen kierrätyksen potentiaali on hyvin suuri. (Guillot 2022) Kemiallisella kierrätyksellä saadaan aikaan parempilaatuista kuitua kuin mekaanisella kierrätyksellä. Tekstiilien kierrätyksessä korostuu yksi haaste. Tekokuidusta tehdyt tekstiilit, jotka sisältävät sekä synteettistä että luonnonkuitua, aiheuttavat haasteita lajittelussa.

3.1 Lajittelu

Ensimmäinen vaihe tekstiilien kierrättämisessä on sen lajittelu. Lajittelu on tärkeä vaihe kierrätysprosessissa, koska se ennakoii kierrätetystä materiaalista tehdyn lopputuotteen koostumusta. Usein tekstiilijäte lajitellaan manuaalisesti, mutta siihen on myös olemassa teknologioita. Manuaalisesti lajittelu on kallista Euroopassa sekä Yhdysvalloissa, toisin kuin Aasiassa, jossa työvoima ei ole kovin kallista. Aluksi lajitellaan käyttökelpoiset ja käyttökelvottomat tuotteet toisistaan. Tämän jälkeen vasta voidaan kutsua lajiteltua tekstiiliä tekstiilijätteeksi, kun siitä on eroteltu käyttökelpoiset tuotteet (Kamppuri et al. 2019b). Lajittelussa tekstiilijäte jaotellaan materiaalin koostumuksen, värin ja esimerkiksi kangasrakenteen mukaan. (Palm et al. 2014)

Pre-consumer tekstiilijäte on tekstiiliteollisuuden sivuvirtaa. Tämä on helpompi jätekategoria hyödyntää, koska tekstiilijätteen puhtaus, kulumattomuus ja tasalaatuisuus voidaan varmistaa. Post-consumer tekstiilijätteitä syntyy huomattavasti enemmän kuin pre-consumer jätteitä. Kuluttajapoistotekstiileissä on kuitenkin se ongelma, että niiden puhtaudesta ja koostumuksesta ei voida mitenkään olla varmoja. Kuluttajapoistotekstiilien lajittelu on haastavaa, koska materiaalin koostumusta ei välttämättä tiedetä. (Kamppuri et al. 2019b)

Post-consumer jätetekstiiliin sisältyy myös yrityksiltä, kuten pesuloilta, hotelleilta ja sairaaloilta, tulevat jätetekstiilit. Nämä ovat tasalaatuisempia ja puhtaita verrattuna tavalliseen kuluttajapoistotekstiiliin. Tällöin lajittelu on helpompaa, koska lajiteltava jäte on samaa.

Tekstiilijätteen lajittelussa voidaan manuaalisen lajittelun lisäksi hyödyntää erilaisia teknologioita. Tunnettu konelajittelussa käytetty teknologia on NIR (near infrared spectroscopy), joka perustuu lähi-infrapunaspektroskopiaan. NIR on yleisesti käytetty menetelmä sekä tekstiilien analysoinnissa että lääke- ja elintarviketeollisuudessa. Menetelmän huomattavia etuja ovat luotettavuus, materiaalin tuhoutumattomuus, kontaktiton tunnistus, nopeus sekä se, että testattavat näytteet eivät vaadi esivalmisteluja. NIR spektri sisältää aallonpituudet lähellä näkyvän valon aallonpituusalueen vieressä eli 780-2500nm. Menetelmä perustuu absorptioiden mittaamiseen materiaalista. Materiaali on vuorovaikutuksessa valon kanssa, jolloin kemiallisten sidosten värähtelyt eri aallonpituuksilla erottuvat. (Kamppuri et al. 2019b)

3.2 Mekaaninen kierrätys

Mekaaninen kierrätys on tekstiilin kierrätystä kuitutasolla. Prosessi aloitetaan tekstiilien lajittelulla. Mekaaninen kierrätys sopii parhaiten 100 % samaa materiaalia sisältävälle tekstiilille, esimerkiksi puuvilla sekä polyesteri ovat yleisiä materiaaleja. Tekstiilien lajittelu on tärkeää tehdä perusteellisesti, koska lopputuotteella on tietyt vaatimukset tuotteen laadulle. On pystyttävä tunnistamaan, mitä materiaaleja tekstiili sisältää. Kun tekstiilikuidun alkuperä, käsittelyprosessit sekä käytetyt kemikaalit ovat tiedossa niin voidaan taata kuidun puhtaus ja soveltuvuus uudelleenkäyttöön. Homogeenisen kuituaineksen kierrätys on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin kuluttajilta kerätty epätasalaatuinen tekstiilijäte, jonka puhtaudesta ei voida olla varmoja. Kuluttajilta tulleesta post consumer -tekstiilijätteestä voidaan valmistaa tekstiilejä esimerkiksi autoteollisuuteen. (Kamppuri et al. 2019a)

Lajittelun jälkeen tekstiili avataan kuiduiksi leikkaamalla ja repimällä. Yleisimmin käytetään giljotiinileikkuuta. Giljotiinileikkuri leikkaa tekstiilit suikaleiksi, minkä jälkeen suuntaa käännetään 90 astetta ja suikaleista saadaan silppua. Silppu avataan repijäkoneella kuiduiksi. Repimisvaihetta varten kaikki kovat osat tulee poistaa joko leikkuuvaiheessa tai käsin. Repiminen ilman giljotiinileikkausta sopii muun muassa villaneuleille, joissa ei yleensä ole juurikaan kovia osia. Kun repimisprosessi tehdään ilman leikkuuta, kuitupituus säilyy selvästi paremmin. Tekstiilin avausprosessissa tekstiili kulkee avaajien läpi, jossa sylinterit repivät tekstiilijätteen kuiduiksi. Avausprosessissa tekstiilistä irtoaa kuitukietoutumia, roskia sekä paloja tekstiilistä. Prosessi voidaan toistaa useita kertoja, jotta tekstiiliä saadaan avattua riittävästi. Turhat avauskierröt on syytä jättää tekemättä, koska jokainen avauskerta lyhentää kuitua ja kierrätetyn kuidun laatu siten heikkenee.

Kun kuidusta valmistetaan lankaa, on tärkeää tietää kuitujen ominaisuudet. Kuitujen ominaisuudet vaikuttavat suoraan langan kehrättävyyteen sekä tietysti kudottavan kankaan laatuun.

3.3 Kemiallinen kierrätys

Kemiallisessa kierrätyksessä tekstiilin kuidut hajotetaan monomeereiksi ja uudelleen polymeroidaan. Tällöin kuitujen laadun ennustettavuus on helpompaa ja varmempaa. Kemiallinen kierrätys voidaan jakaa erikseen sekä synteettisten kuitujen että selluloosakuitujen kierrätykseen. Synteettisiä kuituja ovat esimerkiksi nylon, akryyli ja polyesteri ja selluloosakuituihin lukeutuu puuvillan lisäksi muun muassa pellava ja hamppu. Kemiallisessa kierrätyksessä kuluu energiaa paljon enemmän kuin mekaanisessa kierrätyksessä. (Palm 2014) Kemiallinen kierrätys voidaan jakaa myös monomeeri- sekä polymeeritasojen kierrätykseen. Polymeeritasolla kierrätys voidaan toteuttaa kemiallisella kierrätyksellä tai termisellä, eli sulatyöstöllä. Monomeeritasolla kierrätys tehdään kemiallisesti tai käyttämällä termistä konversiota. Termisellä konversiolla saadaan otettua energia talteen. (Kamppuri et al. 2019a)

3.3.1 Puuvilla

Puuvillasta valmistettu tekstiili voidaan liuottamalla kierrättää kemiallisesti. Puuvilla muodostuu polymeereistä, jolloin sen rakenne saadaan liuotettua liuottimilla perusraaka-aineksi. Kemiallinen kierrätys alkaa giljotiinileikkuulla (kappale 3.1.), koska tekstiili tulee silputa ennen muita vaiheita. Silppuamisen jälkeen se jauhetaan. Jauhatuksessa on mahdollista poistaa tekstiilistä metallit, väriaineet ja silikaatit. (Kamppuri et al. 2019a) Puuvilla on selluloosapohjainen materiaali ja selluloosamassaa liuotetaan liuottimen kanssa.

Liuotettu puuvillamassa voidaan kehrätä uudenveroiseksi kuiduksi joko märkäkehrulla tai ilmaraolisella märkäkehrulla. Kehrätystä ja pestystä kuiduista valmistetaan kuitukangasta sekä lankaa. Niistä valmistetaan neulosta ja kangasta.

Kemialliseen kierrätykseen käytettävän puuvillan tulisi olla vähintään 97 % puuvillaa. Pienet määrät muita synteettisiä kuituja eivät haittaa prosessissa, koska ne voidaan suodattaa liuoksesta pois. Kuituseokset ovat haastavia kierrätettäviä, koska polymeereillä on erilaiset liukoisuudet eri liuottimiin. Synteettisillä kuiduilla on kuitenkin eri liukoisuus kuin selluloosalla, mikä aiheuttaa poistotekstiilien lajittelulle tarkat rajoitteet. (Kamppuri et al. 2019a) Elastaani on hankala materiaali kemiallisessa kierrätyksessä, koska se hankaloittaa liotusta.

3.3.2 Synteettiset kuidut

Kemiallista kierrätystä voidaan käyttää myös synteettisille kuduille. Tässä tapauksessa synteettisten kuitujen polymeeriketjut pilkotaan molekyyleiksi. Molekyylit voidaan polymerisoida uudelleen haluttuun pituuteen, jolloin saadaan uudenveroinen materiaali aikaan. Myös synteettiset kuidut tulee repiä tai silputa kierrätysprosessin alussa.

Kemiallinen kierrätysmenetelmä on hyvin riippuvainen jätetekstiilin puhtaudesta. Puhdistusvaiheita on useita ja niillä pyritään pääsemään tekstiilijätteessä olleista epäpuhtauksista eroon. Tekstiilin polymeeriketjut hajotetaan erilaisten kemiallisten reaktioiden avulla. Kun polymeeriketjut on hajotettu molekyyleiksi, niistä erotetaan edelleen värिमolekyylit.

3.4 Terminen kierrätys

Synteettisiä kuituja voidaan kierrättää termisesti. Tässä menetelmässä polymeerejä voidaan sulattaa uudelleen joko uusiksi tekstiilikuiduiksi tai muiksi muovituotteiksi. Terminen kierrätys ei ole mahdollista luonnonkuiduille, koska ne eivät sula lämpökäsittelyssä (Heikkilä 2019). Terminen kierrätys alkaa tässäkin usein giljotiinileikkuulla, jotta esimerkiksi napit ja muut kovat osat saadaan eroteltua. Tämän jälkeen silputtu materiaali sulatetaan ja valmistetaan granulaateiksi. Termisessä kierrätyksessä tulee huomioida se, että eri materiaaleilla on toisistaan eroavat sulamislämpötilat. Lajittelu tulee tehdä huolella sekä värin että materiaalin mukaan, jotta prosessi onnistuu. Lopputuotteen mekaaniset ominaisuudet huononevat, jos seassa on muita materiaaleja. Vastaavasti pienikin värijäämä vaikuttaa tuotettavan tuotteen väriin. (Kamppuri et al. 2019a)

Kun granulaatit on saatu valmistettua, ne sulakehrätään ekstruuderissa, jolloin syntyy uutta kuitua. Saatua kuitua venytetään siten, että sille saadaan toivotut ominaisuudet, kuten tietynlainen lujuus. Termisessä kierrätyksessä käytetään yleisimmin polyesteriä, polypropeenä sekä polyamidia. Termistä kierrätyksen sykliä ei voida jatkaa loputtomiin, koska terminen kierrätysmenetelmä vaikuttaa polymeerin molekyylipainoon, kiteiden koon sekä kiteisyyteen. (Kamppuri et al. 2019a)

3.5 Terminen konversio

Termisestä konversiosta puhutaan silloin, kun materiaali hyödynnetään lämpönä, nesteenä tai kaasuna. Termistä konversiota käytetään silloin, kuin tekstiilijätettä ei voida kierrättää mekaanisesti eikä kemiallisesti. Näissä tilanteissa on kyse likaisista sekä

sekajakeisista materiaaleista. Terminen konversio kattaa kolme erilaista prosessia, jotka ovat poltto, kaasutus ja pyrolyysi. (Kamppuri et al. 2019a)

Tekstiilijäte hyödynnetään poltossa ainoastaan lämpöenergiana. Koska synteettisillä kuituilla on huomattavasti parempi lämpöarvo, ne sopivat polttoon luonnonkuituja paremmin (Talvenmaa & Mustonen 2012). Esimerkiksi polypropeenilla, polyesterillä ja polyeteenillä lämpöarvo on vastaava kuin polttoöljyllä eli noin 40 MJ/kg (Panda 2010). Suuri lämpöarvo saadaan hyödynnettyä, mikäli tekstiilijäte lajitellaan materiaalin mukaan. Ilman lajittelua lämpöarvo on samalla tasolla sekajätteen kanssa. (Horttanainen et al. 2013)

Toinen prosessi on kaasutus, missä orgaaninen aine muutetaan määritellyn happimäärän avulla korkeissa lämpötiloissa hiilimonoksidiksi, hiilidioksidiksi sekä vedyksi. (Speight 2020). Tämän välivaiheen jälkeen kaasu on mahdollista työstää esimerkiksi biopolttoaineksi, sähköksi tai lämmöksi. Kaasutuksessa syntyneitä kaasuja voidaan hyödyntää polttoaineina ilmankin jatkojalostusta. Prosessissa ei ole välttämätöntä lajitella poistotekstiilejä, mutta lajittelu tekee siitä helpommin hallittavan. Lajittelu vaikuttaa myös jatkojalostusmahdollisuuksiin. (Kamppuri et al. 2019a)

Termiseen konversioon lukeutuu vielä pyrolyysi, joka eroaa kaasutuksesta ja poltosta siten, että pyrolyysi on hapeton prosessi. Tekstiilijäte hajotetaan molekyyliarakenteiksi depolymeroitumalla tai fragmentoitumalla. Pyrolyysissa syntyy jäännöshiiltä, synteetikaa-sua sekä öljyä. Jäännöshiiltä syntyy noin 20 painoprosenttia. (Lee 2023) Prosessissa syntyneitä kaasuja ja öljyä pystytään käyttämään polttoaineena. Pyrolyysissa voidaan käyttää sekä synteettisiä että luonnonkuituja, jotka eivät sovellu mekaaniseen tai kemialliseen kierrätykseen. Pyrolyysi voidaan suorittaa siten, että tekstiilijäte pyrolysoidaan muun jätteen seassa, vaikkakin lajiteltuna lopputuotteen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa paremmin. (Kamppuri et al. 2019a)

3.6 Kierrätyksen ongelmat

Tekstiilin kierrätykseen liittyy erilaisia haasteita. Eräs suuri haaste on kuidun lyheneminen, joka vaikuttaa jatkojalostukseen. Kuidun lyheneminen on ongelma vain mekaanisessa kierrätyksessä, koska kemiallisella kierrätyksellä saadaan neitseellistä kuitua vastaavaa kuitua. Mekaanisessa prosessissa kuitu lyhenee silppuamisessa sekä revintävaiheessa, mikä heikentää langan lujuutta (Harmsen et al. 2021). Jos kierrätetään kuluttajapoistotekstiilejä, tekstiilin pesukerrat ovat heikentäneet materiaalin ominaisuuksia muun muassa tekemällä siitä jäykemmän. Usein mekaanisesti kierrätetyn kuidun sekaan täytyy sekoittaa neitseellistä kuitua, jotta laatu pysyy hyvänä. (Kamppuri et al. 2019a)

Yksi haasteista on myrkyllisten ja haitallisten kemikaalien esiintyminen joissakin tekstiileissä. Monet tekstiilit käsitellään valmistusprosessin aikana kemikaaleilla, jotka voivat olla haitallisia sekä ihmisille että ympäristölle. Tekstiilien valmistuksessa käytetään monia eri kemikaaleja, kuten väriaineita, pigmenttejä, valkaisuaineita, liimoja, pehmentimiä, pinnoitteita, palonestoaineita sekä likaa ja kosteutta hylkiviä aineita. Tämän lisäksi kemikaaleja käytetään jo viljelyvaiheessa. On arvioitu, että puuvillakasveihin käytetään noin 6 % koko maailman torjunta-aineista. Esimerkiksi hyönteismyrkyt sekä rikkakasvien torjunta-aineet kuuluvat näihin. Huoli tekstiiliteollisuuteen liittyvistä kemikaaleista on laaja. Viljelyssä käytetyt kemikaalit voivat aiheuttaa usein pahoinvointia, syöpiä sekä hengitystieoireita. Muun muassa hedelmättömyyttä sekä neurologisia ongelmia seuraa torjunta-ainemyrkytyksestä. Kun kemikaaleja päätyy ympäristöön esimerkiksi maaperään ja vesistöihin, on selvää, että ne vaikuttavat mikro-organismeihin, eliöihin, kasveihin sekä hyönteisiin. EU:ssa käytetyistä tekstiileistä noin 80 % tulee EU:n ulkopuolelta, mikä aiheuttaa sen, että käytettyjen kemikaalien jäljitys on haasteellista. (Niinimäki et al. 2020) Tekstiilien kierrätyksessä kemikaalit voivat vaikuttaa ympäristöön tilaan tai työntekijöiden terveyteen. (Kamppuri et al. 2019b) Lisäksi POP-yhdisteet (pysyvät orgaaniset yhdisteet) vaikuttavat ympäristöön suuresti, sillä ne ovat myrkyllisiä hitaasti hajoavia yhdisteitä, jotka voivat kulkeutua pitkiäkin matkoja ilman, veden ja eläinten mukana. (Ympäristöministeriö 2016) POP-yhdisteitä sisältävät materiaalit tulee poistaa kierrosta tai hankkiutua materiaalin POP-yhdisteistä eroon palautumattomasti. POP-yhdisteiden pitoisuuksista säädetään REACH-asetuksessa. (Kamppuri et al. 2019b)

Kuten jo lajittelun tarkastelussa kävi ilmi, sekoitetut kuidut aiheuttavat tällä hetkellä ongelmia tekstiilien lajittelussa sekä kierrätyksessä. Monissa tekstiileissä on joukossa elastania, joka vaikeuttaa prosessia. Mekaanisessa kierrätyksessä elastaani tukkii avauslaitteistoa ja kemiallisessa se tekee liuotuksesta työläämpää. (Kamppuri et al. 2019b)

Kuluttajapoistotekstiileiden keräykseen liittyy ongelmia. Tekstiilijätteen erilliskeräys tulisi joko sijoittaa kuivaan paikkaan tai tekstiilit pitäisi pakata tiiviisti, jotteivat ne pääse kastumaan ja pilaantumaan Suomen säässä. Tyhjennysaika voi olla pitkä, riippuen keräysastian koosta. Tähän nivoutuu myös kuluttajien huolellisuus tekstiilien luokittelussa. Poistotekstiileihin ei saa laittaa alusvaatteita, kenkiä, pehmusteita, pehmoeläimiä, mattoja eikä likaisia, haisevia tai homeisia tekstiilejä. Näitä ongelmia ei ilmene yritysten poistotekstiilikeräyksessä. (Heikkilä et al. 2021)

4. HYÖDYNNETTÄVYYS

Tässä tarkastellaan vain tekstiilijätteistä kierrätetyn kuidun hyödyntämismahdollisuuksia. Käytetty kierrätysmenetelmä vaikuttaa lopputuotteeseen. Kierrätettyjä kuituja voidaan hyödyntää esimerkiksi täytemateriaaleina, akustiikkalevyissä sekä autoteollisuudessa. Myös kuidusta ja kuitukankaasta valmistetut tekstiilit ovat yleisiä. (Dahlbo 2015)

4.1 Käyttökohteet

Käytetty kierrätysmenetelmä vaikuttaa mahdollisiin käyttökohteisiin. Mekaanisesti kierrätetty kuitu sopii sellaisiin tarkoituksiin, jossa ei tarvitse yltää neitseellistä kuitua vastaavaan laatuun. Mekaanisesti kierrätetystä tekstiilistä voidaan valmistaa lankaa ja kuitukangasta. (Kamppuri et al. 2019a) Mekaanisesti kierrätettyä tekstiiliä ei sellaisenaan käytetä vaatteiden valmistukseen, koska repimisprosessi on kuitupituuksille ankara (Dahlbo 2015). Usein mekaanisesti kierrätettyä kuitua onkin käytetty täytemateriaaleina ja mattojen valmistuksessa. (Lindström et al. 2020) Koska kuitupituus lyhenee ja ominaisuudet heikkenevät, mukaan sekoitetaan joko neitseellistä kuitua tai kemiallisesti kierrätettyä kuitua. Mekaanisesti kierrätettyä kuitua käytetään etenkin rakennusteollisuudessa esimerkiksi akustiikkalevyissä ja eristeissä. Sekä tekstiili- että autoteollisuudessa voidaan hyödyntää mekaanisesti kierrätettyjä tekstiilejä. Autoteollisuudessa muotopuristeet sekä sisustusmateriaalit valmistetaan kyseisellä menetelmällä. Tekstiiliteollisuudessa erilaiset sisustuskankaat, huovat ja matonpohjat ovat yleisiä kierrätetyn tekstiilijätteen käyttökohteita. Mekaanisesti kierrätetty tekstiilijäte on soveltuva öljynimeytystuotteiksi, erityisesti puuvilla ja villa sopivat tähän tarkoitukseen hyvän imukykynsä ansiosta. (Dahlbo 2015) Villa on arvokas materiaali, jonka käyttökohde kierrätettynä kuituna ei voi olla pääasiassa öljynimeytyksessä, kertoo Aalto yliopiston tutkija Marja Rissanen (2021).

Koska kemiallisella kierrätyksellä pystytään tuottamaan neitseellistä kuitua vastaavaa kuituja, hyödyntämismahdollisuudet eivät ole niin rajoitettuja. Kemiallisesti kierrätetyistä tekstiileistä tuotetaan erityisesti tuotteita vaate- ja sisustusteollisuuteen. Etuna tässä on se, että kemiallisesti kierrätetty tekstiilijäte voidaan kierrättää uudestaan toisin kuin mekaanisesti kierrätetty tekstiilijäte. (Lu et al. 2023) Kemiallinen kierrätys on kuitenkin kalliimpaa verrattuna mekaanisesti kierrätettyyn tekstiiliin. (Dahlbo 2015) Suomalaista Infinna™ -kuitua voidaan käyttää yksinään tai sekoitteena esimerkiksi puuvillan kanssa.

4.2 Rester

Tekstiilijätteiden kierrätysratkaisuihin erikoistunut suomalainen yritys Rester valmistaa uutta tekstiilikuitua mekaanisesti kierrättämällä yritystekstiilejä. Koska Rester vastaanottaa vain yritystekstiilejä tai teollisuuden sivuvirtaa, kierrätettävä tekstiilijäte on tasalaatuista. (Rester 2023)

Yritykset lähettävät poistotekstiilinsä Resterille, jossa automaattinen laite vastaanottaa tekstiilipaalit ja syöttää ne ensimmäiseen giljotiinileikkuuseen. Tämän jälkeen on toinen giljotiinileikkuri, jotta tekstiilisuikaleet saadaan silpuksi. Silpusta tehdään sekoitussäiliössä tasalaatuista sekoitusta. Sekoitussäiliössä myös napit sekä vetoketjut poistetaan automaattisesti. Sekoitustekstiilit revitään repeytysprosessissa takaisin kuiduiksi. Kuidut pakataan automaattipaalaimella paaleiksi, joista jatkojalostamalla saadaan uusia tuotteita.

Rester ottaa vastaan tekstiilijätettä, joka on puuvillaa, puuvilla-polyesteria, polyester-puuvillaa, villaa tai sekajaetta. Tekstiilijätteen tulee Resterin ohjeiden mukaan olla puhdasta, kuivaa sekä lajiteltua. Lajittelusta he ohjeistavat lisää nettisivuillaan (rester.fi). Syyskuussa 2022 on onnistuttu kehittämään ensimmäinen poistotekstiileistä valmistettu puuvillalanka, joka sisältää 70 % kierrätettyä puuvillaa ja loput 30 % tenceliä (Rester 2022) Kehitystyö on ollut merkittävää ympäristön kannalta, koska käyttämällä 1000 kg kierrätettyä kuitua säästyy 1,5 miljoonaa litraa vettä.

4.3 Infinited Fiber Company

Infinet Fiber Company tekee tekstiilijätteestä uutta Infina™ -tekstiilikuitua selluloosakarbamaattiteknologialla. Yritys keskittyy tällä hetkellä puuvillapitoisten tekstiilien kierrätysprosessiin, mutta heidän käyttämänsä teknologia mahdollistaa myös muiden selluloosapohjaisten materiaalien muuttamisen uusiksi kuiduiksi. (Infinited Fiber)

Kemiallinen prosessi aloitetaan lajittelulla sekä napit ja vetoketjut poistetaan. Tekstiilimateriaali hajotetaan paloiksi. Tämän jälkeen selluloosa erotetaan esimerkiksi polyestereistä ja väriaineista. Selluloosakarbamaattijauhe syntyy, kun selluloosaa aktivoidaan urealla korkeassa lämpötilassa, jolloin urea hajoaa isosyanihapoksi ja ammoniakiksi (Pauonen et al. 2019). Jauhe muutetaan nesteeksi ja se suodatetaan. Uusia kuituja syntyy selluloosan kiteytyessä kuitufilamenteiksi märkäkehruprosessissa. Lopuksi kuidut pestään ja leikataan, jonka jälkeen siitä voidaan valmistaa kankaita ja niistä edelleen vaatteita sekä tekstiilejä. (Infinited Fiber)

Merkittävää tässä kierrätysteknologiassa on se, että vedenkulutus on hyvin vähäistä. Selluloosakarbamaattikuitujen tuotanto kuluttaa alle 2 prosenttia ja 25 prosenttia puuviljan ja viskoosikuidun tuotannon vedenkulutuksesta (Paunonen et al. 2019).

Infinited fiber companyn kuitua käytetään esimerkiksi Reiman uudessa lasten hupparissa. Myös Tommy Hilfiger myy Infinna -kuidusta tehtyä t-paitaa.

5. LAINSÄÄDÄNTÖ

Jätelainsäädännön tarkoituksena on edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä. Jätelainsäädännön avulla pyritään vähentämään jätteiden määrää ja negatiivista vaikutusta ympäristöön. Yleisesti jätelainsäädäntö noudattaa etusijajärjestystä, joka koskee myös tekstiilijätettä. Etusijajärjestyksen mukaan jätteen syntyä sekä haitallisuutta tulee vähentää. Jos jätettä tuotetaan, niin silloin jätteen haltijan tulee valmistella se uudelleenkäyttöä tai kierrätystä varten. Mikäli kierrätys ei ole mahdollinen toimintatapa, jäte tulee hyödyntää muulla tavalla kuten energiana. Viimeinen vaihtoehto on jätteen loppukäsittely, jos jätteen hyödyntäminen ei ole mahdollista. (Jätelaki 2011) Tekstiilijätteitä koskeva lainsäädäntö on muuttumassa erilliskeräyksen tullessa pakolliseksi Euroopan unionissa vuonna 2025 (Direktiivi 2018/851).

5.1 Tekstiilijätettä koskeva lainsäädäntö

Tekstiilijätteet ovat jätelainsäädännön piirissä, mutta tekstiilijätteelle on asetettu omia asetuksia ja lakeja. Jätelain nojalla on säädetty asetus kaatopaikosta. Asetus linjaa niin, että vuodesta 2016 orgaanisen jätteen, johon tekstiilijäte lukeutuu, sijoittamista kaatopaikoille rajoitetaan. (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013) Tällä pyritään siihen, että orgaaninen jäte ei päätyisi kaatopaikoille, vaan sen sijaan käytettäisiin materiaalina tai energiana. Merkittävä osa tekstiilijätteistä hävitetään polttamalla. Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellolla on pyritty myös edistämään kierrätystä ja uusia jätteenkäsittelymenetelmiä.

Euroopan unionin säätämässä direktiivissä 2018/851 säädetään tekstiilijätteen erilliskeräyksestä. Tekstiilijätteen erilliskeräys on 1.1.2025 alkaen pakollista kaikissa jäsenvaltioissa. Erilliskeräyksellä pyritään nostamaan kierrätysastetta ja parantaa uudelleenkäyttöä. Suomessa tekstiilijätteen erilliskeräys on toiminut maan laajuisesti vuoden 2023 alusta. Tekstiilien keräys on kuntien vastuulla. Osoitteessa www.kierratys.info on esitettyä Suomen erilliskeräyspisteet ja ohjeet sinne soveltuvista teksteileistä. Erilliskerätyt tekstiilit kuljetetaan käsittelylaitokseen Paimioon. Se, että Suomi toimii nopeammin kuin muut EU:ssa, antaa etulyöntiaseman kehittää ja kokeilla materiaalin kierrätystä suurella mittakaavalla. Jätelaissa 646/2011 on säädetty niin, ettei uudelleenkäyttöön valmisteltua tai kierrätykseen erilliskerättyä jätettä saisi polttaa tai viedä kaatopaikoille.

Noin 10 % teksteilejä on havaittu ihmisen terveydelle haitallisia kemikaaleja ja 5 % ympäristölle haitallisia kemikaaleja. Ympäristön kannalta haitalliset kemikaalit ovat pysyviä

tai biologisesti kertyviä. (Heikkilä et al. 2019) EU:n säädöksissä määrätään tekstiileissä käytettävistä kemikaaleista ja mitä rajoituksia niihin liittyy. Säädösten tarkoituksena on rajoittaa ja valvoa haitallisten kemikaalien käyttöä. Tukholman yleissopimus 34/2004 rajoittaa maailmanlaajuisesti POP-yhdisteiden (Persistent Organic Pollutants) käyttöä. Yleissopimuksen pohjalta on säädetty Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus pysyvistä orgaanisista yhdisteistä ja niiden käyttöön liittyvistä rajoituksista, jotka ovat voimassa kaikissa EU:n jäsenmaissa. (Asetus (EU) N:o 2019/1021 ; Ympäristöministeriö 2016) Asetusta on muokattu sen voimaantulon jälkeen, jolloin myös tekstiileissä esiintyvät kemikaalit kuuluvat sen piiriin. POP-yhdisteet, joita on tekstiileissä, ovat pääasiassa palonsuoja-aineita tai pinnoitteita öljyä ja vettä vastaan ja näiden käyttö on nykyään joko täysin kiellettyä tai tarkoin rajoitettua. HBCD, PBDE, OBDE ja deka-BDE ovat bromattuja palonsuoja-aineita, joiden käyttöä on rajoitettu. Myös lyhytketjuiset klooriparafiinit (SCCP) ovat palonsuoja-aineita, mutta käyttöä on ollut myös vettä hylkivänä pinnoitteena. Rasvaa ja öljyä hylkiviä perfluorioktaanisulfonihappoa (PFOS) ja tämän johdannaisia on käytetty nahkatuotteissa sekä ulkovaatteissa. (Dahlbo et al. 2015)

EU:ssa kemikaalien käytöstä, rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista vastaa REACH-asetus (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Asetuksen tarkoituksena huolehtia ihmisten terveydestä ja ympäristön hyvinvoinnista. REACH-asetus ulottuu tekstiilien piiriin, sillä valmistuksessa käytetään monia eri kemikaaleja. Asetuksessa on säädelty tarkoin sallitut pitoisuudet tekstiilituotteissa esiintyvillä kemikaaleilla. (Asetus (EY) N:o 1907/2006) Väriaineet ovat suuri osa REACH-asetuksessa säädellyistä kemikaaleista. Poistotekstiilien kohdalla ei vielä ole riittävästi tietoa haitallisista kemikaaleista ja siitä, miten tämä vaikuttaa tekstiilijätteen hyödyntämismahdollisuuksiin. (Kamppuri et al. 2019a)

5.2 Tulevaisuuden näkymät

Keväällä 2022 hyväksyttiin uusi EU-strategia, joka koskee kestäviä ja kiertotalouteen perustuvia tekstiilejä. Tekstiilistrategian tavoitteina on saattaa tekstiilialaa vihreämpään suuntaan. EU:n komission hyväksymän strategian visio vuodelle 2030 sisältää sen, että tekstiilit olisivat pitkäikäisiä, kierrätettäviä, korjattavia sekä valmistettu kierrätysmateriaaleista ilman vaarallisia kemikaaleja. Olennaista tavoitellussa tekstiilien tuotannossa on sosiaalisten oikeuksien sekä ympäristön kunnioittaminen. Pikamuoti halutaan pois muodista. Kun pikamuodista halutaan eroon, tällöin uudelleenkäyttö- sekä korjauspalvelut tulevat kuluttajalle tärkeämmiksi. Visiossa nähdään tekstiilialan kilpailukykyisyys, sopeutumiskyky ja innovatiivisuus. Tuottajalla tulee olla vastuu tekstiilin arvoketjussa.

Kierrätyksen tulee olla helposti mahdollista polton ja loppusijoituksen ollessa vähäistä. (EU-tekstiilistrategia 2022)

Strategiassa pohditaan konkreettisia toimia, jotta visio saadaan toteutumaan. Tavoitteena on asettaa suunnitteluun liittyviä vaatimuksia, joiden avulla tekstiileistä saadaan pitkäikäisempiä ja niiden korjaus ja kierrättäminen helpottuu. Tuotteen käyttöiällä on huomattava vaikutus ympäristöön ja ilmastoon. Tekstiilimarkkinoilla jää suuri määrä tuotteita myymättä. Strategiassa puututaan myymättömien ja palautettujen tekstiilien hävittämiseen. Komissio pyrkii siihen, että tämä kielletään. Komissio haluaa ottaa käyttöön digitaalisen tuotepassin. Tuotepassin ideana on parantaa tuotteen läpinäkyvyyttä ja tiedottaa esimerkiksi vastuullisuudesta, raaka-aineista sekä tuoteturvallisuudesta. Digitaalisen tuotepassin ohella vaaditaan pakollista ilmoitusvelvollisuutta, joka koskee tekstiilimerkintöjä. Tekstiilistrategiassa ehdotetaan laajennettua yhdenmukaista tuottajavastuuta. Laajennettu tuottajavastuu tarkoittaa käytännössä sitä, että tuotteet tulee suunnitella ja valmistaa kiertotalouden periaatteiden nojalla. Tähän päästään uudella talousjärjestelmällä, jossa keräys, lajittelu, uudelleenkäyttö ja kierrätys toteutuvat maksujen tai kannustimien avulla. Laajennettu tuottajavastuu on otettu joissain EU:n jäsenvaltioissa jo käyttöön, sillä erilliskeräys tulee pakolliseksi 2025. Kestäviin tekstiileihin liittyy paljon harhaanjohtavaa tietoa. Tekstiilien eko- ja vihermerkintöihin halutaan puuttua ja luoda säännökset ympäristöväittämille ja -merkeille. Näillä varmistetaan, että kuluttaja saa oikeaa ja olennaista tietoa tuotteen kestävydestä. Strategiassa nostettiin esille myös mikromuovit ja niiden ympäristöön päätyksen estäminen. Tuotteet tulee suunnitella niin, ettei synteettisistä materiaaleista pääse irtoamaan mikromuoveja. Aloite esittää toimenpiteitä niin tuotantoon, mutta yhtä lailla kuluttajien suorittamaan vaatehuoltoon. Oikeanlaisilla pesukoneen suodattimilla, pesuaineilla ja vaatteiden hoito-ohjeilla voidaan vaikuttaa mikromuovien irtoamiseen. (EU-tekstiilistrategia 2022)

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä selvitettiin tekstiilijätteen kierrätysmenetelmien periaatteet ja niihin liittyvät haasteet tai rajoitteet. Mekaaninen kierrätys on toistaiseksi kierrätysmenetelmistä käytetyin edullisuutensa vuoksi. Käyttöä rajoittaa lyhenevät kuidut, jolloin kierrätettyyn kuituun on sekoitettava neitseellistä kuitua. Kemiallinen kierrätys on lupaava menetelmä, koska sillä saadaan tuotettua neitseellisen kuidun veroista kuitua. Menetelmä on kuitenkin kallis verrattuna mekaaniseen menetelmään. Termisessä kierrätyksessä tekstiilijätteestä saadaan joko uutta tekstiilikuitua tai siitä voidaan valmistaa muovituotteita. Termisessä kierrätyksessä on huomioitava eri materiaalien sulamislämpötilat sekä se, ettei menetelmä sovi luonnonkuiduille. Viimeisenä menetelmänä on terminen konversio, jossa muihin kierrätysmenetelmiin soveltumaton tekstiilijäte saadaan hyödynnettyä lämpönä, energiana tai kaasuna.

Kierrätetyllä tekstiilijätteellä on monia hyödyntämismahdollisuuksia. Mekaanisesti kierrätettyä kuitua voidaan käyttää rakennus- ja autoteollisuudessa muun muassa täytemateriaaleina ja akustiikkalevyinä. Kuidusta voidaan valmistaa myös lankaa ja sitä kautta vaatteita ja muita tekstiilituotteita. Koska kemiallisella kierrätyksellä saadaan korkeamman laatuista kuitua, se sopii paremmin tekstiiliteollisuuden käyttöön.

Ultrapikamuodin aiheuttamia haasteita tullaan ratkomaan tulevaisuudessa. Tuotettujen tekstiilien sisältämät kemikaalit, huonolaatuiset materiaalit ja puutteelliset merkinnät tekevät niiden kierrätyksestä hankalaa. EU:n tekstiilistrategiassa pyritään eroon pikamuodista. Kulutustottumusten muuttaminen osoittautuu sitä tärkeämmäksi mitä enemmän pikamuodin ja tekstiiliteollisuuden vaikutuksia selvitetään.

LÄHTEET

Asetus (EU) N:o 2019/1021, EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS, annettu 20 päivänä kesäkuuta 2019, pysyvistä orgaanisista yhdisteistä (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti.) Saatavissa (viitattu 27.9.2023): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32019R1021>

Asetus (EY) N:o 850/2004, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, pysyvistä orgaanisista yhdisteistä

Asetus (EY) N:o 1907/2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (REACH). EUVL L 396, Saatavissa (viitattu 30.9.2023): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02006R1907-20221217>

Dahlbo H., Aalto K., Salmenperä H., Eskelinen H., Pennanen J., Sippola K., Huopalainen M. (2015) Tekstiilien uudelleenkäytön ja tekstiilijätteen kierrätyksen tehostaminen Suomessa. Suomen ympäristö 4. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Saatavissa (viitattu 27.9.2023): https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/155612/SY_4_2015.pdf?sequence=3&isAllowed=y

European parliament (2020) The impact of textile production and waste on the environment, European Parliament, Saatavissa (viitattu 14.10.2023): <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20201208STO93327/tekstiilituotannon-ja-jatteen-vaikutus-ymparistoon>

Guillot, J. (2022) The impact of textile production and waste on the environment, European Parliament, Saatavissa (viitattu 8.2.2023): https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/12/story/20201208STO93327/20201208STO93327_en.pdf

Direktiivi 2018/851, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, Euroopan unionin virallinen lehti. Saatavissa (viitattu 30.09.2023):

Harmsen P., Scheffer M., Bos H. Textiles for Circular Fashion: The Logic behind Recycling Options. Sustainability. 2021; 13(17):9714. Saatavissa (viitattu 14.8.2023): <https://doi.org/10.3390/su13179714>

Heikkilä, P. (Ed.), Cura, K., Heikkilä, J., Hinkka, V., Ikonen, T., Kamppuri, T., Knuutila, H., Kokko, M., Lankiniemi, S., Lehtinen, L., Mäkiö, I., Pitkänen, M. (Ed.), Saarimäki, E., Virta, M., Zitting, J., & Harlin, A. (2019). Telaketju: Towards Circularity of Textiles. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report No. VTT-R- 00062-19

Heikkilä, P., Cheung, M., Cura, K., Engblom, I., Heikkilä, J., Järnefelt, V., Kamppuri, T., Kulju, M., Mäkiö, I., Nurmi, P., Palmgren, R., Petänen, P., Rintala, N., Ruokamo, A., Saarimäki, E., Vehmas, K., & Virta, M. (2021). Telaketju - Business from Circularity of Textiles. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report No. VTT-R-00269-21

Horttanainen, M., Teirasvuori, N., Kapustina, V., Hupponen, M., & Luoranen, M. (2013). The composition, heating value and renewable share of the energy content of mixed

municipal solid waste in Finland. *Waste Management (Elmsford)*, 33(12), pp.2680–2686. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.017>

Industrievereinigung Chemiefaser. (2022). Production volume of chemical and textile fibers worldwide from 1975 to 2021 (in 1,000 metric tons) [Graph]. In *Statista*. Saatavissa (viitattu 9.3.2023): <https://www-statista-com.libproxy.tuni.fi/statistics/263154/worldwide-production-volume-of-textile-fibers-since-1975/?locale=en>

Jäärni, C. (2021) Suomen tekstiilijätteestä vain noin prosentti päätyy kierrätykseen, YLE, Saatavissa (viitattu 8.2.2023): <https://yle.fi/a/3-11994300>

Kamppuri, T., Heikkilä, P., Pitkänen, M., Saarimäki, E., Cura, K., Zitting, J., Knuutila, H., & Mäkiö, I. (2019a), *Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen*. VTT Tutkimusraportti, no. VTT-R-0091-19, VTT Technical Research Centre of Finland.

Kamppuri, T., Heikkilä, P., Pitkänen, M., Hinkka, V., Viitala, J., Cura, K., Zitting, J., Lahtinen, T., Knuutila, H., & Lehtinen, L. (2019b). *Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti Nro VTT-R-00092-19

Lindström, K., Sjöblom, T., Persson, A., & Kadi, N. (2020). Improving mechanical textile recycling by lubricant pre-treatment to mitigate length loss of fibers. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 12(20), 1–13. Saatavissa (viitattu 1.9.2023): <https://doi.org/10.3390/su12208706>

Lee, H. S., Jung, S., Lin, K.-Y. A., Kwon, E. E., & Lee, J. (2023). Upcycling textile waste using pyrolysis process. *The Science of the Total Environment*, Vol. 859 (Pt 2), 160393–160393. Saatavissa (viitattu 8.3.2023): <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160393>

Lu, L., Fan, W., Meng, X., Xue, L., Ge, S., Wang, C., Foong, S. Y., Tan, C. S. Y., Sonne, C., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Lam, S. S. (2023). Current recycling strategies and high-value utilization of waste cotton. *The Science of the Total Environment*, 856, 158798–158798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158798>

Miranda, R., Sosa-Blanco, C., Bustos-Martínez, D., & Vasile, C. (2007). Pyrolysis of textile wastes. I. Kinetics and yields. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 80(2), pp.489–495. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2007.03.008>

Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H. *et al.* (2020). The environmental price of fast fashion. *Nat Rev Earth Environ* 1, pp. 189-200. Saatavissa (viitattu 8.2.2023): https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/78950024/The_environmental_price_of_fast_fashion.pdf

Palm, D., Elander, M., Watson, D., Kiørboe, N., Salmenperä, H., Dahlbo, H., Moliis, K., Lyng, K.-A., Valente, C., Gíslason, S., Tekie, H., & Rydberg, T. (2014). *Towards a Nordic textile strategy: Collection, sorting, reuse and recycling of textiles*. Nordisk Ministerråd. Saatavissa (viitattu 8.2.2023): <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:720964/FULLTEXT01.pdf>

Panda, A. K., Singh, R. K., & Mishra, D. K. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products - A world prospective. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233–248. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005>

Paunonen, S., Kamppuri, T., Katajainen, L., Hohenthal, C., Heikkilä, P., & Harlin, A. (2019). Environmental impact of cellulose carbamate fibers from chemically recycled cotton. *Journal of Cleaner Production*, 222, pp. 871–881. Saatavissa (viitattu 9.3.2023): <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.063>

Rester (2022), Saatavissa (viitattu 23.11.2022): <https://rester.fi/ajankohtaiset/neuleita-poistotekstiileista-nyt-se-on-mahdollista/>

Rissanen, M. (tekstiilimateriaalien asiantuntija, Aalto yliopisto) (2021) Mitä on kierrätetty tekstiilikuitu ja mihin sitä voi käyttää? [podcast]. Kuituus. Saatavissa (viitattu 17.11.2023): <https://open.spotify.com/episode/OT1ZTR0QZXFOAE9jC9PYII>

Salmenperä, H. (2017), Poistotekstiileihin kytkeytyvät juridiset ja hallinnolliset tulkinnot sekä menettelyt, SYKE, Saatavissa (viitattu 8.2.2023): https://storage.googleapis.com/turku-amk/2018/02/termit-ja-lainsaadanto_syke.hannasalmenpera.2017.pdf

Suomalainen, S., Rissanen, M., Knuutila, H. (2021) Jakso 3: What is recycled textile fiber and what can it be used for? Kuituus -podcast. Saatavissa (viitattu 2.9.2023): <https://kuituus.aalto.fi/en/podcasts/>

Speight, J. G. (2020). *Handbook of gasification technology: science, technology, and processes*, Chapter 2, Wiley-Scrivener Publishing. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=6142663>

Talvenmaa, P. & Mustonen, M. (2012). *Luonnonkuitutekstiilien kierrätys ja hyötykäyttö - mahdolliset teknologiat*. (Hanke: Forssan seudun klusteriohjelma). Järkivihreä Forssan seutu. Tampereen yliopisto, materiaaliopin laitos.

Textile Exchange (2022) Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials Market Report. Saatavissa (viitattu 9.3.2023): https://textileexchange.org/app/uploads/2022/10/Textile-Exchange_PFMR_2022.pdf

Ympäristöministeriö (2016) Pysyviä orgaanisia yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyvaatimukset – EU:n POP-asetuksen jätteitä koskevat määräykset ja niiden soveltaminen sähkölaiteromuun ja romuajoneuvoihin, Ympäristöhallinnon ohjeita 4, Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Saatavissa (viitattu 29.3.2023): https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75462/OH_4_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y