Tampereen yliopisto

Heini Kivimäki

POLYESTERITEKSTIILIEN PESUSSA IRTOAVAT MIKROMUOVIT

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Heini Kivimäki: Polyesteritekstiilien pesussa irtoavat mikromuovit
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2022

Mikromuovit ovat läpimitaltaan alle viiden millimetrin kokoisia muovipartikkeleita, joita irtoaa muun muassa synteettisistä kuiduista valmistetuista tekstiileistä niiden pesun aikana. Osa pesussa irtoavista mikromuoveista päätyy jätevedenpuhdistamoiden kautta vesistöihin. Mikromuovit voivat aiheuttaa vakavia terveydellisiä ongelmia vesistöjen eliöille sekä mahdollisesti ravintoketjun kautta myös ihmisille. Tämän kandidaatintyön keskeisimpänä tavoitteena oli selvittää kirjallisuuden avulla, miten polyesteritekstiileistä pesun aikana irtoavien mikromuovien luontoon päätyvä määrä saataisiin minimoitua. Työssä tutkittiin polyesteritekstiilien ominaisuuksien sekä niiden pesussa käytettävien parametrien vaikutusta mikromuovin irtoamiseen. Lisäksi työssä tutkittiin eri talteenottovälineitä ja niiden tehokkuuksia mikromuovin keräämisessä pesun aikana.

Polyesteri on synteettinen polymeeri, jonka raaka-aineet saadaan yleensä raakaöljyn tislaustuotteista. Polyesterikuitu on eniten tuotettu tekstiilikuitu maailmassa ja sen suosion selittää sen muokattavuus ja loistavat yleisominaisuudet. Tekstiilisovelluksissa polyeteenitereftalaatti (PET) on yleisin polyesteri. Polyesterikuituja valmistetaan sulakehruulla, jonka jälkeen kuidut voidaan kehrätä langaksi yhtäjaksoisina filamenttikuituina tai määrämittaisina katkokuituina. Kehruun yksi tärkeimmistä tarkoituksista on antaa langalle kierrettä, jotta kuidut pysyvät yhdessä. Kangasta valmistetaan langasta kutomalla tai neulomalla.

Tutkimukset osoittavat, että kompakteista ja alhaisen karvaisuuden omaavista tekstiilirakenteista irtoaa vähiten mikromuovia. Tällaisia rakenteita ovat muun muassa kudotut kankaat sekä filamenttilangat, jotka ovat kierretty tiukasti. Mekaanisesti pintakäsitellyistä kankaista, kuten fleecestä, irtoaa huomattavasti enemmän mikromuovia pesun aikana pintakäsittelemättömiin kankaisiin verrattuna. Kierrätettyjen kuitujen vaikutuksesta irtoavan mikromuovin määrään on saatu ristiriitaisia tutkimustuloksia. Vesimäärän kasvattaminen lisää irtoavien mikromuovien määrää, jonka on epäilty olevan myös syy hienopesuohjelmien sekä päältä täytettävien pesukoneiden aiheuttamaan suurempaan kuituhäviöön. Lisäksi pesuaine kasvattaa irtoavien mikromuovien määrää. Sen sijaan matalampi pesulämpötila ja huuhteluaineen käyttö saattavat vähentää irtoavien mikromuovien määrää.

Työssä osoitettiin, että tekstiilien suunnittelulla ja pesuparametrien optimoinnilla voidaan vähentää polyesteritekstiileistä pesun aikana irtoavien mikromuovien määrää. Kuluttajat voivat vähentää jäteveteen päätyvien mikromuovien määrää myös yksinkertaisesti vähentämällä tekstiilien pesukertoja. Talteenottovälineiden, kuten pesupussien ja suodattimien, avulla voidaan lisäksi vähentää jäteveteen ja sitä kautta ympäristöön päätyvän mikromuovin määrää. Niiden käyttöä tulisi suosia etenkin ensimmäisillä pesukerroilla, kun tekstiileistä irtoaa eniten mikromuovikuituja. Lisää systemaattista tutkimusta kuitenkin vaaditaan, jotta tekstiiliteollisuutta sekä kuluttajia voidaan ohjata niin, että luontoon päätyvän mikromuovin määrä todella saadaan minimoitua.

Avainsanat: polyesteri, tekstiili, mikromuovi, mikromuovikuitu, pyykinpesu, peseminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty osana Tampereen yliopiston materiaalitekniikan tutkinto-ohjelmaa. Haluan kiittää ohjaajaani Ilari Jönkkäriä palautteesta ja hyvistä neuvoista, joita sain työni edetessä. Hän antoi minun viedä työtä siihen suuntaan mihin halusin ja osasi aina auttaa mieltä askarruttavissa asioissa. Motivoiva ohjaus ja syvä mielenkiinto aihetta kohtaan edesauttoivat minua saattamaan työn loppuun vaivatta. Kiitos kuuluu myös läheisilleni, jotka jaksoivat ainakin esittää kiinnostuneita työtäni kohtaan, ja jotka jatkuvasti tsemppasivat minua eteenpäin.

Tampereella, 13.4.2022

Heini Kivimäki

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. POLYESTERI TEKSTIILIMATERIAALINA 2
2.1 Tuotantomäärät ja ominaisuudet 2
2.2 Valmistusprosessi 3
2.3 Pesussa irtoava mikromuovi 6
3. TEKSTIILILAADUN VAIKUTUS MIKROMUOVIN IRTOAMISEEN PESUSSA 8
3.1 Kudostyyppi ja pinnanlaatu 8
3.2 Kuitujen pituus ja langan kierre 9
3.3 Neitseellinen ja kierrätetty kuitu 10
4. PESUPARAMETRIEN VAIKUTUS MIKROMUOVIN IRTOAMISEEN 12
4.1 Pesulämpötila, pesun kesto ja pesukonetyyppi 12
4.2 Pesukerrat ja veden määrä 13
4.3 Pesu- ja huuhteluaine 14
5. MIKROMUOVIN TALTEENOTTO PESUSSA 16
5.1 Pesupussit 16
5.2 Suodattimet 17
5.3 Cora Ball 19
6. YHTEENVETO 21
LÄHTEET 23

1. JOHDANTO

Mikromuovit määritellään usein muovipartikkeleiksi, jotka ovat läpimitaltaan alle 5 mm:n kokoisia. Mikromuovit koostuvat polymeerien ja lisäaineiden seoksista, eivätkä ne hajoa luonnossa tai hajoavat hyvin hitaasti. Mikromuovia syntyy suurten muovikappaleiden hajotessa tai kuluessa, mutta niitä valmistetaan myös tarkoituksellisesti esimerkiksi kuorinta-aineisiin. Ympäristöön päädyttyään mikromuovin poistaminen on käytännössä mahdotonta.

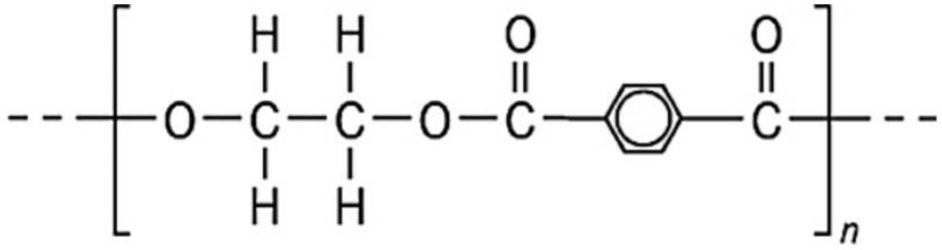
Synteettisiä tekstiilejä pidetään merkittävänä mikromuovikuitujen lähteenä. Tekstiileistä irtoaa pesussa suuria määriä mikromuovia, josta ne päätyvät jäteveden mukana jätevedenpuhdistamolle. Nykyiset jätevedenpuhdistamot ovat varsin tehokkaita mikromuovin poistamisessa, mutta hiukkasten pienet koot ja suuret määrät aiheuttavat, että valtavia määriä mikromuovia vapautuu vesistöihin päivittäin. Mikromuovisaastetta ja sen vaikutuksia vesistöjen ekosysteemeihin pidetään vakavana ympäristöongelmana. Vesistöjen eliöiden ruuansulatuksesta on löydetty mikromuovia, joka on aiheuttanut tulehduksia, tukoksia ja kuolemia. Myös ihmiset altistuvat ravintoketjun kautta mikromuovin vaaroille, vaikka niiden vaikutuksista ihmisten terveyteen tiedetään vielä hyvin vähän. Näistä syistä tekstiileistä irtoavan mikromuovin määrään vaikuttavia tekijöitä tulee tutkia, jotta mikromuovisaaste saataisiin minimoitua.

Tämän kirjallisuuskatsauksen keskeisimpänä tavoitteena on tutkia, mitkä tekijät vaikuttavat polyesterikuiduista valmistetun tekstiilin pesun aikana irtoavan mikromuovin määrään. Työssä tutkitaan tekstiilin ominaisuuksien sekä pesuparametrien vaikutusta mikromuovin irtoamiseen ja pohditaan, miten näitä modifioimalla voitaisiin minimoida ympäristöön päätyvän mikromuovin määrä. Lisäksi työn yhtenä tutkimuskysymyksenä on, miten jäteveteen päätyvän mikromuovin määrää saataisiin vähennettyä ottamalla mikromuovi talteen pesussa.

Luvussa 2 tarkastellaan polyesterikuitujen tuotantoa, ominaisuuksia sekä kyseisestä materiaalista valmistettujen tekstiilien valmistusprosessia. Lisäksi perehdytään polyesteritekstiileistä pesun aikana irtoavien mikromuovien määrään ja niiden aiheuttamiin ongelmiin. Luvuissa 3 ja 4 tarkastellaan polyesterista valmistettujen tekstiilien ominaisuuksien ja niiden pesussa käytettävien pesuparametrien vaikutusta irtoavien mikromuovin määrään. Luvussa 5 esitetään mahdollisia ratkaisuja mikromuovin talteenottoon pesussa. Lopuksi luku 6 kokoaa yhteen tutkimuksen keskeisimmät havainnot ja johtopäätökset.

2. POLYESTERI TEKSTIILIMATERIAALINA

Polyesteri (PES) koostuu suoraketjuisista makromolekyyleistä, joiden ketjussa on vähintään 85 painoprosenttia kahdenarvoisen alkoholin ja tereftaalihapon esteriä. Polyesteri on synteettinen polymeeri, jonka raaka-aineet saadaan yleensä raakaöljyn tislaustuotteista. Polyeteenitereftalaatti (PET) on yleisin tekstiileissä käytettävä polyesteri, jota valmistetaan tereftaalihaposta ja etyleeniglykolista. PET:n kemiallinen rakenne on esitetty kuvassa 1. Muita tekstiilikuitujen valmistukseen soveltuvia polyestereita ovat muun muassa polybuteenitereftalaatti (PBT) ja polytrimetyleenitereftalaatti (PTT), joita käytetään lähinnä matoissa niiden hyvien kimmoisuuksien vuoksi. [1, s. 74–77]

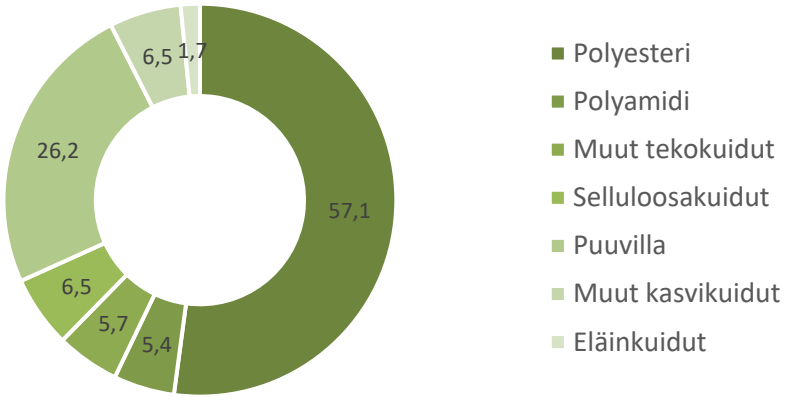


Kuva 1: *Polyeteenitereftalaatti (PET) on yleisin tekstiileissä käytettävä polyesteri, jonka kemiallinen kaava on* $(C_{10}H_8O_4)_n$*. Kuvassa on esitetty PET:n kemiallinen rakenne. [2, s. 217]*

Alaluvussa 2.1 tarkastellaan polyesterin tuotantoa ja kyseisestä kuidusta valmistettujen tekstiilien tärkeimpiä ominaisuuksia. Alaluvussa 2.2 käsitellään polyesterikuitujen, -lankojen sekä -tekstiilien valmistusta, ja alaluvussa 2.3 perehdytään pesun aikana tekstiileistä irtoavaan mikromuoviin.

2.1 Tuotantomäärät ja ominaisuudet

Polyesteri on eniten tuotettu tekstiilikuitu maailmassa. Polyesteriä tuotetaan eniten Kiinassa, ja maa tuottaa noin 75 % polyesterin kokonaistuotannosta. Muita merkittäviä tuottajamaita ovat Intia, Taiwan, Etelä-Korea sekä Yhdysvallat. [1, s. 74] Vuonna 2020 polyesterikuituja tuotettiin 57 miljoonaa tonnia, joka vastasi 52 % kuitujen kokonaistuotannosta [3]. Kuvassa 2 on esitetty eri kuitujen tuotantomäärät ja osuudet vuonna 2020. Kaavion luvut vastaavat miljoonaa tuotettua tonnia.



***Kuva 2**: Vuonna 2020 kuituja tuotettiin noin 109 miljoonaa tonnia. Kaaviossa on esitetty eri kuitujen tuotantomäärät [Mt] vuonna 2020. Polyesteriä valmistettiin 57,1 miljoonaa tonnia, joka vastaa 52 % kuitujen kokonaistuotannosta. Muokattu lähteestä [3, s. 9].*

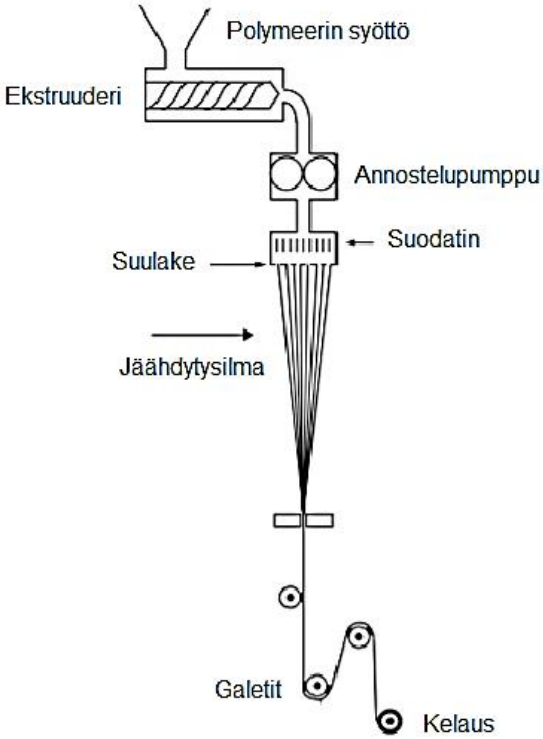
Polyesterin suosion selittää sen muokattavuus ja loistavat yleisominaisuudet. Polyesteri soveltuu niin vaatetus-, sisustus- kuin teknisiin tekstiileihin. Vaatetuskäytössä polyesterin käyttöä puoltaa kuidun helppohoitoisuus, rypistymättömyys, nopea kuivuvuus sekä helppo puhdistuvuus. [4, s. 303] Polyesteri soveltuu mainiosti urheilutekstiileihin sen hyvien kosteudensiirto- ja vedenpitävyysominaisuuksien vuoksi. Polyesteri on kestävä, kimmoisa ja omaa hyvän veto- ja hankauslujuuden. Lisäksi sillä on hyvät UV-valonkestoominaisuudet. Täten polyesteri soveltuu käytettäväksi myös verhoilukankaissa, matoissa sekä verhoissa. [1, s. 75–77]

2.2 Valmistusprosessi

Polyesterikuituja valmistetaan sulakehruulla. Sulakehruu soveltuu sulaville ja termisesti stabiileille polymeereille, jotka kestävät sulattamista ilman merkittävää hajoamista. [1, s. 69] Sulakehruuprosessi on havainnollistettu kuvassa 3.

Kehruu aloitetaan kuivattujen polymeerirakeiden syöttämisellä ja sulattamisella. Sulatus tapahtuu yleensä yksiruuvisella ekstruuderilla. Kehruulämpötila on normaalisti noin 20 °C korkeampi kuin polymeerin sulamislämpötila. PET-rakeet kehrätään 280–290 °C:n lämpötilassa. [5, s. 179] Sula polymeerimassa puristetaan suulakkeen läpi ja syntyvät säikeet jäähdytetään ilmalla [1, s. 69][6, s. 166]. Säikeet venytetään 60–90 °C:ssa eli lasisiirtymälämpötilan yläpuolella, jolloin kuitujen orientaatio kasvaa voimakkaasti ja kiteisyysaste kasvaa [5, s. 180]. Venytyksen määrä vaikuttaa suoraan kiteisyyden kautta kuidun lujuuteen ja venyvyyteen [1, s. 74–75]. Venytetyt PET-säikeet lämpökäsitellään,

jotta kiteisyys edelleen kasvaa ja rakenne stabiloituu myöhemmän käsittelyn ja käytön aikaista lämpökutistumaa vastaan [5, s. 180].



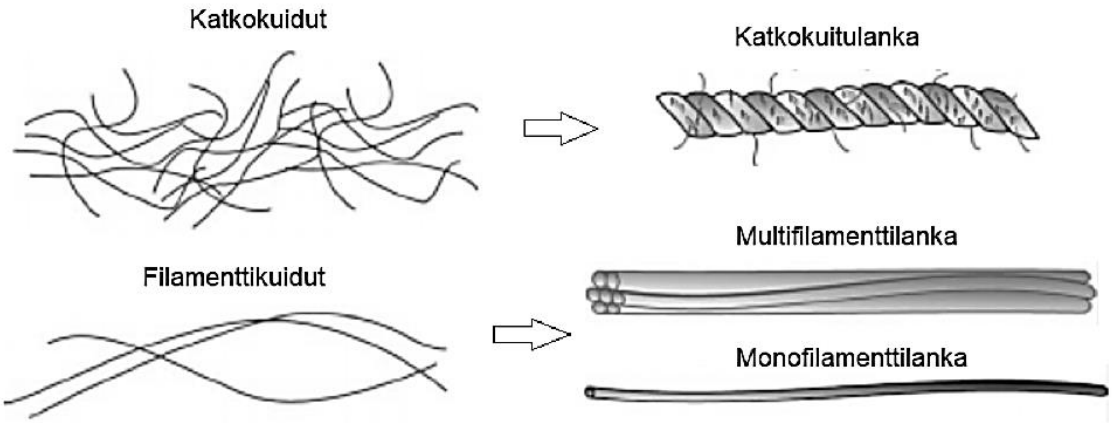
Kuva 3: *Sulakehruuprosessi, jolla valmistetaan polyesterikuitua. Sulakehruu aloitetaan polymeerirakeiden syöttämisellä ja sulattamisella, minkä jälkeen sula polymeerimassa puristetaan suulakkeen läpi ja syntyneet säikeet jäähdytetään ilmalla. Muokattu lähteestä [5, s. 147].*

Kuidun ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös moolimassaa muuttamalla ja lisäaineita lisäämällä [1, s. 74–75]. Sulakehruussa käytetään usein muun muassa antioksidantteja, joiden tarkoituksena on estää polymeerin hajoamista sulakehruuprosessin aikana lämpöhapettumisen seurauksena, sekä stabilisaattoreita, jotka pidentävät polymeerien käyttöikää estämällä esimerkiksi UV-säteilyn aiheuttamaa hajoamista. Väriaineita ja pigmenttejä käytetään haluttujen väriominaisuuksien antamiseen. Muita yleisiä lisäaineita ovat paloa hidastavat lisäaineet sekä pehmentimet. [7]

Polyesterikuidut voidaan valmistaa langaksi filamentteina eli yhtäjaksoisina kuituina tai katkokuituina [6, s. 159]. Ennen langanvalmistusta tai sen yhteydessä tulee kuidut teksturoida eli kihartaa. Tämä tehdään tekstiilien joustavuuden, pöyheyden ja paremman lämmöneristävyyden aikaansaamiseksi. Teksturoinnissa kuitujen fysikaalinen rakenne muuttuu pysyvästi ja niiden tilavuus kasvaa. Kuidut on mahdollista teksturoida valmistusprosessin eri vaiheissa. Filamenteista voidaan valmistaa lankaa, joka teksturoidaan, tai filamentit voidaan yhdistää touviksi ja filamenttitouvi teksturoidaan. Teksturoitua filamenttia voidaan käyttää filamenttilankana tai se voidaan leikata katkokuiduiksi. Katko-

kuidut voidaan mahdollisesti sekoittaa muiden kuitujen kanssa, minkä jälkeen ne kehrätään langaksi. Polyesteristä kehrätyt suorat filamentit voidaan myös leikata ja valmistaa niistä touvia, joka teksturoidaan. [1, s. 122]

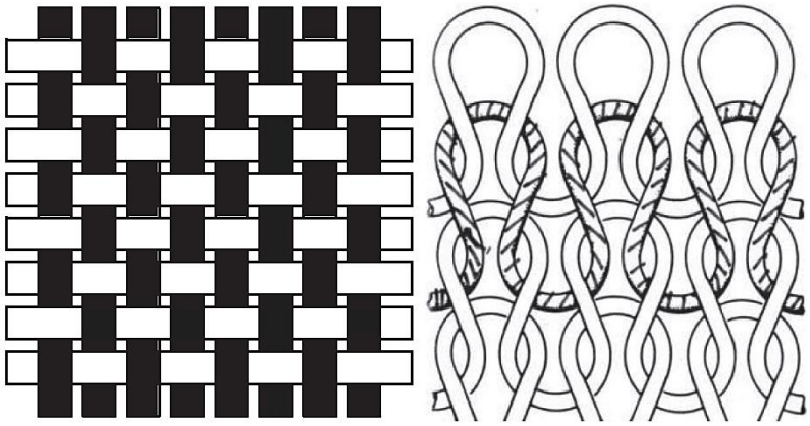
Lankaa eli tekstiilituotteiden raaka-ainetta valmistetaan kehräämällä yhteen määrämittaisia katkokuituja tai filamenttikuituja. Filamenttilankaa voidaan valmistaa monofilamentista tai multifilamentista. Tekstiilisovelluksissa yleisempiä ovat multifilamenttilangat, joissa langan muodostaa usean filamentin kimppu. [6, s. 164] Kehruun yksi tärkeimmistä tarkoituksista on antaa langalle kierrettä, jotta kuidut pysyvät yhdessä. Kierre on tärkeää erityisesti katkokuiduista valmistetuissa langoissa, mutta myös filamenttilangoille annetaan usein lievä kierre pitämään yksittäisiä säikeitä yhdessä. Kuvassa 4 on havainnollistettu katko- ja filamenttikuitujen sekä niistä valmistettujen lankojen rakenteen eroavuuksia. Yksinkertaisia lankasäikeitä kertaamalla voidaan valmistaa kerrattua lankaa. Kertauksen tavoitteena on antaa langalle lisää lujuutta ja paksuutta. [1, s. 106]



Kuva 4: *Lankaa voidaan valmistaa kehräämällä yhteen lyhyitä katkokuituja tai yhtäjaksoisia filamenttikuituja. Multifilamenttilangat koostuvat useista filamenteista, kun taas monofilamenttilanka ainoastaan yhdestä. Katkokuitulangoille on tärkeää antaa kierrettä, jotta kuidut pysyvät yhdessä. Muokattu lähteestä [8].*

Kuiduista tai langoista valmistettua tasomaista tekstiilituotetta kutsutaan kankaaksi. Suoraan kuiduista valmistettuja kankaita ovat kuitukankaat sekä huovat. Kuitukankaita valmistetaan yhdistämällä kuituja mekaanisin, termisin tai kemiallisin menetelmin tai näiden yhdistelmin. PET-huovat valmistetaan neulaamalla. [1, s. 174] Langasta kangasrakenteita voidaan valmistaa kutomalla tai neulomalla lankoja yhteen. Kudotut kankaat muodostuvat loimesta ja kuteesta, jotka ovat toisiinsa nähden kohtisuorassa olevia lankoja ja jotka risteilevät toistensa yli ja ali. Lankoja voidaan yhdistää toisiinsa eri tiheyksillä vaikuttaen suoraan tekstiilin tiheyteen. Neulos sen sijaan koostuu yhdestä langasta, joka

muodostaa toisiinsa sitoutuvia silmukoita. [1, s. 132] Kuvassa 5 on esitetty esimerkki kudos- sekä neulosrakenteesta.



Kuva 5: *Palttina (vas.) on yksinkertaisin kudottujen kankaiden sidos, jossa loimilanka kulkee vuorotellen yhden kudelangan päältä ja yhden kudelangan alta. Kudeneulos (oik.) muodostuu langan toisiinsa sitoutuvista silmukoista. Muokattu lähteestä [9, s. 144, 198].*

Kankaat voidaan mekaanisesti viimeistellä useilla eri tavoilla. Loppukäsittelyiden tarkoituksena on antaa kankaalle haluttuja lisäominaisuuksia, esimerkiksi tuotteen pinnan ulkonäön tai tunnun muuttamiseksi. Fleeceä valmistetaan neulottua polyesterikangasta voimakkaasti nukkaamalla. Nukitus on tekstiiliprosessi, jossa kankaan pinnasta nostetaan kuidunpäitä pystyyn erilaisia harjoja ja piikkejä käyttäen. [1, s. 213] Kangas syötetään pyörivien sylinterien läpi, jolloin kankaalle saadaan pehmeä ja samettinen ulkonäkö [10]. Nukitetun kankaan pinta viimeistellään leikkaamalla, jotta nukkapinta saadaan tasaisesti yhtä pitkäksi. [1, s. 213]

Tekstiilejä voidaan valmistaa myös kierrätetystä polyesterista. Polyesterille soveltuvat mekaaninen, terminen ja kemiallinen kierrätys. Mekaanisessa kierrätyksessä tekstiili avataan takaisin kuiduiksi ja katkokuidut käytetään uusien tekstiilien valmistukseen. Termisessä kierrätyksessä kiinteä polyesterimateriaali rouhitaan ja sulatyöstetään granulaateiksi, jotka sitten sulakehrätään tekstiilikuiduksi. Suurin osa kierrätetystä polyesterikuidusta on valmistettu sulakehräämällä PET-pulloista saatu polymeeri tekstiilikuiduksi. Kemiallisessa kierrätyksessä polymeeriketju pilkotaan kemiallisten reaktioiden avulla molekyyleiksi, jotka voidaan polymeroida täysin uuden veroiseksi polymeeriksi. [11]

2.3 Pesussa irtoava mikromuovi

Synteettisistä tekstiileistä on osoitettu irtoavan useita mikromuovihiukkasia pesun aikana. On ennustettu, että Suomessa kotitalouksien pesukoneiden polyesterikuitujen vuotuinen päästö on noin 150 000 kg [12]. Yleisimmin mikromuovit määritellään muovipartikkeleiksi, joiden dimensiot ovat alle viisi millimetriä [13]. Kuitenkaan vakiintunutta

määritelmää mikromuovien koolle ei ole. Jotkin tutkimukset ovat käyttäneet mikromuovien yläkokorajana yhtä tai jopa kymmentä millimetriä, kun taas jotkut suosivat termiä ”makromuovi” käsitellessään yli yhden millimetrin kokoisia muovihiukkasia.

Mikromuovit voidaan myös jaotella niiden alkuperän mukaan primäärisiin ja sekundäärisiin mikromuoveihin. Primääriset mikromuovit ovat usein määritelty erinäisiin tarkoituksiin tarkoituksella valmistetuiksi hiukkasiksi. Tämän määritelmän mukaan tekstiileistä irtoavat mikrokuidut ovat sekundäärisiä mikromuoveja, joka tarkoittaa sitä, että ne ovat syntyneet suurten muovihiukkasten hajoamisen seurauksena. [14] Synteettisistä tekstiileistä irtoaa pesussa mikromuovia kemiallisen ja mekaanisen rasituksen myötä. Mekaanista rasitusta aiheuttaa tekstiilien hakkautuminen toisiaan sekä pesukoneen seinämiä vasten. Kemiallista ärsytystä vastaavasti aiheuttaa pesussa käytetty pesuaine. [15]

Tutkimusten mukaan polyesterista, akryylista ja polyamidista valmistetuista tekstiileistä irtoaa pesun aikana eniten mikromuovikuituja [14]. Polyesterista valmistetusta vaatekappaleesta voi irrota yli 1900 mikromuovikuitua yhden pesukerran aikana [13][14]. Pesussa irtoavat mikromuovit päätyvät jätevedenpuhdistamolle, jossa jopa 99 % niistä saadaan otettua talteen [16][17]. Vaikka nykyiset jätevedenpuhdistamot ovat tehokkaita mikromuovin talteenotossa, jopa miljardeja muovikuituja vapautuu päivittäin jätevesien kautta vesistöihin. Tämä johtuu sisäänvirtauksessa olevien mikromuovipartikkelien pienestä koosta ja suuresta pitoisuudesta. [14] Lisäksi joissain maissa, joissa infrastruktuuri on heikompi, suurinta osaa jätevedestä ei kerätä tai käsitellä [18].

Ympäristöön päätyessään mikromuovit voivat aiheuttaa monenlaisia ongelmia, vaikkakaan mikromuovin ympäristövaikutukset eivät ole täysin selvillä. Mikromuovit ovat luonnossa biohajoamattomia. Vesistöissä elävien eliöiden ruuansulatuksesta on löydetty mikromuovipartikkeleita, joiden on osoitettu aiheuttavan muun muassa organismien lisääntymiskyvyn ja kasvun heikkenemistä. Tukkeumat ruuansulatuskanavassa ja valheellinen kylläisyyden tunne ovat aiheuttaneet ravinnon puutteesta johtuvia kuolemia. [19] Mikromuovia päätyy myös ihmisten elimistöön ravintoketjun kautta, jolloin niiden sisältämät polymeerit ja lisäaineet voivat vahingoittaa soluja sekä aiheuttaa tulehdus- ja immuunireaktioita [20]. Tämän takia jäteveteen ja sitä kautta ympäristöön päätyvän mikromuovin määrä tulee minimoida.

3. TEKSTIILILAADUN VAIKUTUS MIKROMUOVIN IRTOAMISEEN PESUSSA

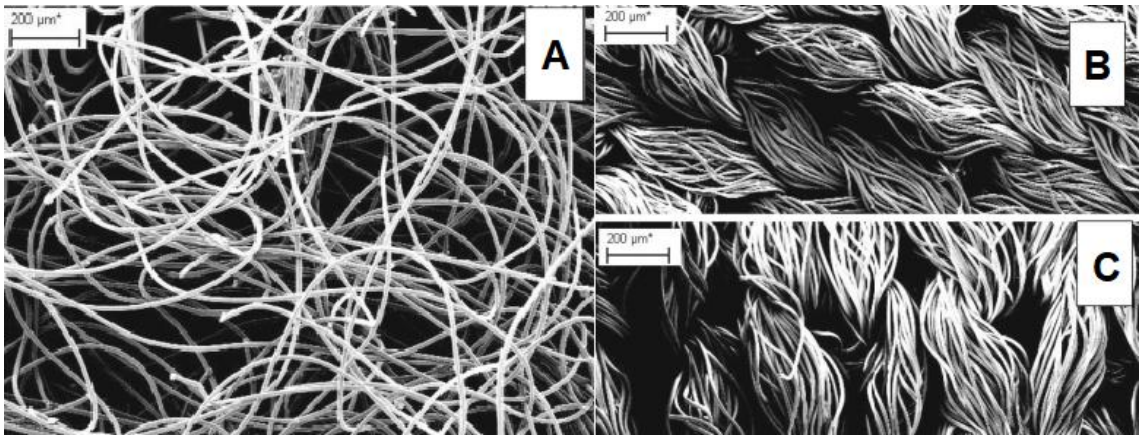
Tässä luvussa tarkastellaan polyesterista valmistettujen tekstiilien ominaisuuksien vaikutusta pesussa irtoavan mikromuovin määrään. Alaluvussa 3.1 tutkitaan tekstiilien kudostyypin ja pinnanlaadun vaikutusta irtoavaan mikromuoviin. Alaluvussa 3.2 pohditaan kuitujen pituuden ja langan kierteen merkitystä edellä mainittuun ongelmaan. Alaluku 3.3 vastaavasti keskittyy vertailemaan kierrätettyjä ja neitseellisiä kuituja pesussa irtoavan mikromuovin määrän näkökulmasta. Valmistuksen aikaisten kemiallisten prosessien, kuten valkaisun ja värjäyksen on oletettu myös vaikuttavan kuitujen irtoamiseen [15]. Kyseisten prosessien tarkkaa vaikutusta tekstiileistä pesun aikana irtoavaan mikromuoviin ei kuitenkaan ole tutkittu. Tutkimusta myös kaivataan tekstiilikuiduissa käytetyn polyesterin tyypin ja lisäaineiden vaikutuksista mikromuovin irtoamiseen pesussa.

3.1 Kudostyyppi ja pinnanlaatu

On todettu, että neulotuista polyesteritekstiileistä irtoaa enemmän mikromuovikuituja pesun aikana kudottuihin tekstiileihin verrattuna. Tämä johtuu neulosten löysemmästä rakenteesta. Kudotuissa kankaissa on tiheämpi lankakoostumus, sillä kangas koostuu kahdesta risteävästä lankajärjestelmästä yhden sijaan (kuva 5). Kankaan tiivis rakenne pitää kuiduista tiukemmin kiinni, jonka myötä kuituja vapautuu vähemmän pesuprosessin aikana. [21] Sen sijaan neulottujen kankaiden tapauksessa on havaittu, että mitä tiheämmin neulottu rakenne on, sitä enemmän mikromuovikuituja irtoaa. Tämän on ajateltu johtuvan siitä, että samalla kankaan alueella on enemmän kuituja, mikä johtaa suurempaan kuituhäviöön. [10]

Almroth et al. [10] havaitsivat tutkimuksessaan, että polyesterista valmistetusta fleecekankaasta irtosi pesussa keskimäärin 1210 kuitua 100 cm^2 kangasta kohden. Vastaavasti muista polyesterista neulotuista tekstiileistä havaittiin irtoavan vain keskimäärin 9 kuitua 100 cm^2 kangasta kohden. Myös Brownen et al. [22] laatimassa tutkimuksessa havaittiin, että fleecen pesuvesi sisälsi 180 % enemmän mikromuovikuituja muiden polyesteritekstiilien pesuveteen verrattuna. Fleecestä on siis huomattu irtoavan huomattavasti suurempi määrä mikromuovikuituja pesun aikana verrattuna muihin polyesterista valmistettuihin kangasrakenteisiin.

Tämä fleecestä pesun aikana irtoavien mikromuovikuitujen suuremman määrän oletetaan johtuvan kyseisen kankaan valmistuksen yhteydessä tapahtuvasta pinnan harjaamisesta ja leikkaamisesta. Cai et al. [23] havaitsivat tutkimuksessaan, että polyesteritekstiileistä, joissa oli mekaanisesti käsitelty pinta, vapautui merkittävästi enemmän mikromuovikuituja käsittelemättömän pinnan omaaviin tekstiileihin verrattuna. Tutkimuksessa tutkitut mekaanisesti käsitellyt pinnat oli valmistettu leikkaamalla kankaan pintaa terällä tai harjalla. Tutkijat totesivat pintakäsittelyiden aiheuttavan useita löysästi sotkeutuneita irtonaisia kuituja, mutta myös löysentävän sekä langan että pinnan rakennetta. Näiden yhdessä epäiltiin lisäävän mikromuovikuitujen vapautumista tekstiilirakenteesta.



Kuva 6: *Pyyhkäisyelektronimikroskooppi (SEM) kuvat polyesterista valmistetun fleecehuovan (A) sekä teknisten t-paitojen (B ja C) pinnoista. Muokattu lähteestä [12].*

Kuvassa 6 on esitetty vertailun vuoksi pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) otetut kuvat polyesterista valmistetun fleecehuovan sekä kahden teknisen t-paidan pinnasta. Kuvasta nähdään, että fleecen mekaanisesti käsitelty pinta on karvaisempia kuin t-paitojen käsittelemättömät pinnat. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseisessä kankaassa on enemmän vapaita ja löysiä kuituja, jotka ulkonevat langasta ja kankaan pinnasta. Nämä ulkonevat kuidut altistuvat lisääntyneelle pintakitkalle ja nyppyyntymiselle pesussa, joka myös selittää, minkä takia mekaanisesti käsitellyistä kankaista, kuten fleecestä, irtoaa merkittäviä määriä mikromuovikuituja jokaisella pesukerralla. [24] Tekstiilin pinnan laadulla on siis suuri merkitys pesun aikana irtoavien mikromuovikuitujen määrään.

3.2 Kuitujen pituus ja langan kierre

Lanka voi koostua lyhyistä määrämittaisista katkokuiduista tai jatkuvista filamenteista. Polyesterista valmistetuista katkokuitulangoista on osoitettu pesun aikana irtoavan enemmän mikromuovikuituja filamenttilankoihin verrattuna [10][21][25]. On havaittu, että

lyhyistä katkokuiduista valmistetuilla langoilla on suurempi karvaisuus kuin jatkuvista filamenteista valmistetuissa langoissa (kuva 4). Langan karvaisuus määritellään päälangan ytimestä työntyvien pienten kuitujen määrän mukaan. Katkokuitujen lyhyt pituus yhdessä lankojen karvaisuuden kanssa on ajateltu aiheuttavan, että kuidut irtoavat helpommin rakenteesta. [21][25] Myös Zambrano et al. [24] toteavat, että korkea karvaisuus lisää langan ja kankaiden pintakitkaa ja nyppyyntymistä, ja näin ollen lisää mikrokuitujen irtoamista pesun aikana.

Langan kierre vastaavasti määritellään kierrosten lukumääränä langan yksikköpituudella. Tekstiileissä käytettyjen lankojen kierteen on havaittu vaikuttavan pesun aikana irtoavien mikromuovien määrään. Tiukemmin kierretyistä langoista onkin todettu irtoavan vähemmän kuituja löysemmin kierrettyihin lankoihin verrattuna. [10][21] De Falco et al. [21] käyttivät tutkimuksessaan neljää erilaista polyesterista valmistettua tekstiiliä, joista jokaisessa käytettyä lankaa oli kierretty eri verran. Tutkimuksessa huomattiin, alhaisen kierteen omaavista langoista irtosi eniten mikromuovia ja määrä väheni kierteen lisääntyessä. Tämän on todettu johtuvan siitä, että kierteen vähentäminen tekee langan heikommaksi ja helpottaa kuitujen ulostuloa lankarakenteesta [1, s. 108].

3.3 Neitseellinen ja kierrätetty kuitu

Kierrättämällä ja hyödyntämällä kierrätettyjä tekstiilikuituja voidaan vähentää energiakustannuksia ja raaka-aineiden käyttömääriä. Tekstiilien kierrättäminen tarjoaakin lukuisia ympäristöystävällisiä ja taloudellisia etuja. Eräässä tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että kierrätetyistä kuiduista valmistetuista tekstiileistä irtosi enemmän mikromuovikuituja, kun määrää verrattiin neitseellisistä kuiduista valmistettuihin tekstiileihin. Tutkimuksen kierrätetyt kuidut olivat valmistettu PET-pulloista termisesti kierrättämällä. Tutkimuksessa saatiin tulokseksi, että kierrätetyistä PET-kuiduista valmistetusta neulekankaasta irtosi lähes 2,3 kertaa enemmän mikromuovikuituja kuin neitseellisestä PET-kankaasta.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että kierrätetyistä kuiduista valmistetusta kankaasta vapautuneiden mikrokuitujen pituus oli merkittävästi lyhyempi kuin neitseellisten näytteiden. Tutkimus siis osoitti, että kierrätetyt kuidut hajoavat pienemmiksi mikromuovikuiduiksi kuin neitseelliset kuidut. Kyseisessä tutkimuksessa todettiin tämän johtuvan siitä, että keskimääräinen molekyylimassa ja molekyyliketjun pituus pienenee kierrätysprosessissa lämpöaltistuksen ja leikkaushajoamisen seurauksena. Nämä rakenteelliset muutokset aiheuttavat kierrätettyjen kuitujen murtovenymän ja -lujuuden alenemisen,

jonka seurauksena kyseisiä kuituja vapautuu enemmän ja pienemmän kokoisina pesuveteen. [25]

Eräässä toisessa tutkimuksessa saatiin kuitenkin täysin päinvastainen tulos. Kyseisessä tutkimuksessa tutkittiin kolmea polyesterista neulottua paitaa, joissa oli keskenään eri prosenttiosuudet neitseellistä ja kierrätettyä polyesteria. Tutkimuksen kierrätetyt polyesterikuidut olivat niin ikään termisesti kierrätettyjä. Tutkimuksessa havaittiin, että paidasta, joka sisälsi 70 % kierrätettyä polyesteria, irtosi huomattavasti vähemmän mikromuovikuituja pesussa verrattuna paitaan, joka sisälsi 40 % kierrätettyä polyesteria. Kyseisestä paidasta irtosi myös vähemmän kuituja täysin neitseellisistä kuiduista valmistettuun paitaan verrattuna, vaikkakaan suurta eroa näiden välillä ei havaittu.

Tutkijat totesivat tuloksen olleen odottamaton, sillä kierrätetyillä polyesterikuiduilla on usein pienempi murtolujuus ja kierrätetyillä langoilla suurempi karvaisuus kuin neitseellisillä langoilla. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että paidasta, joka sisälsi 70 % kierrätettyä polyesteria, irtosi pesussa pidempiä kuituja kahteen muuhun paitaan verrattuna. Tämän ajateltiin johtuvan kierrätettyjen polyesterikuitujen suuremmasta murtovenymästä, joka on saattanut sallia kierrätettyjen kuitujen venymisen, mutta estänyt niitä katkeamasta ja näin ollen vähentänyt myös kuitujen irtoamista. [26]

4. PESUPARAMETRIEN VAIKUTUS MIKROMUOVIN IRTOAMISEEN

Tekstiilimateriaalin ja sen ominaisuuksien lisäksi myös pesuparametrit vaikuttavat oleellisesti tekstiileistä irtoavan mikromuovin määrään. Tässä luvussa keskitytään tutkimaan juuri pesuparametrejä sekä niiden vaikutusta mikromuovin irtoamiseen. Alaluvussa 4.1 käsitellään pesulämpötilan, pesun keston ja pesukonetyypin vaikutusta irtoavien mikromuovien määrään. Alaluvussa 4.2 tutkitaan pesukertojen ja veden määrän vaikutusta sekä alaluvussa 4.3 tarkastellaan pesu- ja huuhteluaineiden merkitystä mikromuovien irtoamiseen.

4.1 Pesulämpötila, pesun kesto ja pesukonetyyppi

Hernandez et al. [15] tutkivat lämpötilan vaikutusta polyesteritekstiilistä pesun aikana irtovan mikromuovin määrään. Tutkimuksessa tekstiilit pestiin sekä pelkällä vedellä että nestemäisen pesuaineen kanssa. Tutkimuksessa havaittiin, että tekstiilistä pesussa irtoavan mikromuovin määrä ei juurikaan muuttunut lämpötilan vaihdellessa 25–80 °C:n välillä. Myös muut tutkimukset ovat tulleet siihen tulokseen, että lämpötilan nostaminen ei merkittävästi kasvata polyesteritekstiileistä irtoavan mikromuovin määrää [24][27]. Sen sijaan De Falcon et al. [18] laatiman tutkimuksen mukaan korkeampi pesulämpötila lisää polyesteritekstiilistä vapautuvan mikromuovin määrää. Tutkimuksessa käytettiin nestemäistä pesuainetta ja tuloksena saatiin, että 60 °C:ssa irtosi noin 500 kuitua enemmän kangasgrammaa kohden kuin 40 °C:ssa. Tutkimuksen mukaan korkeampi lämpötila saattaa lisätä emäksisen pesuaineen aiheuttamaa polyesterikankaiden pintahydrolyysiä ja näin ollen irrottaa enemmän mikromuovia. Tästä syystä juuri lämpötilan nousun vaikutus irtovan mikromuovin määrään tutkimuksessa ei ole täysin selvä.

Pesun keston vaikutusta tekstiileistä irtoavan mikromuovin määrään on myös tutkittu. Hernandez et al. [15] pesivät polyesterista neulottua paitaa 1, 2, 4 ja 8 tuntia. Tutkimustuloksena saatiin, että pesujakson keston pidentäminen ei merkittävästi muuta vapautuvien kuitujen määrää. De Falcon et al. [18] mukaan 90 minuutin pesussa irtosi hieman enemmän kuituja kuin 45 minuutin pesussa, mutta merkittävää eroa irronneiden mikrokuitujen määrässä ei ollut. Lisäksi tutkimuksessa todettiin, että veden kovuus lisää polyesteritekstiileistä irtoavien mikromuovikuitujen määrää. Tämän oletettiin johtuvan siitä, että kova vesi nopeuttaa kankaan kulumista.

Pesukoneita on saatavilla sekä edestä että päältä täytettäviä malleja. Päältä täytettävien pesukoneiden on osoitettu irrottavan jopa seitsemän kertaa enemmän mikromuovia kuin edestä täytettävän. Tutkimuksessa polyesterista valmistetusta fleecestä irtosi keskimäärin edessä täytettävässä pesukoneessa 220 mg mikromuovia, kun vastaava luku päältä täytettävällä pesukoneella oli 1906 mg. Tämän voi selittää se, että päältä täytettävien pesukoneiden keskussekoitin on mekaanisesti hankaavampi vaatteille verrattuna edestä täytettävän pesukoneen pyörivään rumpuun. [28] Uudemman tutkimuksen mukaan eron on ehdotettu johtuvat siitä, että päältä täytettävät pesukoneet käyttävät huomattavasti enemmän vettä edestä täytettäviin koneisiin verrattuna [29].

4.2 Pesukerrat ja veden määrä

Tutkimukset ovat yhtä mieltä siitä, että polyesteritekstiilistä irtoaa ensimmäisellä pesukerralla eniten mikromuovia ja määrä laskee peräkkäisten pesujen aikana [27][29][30][31]. Sillanpää ja Sainio [31] tutkivat polyesterista valmistettua T-paitaa ja saivat tulokseksi, että irronneiden kuitujen massa laski kymmenesosaan viiden pesukerran jälkeen verrattuna ensimmäiseen pesukertaan. Pircin et al. [30] tutkimuksessa polyesterista valmistetusta huovasta irtoavien kuitujen massa laski vastaavasti kymmenesosaan kuuden pesusyklin jälkeen. Tutkimuksessa huomattiin myös, että kymmenen pesukerran jälkeen massa tasoittui 0,00108 painoprosentin tasolle, kun pesuainetta tai huuhteluainetta ei käytetty.

Napper ja Thompson [27] pesivät polyesterista valmistetun hupullisen puseron viisi kertaa ja määrittivät, että ensimmäisellä pesukerralla mikromuovikuituja irtosi 2,79 mg ja viidennellä pesukerralla 1,63 mg. Myös Kellyn et al. [29] tutkimuksessa, irtoavien kuitujen massa oli huomattavasti matalampi neljän pesusyklin jälkeen verrattuna ensimmäiseen pesukertaan. Ensimmäisen pesukerran aikana irtoavan suuren mikromuovimäärän on oletettu johtuvan tekstiilien valmistuksen yhteydessä syntyneiden irtonaisten kuitujen vapautumisesta [29].

Vesimäärän kasvattamisen on todettu johtavan polyesteritekstiileistä irronneiden mikromuovikuitujen määrän lisääntymiseen [29][32]. Vesimäärän lisääntyminen johtaa kuitua ympäröivän veden viskositeetin aiheuttaman kuituun kohdistuvan voiman lisääntymiseen, mikä rajoittaa kankaan vapaata liikkumista nesteen sisällä. Vedellä on tilaa tunkeutua kankaan läpi, ja jokainen yksittäinen kuitu kokee suuria viskoosisia voimia, jotka voivat irrottaa mikromuovikuituja tekstiilin rakenteesta. Suurempi vesimäärä lisää myös kankaan pinnan ja pesuaineliuoksen välistä vuorovaikutusta, mikä lisää mikromuovikuitujen irtoamista. [32]

Hienopesuohjelmat ovat tarkoitettu herkkien materiaalien pesemiseen ja ne sisältävät vähemmän mekaanista käsittelyä tavallisiin pesuohjelmiin verrattuna. Hienopesuohjelmat käyttävät kuitenkin tyypillisesti suuren määrän vettä ja täten irrottavat tekstiileistä runsaasti enemmän mikromuovia kuin tavalliset, vähemmän vettä käyttävät pesuohjelmat. Kankaan ja veden suhde on siis keskeinen tekstiileistä pesun aikana irtoavan mikromuovin määrään vaikuttava tekijä. Pesemällä kokonaisia koneellisia eli pienentämällä veden ja kankaan välistä suhdetta, voidaan vähentää tekstiileistä irtoavien mikromuovien määrää. [29]

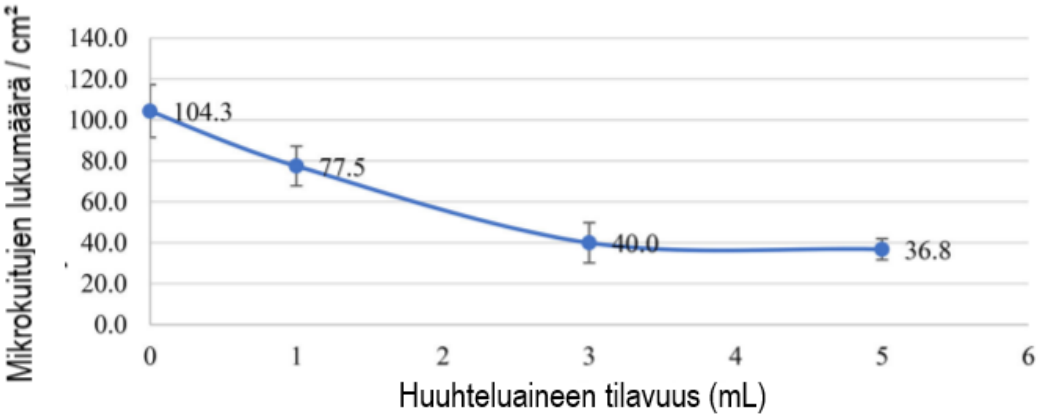
4.3 Pesu- ja huuhteluaine

Pesuaineiden kerrotaan lisäävän polyesteritekstiileistä pesun aikana irtoavan mikromuovin määrää, kun määrää verrataan pelkällä vedellä pesemiseen [10][15][18]. Tämän on ajateltu johtuvan pesuaineen kyvystä vähentää veden pintajännitystä, mikä parantaa kuitujen kostumista ja näin ollen edistää kuitujen irtoamista [10]. De Falcon et al. [18] suorittamassa tutkimuksessa neulotusta polyesteritekstiilistä irtosi ilman pesuainetta 162 ± 52 mikromuovia kangasgrammaa kohden. Kun pesussa käytettiin nestemäistä pesuainetta, mikromuoveja irtosi 1273 ± 177 ja jauhemaista pesuainetta käytettäessä 3538 ± 664. Jauhemainen pesuaine irrottaa siis tutkimuksen mukaan enemmän mikromuovia nestemäiseen pesuaineeseen verrattuna.

Pesujauheen aiheuttama suurempi mikromuovin vapautuminen nestemäiseen pesuaineeseen verrattuna voitaisiin selittää jauheen sisältämien epäorgaanisten veteen liukenemattomien yhdisteiden avulla, jotka voivat aiheuttaa kitkaa kankaiden kanssa. Lisäksi jauheen korkeampi pH-arvo voi liittyä vapautuvien mikrokuitujen määrän kasvuun, sillä alkalipohjaisten pesuaineiden on todistettu aiheuttavan kemiallisia vaurioita polyesteritekstiileille hitaan pintahydrolyysin keinoin. [18] Toisaalta Hernandezin et al. [15] mukaan nestemäisen ja jauhemaisen pesuaineen välillä ei havaita suurta eroa polyesteritekstiilistä pesussa irtoavan mikromuovin määrään. Tutkimuksessa myös todettiin, että pesuaineen yliannostaminen ei vapauttanut suurempaa määrää mikromuovikuituja. Tutkimuksen mukaan pesuaineen määrä ei siis merkittävästi vaikuta mikromuovin irtoamiseen.

Huuhteluaineen vaikutuksesta pesussa irtoavan mikromuovin määrään on saatu ristiriitaisia tutkimustuloksia. Lantin et al. [33] laatiman tutkimuksen mukaan huuhteluaineen käytöllä ei ole vaikutusta polyesterista valmistetun tekstiilin pesun aikana irtoavaan mikromuoviin. Myös Pircin et al. [30] sekä Napperin ja Thompsonin [27] mukaan huuhteluaineiden vaikutus mikromuovin irtoamiseen on suhteellisen pieni. Toisaalta De Falcon et

al. [18] arvion mukaan huuhteluaineen käyttö polyesterikankaiden pesun aikana voi vähentää mikromuovien vapautumista yli 35 %. Tutkimuksen mukaan tämän voi selittää huuhteluaineen kyvyllä vähentää kuitujen välistä kitkaa, ja näin ollen myös kuituja vahingoittavia ja rikkovia ilmiöitä.



Kuva 7: *Polyesteritekstiilistä irtoavien mikromuovikuitujen lukumäärä neliösenttimetriä kangasta kohden huuhteluaineen tilavuuden funktiona. Muokattu lähteestä [32].*

Myös Rathinamoorthyn ja Balasaraswathin [32] laatiman tutkimuksen mukaan huuhteluaine vähentää polyesteritekstiileistä pesun aikana irtoavan mikromuovin määrää. Kuvassa 7 on esitetty tutkimuksen tulokset, jossa on irtoavien mikromuovikuitujen lukumäärä neliösenttimetrillä kangasta huuhteluaineen tilavuuden funktiona. Kyseisestä kuvasta huomataan, että ilman huuhteluainetta mikrokuituja irtosi noin 104,3 neliösenttimetriä kangasta kohden. Kun pesuun lisättiin 5 ml huuhteluainetta, vastaava luku oli noin 36,8.

5. MIKROMUOVIN TALTEENOTTO PESUSSA

Tekstiilien pesussa irtoavan mikromuovin keräämiseen ja jäteveteen päätyvän mikromuovin minimoimiseen on suunniteltu useita erilaisia välineitä. Markkinoilta löytyy tuotteita, jotka ovat tarkoitettu käytettäväksi tekstiilien kanssa pyykinpesukoneessa sekä erilaisia poistoputkeen asennettavia ulkoisia suodattimia. [34] Tässä luvussa käsitellään mikromuovin talteenottoon tarkoitettuja tuotteita sekä niiden tehokkuutta. Alaluvussa 5.1 tutkitaan pesupusseja, alaluvussa 5.2 ulkoisia suodattimia ja alaluvussa 5.3 Cora Ball nimistä pesupalloa.

5.1 Pesupussit

Pesupussi on verkkomainen vetoketjullinen pussi, jonka sisälle tekstiilit voidaan laittaa pesun ajaksi. Pesun jälkeen pussiin kerääntyneet kuidut poistetaan käsin ja hävitetään. Tässä alaluvussa tutustutaan Guppyfriend ja Fourth Element nimisiin pesupusseihin ja niiden mikromuovin pyyntitehokkuuksiin. Molemmat pesupussit ovat valmistettu polyamidista ja molempien pussien huokoskoko on 50 µm [35].

Napper et al. [34] tutkivat mikromuovin talteenottoon suunniteltuja laitteita ja niiden tehokkuuksia. Tutkimuksessa pesty koneellinen sisälsi kolme vaatetta, jotka olivat valmistettu polyesterista, akryylista sekä 60 % polyesterista ja 40 % puuvillasta. Sekakoneellisen tarkoituksena oli edustaa paremmin tyypillistä kotitalouden pyykkikoneellista. Tutkimuksen perusteella Guppyfriend pesupussi onnistui vähentämään jäteveteen joutuvien mikromuovikuitujen määrää 54 ± 14 %. Kärkkäinen ja Sillanpää [12] tutkivat myös Guppyfriend pesupussin tehokkuutta pesemällä polyesterista valmistetun teknisen urheilupaidan. He tekivät kolme rinnakkaiskoetta ja havaitsivat, että kyseisen pesupussin avulla tekstiileistä irronneita polyesterikuituja päätyi jäteveteen 39 % vähemmän. Tutkimuksessa huomautetaan, että harvaan neulottujen, pidempiä kuituja vapauttavien tekstiilien pyyntitehokkuus on todennäköisesti korkeampi kuin kyseisessä tutkimuksessa tutkituilla tiiviisti neulotuilla tekstiileillä.

Lisäksi Napper et al. [34] tutkivat Fourth Element nimistä pesupussia. Tutkittu pesupussi oli prototyyppi, ja siten ei vielä saatavilla markkinoilla. Kyseinen pesupussi vähensi tutkimuksessa jäteveteen päätyvän mikromuovin määrää 21 ± 9 %. Vaikka Guppyfriend ja Fourth Element pesupusseilla on samanlainen huokoskoko, huokosten muodot ovat erilaiset, minkä oletettiin selittävän tehokkuuserot kyseisten pussien välillä.

5.2 Suodattimet

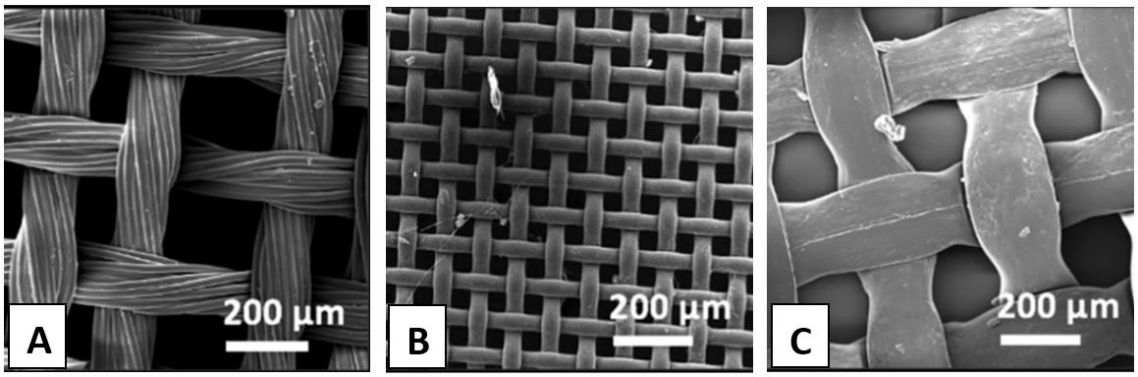
Pesukoneen poistoputkeen voidaan asentaa ulkoinen suodatin, joka suodattaa pesuveden kuitujen keräämiseksi ennen kuitujen joutumista viemäriverkostoon. Markkinoilla on saatavilla muutamia erilaisia mikromuovin keräämiseen tarkoitettuja suodattamia. Tässä alaluvussa tarkastellaan Lint LUV-R, XFiltra ja PlanetCare nimisiä suodattimia ja niiden tehokkuutta mikromuovien talteenotossa. Kuvassa 8 on esitetty kyseiset suodattimet.

Kuva 8: *Lint LUV-R (A), XFiltra (B) ja PlanetCare (C) suodattimet, jotka ovat suunniteltu ottamaan talteen tekstiileistä irtoavaa mikromuovia pesuvedestä. Muokattu lähteistä [36]–[38].*

Lint LUV-R suodattimessa on ruostumattomasta teräksestä valmistettu verkko, jossa on huokoskooltaan 285 µm ja 175 µm kokoisia reikiä [39]. Kuvassa 9 on esitetty pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) otetut kuvat ulkoisten suodattimien suodatinverkoista ja niiden huokoskoista. Valmistajan mukaan Lint LUV-R suodattimen toiminta on dynaamista eli kun suodatin kerää nukkaa, sen toiminta tehostuu. Valmistaja suosittelee suodattimen puhdistamista 10–15 pesukerran jälkeen. [36] McIlwraith et al. [39] tutkivat Lint LUV-R suodattimen tehokkuutta. He havaitsivat, että suodatin vähensi polyesterista valmistetusta fleecestä irtoavien mikromuovikuitujen määrää jätevedessä 87 %. Kyseinen suodatin vähensi myös jäteveteen päätyvien kuitujen kokonaispainoa 80 %.

Sen sijaan, Napper et al. [34] eivät todenneet tutkimuksessaan Lint LUV-R suodatinta yhtä tehokkaaksi. He saivat tulokseksi, että kyseinen suodatin vähensi mikrokuitujen määrää noin 29 ± 15 %. Erot tutkimustulosten välillä saattavat johtua tutkimusten erilai-

sesta metodologiasta. McIlwraith et al. [39] käyttivät tutkimuksessaan polyesterista valmistettuja fleece huopia ja Napper et al. [34] pesivät sekakoneellisen, joka sisälsi kolmesta eri materiaalista valmistettuja vaatteita. Fleece kankaiden on osoitettu irrottavan runsaasti mikromuovikuituja [10][22][30][31]. Napper et al. [34] käyttivät tutkimuksessaan edestä täytettävää pesukonetta ja McIlwraith et al. [39] vastaavasti päältä täytettävää. Päältä täytettävien pesukoneiden on raportoitu irrottavan enemmän mikromuovikuituja edestä täytettäviin koneisiin verrattuna [28].



Kuva 9: *Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) otetut kuvat mikromuovikuitujen talteenottoon suunniteltujen suodattimien suodatinverkkojen huokoskoosta. Kuvissa Lint LUV-R (A), XFiltra (B) ja PlanetCare (C). Muokattu lähteestä [34].*

XFiltra suodattimen valmistaja, Xeros, väittää kyseisen suodattimen ottavan talteen yli 90 % synteettisistä tekstiileistä pesun aikana irtoavista mikromuovikuiduista [37]. Napperin et al. [34] suorittaman tutkimuksen mukaan, XFiltra oli kolmesta ulkoisesta suodattimesta tehokkain. He saivat tulokseksi, että kyseinen suodatin keräsi 78 ± 5 % jokaisen pesukerran aikana vapautuneista mikromuovikuiduista. XFiltra suodattimen tehokkuuden selittää ensinnäkin sen suodatinverkossa olevien reikien pieni 60 µm huokoskoko (kuva 9). Laitteessa on myös sähkömoottorin avulla toimiva keskipakoerotin, joka helpottaa pesuveden virtausta suodatinverkon läpi. Laite myös poistaa veden suodatetuista kuiduista, mikä tekee kuitujen poistamisesta ja hävittämisestä helpompaa. [34]

PlanetCare suodattimen suodatinverkon huokoskoko on 200 µm (kuva 9). Valmistajan mukaan kyseinen suodatin tulisi lähettää takaisin valmistajalle kuitujen keräämistä ja suodattimien kierrättämistä varten 15–20 pesukerran jälkeen. Kuluttajalta ei siis vaadita mikromuovikuitujen poistamista suodattimesta, toisin kuin Lint LUV-R ja XFiltra suodattimien tapauksessa. Valmistaja väittää, että suodatin pystyy ottamaan talteen 90 % pesun aikana tekstiileistä irtoavista mikromuoveista. [38] Napperin et al. [34] laatiman tutkimuksen mukaan PlanetCare suodatin otti talteen pesussa kuitenkin vain 25 ± 20 % irtoavista mikromuoveista.

Kaikki kolme tutkittua ulkoista suodatinta vähensivät jäteveteen päätyvien mikromuovien määrää. Tutkimusten perusteella XFiltra suodatin oli tehokkain ottamaan talteen tekstiileistä pesun aikana irtoavia mikromuovikuituja. Tutkimustuloksista huomataan, että suodattimien suodatinverkon huokoskoko on yhteydessä pyyntitehokkuuteen. Mitä pienempi huokoskoko, sitä enemmän mikromuovia saadaan otettua talteen.

5.3 Cora Ball

Cora Ball on kierrätetystä muovista valmistettu pesupallo, joka on tarkoitettu käytettäväksi tekstiilien kanssa pesukoneessa. Pallon halkaisija on 13 cm ja pallossa olevat varret ja varsien päädyissä olevat koukut pyrkivät keräämään tekstiileistä irtoavia mikrokuituja. Samalla pallo pyrkii alkujaan estämään mikrokuitujen irtoamisen tekstiileistä. Pallon suunnittelu on saanut inspiraatiota koralliriuttojen suodatusjärjestelmästä. Pesun jälkeen tekstiileistä irronneet ja palloon kerääntyneet kuidut poistetaan käsin. [40] Cora Ball on nähtävillä kuvassa 10.

Kuva 10: *Cora Ball on suunniteltu keräämään tekstiileistä irtoavaa mikromuovia pyykinpesukoneessa [41].*

Napper et al. [34] tutkivat, kuinka tehokkaasti Cora Ball onnistuu vähentämään pesun aikana tekstiileistä jäteveteen päätyvien mikromuovikuitujen määrää. Tutkimuksessa pesty koneellinen sisälsi kolme eri materiaalista valmistettua vaatetta. Tutkimuksen mukaan Cora Ball vähensi jäteveteen päätyvien kuitujen määrää 31 %. McIlwraith et al. [39] tutkivat myös Cora Ballin tehokkuutta. He pesivät polyesterista valmistetun fleece huovan neljä kertaa ilman Cora Ballia ja neljä kertaa sen kanssa. Kun pesussa käytettiin Cora Ballia, litra jätevettä sisälsi keskimäärin 3580 kuitua. Vastaava luku ilman Cora Ballia oli 4800. Cora Ball vähensi siis jäteveteen päätyvien kuitujen määrää keskimäärin 26 %. Tutkimuksessa kuitenkin huomattiin, että Cora Ballin avulla mikromuovikuitujen massa väheni ainoastaan 5 %.

Kärkkäinen ja Sillanpää [12] eivät tutkimuksessaan todenneet Cora Ballia yhtä tehokkaaksi. He saivat tulokseksi, että Cora Ball vähensi polyesterista valmistetusta teknisestä urheilupaidasta jäteveteen päätyvien mikrokuitujen määrää 10 %. Tutkimustuloksien eroavaisuudet voidaan selittää tutkittujen kuitujen eri pituuksilla, sillä Cora Ballin pyyntiteho kasvaa kuitujen koon kasvaessa [12]. Tutkimustulokset siis riippuvat voimakkaasti tutkituista tekstiileistä irtoavien kuitujen koosta.

Cora Ballin on siis osoitettu vähentävän mikromuovikuitujen irtoamista ja pääsyä jäteveteen. Cora Ball on helppokäyttöinen ja se ei vaadi asentamista, mutta kuitujen hävittäminen jää kuluttajan vastuulle. Täten sen puhdistamiselle ja kuitujen hävittämiselle tulisi löytyä pakkauksesta selkeät ohjeet. Valmistaja myös huomauttaa, että Cora Ballia ei suositella käytettäväksi herkkien kankaiden, neuleiden tai tupsullisten vaatteiden kanssa, sillä pallo voi vahingoittaa vaatteita [40]. Kaiken kaikkiaan Cora Ball on yksi mahdollinen ratkaisu kuitujen talteenotolle ja mikromuovipäästöjen vähentämiselle.

6. YHTEENVETO

Tämä kandidaatintyö keskittyi tutkimaan polyesteritekstiileistä pesun aikana irtoaviin mikromuoveihin vaikuttavia tekijöitä. Työn tavoitteena oli selvittää, miten tekstiilien ominaisuuksia ja niiden pesussa käytettäviä parametreja modifioimalla saataisiin minimoitua ympäristöön päätyvän mikromuovin määrä. Lisäksi työssä tutkittiin mikromuovien talteenottoon tarkoitettuja välineitä ja niiden tehokkuuksia jäteveteen päätyvän mikromuovin keräämisessä.

Tekstiilirakenteiden järkevämpi suunnittelu, pesuparametrien optimoiminen ja tehokkaampien talteenottovälineiden käyttö kotitalouksien pesukoneissa mahdollisesti vähentäisivät mikromuovikuitujen päätymistä jäteveteen ja sitä kautta ympäristöön. Tekstiilit tulisi suunnitella siten, että niistä vapautuisi mikromuovikuituja mahdollisimman vähän. Tutkimuksista havaittiin, että tekstiilirakenteissa tulisi suosia kompakteja ja alhaisen karvaisuuden omaavia rakenteita, kuten kudottuja kankaita ja filamenttilankoja, jotka ovat kierretty tiukasti. Neulottuja kankaita, katkokuitulankoja sekä mekaanisesti pintakäsiteltyjä kankaita, kuten fleeceä, tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää, sillä niistä on todettu irtoavan merkittäviä määriä mikromuovikuituja.

Tekstiilien valmistajien lisäksi myös kuluttajat voivat vaikuttaa käsillä olevaan mikromuovihaasteeseen. Jokainen kuluttaja voi vähentää jäteveteen päätyvien mikromuovien määrää yksinkertaisesti vähentämällä tekstiilien pesukertoja. Myös suuria vesimääriä käyttäviä pesuohjelmia kuten hienopesuohjelmia tulisi välttää, sillä kankaan ja veden suhteen on todettu olevan merkittävä mikromuovien irtoamiseen vaikuttava tekijä. Samasta syystä kuluttajien tulisi suosia täysinäisiä koneellisia ja edestä täytettäviä pesukoneita. Pesuissa tulisi käyttää matalampaa pesulämpötilaa ja suosia nestemäistä pesuainetta jauhemaisen sijaan, sillä näilläkin on joissain tutkimuksissa todettu olevan vaikutusta irtoaviin mikromuoveihin.

Tekstiilit voitaisiin pestä kontrolloidusti ennen myyntiä, sillä ensimmäisen pesun aikana on osoitettu vapautuvan eniten mikromuovikuituja. Tällöin ensimmäisen pesun aikana vapautuneet mikrokuidut saataisiin otettua talteen ja kotitalouksien pesukoneista jäteveteen ja sitä kautta ympäristöön päätyvän mikromuovin määrää saataisiin vähennettyä. Myös kuluttajien käyttöön tarkoitetut talteenottovälineet ovat osoittaneet vähentävän jäteveteen päätyvän mikromuovin määrää, joten niiden käyttöä tulisi suosia etenkin juuri ensimmäisillä pesukerroilla.

Vaikka mikromuoveja pidetään vakavana ympäristöongelmana, tiedetään niiden todellisista vaikutuksista ja lähteistä vielä varsin vähän. Synteettisiä tekstiilejä pidetään merkittävänä mikromuovien lähteenä, mutta lisää tutkimusta asian tiimoilta vaaditaan. Tutkimusta kaivataan esimerkiksi tekstiilien valmistuksen aikaisen värjäyksen sekä tekstiilikuiduissa käytetyn polyesterin tyypin ja lisäaineiden vaikutuksista mikromuovin irtoamiseen pesussa.

Tässä kirjallisuusselvityksessä tuli ilmi, että monista polyesteritekstiilien ominaisuuksista ja niiden pesussa käytettävistä parametreista on saatu ristiriitaisia tutkimustuloksia. Esimerkiksi huuhteluaineen ja kierrätettyjen kuitujen vaikutuksesta irtoavien mikromuovien määrään on saatu eriäviä tuloksia. Kierrätettyjen kuitujen käyttö tekstiilisovelluksissa tulee todennäköisesti lisääntymään tulevaisuudessa, joten niiden vaikutus mikromuovien irtoamiseen olisi oleellista selvittää. Jotta tekstiiliteollisuutta ja kuluttajia saadaan ohjattua niin, että luontoon päätyvän mikromuovin määrä saadaan minimoitua, tuleekin systemaattisesti tutkia miten eri tekijät vaikuttavat tekstiileistä pesun aikana irtoavien mikromuovien määrään.

LÄHTEET

[1] R. Räisänen, M. Rissanen, E. Parviainen, H. Suonsilta, *Tekstiilien materiaalit*. Helsinki: Oy Finn Lectura Ab, 2017.

[2] C. Bonten, *Plastics Technology - Introduction and Fundamentals*. Hanser Publishers, 2019. Viitattu: 18. helmikuuta 2022. [Verkossa]. Saatavissa: https://app-knovel-com.libproxy.tuni.fi/kn/resources/kpPTIF0003/toc?b-q=pet%20polyethylene%20terephthalate&include_synonyms=no&issue_id=kt012377J2&hierarchy=undefined

[3] ”Preferred Fiber & Materials - Market Report 2021”. Textile Exchange, 2021. Viitattu: 6. helmikuuta 2022. [Verkossa]. Saatavissa: https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2021/08/Textile-Exchange_Preferred-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf

[4] I. Boncamper, *Tekstiilioppi: kuituraaka-aineet*. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 2011.

[5] R. R. Mather, R. H. Wardman, *The chemistry of textile fibres*. Royal Society of Chemistry, 2015. Viitattu: 18. helmikuuta 2022. [Verkossa]. Saatavissa: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UMFBA1/chemistry-textile-fibres/classification-textile

[6] R. Sinclair, *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*. Cambridge: Elsevier Science & Technology, 2014. Viitattu: 11. helmikuuta 2022. [Verkossa]. Saatavissa: http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=1838431

[7] R. Hufenus, Y. Yan, M. Dauner, T. Kikutani, ”Melt-Spun Fibers for Textile Applications”, *Materials*, vol. 13, no. 19, p. 4298, 2020, doi: 10.3390/ma13194298.

[8] K. Jost, G. Dion, Y. Gogotsi, ”Textile energy storage in perspective”, *J Mater Chem A*, vsk. 2, 2014, doi: 10.1039/C4TA00203B.

[9] T. Cassidy, P. Goswami, *Textile and clothing design technology*. CRC Press, 2018. doi: 10.1201/9781315156163.

[10] B. M. Carney Almroth, L. Åström, S. Roslund, H. Petersson, M. Johansson, N.-K. Persson, ”Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 2, pp. 1191–1199, 2018, doi: 10.1007/s11356-017-0528-7.

[11] T. Kamppuri, P. Heikkilä, M. Pitkänen, E. Saarimäki, K. Cura, J. Zitting, et al. *Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2019.

[12] N. Kärkkäinen, M. Sillanpää, ”Quantification of different microplastic fibres discharged from textiles in machine wash and tumble drying”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 13, pp. 16253–16263, 2021, doi: 10.1007/s11356-020-11988-2.

[13] F. Salvador Cesa, A. Turra, J. Baruque-Ramos, ”Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic

washings", *Sci. Total Environ.*, vol. 598, pp. 1116–1129, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.172.

[14] S. Acharya, S. S. Rumi, Y. Hu, N. Abidi, "Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: A review", *Text. Res. J.*, vol. 91, no. 17–18, pp. 2136–2156, 2021, doi: 10.1177/0040517521991244.

[15] E. Hernandez, B. Nowack, D. M. Mitrano, "Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 12, pp. 7036–7046, 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b01750.

[16] S. A. Carr, J. Liu, A. G. Tesoro, "Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants", *Water Res. Oxf.*, vol. 91, pp. 174–182, 2016, doi: 10.1016/j.watres.2016.01.002.

[17] J. Talvitie, A. Mikola, O. Setälä, M. Heinonen, A. Koistinen, "How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant", *Water Res. Oxf.*, vol. 109, pp. 164–172, 2017, doi: 10.1016/j.watres.2016.11.046.

[18] F. De Falco, M. P. Gullo, G. Gentile, E. Di Pace, M. Cocca, L. Gelabert, et al. "Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics", *Environ. Pollut.*, vol. 236, pp. 916–925, 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2017.10.057.

[19] A. A. Horton, A. Walton, D. J. Spurgeon, E. Lahive, C. Svendsen, "Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities", *Sci. Total Environ.*, vol. 586, pp. 127–141, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.190.

[20] A. D. Vethaak ja J. Legler, "Microplastics and human health", *Sci. Am. Assoc. Adv. Sci.*, vol. 371, no. 6530, pp. 672–674, 2021, doi: 10.1126/science.abe5041.

[21] F. De Falco, M. Cocca, M. Avella, R. C. Thompson, "Microfiber Release to Water, Via Laundering, and to Air, via Everyday Use: A Comparison between Polyester Clothing with Differing Textile Parameters", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 54, no. 6, pp. 3288–3296, 2020, doi: 10.1021/acs.est.9b06892.

[22] M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, et al. "Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 21, pp. 9175–9179, 2011, doi: 10.1021/es201811s.

[23] Y. Cai, T. Yang, D. M. Mitrano, M. Heuberger, R. Hufenus, B. Nowack, "Systematic Study of Microplastic Fiber Release from 12 Different Polyester Textiles during Washing", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 54, no. 8, pp. 4847–4855, 2020, doi: 10.1021/acs.est.9b07395.

[24] M. C. Zambrano, J. J. Pawlak, J. Daystar, M. Ankeny, J. J. Cheng, R. A. Venditti, "Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 142, pp. 394–407, 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.02.062.

[25] İ. Özkan, S. Gündoğdu, "Investigation on the microfiber release under controlled washings from the knitted fabrics produced by recycled and virgin polyester yarns",

J. Text. Inst., vol. 112, no. 2, pp. 264–272, 2021, doi: 10.1080/00405000.2020.1741760.

[26] H. Frost, M. C. Zambrano, K. Leonas, J. J. Pawlak, R. A. Venditti, ”Do Recycled Cotton or Polyester Fibers Influence the Shedding Propensity of Fabrics During Laundering?”, *AATCC J. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 32–41, 2020, doi: 10.14504/ajr.7.S1.4.

[27] I. E. Napper, R. C. Thompson, ”Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 112, no. 1–2, pp. 39–45, 2016, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.09.025.

[28] N. L. Hartline, N. J. Bruce, S. N. Karba, E. O. Ruff, S. U. Sonar, P. A. Holden, ”Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 21, pp. 11532–11538, 2016, doi: 10.1021/acs.est.6b03045.

[29] M. R. Kelly, N. J. Lant, M. Kurr, J. G. Burgess, ”Importance of Water-Volume on the Release of Microplastic Fibers from Laundry”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 20, pp. 11735–11744, 2019, doi: 10.1021/acs.est.9b03022.

[30] U. Pirc, M. Vidmar, A. Mozer, A. Kržan, ”Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 23, no. 21, pp. 22206–22211, 2016, doi: 10.1007/s11356-016-7703-0.

[31] M. Sillanpää, P. Sainio, ”Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 23, pp. 19313–19321, 2017, doi: 10.1007/s11356-017-9621-1.

[32] R. Rathinamoorthy, S. Raja Balasaraswathi, ”Investigations on the impact of handwash and laundry softener on microfiber shedding from polyester textiles”, *J. Text. Inst.*, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1080/00405000.2021.1929709.

[33] N. J. Lant, A. S. Hayward, M. M. D. Peththawadu, K. J. Sheridan, J. R. Dean, ”Microfiber release from real soiled consumer laundry and the impact of fabric care products and washing conditions”, *PLOS ONE*, vol. 15, no. 6, pp. 1–18, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0233332.

[34] I. E. Napper, A. C. Barrett, R. C. Thompson, ”The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing”, *Sci. Total Environ.*, vol. 738, pp. 140412–140412, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140412.

[35] R. Ramasamy, R. B. Subramanian, ”Synthetic textile and microfiber pollution: a review on mitigation strategies”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 31, pp. 41596–41611, 2021, doi: 10.1007/s11356-021-14763-z.

[36] ”LINT LUV-R”. Saatavissa: https://environmentalenhancements.com/store/index.php/products/products-lint-filter (viitattu 1. maaliskuuta 2022).

[37] Xeros, ”XFiltra™ Rated Best Microfibre Filter For Laundry”. Saatavissa: https://www.xerostech.com/updates/xfiltra-rated-best-microfibre-filter-for-laundry (viitattu 2. maaliskuuta 2022).

[38] ”PlanetCare | The Most Effective Solution To Stop Microfiber Pollution”, *PlanetCare*. Saatavissa: https://planetcare.org/ (viitattu 2. maaliskuuta 2022).

[39] H. K. McIlwraith, J. Lin, L. M. Erdle, N. Mallos, M. L. Diamond, C. M. Rochman, ”Capturing microfibers – marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 139, pp. 40–45, 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.12.012.

[40] ”GETTING STARTED”, *Cora Ball*. Saatavissa: https://www.coraball.com/pages/getting-started (viitattu 3. helmikuuta 2022).

[41] ”Cora Ball Microfiber Laundry Ball | Shop Sustainably with @shopEarthHero!”, *EarthHero*. Saatavissa: https://admin.earthhero.com/products/home/cora-ball-microfiber-laundry-ball/ (viitattu 3. helmikuuta 2022).