



Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen

Kirjoittajat: Taina Kamppuri, Marja Pitkänen, Pirjo Heikkilä, Eetta Saarimäki (VTT), Kirsti Cura, Jaakko Zitting, (LAMK), Henna Knuutila ja Inka Mäkiö (Turku AMK)

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen		
Asiakas Business Finland Telaketju-konsortio	Asiakkaan viite 85/31/2017	
Projektin nimi Tekstiilien keräys, lajittelu ja hyödyntämisketju	Projektin numero/lyhytnimi 114213 / Telaketju	
Raportin laatija(t) Taina Kamppuri, Marja Pitkänen, Pirjo Heikkilä, Eetta Saarimäki (VTT), Kirsti Cura, Jaakko Zitting, (LAMK), Henna Knuutila ja Inka Mäkiö (Turku AMK)	Sivujen lukumäärä 37/55	
Avainsanat Tekstiilien kierrätys, keräys, lajittelu, kierrätysprosessit	Raportin numero VTT-R-00091-19	
Tiivistelmä <p>Tekstiilituotteen elinkaaren pidentäminen ja uudelleenkäyttö sellaisenaan ovat poistotekstiilimateriaalin hyödyntämisen kannalta parhaat vaihtoehdot. Kun tekstiili ei enää kelpaa uudelleenkäyttöön, se soveltuu usein kuitenkin kierrätettäväksi. Tässä raportissa selvitetään eri kierrätysprosessien asettamia laatuvaatimuksia materiaaleille, kierrätykseen soveltuvien jakeiden tunnistusta ja lajittelua, kierrätysprosessin vaikutusta materiaaliin, sekä selvitetään kierrätettyyn materiaaliin mahdollisesti jääviä haitallisia kemikaaleja.</p> <p>Kierrätysmenetelmän valinnalla on suuri merkitys kierrätetyn materiaalin laatuun ja ominaisuuksiin. Kemialliset ja sulatukseen perustuvat termiset kierrätysmenetelmät ovat kuituraaka-aineelle spesifisiä, ja myös mekaanisesti kierrätetyt tuotteet hyötyvät kuituraaka-aineen mukaisesta lajittelusta. Kaksivaiheisessa lajittelussa käsin lajittelija erottelee karkeasti eri jakeet, mitä seuraa materiaalien tunnistus ja lajittelu koneellisesti.</p> <p>Käsin- ja konelajittelun kokeiluiden perusteella kierrätettävän jakeen suurin yksittäinen materiaali- ja puuvilla. Puuvillalle soveltuvat sekä mekaaninen että kemiallinen kierrätys. Myös puhdas polyesteri saadaan lajiteltua erilleen, mutta kierrätettävässä jakeessa sitä on selvästi vähemmän kuin puhdasta puuvillaa. Polyesterille soveltuvat mekaaninen, terminen ja kemiallinen kierrätys. Suuri kierrätettävä jae on myös sekoitetekstiilit, joista noin puolet on puuvillan ja polyesterin seoksia.</p> <p>Kuluttajille suunnatut tekstiilit ovat lähtökohtaisesti turvallisia, jolloin myös uusiotekstiilit ovat turvallisia. Tapauksissa, joissa poistotekstiilistä valmistetut tuotteet tulevat suoraan ihokontaktiin, materiaalin vaatimuksenmukaisuus on hyvä varmistaa laboratoriotutkimuksin.</p>		
Luottamuksellisuus	Julkinen	
Tampere 6.5.2019 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Taina Kamppuri Erikoistutkija	Ali Harlin Tutkimusprofessori	Kristian Salminen Teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT, Taina Kamppuri, PL 1300, 33101 Tampere, taina.kamppuri@vtt.fi		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) VTT, Business Finland, Telaketju konsortio		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Alkusanat

Telaketju on tekstiilin kierrätystä edistävä yhteistyöverkosto. Telaketju-hankekokonaisuudessa on kehitetty poistotekstiilin keräystä, lajittelua, jatkojalostusta ja kiertotaloutteen perustuvia liiketoimintamalleja. Tässä raportissa on kartoitettu kierrätettävän tekstiilijätteen soveltuvuutta erilaisiin kierrätysprosesseihin ja toisaalta eri kierrätysprosessien vaikutusta kierrätetyn materiaalin laatuun. Lisäksi tarkastellaan tekstiilijätteen lajittelumahdollisuuksia ja niiden vaikutusta lopputuotteen laatuun. Tutkimusorganisaatioiden ja yritysten yhteistyötä ovat rahoittaneet Business Finland (aiemmin Tekes) sekä Ympäristöministeriö. Tämä työ ja raportti on tehty Telaketju Tekes -projektin laatuasioihin keskittyvässä kokonaisuudessa.

Telaketju-verkostossa kehitetään kotimaiseen osaamiseen perustuvaa ekosysteemiä, jossa monialaisella yhteistyöllä luodaan uutta, vahvaa yritystoimintaa. Tämän raportin syntyyn ovat tutkimusorganisaatioiden lisäksi vaikuttaneet Telaketju-Tekes projektissa mukana olleet yritykset Pure Waste Textiles, Touchpoint, Soften, Recci, Tramel, Remeo, Paptic, MJV Sähkö, Ilmakunnas, Finlayson, Lounais-Suomen Jätehuolto, SOL Pesulapalvelut, Infinited Fibre Company, Suominen, Globe Hope ja FAMILON. Lisäksi raporttiin on sisällytetty tietoa myös YM-hankkeen puolelta. Kiitokset kaikille!

Raportin tekijät haluavat kiittää myös VTT:n tutkijoita Marjo Määttästä ja Marianna Vehviläistä puuvillan kemialliseen kierrätykseen liittyvistä näkökannoista, Matti Niemistä pyrolyysi- ja kaasutus-tekniikan esittelystä VTT:n Bioruukki-pilotointikeskuksessa sekä Metropolia AMK:n opiskelijaa Anneli Aurasta mekaaniseen kierrätysprosessiin liittyvästä selvitystyöstä.

Tampere 6.5.2019

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo.....	3
Lyhenteet.....	4
1. Tekstilimateriaalien kierrätys.....	5
2. Lajittelu.....	9
2.1 Käsinalajittelu	9
2.2 Konelajittelu.....	10
2.2.1 Lajittelukoeajo REISKAtex®-linjalla	11
2.2.2 Koneellisen tunnistuksen haasteita	12
3. Kierrätys kuituna - mekaaninen kierrätys	14
3.1 Lajittelu mekaanista kierrätystä varten	14
3.2 Mekaaninen avausprosessi	14
3.3 Kuidun soveltuvuus langaksi	15
3.4 Kuidun soveltuvuus kuitukankaaksi	16
3.5 Kuidun soveltuvuus komposiitteihin	16
4. Kierrätys polymeerinä	18
4.1 Puuvillan kemiallinen kierrätys	18
4.2 Synteettisten tekokuitujen terminen kierrätys.....	19
5. Kierrätys monomeerinä tai muuten kemikaaleina.....	22
5.1 Synteettisten tekokuitujen kemiallinen kierrätys	22
5.2 Poistotekstiilin terminen konversio.....	23
5.2.1 Pyrolyysi.....	24
5.2.2 Kaasutus	24
6. Poistotekstiilien haitalliset kemikaalit.....	26
6.1 Haitallisia kemikaaleja koskevat rajoitukset.....	26
6.2 Haitallisten kemikaalien määrä tekstiileissä	29
7. Yhteenveto	33
Kirjallisuus.....	35
Liite 1. POP asetus: Asetus (EY) N:o 850/2004 pysyvistä orgaanisista yhdisteistä.....	38
Liite 2. REACH-asetuksen nojalla luvanvaraisia ja rajoitettuja kemikaaleja	39

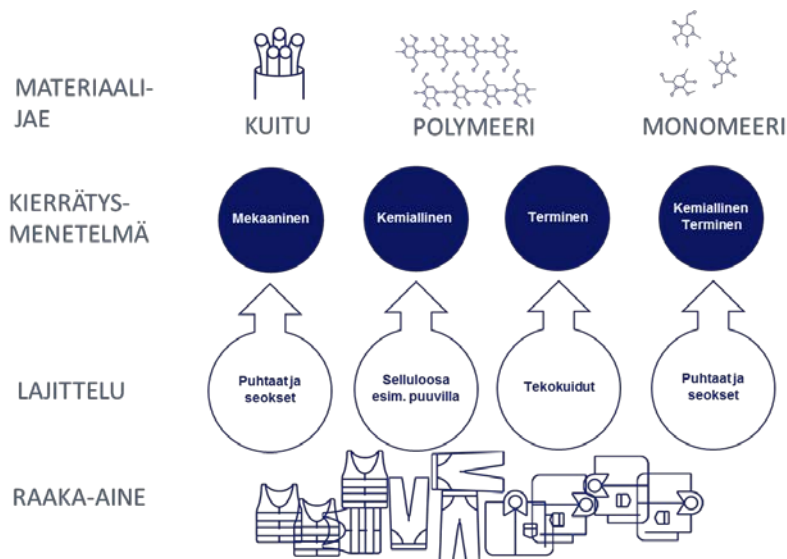
Lyhenteet

AMK	ammattikorkeakoulu
BHET	bis(2-hydroksietyylitereftalaatti)
CMR-aineet	syöpää aiheuttavat, perimää vaurioittavat ja lisääntymiselle vaaralliset aineet
CO	puuvilla
CV	viskoosi
DHEP	di(2-etyyliheksyyli)ftalaatista, muut ftalaatit BBP, DBP
DMF	dimetyylifumaraatti
DMT	dimetyylitereftalaatti
EL	elastaani
FTIR	Fourier transform infrared, infrapunaspektroskooppinen analyysimenetelmä
LAMK	Lahden ammattikorkeakoulu
NIR	near infrared, infrapunaspektroskooppinen analyysimenetelmä
PA	polyamidi
PBDE	bromatut palonestoaineet, johdannaiset HBCD, PBDE, OBDE, deka-BDE, Te-BDE, PeBDE, hepta-BDE
PES	polyesteri
rPES	kierrätetystä materiaalista valmistettu polyesteri
PET	polyesteri, polyeteenitereftalaatti
PFOA	perfluorioktaanihappo
PFOS	perfluorioktaanisulfonaatti
POP	presistant organic pollutant, pysyvä orgaaninen yhdiste
PUR	polyuretaani
PVC	polyvinyylikloridi
SCCP	lyhytketjuiset paraffiinit
TPA	tereftaalihappo
WO	villa
XRF	X-ray fluorescence, röntgenfluorisenssiin perustuva analyysimenetelmä

1. Tekstiilimateriaalien kierrätys

Tekstiilien kiertotaloudessa on useita eri tapoja hyödyntää poistotekstiiliä. Poistotekstiilien uudelleenkäyttö alkuperäisessä tarkoituksessa ja niiden muuttaminen hieman eri tarkoitukseen, esimerkiksi käyttämällä kankaita, nappeja ja vetoketjuja uusissa vaatteissa ja asusteissa, ovat hyviä vaihtoehtoja tekstiilijätteen vähentämisessä. Uudelleenkäyttö on myös jätehierarkian etusijajärjestyksen mukaan ensisijainen vaihtoehto poistotekstiilille ennen materiaalin kierrätystä. Tärkeitä toimijoita arvoketjun tässä vaiheessa ovat kierrätyskeskukset, kirpputorit ja hyväntekeväisyysjärjestöjen myymälät sekä kuluttajien välinen suora vaihdanta ja kauppa. Hyväkuntoisia kankaita, nauhoja ja muita tarvikkeita hyödyntävät niin askartelijat kuin käsityöläiset, mutta myös materiaalien uusiokäyttöön erikoistuneet yritykset.

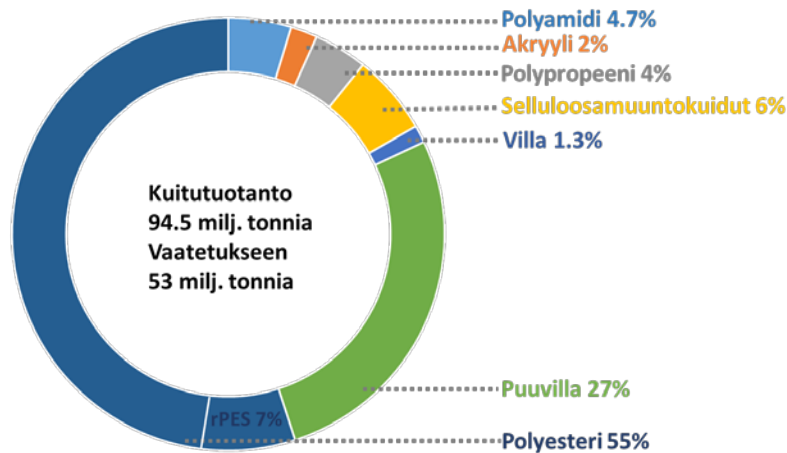
Poistotekstiilin uudelleenkäyttö ei ole aina mahdollista ja siksi tarvitaan myös erilaisia kierrätysmenetelmiä. Tekstiilituotannon ympäristövaikutukset pysyvät muuttumattomina, jos vaatteiden uudelleenkäyttö ja kierrätetyn tekstiilikuidun käyttö eivät korvaa ja vähennä neitseellisten materiaalien käyttöä. Siksi onkin tärkeää, että teksteleistä saatua kierrätysmateriaalia käytetään neitseellisen raaka-aineen asemesta sellaisiin käyttökohteisiin, mihin se hyvin soveltuu. Toisaalta on myös tärkeää valita kullekin materiaalille soveltuva kierrätysmenetelmä, jolla pyritään takaamaan kierrätetyn materiaalin haluttu laatu. Uudelleenkäyttöön kelpaamaton tekstiili voidaan jaotella erilaisiin materiaali-jakeisiin, joiden valmistaminen vaatii erilaiset kierrätysmenetelmät. Jakeita ja niiden kierrätysmahdollisuuksia on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1 Tekstiilijätteestä saatavat materiaali-jakeet, lajittelun tarve ja kierrätysprosessit

Mekaanisessa kierrätyksessä tekstiili avataan takaisin kuituiksi, joita käytetään uusien tuotteiden valmistukseen. Materiaali voidaan kierrättää myös polymeerinä, eli kuidun raaka-aineena. Kestomuoveihin perustuvat tekokuidut, kuten polyesteri ja polyamidi, voidaan kierrättää termisesti sulattamalla, ja sulamattomat luonnonkuidut, kuten puuvilla, kemiallisesti. Kestomuoveihin perustuvat tekokuidut voidaan siis sulattaa uudelleen ja prosessoida eri menetelmin, puristamalla, ekstruusiolla tai valamalla, uudelleen tuotteiksi. Termisesti kierrätettyjä kuituja on kaupallisesti saatavilla, joskaan lähtöaine ei välttämättä ole tekstiili. Esimerkiksi 40 % kierrätetyistä PET-pulloista voidaan valmistaa sulatuksen kautta polyesterikuituja. Selluloosasta koostuville luonnonkuiduille, kuten puuvillalle, termien kierrätys ei sovellu, koska ne eivät sula. Puuvillalle soveltuu kemiallinen kierrätys, jossa selluloosa liuotetaan ja regeneroidaan selluloosamuuntokuiduksi samaan tapaan kuin kaupalliset selluloosamuuntokuidut viskoosi ja lyocell, jotka tehdään normaalisti puun selluloosasta. Synteettiset materiaalit voidaan kierrättää myös monomeereina joko uuden polymeerin ja siten myös uuden kuidun raaka-aineeksi. Jos uudelleenkäyttöön kelpaamattomalle tekstiilille ei löydy sopivaa kierrätysmenetelmää materiaalina, se voidaan konvertoida termisillä konversioprosesseilla muiksi kemikaaleiksi tai hyödyntää energiana. Riippuen kierrätysmenetelmästä tekstiilijätteen lajittelu on siis usein ensiarvoisen tärkeää ja määrää jakeen soveltuvuuden tiettyihin kierrätysprosesseihin.

Kierrätettyjen tekstiilien raaka-ainepohja perustuu neitseellisten kuitujen raaka-aineisiin. Kuitujen tuotanto oli vuonna 2016 lähes 100 miljoonaa tonnia, mistä vaatekukseen käytettiin 56 % (Textile Exchange, 2017; Suomen Tekstiili & Muoti, 2018). Selkeästi eniten tuotetaan polyesteriä ja puuvillaa. Polyesterin kokonaistuotannosta 4,5 miljoonaa tonnia on kierrätettyä polyesteriä, josta suurin osa on muovipulloista termisesti kierrätettyä kuitua (kuva 2). Samalla kun kulutuksen odotetaan kasvavan, vaatteiden käyttöiän on arveltu laskevan (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Ellen MacArthur Foundationin raportissa (2017) on myös arvioitu, että 73 % vaatekukseen käytetystä materiaalista päättyy käytön jälkeen hävitettäväksi (polttoon tai kaatopaikalle). Vain 13 % kierrätetään ja vain 1 % kierrätyksestä voidaan luokitella suljetun kierron kierrätykseksi.



Kuva 2 Maailman kuitutuotanto vuonna 2016. rPES = kierrätetty polyesterikuitu

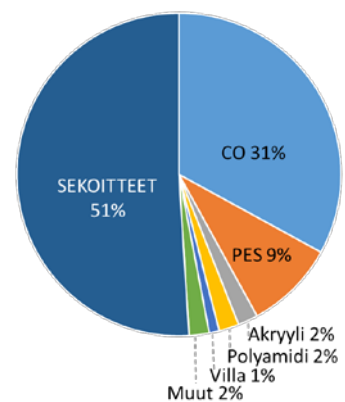
Kuluttajilta kerätystä tekstiilijätteestä kierrätykseen soveltuva jae ei välttämättä noudata maailman kuitutuotannon materiaalien jakaamaa. Telaketju-projektissa on alustavasti todettu, että Lounais-Suomen alueella kuluttajilta kerätyn jätetekstiilin suurin tunnistettavissa oleva materiaali jae oli puuvilla (lähes 60 %). Samanlainen tulos on saatu Luoteis-Euroopan alueelle keskittyvässä tekstiilien kierrätyksen tutkimusprojektissa, Fibersort-hankeessa¹, missä käsinlajittelun suurin tunnistettu materiaali jae oli puuvilla (noin 50 %). Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että polyesteriä käytetään paljon myös teknisiin tekstiileihin, kuten köysiin, turvavöihin ja suodattimiin. Materiaalien jakaumaan vaikuttanevat myös vuodenaika, keräystapa ja alue sekä se, miten poistotekstiili on lajiteltu ennen materiaalien tunnistusta. Lahden ammattikorkeakoulussa 2016 tehdyn lajittelututkimuksen (Cura & Heikinheimo, 2016) toteutusta ja tuloksia on esitetty kuvassa 3.

Toteutus:

- Lahden Työn Paikka Oy:n kierrätyskeskus Patina
- Ulkoastia, talvi 2016
- Yhteensä 892 kg poistotekstiiliä

Materiaaliluokat:

- Myynti 418 kg
- Jäte (likaiset & kuluneet sekä uima- ja alusasut) 118 kg
- Tyynyt, peitot, pyyhkeet & matot 117 kg
- Kengät ja uusiokäyttöön kelpaamattomat matot 45 kg
- Poistotekstiili tunnistukseen 238 kg, jonka jakauma raaka-ainetyypeittäin FTIR:llä tunnistettuna viereisessä kuvaajassa (CO = puuvilla, PES = polyesteri)



Kuva 3 Jätetekstiilin materiaali jae Lahden ammattikorkeakoulussa tehdyssä poistotekstiilien lajittelututkimuksessa, jossa tekstiilien kuitutunnistuksessa käytettiin silmämääräistä tunnistusta, pesulappuja ja FTIR-spektroskopiaa (Cura & Heikinheimo, 2016)

¹ Fibersort project funded by Interreg North-West Europe <https://www.circle-economy.com/case/fibersort/>

Mekaaninen kierrätys soveltuu kaikille kuiduille, ja selluloosasta muodostuville luonnonkuiduille mekaaninen kierrätys on ainoa vaihtoehto, jos halutaan kuidun pysyvän täysin samana materiaalina. Kemiallisessa kierrätyksessä kuidun rakenne katoaa ja se valmistetaan uudelleen kuiduksi. Puuvillan liuotuksen ja regeneroinnin jälkeen syntyvä kuitu on selluloosamuuntokuitua. Tekokuitujen kohdalla tilanne on toinen, sillä niiden kuiturakenne pystytään hajottamaan termisesti sulatuksessa polymeeritasolle tai kemiallisesti monomeeritasolle. Sekä polymeerit että monomeerit on mahdollista prosessoida takaisin samanlaisiksi kuiduksi kuin lähtömateriaali. Monomeerit sekä niiden rakenneosat voidaan käyttää myös erilaisten kemikaalien tai muiden aineiden lähtöraaka-aineena. Taulukkoon 1 on koottu eri kuitutyypeille soveltuvat kierrätysmenetelmät.

Taulukko 1 Eri kuiduille soveltuvat kierrätysmenetelmät

Kuitu	Kierrätys kuituna	Kierrätys polymeerinä	Kierrätys monomeerina
Polyesteri	Ei varsinaisesti käytössä. Esimerkiksi Telaketju-projektissa on osoitettu, että on mahdollista. Lajittelemattomassa mekaaniseen kierrätykseen päätyvässä jätejakeessa muiden materiaalien mukana.	PET pulloista valmistetaan kierrätettyä polyesterikuitua. ² Tietyillä brändeillä on oma suljettu kierto polyesterivaatteille, joista on mahdollista valmistaa kuitua. ³ Teoreettisesti mahdollista myös kuluttajapoistoille, hankaluutena polymeeritason heterogeenisyys.	Kaupallinen konsepti polyesteritekstiilin kemiallisesta kierrätyksestä polyesterikuiduksi ⁴ . Kokeellisesti useita eri kemiallisia menetelmiä, joilla pystytään pilkkomaan polymeeri monomeereiksi.
Puuvilla	Käytössä ainakin teollisuuden sivuvirroille. Lajittelu myös värin mukaan. ⁵	Selluloosan liuotus polymeeritasolle ja kuidutus selluloosamuuntokuiduksi. Useita konsepteja demonstroitu pilottimittakaavassa. ⁶	Teoreettisesti depolymerointi mahdollista - ei saada polymeeroitua takaisin selluloosaksi. Voitaisiin jalostaa esimerkiksi polttoaineeksi.
Polyamidi	Mahdollista - saattaa olla käytössä ainakin mattojen kierrätyksessä.	Mahdollista - käytössä lähinnä teollisuuden sisäisissä kierrossa ⁷ .	Kaupallinen konsepti, de- ja repolymeroidaan ja valmistetaan uudeksi kuiduksi ⁸
Villa	Villaa on kierrätetty mekaanisesti yli 200 vuotta. Toisaalta kierrätys hiipunut ja toisaalta arvioitu arvokkaaksi jakeeksi mekaanisessa kierrätyksessä.	Proteiinikuitujen liuotusta ja uudelleen kuidutusta tutkitaan.	

Materiaali vaikuttaa sille soveltuvan kierrätysmenetelmän valintaan ja toisaalta kierrätysmenetelmä vaikuttaa kierrätetyn kuidun laatuun. Taulukkoon 2 on koottu kuitutyypeittäin eri kierrätysprosessien vaikutus kierrätetyn kuidun laatuun verrattuna neitseelliseen kuituun.

² Useita toimijoita, ks. esim. Textile Exchange (2017).

³ <http://dutchawearness.com/>; <https://www.patagonia.com/recycled-polyester.html>

⁴ <http://www.teijin.com/solutions/ecocircle/>

⁵ <https://www.purewaste.org/>; <https://www.hifesa.com/en/>

⁶ <https://infinitedfiber.com/>; <http://reloopingfashion.org/>; http://puu.aalto.fi/fi/research/research_groups/biorefineries/ioncell_f/; <http://mistrafuturefashion.com/>; <http://www.fastcoexist.com/3059826/levis-made-the-first-ever-100-recycled-cotton-jeans>; <http://www.carvedinblue.lenzing-fibers.com/lenzing-introduces-tencel-fiber-recycled-cotton/>;

⁷ <https://www.patagonia.com/recycled-nylon.html>

⁸ <http://www.econyl.com/>

Taulukko 2 Kierrätysmenetelmän vaikutus kuidun laatuun

Kuitu	Kierrätysmenetelmän vaikutus kuidun laatuun
Polyesteri	<p>Polymeeritason terminen kierrätys: heikentää polymeerin laatua, syötteen puhtaus vaikuttaa merkittävästi. Voidaan kierrättää ainakin 8 kierrosta⁹</p> <p>Monomeeritason kemiallinen kierrätys: saadaan täysin neutseellistä kuitua vastaava kuitu. Vielä ei tiedetä, löytyykö kierrätysyöyklien määrälle rajoitteita. Kalliimpi prosessi kuin terminen.</p>
Puuvilla	<p>Kuitutason kierrätys: mekaaninen kierrätys lyhentää kuitupituutta ja saattaa siten rajoittaa käyttöä jatkoprosessissa. Ainoa mahdollisen prosessi, kun halutaan säilyttää puuvillakuitu sellaisenaan.</p> <p>Polymeeritason kierrätys: puuvilla voi toimia kemiallisen kierrätyksen lähtöraaka-aineena, lopputuote on selluloosamuuntokuitu, jolla on neutseellisiä (primaarisia) kuituja vastaavat ominaisuudet.</p>
Polyamidi	<p>Monomeeritason kemiallinen kierrätys: saadaan täysin primaarisia kuitua vastaava kuitu. Vielä ei tiedetä, löytyykö kierrätysyöyklien määrälle rajoitteita.</p>
Villa	<p>Kuitutason kierrätys: mekaaninen kierrätys lyhentää kuitupituutta ja saattaa siten rajoittaa käyttöä jatkoprosessissa. Ainoa mahdollisen prosessi säilyttää villakuitu.</p>

Kierrätetyn kuidun tai siitä valmistetun tekstiilin laadun tai ominaisuuksien verifioimiseen ei ole erillisiä standardeja, vaan niihin voidaan soveltaa esimerkiksi Suomen Standardoimisliiton haluttuja tekstiilistandardeja. Kierrätetystä tekstiilistä valmistetulle tuotteelle on myös mahdollista hakea ympäristömerkkejä tai sen tuoteturvallisuus voidaan määrittää Öko-Tex standardien mukaan. Missään näissä edellä mainituissa standardeissa ei kuitenkaan erikseen verifioida erityisesti kierrätetyn kuidun käyttöä, vaan niitä kohdellaan tasa-arvoisina neutseellisen materiaalin kanssa. Maailmanlaajuisesti on ainakin kaksi kierrätetyn materiaalin sertifiointiin soveltuvaa standardia: Recycled Claim Standard ja Global Recycled Standard¹⁰. Molemmat soveltuvat kierrätetyn materiaalin sisällön ja alkuperän verifioimiseen koko toimitusketjussa siitä hetkestä lähtien, kun kierrätetty materiaali otetaan sisään ketjuun. Standardit soveltuvat materiaalista riippumatta kierrätetyn materiaalin verifioimiseen ja siten niitä voidaan käyttää myös muille materiaaleille kuin tekstiilikuiduille. Textile Exchange'n raportin (2017) mukaan näitä standardeja käytetään Euroopassa ainakin Espanjassa, Turkissa, Unkarissa ja Italiassa.

Tässä raportissa tarkastellaan tekstiilien käsin- ja konelajittelua erityisesti Telaketju-projektin aikana saatuihin tuloksiin perustuen sekä pyritään selvittämään sitä, millainen on kuluttajilta kerätty, lajitteluun tuleva ja kierrätykseen soveltuva poistotekstiilijae. Raportissa käsitellään myös sitä, minkälaisia laatuvaatimuksia eri kierrätysprosessit asettavat hyödynnettävälle materiaalille ja mihin kierrätysprosessiin kukin materiaali- ja soveltuu. Lisäksi tarkastellaan poistotekstiilissä mahdollisesti olevia haitallisia kemikaaleja ja niitä koskevia rajoituksia.

⁹ <http://dutchawareness.com/chainmanagement/>

¹⁰ <https://textileexchange.org/integrity/>.

2. Lajittelu

Materiaalin lajittelu nostaa sen jalostusarvoa ja vaikuttaa kierrätyksessä osaltaan myös uusiolopputuotteen koostumuksen. Käsinlajittelija pystyy erottamaan materiaalivirrasta uudelleenkäyttöön sopivat tuotteet. Materiaalien tunnistus pesulappujen perusteella on mahdollista mutta hidasta, ja osa materiaalista jää tunnistamatta, koska informaatio puuttuu tai on virheellistä.

Koneellisella tunnistuksella tekstiilijätteen lajittelu tehostuu ja sen kapasiteetti kasvaa. Automatisoiduissa lajittelulinjastoissa materiaalin tunnistukseen käytetään lähinnä NIR-teknologiaa, jonka etuna on nopea ja ainetta tuhoamaton analyysi materiaalikoostumuksesta ilman kontaktia materiaaliin. Automatisoidussa linjastossa materiaalin tunnistava sensori on vain yksi linjaston osa. Sen on toimittava synkronoidusti linjaston kuljettimien ja lajittelijoiden kanssa. Näitä tunnistusteknologioita ja automatisoituja linjastoja on esitelty tarkemmin Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä -raportissa (Kamppuri ym., 2019).

2.1 Käsinlajittelu

Pääosa tekstiilien lajittelusta tehdään nykyisin käsinlajitteluna: käsinlajittelua tehdään muun muassa kierrätyskeskuksissa, hyväntekeväisyysorganisaatioissa sekä kierrätysmateriaalia hyödyntävissä yrityksissä. Harjaantunut käsinlajittelija pystyy tunnistamaan mahdollisesti jopa konetta paremmin myyntiarvoa omaavat tekstiilituotteet, sekä jossain määrin tunnistamaan materiaaleja tunnun ja tuotetyypin perusteella. Farkut muun muassa koostuvat pääasiassa puuvillasta ja tietyntyyppiset neuleet villasta ja sen sekoitteita. Tarkka kuituraaka-aineen tunnistaminen käsitunnistuksessa on mahdotonta, mutta harjaantunut käsinlajittelija pystyy riittävän tarkkaan kuituraaka-aineen tunnistukseen ainakin mekaanista kierrätystä varten. Muun muassa Wolkatin¹¹ Marokossa sijaitsevassa lajittelulaitoksessa ammattitaitoiset lajittelijat lajittelevat materiaaleja kuitutyyppin sekä värin mukaan, ja kovat osat poistetaan myös käsin. Kuidut hyödynnetään open-end kehrättyihin lankoihin, ja lyhemmistä kuitujakeista valmistetaan erilaisia kuitukangas- ja huopatuotteita.

Telaketju YM-hankkeessa käsinlajittelua pilotoitiin *Osaamista tekstiilin lajitteluun* - tekstiililajittelijakoulutus (Telakoulu) -kokeilussa ja sen tarkempi raportti valmistuu hankkeen päättymisen jälkeen alkuvuodesta 2019. Lajittelupilotit toteutettiin neljässä kumppaniorganisaatioissa; Pääkaupunkiseudun Kierrätyskeskus Oy (kokeilun koordinaattori), Fida International ry, Turun seudun TST ry/ Texvex, Pirkanmaan kierrätys ja työtoiminta ry/ Nextiili-paja. Pilottien dokumentointiapuna toimi Turun ammattikorkeakoulu.

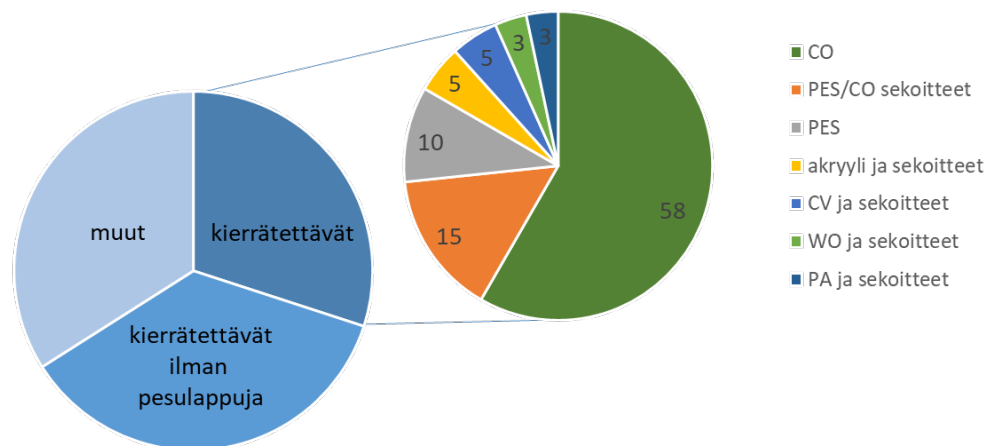
Lajittelupilotissa toteutettiin kolme päivän mittaista käytännön kokeilua, ja pilotointipäivien teemat olivat: 1) tehokas lajittelu (materiaalitunnistus näppituntumalla), 2) tarkka lajittelu (materiaalitunnistus pesulapuista) sekä 3) myyntikelpoisten lajittelu. Lajiteltavat materiaali-jakeet olivat kahtena ensimmäisenä päivänä villa, puuvilla, polyamidi ja polyesteri. Myyntikelpoisen lajittelun päivänä jakeet olivat myyntikelpoiset tekstiilit, mahdollisia kemikaaliriskejä sisältävät tekstiilit sekä kierrätykseen sopivat ja sopimattomat tekstiilit.

Pilottipäivien kulkua seurattiin etukäteen sovituin kysymyksin ja dokumentein. Laaduntarkastuksen materiaali-pilottipäivistä teki Lahden ammattikorkeakoulu (LAMK). Yhteensä piloteissa lajiteltiin 9868 kiloa tekstiiliä, josta poimittiin ja lähetettiin LAMK:iin noin 300 näytettä. Laitteena oli Brukerin FT-IR spektrometri, eli tunnistuksessa käytettiin infrapunaspektroskopiaa. Laaduntarkastuksen tuloksena Telakoulu-kokeilu päättyi suosittamaan, että käsinlajittelussa kannattaa keskittyä uudelleenkäyttöön ohjautuviin tekstiileihin, jolloin tekstiilien taloudellinen tuotto ja luonnonvarasäästöt saadaan maksimoitua. Käsinlajittelu on tärkeä osa poistotekstiilin lajittelua. Käsinlajittelija erottelee myyntikelpoiset, kemikaaliriskein sisältävät ja jalostuslaitteistoon sopimattomat tekstiilit sekä muut tekstiilikeräyksen mukana tulevat sinne kuulumattomat tavarat pois kierrätykseen soveltuvasta jakeesta.

¹¹ <https://www.wolkat.com>

Telakoulu-kokeilussa pilotoitiin myös tekstiililajittelijan koulutusta ja panostettiin koulutuksen opinnollistamiseen. Koulutuspilotin pohjalta tehtiin suosituksia ammattikoulujen koulutusuudistukseen, kun Ympäristöhuollon ammattitutkinnon perusteita uusittiin vuoden 2018 aikana. Telakoulu kommentoi tutkinnon perusteita niin, että *Materiaalien talteenotto ja hyödyntäminen* -tutkinnon osa voidaan jatkossa sovittaa tekstiililajittelijan osaamiselle sopivaksi. Opinnollistaminen nähtiin tärkeäksi, jotta lajitteluosaamisen arvostus nousee sen ollessa osa formaalia koulutusjärjestelmää. Koulutetuilla lajittelijoilla pystytään takaamaan materiaalien tasalaatuinen lajittelutulos, mikä on tärkeää jatkojalostuksen kannalta. Osaava lajittelu myös mahdollistaa tehokkaan uudelleenkäytön ja tuo taloudellista kestävyyttä.

Telaketju-projektin käsinlajittelussa kuluttajilta kerätty jätetekstiili jaoteltiin ensin kahteen jakeeseen: kierrätettäviin ja muihin. Muihin kuuluvat sekä keräykseen tuodut ei-tekstiilituotteet että kierrätykseen soveltumattomat tuotteet, kuten useasta kerroksesta koostuvat takit. Kierrätettävä jae lajiteltiin eri materiaaleihin pesulappujen perusteella. Noin puolet kierrätettävästä jakeesta oli ilman pesulappua eli sen materiaali jäi tunnistamatta. Pesulapullisia kierrätettäviä tekstiilejä oli noin puolet kierrätettävästä jakeesta ja ne jaoteltiin edelleen materiaalien mukaan (katso kuva 4). Suurimmat ryhmät olivat 100 % puuvillaa, puuvilla-polyesteriseoksia sekä 100 % polyesteri.



Kuva 4 Kuluttajilta kerätyn jätetekstiilin lajittelu eri jakeisiin¹². CO = puuvilla, PES = polyesteri, CV = viskoosi, WO = villa, PA = polyamidi

2.2 Konelajittelu

Automatisoidut tekstiilijätteen lajittelulinjastot perustuvat tällä hetkellä NIR-anturien käyttöön. NIR-teknologiasta ja tunnistuslinjastosta löytyvät tarkemmat selvitykset muualta (ks. esim. Kamppuri ym., 2019; Zitting, 2017).

Telaketju-projektissa koneellista lajittelua on tehty Lahden ammattikorkeakoulun kehittämällä REISKAtex® lajittelulinjalla, missä tunnistus perustuu NIR-teknologiaan (lisätietoa mm. Kamppuri ym. 2019). Puhtaiden materiaali-jakeiden, kuten 100 % puuvillan, villan, polyesterin ja viskoosin, tunnistus automatisoidulla NIR-linjastolla onnistuu luotettavasti ja jakeen puhtaustoleranssia voidaan säätää spektrinkäsittelyohjelmistolla. Huomionarvoista on, että myös selluloosapohjaiset puuvilla ja viskoosi pystytään erottamaan toisistaan. Sekoitekankaat pystytään jaottelemaan eri luokkiin; esimerkiksi 60 % puuvillaa sisältävät tekstiilit voidaan eritellä 100 % puuvillasta. Tämä vaatii spektrinkäsittelyohjelman muokkauksen, ja tällä hetkellä on vielä epäselvää, kuinka pienillä askelilla eri seossuhteet pystytään tunnistamaan eli pystytäänkö esimerkiksi erottamaan 98 % puuvilla erilleen 100 % puuvillan joukosta. Työlästä spektrinkäsittelyohjelman muutostyötä ei kuitenkaan kannata ryhtyä tekemään ennen kuin sekoitekankaiden loppukäyttökohteet ovat selvillä.

¹² Composition of End-of-life Textile in Southwest Finland <https://telaketju.turkuamk.fi/uutiset/composition-of-end-of-life-textile-in-southwest-finland/>

2.2.1 Lajittelukoeajo REISKA[®]tex-linjalla

Lahden ammattikorkeakoulussa kehitetyn automaattisen REISKA[®]tex –tekstiililajittelulinjaston kehitystyö on edennyt koeajovaiheeseen, mitä tehtiin Telaketju Tekes-hankkeessa. Koeajomassana toimii Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:n keräämä kuluttajapoistotekstiili, josta on poistettu uusiokäyttö- ja myyntikelpoiset tekstiilituotteet. Koeajoerää tarkasteltaessa on huomioitu kodintekstiilien runsas osuus keräyksessä, joten kuitumateriaalien prosentuaalista osuutta poistotekstiilivirrassa ei huomioida. Sen sijaan tunnistustutkimuksen tavoitteena on määrittää lajiteltujen kuitumateriaalien laatua asetettujen puhtaustoleranssien mukaan. Kuvassa 5 on Lahden ammattikorkeakoulun kehittämä REISKA[®]tex-lajittelulinja.



Kuva 5 Lahden ammattikorkeakoulun kehittämä automatisoitu lajittelulinjasto, REISKA[®]tex. Kuva Oona Rouhiainen, LAMK, 2018

Kirjoitushetkellä laitteiston avulla oli läpikäyty yhteensä 195 kg poistotekstiiliä, josta 19 kg oli esilajiteltu koneelliseen tunnistukseen soveltumattomina monikerrosrakenteiden, voimakkaiden painatusten tai muiden pintamittausta haittaavien ominaisuuksien vuoksi. Talteen saatu puhtaiden tekstiilimateriaalien (CO, PES, WO, CV) osuus oli 79 kg (45 %). Suurimman osuuden saannosta muodostaa puuvilla, jonka lajittelutarkkuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota muun muassa kemiallisen kierrätyksen puhtausvaatimusten vuoksi.

Koeajot jaettiin kahteen osaan, joissa käytettiin kahta eri puhtaustoleranssiarvoa lajittelun laadun määrittämiseksi. Ensimmäisessä tiukemman kriteerin koeajossa seurattiin hylkyyn päätyvää tekstiiliä, josta eroteltiin puuvillaksi oletetut, tarpeettomasti hylätyt kappaleet. Tämä osuus vastasi 5,7 % lajitellusta puuvillasta. Tarpeettomasti hylätyistä puuvillaksi oletetuista tekstiilinäytteistä valittiin tarkistusmittaukseen satunnaisotoksella viisi näytettä ja ne tutkittiin laboratorioissa FTIR-laitteistolla. Tällöin havaittiin viidestä näytteestä kahdessa poikkeavuuksia puhtaaseen puuvillaan nähden. Poikkeama spektrijäljessä ei viitannut tunnettuihin sekoitekuituihin, joten eron oletetaan johtuvan tekstiilin pintakäsittelystä tai muusta vastaavasta muuttujasta. Myös oikein tunnistetuille puuvillanäytteille tehtiin tarkistusmittaus ja kymmenessä tarkistusmittaukseen satunnaisesti valitussa näytteessä ei näkynyt epäpuhtauksia tai muita sekoitekuituihin viittaavia piirteitä.

Koeajojen löyhemmän kriteerin osassa seurattiin puuvillaksi lajiteltavia tekstiilejä, joista otettiin visuaalisen tarkastelun ja tekstiilin tuntuman perusteella laadullisesti epäilyttäviä kappaleet sivuun tarkistusmittauksia varten (8,7 % lajitellusta puuvillasta). Tarkistusmittauksissa 14 tutkitusta näytteestä neljä osoitti merkkejä poikkeavasta kuitukoostumuksesta. Kahdessa havaittiin elastaania, yhdessä korkea pellavapitoisuus ja yhdessä oletettavasti likaa hylkivä pinnoite. Satunnaisotokset muusta tunnistetusta puuvillasta todettiin puhtaiksi uusintamittausten myötä.

Molempien koeajoerien perusteella lajittelun puuvillan puhtaus on erittäin korkea. Eri toleranssirajojen vertailussa tulee arvioida tunnistuksen läpäisevän sekoitemateriaalin ja tarpeettomasti hylättävän puhtaan puuvillan vaikutus lopulliseen lajittelun laatuun. Tarpeettomat hylkäykset nostavat lajittelun

kustannuksia, mutta puhtaan puuvillan sekaan hyväksytyt sekoitemateriaalit heikentävät kierrätettävän kuidun laatua. On kuitenkin huomioitavaa, että sallivamman tunnistusrajan koeajossa vain pieni osa tekstiileistä sisälsi pienen määrän epäpuhtauksia, jolloin lopullinen puhtausarvo säilyy huomattavan korkeana. Suoritettujen koeajojen perusteella voidaan todeta optimaalisen puhtausrajan asettuvan käytettyjen toleranssirajojen väliin. Automaattisia tunnistuskokeita jatketaan toleranssien optimoimiseksi sekä tilastollisesti luotettavan materiaalin määrän saavuttamiseksi. Linjaston automatiikkaa ja logiikkaohjausta kehitetään lajittelukapasiteetin nostamiseksi.

2.2.2 Koneellisen tunnistuksen haasteita

Koneellisessa lajittelussa tapahtuu myös virheellisiä tunnistuksia tai tekstiili jää tunnistamatta, mikä havaittiin myös Telaketjun tutkimuksen aikana. Virhetunnistus tarkoittaa sitä, että materiaali tunnistetaan johonkin jakeeseen kuuluvaksi, mutta se sisältääkin merkittävän osan jostain muuta materiaalia, joka tunnistusteknologian rajoitteiden vuoksi jää tunnistamatta. Esimerkiksi kangas tunnistetaan sen pintakerroksen perusteella johonkin materiaali-jakeeseen, mutta merkittävä osa väli- tai pohjakerroksista ovatkin toista materiaalia. Tunnistamatta jäävä jättejake voi olla sellainen, jota ei ole tallennettu tunnistusanturin kirjastoon tai sellainen, jossa esimerkiksi kalvopinnoite estää materiaalin tunnistuksen. Myös monikerrosrakenteet, alueittain eri materiaalista koostuvat tai hyvin ohuet tekstiilit saattavat aiheuttaa virhetunnistuksen. Taulukkoon 3 on koottu erilaisia jätetekstiiliryhmiä, jotka voivat aiheuttaa virhetunnistuksen koneellisessa lajittelussa. Tällä hetkellä soveltuvin lajittelu- ja tunnistusmenetelmä tällaisille tekstiileille on käsinlajittelu, mutta tunnistusteknologioiden kehittyessä tähän toivotaan koneellista ratkaisua. Lisäksi on tunnistettu tekstiilijättejakeita, joilla on suuri kemikaaliriskin todennäköisyys. Näitä käsitellään lähemmin luvussa 6.

Taulukko 3 Virhetunnistuksen aiheuttavia tekstiilijättejakeita

Virhetunnistuksen aiheuttavia poistotekstiilijakeita	Esimerkki
Pinnoitetut tekstiilit	sadetakki, suihkuverho
Monikerrosrakenteet	toppatakki, peitto
Alueittain eri materiaalista koostuvat tekstiilit	sisustustekstiilit, joissa raidat eri materiaalia
Läpinäkyvät ja hyvin ohuet kankaat	huivi, verho
Elastaania sisältävät materiaalit	Stretch- farkut, neuleet

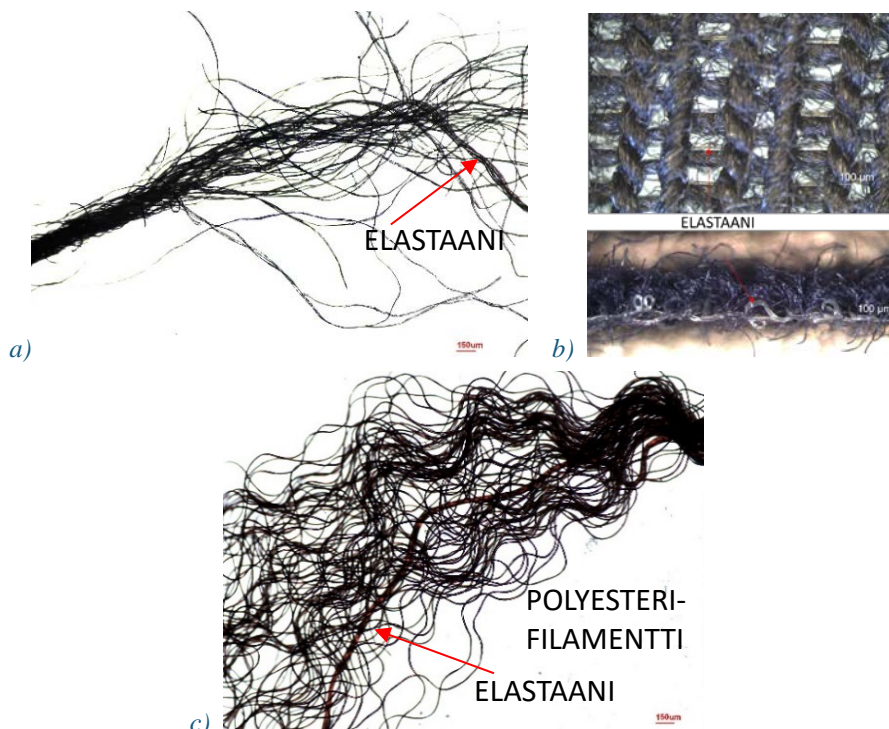
Elastaanikuidut ovat synteettisiä kuituja, joiden kemiallisesta rakenteesta vähintään 85 % on segmentoitua polyuretaania (Räisänen ym., 2017). Elastaanikuituja käytetään sekoitteina muiden kuitujen kanssa niiden elastisuuden vuoksi. Elastaanin avulla kankaalle saadaan haluttu venyvyys ja vaatteelle istuvuus. Elastaanilla on sille ominainen NIR-spektri ja se pystytään tunnistamaan yksittäisenä materiaalina. Tunnistuksen ongelmana on se, että elastaani on vaatteissa sekoitteena ja usein sen pitoisuus on muihin kuituihin verrattuna pieni (esimerkiksi 2-5 %). Elastaani voidaan syöttää neulokseen siten, että se muodostaa silmukan yhtä aikaa peruslangan kanssa, mutta siten, että se jää syntyvän neuloksen nurjalle puolelle. Elastaanista voidaan tehdä rengaskehruumenetelmällä myös ydin-kuorilangan ydinmateriaali: Tällöin elastaani jää langan ytimeen ja sen ympärille muodostuu kuori toisesta kuitumateriaalista, usein puuvillasta. Elastaania voidaan käyttää tekstiilissä koko kankaan matkalla tai vain osittain, esimerkiksi resorissa. Nämä seikat hankaloittavat elastaanin koneellista tunnistusta NIR-tekniikalla, missä tunnistus tapahtuu kankaan pinnassa olevan materiaalin perusteella ja vain tietyltä melko pieneltä alueelta. Elastaanin tunnistus on kuitenkin erittäin tärkeää, sillä se vaikuttaa materiaali-jakeen soveltuvuuteen eri kierrätysmenetelmiin. Mekaanisessa kierrätyksessä elastaani tukkii pahimmillaan avaajat ja puuvillan kemiallisessa kierrätyksessä se hankaloittaa liuotusta. Sen vuoksi elastaanin määrän toivotaan olevan puuvillan kemiallisessa kierrätyksessä alle 1-2 % lajittelusta puuvillasta.

Telaketju-projektin tunnistuskoesarjassa näytteet syötettiin tunnistukseen käsin ja niistä mitattiin molemmat puolet. Puuvillan ja elastaanin seoksia oli mukana kuusi erilaista näytettä ja polyesterin ja elastaanin seoksia yhdeksän näytettä. Koneellisen tunnistuksen jälkeen näytteet tutkittiin myös valomikroskooppilla. Tulokset on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4 Elastaanin tunnistus REISKA[®]tex[®]-linjalla puuvilla- ja polyesterikankaista

Puuvillan (CO) ja elastaanin (EL) seokset ydin-kuori lankana (katso kuva 6a)		
Näytteet	Neljä kudottua kangasnäytettä	
Koostumus	1 näyte 98 % CO/ 2 % EL 3 näytettä 97 % CO/ 3 % EL	
Tunnistustulos	Kolme näytettä tunnistettiin 100 % CO luokkaan ja yksi näyte 90 % CO luokkaan	
CO-EL -seokset, jossa elastaani syötetty erikseen (katso kuva 6b)		
Näytteet	Kaksi trikooneuletta, joissa elastaani oli syötetty neuloksen nurjalle puolelle.	
Koostumus	Molemmissa 95 % CO/5 % EL	
Tunnistustulos	Toinen näytteistä tunnistettiin 100 % CO luokkaan ja toinen 90 % CO luokkaan	
Polyesteri (PES) EL seokset (katso kuva 6c)		
Näytteet	Yhdeksän polyesterin ja elastaanin seosta, joista viisi neulosta, yksi fleeceneulos ja kolme kudottua kangasta. Kaikissa näytteissä polyesteri oli filamenttilankaa ja elastaani oli syötetty polyesterin mukana (ei ydinkuorilankana).	
Koostumus	3 näytettä 98 % PES/ 2 % EL 1 näyte 96 % PES/ 4 % EL 2 näytettä 95 % PES/ 5 % EL	1 näyte 92 % PES/ 8 % EL 1 näyte 90 % PES/ 10 % EL (fleece) 1 näyte 89 % PES/ 11 % EL
Tunnistustulos	90 % PES luokkaan tunnistettiin vain yksi näyte, jossa oli 11 % elastaania. Muut tunnistettiin 100 % PES luokkaan (6 kpl) tai jäivät kokonaan tunnistamatta (2 kpl).	

Kuvassa 6 esitellään mikroskooppikuvia puuvillaelastaani- ja polyesterielastaani-seoslangoista. Elastaanin tunnistus todettiin haasteelliseksi, koska pitoisuudet olivat pieniä. Tämän koesarjan perusteella voidaan todeta, että elastaanin syöttötavalla ei ollut vaikutusta sen tunnistamiseen. Lisäksi tulokset viittaavat siihen, että elastaania täytyisi olla noin 10 %, jotta se pystyttäisiin luotettavasti tunnistamaan. Luotettava elastaanin tunnistus saattaisi vaatia kaksivaiheisen tunnistuksen, missä ensimmäinen sensori arvioisi materiaalin ja toisen sensorin tunnistustoleranssi elastaanille olisi säädetty hyvin tiukaksi, jos materiaali on menossa sellaisiin kierrätysprosesseihin, missä sitä ei saisi olla lainkaan.



Kuva 6 a) Ydin-kuorilanka elastaanista ja puuvillasta, b) Puuvillaneulos, johon elastaani on syötetty erikseen, c) Polyesterifilamenttilanka, missä erikseen mukana elastaani

3. Kierrätys kuituna - mekaaninen kierrätys

Tekstiilien mekaanisella kierrätyksellä viitataan yleensä materiaalien kierrätykseen kuitutasolla. Seuraavat mekaanista kierrätystä ja mekaanisesti kierrätetyn kuidun ominaisuuksia ja soveltuvuutta tekstiiliprosesseihin käsittelevät kappaleet (3.1-3.4) pohjautuvat Anneli Aurasen opinnäytetyöhön (Auranen, 2018). Lisäksi kuitujen käyttöä komposiitteihin käsitellään kappaleessa 3.5.

3.1 Lajittelu mekaanista kierrätystä varten

Mekaaniseen kierrätykseen tuleva tekstiilijäte voidaan lajitella kuidun koostumuksen, värin ja kangasrakenteen (kudottu, neulos) mukaan. Kuitukoostumuksen tunteminen on hallitun tekstiilien kierrättämisen ja sille perustuvan kannattavan liiketoiminnan edellytys. Parhaiten mekaanisessa kierrätyksessä voidaan hyödyntää tekstiilejä, jotka ovat 100 % samaa raaka-ainetta. Vaikka mekaaninen prosessointi ei ole niin tarkka kuituraaka-aineen suhteen, kierrätyskuitujen raaka-aineen tunteminen on tärkeää sekä uuden tuotteen käyttökohteen että mekaanisessa kierrätyksessä käytettävien menetelmien ja ajo-olosuhteiden valinnassa. Valmistajan on myös tiedettävä ja merkittävä lopputuotteisiin, mitä kuituja lopputuotteiden raaka-aineina on käytetty. Vastaavasti useista eri kuituraaka-aineista koostuvien tekstiilien hyödyntäminen on huomattavasti vaikeampaa ja edellyttää usein esimerkiksi ajo-olosuhteiden säätöä kuituseossuhteen muuttuessa. Runsaasti elastaania sisältävät sekä pinnoitetut tekstiilit eivät sovellu mekaaniseen kierrätykseen.

Mekaanisessa kierrätyksessä prosessoituja, 100 % tiettyä kuituraaka-ainetta sisältäviä jakeita voidaan myöhemmin sekoittaa keskenään erilaisia tuotteita valmistettaessa. Jos tekstiilikuituja ei valkaista ja/tai värjätä uudelleen mekaanisen kierrätysprosessin jälkeen, tekstiilien lajittelu myös värin mukaan on useissa tapauksissa hyödyllistä. Kierrätettäessä kuituja mekaanisesti on havaittu, että kudotuista tuotteista saatava kuitu soveltuu paremmin kudottuihin tuotteisiin ja neulotuista tuotteista saatava kuitu neulotuotteisiin. Käyttötarkoitukseen hyvin soveltuvan mekaanisesti kierrätetyn kuidun valmistuksessa kannattaa siten lajitella kudotut ja neulotut tekstiilit erikseen. Toisaalta, jos halutaan korostaa tuotteen alkuperää kierrätystuotteena, jolloin siinä saa esimerkiksi näkyä erivärisiä kuituja ja struktuureja, lajittelua ei tarvitse tehdä yhtä tarkasti ennen mekaanista kierrätystä.

3.2 Mekaaninen avausprosessi

Mekaaninen avausprosessi koostuu tekstiilien leikkaamisesta ja kuiduiksi repimisestä. Tavallisin mekaanisessa kierrätyksessä käytetty silppuamismenetelmä on giljotiinileikkuu. Siinä tekstiilit leikataan ensin suikaleiksi ja tämän jälkeen leikurin suunta vaihtuu 90 astetta, jolloin muodostuu tekstiilisilppua. Giljotiinileikatusta tekstiilisilpusta voidaan painovoiman ja puhaltimien avulla, poistaa kovia osia, kuten nappeja ja vetoketjuja, sisältävät palat tehokkaasti pois, mikä edesauttaa tekstiilien mekaanisen kierrätyksen taloudellisesti kannattavasti myös isoilla tuotantovolyymeillä.

Giljotiinileikkuuta seuraa repimisvaihe, jossa materiaali avataan kuitutasolle. Repijäkonetta voidaan käyttää ilman erillistä leikkuuta, mutta tuolloin koneen käyttö edellyttää kovien osien poistamista etukäteen käsin. Tämä vie paljon aikaa, mutta toisaalta kuitupituus säilyy prosessoinnissa paremmin. Suora repiminen sopii esimerkiksi villaneuleille, joissa on hyvin vähän tai ei lainkaan kovia osia. Avausprosessin aikana tekstiilimassasta poistuu muun muassa kuitukietoutumia, roskia ja avaamattomia tekstiilipaloja. Avausprosessi voidaan toistaa tai voidaan käyttää useita peräkkäisiä sylintereitä, kunnes tekstiili on riittävästi avattu ja soveltuu valittuun jatkoprosessiin. Turhia avauskertoja tulee kuitenkin välttää, sillä jokainen avauskerta lyhentää kuidun pituutta. Kuvassa 7 on giljotiinileikattua kangassilppua ja silpusta mekaanisesti avattuja kuituja. Avattua kuitua voidaan käyttää tekstiilituotteiden valmistukseen samaan tapaan kuin primaarisia kuituja, tosin avaamisen jälkeen tekstiili on kuitumuodossa, mutta usein mukana on myös lanka- ja jopa kangasjämiä. Tästä syystä mekaanisesti kierrätetty kuituaine on laadultaan hyvin vaihtelevaa ja lisäksi se sisältää paljon eri mittaisia kuituja, joista iso osa on lyhyitä (Albrecht ym., 2003).



Kuva 7 a) Giljotiinileikattu kangassilppu, b) Mekaanisesti avattuja kuituja. Kuvat ovat Telaketju-projektin demoajosta Larochen tehtaalta

3.3 Kuidun soveltuvuus langaksi

Langan valmistuksessa kuituaineksen ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, sillä niillä on merkittävä vaikutus langan kehrättävyyteen. Kuidun kolme tärkeintä ominaisuutta, jotka vaikuttavat sen soveltuvuuteen langan kehruussa, ovat kuituhienous, -vetolujuus ja -pituus. Kuituhienous vaikuttaa langan lujuuden ja tasaisuuden lisäksi myöhemmin kankaan kiiltoon ja laskeutuvuuteen. Se myös vaikuttaa kehruu- ja tuotantonopeuteen. Kuidun vetolujuus on langankehruprosessin kannalta keskeinen kuituominaisuus. Kosteus vaikuttaa kuidun vetolujuuteen vahvistaen puuvillaa ja pellavaa ja heikentäen viskoosi- ja polyamidikuituja sekä villaa. Polyesteriin ja polypropeeniin kosteudella ei ole vaikutusta.

Kuitupituus vaikuttaa langan kehrättävyyteen ja sitä kautta tuotannon tehokkuuteen. Lisäksi se vaikuttaa kehrättävän langan ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, tasaisuuteen, kiiltoon ja paksuuteen. Käytettävästä kehruumenetelmästä riippuu, mikä ominaisuuksista on tärkein. Heinzin (2016) mukaan open end-kehruussa kuidun hienous on tärkein ominaisuus, seuraavina tulevat lujuus, pituus ja puhtaus. Rengas- ja air jet-kehruumenetelmissä kuidun pituus on tärkein ominaisuus. Rengaskehruussa seuraavaksi tärkein ominaisuus on lujuus ja air jet-kehruussa puhtaus. Kolmanneksi tärkein ominaisuus molemmissa on kuidun hienous ja air jet-kehruussa myös sen lujuus.

Mekaanisesti avatun kuidun soveltuvuutta langanvalmistukseen vähentää prosessoinnin aikana lyhentynyt kuidun pituus. Mekaanisessa avausprosessissa kuitupituus pienenee avauskertojen määrästä, mutta myös valitusta avausmenetelmästä riippuen. Lisäksi *post consumer* -tekstiilijätteenä saatavan puuvillan kuitulujuus on usein heikentynyt käytön ja pesujen vaikutuksesta. Pesut myös jäykistävät puuvillakuituja. (Palme, 2017) Langankehruussa lyhyet, alle 4-5 mm kuidut menetetään prosessoinnin aikana, 12-15 mm pitkät kuidut antavat langalle paksuutta ja karvaisuutta mutta eivät lujuutta, ja vasta yli 15 mm pitkät kuidut tuovat langalle lujuutta, tasaisuutta sekä hyvää kehräytyvyyttä (Klein, 2016). Eri kehruumenetelmät vaativat kuiduilta eri pituuksia. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että open-end-kehruussa kuitupituus voi olla rengaskehruussa käytettävää kuitua lyhyempää: rengas- ja *open end*-kehruussa kuitupituuden tulee olla avauksen jälkeen vähintään 17 mm, mutta mielellään yli 20 mm, ja 25-26 mm on erittäin hyvä kuitupituus (Auranen, 2018). Rengaskehruukoneet voidaan säätää eri kuitupituuksille esimerkiksi seuraavasti: lyhyet kuidut 20-45 mm, keskipitkät kuidut 40-55 mm sekä pitkät kuidut 50-65 mm. (Mesdan, 2018.) Asetukset säädetään halutulle pituusluokalle ja sitä muutetaan harvoin säädön hankaluuden vuoksi. Tällöin kuituaineksen tasainen laatu muodostuu tuotannon kannalta tärkeäksi.

Myös kuidun vetolujuus on merkittävä ominaisuus mekaanisesti kierrätettyä kuitua käytettäessä. Toisaalta erilainen loppukäyttö edellyttää erilaisia vetolujuusominaisuuksia: kuiduista valmistetuilta langoilta, ja siten myös kuiduilta, vaaditaan korkeampaa vetolujuutta kangasta kudottaessa kuin neuleita valmistettaessa.

3.4 Kuidun soveltuvuus kuitukankaaksi

Kuitukangas on joko luonnonkuiduista tai tekokuiduista valmistettu tekstiilimateriaali, jossa kuidut on sidottu toisiinsa mekaanisesti, kemiallisesti tai lämmön avulla tai näitä menetelmiä yhdistämällä ilman erillistä langaksi valmistamista (Nurmi & Tuomisto, 1993). Kuitukankaita voidaan valmistaa hyvin erilaisista tekstiilikuiduista rainanmuodostustavasta riippuen: märkä- ja vaahtorainausmenetelmissä käytetään lyhyitä kuituja, mutta kuivarainausmenetelmissä (ilmarainaus ja karstausta) kuiduilta vaaditaan enemmän pituutta. Märkärainauksessa kuitujen keskipituus on tyypillisesti 1-5 mm, ilmarainauksessa 5-30 mm ja karstauksessa 15-50 mm. Myös lyhyiden kuitujen määrä vaihtelee eri rainausmenetelmissä: karstauksessa niiden määrä on pieni ja ilmarainauksessa määrä vaihtelee pienestä keskinkertaiseen. Märkärainauksessa käytetään vain lyhyitä kuituja. Märkärainauksessa ja karstauksessa kuitujen tulee olla hyvin avuttuja, ilmarainauksessa riittää keskitaso. (Albrecht, 2003)

Tekstiilien leikkuussa ja avauksessa muodostuva pöly voi vaikeuttaa kuitukankaiden valmistusprosesseja ja että kuitupituuden lyhentymisen rajoittaa eri rainanmuodostusmenetelmien käyttöä. Toisaalta haastatteluissa ilmeni, että myös hyvin lyhyttä, jopa pölymäistä kuitua voidaan käyttää märkärainauksessa muistuttavassa vaahtorainauksessa, jolla valmistetaan paperin ja kuitukankaan väliin sijoitettavia rakenteita. Vaahtorainauksessa kuidun pituuden lisäksi myös kuidun jäykkyydellä on merkitystä: pehmeä ja joustava kuitu voi lankautua ja aiheuttaa kuitukasaumia, kun taas jäykempi kuitu pysyy suorana, jolloin voidaan käyttää myös pidempiä kuituja.

Mekaanisesti avatusta tekstiilikuidusta voidaan valmistaa erilaisia kuitukankaita. Esimerkiksi *post consumer* -tekstiilijätteestä valmistetaan eristeitä ja tiivisteitä käyttäen erilaisia kuitukangasteknologioita.

3.5 Kuidun soveltuvuus komposiitteihin

Komposiitti on yhdistelmä kahdesta tai useammasta materiaalista, joilla on selkeä rajapinta. Toinen materiaaleista toimii matriisina, joka sitoo sitä lujittavan materiaalin, esimerkiksi kuidun. Mekaanisesti avattu kuitu voi olla komposiitissa kuituna tai jos kuidun kuitupituus on lyhentynyt, se voi olla komposiitissa täyteaineena. Matriisimateriaali voi olla kesto- tai kertamuovi. Mekaanisesti avattua synteettistä tekokuitua kuten polyesteriä, polyamidia, tai polypropeenia voidaan käyttää myös komposiitin matriisina. Taulukkoon 5 on koottu mekaanisesti avatun kuidun käyttömahdollisuuksia komposiitissa. Komposiitin voi muodostaa myös kuituseos, kun synteettinen tekokuitu muodostaa sulaessaan sulamattomien luonnonkuitujen ympärille matriisin. Tekstiilikuiduista voidaan myös valmistaa tekstiilirakenne, kuitukangas, kudottu kangas tai neulos, jota voidaan käyttää komposiitin lujittavana rakenteena.

Taulukko 5 Mekaanisesti avatun kuidun käyttö komposiittirakenteissa

	Kuitu	Polymeeri
Käyttö	<ul style="list-style-type: none"> • kuituna, pituus yli 1 mm • täyteaineena, pituus alle 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • matriisina, vain synteettiset tekokuidut
Lajittelu	<ul style="list-style-type: none"> • ei välttämätöntä • loppukäyttökohde määrittää, esimerkiksi biokomposiittiin soveltuvat luonnonkuidut 	<ul style="list-style-type: none"> • vain termoplastiset kuidut • lajittelu lämpökäyttötymisen mukaan eri jakeisiin
Työstömenetelmä	<ul style="list-style-type: none"> • matriisin materiaali määrää työstömenetelmän 	<ul style="list-style-type: none"> • kestumuovien työstömenetelmät

Mekaanisesti avatusta kuidusta voidaan valmistaa katkokuitulujitettu komposiitti, jolloin matriisina toimii kerta- tai kestumuovi. Jatkuvalujitteisessa komposiitissa käytetään yleensä jatkuvaa filamenttia lujitteena. Jos mekaanisesti avatusta kuidusta halutaan jatkuva ja edelleen jatkuvalujitteinen komposiitti, katkokuiduista on kehrättävä lanka. Jatkuvalujitteinen komposiitti on yleensä lujempi kuin katkokuitulujitettu komposiitti, jossa kuitujen orientaatio on usein satunnainen.

Kuitulujitteisessa komposiitissa kuitujen tehtävänä on kantaa matriisin niille välittämä kuorma. Jos kuidut pääsevät liikkumaan matriisissa, ne eivät lujita komposiittia. Tässä lujitteen ja matriisin välinen adheesio on kriittinen tekijä. Kuitujen on kostuttava matriisimateriaalilla, jotta saavutetaan riittävä adheesio. Esimerkiksi luonnonkuitulujitteisessa kestmuovikomposiitissa materiaalien luontaista yhteensopimattomuutta (hydrofiilinen luonnonkuitu ja hydrofobinen matriisi) voidaan parantaa luonnonkuidun hydrofobisella pinnoituksella. Toisaalta myös matriisimateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa luonnonkuitujen ja matriisin väliseen adheesioon; esimerkiksi joillakin biopohjaisilla muoveilla, kuten tärkkelyspohjaisella biomuovilla saattaa olla riittävän hydrofiilinen luonne.

Mekaanisesti avattu kuitu voi olla komposiitissa myös kangasrakenteena (kuitukankaana tai kankaana). Tällöin esimerkiksi kuitukankaaseen voidaan seostaa jo kuitukankaan valmistusvaiheessa sulamatonta luonnonkuitua ja sulavaa synteettistä tekokuitua. Tällöin sulava tekokuitu muodostaa matriisin ja sulamaton luonnonkuitu toimii lujitteena. Puristusmuovauksessa kuitukangaskerrosten väliin voidaan myös laittaa sulava muovikalvo.

Mekaanisessa avauksessa kuitupituus lyhenee. Jos kuitupituus laskee alle yhden millimetrin, voidaan kuitu määritellä kuitumaiseksi täyteaineeksi. Orgaanisia täyteaineita on seostettu muoviin jo ennen kuin niitä alettiin kutsua komposiiteiksi, esimerkiksi muovin sekaan on sekoitettu puujauhoa. Täyteaineilla saadaan kasvatettua matriisin tilavuutta, muokattua tiheyttä ja laskettua raaka-ainekustannuksia. Orgaanisten täyteaineiden haittana on niiden yhteensopimattomuus muovien kanssa sekä niiden vedenabsorptio, joka saattaa altistaa tuotteen sieni- ja hyönteisvahingoille. Orgaanisia täyteaineita käytetään yleensä komposiitin tiheyden muokkaamisessa, ja ne saattavat myös parantaa esimerkiksi komposiitin iskunkestävyyttä.

Jätetekstiilin lajittelun tarve ja lajittelulta vaadittava laatu riippuvat komposiitin prosessointimenetelmästä ja loppukäyttökohteesta. Esimerkiksi biokomposiittiin voidaan haluta vain biohajoavia luonnonkuituja, kuten puuvillaa ja pellavaa. Toisaalta vain synteettiset tekokuidut ovat sulavaa materiaalia, jota voidaan käyttää matriisimateriaalina, ja tällöin kukin materiaali on lajiteltava erikseen. Matriisina voidaan myös käyttää biohajoavia ja biopohjaisia muoveja, mutta silloin ne eivät ole peräisin tekstiilijätteestä.

Matriisin materiaalivalinta määrittää komposiitin työstömenetelmän. Kestomuovimatriisille soveltuvat komposiitin valmistusmenetelmät ovat ekstrusio, ahtopuristus ja ruisku- ja rotaatiovalu, kun taas kertamuoveille soveltuvat alipaineinjektio ja laminointi. Pelletin tai granulaatin koko määrittää komposiittiin tulevan kuidun pituuden. Ruisku- ja rotaatiovaluissa kuitupituus on melko lyhyt (yleensä alle 10 mm), kun taas ahtopuristuksessa voidaan käyttää pidempiäkin kuituja.

4. Kierrätys polymeerinä

Kierrätys polymeeritasolla viittaa tekstiilikuidun hajottamiseen sen perusraaka-aineksi, eli polymeeriksi ja uuden kuidun valmista tuosta polymeeristä. Puuvillan ja akryylin osalta kuitu voidaan hajottaa polymeeritasolla vaikuttamatta merkittävästi polymeerin ominaisuuksiin käyttämällä kemiallista liuotusprosessia, kun taas termoplastiset synteettisille kuiduille sopii terminen, sulattamiseen perustuva menetelmä. Polymeeriliuos tai polymeerisula voidaan käyttää sekundaarisen kuidun valmistamiseen käyttämällä samoja menetelmiä mitä käytetään primaaristen tekokuitujen valmistamiseen. Tässä luvussa käsitellään puuvilla kemiallista kierrätystä (kappale 4.1) sekä synteettisten materiaalien termistä kierrätystä (kappale 4.2).

4.1 Puuvillan kemiallinen kierrätys

Puuvilla voidaan kierrättää kemiallisesti liuotuksen kautta selluloosamuuntokuiduksi vastaavilla menetelmillä, joita käytetään primaaristen kuitujen valmistukseen puusta saatavasta liukosellusta. Tärkeimmät kaupalliset selluloosamuuntokuidut ovat viskoosi- ja lyocell-kuituja, lisäksi kehitystyötä tehdään selluloosakarabamaatti-, Biocelso- sekä Ioncell teknologioiden kanssa. Periaatteessa kaikkia näitä teknologioita käytettäessä puun selluloosa voidaan korvata muista lähteistä tuotetulla selluloosalla, kuten bambulla, puuvillalinterillä ja myös tekstiilien jätetuovilla. Puuvillan polymeerirakenne koostuu selluloosasta, joka voidaan liuottaa erilaisilla liuottimilla. Selluloosaliuos voidaan saostaa selluloosamuuntokuiduksi, mutta liuksesta voidaan valmistaa myös kalvoja tai selluloosasta voidaan valmistaa selluloosajohdannaisia, esimerkiksi selluloosaesteriä.

Puuvillan kemiallinen kierrätysprosessi alkaa tekstiilimateriaalin silppuamisella. Yleisin menetelmä on giljotiinileikkuu, jolloin kovat osat (napit, vetoketjut) voidaan poistaa kappaleessa 3.2 kerrotulla tavalla. Kangassilppu jauhetaan, mutta sitä ei avata kuiduksi kuten mekaanisessa kierrätyksessä. Jauhetusta puuvillamassasta voidaan kemiallisesti poistaa esimerkiksi silikaatit sekä metallit, ja värillinen jae voidaan valkaista. Riippuen selluloosan liuotusprosessista puuvillamassasta voidaan valmistaa selluloosajohdannainen tai se liuotetaan suoraan käytetystä teknologiasta riippuvaan liuottimeen. Selluloosaliuos puristetaan suolakkeen reikien läpi kehruuhauteeseen, missä kuidut saostuvat, kun liuotin reagoi saostushauteen kanssa. Kehruutekniikoita ovat märkäkehruu ja sen muunnelma ilmaraollinen märkäkehruu. Muodostuneet selluloosamuuntokuidut pestään ja viimeistellään. Kuiduista voidaan valmistaa kuitukangasta, lankaa ja edelleen neuloksia ja kankaita aivan kuten neitseellisestä puuselluloosasta valmistetuista selluloosamuuntokuiduista.

Raaka-aineksi soveltuvat tekstiileistä puuvillaiset kuluttajapoistot, teollisuuden sivuvirrat ja kaupan poistot. Lajittelun raaka-aineen tulee olla 97-98 % puuvillaa. Varsinkin kuluttajapoistojen kohdalla tämä asettaa tiukat vaatimukset lajittelun laadulle. Jos puuvilla menee suoraan liuotusprosessiin, polyesteriä tai muita synteettisiä tekokuituja saa olla mukana noin 2 %. Polyesteri ei liukene samoissa olosuhteissa kuin selluloosa, jolloin pienet määrät polyesteriä voidaan suodattaa pois selluloosaliuksesta. Polyesterin suodatus vaatii kuitenkin suodatuksen tehostamista, mikä lisää prosessin kustannuksia. Tällä hetkellä kehitetään menetelmiä, joissa puuvilla-polyesterisekoitteista liuotettaisiinkin ensin pois polyesteri, jolloin polyesterin määrä voisi olla suurempi. Monimutkaisempi prosessi kuitenkin myös kasvattaa prosessoinnin kustannuksia. Puuvillajakeessa elastaanin määrän pitää olla alle 1,5 %. Elastaania on vaikea poistaa selluloosaliuksesta suodattamalla, koska se liukenee samoihin liuottimiin kuin selluloosa. Suuremmat määrät elastaania aiheuttavat sivurektioita, jolloin prosessia on vaikea hallita. Taulukossa 6 on esimerkki siitä, miten prosessiin tuleva kierrätysmateriaali voitaisiin spesifioida.

Taulukko 6 Esimerkki raaka-ainespesifikaatiosta: puuvillan kemiallinen kierrätys selluloosa-muuntokuiduksi

Ominaisuus		Vaatimukset
Materiaali	Lähde	100 % tekstiilimateriaali: kuluttajapoistot, teollisuuden sivuvirrat sekä kaupan poistot
	Laatu	97–98 % puuvilla <ul style="list-style-type: none"> polyesterin sallittu määrä < 2 % elastaanin sallittu määrä < 1.5 %
Muut ominaisuudet	Väri	Värilliset ja valkoiset lajitellaan erikseen
	Haju	Ei saa haista
	Vieraat esineet	Raaka-aineessa voi olla mukana napit, vetoketjut
	Tavaran toimitus	350 kg paalit
	Kielletyt materiaalit	Kumi, muovi, nahka, höyhenet, vaahtomuovi, matot
	Kielletyt aineet	Kielletyt kemikaalit, home

Selluloosamolekyylitetjen pituus vaikuttaa selluloosaliuoksen viskositeettiin ja siten sen prosessoitavuuteen. Puuvillan selluloosamolekyylien ketjunpituus on huomattavasti suurempi kuin liukosellun. Puuvillatekstiilin molekyylitetjen pituus lyhenee, kun tekstiilejä pestään. Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa on osoitettu, että yli 50 kertaa pestyjen sairaalalakanoiden molekyylipaino ei ole kuitenkaan laskenut liikaa puuvillan kemiallista kierrätystä ajatellen (Palme, 2017). Molekyylitetjen pituus voidaan testata esimerkiksi mittaamalla sisään tulevan materiaalin SCAN-viskositeetti. Molekyylitetjen pituutta voidaan tarvittaessa hallitusti lyhentää joko kemiallisesti tai biokemiallisesti entsyymien avulla siten, että kierrätyspuuvilla soveltuu liuotukseen.

4.2 Synteettisten tekokuitujen terminen kierrätys

Termiseen kierrätykseen soveltuvat termoplastiset polymeerit, jotka voidaan sulattaa ja kiinteyttää useita kertoja. Termiseen kierrätykseen sulatuksen avulla soveltuvat, tekstiileissä yleisimmin käytetyt materiaalit ovat polyesteri, polyamidi ja polypropeeni. Toisaalta tekstiilikuituihin käytettävä polyakryyli puolestaan hajoaa lähellä sulamispistettään ja sen työstäminen sulatuksen kautta ei onnistu. Synteettisten kuitujen polymeerejä käytetään myös muiden muovituotteiden valmistukseen. Mikäli tekstiilien ja muovien kierrot linkittyvät toisiinsa kannattaa huomioida termistön erilaisuus; muovien kierrätyksestä sulattamalla tapahtuva kierrätys luokitellaan mekaaniseksi kierrätykseksi.

Termisessä kierrätyksessä kiinteä materiaali rouhitetaan ja sulatyöstetään granulaateiksi, jotka voidaan sulakehrätä tekstiilikuiduksi. Granulaatit voidaan prosessoida myös puristamalla, ekstruusiolla tai valamalla erimuotoisiksi kappaleiksi, kuten pulloiksi ja kalvoksi. Tekstiilien terminen kierrätys voidaan aloittaa giljotiinileikkuulla, joka mahdollistaa kovien osien (napit, vetoketjut) erottelun tekstiileistä. Kangassilppu sulatyöstetään granulaateiksi, jotka soveltuvat ekstruusioprosessiin. Sulakehruussa polymeerigranulaatit sulatetaan ekstruuderin ruuvissa ja sula polymeerimassa annostellaan kehrupumpulla suulakkeen reikien läpi. Muodostuvat säikeet jähmettyvät ilmavirrassa. Kuidut venytetään, jotta kuidulle saadaan halutut ominaisuudet, kuten lujuus ja hienous.

Termisessä kierrätyksessä on siis mahdollista hyödyntää tekstiilikuidun polymeeri muunlaisiin muovituotteisiin, mutta on myös mahdollista työstää muovituote tekstiilikuiduksi. Esimerkiksi suurin osa kaupallisesti saatavilla olevista kierrätetyistä polyesterikuiduista on valmistettu sulakehräämällä kuluttajilta kerätyistä PET-pulloista saatu polymeeri tekstiilikuiduksi. Kovien muovituotteiden, kuten muovipullojen, kierrätys alkaa pesulla ja pestyjen tuotteiden kuivauksella. Kirjallisuudesta löytyy esimerkiksi kuluttajilta kerätyn ja rakeiksi työstetyn polyesterin tietyt minimivaatimukset, jotka materiaalin tulee täyttää, jotta se voidaan uudelleen prosessoida termisesti (taulukko 7). Sulaprosessin aikana vesi ja hapot aiheuttavat kemiallisia reaktioita, jotka laskevat polyesterin molekyylipainoa. Esimerkiksi PVC hajoaa polyesterin sulamislämpötiloissa kloorivedyksi, joka

katalysoi polyesterin hajoamista. Muovimateriaaleille, kuten polyesterille ja polyeteenille, on standardoitu kierrätetyn materiaalin karakterisointi- ja spesifointimenetelmät (SFS-EN15344, SFS-EN15348).

Taulukko 7 Kierrätetyn polyesterigranulaatin yleiset laatuvaatimukset (Awaja & Pavel, 2005)

Ominaisuus	Arvo
Viskositeetti	> 0.7 dl/g
Sulamislämpötila (T_m)	> 240°C
Vesipitoisuus	< 0.02 paino-%
Hiutaleiden koko	0.4 mm < D < 8 mm
Väriaineen määrä	< 10 ppm
Keltaisuusindeksi	< 20
Metallipitoisuus	< 3 ppm
PVC-pitoisuus	< 50 ppm
Polyolefiinien määrä	< 10 ppm

Termiseen kierrätykseen suunnatun materiaalin lajittelu on tehtävä tarkasti niin materiaalin kuin värin mukaan. Hyvin pieni määrä eriväristä kierrätysmateriaalia aiheuttaa värivirheen lopputuotteessa. Samoin toisten polymeerimateriaalien jäämät heikentävät kierrätetyn polymeerin mekaanisia ominaisuuksia. Polymeerimateriaaleissa tapahtuu kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia jo niiden käytön aikana, mutta myös termisessä kierrätyksessä. Polymeerimateriaalin, kuten kaikkien synteettisten tekstiilikuitujen, hapettumista tapahtuu koko sen käytön ajan, ja hapettumisen seurauksena syntyneet uudet funktionaaliset ryhmät saattavat heikentää käytetyn polymeerin soveltuvuutta termiseen kierrätykseen. Polymeerin terminen prosessointi muuttaa polymeerin kiteisyyttä ja laskee polymeerin molekyyliainetta, mikä rajoittaa kierrätys syklien määrää. Kuvaan 8 on koottu termisesti kierrätetyn synteettisen polymeerin laatuun ja laadun arviontiin liittyvät kolme pääkohtaa Vilaplana & Karlssonin (2008) mukaan.



Kuva 8 Kierrätetyn synteettisen polymeerin laatuun vaikuttavia tekijöitä (mukaillen Vilaplana & Karlsson, 2008)

Kuluttajilta kerätty poistotekstiili on lajiteltava tarkasti materiaalin mukaan, jos haluttu loppukäyttö on terminen kierrätys. Eri polymeereillä on erilaiset sulatyoestölämpötilat, joten jokaisen materiaalin on oltava omana jakeenaan. Vaikka kuluttajilta kerätty poistotekstiili saataisiin lajiteltua puhtaisiin materiaali jakeisiin, kuten polyesteri, niiden prosessointi sulakehruulla on haasteellista, koska polyesterijae saattaa olla polymeeritasolla edelleen liian heterogeeninen sulakehruuseen. Esimerkiksi yleisin tekstiilikuiduissa käytetty polyesteri on polyeteenitereftalaatti, mutta polyesterikuituja voidaan tehdä myös esimerkiksi polybuteenitereftalaatista tai polytrimetyleenitereftalaatista, sillä polyesteriksi määritellään polymeerit, joissa on vähintään 85 painoprosenttia diolin ja tereftaalihapon estereitä. Lisäksi synteettisten polymeerien polymerointivaiheessa niihin voidaan lisätä erilaisia apuaineita, joilla

parannetaan esimerkiksi polymeerin sulaviskositeettia, värjäytyvyyttä, kuidun venyvyyttä tai kehrunopeutta.

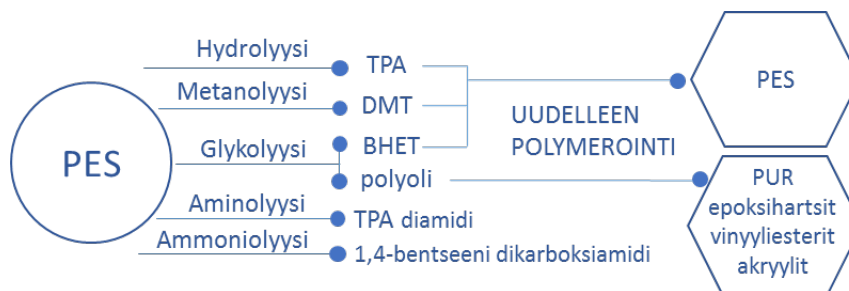
Kierrätettyä polyesterikuitua tuotetaan noin 4,5 miljoonaa tonnia vuosittain ja suurin osa siitä on muovipulloista termisesti kierrätettyä kuitua (Textile Exchange, 2017). Tekstiilikuituun soveltuvan polyesterin molekyyli­massa on 15 000-20 000 g/mol (viskositeetti 0,55-0,67 dl/g). Pullolaatuisen polyesterin (PET-pullot) molekyyli­massa on 24 000-36 000 g/mol (viskositeetti 0,75-1 dl/g, standardilaatu 0,80 dl/g), mikä tarkoittaa sitä, että termisen prosessoinnin aiheuttama molekyyli­painon lasku on hallittavissa. Terminen kierrätysprosessi aiheuttaa myös muutoksia polyesterikuidun kiteisyydessä ja kiteiden koossa sekä molekyyli­ketjujen orientaatiassa.

5. Kierrätys monomeerinä tai muuten kemikaaleina

Kierrätys monomeeritasolla viittaa synteettisten kuitujen polymeeriketjujen pilkkomiseen omiksi lähtöaineikseen, monomeereiksi, tai muiksi kemikaaleiksi kemiallisten reaktioiden avulla. Monomeerit voidaan polymeroida uudelleen joko samaksi polymeeriksi, tai ne voidaan jatkojalostaa jonkin muun kemikaalin tai kemiallisen yhdisteen lähtöaineiksi. Tekstiilikuitujen polymeerirakenne voidaan purkaa myös lämmön avulla, jolloin puhutaan termisestä konversiosta. Termisen konversion prosessit ovat poltto, pyrolyysi ja kaasutus, joiden avulla materiaali pystytään hyödyntämään lämpönä, nesteinä tai kaasuna. Tässä luvussa käsitellään synteettisten tekokuitujen kemiallista kierrätystä (kappale 5.1) ja tekstiilikuitujen termistä konversiota (kappale 5.2).

5.1 Synteettisten tekokuitujen kemiallinen kierrätys

Synteettisille kuiduille on kehitetty erilaisia kemiallisia menetelmiä, joilla polymeeriketju voidaan pilkkoa molekyyleiksi ja polymeroida uudelleen täysin uuden veroiseksi polymeeriksi. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi kaupalliset polyamidin ja polyesterin kierrätyskonseptit uudelleen polymeroimalla. Polymeeriketjusta erotettuja molekyylejä voidaan käyttää myös kemikaalien valmistukseen. Kuvassa 9 on esitetty esimerkkinä, miten polyesteri voidaan erilaisin kemiallisin menetelmin depolymeroida ja miten hajoamistuotteina muodostuvat monomeerit tai muut molekyylit voidaan joko uudelleen polymeroida tai käyttää muiden kemikaalien valmistukseen. Monet kehitetyistä menetelmistä vaativat kuitenkin vielä paljon energiaa ja kemikaaleja, eivätkä ne siksi ole vielä kaupallisia.



Kuva 9 Polyesterin (PES) kemiallisia kierrätysmenetelmiä ja niistä saatavia molekyylejä sekä molekyyliden uudelleenpolymeroinnin jälkeisiä sovelluksia (mukaillen Ragaert ym., 2017)

Prosessi alkaa kierrätetyn materiaalin revinnällä tai leikkuulla, jonka tavoitteena ei ole saada kuituja erilleen kuten mekaanisessa kierrätyksessä. Prosessi sisältää usein erilaisia puhdistusvaiheita, joilla materiaalista pyritään erottamaan mahdollisimman paljon epäpuhtauksia. Puhdistuksen jälkeen massa syötetään reaktoriin, missä polymeeriketju puretaan erilaisten kemiallisten reaktioiden avulla molekyyleiksi. Tämän jälkeen seuraa molekyyliden erottaminen ja puhdistus. Kun lähtöraaka-aine on poistotekstiili, värimolekyylit erotellaan vasta kemiallisen reaktion jälkeen erilleen polymeerin molekyyleistä. Osa molekyyleistä voidaan polymeroida uudelleen tai ne voivat olla toisten kemikaalien lähtöraaka-aineita.

Kemiallisessa kierrätyksessä saatujen lopputuotteiden kemiallinen koostumus on riippuvainen lähtömateriaalin puhtaudesta, mikä asettaa tiukat laatuvaatimukset tekstiilimateriaalien lajittelulle. Polymeerin on oltava mahdollisimman puhdas, jotta prosessin hallinta onnistuu. Kemiallinen kierrätys saattaisi olla vaihtoehto sekoitetekstiilein kierrätykseen, jos löydetään sellaiset olosuhteet, joissa vain yksi komponentti depolymeroituu. Tällöin toinen materiaali säilyisi kuitumuodossa ja se voitaisiin suodattaa monomeereista erilleen. Tällä hetkellä tällaista vaihtoehtoa ei vielä ole kaupallisesti käytössä, mutta puuvilla-polyesteri sekoitteiden erotusta kemiallisesti tutkitaan ja kehitteillä olevia menetelmiä on koottu taulukkoon 8. Kemialliset kierrätysmenetelmät avaavat uusia mahdollisuuksia jätteen hyödyntämiselle tuotteisiin, jotka ovat samanlaisia kuin neitseellisistä polymeereistä valmistetut.

Taulukko 8 Erotusmenetelmiä puuvilla-polyesterisekoitteiden erottamiseen kemiallisesti

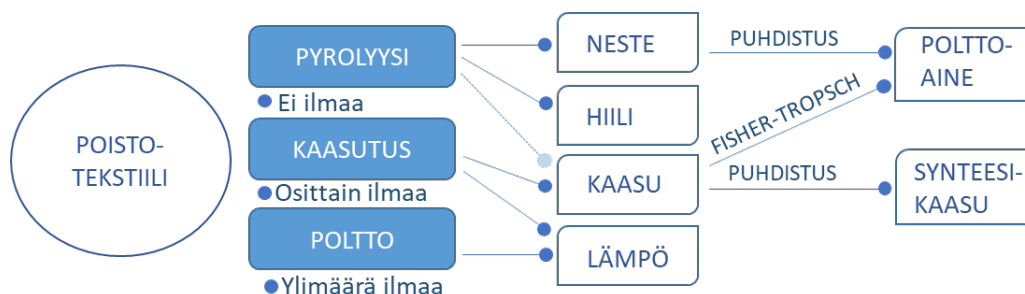
Hyödynnettävä materiaali	Periaate	Lopputuote	Referenssi
Selluloosa	Selluloosan liuotus jääetikkahapon ja etikkahappoanhydridin seoksella	Selluloosa-asettaatti	US Patent 3937671
	Polyesterin liuotus orgaanisella liuottimella, esim. sulfoni-pohjaiset luottimet	Selluloosakuitu	e.g. US Patent 5342854
	Polyesterin emäksinen hydrolyysi	Selluloosakuitu	US Patent 3801273
Molemmat	Polyesterin selektiivinen liuotus natrium hydroksidilla ja puuvillan selektiivinen liuotus NMMO:lla	Tereftaalihappo PES:n uudelleen-polymerointiin ja lyocell kuitu	Negulescu et al. 1998
	Selluloosan hajottaminen happohydrolyysillä	Selluloosajauhe ja mikrofibrilloitu PES	e.g. US Patent 3937675
Polyesteri	Selluloosan hajottaminen entsyymihydrolyysillä (<i>Trichoderma reesei</i> , <i>Cellusoft L</i>)	Mikrofibrillotu PES	

5.2 Poistotekstiilin terminen konversio

Poistotekstiilin termisellä konversiolla tarkoitetaan polymeerirakenteen purkamista lämmön avulla lämpöenergiaksi, lyhytketjuisiksi hiilivedyiksi tai muiksi molekyyliarakenteiksi. Termiseen konversioon soveltuvat monet sellaiset jättejakeet, joita on mahdoton kierrättää mekaanisesti tai kemiallisesti, esimerkiksi erilaiset seosmateriaalit ja likaiset jakeet. Myös homeet ja patogeenit tuhoutuvat korkeissa lämpötiloissa.

Termisen konversion prosessit ovat poltto, pyrolyysi ja kaasutus. Ne ovat hyvin samantyyppisiä prosesseja, mutta erona voidaan pitää niiden erilaisia lopputuotetyyppejä, jotka on esitetty kuvassa 10. Poltossa materiaalin termisestä hajoamisesta hyödynnetään vain siitä saatava lämpöenergia. Polypropeenin, polyeteenin ja polyesterin lämpöarvo on korkea (yli 40 MJ/kg) ja samaa luokkaa kuin polttoöljyn lämpöarvo. Sekajätteen poltossa ei päästä näin korkeisiin lukemiin, koska osa termisestä energiasta kuluu sekajätteen sisältämän kosteuden kuivattamiseen. Toisaalta on todettu, että muovimateriaalit säilyttävät lämpöarvonsa melko tehokkaasti myös sekajätteen joukossa poltettuna (Tsiamis & Castaldi, 2016). Lajittelemattoman tekstiilijätteen lämpöarvo on alle 20 MJ/kg, mikä on samaa luokkaa kuin sekajätteen lämpöarvo (Pyromex, 2018; Horttanainen ym., 2013).

Kaasutuksella saadaan tyypillisesti noin 85 % kaasumaista lopputuotetta, 10 % kiinteää hiiltä ja 5 % nestettä. Pyrolyysillä taas saadaan nestettä eniten, noin 60-75 %, kiinteää hiiltä 15-25 % ja kaasumaisia lopputuotteita 10-20 %. Termiseen konversioon syötettävän raaka-aineen ominaisuudet vaikuttavat saatavan lopputuotteen ominaisuuksiin. Syöte määrää myös mahdolliset esikäsittelyt ennen termistä konversioita. Esimerkiksi poistotekstiili täytyy ainakin leikata ja repiä silpuksi. Leikkuun yhteydessä on hyvä erotella metalliset vetoketjut ja napit, mutta jollei niin tehdä, ne kertyvät tuhkaan.



Kuva 10 Eri prosessit poistotekstiilin energiahyödyntämiseen ja kunkin prosessin lopputuotteet

5.2.1 Pyrolyysi

Pyrolyysissa eli kuivatuslauksessa orgaaninen aine hajoaa korkeassa lämpötilassa (300-1200°C) ja hapettomissa olosuhteissa. Poistotekstiilin polymeerirakenne hajoaa joko depolymeroitumalla tai fragmentoitumalla eri mittaisiksi hiilivetyketjuiksi ja muiksi molekyyliarakenteiksi. Lämmön vaikutuksesta polymeeristä irtoavat ensin haihtuvat molekyylit, jotka kondensoidaan öljyksi, ja pyrolyysin edetessä polymeerin molekyyleistä krakkautuu kaasuyhdisteitä ja kiinteä jäännöshiili. Pyrolyysiprosessista on useita variaatioita ja ne voidaan luokitella esimerkiksi lämmitysnopeuden perusteella hitaaseen ja nopeaan sekä flash-pyrolyysiin.

Pyrolyysi on monimutkainen prosessi, jossa sekä prosessointiolosuhteet että pyrolysoitava materiaali vaikuttavat lopputuotteisiin ja niiden ominaisuuksiin. Eri materiaaleista saadaan eri suhteissa öljyä, jäännöshiiltä ja synteetikaasua. Pyrolyysissa muodostuva öljy ja synteetikaasu voidaan käyttää polttoaineena. Tyypillisesti prosessin lämpötilaa säätämällä pystytään vaikuttamaan öljyn ja synteetikaasun koostumukseen ja saantoon. Pyrolyysissa muodostuu myös kiinteä jäännöshiili, josta osa on tuhkaa. Riippuen pyrolysoidun materiaalin puhtaudesta kiinteä jäännöshiili voidaan käyttää polttoaineena tai jatkojalostaa esimerkiksi aktiivihieksi. Usein hiili kaasutetaan tai poltetaan ja sulatetaan, koska kiinteä polttoaine ei ole niin käytännöllinen kuin öljy ja kaasu. Toisaalta öljyllä ja synteetikaasulla on korkeampi lämpöarvo kuin hiilellä ja siten ne ovat usein pyrolyysin päätuotteet. Hiilestä on erotettava epäpuhtaudet kuten metallit ennen käyttöä polttoaineena, mikä lisää prosessivaiheita ja lisää kustannuksia.

Pyrolyysiin soveltuvat monet sellaiset poistotekstiilijakeet, joita on mahdoton kierrättää mekaanisesti tai kemiallisesti, kuten erilaiset seosmateriaalit ja likaiset jakeet. Pyrolyysi prosessina ei vaadi poistotekstiilin lajittelua. Poistotekstiili voidaan pyrolysoida jopa lajittelemattoman yhdyskuntajätteen joukossa. Tällöin usein pyrolyysiin yhdistetään kaasutus ja lopputuote on lämpöenergiaksi soveltuva kaasu. Jätejakeiden lajittelulla vaikutetaan pyrolyysiprosessin lopputuotteisiin. Luonnonkuidut ja synteettiset tekokuidut voidaan pyrolysoida yhdessä, jolloin erilaisten seosmateriaalien lajittelu ja tunnistus eivät ole tarpeen. Prosessin ja lopputuotteiden ominaisuuksien hallittavuus on sitä parempi, mitä tarkemmin jätejakeen koostumus tunnetaan ja mitä tarkemmin jätejake on lajiteltu.

Tällä hetkellä parhaiten tunnetaan polyolefiinien pyrolyysi. Polyeteeniä ja polypropeenia on tekstiilituotteissa lähinnä urheiluvaatteissa (sukat, alusvaatteet, vanut), sisustustekstiileissä (matot) ja teknisissä tekstiileissä (autoteollisuus, geotekstiilit). Varsinkin sisustustekstiilit saattavat olla palosuojattuja. Poistotekstiiliä runsaampi polyolefiinien lähde ovat jätemuovit. Pyrolyysin lopputuotteena saadaan lyhyitä hiilivetyjä, aromaattisia yhdisteitä ja alkeeneja. Näitä voidaan käyttää kierrätyspolttoaineena jatkokäsittelyn jälkeen. Teoreettisesti on mahdollista jatkojalostaa polyolefiineista saatu kierrätysöljy polymeerin lähtöaineiksi.

5.2.2 Kaasutus

Kaasutuksessa kiinteä orgaaninen aine muunnetaan termisellä prosessilla kaasumaiseksi välituotteeksi, joka voidaan jatkojalostaa uusiutuviksi kemikaaleiksi, biopolttonesteiksi sekä sähköksi ja lämmöksi. Hiilipitoiset aineet hajoavat korkeissa lämpötiloissa (800-1200°C) kontrolloidulla osittaisella hapetuksella hiilimonoksidiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Kaasutuksessa syntyneitä kaasuseosta kutustaan synteetikaasuksi ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan polttoaineena. Kaasutuksen etu on, että synteetikaasu voidaan polttaa korkeammassa lämpötiloissa, jolloin energiahyöty on suurempi kuin alkuperäisen materiaalin poltossa syntyvä energiahyöty. Synteetikaasu voidaan polttaa sellaisenaan kaasumootorissa tai se voidaan muuntaa *Fischer-Tropsch* -prosessin kautta nestemäiseksi polttoaineeksi.

Kaasutuksen kaksi pääreaktorityyppiä ovat leiju- ja arinapoltto. Ennen syöttöä kaasutukseen materiaali täytyy esiprosessoida. Materiaalin tulee olla kuivaa ja ennen kuivausta materiaali voidaan rouhia tai jauhaa esimerkiksi veitsimyllyllä sopivan kokoisiksi partikkeleiksi. Prosessissa muodostunut kaasu puhdistetaan, minkä jälkeen kaasu on valmista energiahyödyntämiseen esimerkiksi kaasuturbiineissa. Synteetikaasun koostumukseen vaikuttavat sekä prosessiolosuhteet että lähtöaineen koostumus.

Synteesikaasu voidaan jatkojalostaa polttoaineen lisäksi myös muiksi prosessikaasuiksi, esimerkiksi vetykaasuksi. Kaasutuksen primääri lopputuote on kaasu, mutta prosessilla on mahdollista valmistaa myös hiiltä ja nestemäistä öljyä.

Kaasutukseen soveltuvat monet sellaiset jätetekstiilijakeet, joita on mahdoton kierrättää mekaanisesti tai kemiallisesti, kuten erilaiset seosmateriaalit ja likaiset jakeet. Samoin kuin pyrolyysissa, kaasutus prosessina ei vaadi poistotekstiilin lajittelua. Poistotekstiili voidaan kaasuttaa lajittelemattoman orgaanisen yhdyskuntajätteen joukossa. Lajittelemattomasta jätejakeesta saatavan kaasun loppukäyttökohde on useimmiten energiahyödyntäminen. Lajittelemalla jätejake materiaalityypin mukaan voidaan prosessia hallita paremmin ja lopputuotteet ovat helpommin jatkojalostettavissa esimerkiksi kemian synteesiin soveltuvaksi kaasuksi.

6. Poistotekstiilien haitalliset kemikaalit

Tekstiilien valmistuksen eri vaiheissa käytetään lukuisia erilaisia kemikaaleja, joita ovat esimerkiksi antimikrobiset aineet, värit, veden ja lian hylkimisaineet, erilaiset pinnoitteet ja palonestoaineet. Myös tekstiilien kontaminoituminen erilaisilla kemikaaleilla niiden käytön, keräyksen ja kuljetuksen aikana on mahdollista. Osa kemikaaleista poistuu valmistusprosessin aikana kokonaan, osasta voi jäädä jäämiä tuotteeseen ja osan tulee jäädä tuotteeseen, kuten palonestoaineiden, mikrobisidien sekä veden ja lian hylkimisaineiden. Käytön ja pesun aikana osa kemikaaleista säilyy tekstiilissä ja osa poistuu joko kokonaan tai osittain. Ihmiset voivat altistua tekstiilituotteissa esiintyville haitallisille aineille ihon, huonepölyn nielemisen ja hengittämisen sekä ravinnon kautta. Mikäli prosessoitava materiaali sisältää ihoa ja/tai silmiä ärsyttäviä tai herkistäviä aineita, altistuminen niille voi tapahtua myös suojaamattoman ihon ja/tai silmien kautta.

Vuonna 2014 Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa (Swedish Chemicals Agency, 2014) todettiin, että tekstiilien valmistuksessa käytetään noin 2400 kemiallista ainetta, joista noin 10 % on ympäristölle ja/tai terveydelle haitallisia. Ihmisille ja ympäristölle vaarallisia, tekstiileissäkin esiintyviä kemiallisia aineita on rajoitettu erilaisilla kansainvälisillä ja kansallisilla säädöksillä. Kielloista ja rajoituksista huolimatta tekstiilituotteet voivat sisältää kiellettyjä ja rajoitettuja aineita yli sallittujen raja-arvojen. Esimerkiksi Suomen tullin pistokokeissa on toistuvasti havaittu EU:ssa kiellettyjä ja rajoitettuja kemikaaleja. Viime vuosina Suomessa tutkituista tekstiili- ja nahkatuotteista noin 5 % on ollut määräystenvastaisia (Viljakainen, 2016; Tulli, 2017). Käyttökielloista ja nykyisistä rajoituksista huolimatta kiellettyjä yhdisteitä voi esiintyä edelleen monissa ennen käyttökieltoa valmistetuissa tekstiilituotteissa.

Poistotekstiilien sisältämät pienet määrät kiellettyjä tai rajoitettuja aineita voivat olla ongelma kierrätyksen näkökulmasta. Ne voivat aiheuttaa työsuojelullista vaaraa työntekijöille poistotekstiilejä käsittelevissä laitoksissa ja yrityksissä, vahingoittaa ympäristöä vapautuessaan tekstiilinkierrätysprosessin aikana ja rajoittaa materiaalin kierrätystä ollessaan ympäristölle tai ihmiselle haitallisia. Poistotekstiilissä olevat kielletyt ja/tai haitalliset aineet voivat myös rajoittaa poistotekstiilistä valmistettujen tuotteiden käyttöä, mikäli ne eivät poistu tai muutu haitattomaan muotoon valmistusprosessin aikana. Useiden tällaisten aineiden pitoisuuksia on rajoitettu esimerkiksi suoraan ihokontaktiin tarkoitetuissa tuotteissa. Lisäksi poistotekstiilit voivat sisältää aineita, jotka voivat teknisesti hankaloittaa tekstiilin kierrätysprosesseja. Vaikka uusissa tekstiilituotteissa esiintyvien tiettyjen aineiden käyttöä on rajoitettu ja osalle on annettu tiukkoja raja-arvoja, kierrätykseen päätyvässä jakeessa tällaisia aineita saattaa edelleen olla. Kiellettyjä aineita sisältävät poistotekstiilit pitäisi pystyä tunnistamaan, jotta ne voitaisiin poistaa materiaalikierroista hävittämällä ne asianmukaisesti. Tekstiilituotteissa ja poistotekstiilissä esiintyvien kiellettyjen ja rajoitettujen aineiden tarkka kemiallinen analysointi ja pitoisuuksien määrittäminen edellyttävät yleensä näytteen esikäsittelyä, analysoitavien komponenttien erottamista ja kehittyneitä mittausmenetelmiä. Näitä on lyhyesti käsitelty Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä -raportissa (Kamppuri ym., 2019).

6.1 Haitallisia kemikaaleja koskevat rajoitukset

Kiertotaloudessa haitalliset kemikaalit on tunnistettu materiaalien kierrätyksen keskeiseksi haasteeksi. Niitä ovat esimerkiksi pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP, Persistent Organic Pollutant), joiden tiedetään kertyvän ympäristöön ja olevan haitallisia ihmiselle. Sen vuoksi niiden käyttöä ja päästöjä on rajoitettu kansainvälisellä Tukholman yleissopimuksella (Tukholman yleissopimus 34/2004). Sen velvoitteet on sisällytetty kaikkia EU:n jäsenmaita sitovaan POP-asetukseen (Asetus (EY) N:o 850/2004). Asetus kieltää ja/tai rajoittaa POP-yhdisteiden tuotantoa, markkinoille saattamista ja käyttöä ja estää siten POP-yhdisteiden pääsyä ympäristöön. Asetus antaa määräyksiä myös POP-yhdisteistä koostuvan, niitä sisältävän tai niiden saastuttaman jätteen käsittelystä.

Keskeiset tekstiileissä esiintyvät POP-yhdisteet ovat bromatut palonestoaineet (HBCD, PBDE, OBDE), lyhytketjuiset klooratut parafiinit (SCCP) sekä öljyä ja rasvaa hylkivissä pinnoitteissa käytettävä PFOS ja sen johdannaiset (Dahlbo ym., 2015). Palonestoaineista myös deka-BDE:n käyttöä tullaan EU:ssa rajoittamaan maaliskuusta 2019 alkaen (Asetus (EY) N:o 1907/2006). Jos kiellettyä ainetta esiintyy tai

rajoitetun yhdisteen määrä ylittää sille asetetun raja-arvon, asetuksen mukaan se pitää poistaa poistotekstiilivirrasta.

Tekstiilituotteissa voi esiintyä myös seuraavia kiellettyjä ja rajoitettuja PBDE-yhdisteitä: tetrabromidifenyylieetteri (TeBDE), pentabromidifenyylieetteri (PeBDE), heksabromidifenyylieetteri (HBDE) ja heptabromidifenyylieetteri (hepta-BDE). Niiden tunnistaminen ja pitoisuuden määrittäminen edellyttävät näytteenottoa ja näytteen kemiallista analysointia laboratorioissa. Kiellettyjä bromattuja yhdisteitä ei voi tunnistaa poistotekstiilivirrasta mittaamalla bromin kokonaispitoisuutta esimerkiksi röntgenfluorisenssimenetelmällä (XRF), sillä käytössä on edelleen muita bromattuja palonestoaineita. Jos kiellettyjen PBDE-yhdisteiden havaitseminen ja poistaminen perustuu bromin esiintymiseen poistotekstiilivirrassa, poistetaan poistotekstiilivirrasta samalla myös edelleen sallittuja bromiyhdisteitä sisältävät tekstiilit. Bromin havaitsemiseen perustuva nopea analytiikka voi kuitenkin osoittautua käytännössä ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi kiellettyjen PBDE-yhdisteiden detektointiin.

Kielletyille PBDE-yhdisteille on POP-asetuksen nojalla annettu vapautus silloin, kun näitä yhdisteitä esiintyy vierasainejääminä ja niiden pitoisuus on korkeintaan 0,001 % (10 mg/kg). Osittain tai kokonaan kierrätysmateriaaleista valmistetuissa tavaroissa ja valmisteissa kiellettyjen PBDE-yhdisteitä pitoisuus pitää olla alle 0,1 % (1000 mg/kg). PFOS:in ja sen johdannaisten käyttökieltoa ei sovelleta, jos ne esiintyvät vierasainejääminä puolivalmisteissa ja/tai tavaroissa ja niiden pitoisuus on pienempi kuin 0,1 %. Tekstiilin pinnoitteessa PFOS:n pitoisuuden on oltava pienempi kuin 1 µg/m². Sellaisten tavaroiden tuotanto, markkinoille saattaminen ja käyttö on kielletty, jotka sisältävät lyhytketjuisia kloorattuja parafiineja (SCCP) 0,15 % tai enemmän. Tämän raportin liitteeseen 1 on koottu ne POP-asetuksen liitteessä I mainitut aineet rajoituksineen, joita voi esiintyä poistotekstiilissä.

EU:n kemikaaleja käsittelevä REACH-asetus (Asetus (EY) N:o 1907/2006) rajoittaa monien myös tekstiileissä esiintyvien kemikaalien käyttöä. Aineet, joiden käytölle tarvitaan viranomaisten lupa, on koottu REACH-asetuksen liitteeseen XIV, ja kemikaalit, joiden käyttöä on rajoitettu, on koottu voimassa olevine rajoituksineen liitteeseen XVII. REACH-asetuksen nojalla luvanvaraisia ja rajoitettuja kemikaaleja, joita voi esiintyä tekstiileissä ja siten myös poistotekstiilissä, on koottu tämän raportin liitteeseen 2. Taulukossa on esitetty aineen nimen, tunnistetietojen ja raportin laatimishetkellä voimassa olevien rajoitusten lisäksi myös tietoja liittyen aineen käyttöön ja käytettävyyteen uusissa tekstiilituotteissa.

Monia REACH-asetuksen nojalla rajoitettuja aineita käytetään väriaineissa. Atsovärit ovat yksi suuri tekstiilien värjäyksessä käytettävä aineryhmä. Rajoitus koskee atsovärejä, joista voi vapautua yhtä tai useampaa rajoitettua aromaattista amiinia. Rajoitettuja atsovärejä ei saa käyttää tuotteissa, jotka saattavat joutua pitkäaikaiseen ja suoraan kosketukseen ihon kanssa, kuten vaatteissa, vuodevaatteissa, vaipoissa, jalkineissa, käsineissä ja leluissa, joissa on tekstiili- ja nahkaosia. Myös useiden lyijy-yhdisteitä sisältävien väriaineiden käyttö on REACH-asetuksen nojalla kielletty. Kuudenarvoista kromia sisältävien yhdisteiden pitoisuudelle on asetettu rajoitus ihokontaktiin tulevaisissa nahkatuotteissa. Myös monille muovien pehmittiminä käytettäville ftalaateille on asetettu rajoituksia tai niiden käyttö on kokonaan kielletty. Di(2-etyyliheksyyli)ftalaatin (DEHP) ja kolmen muun lisääntymiselle vaaralliseksi luokitellun ftalaatin käyttö leluissa ja lastenhoitotuotteissa on ollut EU:ssa kielletty vuodesta 2007 lähtien.

Kiellettyjä aineita ovat myös tris(2,3 dibromipropyli)fosfaatti, joka on Suomessa luokiteltu syöpäsairauden vaaraa aiheuttavaksi, sekä asbestikuidut, tris(atsiridinyyli)fosfiinioksidi, polybromatut bifenyylit, elohopeayhdisteet ja dibutyylitinayhdisteet. Viimeksi mainittuja on ennen vuotta 2015 käytetty stabilointiaineina PVC:llä pinnoitetuissa, ulkokäyttöön tarkoitetuissa kankaissa. Puhdistuksessa ja värjäyksessä käytettäviä nonyylifenoleita ja niiden etoksylaatteja ei saa käyttää tekstiilien ja nahan prosessoinnissa, jos niiden pitoisuus on 0,1 % tai yli. Rajoitus ei koske prosesseja, joista ei aiheudu päästöjä jäteveeten. Vuoden 2021 jälkeen nonyylifenolietoksylaatteja ei saa käyttää vesipestämissä tekstiilituotteissa, jos niiden pitoisuus ylittää 0,01 %:n. Rajoitus ei koske käytettyjä eikä yksinomaan kierrätystekstiileistä valmistettuja uusia tekstiilituotteita, jotka on valmistettu käyttämättä nonyylifenolietoksylaatteja (ECHA46a). Myös perfluorioktaanihapon (PFOA) käyttöön on tulossa rajoituksia. Rajoitus koskee myös PFOA:n suoloja sekä muita samankaltaisia aineita, kuten suolat ja polymeerit, joiden yhtenä rakenneosana on muotoa C₇F₁₅ ja C₈F₁₇ oleva suoraketjuinen tai haarautunut

perfluoriheptyyliryhmä. Heinäkuusta 2020 alkaen PFOA:n ja sen suolojen pitoisuus tuotteissa ei saa ylittää 25 µg/kg. Samaan aikaan rajoitetaan myös PFOA:n kaltaisten aineiden pitoisuuksia tuotteissa (ECHA68). Tekstiilituotteissa voi esiintyä myös esimerkiksi merikuljetusten aikana homeenestoaineena käytettävää dimetyylifumaraattia (DMF). Sen määrä kuluttajatuotteissa on rajoitettu EU:ssa eikä sen määrä tuotteissa ei saa ylittää 0,1 mg/kg (ECHA61). DMF:n tiedetään aiheuttavan iho-ongelmia ja syöpää.

Euroopan kemikaalivirasto ECHA valmistelee parhaillaan jätedirektiivin päivityksen pohjalta uutta kemikaalirekisteriä, johon kerätään tietoa Euroopan markkinoilla olevien esineiden sisältämistä, erityistä huolta aiheuttavista aineista (substances of very high concern, SVHC).¹³ On katsottu, että kiertotalouden yleistyessä jätehuolto ja kierrättäjät tarvitsevat enemmän tietoa esineiden sisältämistä haitallisista kemikaaleista. Rekisterin avulla halutaan siten tukea kiertotaloutta ja varmistaa materiaalien turvallinen kierto. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esineen tuottajan, jakelijan ja maahantuojaan on ilmoitettava rekisteriin, mikäli esine sisältää huolta aiheuttavaa ainetta yli 0,1 %. REACH-asetuksen tulkinnan mukaan esimerkiksi ulkoilutakin katsotaan sisältävän useita eri esineitä varsinaisten tekstiilimateriaalien lisäksi, kuten napit, nyörit, vetoketjut ja soljet. Rekisterin aikataulu on määritelty jätedirektiivissä. Sen mukaan tietokannan pitäisi olla valmis vuoden 2020 alussa, ja siihen tulisi toimittaa tietoja vuoden 2021 alusta alkaen. Jätedirektiivin myötä tekstiileille on tulossa myös erilliskeräysvelvoite vuodesta 2025 lähtien (Nissi-Rantakömi & Mäki, 2018).

REACH-säädöstöä kehitetään koko ajan. Kemikaalien vaikutuksiin liittyvän tiedon lisääntyessä asetusta päivitetään siten, että se turvaa kuluttajien turvallisuuden. Tämän vuoksi kemikaaleja koskevan regulaation kehittymistä on tärkeää seurata. Tuore Asetus (EU) 2018/1513, joka muuttaa REACH-asetuksen liitettä XVII, toi rajoituksia karsinogeenisiksi, mutageenisiksi tai lisääntymisvaarallisiksi (CMR-aineet, carcinogenic, mutagenic, reprotoxic) arvioiduille kemikaaleille, joita esiintyy myös vaatteissa, asusteissa ja jalkineissa sekä muissa ihokosketukseen joutuviin tekstiileissä. Rajoitus koskee mm. formaldehydiä, jolle on Suomessa voimassa kansallinen rajoitus (Valtioneuvoston asetus 233/2012), sekä useita ftalaatteja. CMR-aineita voi esiintyä tuotteissa tuotantoprosessin epäpuhtauksina tai niitä on tarkoituksellisesti lisätty tiettyjen ominaisuuksien aikaansaamiseksi. Viranomaiset katsoivat, että kuluttajat voivat altistua CMR-aineille ihokosketuksen tai hengitysteiden kautta niin kuluttajina kuin julkisten palvelujen (vuodevaatteet sairaaloissa, huonekaluverhoilut julkisissa tiloissa, kuten kirjastoissa) piirissä. Sen vuoksi asetus kieltää vaatteiden, asusteiden ja jalkineiden sekä muiden tekstiilituotteiden markkinoille saattamisen 1.11.2020 jälkeen, mikäli rajoitettujen CMR-aineiden pitoisuudet ylittävät raja-arvot. Formaldehydille on annettu siirtymäaika 1.11.2020-1.11.2023, jonka aikana sen määrä jakuissa, takeissa ja verhoiluissa ei saa ylittää 300 mg/kg. Siirtymäajan jälkeen raja-arvo on 75 mg/kg. Rajoituksia ei sovelleta nahkaan, turkiksiin ja niistä valmistettuihin vaatteiden, asusteiden ja jalkineiden osiin eikä muuta materiaalia kuin tekstiiliä oleviin kiinnikkeisiin ja koriste-elementteihin. Muita tuoteryhmiä, jotka on rajattu asetuksen ulkopuolelle, ovat kokolattiamatot, sisäkäyttöön tarkoitetut tekstiiliä olevat lattiapäällysteet ja matot, henkilökohtaiset suojaimet ja lääkinnälliset laitteet. Rajoitukset eivät koske käytettyjä vaatteita ja niihin liittyviä asusteita, jalkineita, muita tekstiilejä tai kertakäyttöisiä tekstiilituotteita, jotka joutuvat kosketukseen ihon kanssa. Kertakäyttöisillä tekstiileillä tarkoitetaan tekstiilituotteita, jotka on suunniteltu käytettäväksi vain kerran tai rajoitetun ajan ja joita ei ole tarkoitettu käytettäväksi samantapaiseen tarkoitukseen myöhemmin.

Koska erilaisten tuotteiden palonsuojaus on tärkeää, kielletyille aineille on myös kehitetty korvaavia tuotteita, joita ovat muun muassa bromatut bentsoe- ja ftalihappoesterit, sykloheksaanit ja bromatut bentseenit. Uudet bromatut palonestoaineet eivät kerry ravintoketjussa samalla tavoin kuin PBDE-yhdisteet, mutta nämäkään aineet eivät ole täysin turvallisia: myös niiden on todettu eläinkokeissa aiheuttavan haittoja. Tällä hetkellä näiden yhdisteiden toksikologisista ja epidemiologisista ominaisuuksista on vain vähän tietoa eikä kvantitatiivista riskinarviointia ole siten vielä voitu tehdä. Oletus onkin, että ainakin osaa uusista bromatuista palonestoaineista tullaan rajoittamaan tulevaisuudessa epäiltyjen haittojen takia (THL, 2018).

Tekstiilituotteissa ja poistotekstiilissä esiintyvien kiellettyjen ja rajoitettujen aineiden tarkka kemiallinen analysointi ja pitoisuuksien määrittäminen edellyttävät usein näytteen esikäsittelyä,

¹³ ECHA 2018. <https://echa.europa.eu/fi/candidate-list-table>

analysoitavien komponenttien erottamista ja kehittyneitä mittaamenetelmiä. Useilla kansainvälisillä laboratoriotaloilla, kuten BLC Chemical Testingillä¹⁴, Eurofinsillä¹⁵, Intertecillä¹⁶, SGS:llä¹⁷, on hyvät valmiudet määrittää kiellettyjen ja rajoitettujen aineiden pitoisuuksia myös tekstiilituotteista. Suomessa ainakin Eurofins¹⁸ tarjoaa tekstiilien testauspalvelua (Huovila, 2018).

6.2 Haitallisten kemikaalien määrä tekstiileissä

Poistotekstiilissä esiintyvien haitallisten kemikaalien pitoisuuksista löytyy vain vähän tietoa kirjallisuudesta. Sen vuoksi on mahdotonta saada kokonaiskäsitystä siitä, kuinka yleisiä haitalliset aineet tekstiileissä ovat ja millaisen ongelman niiden esiintyminen muodostaa poistotekstiilin käytölle. Lähtökohtaisesti kuluttajatuotteiksi valmistetut tekstiilit ovat turvallisia käyttää alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan. Suomen tullin pistokokeiden perustella tiedetään kuitenkin, että myös määräysten vastaisia tekstiilieriiä on toistuvasti markkinoilla. Lisäksi eri käyttötarkoituksiin tarkoitetuille tekstiilituotteille on erilaisia rajoituksia, joten kaikki kuluttajien käytöstä poistuvat tekstiilituotteet eivät sovellu kaikkiin käyttötarkoituksiin, kuten pitkäaikaiseen ja suoraan ihokontaktiin.

Tiettyjä nykyisin rajoitettuja ja/tai kiellettyjä aineita voi olla monissa eri käyttötarkoituksiin tarkoitettussa tekstiileissä. Tällaisia aineita ovat kiellettyjä aromaattisia amiineja sisältävät atsoväriaineet, tekstiilien puhdistuksessa ja värjäyksessä käytettävät nonyylifenoli ja sen etoksylaattit sekä formaldehydi, jota käytetään muun muassa vaatteissa ja kodin tekstiileissä käytettävien puuvilla- ja viskoosikuitujen jälkikäsittelyssä. Osa tekstiilien valmistuksessa käytettävistä haitallisista kemikaaleista on vesiliukoisia, joten niiden määrä tekstiilissä pienenee käytön aikana vesipesujen myötä. Vesiliukoisia haitallisia aineita ovat mm. formaldehydi, monet tekstiilituotteeseen pintakäsittelynä lisättävät palonestoaineet sekä alkyylifenolit ja niiden etoksylaattit. Formaldehydiä sisältävät tekstiilituotteet neuvotaan pesemään ennen käyttöä, jolloin formaldehydin määrä tuotteessa laskee sallitulle tasolle. Myös monet kuluttajille myytävät ja pintakäsittelynä lisättävät palonestoaineet, jotka suojaavat verhoja, huonekaluja ja mattoja syttymiseltä, poistuvat vesipesussa. Palosuojauksen säilymiseksi käsittely tulee uusien vesipesun jälkeen.

Alkyylifenoleita ja niiden etoksylaatteja käytetään yleisesti tekstiiliteollisuudessa puhdistus- ja värjäämisympäristöissä. Ne ovat myrkyllisiä vesiliöille, biokertyviä ja häiritsevät hormonitoimintaa. Nonyylifenolietoksylaattia on löydetty lähes kaikenlaisista tekstiilituotteista: farkuista, paidoista, alusvaatteista ja pyyhkeistä. Uusissa tekstiileissä pitoisuudet vaihtelevat < 1-10 600 mg/kg. Dahlbo ym. (2015) arvioivat, että nonyylifenolietoksylaatin pitoisuus vaihtelee poistotekstiilissä 0-2 300 mg/kg lähtöpitoisuudesta ja poispesteytymisen tehokkuudesta riippuen.

Sen sijaan osa nykyisin rajoitetuista aineista on lisätty tekstiiliin tietyn toiminnallisuuden, kuten veden, rasvan tai lian hyljinnän, aikaansaamiseksi. Tekstiilituoteryhmiä, joiden valmistuksessa on mahdollisesti käytetty nykyisin kiellettyjä ja/tai rajoitettuja aineista, pyrittiin tunnistamaan kirjallisuuden perusteella (taulukko 9). Osa näistä, kuten kalvomaiset ftalaatteja sisältävät tuotteet, taustapinoitettujen verhoilukankaat ja nahkaosat, eivät ole mekaanisesti prosessoitavia, joten ne yleensä poistetaan.

¹⁴ <https://www.blcchemicaltesting.com/chemical-testing-of-materials-products/textile-product-testing/>

¹⁵ <https://www.eurofins.com/>

¹⁶ <http://www.intertek.com/consumer/chemical-testing/textile-apparel/>

¹⁷ <https://www.sgs.com/en/testing>

¹⁸ <https://www.eurofins.fi/>

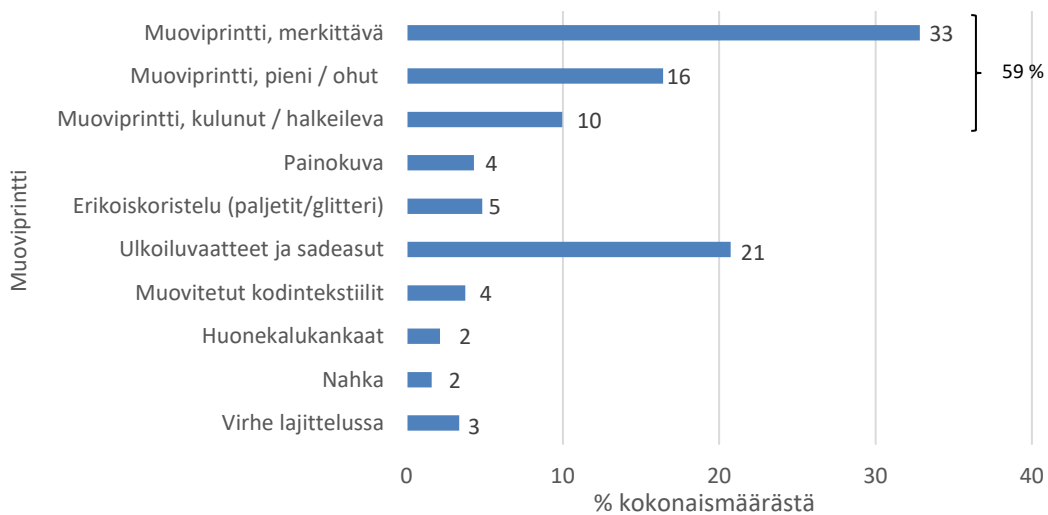
Taulukko 9 Kirjallisuudessa tunnistettuja tekstiilituoteryhmiä, joiden valmistuksessa on voitu käyttää haitallisia kemikaaleja

Tekstiilituote	Mahdollinen haitta-aineryhmä	Arvio pitoisuudesta tuotteessa	Lähde
Pehmeät muoviprintit, suihkuverhot, vahakankaat	Ftalaatit (1)	DEHP: 12 mg/kg–30 % BBP: 300–5700 mg/kg	Dahlbo ym., 2015
Ulkoiluvaatteet, säänkestävät takit, reput	Fluorattuja yhdisteitä, PFOS		Schmidt ym., 2016; Dahlbo ym., 2015
Ulkotekstiilit, teltat	Perfluorattuja yhdisteitä (PFOS, PFOA), raskasmetallit		Schmidt ym., 2016
Taustapinnoitetut verhoilukankaat	Ftalaatit, SCCP, fluoratut yhdisteet, palonestoaineet	HBCD: taustapinnoitteessa 25 %, koko käsitellyssä tekstiilissä 8 %	Schmidt ym., 2016, Dahlbo ym., 2015
Sisustustekstiilit, verhot, matot	Palonestoaineet, PFOS, SCCP	PFOS: matoissa 75 mg/kg	Schmidt ym., 2016, Dahlbo ym., 2015
Työ- ja suojavaatteet	Fluorattuja yhdisteitä, palonestoaineet		Schmidt ym., 2016
Värjätty nahka	Kromi VI (5), PFOS	PFOS: nahkaverhoilussa 2,4 mg/kg	Schmidt ym., 2016, Dahlbo ym., 2015

Kemikaaliriskiä mahdollisesti aiheuttavien tekstiilituotteiden määrää ja laatua poistotekstiilivirrassa tutkittiin keväällä 2018 toteutetun lajittelupilotin aikana. Lajittelupilotissa lajiteltiin 1775 kg kierrätykseen tullutta materiaalia yhteensä seitsemään jakeeseen, jotka olivat *Myytävä*, *Kemikaaliriski*, *OK ilmainen*, *Muu materiaali*, *Pilalla*, *Muovipussit*, *Ei tekstiili*. *Ei tekstiili* -jakeeseen oli ohjeistettu lajittelemaan mm. kengät, laukut, vyöt, matot, tyynyt, patjat, peitot, kukkapurkit, kirjat, joulukoristeet, työkalut, kumipatjat, ämpärit ja pehmolelut. Koko materiaalmäärästä tekstiilituotteiden osuuden arvioitiin olevan noin 1410 kg, mihin päädyttiin vähentämällä koko määrästä *Ei tekstiili* -jakeen osuus. Koska myös matot, peitot ja tyynyt sisältävät tekstiilikuituja, arvio on epätarkka. *Kemikaaliriski*-jakeen osuus lajittelupilotin poistotekstiilistä oli noin 5-6 %.

Kemikaaliriski-jakeeseen ohjeistettiin lajittelemaan seuraavat tuotteet: pehmeämuoviset printit, suihkuverhot, vahakankaat, työvaatteet, julkisten tilojen verhot, joissa on palosuojaepäily, värjätty nahkatuotteet, teltat, ulkoilukankaat ja verhoilukankaat. *Kemikaaliriski*-jake sisälsi lähinnä sellaisia tekstiilejä, jotka ilman tätä luokkaa olisivat päätyneet joko *Myytävä*- tai *Muu materiaali*-jakeisiin. (Välimäki 2018).

Kevään 2018 lajittelupilotin *Kemikaaliriski*-jakeen sisältö on esitetty kuvassa 11. Esitetyt prosenttiluvut ovat suuntaa-antavia ja koskevat vain tässä tutkimuksessa tarkasteltua tuote-erää. Tämän tutkimuksen suurimman ryhmän muodostivat pehmeämuovisen printin omaavat vaatteet, joiden osuus koko jakeen sisällöstä oli lähes 60 %. Kuvaan 12 on kerätty erilaisia muoviprinttejä sisältäviä vaatteita. Osassa vaatteista muoviprintti oli käytön aikana kulunut lähes kokonaan, jolloin vain sen painoväri oli jäljellä, ja osassa muoviprintit olivat halkeilleet suomumaisiksi (kuvassa 13 vasemmalla). Osa tähän jakeeseen lajitelluista tuotteista sisälsi painokuvan. Näyttääkin siltä, että lajittelussa tehtävää rajanvetoa pehmeämuovisten printtien ja muilla tavoin painettujen tuotteiden välillä on vaikea tehdä/ohjeistaa. Erikoiskoristeltujen, applikoitujen, paljetteja ja koristehileitä sisältävien vaatteiden (esimerkkejä kuvassa 13 oikealla) määrä oli lähes 5 % koko jakeen painosta.



Kuva 11 Kemikaaliriski-jakeen sisältö



Kuva 12 Pieniä tai ohuita muoviprinttejä sisältäviä vaatteita sekä T-paita, jossa muoviprintti peittää lähes koko vaatteen etukappaleen



Kuva 13 Kuluneita muoviprinttejä, applikoointeja, paljetteja ja koristeheleitä sisältäviä vaatteita

Muoviprinttien jälkeen seuraavaksi suurin ryhmä oli ulkoiluvaatteet ja sadeasut, joiden osuus oli yli 20 % koko Kemikaaliriski-jakeen määrästä. Osa niistä oli käsitelty voimakkaasti säänkestäviksi. Muovitetujen kodintekstiilien (suihkuverhot sekä likaa ja kosteutta hylkiväksi käsitellyt liinat) osuus oli noin 4 % koko jakeen määrästä. Sekä huonekalukankaiden (kaikki taustapainoittamattomia) että värjätyн nahan osuus oli noin 2 %.

Lajittelupilotin aikana lajitellusta poistotekstiilierästä muoviprinttejä sisältävien tuotteiden osuus oli noin 3 %:a ja säänkestävien ulkoiluvaatteiden osuus noin 1 %. Sadeasujen ja muovitetujen kodintekstiilien osuus poistotekstiilistä oli yhteensä vain 0,3 %. Dahlbo ym. (2015) kokosivat kirjallisuudessa esitettyjä arviota tekstiilituotteissa esiintyvistä ftalaattipitoisuuksista. DEHP:n pitoisuus vaihteli välillä 12-300 000 mg/kg erilaisissa tekstiilituotteissa, kuten t-paitojen printeissä, repuissa ja säänkestävissä takeissa, vahakankaissa, suihkuverhoissa. BBP:n pitoisuus välillä 300-5700 mg/kg

t-paitojen printeissä. Ääritapausanalyysin (worst-case) perusteella lajittelupilotin tekstiilierän DEHP-pitoisuus olisi 0,5-13 000 mg/kg, mikäli kaikki lajitteluerän printti-t-paidat, sadeasut, muovitetut kodintekstiilit ja säänkestävät ulkoiluvaatteet sisältäisivät DEHP:tä kirjallisuudessa raportoituina pitoisuuksina. Vastaavasti koko tekstiilierän BBP-pitoisuus olisi 13-250 mg/kg. REACH Annex XVII rajoittaa DEHP:n, BBP:n ja DBP:n (dibutyl phthalate) yhteismäärän leluissa ja lastenhoitotuotteissa korkeintaan 0,1 %:iin (1000 mg/kg). Ääritapausanalyysin perusteella ftalaattien esiintyminen poistotekstiilivirroissa olisi siis otettava huomioon. Toisaalta, esimerkiksi paksut pehmeät t-paitaprintit, vahakankaat ja muovimaiset säänkestävät takit on poistettava poistotekstiilivirrasta ennen mekaanista hienontamista, sillä ne eivät jauhaudu mekaanisessa prosessoinnissa vaan muodostavat laitteistojen rakenteisiin purukumimaisia tukkeumia. Samalla niiden mahdollisesti sisältämät, nykyisin rajoitetut pehmenysaineet poistuvat poistotekstiilivirrasta.

Lajitteluorganisaation kannalta *Kemikaaliriski*-jakeen nimi todettiin huonoksi, sillä se aiheutti aiheutonta huolta lajittelutyötä tekevien keskuudessa. Kuluttajatuotteet ovat kuitenkin lähtökohtaisesti turvallisia käyttää käyttötarkoitukseensa, sillä lain mukaan tuotteiden valmistajan tai maahantuojan on varmistuttava niiden turvallisuudesta ennen myyntiin laittamista (Direktiivi 2001/95/EY, Kuluttajaturvallisuuslaki 920/2011). Informatiivisempi nimi jakeelle olisikin esimerkiksi *Vaikeasti prosessoitavat*, joka pitää sisällään sekä mekaanisessa prosessoinnissa teknisiä ongelmia aiheuttavat materiaalit, että materiaalit, jotka saattavat sisältää rajoitettuja kemikaaleja.

7. Yhteenveto

Jätehierarkian mukaan tekstiilituotteen elinkaaren pidentäminen ja uudelleenkäyttö sellaisenaan ovat parhaat vaihtoehdot poistotekstiilien hyödyntämiseen. Kun tekstiili ei enää kelpaa uudelleenkäyttöön, sille on mahdollista löytää kierrätyksen kautta uusi elinkaari. On tärkeää, että kierrätysmenetelmä valitaan siten, että kierrätetyn materiaalin jalostusarvo säilyy mahdollisimman korkeana. Näin kierrätetyllä materiaalilla voidaan korvata neitseellisiä materiaaleja. Poistotekstiilien lajittelulla on merkittävä rooli materiaalin arvon kasvattajana.

Telaketju-projektissa hyvänä vaihtoehtona nähtiin kaksivaiheinen tekstiilijätteen lajittelu. Ensimmäisessä vaiheessa käsinlajittelija erottelee myyntikelpoiset, kierrätykseen soveltuvat, mahdollisen kemikaaliriskin jakeet sekä muut tekstiilikeraukseen kuulumattomat tavarat. Tämän jälkeen kierrätykseen soveltuva jae voidaan lajitella materiaalin mukaan koneellisen tunnistuksen ja automatisoidun linjaston avulla. Kierrätykseen soveltuvan tekstiilijakeen yleisiä kriteerejä on koottu taulukkoon 10.

Taulukko 10 Kierrätykseen soveltuvan tekstiilijakeen yleisiä laatuksiteerejä

Määre	Syy
Laatu	Kierrätysprosessi määrää laadun, yleensä sekoitteettoman tekstiili materiaalin tulee olla 97-98 % puhdasta prosessista riippumatta
Ei elastaania	Mekaanisessa kierrätyksessä elastaani tukkii avaajan piikkivalssit, sietää kuitenkin enemmän elastaania kuin kemiallinen kierrätys Puuvillan kemiallisessa kierrätyksessä < 1,5 %
Ei saa haista	Esimerkiksi homeiset tai muuten saastuneet materiaalit saattavat aiheuttaa käsinlajittelijalle terveystarpeita
Ei saa olla monikerrosrakenteita ja pinnoitettuja materiaaleja	Eivät sovellu koneelliseen tunnistukseen
Ei saa olla palosuojattu	Saattaa sisältää kiellettyjä bromattuja palonestoaineita, sallittu pitoisuus korkeintaan 10 mg/kg Palosuojaja-aine saattaa muodostaa kemikaaliriskin
Vaikeasti prosessoitavat	Kemikaaliriskin jakeet: muoviprintit, pinnoitetut tekstiilit, värjätty nahka

Lahden ammattikorkeakoulun kehittämällä REISKAtex®-linjalla pystytään poistotekstiilivirrasta tunnistamaan ja lajittelemaan luotettavasti sekoitteettomat puuvilla, polyesteri, villa ja viskoosi. Haluttaessa kirjastoa voidaan laajentaa tunnistamaan myös erilaiset sekoitteet. Kierrätykseen soveltuvan tekstiilijätteen suurin materiaalin mukaan lajiteltu jae oli puuvilla. Puuvillalle soveltuvat mekaaninen ja kemiallinen kierrätys. Mekaanisessa kierrätyksessä puuvilla pystytään säilyttämään puuvillana, mutta sen kuitupituus lyhenee. Tämä rajoittaa sen jatkohyödyntämismahdollisuuksia. Kuitupituutta saadaan säilytettyä, jos puuvillajae lajitellaan tekstiilirakenteen mukaan. Tällöin neulosten avattu kuitu säilyy pidempänä, koska neulokset avautuvat kudottuja tekstiilejä helpommin. Myös värin mukainen lajittelu saattaa olla tarpeen. Mekaanisesti kierrätetty puuvilla soveltuu langankehrukseen sekä kuitukankaan valmistukseen. Mekaanisessa kierrätyksessä syntyvä lyhytkuituinen pöly voidaan hyödyntää kuitukangasmaiseksi tuotteeksi vaahtorainausprosessilla. Puuvillan kemiallisessa kierrätyksessä muodostuva selluloosamuuntokuitu vastaa ominaisuuksiltaan primaarisia selluloosamuuntokuituja.

Toinen suuri kierrätettävä jae olivat puuvillan ja polyesterin sekoitteet sekä muut sekoitteet. Sekoiteille soveltuu yleensä mekaaninen kierrätys. Tällöin kaikki eri materiaalit ovat sekaisin avatussa kuitumassassa, mikä on haasteellista loppukäyttökohteen löytämisen kannalta. Synteettisten tekokuitujen ja luonnonkuitujen seoksesta voidaan valmistaa huopaa, joka soveltuu lämpösiddottavaksi tai lämpömuovaukseen. Halutun kuituseoksen saavuttamiseksi voidaan avata useita eri seossuhteella olevia tekstiilejä ja näin säätää lopullisen seoksen kuituosuudet sopivaksi esimerkiksi lämpömuovaukseen. Sekoitetekstiilien materiaalien erottamiseen kehitetään kemiallisia menetelmiä, joissa toinen materiaaleista liuotetaan ja hyödynnetään kemiallista reittiä ja toinen materiaali jää kuitumuodossa jäljelle.

Kolmantena puhtaana jakeena poistotekstiilijakeessa oli polyesteri. Vaikka polyesteri dominoi maailman kuitutuotantoa, sen suurimmat käyttökohteet ovat teknisissä tekstiileissä, joten kuluttajapoistotekstiileissä sen osuus ei ole suurin tunnistuskokeissa. Kuluttajapoistoissa puhtaan polyesterin määrä oli alle 10 %. Polyesterille soveltuu mekaaninen kierrätys, jolloin senkin kuitupituus lyhenee ja filamenttikuitu muuttuu katkokuiduksi. Polyesteritekstiilin terminen kierrätys on mahdollista ja sitä myös tehdään suljetuissa tekstiilikierroissa. Kuluttajapoistojen osalta polymeeritason heterogeenisyys käytännössä kuitenkin hankaloittaa merkittävästi materiaalin termistä kierrätystä takaisin kuiduksi. 7 % maailman kuitutuotannosta on jo kierrätettyä polyesteriä, mutta tällöin raaka-aineena on usein käytetty muovipullo, joka on polymeeritasolla homogeenisempi jae kuin kuluttajilta kerätty tekstiili. Polyesterille on kehitetty myös monomeeritason kierrätys, missä polymeeriketju pilkotaan monomeereiksi kemiallisin menetelmin ja polymeroidaan uudelleen tai käytetään muiden kemikaalien lähtöaineena. Myös polyamidille on monomeeritason kierrätys, mutta kuluttajapoistoissa puhtaan polyamidin osuus on erittäin pieni.

Tekstiilimateriaalit ovat orgaanisia ja siten niille soveltuu myös terminen konversio. Termisessä konversiossa materiaalin rakenne hajotetaan lämmön avulla ja materiaali hyödynnetään lämpöenergiana tai lyhytketjuisina hiilivetyinä ja muina molekyyleinä kaasuna tai nesteenä. Termiseen konversioon soveltuvat myös homeiset ja muuten saastuneet tekstiilit. Teoreettisesti hyvin lajiteltu tekstiilijae voitaisiin muuntaa kaasutuksella ja pyrolyysillä esimerkiksi biopolttoaineeksi tai synteesikaasuksi kemianteollisuuteen. Käytännössä tekstiilijäte useimmiten poltetaan sekajätteen joukossa ja hyödynnetään lämpöenergiana tai kaasutetaan sekajätteen joukossa ja muunnetaan kaasun kautta sähköksi.

Tekstiilituotteiden valmistuksessa käytetään paljon erilaisia kemikaaleja, joista noin 10 % on ihmisille ja ympäristölle haitallisia. Niiden käytölle onkin asetettu erilaisia rajoituksia. Poistotekstiilin käyttöä raaka-aineena voi rajoittaa siinä mahdollisesti esiintyvät POP-yhdisteet sekä sellaiset aineet, joiden pitoisuuksia kuluttajatuotteissa on rajoitettu REACH-asetuksen nojalla. Säädöksillä rajoitettuja aineita esiintyy myös muissa kiertotalouden materiaalivirroissa. EU:n viranomaiset ovatkin kiinnittäneet huomiota siihen, että kiertotalouden yleistyessä myös kemikaalien kierto materiaalivirtojen mukana tulee muuttumaan. Tällöin viranomaisten voi olla tarpeen arvioida uudelleen nykyainsäädännön soveltuvuutta ja riittävyyttä siten, että kiertotalouden materiaalivirtojen ja prosessien erityispiirteet tulevat huomioiduiksi. Kiertotalouden yleistymisen myötä regulaatioon voi olla tarpeen tehdä muutoksia ja tarkennuksia, joten regulaation kehittymistä on tärkeää seurata. Kirjallisuudesta löytyy vain vähän tietoa poistotekstiilissä esiintyvien haitallisten kemikaalien pitoisuuksista. Lähtökohtaisesti kuluttajille suunnatut tuotteet ovat turvallisia käyttää, mutta toisaalta tiedetään, että määräystenvastaisia tekstiilituotteita on toistuvasti markkinoilla. Tapauksissa, joissa poistotekstiilistä valmistetut tuotteet tulevat suoraan ja pitkäaikaiseen ihokontaktiin tai muutoin rajoitettuun käyttöön, kuten lapsille tarkoitettuihin tuotteisiin, materiaalin vaatimuksien mukaisuus on hyvä varmistaa laboratoriotutkimuksin.

Kirjallisuus

- Albrecht W., Fuchs H., Kittelmann W. (toim.) (2003) Nonwoven fabrics. Raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Asetus (EY) N:o 850/2004. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus pysyvistä orgaanisista yhdisteistä. EUVL L 158, 30.4.2004, s.7. Viitattu 28.1.2019: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02004R0850-20160930&qid=1526393439050&from=EN>.
- 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, 30.12.2006. Viitattu 28.1.2019: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20180509&qid=1531227428641&from=EN>.
- Auranen A. (2018) Tekstiilijätteestä mekaanisesti kierrätetty kuitu ja sen soveltuvuus eri prosesseihin. Helsinki: Metropolia. Opinnäytetyö. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/153658/Auranen_Anneli.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Awaja F., Pavel D. (2005) Recycling of PET. *European Polymer Journal* **41**, 1453-1477.
- Cura K., Heikinheimo L. (2016) Identifying textile fibres in discarded textiles – Case patina, Teoksessa Cura K. (toim.) Lahti Cleantech Annual Review 2016. The publication series of Lahti University of Applied Sciences, part 24. LAMK Lahti University of Applied Sciences. s. 22-28 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121322/LAMK_2016_24.pdf?sequence=2.
- 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. Helsinki: 2015, Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Helsinki. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155612/SY_4_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
- Direktiivi 2001/95/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi yleisestä tuoteturvallisuudesta. EUVL L 011, 15/01/2002 s. 0004-0017. Viitattu 28.1.2019: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32001L0095&from=EN>.
- ECHA46a. Annex XVII to REACH – Conditions of restriction, entry 46a. <https://echa.europa.eu/documents/10162/7dcd73a4-e80d-47c5-ba0a-a5f4361bf4b1>.
- ECHA61. Annex XVII to REACH – Conditions of restriction, entry 61. <https://echa.europa.eu/documents/10162/f9d87b89-5870-483f-bd8a-a5cfe18095cd>.
- ECHA68. Annex XVII to REACH – Conditions of restriction, entry 68. <https://echa.europa.eu/documents/10162/7a04b630-e00a-a9c5-bc85-0de793f6643c>.
- Ellen MacArthur Foundation (2017) A new textiles economy: Redesigning fashion's future. Viitattu 19.10.2018: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/A-New-Textiles-Economy_Full-Report_Updated_1-12-17.pdf.
- Heinz E. (2016) Rieter Manual of Spinning. Volume 5 - Rotor Spinning. Rieter Machine Works Ltd.
- Horttanainen M., Teirasvuo 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* **33**(12), 2680-2686.
- Huovila T. (2018) Tiina Huovilan (Eurofins Expert Services Oy), suullinen tiedonanto 15.10.2018.
- Kamppuri T., Heikkilä P., Pitkänen M., Hinkka V., Viitala J., Cura K., Zitting J., Lahtinen T., Knuutila H., Lehtinen L. (2019) Tunnistusteknologiat tekstiilien kierrätyksessä. Tutkimusraportti VTT-R-00092-19, 28 s.
- Klein W. (2016) The Rieter Manual of Spinning. Volume 1: Technology of Short- staple Spinning. Rieter Machine Works Ltd.

- Kuluttajaturvallisuuslaki 920/2011. Kuluttajaturvallisuuslaki. 22.7.2011. Viitattu 28.1.2019: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110920>.
- Mesdan (2018) Ring Lab Code 3108A. Viitattu 15.2.2018: <https://www.saviotechnologies.com/mesdan/en/mesdan-lab/products/yarns/Pages/default.aspx>.
- Negulescu I.I., Kwon H., Collier B.J., Collier J.R., Pendse A. (1998) Recycling cotton from cotton/polyester fabrics. *Textile Chemist and Colorist* **30**(6), 31-35.
- Nissi-Rantakömi S., Mäki S. (2018) Haitallisia kemikaaleja sisältäville esineille valmisteilla uusi rekisteri. Viitattu 22.1.2019: <https://www.stjm.fi/uutisia-jasenille/haitallisia-kemikaaleja-sisaltaville-esineille-valmisteilla-uusi-rekisteri/>.
- Nurmi S., Tuomisto M.T. (1993) Kuitukankaat. Helsinki: Punamusta.
- Palme A. (2017) Recycling of cotton textiles: Characterization, pretreatment, and purification. Chalmers University of Technology. Viitattu 27.10.2017: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/246506/246506.pdf>.
- Pyromex (2018) Energy information and data. Viitattu 15.5.2018: http://www.sludgefacts.org/Ref87_2.pdf.
- Ragaert K., Delva L., Van Geem K. (2017) Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management* **69**, 24-58.
- Räisänen R., Rissanen M., Parviainen E, Suonsilta H. (2017) Tekstiilien materiaalit., Helsinki: Oy Finn Lectura Ab, Helsinki.
- Schmidt A., Watson D., Roos S., Askham C., Poulsen P.B. (2016) Gaining benefits from discarded textiles. LCA of different treatment pathways. *TemaNord* 2016:537. Nordic Council of Ministers.
- SFS-EN15344 (2008) Plastics. Recycled Plastics. Characterisation of Polyethylene (PE) recyclates. Helsinki: Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN15348 (2014) Plastics. Recycled plastics. Characterization of poly(ethylene terephthalate)(PET) recyclates. Helsinki: Standardisoimisliitto SFS.
- Suomen Tekstiili & Muoti (2018) Kuitujen tuotanto, kulutus ja hinnat. Viitattu 24.10.2018: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/stjm/uploads/20180628171618/Kuitujen-tuotanto-kulutus-ja-hinnat-13.6.2018.pdf>.
- Swedish Chemicals Agency (2014) Chemicals in textiles – Risks to human health and the environment. Report from a government assignment. Report 6/14, 142 s. Viitattu 15.5.2018: <https://www.kemi.se/files/8040fb7a4f2547b7bad522c399c0b649/report6-14-chemicals-in-textiles.pdf>.
- Textile Exchange (2017) Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials Market Report. Viitattu 18.10.2018: <https://textileexchange.org/downloads/2017-preferred-fiber-materials-market-report/>.
- THL (2018) THL. Ympäristöterveys. Palonestoaineet. Viitattu 19.10.2018: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/tarkempaa-tietoa-ymparistomyrkyista/palonestoaineet>.
- Tsiamis D.A., Castaldi M.J. (2016) Determining accurate heating values of non-recycled plastics (NRP). Earth Engineering Center, City College of New York. <https://plastics.americanchemistry.com/Energy-Values-Non-Recycled-Plastics.pdf>.
- Tukholman yleissopimus 34/2004. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus. Viitattu 28.1.2019: https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2004/20040034/20040034_2.
- Tulli (2017) Tullin kulutustavaravalvonnan tuloksia vuodelta 2017. Viitattu 15.5.2018: <https://tulli.fi/documents/2912305/4756721/Tullin+kulutustavaravalvonta+2016+yhteenvedo.pdf/112ac442-94df-4dc7-9f87-c62b59eb3ab9>.
- Valtioneuvoston asetus 233/2012. Valtioneuvoston asetus formaldehydin enimmäismääristä eräissä tekstiilituotteissa. 10.5.2012. Viitattu 28.1.2019: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120233>.

- Vilaplana F., Karlsson S. (2008) Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials: A review. *Macromolecular Materials and Engineering* **293**, 274-297.
- Viljakainen S. (2016) Tekstiilien tuontivalvonta Tullilaboratoriossa -esitelmä 10.5.2016. Viitattu 15.5.2018: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/stjm/uploads/20160516081718/Tekstiilien-tuontivalvonta-Tullilaboratoriossa_SiruViljakainen-Tullilaboratorio.pdf.
- Välimäki T. (2018) Teija Välimäen (Fida Lajittelukeskus) suullinen tiedonanto 13.9.2018.
- Zitting J. (2017) Optical sorting technology for textile waste: Development of an identification method with NIR spectroscopy. Bachelor's Thesis in Polymer and Fibre technology. Lahti University of Applied Sciences.

Liite 1. POP asetus: Asetus (EY) N:o 850/2004 pysyvistä orgaanisista yhdisteistä

Liitteen I aineet: Käyttö valmisteissa tai tavaroiden ainesosina on kielletty.

Poikkeukset:

- Ei sovelleta aineeseen, jota esiintyy tahattomana vierasainejäämänä valmisteissa ja tavaroissa.
- HUOM 1. Asetus sisältää myös muita poikkeuksia, jotka eivät ole relevantteja poistotekstiilin kierrätyksen kannalta.
- HUOM 2. POP-asetus tuli voimaan jo vuonna 2004, mutta kiellettyjä aineita voi edelleen esiintyä ennen asetuksen voimaantuloa valmistetuissa tuotteissa.

*Liitteessä I rajoitetut aineet, joita voi esiintyä poistotekstiilissä sekä niitä koskevat vapautukset (*p-% = painoprosentti)*

Lyhenne	Nimi	Luonnehdinta	Kemiallinen kaava / CAS numero	Raja-arvo,		Vapautus
				mg/kg	p-%*	
TeBDE	tetrabromidifenyylieetteri	palonestoaine	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O	≤ 10	≤ 0,001	Kun yhdiste esiintyy vierasainejääminä aineissa, valmisteissa tai tarvikkeissa tai aineosana paloa hidastavissa osissa korkeintaan mainitussa pitoisuudessa. Korkeintaan 0,1 p-% tetrabromidifenyylieetteriä sisältävien tavaroiden ja valmisteiden tuotanto sallitaan silloin, kun ne on valmistettu osittain tai kokonaan kierrätysmateriaalista tai uudelleenkäyttöön valmistetusta jätteestä .
PeBDE	pentabromidifenyylieetteri	palonestoaine	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O		≤ 0,1	
HBDE	heksabromidifenyylieetteri	palonestoaine	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O			
hepta-BDE	heptabromidifenyylieetteri	palonestoaine	C ₁₂ H ₃ Br ₇ O			
PFOS	Perfluorioktaani-sulfonihappo ja sen johdannaiset	hydrofobinen/ palonesto	C ₈ F ₁₇ SO ₂ X	≤ 10	≤ 0,001	Kun yhdiste esiintyy vierasainejääminä aineissa ja valmisteissa korkeintaan mainitussa pitoisuudessa.
					≤ 0,1	Kun yhdiste esiintyy vierasainejääminä puolivalmisteissa ja niiden osissa korkeintaan mainitussa pitoisuudessa.
				< 1 µg/m ²		Kun yhdiste esiintyy vierasainejääminä tekstiileissä tai muissa pinnoitetuissa materiaaleissa alle 1 µg/m² pitoisuudessa.
SCCP	lyhytketjuiset klooratut parafiinit		85535-84-8		< 1	Aineiden ja valmisteiden, joissa yhdisteen pitoisuus on alle raja-arvon, tuotanto, markkinoille saattaminen ja käyttö sallitaan.
					< 0,15	Tavaroiden , joissa yhdisteen pitoisuus on alle raja-arvon, tuotanto, markkinoille saattaminen ja käyttö sallitaan.

Liite 2. REACH-asetuksen nojalla luvanvaraisia ja rajoitettuja kemikaaleja

Liite XIV Luvanvaraisten aineiden luettelo

Liite XVII Tiettyjen vaarallisten aineiden, seosten ja esineiden valmistuksen markkinoille saattamisen ja käytön rajoitukset

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (28, 29, 30)	Arseeniyhdisteet			X	X	1 mg/kg	Määrä ilmaistu metallisena arseenina, joka voidaan uuttaa materiaalista. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuvissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII (6)	Asbestikuidut	12001-28-4 12172-73-5 77536-67-5 77536-66-4 77536-68-6 2001-29-5 32207-32-0				Ei saa käyttää	Näiden kuitujen sekä esineiden ja seosten, joihin niitä on tarkoituksella lisätty, valmistaminen, saattaminen markkinoille ja käyttö on kielletty (poikkeus kalvot elektrolyysilaitteistoissa).	1.1.2005	

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (43)	Atsoväriaineet ja atsovärit		X	X		30 mg/kg 0,003 p-%	Atsovärejä, joista voi yhden tai useamman atsoyhmän lohjetessa vapautua yhtä tai useampaa lisäyksessä 8 lueteltua aromaattista amiinia niin että sen pitoisuus esineessä tai sen värjäytyissä osissa on yli 30 mg/kg (0,003 p-%), ei saa käyttää tekstiili- ja nahkaesineissä, jotka saattavat joutua pitkäaikaiseen ja suoraan kosketukseen ihon tai suuontelon kanssa. Tällaisia esineitä ovat mm. vaatteet, vuodevaatteet, pyyhkeet, hiuslisäkkeet, peruukit, hatut, vaipat ja muut hygieniatarvikkeet, makuupussit, jalkineet, käsineet, rannekellojen hihnat, käsilaukut, kukkarot ja lompakot, salkut, tuolien verhoilu, kaulapussit, tekstiili- ja nahkalelut sekä lelut, joissa on tekstiili- ja nahkaosia, lopullisen kuluttajan käyttöön tarkoitettut langat ja kankaat.		Tekstiilin ja nahan värjäys
REACH Liite XVII	Bentseeni	71-43-2		X		5 mg/kg	Ei saa käyttää leluissa tai lelujen osissa, kun vapaana olevan bentseenin määrä ylittää raja-arvon lelun tai lelun osan painosta		
REACH Liite XVII	Bentseeni	71-43-2		X	X	5 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviissa tekstiileissä.	1.11.2020	

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII	Bentsenamiini, 4,4'-(4-iminosykloheksa-2,5-dienylideeni-metyyli) dianiliinihydrokloridi; C.I. Basic Red 9	569-61-9		X	X	50 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	Väriaine
REACH Liite XVII	1,2-Bentseenidikarboksylihapon di-C6-8-haaraketjuiset alkyyliesterit, paljon C7-ketjuja	71888-89-6		X	X	1 000 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	bentso[a]antraseeni	56-55-3		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	Bentso[a]pyreeni; bentso[def]kryseeni	50-32-8		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	Bentso[e]asefantryleeni	205-99-2		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	Bentso[e]pyreeni	192-97-2		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	Bentso[j]fluoranteeni	205-82-3		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	Bentso[k]fluoranteeni	207-08-9		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII	Bentso[k]fluoranteeni (BkFA) ja Dibentso[a,h]antraseeni (DBAhA)	207-08-9 53-70-3	X			< 1 mg/kg = 0,0001 p-%	Esineitä ei saa saattaa markkinoille yleiseen kulutukseen toimitettaviksi, jos jokin niissä oleva sellainen kumi- tai muoviosa, joka tavanomaisissa tai kohtuudella ennakoitavissa olevissa käyttöolosuhteissa joutuu pitkän aikaa tai toistuvasti lyhyen aikaa suoraan kosketukseen ihmisen ihon tai suontelon kanssa, sisältää mitä tahansa luetelluista polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä enemmän kuin 1 mg/kg (0,0001 prosenttia kyseisen osan painosta). Tällaisia esineitä ovat muun muassa vaatteet, jalkineet, käsineet ja urheiluvarusteet.	27.12.2015	
REACH Liite XVII	[4-[4,4'-bis(Dimetyyliamino)bentsyylidien-2,5-dien-1-ylidien]dimetyyliammoniumkloridi; C.I. Basic Violet 3, jossa ≥ 0,1 % Michlerin ketonia	548-62-9		X	X	50 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviin tekstiileihin.	1.11.2020	Väriaine
REACH Liite XVII (51)	Bis(2-etyyliheksyyli) ftalaatti (DEHP) Dibutyyliftalaatti (DBP) Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP)	117-81-7 84-74-2 85-68-7		X		< 0,1 p-%	Ei saa käyttää aineena eikä seoksissa yli 0,1 painoprosentin pitoisuuksina pehmitetyn materiaalin massasta leluissa ja lastenhoitotarvikkeissa.		Muovien pehmittiminä

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XIV (4-6)	Bis(2-etyyliheksyyli) ftalaatti (DEHP) Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP) Dibutyyliftalaatti (DBP)	117-81-7 85-68-7 84-74-2				Ei saa käyttää	Käyttö sallittu vain tiettyjen lääkevalmisteiden pakkauksissa.	21.2.2015	Muovien pehmittiminä
REACH Liite XVII	Bis(2-metoksietyyli)ftalaatti	117-82-8		X	X	1 000 mg/kg	Yksittäin tai yhdessä muiden tässä nimikkeessä tai muissa liitteessä XVII olevissa nimikkeissä mainittujen sellaisten ftalaattien kanssa, jotka luokitellaan asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteessä VI olevassa osassa 3 syöpää aiheuttavien, perimää vaurioittavien tai lisääntymiselle vaarallisten aineiden vaaraluokkaan 1A tai 1B. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviin tekstiileissä.	1.11.2020	Muovien pehmittiminä
REACH Liite XIV	Bis(2-metoksietyyli)ftalaatti	117-82-8				Luvanvarainen 4.7.2020 alkaen	Käyttölupaa haettava viimeistään 4.1.2019. Käyttö loppuu 4.7.2020.	4.7.2020	Muovien pehmittiminä
REACH Liite XVII (67)	Bis(pentabromifenyyli)etteri (dekabromidifenyylietteri) (dekaBDE)	1163-19-5				< 0,1 p-%	Ei saa käyttää seuraavien valmistuksessa eikä saa saattaa markkinoille seuraavissa esine tai sen osa pitoisuutena, joka on 0,1 painoprosenttia tai enemmän.	2.3.2019	Palonestoaine

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (28, 29, 30)	CRM aineet. Asetus 1272/2008, liite IV, osa 3: A1 syöpä-, perimä- tai lisääntymisvaaralliset aineet					Raja-arvot määritelty asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteissä I ja VI	Ei saa käyttää kuluttajatuotteissa pitoisuuksissa, jotka ylittävät asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteissä I ja VI esitetyt pitoisuusrajat. Huom. Tietyt ammattikäytöt sallittu.		
REACH Liite XVII	Dibentso[<i>a,h</i>]antraseeni	53-70-3		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII (20.5)	Dibutyylitinayhdisteet (DBT)					Ei saa käyttää	DBT-yhdisteitä ei saa käyttää 2015 jälkeen stabilointiaineina PVC:llä pinnoitetuissa, ulkokäyttöön tarkoitetuissa kankaissa.	1.1.2015	PVC:n stabilointiin, ulkokäyttöön tarkoitetut kankaat
REACH Liite XVII (45)	Difenyylietteri, oktabromijohdannainen (C ₁₂ H ₂ Br ₈ O)					< 0,1 p-%	Esineitä ei saa saattaa markkinoille, jos ne tai niiden palonestoainetta sisältävät osat sisältävät tätä ainetta yli 0,1 paino-% pitoisuuksina.	15.8.2004	Palonestoaine
REACH Liite XIV (7)	Di-isobutyyliftalaatti (DIBP)	84-69-5				Ei saa käyttää	Käyttö kielletty	21.2.2015	Muovien pehmittiminä

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (52)	Di-isononyyliftalaatti (DINP) Di-isodekyyliftalaatti (DIDP) Di-n-oktyyliftalaatti (DNOP)	28553-12-0 68515-48-0 26761-40-0 68515-49-1 117-84-0		X		< 0,1 p-%	Ei saa käyttää aineena eikä seoksissa yli 0,1 painoprosentin pitoisuuksina pehmitetyn materiaalin massasta leluissa ja lastenhoitotarvikkeissa, jotka lapsi voi laittaa suuhun. 'Lastenhoitotarvikkeella' tarkoitetaan kaikkia sellaisia tuotteita, joiden tarkoitus on helpottaa lapsen nukkumista, rentoutumista, hygieniaa ja syöttämistä tai auttaa lasta imemään.		Muovien pehmittiminä
REACH Liite XVII	Di-isopentyyliftalaatti	605-50-5		X	X	1 000 mg/kg	Yksittäin tai yhdessä muiden tässä nimikkeessä tai muissa liitteessä XVII olevissa nimikkeissä mainittujen sellaisten ftalaattien kanssa, jotka luokitellaan asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteessä VI olevassa osassa 3 syöpää aiheuttavien, perimää vaurioittavien tai lisääntymiselle vaarallisten aineiden vaaraluokkaan kategoriaan 1A tai 1B. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviissa tekstiileissä.	1.11.2020	Muovien pehmittiminä
REACH Liite XIV	Di-isopentyyliftalaatti	605-50-5				Luvanvarainen 4.7.2020 alkaen	Käyttölupaa haettava viimeistään 4.1.2019. Käyttö loppuu 4.7.2020.	4.7.2020	Muovien pehmittiminä

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (61)	Dimetyylifumaraatti	624-49-7				< 0,1 mg/kg	Ei saa saattaa markkinoille dimetyylifumaraattia yli 0,1 mg/kg pitoisuuksina sisältäviä esineitä tai niiden osia.		Homeenesto-aine
REACH Liite XVII	Di- <i>n</i> -heksyyliftalaatti (DnHP)	84-75-3		X	X	1 000 mg/kg	Yksittäin tai yhdessä muiden tässä nimikkeessä tai muissa liitteessä XVII olevissa nimikkeissä mainittujen sellaisten ftalaattien kanssa, jotka luokitellaan asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteessä VI olevassa osassa 3 syöpää aiheuttavien, perimää vaurioittavien tai lisääntymiselle vaarallisten aineiden vaaraluokkaan kategoriaan 1A tai 1B. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviissa tekstiileissä.	1.11.2020	Muovien pehmittiminä
REACH Liite XVII	Di- <i>n</i> -pentyyliftalaatti (DPP)	131-18-0		X	X	1 000 mg/kg	Yksittäin tai yhdessä muiden tässä nimikkeessä tai muissa liitteessä XVII olevissa nimikkeissä mainittujen sellaisten ftalaattien kanssa, jotka luokitellaan asetuksen (EY) N:o 1272/2008 liitteessä VI olevassa osassa 3 syöpää aiheuttavien, perimää vaurioittavien tai lisääntymiselle vaarallisten aineiden vaaraluokkaan kategoriaan 1A tai 1B. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa.	1.11.2020	Muovien pehmittiminä

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XIV	Di-n-pentyyliftalaatti (DPP)	131-18-1				Luvanvarainen 4.7.2020 alkaen	Käyttölupaa haettava viimeistään 4.1.2019. Käyttö loppuu 4.7.2020.	4.7.2020	Muovien pehmittiminä
REACH Liite XVII (20.6)	Dioktyylitinayhdisteet (DOT)		X	X		Sn < 0,1 p-%	DOT-yhdisteitä ei saa käyttää kuluttajatuotteissa, kun niiden pitoisuus esineessä tai sen osassa on suurempi kuin pitoisuus, joka vastaa 0,1 paino-% tinaa. Rajoitus koskee seuraavia tuotteita: ihon kanssa kosketuksiin tuleviksi tarkoitetut tekstiilit, käsineet, jalkineet ja niiden ihon kanssa kosketuksiin tuleviksi tarkoitetut osat, seinien ja lattioiden päällysteet, lastentarvikkeet, naisten hygienia tuotteet, vaipat.	1.1.2012	Stabilointi-aineina ja katalyyteinä
REACH Liite XVII (18.c)	Elohopeayhdisteet					Ei saa käyttää	Ei saa käyttää aineena eikä seoksena kovaa kulutusta kestävien teollisuustekstiilien ja niiden valmistukseen tarkoitettua langan kyllästämiseksi.		
Valtioneuvoston asetus 233/2012	Formaldehydi	50-00-0				30 mg/kg	Alle 2-vuotiaille lapsille tarkoitetut tekstiilituotteet		Vaatteiden ja kodin tekstiilien jälkikäsittely
Valtioneuvoston asetus 233/2012	Formaldehydi	50-00-0	X	X		100 mg/kg	Suoraan ihon kanssa kosketukseen tulevat tekstiilituotteet ja vuodevaatteet, tyynyt ja patjanpäällykset - Vähintään 2-vuotiaille tarkoitetut tekstiililelut		Vaatteiden ja kodin tekstiilien jälkikäsittely

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
Valtioneuvoston asetus 233/2012	Formaldehydi	50-00-0				300 mg/kg	Väli- ja päällysvaatteet ja muut vaatteet, jotka eivät tavanomaisessa käytössä joudu suoraan ihon kanssa kosketukseen - Verhot, ryijyt, tekstiilitapetit, matot ja huonekalujen verhoiluun käytetyt tekstiilit sekä muut kodintekstiilit		Vaatteiden ja kodin tekstiilien jälkikäsittely
REACH Liite XVII	Formaldehydi	50-00-0		X	X	300 mg/kg	1.11.2020-1.11.2023. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviissa tekstiileissä.		Vaatteiden ja kodin tekstiilien jälkikäsittely
REACH Liite XVII	Formaldehydi	50-00-0		X	X	75 mg/kg	2.11.2023 alkaen. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviissa tekstiileissä.		Vaatteiden ja kodin tekstiilien jälkikäsittely
REACH Liite XIV (3)	Heksabromisyklododekaani ja sen isomeerit	3194-55-6 25637-99-4 134237-50-6 134237-51-7 134237-52-8				Käyttö kielletty	Käyttö kielletty 21.8.2015 alkaen	21.8.2015	Palonestoaine / muovit ja tekstiilit

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (23)	Kadmium ja sen yhdisteet	7440-43-9				Cd < 0,01 p-%	Ei saa käyttää seoksissa ja esineissä, jotka on valmistettu synteettisistä orgaanisista polymeereistä, esim. polyetylenitereftalaatti (PET), polypropyleeni (PP) ja PVC (yht. 16 muovimateriaalia, ks. tarkemmin REACH). Muovimateriaalista valmistettuja tuotteita ei saa saattaa markkinoille, jos kadmiumpitoisuus on vähintään 0,01 paino-% tai enemmän. Kierrätetylle PVC:lle lisämääräyksiä.	10.12.2011	Väriaineissa
REACH Liite XVII (28, 29, 30)	Kadmium ja sen yhdisteet			X	X	1 mg/kg	Määrä ilmaistu metallisena kadmiumina, joka voidaan uuttaa materiaalista. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	Väriaineissa
REACH Liite XVII	Kinoliini	91-22-5		X	X	50 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	4-Kloori- <i>o</i> -toluidiniumkloridi	3165-93-3		X	X	30 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	α -Klooritolueeni; bentsyylikloridi	100-44-7		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (47)	Kromi(VI)yhdisteet		X			3 mg/kg 0,0003 p-%	Ihokosketukseen joutuvia nahkatuotteita ei saa saattaa markkinoille, jos ne sisältävät kromi VI:ta vähintään 3 mg/kg (0,0003 painoprosenttia) nahan kokonaiskuivapainosta. JA Ihokosketukseen joutuvia nahkaosia sisältäviä tuotteita ei saa saattaa markkinoille, jos kyseiset nahkaosat sisältävät kromi VI:ta vähintään 3 mg/kg (0,0003 painoprosenttia) nahkaosan kokonaiskuivapainosta.	1.5.2015	Nahan parkitseminen
REACH Liite XVII (28, 29, 30)	Kromi(VI)-yhdisteet			X	X	1 mg/kg	Kromi(VI)-yhdisteet, määrä ilmaistu Cr VI:na, joka voidaan uuttaa materiaalista. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuvissa tekstiileissä.	1.11.2020	Nahan parkitseminen
REACH Liite XVII	Kryseeni	218-01-9		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuvissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII (28, 29, 30)	Lyijy ja sen yhdisteet			X	X	1 mg/kg	Määrä ilmaistu metallisena lyijynä, joka voidaan uuttaa materiaalista. Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuvissa tekstiileissä.	1.11.2020	Väriaineena
REACH Liite XIV (10)	Lyijykromaatti	7758-97-6				Ei saa käyttää	Käyttö kielletty	21.5.2015	Väriaineena tekstiileissä, muoveissa, musteissa

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XIV (12)	Lyijykromaattimolybdaattisulfaattipunainen (C. I. Pigment Red 104)	12656-85-8				Ei saa käyttää	Käyttö kielletty	21.5.2015	Väriaineissa
REACH Liite XIV (11)	Lyijysulfokromaattikeltainen (C.I. Pigment Yellow 34)	1344-37-2				Ei saa käyttää	Käyttö kielletty	21.5.2015	Väriaineissa
REACH Liite XVII	4-Metoksi- <i>m</i> -fenyleenidiammoniumsulfatti 2,4diaminoanisolisulfatti	39156-41-7		X	X	30 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	2-Naftyylimmoniumasetatti	553-00-4		X	X	30 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	<i>N,N</i> -dimetyyliasetamidi (DMAC)	127-19-5		X	X	3 000 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	<i>N,N</i> -dimetyyliformamidi; dimetyyliformamidi (DMF)	68-12-2		X	X	3 000 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII (27)	Nikkeli ja sen yhdisteet	7440-02-0	X			Vapautuvan Ni määrä < 0,5 µg/cm ² /viikko	Ei saa käyttää niitinapeissa, soljissa, niiteissä, vetoketjuissa ja metallisissa merkeissä, kun niitä käytetään vaatteissa, jos vapautuvan nikkelin määrä, joka irtoaa näiden esineiden ihon kanssa suoraan ja pitkäaikaiseen kosketukseen tulevista osista, on yli 0,5 µg/cm ² /viikko;		
REACH Liite XVII	<i>N</i> -metyyli-2-pyrrolidoni; 1-metyyli-2-pyrrolidoni (NMP)	872-50-4		X	X	3 000 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuissa tekstiileissä.	1.11.2020	

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (46a)	Nonyylifenoli (NP)	25154-52-3				< 0,1 p-%	Ei saa saattaa markkinoille tai käyttää aineina tai seoksissa 0,1 painoprosentin tai sen ylittävänä pitoisuuksina tekstiilien ja nahan prosessoinnissa, lukuun ottamatta prosessointia, jossa ei aiheudu päästöjä jäteveeten.		Puhdistus ja värjäys
REACH Liite XIV	Nonyylifenoli ja nonyyllifenolietoksyalaatit					Luvanvarainen 4.1.2021 alkaen	Käyttölupaa haettava viimeistään 4.7.2019. Käyttö loppuu 4.1.2021	4.1.2021	Puhdistus ja värjäys
REACH Liite XVII (46a)	Nonyylifenolietoksyalaatit (NPE)					< 0,1 p-%	Vuoden 2021 jälkeen ei saa käyttää vesipestämissä tekstiilituotteissa pitoisuuksina > 0,01 paino-%. HUOM! Ei sovelleta käytetyille eikä yksinomaan kierrätystekstiileistä valmistetuille uusille tekstiilitavaroille, jotka on valmistettu käyttämättä nonyyllifenolietoksyalaatteja. (ECHA ANNEX XVII TO REACH – Conditions of restriction, entry 46a)	3.2.2021	Puhdistus ja värjäys
REACH Liite XIV	N-pentyyli-isopentyyliftalaatti	776297-69-9				Luvanvarainen 4.7.2020 alkaen	Käyttölupaa haettava viimeistään 4.1.2019. Käyttö loppuu 4.7.2020.	4.7.2020	Muovien pehmittiminä

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Annex XVII (68)	Perfluorioktaanihappo (PFOA) ja sen suolat. Lisäksi Kaikki samankaltaiset aineet (mukaan luettuina suolat ja polymeerit), joiden yhtenä rakennosana on muotoa C7F15 ja C8F17 - oleva suoraketjuinen tai haarautunut perfluoriheptyyliryhmä suoraan kiinnittyneenä toiseen hiiliatomiin.	335-67-1				PFOA ja sen suolat < 25 ppb tai PFOA:n kanssa samankaltaisten aineiden yhteenlaskettu pitoisuus < 1000 ppb	Ei saa käyttää tuotteiden valmistuksessa, jos PFOA:n ja sen suolojen pitoisuus on yhtä suuri tai suurempi kuin 25 ppb tai jos PFOA:n kanssa samankaltaisten aineiden yhteenlaskettu pitoisuus on yhtä suuri tai suurempi kuin 1000 ppb. Sovelletaan 4.7.2023 alkaen tekstiileihin, jotka suojaavat työntekijöitä heidän terveyteensä ja turvallisuuteensa kohdistuvilta riskeiltä.	4.7.2023 alkaen	Lian ja kosteuden hyljintään
REACH Liite XVII (8)	Polybromatut bifenyylit (PBB tai PBBs)	59536-65-1	X			Ei saa käyttää	Ei saa käyttää tekstiilituotteissa, kuten vaatteissa, alusvaatteissa ja vuodevaatteissa, jotka on tarkoitettu olemaan kosketuksissa ihon kanssa.		Palonestoaine
REACH Liite XVII	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt		X		X		Esineitä ei saa saattaa markkinoille yleiseen kulutukseen toimitettaviksi, jos jokin niissä oleva sellainen kumi- tai muoviosa, joka tavanomaisissa tai kohtuudella ennakoitavissa olevissa käyttöolosuhteissa joutuu pitkän aikaa tai toistuvasti lyhyen aikaa suoraan kosketukseen ihmisen ihon tai suontelon kanssa, sisältää mitä tahansa luetelluista polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä enemmän kuin 1 mg/kg (0,0001 prosenttia kyseisen osan painosta).	27.12.2015	

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lastenhoitotuotteet.	Tekstiilit ihokontaktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaen	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt		X	X		< 0,5 mg/kg = 0,00005 p-%	Leluja, aktiviteettilelut mukaan lukien, ja lastenhoitotarvikkeita ei saa saattaa markkinoille, jos jokin niissä oleva sellainen kumi- tai muoviosa, joka tavanomaisissa tai kohtuudella ennakoitavissa olevissa käyttöolosuhteissa joutuu pitkän aikaa tai toistuvasti lyhyen aikaa suoraan kosketukseen ihmisen ihon tai suontelon kanssa, sisältää mitä tahansa luetelluista polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä enemmän kuin 0,5 mg/kg (0,00005 prosenttia kyseisen osan painosta).	27.12.2015	
REACH Liite XVII	1,4,5,8-Tetra-aminoantrakinoni; C.I. Disperse Blue 1	2475-45-8		X	X	50 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviin tekstiileissä.	1.11.2020	Väriaine
REACH Liite XVII	$\alpha, \alpha, \alpha, 4$ -Tetraklooritolueeni; p-klooribentsotrikloridi	5216-25-1		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviin tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	α, α, α -Trikllooritolueeni; bentsotrikloridi	98-07-7		X	X	1 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviin tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII	2,4,5-Trimetyylianiiliinihydrokloridi	21436-97-5		X	X	30 mg/kg	Vaatteissa, asusteissa, jalkineissa ja muissa ihokontaktiin joutuviin tekstiileissä.	1.11.2020	
REACH Liite XVII (7)	Tris(atsiridinyyli)fosfiinioksid i (TEPA)	545-55-1	X			Ei saa käyttää	Ei saa käyttää tekstiilituotteissa, kuten vaatteissa, alusvaatteissa ja vuodevaatteissa, jotka on tarkoitettu olemaan kosketuksissa ihon kanssa.		Palonestoaine

Säädös (ala-nro)	Aineen nimi	CAS Numero	Iho	Lelut ja lasten- hoito- tuotteet.	Tekstiilit ihokon- taktissa	Rajoitus	Rajoitus tekstiilituotteissa	Kielletty alkaan	Käyttö-tarkoitus
REACH Liite XVII (4)	Tris(2,3 dibromipropyli)fosfaatti (TBPP)	126-72-7	X			Ei saa käyttää	Ei saa käyttää tekstiilituotteissa, kuten vaatteissa, alusvaatteissa ja vuodevaatteissa, jotka on tarkoitettu olemaan kosketuksissa ihon kanssa. Luokiteltu Suomessa syöpävaaralliseksi aineeksi ja sen käytössä on noudatettava valtioneuvoston asetusta työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta (716/2000).		Palonestoaine
REACH Liite XIV (13)	Tris(2-kloorietyyli)fosfaatti (TCEP)	115-96-8					Käyttö luvanvaraista	21.8.2015	Palonestoaine