

Pinja Repo

TEKSTIILITEOLLISUUDEN YMPÄRISTÖ- VAIKUTUKSET JA TEKSTIILIJÄTTEEN KIERRÄTYSMENETELMÄT

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Pinja Repo: Tekstiiliteollisuuden ympäristövaikutukset ja tekstiilijätteen kierrätysmenetelmät
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2022

Tekstiiliteollisuus on eräs saastuttavampia toimialoja suuren kemikaalien, energian- ja vedenkulutuksen vuoksi. Väestönkasvun ja talouskehityksen myötä tekstiilituotteiden valmistus ja kulutus on kasvanut tasaisesti. Tämä on johtanut etenkin Euroopassa osta ja heit pois -kulttuuriin, jossa tekstiilit päätyvät hävitettäväksi paljon ennen niiden teknisen käyttönsä päättymistä. Tällä hetkellä vain pieni osa poistotekstiileistä uudelleen käytetään tai kierrätetään, sillä tekstiilien kierrätyksen kehitys ei ole pysynyt kulutuksen kasvun mukana.

Tekstiilien kierrättämisen kolme yleisintä keinoa ovat mekaaninen, terminen ja kemiallinen kierrätys. Menetelmien avulla poistotekstiileistä tehdään kierrätyskuitua, jota hyödynnetään uusien tuotteiden raaka-aineena. Jokaisella menetelmällä on omat erityispiirteensä, mutta kierrätysmenetelmästä riippumatta poistotekstiilien lajittelu on erittäin tärkeää. Kierrätysmenetelmät vaativat vielä paljon lisätutkimusta sekä suuria investointeja, jotta niitä voidaan hyödyntää tehokkaasti teollisessa mittakaavassa.

Tämä työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuskysymyksiin vastattaessa ulkoista lähdemateriaalia hyödynnettiin, yhdisteltiin ja analysoitiin. Käytetty lähdemateriaali koostuu pääosin tieteellisistä artikkeleista, tutkimusartikkeleista ja lainsäädännöstä. Tekstiilien kierrätysmenetelmät kehittyvät jatkuvasti ja lainsäädäntö kiristyy, joten lähdemateriaalina on pyritty hyödyntämään mahdollisimman uutta tietoa.

Työn tarkoituksena oli tutkia tekstiiliteollisuuden ympäristövaikutuksia ja vertailla eri kierrätysmenetelmiä. Vertailtaessa kierrätysmenetelmiä mekaaninen kierrätys vaikutti tällä hetkellä parhaimmalta menetelmältä kierrättää poistotekstiilit, sillä se soveltuu kaikille kuitutyypeille, on edullista ja sitä voidaan hyödyntää teollisessa mittakaavassa.

Avainsanat: tekstiiliteollisuus, tekstiilijäte, tekstiilijätteen kierrätysmenetelmät, kierrätyskuidut, kestävä kehitys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TEKSTIILITEOLLISUUS JA SEN AIHEUTTAMAT YMPÄRISTÖONGELMAT	3
	2.1 Tekstiili- ja vaateteollisuus.....	3
	2.2 Tekstiiliteollisuuden aiheuttamat päästöt ja ympäristöongelmat.....	5
	2.3 Kestävä kehitys	6
3.	TEKSTIILIJÄTTEEN KERÄYS JA KÄSITTELY	8
	3.1 Lainsäädäntö	8
	3.2 Tekstiilikuitujen ja -jätteiden jaottelu	9
	3.3 Kiertotalous osana tekstiiliteollisuutta.....	10
	3.4 Tekstiilien kiertotalous Suomessa.....	11
	3.5 Tekstiilijätteen lajittelu	13
4.	TEKSTIILIEN KIERRÄTYS	15
	4.1 Mekaaninen kierrätys	15
	4.2 Terminen kierrätys.....	16
	4.3 Kemiallinen kierrätys	17
	4.4 Kierrätysmenetelmien vertailu	18
5.	YHTEENVETO.....	21
	LÄHTEET	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EU	Euroopan unioni
LSJH	Lounais-Suomen Jätehuolto
NIR	engl. near-infrared, lähi-infrapuna
PBT	polybuteenitereftalaatti
PET	polyeteenitereftalaatti
PTT	polytrimetyleenitereftalaatti

1. JOHDANTO

Viime vuosikymmeninä tekstiilituotteiden valmistus ja kulutus on kasvanut tasaisesti väestönkasvun ja talouskehityksen myötä, mikä on aiheuttanut ongelmia tekstiilien kierrätyksessä niin ympäristön kuin talouden näkökulmasta (Babacan 2010; Li et al. 2021). Kasvaneen valmistuksen myötä tekstiiliteollisuuden keskeisimmät ongelmat eli sen aiheuttamat päästöt sekä rajallisten resurssien liiallinen käyttö ovat ainoastaan voimistuneet. Myös työolosuhteet ovat heikentyneet työvoiman siirtyessä halvemmän työvoiman maihin. Jotta ongelmat voidaan ratkaista, tulee muun muassa kulutuksen olla kestävällä tasolla. (Roos et al. 2016)

Kuluttajat ovat alkaneet kiinnittämään entistä enemmän huomiota vaatteiden valmistuksen eettisyyteen sekä niissä käytettyihin materiaaleihin (Roos et al. 2016). Nykyään puhutaankin paljon kestävästä kehityksestä. Kestävä kehitys voidaan määritellä niin, että se on kehitystä, joka täyttää nykyajan tarpeet ilman, että heikennetään tulevien sukupolvien kykyä tyydyttää omia tarpeitaan (World Commission on Environment and Development 1987). Euroopassa tekstiilien kulutus on varsin suurta nykyisen osta ja heitä pois-kulttuurin vuoksi. Tämän takia tekstiili- ja muotiteollisuus ovat eräitä saastuttavimpia toimialoja. (Riba et al. 2020) Pikamuoti johtaa myös siihen, että vaatteet päätyvät hävitettäväksi paljon ennen niiden teknisen käyttöiän päättymistä (Woolridge et al. 2006; Roos et al. 2016). Tekstiilijätteen lajittelu on monimutkaista ja tehokkaan kierrätysjärjestelmän puuttuessa vain pieni osa poistotekstiileistä saadaan kierrätettyä. Loput päätyvät poltettavaksi tai kaatopaikoille. Tämä toimintamalli johtaa ympäristön saastumiseen. (Li et al. 2021)

Tämän työn tarkoituksena on tutkia tekstiiliteollisuudesta aiheutuneita ympäristövaikutuksia ja vertailla tekstiilijätteen kierrätysmenetelmiä. Tutkimuskysymykset ovat:

- 1) Minkälaisia vaikutuksia tekstiiliteollisuudella on ympäristöön?
- 2) Mitkä ovat tekstiilijätteen kierrätysmenetelmät?
- 3) Mitkä ovat kierrätysmenetelmien edut ja heikkoudet?

Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuskysymyksiin vastattaessa ulkoista lähdemateriaalia on hyödynnetty, yhdistelty ja analysoitu. Käytetty lähdemateriaali koos-

tuu pääosin tieteellisistä artikkeleista, tutkimusartikkeleista ja lainsäädännöstä. Tekstiilien kierrätysmenetelmät kehittyvät jatkuvasti ja lainsäädäntö kiristyy, joten lähdemateriaalina on pyritty hyödyntämään mahdollisimman uutta tietoa.

Työ koostuu johdannosta sekä neljästä muusta pääluvusta. Toisessa luvussa käsitellään tekstiiliteollisuutta ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Toisen luvun tarkoituksena on herättää lukijan mielenkiinto ajankohtaiseen aiheeseen ja saada lukija pohtimaan omaa kulutustaan. Kolmannessa luvussa käsitellään tekstiilijätteen keräystä ja lajittelua. Luvussa perehdytään tarkemmin siihen, kuinka tekstiilien kiertotalous toimii Suomessa. Neljännessä luvussa perehdytään tekstiilien kierrätykseen ja vertaillaan eri kierrätysmenetelmien etuja ja heikkouksia. Viimeisessä luvussa esitellään työn yhteenveto ja pohditaan kehitystarpeita niin tekstiiliteollisuuden kuin kierrätyksen näkökulmasta.

2. TEKSTIILITEOLLISUUS JA SEN AIHEUTTAMAT YMPÄRISTÖONGELMAT

Tämä luku käsittelee tekstiili- ja vaateteollisuutta sekä niiden aiheuttamia ympäristöongelmia. Viimeinen alaluku käsittelee tekstiilien kestävästä kehitystä.

2.1 Tekstiili- ja vaateteollisuus

Tekstiiliteollisuus on muun teollisuuden tavoin jo lähes maailmanlaajuisesti automatisoitu. Automatisoidun tuotannon ansiosta tekstiilien tuottaminen on halvempaa ja energiatehokkaampaa. Tehokkaampi tuotanto mahdollistaa sen, että tekstiiliteollisuus pystyy vastaamaan asiakkaiden kysyntään, joka on kasvanut tasaisesti maailman väestönkasvun, elintason paranemisen sekä talouskehityksen seurauksena. Tämä kasvu on johtanut siihen, että kehräämöiden on täytynyt kasvattaa tuotantoaan, jotta he ovat pysyneet kysynnän mukana. (Babacan 2010; Gbolarumi et al. 2021)

Tekstiili- ja muotiteollisuuden nopea kasvu pohjautuu jatkuvaan kulutukseen, vaatteiden lyhytaikaiseen käyttöön ja halpaan valmistukseen (Niinimäki et al. 2020). Tavoitteena on impulsiivisen ostokäyttäytymisen luominen, jonka tarkoituksena on herättää kiireellisyyden tunnetta (Niinimäki 2018a). Tehokas tuotanto on alentanut vaatteiden hintoja, mikä entisestään vahvistaa nykyistä ostokäyttäytymistä ja edistää pikamuoti-ilmiötä. (Remy et al. 2016; Ellen McArthur Foundation 2017; Niinimäki et al. 2020)

Muotiyritysten liiketoimintamallin perustana toimii jatkuva uutuuksien tarjonta sekä halvat ja trendikkäät tuotteet (Niinimäki 2018a). Liiketoimintamalli on ollut toimiva ja tuonut alalle uusia toimijoita, kuten verkkokauppiat, jotka tarjoavat nopeampaa sekä vaivattomampaa ostokokemusta (Anguelov 2016). Kasvavan kysynnän seurauksena eri tuotemerkit tuottavat lähes kaksinkertaisen määrän vaatemallistoja vuoteen 2000 verrattuna, jolloin tekstiili- ja muotiteollisuuden nopea kasvu alkoi (Remy et al. 2016). COVID-19-pandemian vuoksi myös yhä useammat muodin kuluttajat ovat siirtyneet verkkoon (Granskog et al. 2020). Granskogin et al. (2020) toteuttaman kyselyn mukaan 43 % kuluttajista kertoo alkaneensa käyttämään verkkoa muotiostoksiinsa. Kirjoittajat odottavat muutoksen olevan pysyvä, sillä 28 % kuluttajista kertoo vähentäneen muodin ostamista fyysisistä liikkeistä. Kun huomioidaan pikamuodin maailmanlaajuinen kasvu sekä tuotettujen muotituotteiden määrä, voidaan muotiteollisuutta pitää keskeisenä ympäristöuhkana (Environmental Audit Committee 2019).

Vaikka nykyistä liiketoimintamallia voidaan pitää menestyksekkäänä (Anguelov 2016), on sen perustavanlaatuiset muutokset tarpeen, jotta toimitusketjujen pitkän aikavälin kestävyttä saadaan parannettua (Niinimäki et al. 2020). Kestävien käytäntöjen lisääminen koko toimitusketjuun sekä tuotannon vähentäminen auttavat hillitsemään ympäristövaikutuksia. Myös kuluttajien ostokäyttäytymisen tulisi muuttua. Vaatteita pitäisi ostaa vähemmän, ja niitä tulisi käyttää pidempään. Toisin sanoen pitäisi siirtyä takaisin ”hitaseen muotiin”. (Niinimäki et al. 2020)

Tekstiili- ja vaateuotannon siirtyminen halvempien työvoimakustannusten maihin on vaikuttanut kehittyneiden maiden tuotannon merkittävään laskuun ja monimutkaistanut toimitusketjuja sekä vähentänyt niiden läpinäkyvyyttä (Niinimäki et al. 2020). Monimutkaiset toimitusketjut pienentävät loppupään valmistajien tietoisuutta raaka-aineiden alkuperästä ja niiden jalostuksesta (Karaosman et al. 2020). Läpinäkyvyyden vähentyminen puolestaan pienentää kuluttajien luottamusta brändiin ja vähentää ostohalukkuutta, sillä 75 % kuluttajista pitää luotettua brändiä tärkeänä ostotekijänä (Granskog et al. 2020).

COVID-19-pandemia on aiheuttanut ongelmia niin tarjonnassa kuin kysynnässä (Granskog et al. 2020). Sillä on ollut merkittäviä vaikutuksia myös tekstiiliteollisuuteen ja etenkin sen toimitusketjuihin. Maailmanlaajuisten tilastojen mukaan muotiteollisuuden voitot laskivat 93 % vuonna 2020 vuoteen 2019 verrattuna. (Amed et al. 2021) Vaikka muotiteollisuuden kilpailun taso ja kustannuspaineet ovat erittäin korkeat, on tärkeää muistaa huomioida myös tekstiiliteollisuudesta aiheutuneet ympäristövaikutukset, kuten hiilidioksidipäästöt ja syntynyt tekstiilijäte. Aiheutuneiden ympäristövaikutusten minimointi ja lieventäminen vaatii tekstiiliteollisuuden toiminnan muutosta, jota yritykset usein vastustavat etenkin taloudellisista syistä. Esimerkiksi investoinnit uusimpaan saastumisentorjuntateknologiaan ovat välttämättömiä kemikaalien, raskasmetallien ja muiden myrkyllisten aineiden poistamiseksi jätevirroista. Puhtaampien prosessien käyttö kuitenkin lisää tuotantokustannuksia, jotka viime kädessä tulevat kuluttajien maksettavaksi. Tämä saattaa vähentää pikamuodin kannattavuutta, mikä johtaisi muotialan taloudelliseen laskuun. (Niinimäki et al. 2020)

Kuluttajille siirtyneet kustannukset tulevat vaikuttamaan merkittävästi heidän ostokäyttäytymiseensä. YouGovin (2020) Isossa-Britanniassa tekemän muotiin liittyvän kyselytutkimuksen mukaan 21 %:lla vastaajista alhainen hinta oli tärkein ostamiseen vaikuttava tekijä, kun puolestaan paras laatu oli 15 %:lla tärkein tekijä. Tulos osoittaa, kuinka merkittävä rooli hinnalla on useimmille muotituotteiden ostajille.

2.2 Tekstiiliteollisuuden aiheuttamat päästöt ja ympäristöongelmat

Tekstiili- ja vaateteollisuudella on suuret vaikutukset ekosysteemiin, sillä kaikista tuotannon vaiheista, aina raaka-aineiden viljelystä käytettyjen tuotteiden hävittämiseen, aiheutuu ympäristöongelmia (Gbolarumi et al. 2021). Arvioiden mukaan tekstiiliteollisuudesta tulevan jätteen määrä on yli 92 miljoonaa tonnia vuodessa (Ellen McArthur Foundation 2017). Syntynyt jäte on tehnyt tekstiilien kierrätyksestä kiireellisen ongelman, joka on ratkaistava ympäristönsuojelun ja talouden näkökulmasta (Li et al. 2021).

Tekstiiliteollisuuden suurimmat ympäristöhaasteet aiheutuvat suuresta kemikaalien, veden- ja energiankulutuksesta, teollisuuden aiheuttamista ilmansaasteista sekä kasvavasta jätteen määrästä (Roy Choudhury 2014; Gbolarumi et al. 2021). Tekstiileihin lisätään monia kemikaaleja niiden elinkaaren aikana, kuten tekstiilien värjäyksessä ja kangaiden viimeistelykäsittelyssä (Kant 2012; Gbolarumi et al. 2021). Kemiallisissa prosesseissa käytetyt haitalliset kemikaalit sekä väri- ja apuaineet saastuttavat ympäristöä ja kuluttavat paljon energiaa sekä vettä. Jotkin käytetyistä aineista ovat myös haitallisia ihmisen iholle ja voivat aiheuttaa syöpää. (Roy Choudhury 2014; Ellen McArthur Foundation 2017)

Synteettisiä tekstiileitä pestäessä niistä irtoaa mikromuovia, jota päätyy vesistöihin noin puoli miljoonaa tonnia vuosittain. Se on noin 35 % kaikesta valtameriin päätyvästä primäärisestä muovista. (Boucher & Friot 2017) Tekstiiliteollisuus on myös yksi suurimmista makean veden saastuttajista (Gbolarumi et al. 2021). Veden saastuttamisen lisäksi muotiteollisuutta pidetään maailman toiseksi suurimpana vedenkuluttajana (Kant 2012; UNECE 2018). Arvioiden mukaan muotiteollisuus kuluttaa vettä noin 79 biljoonaa litraa vuodessa (GFA & BCG 2017; Sumner 2018), josta noin 15–20 % käytetään tekstiilien käsittelyyn ja värjäykseen (Kant 2012; UNECE 2018).

Euroopassa tekstiilien kulutus on varsin suurta nykyisen osta ja heitä pois -kulttuurin vuoksi (Riba et al. 2020). Maailmanlaajuinen tekstiilikuitujen tuotanto asukasta kohti on noussut vuoden 1975 5,9 kg:sta 13 kg:aan vuonna 2018 (Peters et al. 2019). Kasvanut kulutuskulttuuri johtaa siihen, että vaatteet päätyvät hävitettäväksi paljon ennen niiden teknisen käyttöiän päättymistä (Woolridge et al. 2006; Roos et al. 2016), minkä takia tekstiili- ja muotiteollisuus ovat yksi saastuttavimmista aloista (Riba et al. 2020). GFA & BCG (2017) ennustavat, että maailmanlaajuinen vaatteiden kokonaiskulutus nousee vuoden 2017 62 miljoonasta tonnista 102 miljoonaan tonniin vuoteen 2030 mennessä, kulutuksen lisääntyminen vastaa yli 500 miljardia tuotettua T-paitaa. Voidaan ajatella, että kasvanut tekstiilituotannon määrä korreloi kasvavien ympäristövaikutuksien kanssa.

Tekstiiliteollisuudella on kuitenkin myös positiivisia vaikutuksia esimerkiksi talouteen, sillä se edistää vientiä, lisää teollista tuotantoa ja tukee työllistymistä (Gbolarumi et al. 2021). Tekstiiliteollisuus työllistää satoja miljoonia ihmisiä ympäri maailmaa (Ellen McArthur Foundation 2017). Ympäristö joutuu kuitenkin kantamaan näiden taloudellisten hyötyjen hinnan (Shiwanthi et al. 2018; Sumner 2018).

Tekstiiliteollisuuden prosesseista on yritetty tehdä tehokkaampia ja vähemmän ympäristöä saastuttavia muun muassa uusien tekniikoiden ja ympäristöystävällisempien kemikaalien sekä apuaineiden avulla. Vaikka kehityksessä on menty eteenpäin, kuluttavat tekstiiliteollisuuden kemialliset prosessit edelleen paljon vettä sekä energiaa. (Roy Choudhury 2014) Tekstiiliteollisuuden ympäristövaikutukset ovatkin laajalle levinneitä ja merkittäviä (Niinimäki et al. 2020). Tekstiilituotannon vuosittaiset kasvihuonepäästöt ovat yli 1,2 miljardia tonnia hiilidioksidiekvivalenttia (Ellen McArthur Foundation 2017), mikä on 8–10 % maailman hiilidioksidipäästöistä. (Nijman 2019). Tekstiiliteollisuus aiheuttaa myös enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin kansainvälinen lento- ja meriliikenne yhteensä (International Energy Agency 2016). Päästöt ovat nousseet keskeiseksi asiaksi monelle kuluttajalle ja Granskogin et al. (2020) tekemän kyselyn perusteella kaksi kolmasosaa vastanneista piti ilmastonmuutosta edistävien toimien rajoittamista tärkeänä.

2.3 Kestävä kehitys

Gbolarumin et al. (2021) mukaan useat tekstiiliteollisuuden toimijat toimivat kestävässä ympäristössä. Jotta tekstiiliteollisuus saataisiin kestävälle pohjalle, tulisi sen omaksua kestävä valmistuksen periaatteet sekä tunnistaa valmistuksesta aiheutuneet ympäristövaikutukset. (Gbolarumi et al. 2021) Kuluttajien kasvava tietoisuus ympäristöongelmista, ilmastonmuutoksesta sekä terveydestä on lisännyt ympäristöystävällisten tekstiilituotteiden kysyntää eksponentiaalisesti (Roy Choudhury 2014). Lisääntynyt tieto muuttaa kuluttajien elämäntyyliä ja vaikuttaa ostopäätöksiin, sillä monet kuluttajat huomioivat esimerkiksi tuotteiden pakkausten ympäristövaikutukset (Granskog et al. 2020). Jotta tekstiiliteollisuus pystyy vastaamaan kuluttajien prioriteetteihin, on sen keskityttävä eettisyyteen ja ympäristötekijöihin.

Kestävä kehityksen mittaaminen on vaikeaa, sillä vakioituja avainindikaattoreita ei ole. Sitä voidaan kuitenkin arvioida kolmen ulottuvuuden kautta, joita ovat taloudellinen, sosiaalinen ja ympäristöllinen ulottuvuus. (Gbolarumi et al. 2021) Jotta kestävä kehityksen tavoitteet voidaan saavuttaa tulisi nämä kaikki kolme ulottuvuutta huomioida samanaikaisesti (de Oliveira Neto et al. 2019). Gbolarumin et al. (2021) mukaan tekstiiliteollisuus-

den kestävyttä arvioivissa tutkimuksissa keskityttiin pääasiassa vain ympäristöulottuvuuden tarkasteluun, jolloin taloudellinen ja sosiaalinen ulottuvuus jäivät vähemmälle huomiolle.

Granskogin et al. (2020) mukaan COVID-19:n aiheuttama epävarmuus on kasvattanut kuluttajien sitoutumista kestävään kehitykseen. Heidän mukaansa kuluttajat haluavat, että muotitoimijat toimivat vastuullisesti ja huomioivat aiheutuneet ympäristövaikutukset. Pandemia on vaikuttanut myös kuluttajien ostokäyttäytymiseen, jonka seurauksena muodinkulutus on muuttunut (Granskog et al. 2020). Granskogin et al. (2020) tekemän kyselyn perusteella kuluttajat ovat halukkaampia ostamaan laadukkaampia tuotteita sekä korjaamaan niitä pidemmän käyttöiän saavuttamiseksi. Kirjoittajat lisäävät, että etenkin nuorten keskuudessa kiinnostus käytettyihin tuotteisiin on lisääntynyt.

3. TEKSTIILIJÄTTEEN KERÄYS JA KÄSITTELY

Tämä luku käsittelee tekstiilijätettä ja siihen liittyvää lainsäädäntöä. Lisäksi perehdytään tekstiiliteollisuuden kiertotalouteen sekä poistotekstiilien keräykseen ja lajitteluun. Tällä hetkellä suurin osa poistotekstiileistä poltetaan ja hyödynnetään energiana (Dahlbo et al. 2021). Tulevaisuuden tavoitteena on parantaa tekstiilien keräystä ja saada suurin osa poistotekstiileistä kierrätyksen avulla uudelleen kiertoon. Tähän pyritään vaikuttamaan muun muassa lainsäädännön avulla.

3.1 Lainsäädäntö

Tekstiilijätteen kerääminen ja sen hyödyntäminen on ajankohtainen haaste, johon pyritään vaikuttamaan Euroopassa muun muassa lainsäädännön avulla. Hallituksen esitys (HE 40/2021 vp) jätelain ja eräiden siihen liittyvien lakien muuttamisesta astui voimaan 19. heinäkuuta 2021. Muutos pitää sisällään uudistetun Euroopan unionin (EU) jätedirektiivin, jonka tarkoituksena on edistää kierrätystä sekä kiertotaloutta. Direktiivissä EU:n jäsenmaita velvoitetaan erilliskeräämään tekstiilijäte vuoteen 2025 mennessä. Suomessa keräys olisi tarkoitus aloittaa vuoden 2023 alusta alkaen. (HE 40/2021 vp) Jotta tavoitteeseen päästään, kunnalliset jätehuoltoyritykset ovat aloittaneet tekstiilijätteen erilliskeräyksen vuonna 2019. Erilliskeräyksen tarkoituksena on ohjata materiaali hyöty- ja uudelleenkäyttöön. (Dahlbo et al. 2021) Uudet keräyspisteet täydentävät hyväntekeväisyysjärjestöjen sekä muiden tahojen järjestämää nykyistä tekstiilien keräystä (HE 40/2021 vp).

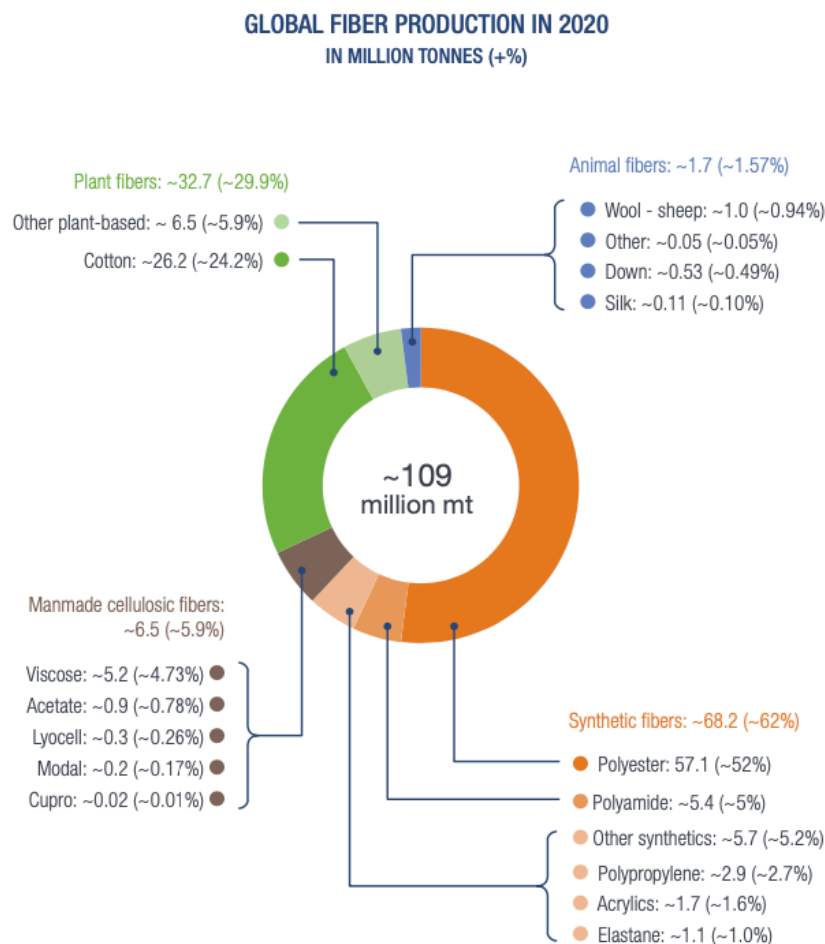
Tekstiilijätteen erilliskeräystä tukee myös orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013, 1 § 1 mom), joka astui voimaan vuoden 2016 alusta. Lain tarkoituksena on estää orgaanisen eli biohajoavan jätteen vienti kaatopaikoille, hyödyntäen jätettä materiaalina tai energiana. (Korhonen 2018) Kaatopaikkadirektiivin (EU 2018/850) uudistuksen mukaan EU:n jäsenmaiden on pyrittävä varmistamaan, että vuodesta 2030 eteenpäin kaatopaikoille ei vastaanoteta kierrätykseen tai muuhun hyödyntämiseen soveltuvaa jätettä.

Euroopan komissio määritteli vuonna 2020 ilmestyneessä uuden kiertotalouden toimitasuunnitelmassa tekstiilit yhdeksi ensisijaisista tuoteryhmistä. Tekstiilien tuotanto ja kulutus aiheuttavat haasteita, jonka vuoksi Euroopan komissio on ehdottanut kattavaa EU:n tekstiilistrategiaa haasteisiin vastaamiseksi. Strategian on tarkoituksena parantaa

kilpailukykyä, vauhdittaa innovointia alalla, puuttua pikamuodin aiheuttamiin ongelmiin sekä edistää uusia liiketoimintamalleja. (Euroopan komissio 2020)

3.2 Tekstiilikuitujen ja -jätteiden jaottelu

Tekstiilikuidut voidaan jakaa kahteen pääryhmään: luonnonkuituihin ja tekokuituihin. Luonnonkuidut voidaan jakaa vielä kasvi-, eläin- ja mineraalikituihin. Tekokuidut voidaan jakaa muunto ja synteettisiin kuituihin. Kuvan 1 mukaan maailman kuitutuotanto vuonna 2020 oli noin 109 miljoonaa tonnia, josta synteettisten kuitujen osuus oli 62 %. Synteettiset kuidut ovat hallinneet kuitumarkkinoita 1990-luvun puolivälistä lähtien. Pelkästään polyesterin, joka on synteettinen kuitu, markkinaosuus oli noin 52 % maailman kuitutuotannosta. Sen sijaan luonnon kuiduista hallitsevin oli puuvilla 24,2 % markkinaosuudella. (Textile Exchange 2021)



Kuva 1. Maailman kuitutuotanto vuonna 2020 (Textile Exchange 2021)

Tekstiilijäte voidaan jakaa esikulutus- ja jälkikulutusjätteeseen. Mikäli syntynyttä tekstiilijätettä ei saada kierrätettyä, on se käytössä olevien resurssien tuhlausta. Esikulutus- eli tuotantojäte sisältää kuitu-, lanka- ja kangasjätteet, jotka syntyvät sivuvirtoina tekstiilien

ja vaatteiden valmistuksesta. Syntyneen esikulutusjätteen määrään vaikuttavat monet tekijät, kuten kankaan pinta-ala ja sen käytön suunnittelu sekä virheiden tekeminen vaatteiden leikkausvaiheessa. Lisääntyneen tekstiilituotannon takia myös esikulutusjätteen määrä kasvaa, ellei prosesseja pystytä tehostamaan. Jälkikulutusjäte sisältää kuluttajien hylkäämät vaatteet. (Niinimäki et al. 2020; Damayanti et al. 2021) Vaatteiden päätyminen jätteeksi on nopeaa nykyisen osta ja heitä pois -kulttuurin vuoksi (Daystar et al. 2019). Daystarin et al. (2019) tekemän tutkimuksen mukaan kolmen erilaisen vaatetyypin käyttöikä kuudessa eri maassa oli keskimäärin vain 37–42 kuukautta vaatetta kohdin.

Syntyvään tekstiilijätteen määrään vaikuttaa suuri pikamuotituotteiden kulutus, joiden uudelleenkäyttömahdollisuudet ovat rajalliset (WRAP 2019). Osa tekstiili- ja muotiteollisuuden valmistamista vaatteista jää kokonaan myymättä. Myymättä jääneet, käyttämättömät vaatteet ovat osa esikulutusjätettä, joita kutsutaan käsitteellä ”deadstock”. (Niinimäki et al. 2020) Jotta esikulutusjätteen määrään voidaan vaikuttaa, pitäisi edistää suunnittelun ja tuotannon välistä kommunikointia ja viestintää sekä pienentää valmistusmääriä (Niinimäki 2018b).

3.3 Kiertotalous osana tekstiiliteollisuutta

Tekstiiliteollisuutta kritisoidaan jatkuvasti sen aiheuttamista ympäristö- ja yhteiskunnallisista vaikutuksista. Sen takia tekstiilien kiertotalouteen on ruvettu kiinnittämään enemmän huomiota ja muodin ei-taloudelliset kustannukset on nostettu globaalille asialistalle. (Niinimäki et al. 2020; Ribul et al. 2021) Tekstiilien osalta kiertotalous määritellään suljetun kierron prosessiksi, jossa tekstiilijäte saadaan kierrätyksen avulla muutettua uudeksi materiaaliksi ja sitä kautta uusiksi tekstiileiksi (Ellen MacArthur Foundation 2017; Ribul et al. 2021). Nykyisissä tekstiiliteollisuuden kiertotaloutta käsittelevissä tutkimuksissa on keskitytty tekniseen kiertokulkuun (Ribul et al. 2021). Teknisen kiertotalouden malli voidaan jäsenellä mekaanisiin ja kemiallisiin prosesseihin, jotka ovat tekstiilien yleisimmät kierrätysmenetelmät (Ellen MacArthur Foundation 2017; Damayanti et al. 2021).

Suurin haaste tekstiilien kierrätykselle on se, että ne koostuvat yleensä kuitusekoitteista, jotka vaativat erottelun (Niinimäki et al. 2020). Erottelu vaikeuttaa tekstiilien kemiallista kierrätystä, sillä tiettyä kemiallista menetelmää voidaan soveltaa vain yhteen raaka-ainetyyppiin kerrallaan. Kehitteillä on myös uusia teknologisia menetelmiä, jotka mahdollistavat materiaalien kemiallisen erottamisen eri polymeerien ja monomeerien kierrätystä varten. (Ribul et al. 2021)

3.4 Tekstiilien kiertotalous Suomessa

Kuvassa 2 nähdään, kuinka kuluttajapoistotekstiilien kiertotalous toimii Suomessa (LSJH 2021). Ensimmäisenä vaiheena on poistotekstiilien keräys. Suomessa asukkailta tulevien poistotekstiilien keräys kuuluu kuntien vastuulle. Myös eri hyväntekeväisyysjärjestöt, kuten UFF ja Fida ottavat vastaan poistotekstiilejä. Hyväntekeväisyysjärjestöille lahjoitettujen vaatteiden laatu on kuitenkin heikentynyt vuosien kuluessa, mikä on lisännyt järjestöjen jätemääriä sekä kasvattanut niiden kustannuksia. Tulevaisuudessa hyväntekeväisyysjärjestöihin päätyvien poistotekstiilien määrän arvioidaan laskevan, sillä vuonna 2019 kunnalliset jätehuoltoyritykset ovat aloittaneet erillisen poistotekstiilien keräyksen. (Dahlbo et al. 2021)



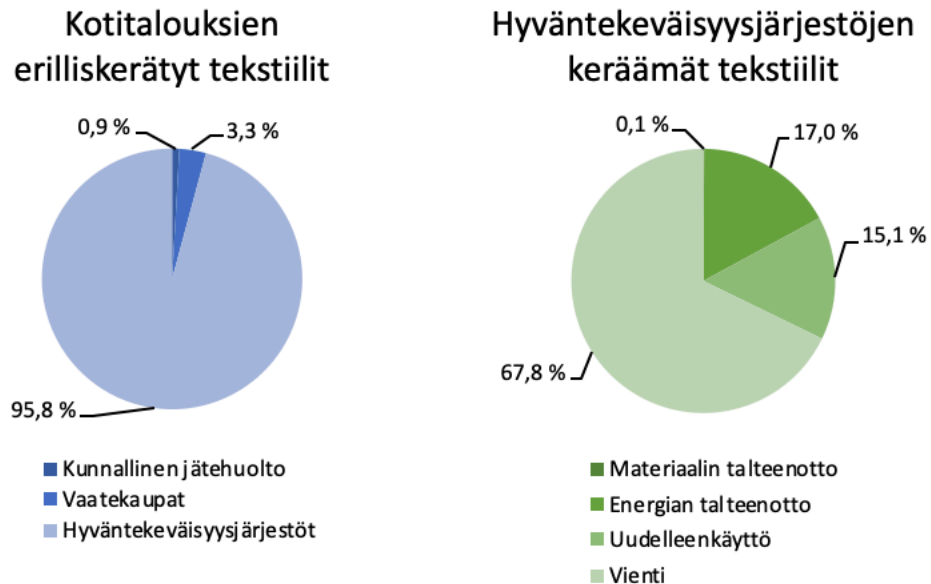
Kuva 2. Kuluttajapoistotekstiilien kiertotalous Suomessa (LSJH 2021)

Poistotekstiilien keräyksen jälkeen tekstiilit esilajitellaan paikallisesti jätelaitoksissa (LSJH 2021). Pilaantuneet ja keräykseen kuulumattomat tekstiilit, kuten alusvaatteet, kengät ja peitot pyritään erottelemaan pois hyvän laatuisten tekstiilien joukosta (Dahlbo et al. 2021). Kuulumattomien tuotteiden päätyminen erilliskeräykseen voi johtua esimerkiksi kuluttajien tietämättömyydestä tai välinpitämättömyydestä. Jotta tekstiilien kierrätys olisi mahdollisimman tehokasta, tulisi lajittelukriteerit tuoda selvemmin esille kuluttajavaliuksessa.

Esilajitellut poistotekstiilit kuljetetaan Paimiossa sijaitsevaan pilottivaiheen käsittelylaitokseen jatkolajiteltavaksi, jossa poistotekstiilien laatu varmistetaan. Laadun varmistuksessa poistotekstiilit jaotellaan optisen tunnistustekniikan avulla eri kuituluokkiin. Jaotte-

lulla varmistetaan raaka-aineen ja siitä valmistettavien kuitutuotteiden laatu. Seuraavassa vaiheessa tekstiilikuidut avataan mekaanisesti. Saadut kierrätyskuidut voidaan hyödyntää uusien tuotteiden raaka-aineena. (LSJH 2021)

Suomen tekstiilivirroista tehdyn tutkimuksen mukaan vuonna 2019 tekstiilijätettä erillis-kerättiin kotitalouksilta arvioiden perusteella noin 22 736 tonnia. Se on noin 44 % suomalaisten kotitalouksien vuosittain ostamista uusista tekstiileistä. Suurin osa poistotekstiileistä päätyi sekajätteeseen. Kuvan 3 mukaan noin 96 % erillis-kerättävistä tekstiileistä ohjautui hyväntekeväisyysjärjestöille ja vain noin 1 % kerättiin kunnallisella jätehuollolla. Loput 3 % kerättiin vaatekauppojen keräyspisteistä. Suurin osa hyväntekeväisyysjärjestöille päätyvistä tekstiileistä oli peräisin kotitalouksilta. Alle 1 % tuli pienyrityksiltä, vaate- ja merkiliikkeistä, sairaaloista sekä muista lähteistä. Hyväntekeväisyysjärjestöille päätyvän jälkikulutustekstiilin korkea osuus (96 %) kuvastaakin sitä, että kuluttajat kokevat hyväntekeväisyysjärjestöt pääasiallisiksi jälkikulutustekstiilien hävittämipaikaksi, vaikka osa tekstiileistä olisi huonolaatuisia ja kuuluisi kierrätykseen. Hyväntekeväisyysjärjestöt kertovatkin, että lahjoitettujen vaatteiden laatu on heikentynyt vuosien kuluessa. (Dahlbo et al. 2021) Kuluttajia tulisi tiedottaa paremmin uudesta kunnallisen jätehuollon tekstiilien erillis-keräyksestä, jotta tekstiilien erillis-keräys ja materiaalin uudelleenkäyttö tehostuisi.



Kuva 3. Kotitalouksilta erillis-kerätyt tekstiilit. Muokattu lähteestä (Dahlbo et al. 2021)

Kuvan 3 mukaan hyväntekeväisyysjärjestöille päätyneistä tekstiileistä noin 68 % vietiin ulkomaille ja vain noin 15 % ohjattiin hyväntekeväisyysjärjestöjen uudelleenkäyttöön Suomessa. Noin 17 % kerätyistä tekstiileistä päätyi poltettavaksi, mikä viittaa tekstiilien

huonoon laatuun. Vain 0,1 % käsiteltiin uusiksi tuotteiksi tai raaka-aineiksi. (Dahlbo et al. 2021)

Arvioiden mukaan vuonna 2019 kotitalouksien sekajätteeseen päätyi yli 40 000 tonnia tekstiilejä. Arviointi perustuu kotitalouksien sekajätteen kokonaismäärään ja sen keskimääräisiin koostumusosuuksiin. Tällä hetkellä sekajätteen seassa olevat tekstiilit päätyvät poltettavaksi, koska sekajätteen käsittelylaitokset eivät lajittele tekstiilijätettä erikseen. (Dahlbo et al. 2021)

3.5 Tekstiilijätteen lajittelu

Tekstiilijätteen lajittelu materiaalikoostumuksen ja värin mukaan on tärkeää jatkojalostuksen kannalta. Tasalaatuiseksi jaoteltu tekstiilijäte nostaa materiaalin jalostusarvoa, vaikuttaa uusiolopputuotteen koostumukseen sekä edistää taloudellista kestävyyttä mahdollistaen materiaalin tehokkaan uudelleen käytön ja kierrätyksen. Tekstiilijätteen lajittelu voidaan suorittaa käsin tai koneellisesti. Pääosin poistotekstiilien lajittelu tehdään käsin muun muassa kierrätyskeskuksissa ja hyväntekeväisyysorganisaatioissa. (Kamppuri et al. 2019a) Hyväntekeväisyysjärjestöt ovatkin kiinnostuneita löytämään uusia kierrätysratkaisuja vastaanottamilleen tekstiileilleen, sillä tekstiilien esilajittelu vaatii heiltä paljon resursseja (Dahlbo et al. 2021).

Käsinlajittelussa materiaalin tunnistus on hidasta, sillä se perustuu pesulapuissa oleviin tietoihin. Toisinaan osa materiaalista jää tunnistamatta puuttuvan tai virheellisen informaation takia. Käsinlajittelussa tarkkaa materiaalikoostumusta on mahdotonta selvittää. Sen avulla tekstiilijätteen joukosta pystytään kuitenkin erottelemaan uusiokäyttöön soveltuvat sekä myyntiarvoa paremmin omaavat tekstiilit jopa koneellista lajittelua paremmin. (Kamppuri et al. 2019a)

Tekstiilijätteen koneellista tunnistusta kehitellään jatkuvasti, sillä sen avulla tekstiilien lajittelua saadaan tehostettua ja kapasiteettia kasvatettua teolliseen mittakaavaan. Tällä hetkellä automatisoiduilla lajittelulinjastoilla materiaalin tunnistamiseen käytetään usein lähi-infrapuna eli NIR-teknologiaa. NIR-teknologian käyttö materiaalien tunnistuksessa perustuu tekstiilimateriaalien eri spektrialueisiin. Mitä lähempänä materiaalien kemialliset rakenteet ovat toisiaan, sitä vaikeampaa niiden erottaminen toisistaan on. (Kamppuri et al. 2019b) NIR-teknologian käytöllä on saavutettu tuloksia eri tekstiilityyppien tunnistamisessa sekä poistotekstiilien kierrätyksessä. Laadullisen NIR-analyysimallin perusteella yleisimmät tekstiilimateriaalit pystytään tunnistamaan tarkasti ja nopeasti, mahdollistaen niiden kierrätyksen ja uudelleen käytön. (Li et al. 2021) NIR-teknologian etuna on

sen nopeus ja mahdollisuus tutkia materiaalikoostumusta ilman materiaalikontaktia. (Kamppuri et al. 2019b).

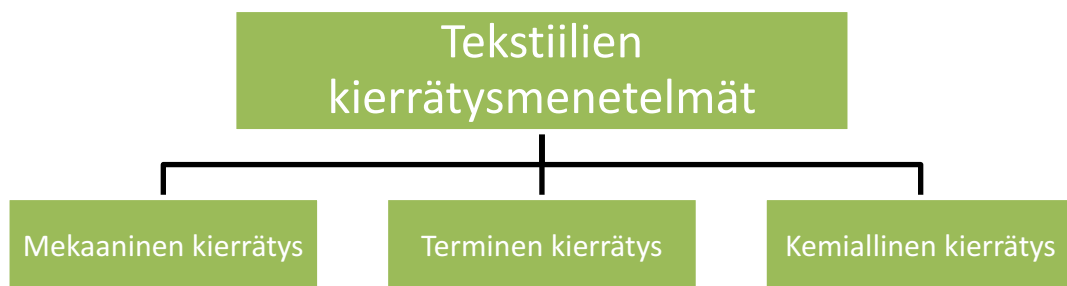
NIR-teknologia vaikuttaa varsin luotettavalta menetelmältä homogeenisten esimerkiksi 100 %:sti puuvillaa olevien tekstiilituotteiden tunnistamiseen, mutta tekstiilituotteiden heterogeenisyys tekee tunnistamisesta haastavaa (Heikkilä et al. 2019). Materiaaleilta vaadittavia puhtaustoleransseja voidaan säätää spektrinkäsittelyohjelmistolla. Määrittelyn avulla tekstiilit voidaan jaotella eri luokkiin, kuten 60 % ja 100 % puuvillaa sisältävät tekstiilit. Epäselvää kuitenkin on se, kuinka tarkasti menetelmä pystyy lajittelemaan tekstiilit materiaalipitoisuuksiltaan eri luokkiin. Esimerkiksi pystytäänkö 98 % puuvillaa sisältä tekstiili erottelemaan 100 % puuvillaa olevan tekstiilin joukosta. (Kamppuri et al. 2019a)

Koneellisessa lajittelussa voi kuitenkin tapahtua virheellisiä tunnistuksia, sillä tunnistusteknologioilla on omat rajoitteensa, esimerkiksi monikerrosrakenteet ovat haasteellisia. Koneellinen tunnistus voi jakaa tekstiilin sen pintakerroksen perusteella tiettyyn materiaalilajikkeeseen, vaikka suurin osa väli- tai pohjakerroksista olisi eri materiaalia. Materiaalit saattavat myös jäädä tunnistamatta, mikäli niitä ei ole kirjattu spektrin analysointiohjelman kirjastoon tai tekstiilien pinnassa on kalvopinnoite. (Kamppuri et al. 2019a)

Lounais-Suomen jätehuoltoon (LSJH) on suunnitteilla kuluttajapoistotekstiilejä käsittelevä jalostuslaitos, jossa poistotekstiilit pystytään jalostamaan kierrätyskuiduksi. Vuoden 2021 syksystä alkaen poistotekstiilien jalostusta on kokeiltu pilottivaiheen käsittelylinjastolla Paimiossa, jossa kotitalouksien poistotekstiilit jalostetaan mekaanisesti kierrätyskuiduksi. Jalostettuja kierrätyskuituja voidaan käyttää raaka-aineina uusiin tuotteisiin. Hanketta edistetään vaiheittain. Tavoitteena on kasvattaa jalostuslaitoksen kapasiteetti vastaamaan koko Suomen kuluttajapoistotekstiilin käsittelytarvetta. (LSJH 2021) Esikulutus- ja jälkikulutusjätteen kierrätystä vaikeuttaa kuitenkin se, että vaatteet ja tekstiilit valmistetaan usein kuitusekoitteista, jotka vaativat erottelun (Niinimäki et al. 2020). Kuluttajilta kerättävä jälkikulutusjäte on varsin heterogeenistä. Jälkikulutusjätteen heterogeenisen koostumuksen vuoksi sen lajitteluvaatimukset ovat teknisesti korkeat. (Heikkilä et al. 2019)

4. TEKSTIILIEN KIERRÄTYS

Tässä luvussa käsitellään tekstiilien kierrätystä. Arvioiden mukaan alle 1 % maailman kaikista tekstiileistä kierrätetään uusiksi tekstiileiksi (Ellen McArthur 2017). Kuvan 4 mukaan tekstiilien kierrätys voidaan jakaa kolmeen eri kierrätysmenetelmään, joita ovat: mekaaninen, terminen ja kemiallinen kierrätys (Damayanti et al. 2021). Kyseiset menetelmät ovat ottaneet merkittäviä kehitysaskelia suljetun kierron prosesseissa, edistäen materiaalin kiertoa uusiksi tekstiileiksi (Ribul et al. 2021).



Kuva 4. *Tekstiilien kierrätysmenetelmät*

Huomioitavaa kuitenkin on, että tekstiilien kierrätysprosessit koostuvat yleensä useasta eri prosessin yhdistelmästä, esimerkkinä kemialliseen kierrätykseen liittyvä materiaalin mekaaninen silppuaminen (Roos et al. 2019; Ribul et al. 2021).

4.1 Mekaaninen kierrätys

Mekaaninen kierrätys on tekstiilien kierrätysprosesseista vakiintunein ja se soveltuu kaikenlaisten tekstiilikuitujen käsittelyyn (Roos et al. 2019; Ribul et al. 2021). Se on myös ainoa kierrätyksen muoto, joka soveltuu selluloosasta muodostuville luonnonkuiduille, mikäli kuidun halutaan pysyvän kemiallisesti muuttumattomana (Kamppuri et al. 2019a). Mekaaninen kierrätys on helposti skaalattavissa ja siitä aiheutuneet kustannukset ovat alhaisemmat verrattuna kemiallisiin prosesseihin. Sitä ei kuitenkaan voida tehdä loputtomasti, sillä se huonontaa tekstiilimateriaalin laatua sekä vähentää materiaalin käytettävyyttä arvokkaisiin tekstiilisovelluksiin. (Ribul et al. 2021)

Mekaanisessa käsittelyssä tekstiilit leikataan silpuksi ja revitään repijäkoneella kuitujen talteen ottamiseksi (Roos et al. 2019). Yleisin tekstiilin silppuamismenetelmä on giljotini-leikkaus, jossa tekstiilit leikataan ensin suikaleiksi ja sitten leikkurin suuntaa vaihtamalla silpuksi (Kamppuri et al. 2019a). Ennen tekstiilisilpun syöttämistä tekstiilirepäisykoneeseen on tekstiileistä poistettava metalli- sekä muoviosat, kuten vetoketjut ja napit

(Roos et al. 2019). Leikatusta tekstiilisilpusta kovat ja poistettavat osat voidaan erotella painovoiman ja puhaltimen avulla tehokkaasti pois. Tämä prosessi mahdollistaa tekstiilien mekaanisen kierrätyksen taloudellisesti ja teollisessa mittakaavassa. (Kamppuri et al. 2019a) Tekstiilinrepäisykonetta voidaan käyttää myös ilman erillistä leikkuuvaihetta, mutta tällöin kovat osat on poistettava manuaalisesti. Työvaihe vie aikaa, mutta kuitupi-tuus säilyy prosessissa paremmin (WRAP 2014; Kamppuri et al. 2019a). Silputtu ja pois-tettavista osista puhdistettu tekstiili ohjataan tekstiilinrepäisykoneeseen, joka avaa teks-tiilin rakennetta, vapauttaa kuidut sekä poistaa kuitukietoutumia ja roskia. Avausproses-sia voidaan toistaa, kunnes kuidut soveltuvat jatkoprosesseihin. Turhia avauskertoja kannattaa kuitenkin välttää, sillä kuidut lyhenevät avauskertojen yhteydessä. Vapautetut kuidut karstataan uuden langan kehruuta varten. (Kamppuri et al. 2019a; Roos et al. 2019) Usein uuden langan tuotanto vaatii ensikuitujen sekoittamista kierrätyskuidun kanssa, jotta saavutetaan tarvittava lujuus ja laatu (Le 2018). Kuitujen kierrätyksen vai-keutuksessa voidaan siirtyä kuitujen rakenneaineiden kierrättämiseen. Tämä onnistuu ke-miallisilla ja termisillä prosesseilla. (Heikkilä 2020) Termistä sekä kemiallista kierrätystä käsitellään seuraavissa luvuissa.

4.2 Terminen kierrätys

Terminen kierrätys synteettisille tekstiileille on vielä harvinaista (Ribul et al. 2021). Siinä synteettisten kuitujen rakenne voidaan hajottaa polymeeritasolle, joka mahdollistaa kui-tujen muokkaamisen takaisin samanlaiseksi kuiduksi kuin lähtömateriaali (Kamppuri et al. 2019a). Termisessä kierrätyksessä synteettiset kuidut sulatetaan yhteen ja niistä keh-rätään uutta kuitua. Menetelmää kutsutaan sulakehruuksi. (Ribul et al. 2021) Menetelmä soveltuu etenkin polyesterin, polyamidin ja polypropeenin työstämiseen, jotka ovat yleisimmät tekstiileissä käytetyt materiaalit. Terminen kierrätys muokkaa polymeerien mole-kyylipainoa ja kiteisyyttä, mikä rajoittaa kierrätysyyskielten määrää. (Kamppuri et al. 2019a)

Termisessä kierrätyksessä synteettisten tekstiilien tarkka lajittelu materiaalin ja värin mu-kaan on tärkeää, sillä polymeereillä on eri sulamislämpötilat ja pieni määrä eriväristä materiaalia aiheuttaa lopputuotteessa värivirheen. Ei toivotut materiaali jäämät heikentä-vät myös synteettisten kuitujen mekaanisia ominaisuuksia. Lajittelun jälkeen tekstiilit lei-kataan silpuksi ja niistä erotellaan kovat osat kuten napit ja vetoketjut, kuten mekaanisen käsittelyn yhteydessä. Saatu tekstiilisilppu muutetaan sulatyöstön avulla polymeerigra-nulaateiksi, jotka syötetään ruuviekstruuderiin. Ekstruuderissa polymeerigranulaatit su-lavat ja sula puristetaan suulakkeen reikien läpi. Syntyneet säikeet eli kuidut jäähmettyvät jäähdytyksen vaikutuksesta. (Kamppuri et al. 2019a)

Nykyään polymeerien sulakehruu on yleisin käytetty terminen menetelmä kaupallisten kuitujen valmistukseen tuotantolinjan yksinkertaisuuden, korkeiden kehuunopeuksien, alhaisten tuotantokustannusten ja ympäristöystävällisyyden vuoksi. (Hufenus et al. 2020) Sulatetut synteettiset kuidut voidaan kehuun sijaan myös muotoilla uudelleen haluttuihin muotoihin puristamalla tai valamalla ne muiksi muovituotteiksi (Kamppuri et al. 2019a; Ribul et al. 2021). Termisesti kierrätetyn tekstiilikuidun polymeeri on mahdollista hyödyntää muovituotteisiin, vastaavasti myös muovituotteet on mahdollista työstää tekstiilikuiduiksi. Esimerkiksi polyeteenitereftalaatti eli PET-pulloista saatu polymeeri voidaan sulakehuun avulla valmistaa tekstiilikuiduiksi. (Kamppuri et al. 2019a)

4.3 Kemiallinen kierrätys

Kemiallinen kierrätys vaikuttaa lupaavalta menetelmältä säilyttää materiaali suljetussa kierrossa, mutta mekaaniseen kierrätykseen verrattuna menetelmä on kallis ja vaatii enemmän energiaa (Ribul et al. 2021). Menetelmän kalleus vaikuttaa myös tuotetun kierrätyskuidun hintaan. Kallis kierrätyskuidun hinta vähentää sen käyttöä, jonka vuoksi kierrätyskuidun hinta pyritään pitämään neitseellistä kuitua alhaisempana. Kemiallisen kierrätyksen skaalautuvuus on vielä huonoa verrattuna mekaaniseen kierrätykseen, sillä teknologioita ei ole vielä mitoitettu teolliseen kapasiteettiin (Ellen MacArthur Foundation 2017; Ribul et al. 2021).

Kemiallinen kierrätys soveltuu synteettisille kuiduille, kuten polyesterille ja polyamidille sekä puuvillalle ja selluloosapohjaisille muuntokuiduille, kuten viskoosille ja lyocellille. Menetelmää voidaan hyödyntää myös kuitusekoituksille, jotka koostuvat synteettisistä ja luonnonkuiduista. (Palm et al. 2014; Heikkilä et al. 2019) Kun selluloosapohjaisia kuituja kierrätetään kemiallisesti, saadaan muuntokuituja (Damayanti et al. 2021). Sekä synteettisiä, että selluloosapohjaisia kuituja kemiallisesti kierrätettäessä on tärkeää, että syöttömateriaali on mahdollisimman puhdasta. Puhtaampi materiaali parantaa saantoa ja vähentää puhdistusvaiheita sekä kustannuksia. (Ribul et al. 2021)

Ennen kemiallista kierrätystä tekstiileistä poistetaan kovat osat, kuten napit ja vetoketjut. Sitten tekstiilikuidut silputaan mekaanisesti, jonka jälkeen seuraa kemiallinen liukenemisprosessi. Yleisimmät kemialliset prosessit ovat glykolyysi, hydrolyysi ja metanolyysi. Kemikaalien, kuten valkaisuaineen avulla tekstiileistä saadaan poistettua väriaineet. (Damayanti et al. 2021) Kemiallisen kierrätyksen avulla synteettisten tekstiilien kuiturakenne pystytään hajottamaan monomeeritasolle. Vielä ei ole kuitenkaan tiedossa, onko kierrätysprosessien määrälle rajoitteita. Polymeerit ja monomeerit voidaan prosessoida takaisin samanlaiseksi kuiduksi kuin lähtömateriaali. (Kamppuri et al. 2019a) Kemiallisella kierrätyksellä voidaankin saavuttaa korkealaatuisia lopputuloksia, sillä kuitujen

laatu on ennakoitavampaa verrattuna mekaaniseen kierrätykseen (Palm et al. 2014; Ribul et al. 2021).

4.4 Kierrätysmenetelmien vertailu

Taulukossa 1 vertaillaan mekaanisten, termisten ja kemiallisten kierrätysmenetelmien etuja ja heikkouksia. Etuna mekaanisessa kierrätyksessä on sen edullisuus ja pieni energiankulutus muihin menetelmiin verrattuna. Mekaaninen kierrätys on myös hyvin skaalautuva ja soveltuu kaikille kuitutyypeille. (Roos et al. 2019; Ribul et al. 2021) Heikkoutena on kierrätys syklien rajallisuus, sillä kuidut lyhenevät niiden avauskertojen yhteydessä. (Kamppuri et al. 2019a; Roos et al. 2019; Ribul et al. 2021) Heikentyneen kuidun laadun takia mahdollisuudet arvokkaisiin tekstiilisovelluksiin huonontuvat. (Roos et al. 2019; Ribul et al. 2021) Mekaaniseen kierrätykseen eivät sovi tekstiilit, jotka ovat pinnoitettuja, kuten sadetakit (Kamppuri et al. 2019a).

Termisen kierrätyksen etuna on menetelmän soveltuvuus synteettisille kuiduille, kuten polyesterille, polyamidille ja polypropeenille (Kamppuri et al. 2019a; Ribul et al. 2021). Tämä on merkittävää, sillä synteettiset kuidut vastaavat yli 60 % maailman tekstiilituotannosta (Textile Exchange 2021). Menetelmä kuitenkin vaatii sen, että kierrätettävän materiaalin on oltava riittävän tasalaatuista, sillä eri materiaalien sulatyöstölämpötilat poikkeavat toisistaan. Menetelmän kierrätys syklien määrä on myös rajallinen, eli termistä kierrätystä ei voida tehdä loputtomasti. Menetelmässä tekstiilikuitujen polymeerit voidaan hyödyntää muovituotteisiin, vastaavasti muovituotteet voidaan työstää tekstiilikuiduiksi. (Kamppuri et al. 2019a)

Kemiallisen kierrätyksen etuna puolestaan on se, että tekstiilien kuiturakenne pystytään hajottamaan monomeeritasolle. Tämä mahdollistaa kuidun prosessoinnin vastaavanlaiseksi kuin lähtömateriaali. Vielä ei kuitenkaan tiedetä, onko kierrätys syklien määrälle rajoitteita. (Kamppuri et al. 2019a) Kemiallista kierrätystä voidaan soveltaa synteettisille ja selluloosapohjaisille kuiduille sekä niiden sekoituksille (Palm et al. 2014). Muihin menetelmiin verrattuna kemiallinen kierrätys on kallista ja vaatii paljon energiaa. Materiaalit tulee myös lajitella hyvin, sillä tiettyä kemiallista liuotinta voidaan soveltaa vain yhteen raaka-aine tyyppiin kerrallaan (Ribul et al. 2021). Menetelmässä huolta aiheuttaa myös käytettävien kemikaalien myrkyllisyys sekä suuri veden kulutus. Menetelmää ei myöskään ole vielä mitoitettu teolliseen mittakaavaan. (Roy Choudhury 2014; Ellen MacArthur Foundation 2017; Ribul et al. 2021)

Taulukko 1. Kierrätysmenetelmien edut ja heikkoudet

Kierrätysmenetelmä	Edut	Heikkoudet
Mekaaninen kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuu kaikille kuitutyypeille ¹ • Edullinen ^{1,2} • Alhainen energiankulutus ^{1,2} • Skaalautuva ¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Kuidun pituus lyhenee ^{2,3} • Materiaalin laatu heikkenee ¹ • Ei sovellu pinnoitetuille tekstiileille ³ • Rajalliset kierrätys sykli ¹
Terminen kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuu synteettisille kuituille ^{1,3} • Tekstiilikuiduista saadut polymeerit voidaan hyödyntää muovituotteisiin ³ • PET-pulloista saadut polymeerit voidaan valmistaa tekstiilikuiduiksi ³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Kierrätettävä materiaali oltava tasalaatuista ³ • Menetelmä on kuituraaka-aineelle spesifisiä ³
Kemiallinen kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuu synteettisille kuituille ja sekakuituille ⁴ • Kuitujen laatu ennakoitavaa ¹ • Voidaan valmistaa vastaavanlaisia kuituja kuin lähtömateriaalit ³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Kallis ¹ • Vaatii paljon energiaa ¹ • Kemikaalien myrkyllisyys ⁵ • Suuri vedenkulutus ⁵ • Skaalautuvuus vielä huonoa ¹ • Syöttömateriaalin oltava mahdollisimman puhdasta ¹ • Kierrätys syklien määrä ei vielä tiedossa ³

¹) (Ribul et al. 2021)

²) (Roos et al. 2019)

³) (Kamppuri et al. 2019a)

⁴) (Palm et al. 2014)

⁵) (Roy Choudhury 2014)

Yleisimmät käytössä olevat kierrätysprosessit poistotekstiileille ovat mekaaninen ja kemiallinen kierrätys (Damayanti et al. 2021). Kierrätysmenetelmiä vertailtaessa mekaaninen kierrätys vaikuttaa tällä hetkellä parhaimmalta, sillä sitä pystytään hyödyntämään teollisessa mittakaavassa, se kuluttaa vähän energiaa ja on edullista. Kemiallisessa kierrätyksessä puolestaan on paljon potentiaalia, sillä syntyvien kierrätyskuitujen laatu on ennakoitavissa. Menetelmä vaatii kuitenkin lisätutkimusta käytettävien kemikaalien myrkyllisyyden sekä suuren energian- ja vedenkulutuksen vuoksi. Menetelmästä pitäisi saada ympäristöystävällisempi.

Taulukossa 2 on koottuna poistotekstiilin lajittelun tarkkuus tiettyä kierrätysmenetelmää käytettäessä. Mekaanisesti kierrätettävät poistotekstiilit tulee jaotella kuidun koostumuksen, värin ja kangasrakenteen mukaan. Mitä paremmin kierrätyskuidun koostumus tunnetaan, sitä paremmin kierrätyksessä käytetyt menetelmät ja ajo-olosuhteet voidaan valita. Parhaiten materiaali voidaan hyödyntää, mikäli se on 100 % samaa raaka-ainetta.

Kangasrakenteen perusteella tekstiilit voidaan jakaa kudottuun ja neulottuun rakenteeseen. On havaittu, että kierrätyskuidut soveltuvat paremmin tuotteisiin, joissa on sama rakenne kuin, mikä niissä on alun perin ollut. Mikäli poistotekstiilit kierrätetään termisesti, on lajittelu tehtävä huolellisesti materiaalin tyyppin sekä värin mukaan. (Kamppuri et al. 2019a) Tekstiileissä olevat epäpuhtaudet, kuten pigmentit ja painatukset voivat haitata kehruuprosessia ja heikentää lopputuotteen laatua (Duhoux et al. 2021). Vaikka lajittelu eri materiaalilajikkeisiin tehtäisiin huolellisesti, on sulakehruu haasteellista, sillä lajiteltu materiaali saattaa olla edelleen liian heterogeenistä polymeeritasolla. (Kamppuri et al. 2019a) Yksi kuitutyyppi tai nimi voi viitata useisiin eri polymeereihin. Esimerkiksi polyesteri viittaa tyyppillisesti polyeteenitereftalaatista (PET) valmistettuihin kuituihin, mutta se voi tarkoittaa myös polybuteenitereftalaattia (PBT) tai polytrimetyleenitereftalaattia (PTT). Näiden erityyppisten polyestereiden sekoittaminen voi vaikuttaa haitallisesti lopputuotteen laatuun, sillä yhteensopimattomat polymeerit eivät sekoitu kunnolla, mikä aiheuttaa ongelmia prosessoinnissa. (Duhoux et al. 2021) Kemiallista kierrätysmenetelmää käytettäessä on poistotekstiilit lajiteltava materiaaleittain, sillä tietyt kemialliset liuottimet ja menetelmät soveltuvat vain tietyille raaka-aineille (Ribul et al. 2021).

Taulukko 2. Poistotekstiilien lajittelun tarkkuus eri kierrätysmenetelmissä

Kierrätysmenetelmä	Poistotekstiilien lajittelun tarkkuus
Mekaaninen kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> Poistotekstiilit lajitellaan koostumuksen, värin ja kangasrakenteen mukaan sen perusteella minkälaista kierrätyskuitua halutaan valmistaa ¹
Terminen kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> Poistotekstiilin lajittelu on tehtävä tarkasti materiaalityypin sekä värin mukaan ¹
Kemiallinen kierrätys	<ul style="list-style-type: none"> Poistotekstiilit on lajiteltava materiaaleittain, sillä tietty kemiallinen liuotin soveltuu vain tiettyyn raaka-aine tyyppiin ²

¹) (Kamppuri et al. 2019a)

²) (Ribul et al. 2021)

Poistotekstiilien lajittelun tarkkuutta vertaillaessa huomataan, että poistotekstiilit tulisi aina lajitella jollain tasolla valitusta kierrätysmenetelmästä riippumatta. Mitä tarkemmin lajittelu tehdään, sitä paremmin materiaali pystytään hyödyntämään. Menetelmistä terminen kierrätys on haastavin, sillä esimerkiksi erityyppisten polyestereiden erottaminen toisistaan on hankalaa. Termisessä menetelmässä on tärkeää, että syöttömateriaali on puhdasta ja koostuu vain yhdestä polymeerityypistä. (Duhoux et al. 2021)

5. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia tekstiiliteollisuudesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia sekä vertailla tekstiilijätteen kierrätysmenetelmien etuja ja heikkouksia. Tekstiilien kierrätys on hyvin ajankohtainen aihe, joka vaatii paljon uusia investointeja sekä lisätutkimusta siitä, miten kierrätysmenetelmiä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti teollisessa mittakaavassa. Tehokkaalla tekstiilien kierrätyksellä ja etenkin niiden uusiokäytöllä voidaan vaikuttaa syntyneen jätteen määrään ja siten pienentää tekstiiliteollisuudesta aiheutuneita ympäristövaikutuksia. Ensisijaisesti poistotekstiilit pyritään uusiokäyttämään, mutta aina se ei ole mahdollista. Toiseksi paras vaihtoehto on niiden kierrätys. Tekstiilille tulee valita sen materiaalin sekä haluttavan kierrätyskuidun laadun perusteella sopiva kierrätysmenetelmä. Tekstiilien kierrätysmenetelmät ovat mekaaninen, terminen ja kemiallinen kierrätys.

Työn toisessa luvussa tutustuttiin tekstiili- ja vaateteollisuuden toimintaperiaatteisiin sekä tekstiiliteollisuuden aiheuttamiin ympäristöongelmiin. Nopeasti kasvanut tekstiilituotteiden kysyntä on lisännyt tekstiilien tuotantoa sekä ajanut tuotantoa halvemmän työvoiman maihin. Halpa valmistus on alentanut vaatteiden hintoja, mutta johtanut myös huonolaatuisiin tekstiileihin. Tekstiilit päätyvät myös hävitettäväksi paljon ennen niiden teknisen käyttöiän päättymistä. Tähän voitaisiin vaikuttaa kannustamalla kuluttajia uusiokäyttämään sekä kierrättämään tekstiilit ja miettimään omaa ostokäyttäytymistään.

Nykyinen liiketoimintamalli on ollut hyvä taloudellisilla mittareilla, mutta ympäristön kannalta se on ongelmallinen. Mallissa yritykset tavoittelevat mahdollisimman suuria voittoja ympäristön kustannuksella. Tällaista toimintaa on pyritty ja tulee pyrkiä estämään lainsäädännön avulla. Lainsäädäntö kiristyykin jatkuvasti ja tällä hetkellä EU:n jäsenmaita velvoitetaan erilliskeräämään tekstiilijäte vuoteen 2025 mennessä. Suomessa erilliskeräys aloitettiin vuonna 2019. Haasteena on, että osa poistotekstiileistä päätyy edelleen sekajätteeseen ja sitä kautta poltettavaksi. Kuluttajia tulisi siis ohjeistaa enemmän oikeista lajittelumenetelmistä, jotta tekstiilien erilliskeräystä saataisiin tehostettua.

Suomessa kuluttajapoistotekstiilien kierrätys on vielä pienen mittakaavan toimintaa. Tällä hetkellä poistotekstiilit kierrätetään pilottivaiheen käsittelylinjastolla Paimiossa, jossa ne pystytään jalostamaan kierrätyskuiduksi. Haasteena on se, että kierrätettäväksi soveltuvaa materiaalia on paljon enemmän kuin käytettävissä olevaa kapasiteettia. Suurin osa erilliskerätyistä tekstiileistä päätyykin viennin kautta ulkomaille tai poltettavaksi.

Erilliskerättyjen tekstiilien kierrätyksen tehostamiseen tulee panostaa, mutta se vie paljon aikaa ja vaatii suuria investointeja. Tavoitteena on, että kierrätyskuituja käytettäisiin mahdollisimman paljon uusien tuotteiden valmistukseen. Vaikka kierrätyskuitujen käytön voidaan olettaa kasvavan ja näin ollen ympäristövaikutusten pienenevän, tekstiiliteollisuudesta aiheutuu silti suuria ympäristövaikutuksia kaikista tuotannon vaiheista. Tämän takia vaaditaan kehitystyötä sekä suunnittelua. Hyvän suunnittelun avulla tuotteista voitaisiin saada ympäristöystävällisempiä sekä kestäviä, mikä puolestaan vaikuttaa syntyneen jätteen määrään.

Viimeisessä teorialuvussa esiteltiin tekstiilien kierrätysmenetelmät sekä niiden edut ja heikkoudet. Yleisimmät käytössä olevat kierrätysmenetelmät poistotekstiileille ovat mekaaninen ja kemiallinen kierrätys. Terminen kierrätys on vähäistä, sillä menetelmä vaatii tekstiilien tarkan lajittelun. Esimerkiksi materiaalin heterogeenisyys ja epäpuhtaudet vaikeuttavat termistä prosessointia ja vaikuttavat lopputuotteen laatuun merkittävästi. Vertaillaessa kierrätysmenetelmiä mekaaninen kierrätys vaikutti tällä hetkellä parhaimmalta menetelmältä kierrättää poistotekstiilit, sillä se soveltuu kaikille kuitutyypeille, on edullista ja sitä voidaan hyödyntää teollisessa mittakaavassa. Kemiallisessa kierrätyksessä on puolestaan paljon potentiaalia, sillä menetelmää käytettäessä kierrätyskuitujen laatu on ennakoitavaa. Huolta aiheuttaa kuitenkin käytettävien kemikaalien myrkyllisyys sekä suuri veden- ja energiankulutus. Kemiallinen kierrätys vaatiikin lisätutkimusta sen osalta, miten menetelmästä saataisiin mahdollisimman ympäristöystävällinen ja vähemmän energiaa kuluttava.

LÄHTEET

Anguelov, N. (2016). *The Dirty Side of the Garment Industry: Fast Fashion and Its Negative Impact on Environment and Society*. CRC Press. pp.1–20

Amed, I., Berg, A., Balchandani, A., Hedrich, S., Rölkens, F., Young, R., Jensen, J.E. & Peng, A. (2021). *The State of Fashion 2021. The Business of Fashion & McKinsey & Company*. Saatavissa (viitattu 23.2.2022): <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Retail/Our%20Insights/State%20of%20fashion/2021/The-State-of-Fashion-2021-vF.pdf>

Babacan, T. (2010). *The Fiber Year 2009/10 A World Survey on Textile and Nonwovens Industry*. Oerlikon. Saatavissa (viitattu 23.2.2022): https://www.oerlikon.com/ecomaXL/get_blob.php?name=The_Fibre_Year_2010_en_0607.pdf

Boucher, J. & Friot, D. (2017). *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*. International Union for Conservation of Nature. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002-En.pdf>

Dahlbo, H., Rautiainen, A., Savolainen, H., Oksanen, P., Nurmi, P., Virta, M. & Pokela, O. (2021). *Textile flows in Finland 2019*. Turku University of Applied Sciences. Saatavissa (viitattu 10.4.2022): <https://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522167873.pdf>

Damayanti, D., Wulandari, L. A., Bagaskoro, A., Rianjanu, A. & Wu, H. S. (2021). Possibility routes for textile recycling technology. *Polymers*, 13(21), 3834–.

Daystar, J., Chapman, L., Moore, M., Pires, S. & Golden, J. (2019). Quantifying apparel consumer use behavior in six countries: Addressing a data need in life cycle assessment modeling. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 11(1).

Duhoux, T., Maes, E., Hirchnitz-Garbers, M., Peeters, K., Asscherickx, L., Christis, M., Stubbe, B., Colignon, P., Hinzmann, M. & Sachdeva, A. (2021). *Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling. Final Report*. European Commission. Saatavilla (viitattu 25.4.2022): <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2022/50030-study-textile-recycling-web.pdf>

Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. Saatavissa (viitattu 20.2.2022): https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/A-New-Textiles-Economy_Full-Report.pdf

Environmental Audit Committee. (2019). *Fixing fashion: clothing consumption and sustainability*. House of Commons. Sixteenth Report of Session 2017–19. Saatavissa (viitattu 20.2.2022): <https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmenvaud/1952/1952.pdf>

Euroopan komissio. (2020). *Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma*. Euroopan komissio. Saatavissa (viitattu 7.4.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/850, annettu 30 päivänä toukokuuta 2018, kaatopaikoista annetun direktiivin 1999/31/EY muuttamisesta

Gbolarami, Wong, K. Y. & Olohunde, S. T. (2021). Sustainability Assessment in The Textile and Apparel Industry: A Review of Recent Studies. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering, 1051(1), 12099–.

Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group. (2017). Pulse of the fashion industry. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): https://www.academia.edu/33623729/PULSE_OF_THE_FASHION_INDUSTRY

Granskog, A., Lee, L., Magnus, K.H. & Sawers, C. (2020). Survey: Consumer sentiment on sustainability in fashion. McKinsey & Company. Saatavissa (viitattu 23.2.2022): <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/survey-consumer-sentiment-on-sustainability-in-fashion>

HE 40/2021 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi jätelain ja eräiden siihen liittyvien lakien muuttamisesta. Saatavissa: HE 40/2021 vp (eduskunta.fi)

Heikkilä, P., Cura, K., Heikkilä, J., Hinkka, V., Ikonen, T., Kamppuri, T., Knuutila, H., Kokko, M., Lankiniemi, S., Lehtinen, L., Mäkiö, I., Pitkänen, M., 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. Saatavissa (viitattu 20.3.2022): https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/24459480/Telaketju_Towards_Circularity_of_Textiles_PublicReport.pdf

Heikkilä, P. (2020). Tekstiilien kierrätysmenetelmät. Telaketju. Päivitetty 27.4.2022. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <https://telaketju.turkuamk.fi/tietoiskut/tekstiilien-kierratysmenetelmat/>

House of Commons Environmental Audit Committee. (2019). Fixing fashion: clothing consumption and sustainability. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmenvaud/1952/1952.pdf>

Hufenus, R., Yan, Y., Dauner, M. & Kikutani, T. (2020). Melt-spun fibers for textile applications. *Materials*, 13(19), 1–32.

International Energy Agency. (2016). Energy, Climate Change & Environment: 2016 insights. p113

Kamppuri, T., Heikkilä, P., Pitkänen, M., Saarimäki, E., Cura, K., Zitting, J., Knuutila, H. & Mäkiö, Inka. (2019a). Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti Nro VTT-R-0091-19. Saatavissa (viitattu 20.3.2022): https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/24225719/VTT_R_00091_19.pdf

Kamppuri, T., Heikkilä, P., Pitkänen, M., Hinkka, V., Viitala, J., Cura, K., Zitting, J., Lehtinen, T., Knuutila, H. & Lehtinen, L. (2019b). Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti Nro VTT_R_00092-19. Saatavissa (viitattu 20.3.2022): https://cris.vtt.fi/ws/files/24214371/VTT_R_00092_19.pdf

Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science (Irvine, Calif.)*, 4(1), 22–26.

Karaosman, H., Perry, P., Brun, A. & Morales-Alonso, G. (2020). Behind the runway: Extending sustainability in luxury fashion supply chains. *Journal of Business Research*, 117, 652–663.

Korhonen, M.-R., Pitkänen, K. & Niemistö, J. (2018). Selvitys orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vaikutuksista. Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 10.3.2022): https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160946/SY_03_3018_Orgaanisen_jatteen_kaatopaikkakiello.pdf

Le, K. (2018). Textile Recycling Technologies, Colouring and Finishing Methods. Solid Waste Services. Metro Vancouver. Saatavissa (viitattu 10.4.2022): https://sustain.ubc.ca/sites/sustain.ubc.ca/files/Sustainability%20Scholars/2018_Sustainability_Scholars/Reports/2018-25%20Textile%20Recycling%20Technologies%2C%20Colouring%20and%20Finishing%20Methods_Le.pdf

Li, W., Wei, Z., Liu, Z., Du, Y., Zheng, J., Wang, H. & Zhang, S. (2021). Qualitative identification of waste textiles based on near-infrared spectroscopy and the back propagation artificial neural network. *Textile Research Journal*, 91(21–22), 2459–2467.

LSJH. (2021). Poistotekstiilin jalostuslaitos. Lounais-Suomen jätehuolto. Saatavissa (viitattu 10.4.2022): <https://poistotekstiili.lsjh.fi/poistotekstiilin-jalostuslaitos/>

Niinimäki, K. (2011). From disposable to sustainable: The complex interplay between design and consumption of textiles and clothing (Doctoral dissertation). Aalto University, School of Arts, Design and Architecture, Helsinki, Finland. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/13770/isbn9789526042848.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Niinimäki, K. (2018a). Knowing better, but behaving emotionally: Strong emotional undertone in the fast fashion consumption. *Eco-Friendly and Fair* (1st ed., pp. 49–57). Routledge.

Niinimäki, K. (2018b). *Sustainable Fashion in a Circular Economy*. Aalto ARTS Books.

Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T. & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews. Earth & Environment*, 1(4), 189–200.

Nijman, S. (2019). Un Alliance For Sustainable Fashion addresses damage of ‘fast fashion’. Un Environment programme. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/un-alliance-sustainable-fashion-addresses-damage-fast-fashion>

de Oliveira Neto, G. C., Ferreira Correia, J. M., Silva, P. C., de Oliveira Sanches, A. G. & Lucato, W. C. (2019). Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1514–1525.

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*. pp.123–141

Peters, G. M., Sandin, G. & Spak, B. (2019). Environmental Prospects for Mixed Textile Recycling in Sweden. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(13), 11682–11690.

Remy, N., Speelman, E. & Swartz, S. (2016). Style that’s sustainable: A new fast-fashion formula. McKinsey Sustainability. Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/style-thats-sustainable-a-new-fast-fashion-formula>

Riba, J.-R., Cantero, R., Canals, T. & Puig, R. (2020). Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy. *Journal of Cleaner Production*, 272, 123011–.

Ribul, M., Lanot, A., Tommencioni Pisapia, C., Purnell, P., McQueen-Mason, S. J. & Baurley, S. (2021). Mechanical, chemical, biological: Moving towards closed-loop bio-based recycling in a circular economy of sustainable textiles. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129325–.

Roos, S., Sandin, G., Zamani, B., Peters, G. & Svanström, M. (2016). Will Clothing Be Sustainable? Clarifying Sustainable Fashion. In *Textiles and Clothing Sustainability* (pp. 1–45). Springer Singapore.

Roos, S., Sandin, G., Peters, G., Spak, B., Schwarz Bour, L., Perzon, E. & Jönsson, C. (2019). Guidance for fashion companies on design for recycling. *Mistra Future Fashion report number: 2019:08 Stockholm, Sweden. Saatavissa (viitattu 30.3.2022):* <http://mistrafuturefashion.com/wp-content/uploads/2019/10/S.-Roos.-White-paper-on-textile-recycling.-Mistra-Future-Fashion.pdf>

Roy Choudhury, A. K. (2014). Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment. In *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing* (pp. 1–39). Springer Singapore.

Shiwanthi, S., Lokupitiya, E. & Peiris, S. (2018). Evaluation of the environmental and economic performances of three selected textile factories in Biyagama Export Processing Zone Sri Lanka. *Environmental Development*, 27, 70–82.

Sumner, M. (2018). Written evidence submitted by Dr. Mark Sumner. University of Leeds (SFI0026). Saatavissa (viitattu 6.4.2022): <http://data.parliament.uk/writtenevidence/committeeevidence.svc/evidencedocument/environmental-audit-committee/sustainability-of-the-fashion-industry/written/88396.html>

Textile Exchange. (2021). Preferred Fiber & Materials: Market Report 2021. Saatavissa (viitattu: 3.4.2022): https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf

UNECE. (2018). Fashion and the SDGs: what role for the UN? Saatavissa (viitattu 6.4.2022): https://unece.org/fileadmin/DAM/RCM_Web-site/RFSD_2018_Side_event_sustainable_fashion.pdf

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013, 1 § 1 mom.

World Commission on Environment and Development. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Saatavissa (viitattu 10.4.2022): <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

Woolridge, A. C., Ward, G. D., Phillips, P. S., Collins, M. & Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(1), 94–103.

WRAP. (2014). Technologies for sorting end of life textiles. Textile Tagging. Oakdene Hollins Ltd. Saatavissa (viitattu 1.4.2022): https://www.researchgate.net/publication/293487871_Technologies_for_sorting_end_of_life_textiles

WRAP. (2019). Textiles: market situation report. Saatavilla (viitattu 3.3.2022):
<https://wrap.org.uk/sites/default/files/2021-03/WRAP-textiles-market-situation-report-2019.pdf>

YouGov. (2020). The Fashion Industry in Great Britain. Saatavissa (viitattu 6.4.2022):
<https://www.marketingweek.com/knowledge-bank/view/the-fashion-industry-in-great-britain/>