

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

**SELVITYS NESTEPAKKAUSKARTONGIN
VALMISTUKSEN MIKROMUOVILÄHTEISTÄ**
**Research of microplastic sources for the manufacturing of
bleached liquid packaging board**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: Laboratorioinsinööri, TkL Simo Hammo

Lappeenrannassa 16.2.2019

Jenni Partti

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden Teknillinen Yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Jenni Partti

Selvitys nestepakkauskartongin valmistuksen mikromuovilähteistä

Kandidaatintyö

2019

32 sivua, 15 kuvaa, 3 taulukkoa ja 1 liite

Työn tarkastaja: Professori TkT Risto Soukka
Työn ohjaaja: Laboratorioinsinööri TkL Simo Hammo

Hakusanat: mikromuovi, mikromuovilähteet, kemiallinen metsäteollisuus
Keywords: mikroplastic, microplastic sources, chemical forest industry

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tunnistaa mahdollisia mikromuovien lähteitä nestepakkauskartongin valmistuksen prosessikierroissa. Valmistuksessa keskitytään tarkastelemaan neljää eri osaprosessia, jotka ovat puun käsitteleminen, CTMP-massan ja sellun valmistaminen sekä kartongin valmistus kartonkikoneella. Muovikomponenttien lisäksi tutkittiin, ovatko muovikomponentit primäärisiä mikromuovilähteitä vai syntykö muovikomponenteista sekundäärisiä mikromuoveja prosesseista tai prosessista riippumattomista syistä johtuen. Muovikomponentti luokiteltiin mahdolliseksi mikromuovilähteeksi, mikäli se on osana vesikiertojärjestelmää sekä se on alttiina kulutukselle. Kaikki tunnistetut mikromuovilähteet luokiteltiin sekundäärisiksi mikromuovilähteiksi. Merkittävästi eniten mahdollisia mikromuovilähteitä tunnistettiin kartonkikoneella. Puun käsittelyssä sekä sellun ja CTMP-massan valmistuksessa ei mahdollisia mikromuovilähteitä tunnistettu yhtä laajasti. Jatkotoimenpiteiksi esitetään tutkimuksien jatkamista.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
2	MIKROMUOVIT	6
2.1	Mikromuovien ominaisuudet	6
2.2	Mikromuovien lähteet ja kulkeutumisreitit	7
2.3	Mikromuovin käyttäytyminen vesiympäristössä	9
2.4	Mikromuovin vaikutukset vesiympäristössä.....	11
3	NESTEPAKKAUSKARTONGIN VALMISTUS	13
3.1	Nestepakkauskartongin valmistusprosessi	14
3.2	Nestepakkauskartongin valmistuksen vesijärjestelmät	17
3.3	Nestepakkauskartongin valmistuksen massan lajittelu- ja puhdistusjärjestelmät ..	18
4	NESTEPAKKAUSKARTONGIN VALMISTUKSEN MAHDOLLISTEN MIKROMUOVILÄHTEIDEN TUNNISTAMINEN.....	20
4.1	Puunkäsittely	21
4.2	Sellun ja CTMP-massan valmistaminen	23
4.3	Kartonkikone	24
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Maailman muovin tuotanto kasvaa jatkuvasti. PlasticsEuropen (2017) mukaan vuonna 2016 maailmassa tuotettiin muovia 335 miljoonaa tonnia. Tuotannon on arvioitu jopa kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä (PlasticsEurope, 2017). Muovi on korvaamaton materiaali lukuisiin käyttökohteisiin ja materiaalin monipuolisuutensa vuoksi sen käyttö lisääntyy jatkuvasti. Muovituotteiden yleisyys yhdistettynä niiden kestävyys on tehnyt yhden huolestuttavimmista uhista vesiekosysteemeille. Suurikokoisesta muovijätteestä koituvat ongelmat ovat saaneet huomiota jo monien vuosikymmenien ajan, kun taas pienikokoisempi muovirooska, eli mikromuovi, on huomattu ympäristölle haitalliseksi viime vuosina.

Setälä et al. (2017) mukaan meriympäristön mikromuovien lähteet ja kulkeutumisreitit ovat periaatteen tasolla tiedossa. Kuitenkin tarkempi tutkimustieto eri toimijoiden ja tuotantosektoreiden välillä ovat laskennallisia, eikä se perustu mitattuihin havaintoihin (Setälä et al., 2017). Teollisuuden omien puhdistamojen jätevedet voivat olla merkittävä mikromuovilähde, koska laki ei velvoita seuraamaan mikromuoveja, vaan ympäristöluvut koskevat jätevesien osalta lähinnä myrkky- ja ravinnepäästöjä. Mikromuovien päästölähteiden, kulkeutumisreittien ja esiintymisalueiden tutkiminen on tärkeää, jotta vaikutus- ja riskiarviointia sekä mahdollisia päästövähennyskeinoja on mahdollista suorittaa.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää potentiaalisia mikromuovien lähteitä neste-pakkauskartongin valmistuksen prosessikierroissa. Kandidaatintyön tutkimuskysymykset ovat seuraavat: mitä muoviosia eri tuotantoprosesseista on ja missä ne sijaitsevat? Mikäli prosessissa mikromuovien syntyminen on mahdollista, niin päätyykö mahdollinen mikromuovi metsäteollisuuden jätevesiin? Selvitys rajataan koskemaan Suomessa tällä hetkellä toimivien kemiallisen puunjalostusteollisuuden tuotantolaitoksia. Prosessien tarkastelussa ei oteta huomioon tuotantoon läheisesti liittyviä ja tehdasalueella tapahtuvia toimintoja kuten veden valmistusta, energiantuotantoa tai jäteliemen talteenottoa. Myöskään tuotantoprosessien ulkopuolisia valmistuksen vaiheita kuten kuljetuksia ja puunkorjuuta ei tarkastella. Työ toteutetaan käyttäen kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimusmenetelmiä. Tutkimusmenetel-

minä käytetään kirjallisuuskatsausta sekä asiantuntijahaastattelua, joiden avulla voidaan vastata tutkimuskysymyksiin. Kirjallisuuskatsauksella selvitetään erilaiset mikromuovin syntymiseen vaikuttavat tekijät ja nestepakkauskartongin valmistuksen tuotantoprosessin eri vaiheet. Asiantuntijahaastattelun avulla vastataan kandidaatintyön tutkimuskysymyksiin.

Teoriaosassa selvitetään mikromuovien ominaisuuksia ja mikromuovien syntymiseen vaikuttavia tekijöitä. Tämän jälkeen tarkastellaan nestepakkauskartongin valmistuksen eri vaiheita sekä prosessien kiertovesijärjestelmiä ja syntyviä jätevesiä. Empiirisessä osassa tutkimuskysymyksiä tarkastellaan asiantuntijahaastattelun avulla. Asiantuntijahaastattelussa neljälle eri metsäteollisuuden asiantuntijalle esitetään tutkimuskysymyksiin perustuvia kysymyksiä, joiden tarkoituksena on syventää kirjallisuuskatsauksella löytynyttä tutkimustietoa. Lopussa analysoidaan saatuja vastauksia ja metsäteollisuuden mahdollisuutta mikromuovien potentiaalisena lähteenä.

2 MIKROMUOVIT

Mikromuovien kokorajoista ei ole vielä olemassa kansainvälisesti hyväksyttyä määritelmää, mutta 5 mm:n yläraja on voimakas tuki tieteelliselle yhteisölle ilman määriteltyä alarajaa. Kuitenkin teollisuuden muovipelletit katetaan mikromuoveihin kuuluvaksi, vaikka ne voivat joskus olla hieman yli 5 mm (GESAMP, 2015.) Alaraja on määritelty tutkimuskohtaisesti ja käytettävän näytteenottolaitteen avulla (Eliasson et al., 2017, 12). Muodon mukaan mikromuovit luokitellaan eri tavoilla, kuten levyt, kalvot, viivat, kuidut, fragmentit, pelletit ja vaahto. Erilaisia mikromuoveja esitetään kuvassa 1. Luokittelulle ei kuitenkaan ole asetettu protokollaa, ja eri tutkijat voivat käyttää erilaisia luokituksia. (Wu et al. 2018.)



Kuva 1. Muodon mukaan luokiteltuja mikromuoveja, joista a) levy, b) kalvo, c) viiva, d) fragmentti e) muovipelletti, f) vaahto

2.1 Mikromuovien ominaisuudet

Muovilla tarkoitetaan ihmisten valmistamia synteettisiä polymeerejä, jotka on prosessoitu fossiilista polttoaineista, mutta biomassaa voidaan käyttää myös raaka-aineena. Polymeerit ovat suuria orgaanisia molekyyliä, jotka koostuvat toistuvista hiilipohjaisista yksiköistä tai ketjuista, jotka esiintyvät luonnollisesti ja joita voidaan syntetisoida. Polymeereihin, jotka pehmenevät lämmittäessä ja niitä voidaan muokata, kuuluvat sekä puhtaat muovipelletit että muovipelletit sekoitettuna lukuisilla lisäaineilla materiaalin suorituskyvyn parantamiseksi.

(GESAMP 2015.) Yleisempiä muovien lisäaineita esitetään taulukossa 1. Näitä lisäaineita käytetään materiaalien ominaisuuksien säätämiseen ja niiden sovittamiseksi käyttötarkoitukseensa. Siksi polymeeriluokitusten sisällä muovimateriaalit voivat edelleen erota rakenteellisesti ja suorituskyvyltään riippuen niissä käytettyjen lisäaineiden tyypistä ja määrästä. Eri tyyppisillä polymeereillä on laaja valikoima ominaisuuksia, mikä vaikuttaa niiden käyttäytymiseen ympäristössä. Teollisuudessa käytettävät muovit sisältävät lähes aina erilaisia lisäaineita, joita ovat täyte- lujite- ja apuaineet. (Lambert & Wagner, 2018.)

Taulukko 1. Valikoiva luettelo lisäaineista, joita käytetään muovien sovittamiseksi käyttötarkoitukseensa (Lambert & Wagner, 2018)

Lisäaine	Tehtävä
Pehmentimet	Lisää muovin joustavuutta
Palonsuoja-aineet	Vähentää syttyvyyttä
Prosessoinnin apuaineet	Yhdistää polymeeriketjuja
Antioksidantit ja stabilointiaineet	Lisää muovin kestävyttä hidastamalla nopeutta, jolla happi, lämpö ja UV-säteily heikentävät materiaalia
Herkistäjät	Lisää hajoamisnopeutta
Pinta-aktiiviset aineet	Käytetään pinnan ominaisuuksien muuttamiseen, jotta emulsio onnistuu normaalisti yhteensopimattomien aineiden kanssa
Epäorgaaniset täyteaineet	Materiaalin vahvistus iskunkestävyyden parantamiseksi
Väriaineet	Värin takia

2.2 Mikromuovien lähteet ja kulkeutumisreitit

Mikromuovit voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin mikromuoveihin, mikä esitetään taulukossa 2. Primäärisillä mikromuoveilla tarkoitetaan alun perin tiettyyn tarkoitukseen valmistettuja tai sellaisenaan käytettäviä mikromuoveja (Eliasson et al. 2017). Tärkeä primääristen muovien ryhmä on muovin valmistuksen raaka-aineina käytettävät pelletit. Primäärisiä muovipartikkeleita käytetään myös hankausaineina lukuisissa sovelluksissa, kuten

kosmetiikassa, puhdistusaineissa, ilmanpuhallusvälineissä sekä 3D-tulostuksen ja teollisuuden muovirakeissa (Setälä et al. 2017.)

Sekundäärisillä mikromuoveilla tarkoitetaan suuremmista muovikappaleista pienemmiksi osiksi hajautunutta muovia. Sekundääriset muovipartikkelit voivat syntyä muovia käyttävillä rakennustyömailla tai muovia sisältävien tuotteiden ylläpidon aikana, kuten keino-kuidut, jotka irtoavat tekstiileistä vaatteiden pesemisen aikana. Sekundääriset muovipartikkelit voivat syntyä myös muovia sisältävien rakenteiden ja tuotteiden tahattoman käytön aikana, kuten kulkuneuvojen renkaista tai tiemerkintämassoista aiheutuva kuluminen tai kalastusvälineistä irtoavat synteettiset kuidut. Tärkeä sekundääristen mikromuovien ryhmä ovat myös ne partikkelit, jotka ovat ympäristöroskasta hajonneet pienemmiksi osiksi. (Eliasson et al. 2017)

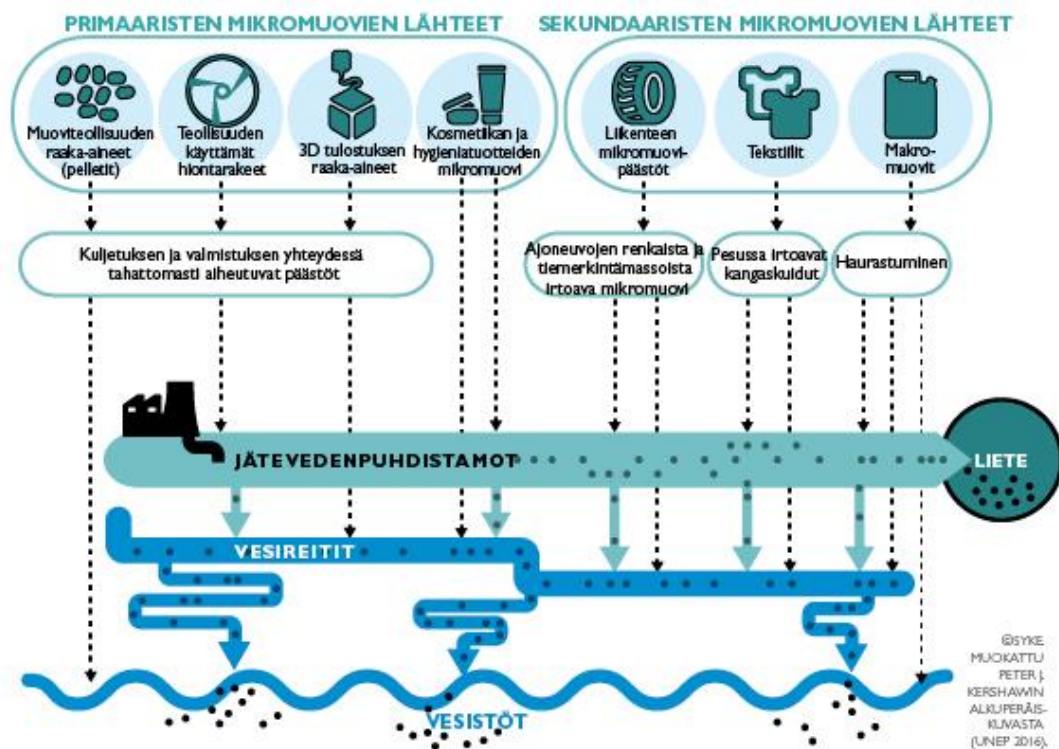
Taulukko 2. Mikromuovit voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin mikromuoveihin riippuen niiden alkuperästä (Eliasson et al. 2017)

<p>Primääriset mikromuovit Tarkoituksellisesti tuotetut mikropartikkelit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muovipelletit • Kosmetiikan ja hygieniatuotteiden mikromuovit • Muut mikromuovien käyttösovellukset kuten 3D-tulostus
<p>Sekundääriset mikromuovit Suuremmista muovikappaleista pieneksi pilkkoutunutta muovia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muovia sisältävissä rakennustöissä ja muovia sisältävien tuotteiden ylläpidossa • Maalta lähtöisten muovisten esineiden kulumisen aikana vapautuvat mikromuovit • Vesiympäristössä muovisten esineiden kulumisen aikana vapautuvat mikromuovit • Muoviroskan hajoaminen

Mikromuovit päätyvät vesiympäristöön useita eri reittejä pitkin: hule- ja sadevesien mukana, maanparannukseen käytetyn lietteen mukana, ilmalaskeutena sekä puhdistamojen kautta.

Joet ja järvet kuljettavat mikromuoveja myös mereen, mutta kärsivät samalla itse niiden aiheuttamista ongelmista. (Setälä et al., 2018) Mikromuovien eri kulkeutumisreittejä esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Pääasialliset maalta lähtöiset mikromuovilähteet ja kulkeutumisreitit vesiympäristöön
(Setälä et al. 2017. mukailleen P.J Kershaw (2016))



2.3 Mikromuovien käyttäytyminen vesiympäristössä

Mikromuovien käyttäytymiseen vesiympäristössä vaikuttavat ympäristötekijöiden ja polymeerien ominaisuuksien yhdistelmävaikutus, mukaan lukien veden virtaukset, vertikaalinen kulkeutuminen sekä kerääntyminen sedimenttiin ja biotaan. Tärkeät muuttujat, jotka vaikuttavat mikromuovien haurastumiseen ja hajoamiseen, ovat ympäristön altistumisolosuhteet, polymeerien ominaisuudet kuten tiheys ja kiteisyys sekä kemiallisten lisäaineiden tyyppi ja määrä. (Lambert & Wagner 2018.) Riippuen mikromuovien suhteellisesta tiheydestä verrattuna ympäröivään veteen ne voivat kellua veden pinnalla tai upota vesipatsaaseen (GESAMP 2015). Lisäksi hajoaminen, aggregaatio ja pintakasvuston muodostuminen voivat muuttaa materiaalin tiheyttä ja muuttaa sen kohtaloa vesiympäristössä (Karlsson et al. 2017).

Monilla synteettisillä polymeereillä on korkea vastustuskyky ympäristövaikutuksilta. Tämä tosiasia johtaa kuitenkin äärimmäisen alhaiseen hajoamiseen ja pitkäaikaiseen läsnäoloon synteettisille polymeereille sen jälkeen, kun ne saapuvat ympäristöön. Synteettisten polymeerien hajoaminen voidaan yleisesti luokitella bioottisiksi tai abioottisiksi erilaisten mekanismien mukaisesti riippuen erilaisista fysikaalisista, kemiallisista tai biologisista tekijöistä. Hajoamisprosessin aikana polymeerit muuntuu pienemmiksi molekyyliyksiköiksi ja mahdollisesti täysin mineralisoituu. Tärkeimmät prosessit synteettisten polymeerien hajoamiselle voidaan jakaa seuraaviin:

- Fysikaalinen hajoaminen (hankaavat voimat, lämmitys/jäähdytys, jäätyminen/sulatus, kostutus/kuivaus)
- Fotolyttinen hajoaminen (tavallisesti UV-valolla)
- Kemiallinen hajoaminen (hapettuminen tai hydrolyysi)
- Biologinen hajoaminen organismeilla (bakteerit, sienet, levät) (Eubeler et al. 2018)

Mikromuovit voivat toimia mikro-organismien kantajana ja muodostaa sitä kautta biofilmin. Biofilmin osoitettiin vaikuttavan mikromuovien kohtaloon muuttamalla partikkelien ominaisuuksia. Biofilmin muodostuminen voi muuttaa mikromuovien tiheysominaisuuksia ja johtaa näiden hiukkasten vajoamiseen ja sedimentoitumiseen. Muovien biofilmin muodostumista on raportoitu makeanveden näytteistä ja se on myös hyvin tutkittu ilmiö merivesillä. Esimerkiksi meren hiukkasille on äskettäin osoitettu lisääntyntä laskeutumista biofilmin muodostumisen seurauksena, ja on uskottavaa, että sama koskee muovia makean veden ympäristössä. Viimeaikaiset tutkimukset mikromuoveista jokien ja järvien sedimentissä vahvistavat, että hiukkaset, joiden tiheys on korkeampi tai matalampi, voivat laskeutua ja haudautua sedimenttiin. Viimeaikainen mallianalyysi osoitti, että tämä voidaan myös selittää teoreettisesti. Kelluva muovi laskeutuu vain, kun ne sisällytetään aggregaattiin, joiden tiheys on suurempi kuin veden tiheys. (Kooi et al. 2018)

2.4 Mikromuovin vaikutukset vesiympäristössä

Jäljelle jäävien lähtöaineiden ja mikromuovien, ei tarkoituksellisesti lisättyjen aineiden (epäpuhtaudet, polymerisaation sivutuotteet, hajoamistuotteet), katalyyttien, liuottimien ja muovimateriaaleista huuhtoutuvien lisäaineiden ympäristövaikutusten arviointi on hankalaa. Loppuaineiden seoksen koostumus ja konsentraatio riippuvat vastaanottoympäristöjen fysiikkalisista, kemiallisista ja biologisista olosuhteista. Mikromuovit käsittävät valtavan valikoiman erilaisia polymeerejä, jotka vuorostaan eroavat toisistaan koon, muodon ja kemiallisen koostumuksen mukaan. Täten mikromuovien ympäristövaikutuksia ei voi yksiselitteisesti määrittää. Lisäksi hajoamisnopeus vaikuttaa mikromuovien ympäristövaikutuksiin. (Lambert & Wagner, 2018)

Mikromuoveihin liittyvä ensisijainen ympäristöriski on niiden epäilty biologinen hyötykäyttö vesiympäristön eliöille. Muovi etenee eliöiden muodostamassa ravintoketjussa aiheuttaen altistumista haitallisille kemikaaleille tai heikentäen ravinteiden saantia syrjäyttämällä normaalin ravinnon. (Scherer et al. 2018.) Pienen koon ansiosta mikromuovit ovat saatavilla osana ravinnonottoa suuren valikoiman vesieliöitä varten, ja siksi ne voivat päästä ravintoketjuun alempien tasojen kautta. Mikromuovien kulkeutuminen ravintoketjuihin on jo todistettu lukuisissa tutkimuksissa (Setälä et al. 2014). Mikromuovien altistuessa ympäristön olosuhteille kasvaa todennäköisyys sille, että mikromuovit hajoavat nanomuoveiksi, joiden koko aiheuttaa vielä suuremman ympäristöriskin. Nanomuovi voivat päätyä pienemmän kokonsa ansiosta eliöiden kudoksiin ja aiheuttaa näin merkittäviä haittoja eliöstölle.

Biofilmin muodostuminen voi vaikuttaa mikromuovien ja biotan vuorovaikutukseen monilla tasoilla. Mikrobien kanssa adsorboituneet mikromuovit lisäävät ravitsemuksellista arvoa ja parantavat makua, mikä tekee partikkeleista houkuttelevampia vesieliöille. Sitä vastoin mikromuovien reagointi patogeenien ja myrkyllisten levien tai bakteerien kanssa saattaa aiheuttaa infektioita ja kemiallista myrkyllisyyttä tai pahaa makua, mikä lisää partikkeleiden välttämistä ravinnoksi. (Scherer et al. 2018)

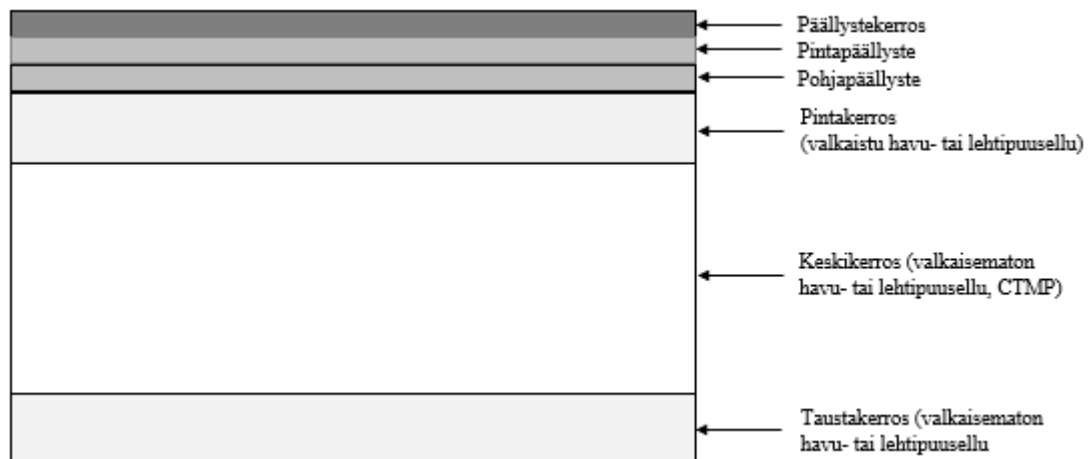
Muovia pidetään inerttinä aineena niiden suuren molekyylikokonsa ansiosta, mutta se pystyy luovuttamaan ja vastaanottamaan yhdisteitä ympäröivän vesiympäristön kanssa. Mikro-muovien reaktiivinen pinta-ala kasvaa hajoamisen edetessä. Seurauksena on se, että lisäaineet ja ympäristömyrkyt kulkeutuvat helpommin ulos muovista ja pääsevät muovin sisälle. Muovit itsessään saattavat sisältää haitallisia yhdisteitä, mutta huolestuttavampaa on niiden kyky sitouttaa erilaisia ympäristömyrkyjä. (Fjäder 2016, 32.) Erityisesti mikromuovit vauhdittavat tulokaslajien, taudinaiheuttajien sekä haitallisten orgaanisten yhdisteiden liikkuamista, sillä pienet muovipartikkelit mahdollistavat suuren sitoutumispinta-alan haitallisille ympäristökemikaaleille (Fjäder 2016, 32). Suuren pinta-tilavuussuhteen ja kemiallisen koostumuksen ansiosta mikromuovit keräävät itseensä vesiliukoisia epäpuhtauksia mukaan lukien metallit sekä pysyvät, biokertyvät ja myrkylliset yhdisteet. Vesiympäristössä mikromuovit todennäköisesti esiintyvät yhdessä muiden kehittyvien epäpuhtauksien kuten lääkkeiden, henkilökohtaisten hoitotuotteiden, palonestoaineiden ja muiden teollisten kemikaalien kanssa, jotka tulevat ympäristöön osana jätevirtoja (Lambert & Wagner, 2018.) Lisäaineita, jotka sekoitetaan muovin valmistuksen aikana, voi päästää ympäristöön ajan myötä, varsinkin kun muovi alkaa hajota. Nämä kemikaalit voidaan sitten uudelleen imeytyä muihin muovihiukkasiin tai lipideihin ja siten kulkeutua ravintoketjuun toissijaisella reitillä.

Huolimatta siitä, että tutkimustulokset ovat osoittaneet mikromuoveilla olevan negatiivisia vaikutuksia yksittäisiin vesieliöihin tällä hetkellä yksityiskohtaista tietoa mikromuovien ympäristövaikutuksista ei ole saatavilla. Tämänhetkinen tieto, joka mikromuovien vaikutuksista vesieliöihin tiedetään, koostuu pääasiassa laboratoriokokeista, joissa käytetään korkeampia mikromuovien pitoisuuksia verrattuna vesiympäristössä esiintyviin pitoisuuksiin. (Dris et al. 2018.) Kyseiset tutkimukset käyttävät myös vain muutaman yksittäisen lajin koeorganismeja verrattuna erilaisiin lajeihin, jotka todellisuudessa altistuvat mikromuovien saastunnalle ympäristössä. Näin ollen ei ole vielä täysin selvitetty mikromuovien riskien tasoa, jota mikromuovit ja niihin liittyvät epäpuhtaudet voivat aiheuttaa vesiekosysteemeille ja ihmisten terveydelle (Talvitie, 2018). On mahdollista, että mikroskooppisten hiukkasten, lisäaineiden ja muiden hajoamistuotteiden yhdistelmä voi aiheuttaa hienovaraisia vaikutuksia vesieliöille ja ekosysteemeille, mitä on vaikea tunnistaa nykyisissä testausmenetelmissä. Vasta kun tutkit-

tua dataa on riittävästi, voidaan todella määrittää vesiympäristöön liittyvät riskit ja vaikutukset. (Dris et al. 2018.) Vielä toistaiseksi ei pystytä sanomaan, mitä vaikutuksia mikro-muoveilla on ihmisen terveyteen.

3 NESTEPAKKAUSKARTONGIN VALMISTUS

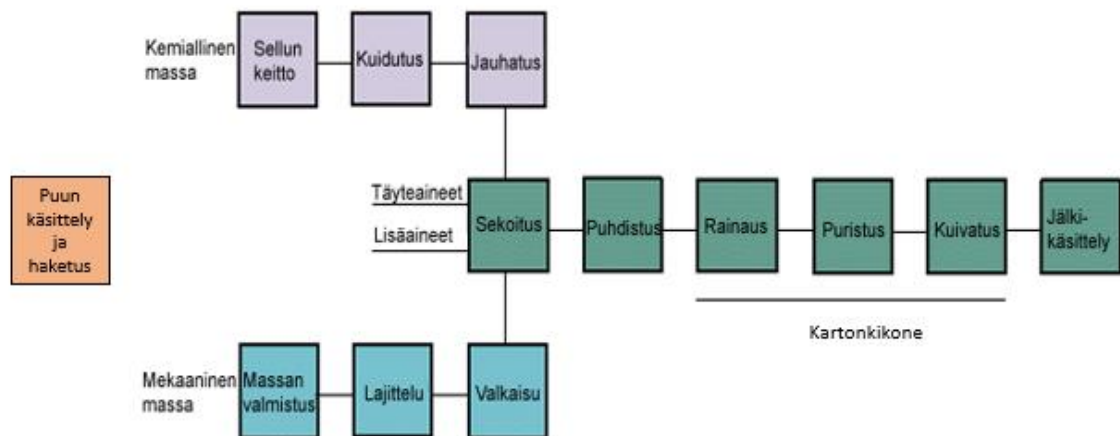
Nestepakkaskartonkeihin pakattavat tuotteet vaativat pakkaukselta merkittäviä ominaisuuksia. Nestepakkaskartongin ominaisuuksilta vaaditaan lujisuuden lisäksi läpäisemättömyys- eli barrierominaisuudet, jolloin pakkaus suojaa tuotetta kaasulta, aromeilta, kosteudelta ja nesteiltä. Nestepakkaskartongin rakenne voi olla yksi- tai monikerroksinen ja monikerroksinen rakenne esitetään kuvassa 2. Raaka-aineena voidaan käyttää valkaistua ja valkaisemattonta lehti- tai havupuusellua. Monikerrokskartongissa keskikerroksessa voidaan käyttää myös kemimekaanista massaa eli CTMP-massaa. Kartongin pinnalle saadaan hyvät painatusominaisuudet pigmenttipäällystyksellä. Päällystekerroksia on tavallisesti kaksi, joilla molemmilla on oma tehtävänsä. Ensimmäisellä päällystekerroksella pyritään peittämään pohjakartongin karheus, toisella kerroksella saadaan aikaan halutut painatusominaisuudet. Kartongin pinnalle ekstruusiopäällystettävän muovikalvon avulla saadaan aikaan nestepakkaskartongilta vaadittavat ominaisuudet. Nestepakkaskartonki onkin aina ekstruusiopäällystetty PE-muovilla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 76)



Kuva 2. Kolmikerroksisen nestepakkaskartongin rakenne

3.1 Nestepakkauskartongin valmistusprosessi

Nestepakkauskartonki on monivaiheinen prosessi, joka sisältää useita eri prosessin vaiheita. Tässä työssä on keskitytty puun käsittelyyn, massojen valmistukseen ja kartonkikoneen vaiheiden tutkimiseen. Nestepakkauskartongin valmistusprosessi on esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Nestepakkauskartongin valmistuksen vaiheet (mukaiillen Knowpap, 2011)

Kaikki massan valmistusprosessit vaativat puun kuorintaa. Kuorinnan tarkoituksena on murtaa kuoren ja puun välinen jälsikerros sekä eristää kuori ja jälsi puusta erilleen. Kuitupuun kuori irrotetaan puulajista riippumatta yleensä rumpukuorimakoneissa, jossa puut hankautuvat toisiaan ja rummun seinämää vasten aiheuttaen kuoren murtumisen. Kuorinta rummuissa suoritetaan joko ilman vettä kuivakuorintana tai märkäkuorintana, jolloin rumpuun lisätään vettä. Kuitupuun kuorinta suoritetaan tehtailta aina kun on mahdollista kuivakuorintana. Talviolosuhteissa puun pinnalla olevan kuoren sulatus on välttämätöntä puun kuorinnan mahdollistamiseksi. Puun sulatus tapahtuu yleisimmin rumpua syöttävällä kuljettimella, joka on katettu ja jossa on vesi- tai höyrysuihkut. Kuoritut puut putoavat rummusta kynnyksen yli purkusuihteelle ja kuljettimelle. Purkauskuljetin kuljettaa puut pestäväksi pesurullastolle ja kiviloukkojen yli, missä puusta erotetaan viimeiset mekaaniset epäpuhtaudet ennen hakkuuta. (Knowpap, 2011; Seppälä et al., 2005, 24-30)

Kuorinnan jälkeen puu haketetaan ja hake seulotaan. Hake keitetään sulfaattimenetelmässä lipeäliuoksessa. Sellun valmistus perustuu kemialliseen kuidutukseen, jossa kemikaalien ja lämmön avulla liuotetaan kuituja toisiinsa sitova ligniini niin, että kuidut irtautuvat. Keittämisen jälkeen syntyvästä liemestä erotetaan puukuidut ja jäljelle jää puusta irronneista aineista ja keittokemikaaleista koostuvaa mustalipeää, joka poltetaan soodakattilassa. Keiton jälkeen seuraa massan pesu, jonka tarkoituksena on erottaa kuitumassasta mahdollisimman tarkoin keiton aikana liennut puuaines sekä keittokemikaalit. Pesun jälkeen massa laimennetaan lajittelua varten, missä epäpuhtaudet poistetaan erilaisilla lajittimilla. (Knowpulp, 2011; Seppälä et al., 2005, 75).

Keiton jälkeen massa pitää sisällään vielä jonkin verran ligniiniä, minkä takia massa valkaisuun jäännösligniinin poistamiseksi. Yhdellä valkaisuvaiheella ei päästä lujuuksien kärsimättä tavoitevaaleuteen, minkä takia sellu valkaistaan useassa vaiheessa, joiden välillä massa pestään. Massan lajittelussa massasta erotetaan erilaiset epäpuhtaudet. Lajittelu tehdään yleensä kahdessa prosessivaiheessa: ruskealle massalle ennen valkaisua ja valkaistulle massalle jälkivalkaisun jälkeen. (Knowpulp, 2011; Seppälä et al., 2005, 101-110.) Valmis sellu pumpataan integroiduilla tehtailla pumppumassana suoraan jauhatusosastolle, joka edeltää kartonkikonetta. Integroimattomalla tehtaalla sellu kuivatetaan ja paalataan. (Seppälä et al., 2005, 138.)

Mekaaninen massanvalmistus tapahtuu ilman keittoprosessia, jolloin puumateriaali kuidutetaan rasittamalla puuta mekaanisesti ja siirtämällä siihen lämpöä. CTMP-massaa pidetään kemiallisen ja mekaanisen massanvalmistuksen välimuotona. Siinä ennen mekaanista käsittelyä hakkeelle suoritetaan lyhyt kemiallinen sulfiittikäsittely. Puu kuoritaan ja haketetaan samalla lailla kuin sellun valmistuksessa. Ensimmäinen vaihe haketuksen jälkeen on hakkeen pesu, missä käytetään kuumaa kiertovettä. Pesun jälkeen CTMP-massaa valmistettaessa hake käsitellään kemikaaleilla ennen kuidutusta. Hakkeen esikäsittelyn jälkeen haketta syötetään hierrejauhimien kiekkojen väliin, jolloin kuitujen väliset sidokset saadaan katkeamaan ja yksittäiset kuituniput, yksittäiset kuidut, ja kuitujen osat irtoavat. Hiertoprosessia seuraa massan lajittelu, pesu ja valkaisu. (Knowpulp, 2011; Seppälä et al., 2005, 57-67)

Kartonkikoneen pääosat ovat perälaatikko, viiraosa, puristinosa ja kuivatusosa. Kartonkikoneen märkápäähän kuuluvat massatornit ja puristinosat ja niiden väliset prosessin osat. Kartongin jalostusprosessissa massa ja lisäaineet sekoitetaan veteen sekä laimennetaan sopivaan sakeuteen. Saatua massaa kutsutaan kuitusulpuksi. Kartonkikoneen rainanmuodostusosa koostuu perälaatikon syöttöputkistosta ja perälaatikosta sekä viiraosasta. Monikerroskartongeilla on kullekin kerrokselle oma rainanmuodostusosansa, joissa raina muodostetaan kuitusulpusta suotauttamalla, minkä jälkeen erikseen muodostetut rainat yhdistetään. Perälaatikosta ulostuleva sulppu levitetään tasaiseksi patjaksi märkäviiran päälle. Märkäviiralle levittäessä massa on melkein kokonaan vettä ja loput kuituja sekä mahdollisia täyte- ja lisäaineita. Viiraosalla poistetaan rainasta vettä, mikä tapahtuu suotauttamalla se sihtinä toimivan viirakudoksen läpi. Yleisesti käytetty viiraosa on tasoviirakone, jossa vedenpoisto tapahtuu ainoastaan rainan alapuolelta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 131-137; Knowpap, 2011)

Kartonkiraina ohjataan viiraosan jälkeen puristinosalle, jossa vettä poistetaan edelleen kartonkirainasta samalla tiivistäen sitä. Märkäpuristuksessa vesi siirtyy rainasta puristinhuopaan joko puristinhuovan ja sileän telan tai kahden puristinhuovan välisen puristamisen takia (Knowpap, 2011). Kartonkiraina kulkee yhdessä yhden tai kahden huovan kanssa teulojen muodostaman nipin läpi. Vedenpoiston lisäksi puristinhuovan täytyy tukea rainaa sekä suojata sitä puristusvaurioilta ja murskaantumiselta. Sen täytyy myös kuljettaa paperirainaa sekä tasoittaa nipissä esiintyviä painevaihteluita. Osa vedestä jää nippi-impulssin jälkeen huopaan, josta vettä poistetaan huopaimulaatikoilla alipaineen avulla. Tällöin puhutaan imulaatikkovedenpoistosta. Imulaatikoiden tehtävänä on poistaa huovasta vettä ja epäpuhtauksia imemällä ilmaa huovan läpi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 155-156; Knowpap, 2011)

Puristinosan jälkeen kartonkiraina ohjataan kuivatusosalle, jonka tarkoituksena on kuivata puristinosan jälkeinen märkä kartonkiraina mahdollisimman kuivaksi. Kuivatuksessa käytetään pääasiassa kolmea eri menetelmää, jotka ovat kontakti- eli sylinterikuivatus, puhalluskuivatus ja säteilykuivatus. Kartonkirainaa tuetaan kuivatusviiralla, johon myös poistuva kosteus haihtuu. Kuivatusviiran tehtävänä on tukea ja kuljettaa kartonkirataa läpi kartonki-

koneen kuivatusosan sekä tehostaa kartonkirainan kuivumista. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 163; Knowpap, 2011.) Kuivatusosan jälkeen nestepakkauskartonki päällystetään, mikä tapahtuu päällystysasemalla. Päällystysasemalla nestepakkauskartongin pintaan levitetään pigmenteistä ja sideaineista muodostuva päällystysseos eli pasta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 16.)

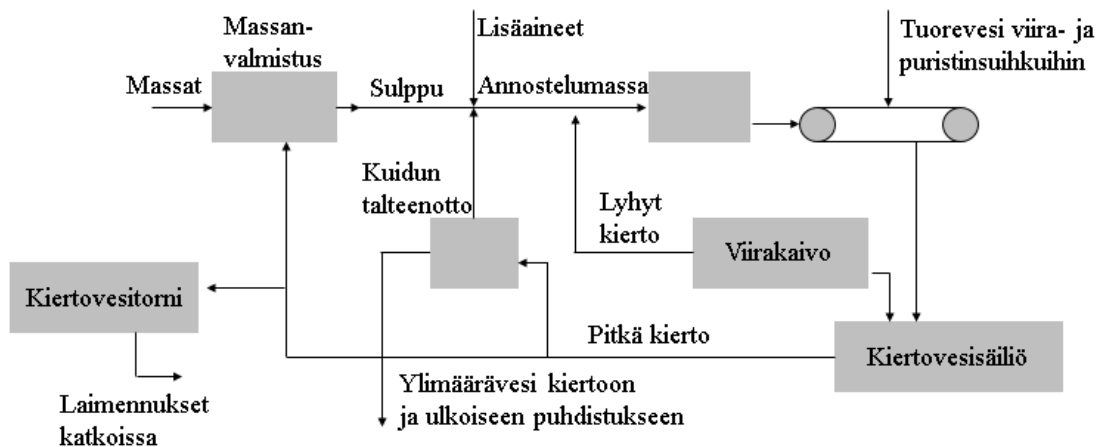
3.2 Nestepakkauskartongin valmistuksen vesijärjestelmät

Sellu- ja kartonkitekiteollisuuden tuotantoprosessit edellyttävät runsaan määrän vettä sekä itse prosessin raaka-aineeksi, että prosessilaitteiden jäähdytykseen ja voiteluun. Raakavesi toimii jäähdytysvetenä lähes sellaisenaan ja se palautetaan ilman erillistä käsittelyä takaisin vesistöön, sillä se ei likaannu käyttökohteissaan. Sellun ja kartongin valmistusprosesseissa puhdasta vettä kulutetaan massojen ja kemikaalien laimennukseen, erilaisiin pesuihin ja huuhteluihin sekä kartongin valmistuksen kemian aikaansaamiseen ja ylläpitämiseen. Prosessivesien likaantuessa käytön takia syntyvät jätevedet tarvitsevat puhdistamista ennen takaisin vesistöön pääsyä. Suurin osa sellun valmistuksen jätevesistä syntyy valkaisulinjalta, sillä valkaisulinjan jätevesien hyötykäyttö muissa prosesseissa on hankalaa. Jätevesiä syntyy myös kemimekaanisen massan valmistuksesta. (Knowpap, 2011)

Kuorimossa suurimmat jätevedet syntyvät puiden sulatuksessa vedellä ja märkäkuorinnassa, kun vettä käytetään rummussa ja kuoren käsittelyssä. Lisäksi vettä tarvitaan pesurullastolla puiden kuorinnan jälkeiseen pesuun ennen haketusta ja kuoren keräilyyn sekä kiviloukoissa. Kuorimon suurimmat jäteveden päästölähteet ovat puiden sulatus vedellä, kuoren puristus ja kuorittujen puiden pesu ennen haketusta. Suuremmat partikkelit poistetaan paluuvedestä saostimilla, jonka jälkeen kiertovesi pumpataan edelleen kiertovesialtaasta käyttökohteisiinsa. Veden liiallisen väkevöitymisen välttämiseksi kiertoveteen lisätään tuorevettä. Ylimääräinen vesi poistuu vastaavasti jätevetenä. Kuorimon jätevesi tulee kiertovesialtaasta ylivuodon kautta ja kuoripuristimelta. (Knowpap, 2011)

Kartonkitekiteollisuudessa jätevesiä syntyy pääasiassa kartonkikoneiden kiertojen ylijouksuina. Erilaisia kiertovesijakeita syntyy, kun vettä poistetaan massoista eri tavoin. Suurin jae on viiraosalta saatava viiravesi ja muita prosessivesiä ovat hylkysaostimilta ja puristinosalta

tulevat vedet. Kiertovesijärjestelmässä tuorevettä käytetään viira- ja puristinsuihkuihin sekä muissa kohteissa, jossa vaaditaan erittäin suurta puhtautta. Viiraosalta suotautuneet vedet eli nollavesi palautuu viirakaivoon. Lyhyellä kierrolla tarkoitetaan prosessinosaa, jossa viiran läpi suotautuvaa vettä hyödynnetään perälaatikkoon virtaavan konemassan laimentamiseen. Kolmikerroksisella kartongilla jokaisella kerroksella on omat lyhyt kiertonsa. Ylimääräinen vesi lyhyestä kierrosta johdetaan kiertovesisäiliöön, ja sitä käytetään prosessin aikaisemmissa vaiheissa. Kyseistä vesikiertoa kutsutaan pitkäksi kierroksi eli varsinaiseksi kierto-vesijärjestelmäksi. Viirakaivon ylijouksu siirtyy kiertovesisäiliöön ja sitä kautta kierto-vesijärjestelmään puhdistettavaksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 121-126; Knowpap, 2011). Kiertovesijärjestelmän periaate esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Kiertovesijärjestelmän periaate (mukaiillen Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 122)

3.3 Nestepakkauskartongin valmistuksen massan lajittelu- ja puhdistusjärjestelmät

Valmiiksi keitetty sellu läpikäy monivaiheisen prosessin ennen kuin se tyydyttää kartonkikoneelle vaaditun massan vaatimukset. Epäpuhtauksia poistetaan massanvalmistusprosessin eri vaiheissa, alkaen hakepalasten lajittelusta päättyen valmiin massan puhdistusprosessiin. Lajittelu- ja puhdistusvaiheen tarkoituksena poistaa massasta epäpuhtaudet, joita löytyy raaka-aineista tai syntyy massan sekaan valmistusprosessin aikana. Puhdistusseulonnalla epäpuhtauksia massavirtauksesta joko käyttämällä painelajitinta, pyörrepuhdistinta, näiden

kombinaatioita tai jotain muuta erottelulajitteluun soveltuvaa tekniikkaa. Lajittelu tehdään monessa vaiheessa hyödyntäen mekaanista lajittelua ja pyörrepuhdistusta. Hakkeen mukana keittoon päätyvien epäpuhtaudet on poistettava minimiin hyvän lajittelutuloksen ja lajittelu-prosessin häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi. (Knowpulp, 2011)

Lajitin erottelee puhdistettavan massan kahdeksi jakeeksi: rejektiksi ja akseptiksi. Akseptilla tarkoitetaan lajittimesta tullutta hyväksytyä jaetta. Rejektillä tarkoitetaan lajittimilla pois-seulottua massaa, joka ei sovellu kartonginvalmistukseen. Pääsääntöisesti rejekti sisältää paljon epäpuhtauksia, jotka jaetaan raaka-aineesta tuleviin epäpuhtauksiin sekä muihin epäpuhtauksiin, kuten muoviin. Monivaiheinen lajittamo mahdollistaa riittävän erottelutehokkuuden ilman suuria kuituhäviöitä. Lajittelujärjestelmän kuituhäviöt vähennetään minimiin kierrättämällä rejekti useaan kertaan lajittamon lävitse. (Knowpulp, 2011; Seppälä et al., 2005, 110)

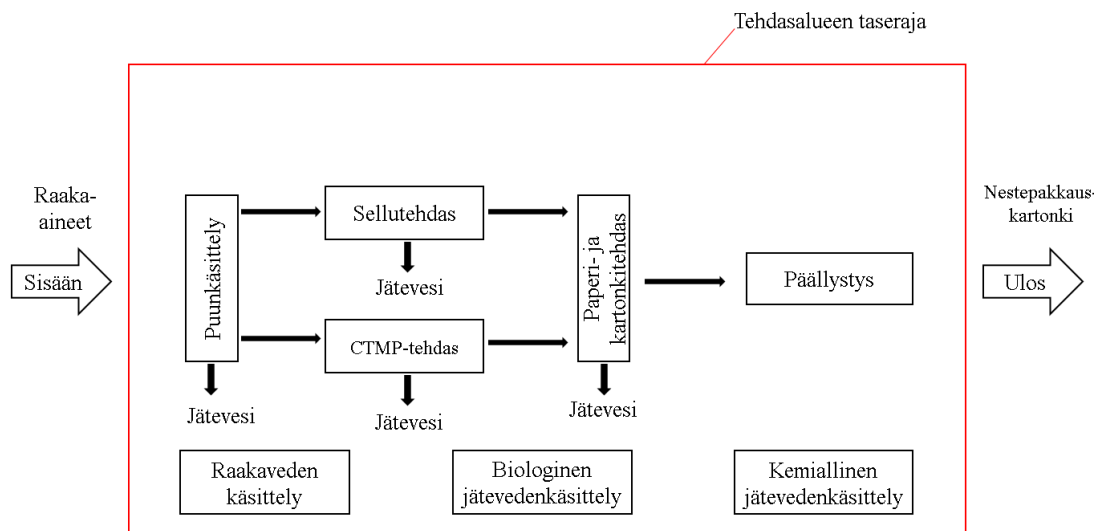
Kuorimossa märkäkuorinnassa syntynyt kuorivesiseos johdetaan vedenerotukseen rännimäisille karkea- ja hienosaostimille. Vesi valuu saostimen läpi kiertovesijärjestelmään ja kaukalon kuljetin siirtää kuoren seuraavaan käsittelyvaiheeseen. Lopulta kuori poltetaan. (Seppälä et al., 2005, 27)

Massa sisältää sulfaattikeiton jälkeen useita erilaisia epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa ennen varsinaista kartonginmuodostusprosessia. Epäpuhtauksien poisto suoritetaan erilaisten lajittelu- ja puhdistusmenetelmien avulla (Seppälä et al., 2005, 110). Epäpuhtaudet erotetaan massasta pääasiassa lajittamossa, mutta puhdistusta suoritetaan myös muissa valmistusprosessin eri vaiheissa. Yleisesti lajittamo sijoittuu valmistusprosessissa kokonaan tai osittain massan pesun jälkeen. Myös sellun pesu ja valkaisu vähentävät epäpuhtauksia jossain määrin (Knowpulp, 2011.)

Kartonkikoneella ennen perälaatikkoon ja viiraosalle ohjaamista kuitumassa täytyy puhdistaa mahdollisimman tarkasti epäpuhtauksista. Massan varsinainen puhdistus tapahtuu lyhyen kierron ulkopuolella. Massan puhdistus tehdään lyhyessä kierrossa yleensä pyörrepuhdistimen ja painelajittimen avulla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 125-126)

4 NESTEPAKKAUSKARTONGIN VALMISTUKSEN MAHDOLLISTEN MIKROMUOVILÄHTEIDEN TUNNISTAMINEN

Tässä tutkimuksessa nestepakkauuskartongin valmistus jaetaan neljään osaprosessiin, jotka ovat puun käsitteleminen, CTMP-massan ja sellun valmistaminen sekä kartongin valmistaminen kartonkikoneella. Kyseiset prosessit valitaan tarkasteltavaksi sen takia, että ne ovat osana kierto-vesijärjestelmiä, joista syntyy myös jätevesiä. Oleellista on, että jätevesien kautta potentiaalisilla mikromuoveilla on mahdollisuus päätyä vesiekosysteemeihin. Nestepakkauuskartongin eri valmistuksen vaiheet ja niistä syntyvät jätevedet esitetään kuvassa 5.



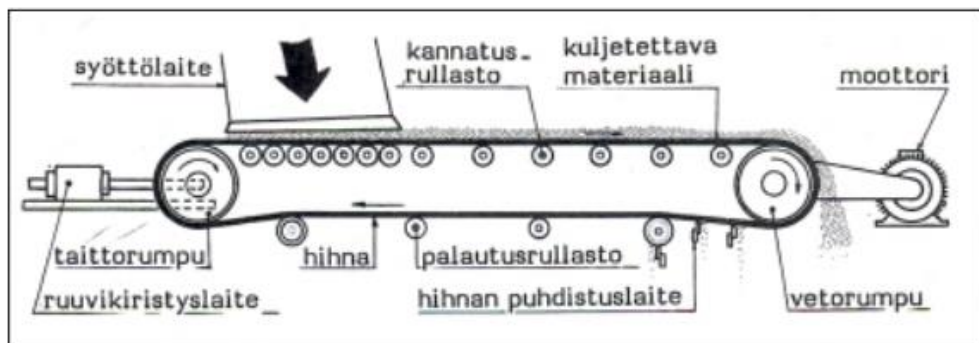
Kuva 5. Nestepakkauuskartongin vesi- ja ainetase

Tutkimuksen eteneminen esitetään taulukossa 3. Tutkimus lähti liikkeelle määrittämällä eri valmistuksen vaiheet. Eri valmistuksen vaiheiden määrittämisen jälkeen muovikomponentteja tutkittiin sekä kirjallisuuskatsauksen että asiantuntijahaastattelun avulla. Asiantuntijahaastattelu suoritettiin eräälle kemiallisen metsäteollisuustehtaan neljälle eri työntekijöillä, joilla on kustakin eri valmistuksen vaiheesta asiantuntemusta. Muovikomponenttien lisäksi tutkittiin, ovatko muovikomponentit primäärisiä mikromuovilähteitä vai syntykö muovikomponenteista sekundäärisiä mikromuoveja prosesseista tai prosessista riippumattomista syistä johtuen. Lopuksi tutkitaan mahdollisesti syntyvien mikromuovien kulkeutumisreit-tejä.

Taulukko 3. Tutkimuksen eteneminen

4.1 Puunkäsittely

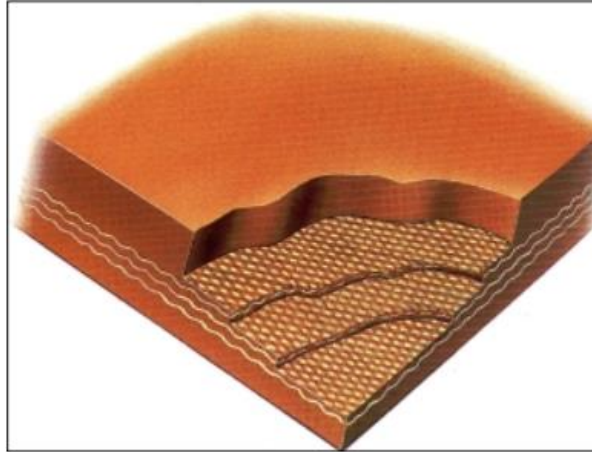
Kuorimolla esiintyviä muoviosia ovat erilaiset mekaanisissa kuljettimissa esiintyvät pääosat Primäärisiä mikromuovilähteitä kuorimolla ei esiinny. (Asiantuntija 1, 2018.) Hihnakuuljetin lukeutuu yhdeksi yleisemmäksi kuljetuslaitteeksi metsäteollisuudessa, sillä se soveltuu sekä massa- että kappaletavaran siirtämiseen (Parikka et al., 2000, 10). Tässä tutkimuksessa keskityttiin hihnakuuljettimiin niiden ollessa yleisimpiä metsäteollisuuden kuljetinlaitteita. Hihnakuuljetin rakenteen pääosat esitetään kuvassa 6.



Kuva 6. Hihnakuuljetin rakenne ja pääosat (Parikka et al., 2000, 10)

Hihnakuuljetinrakenteessa esiintyviä muoviosia ovat kuljetinhihna, hihnan puhdistuslaitteistot, rullastojen suojapinnoitteet ja erilaiset kulutusmuoviosat (Asiantuntija 1, 2018). Teollisuudessa

käytettävien kuljetushihnojen rakenne koostuu yleensä kolmesta rakenneosasta, ylä- ja alapeitteestä sekä rungosta. Kuljetushihnan rakenne esitetään kuvassa 7.



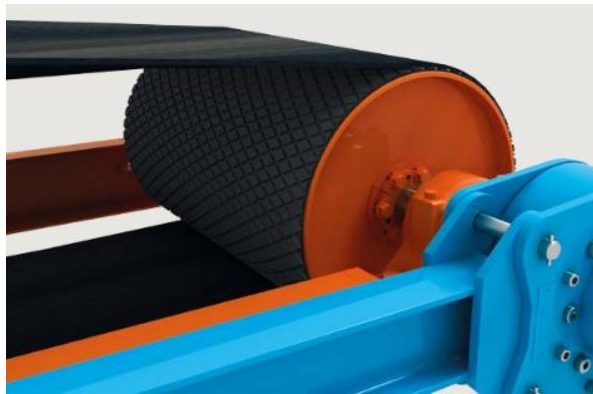
Kuva 7. Hihnakuuljetin (Parikka et al., 2000, 11)

Puhdistuslaitteiden tarkoituksena on poistaa rumpujen ja hihnan pinnalta niihin kertyneet epäpuhtaudet. Yleisin hihnojen ja telojen puhdistuslaite metsäteollisuudessa on kaavari. Kaavarit ovat jatkuvassa kosketuksessa hihnaan tai telaan ja ne kaapivat epäpuhtaudet pois. (Parikka et al., 2000, 14.) Hihna- ja telakaavareissa käytetty materiaali riippuu sen käyttökohteesta. Eräs kaavari on esitetään kuvassa 8.



Kuva 8. Kaavari (Metso, 2018, 32)

Kuorimolla on myös muita kulutusmuoviosia, joista tärkeimpinä nousee esille telarullastojen suoja-pinnoitteet ja tiivisteet (Asiantuntija 1, 2018). Eräs suoja-pinnoite esitetään kuvassa 9. Molemmat ovat valmistettu kulutusta kestävästä kumimateriaalista. Tiivisteet ovat tärkeä osa laitteistojen suojaamisessa, sillä se suojaa mekaanisesti liikkuvia osia kulumiselta ja tuk-keutumiselta, sekä ympäristöä pölyltä. Tiivistimiä esiintyy etenkin alueella, jossa kouru ja kuljetin kohtaavat estäen pölyn ja kuljetettavan aineen leviämisen (Metso, 2018, 90).



Kuva 9. Rullastojen suoja-pinnoite (Metso, 2018, 104)

4.2 Sellun ja CTMP-massan valmistaminen

CTMP-massan valmistamisessa löytyvät muoviosat ovat erilaiset tiivisteet ympäri proses-seja ja kumiletkut, jotka ovat liitetty prosessiputkistoihin ja laitteisiin. Prosessissa ei esiinny primäärisiä mikromuovien lähteitä. (Asiantuntija 2, 2018). Sellun valmistuksessa varsinaisia muoviosia ei juurikaan ole. Lujitemuovia eli lasikuitua löytyy lähinnä prosessiputkina val-kaisussa tai lasikuitusäiliöinä suodoksille. Pääasiassa muoviosia sijaitsee valkaisuissa. Pri-määrisiä mikromuovilähteitä prosessissa ei ole (Asiantuntija 3, 2018). Sellun ja CTMP-massan valmistuksessa muoviosia ei merkittävästi löydy valmistusprosessien olosuhteiden takia (Asiantuntija 2, 2018; Asiantuntija 3, 2018).

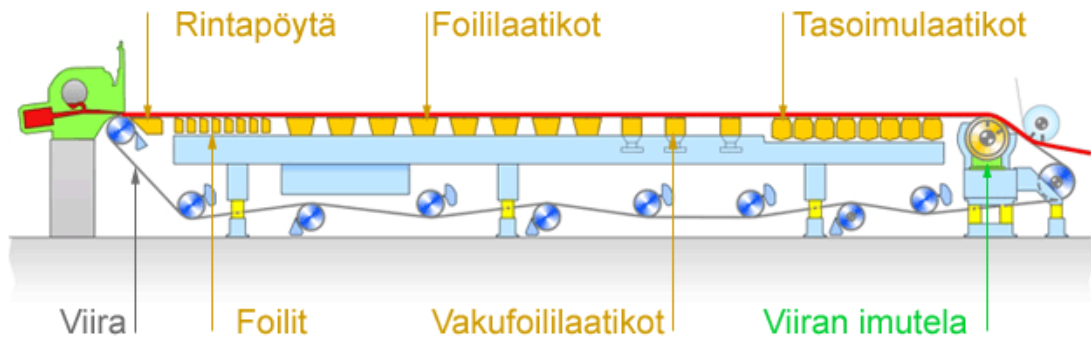
4.3 Kartonkikone

Kartonkikoneella ei ole primäärisiä mikromuovilähteitä. Massan lajittelussa esiintyvät muoviosat ovat pyörrepuhdistimet. (Asiantuntija 4, 2018.) Pyörrepuhdistuslaitokset muodostuvat kartion muotoisista pilleistä, jotka tehdään keraamisesta muovimateriaalista. Pyörrepuhdistimien määrä vaihtelee eri lajitteluvaiheissa. (Knowpap, 2011.) Pyörrepuhdistin on esitetään kuvassa 10.



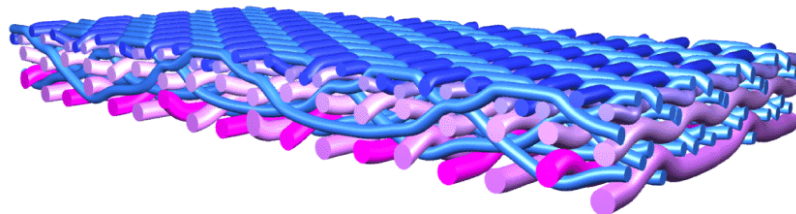
Kuva 10. Pyörrepuhdistin (Knowpap, 2011)

Viiraosalla esiintyvät muoviosat ovat märkäviira, vedenpoistokalusteet, tyhjöstalaahtimet, viiranosatlastojen päällysteet ja telakaavarit (Asiantuntija 4, 2018). Muoviosien sijainnit esitetään kuvassa 11. Vedenpoistokalusteisiin kuuluvat päästölisterit eli foilit sekä kahden tyyppiset imulaatikot: märkäimulaatikot ja tasoimulaatikot. Tasoviirakoneella viira on pingotettu kahden suuren telan, rintatelan ja imutelan, välille ja sen alapuolella on erityyppisiä vedenpoistoelimiä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2006, 137-139.) Kaavareita käytetään puhdistamaan viira- ja puristinosan telojen pintaa sekä myös massan- ja rejektinkäsittelyssä esimerkiksi viirapuristimella telojen tai viiran kaapimena. Lisäksi tasoviirayksiköllä on myös heti perälaatikon jälkeen muovista valmistettuja reunaviivaimia ja reunakäyristäjiä, joiden tavoitteena on parantaa kartongin profiilia (Asiantuntija 4, 2018).



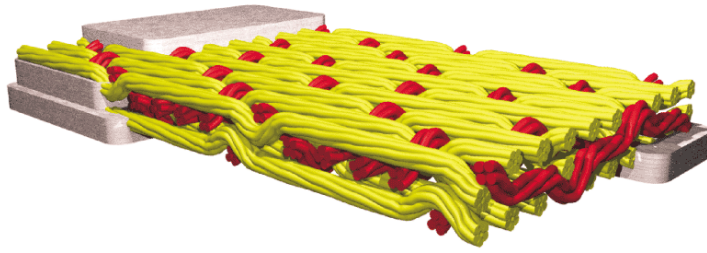
Kuva 11. Tasoviirayksiköllä esintyvien muoviosien sijainnit (Knowpap, 2011)

Märkäviira on tekokuitulangoista valmistettu päätön kudos, jonka päälle kartonkiraina suotautuu kartonkikoneen viiraosalla. Märkäviiran rakenne esitetään kuvassa 13. Märkäviirujen rakenne vaihtelee kerrosten lukumäärän sidosrakenteen, lankapaksuuden ja raaka-aineen avulla. Yleisimmin märkäviirujen valmistukseen käytetään pyöreitä muovilankoja, joiden halkaisija vaihtelee välillä 0,22 - 0,80 mm. Yleisimmät käytössä olevat viirarakenteet ovat kaksikerrosrakente. Jonkin verran on käytössä myös kolmikerrosviiroja ja yksikerrosviiroja. (Knowpap, 2011)



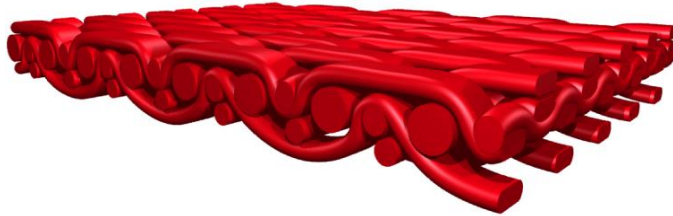
Kuva 13. Märkäviira (Knowpap, 2011)

Puristinosan muoviosat koostuvat puristinhuovasta, puristinhuopien ja rainan johtoteloista sekä huovankunnostuslaatikoista (Asiantuntija 4, 2018). Puristinhuovan rakenne esitetään kuvassa 14. Puristinhuovat valmistetaan synteettisestä kuitumateriaalista kudonta ja neulaustekniikalla. Huovan rakenne koostuu yhdestä tai useammasta peruskudoksesta sekä hahtuvakuiduista. Puristinhuopien peruskudosten lankoina käytetään pääasiassa kerrattuja tai kertaamattomia polymeerilankoja. Perusrakenteesta riippumatta huopamaisuus saavutetaan rakenteen sisään, pinnalle ja taustalle neulattavalla hahtuvalla. Hahtuva koostuu synteettisistä kuiduista ja se kiinnitetään perusrakenteeseen neulaustekniikalla. (Knowpap, 2011)



Kuva 14. Puristinhuopa (Knowpap, 2011)

Kuivatusosalla käytettäviä muoviosia on kuivatusviira. Kuivatusviirat valmistetaan synteettisistä langoista kutomalla, lämpökäsittelemällä ja saumaamalla (Knowpap, 2011). Kuivatusviiran rakenne esitetään kuvassa 15.



Kuva 15. Kuivatusviira (Knowpap, 2011)

Yleisin päällystysmenetelmä on teräpäällystys eri muodoissaan. Päällystyksessä kuivatusosan jälkeen esiintyvät muoviosat liittyvät päällystysaineen sihtaamiseen. Muoviosia ovat painesihdissä olevat muovikaavarit ja pintaliimasihdit (Asiantuntija 4, 2018)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tämän aineiston valossa nestepakkauskartongin valmistus pitää sisällään monia kohteita, missä muoviset komponentit ovat käytössä aina yksittäisistä laitteiden osista suurempiin kokonaisuuksiin asti. Valmistuksessa ei esiinny primäärisiä mikromuoveja, vaan mahdolliset mikromuovit aiheutuvat suurempien muoviosien kulumisesta. Prosessin ympäristöolosuhteet tai prosessin kulumismekanismit lisäävät mahdollisten mikromuovien syntymistä. Valmistusprosesseissa esiintyy monia eri kulumismekanismeja, kuten kemikaalien aiheuttamaa korroosiota, massa- tai nestevirtauksien aiheuttamaa kuluttavaa vaikutusta, lämpötilan vaihteluita sekä ikääntymistä. Lisäksi prosessista riippumattomat tekijät, kuten kartonkikoneen ajotyylit, vaikuttavat muovikomponenttien kulumiseen.

Nestepakkauskartongin valmistuksessa kartonkikoneessa on merkittävästi eniten muoviosia, jotka käyttökohteitten mukaan ovat kulutusalttiita mahdollistaen näin sekundääristen mikromuovien syntymisen. Vähemmän muovikomponentteja tunnistettiin sellun ja CTMP-massan valmistuksessa, jossa prosessiolosuhteet estävät muovikomponenttien käyttöä. Puun käsitelystä muovikomponentteja esiintyi kuljettimien eri osissa. Muovikomponenttien määrään eri valmistuksen vaiheissa vaikutti eniten prosessiolosuhteet.

Nestepakkauskartongin raaka-aineiden massojen puhtaus on merkittävän tärkeä ominaisuus kartongille, koska se on elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa. Pakkausmateriaalin täytyy olla mikrobiologisesti puhdasta. Nestepakkauskartongin eri valmistusvaiheissa käytetään runsaasti vettä, jolloin jäte- ja prosessivesiä syntyy merkittäviä määriä. Mahdollisesti syntyvät mikromuovit päätyvät eri valmistuksen vaiheissa massaan tai kierto-vesijärjestelmään. Monet eri lajittelu- ja puhdistusvaiheet poistavat valmistuksen edetessä mekaanisia epäpuhtauksia massasta. Lajittelu- ja puhdistusvaiheiden aikana mahdolliset epäpuhtaudet poistetaan viimeisen lajitteluvaiheen jälkeen jätevesijärjestelmään. Mahdolliset syntyvät mikromuovit joutuvat näin ollen joko rejektin mukana polttoon, jätevesien mukana jätevedenpuhdistamolle tai massan mukana tuotteeseen.

Koska tämän työn tuloksena on, että nestepakkauskartongin valmistuksessa esiintyy muoviosia, jotka voivat kulumisen seurauksena aiheuttaa sekundäärisiä mikromuoveja, niin

suuntaa antaviksi jatkotoimenpiteiksi esitetään tutkimuksien jatkamista. Tässä työssä ei selvitetty, miten paljon eri muoviosat kuluvat tai otettu näytteitä prosessi- tai jätevesistä, minkä takia nestepakkauskartongin valmistuksessa syntyvien mikromuovien mahdollisuutta on vielä vaikea arvioida. Metsäteollisuuden jätevedet vaativat vielä huomattavasti enemmän lisätutkimusta, ennen kuin luotettavia tuloksia mikromuovikuormituksesta on mahdollista esittää. Tämän aineiston valossa on kannattavaa pyrkiä noudattamaan varovaisuusperiaatetta eli muovien etenemistä luontoon on hyvä tutkia, vaikka kaikkia ympäristö- ja terveysvaikutuksia ei vielä tiedetä. Lisätutkimusten jälkeen vaikutus- ja riskiarviointia sekä mahdollisia päästövähennyskeinoja on mahdollista suorittaa.

LÄHTEET

Dimzon, I.K., Eubeler, J., Klein, S., Knepper T.P., Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment. Kirjassa: Wagner M, Lambert S (eds) Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants? Springer, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-319-61615-5_9

Dris, R., Gasperi, J., Imhof, H., Laforsch, C., Löder, M. & Tassin, M. 2018. Microplastic Contamination in Aquatic Environments. Chapter 3 - Microplastic Contamination in Freshwater Systems: Methodological Challenges, Occurrence and Sources. toim. Eddy Y. Zeng. Elsevier. 51-93. ISBN 9780128137475, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00003-5>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128137475000035>)

Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hulten, J., Magnusson, K., Olshammar, M., Stadmark, J., Voisin, A. 2016. Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. IVL Swedish Environmental Research Institute. 88s.

Fjäder, Päivi, 2016. Merten roskaantumisen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2016. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Helsinki. ISBN 978-952-11-4646-6.

GESAMP 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (Kershaw, P.J., ed.). Joint Group of experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) Rep. Stud. GESAMP No. 90

Harrison JP, Hoellein TJ, Sapp M, Tagg AS, Ju-Nam Y, Ojeda JJ. 2018. Microplastic associated biofilms: a comparison of freshwater and marine environments. Kirjassa: Wagner M, Lambert S (eds) Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants? Springer, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-319-61615-5_9

Hägglom-Ahnger, U., Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus. Opetushallitus. Sepsilva Ltd Oy. ISBN 952-13-1746-9

Lambert, S. & Wagner, M., Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. In: Wagner M, Lambert S (eds) Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants? Springer, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-319-61615-5_9

Karlsson, T.M., Vethaak, A.D., Almroth, B.C., Ariese, F., van Velzen, M., Hassellöv, M. and Leslie, H.A.2017. Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: Method development and microplastic accumulation. *Marine Pollution Bulletin* 403-408 s.

Kershaw, Peter J.,2015. Biodegradable plastics & Marine Litter. Misconceptions, Concerns and Impacts on Marine Environments. UNEP GPA.

Kershaw, Peter J., 2016. Marine Plastics Debris and Microplastics. Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change. UNEP 2016.

Knowpap. 2011. Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö, versio 14.0 VTT Tuotteet ja tuotanto. Prowledge Oy.

Knowpulp. 2011. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö, versio 14.0. VTT Tuotteet ja tuotanto. Prowledge Oy

Metso. 2018. Kuljetinratkaisut. Käsikirja. 159s. [verkkodokumentti] [viitattu 14.10.2018] Saatavilla:

<https://www.metso.com/contentassets/337473d7cd204b218c9008d2bf64e7a9/kasikirja-kuljetinratkaisut.pdf>

Parikka, R., Mäkelä, K., Sarsama, J, Virolainen, K. 2000. Hihnakuuljettimien käytön turvallisuuden ja luotettavuuden parantaminen. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT. 101s.

PlasticsEurope. 2017. Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Saatavilla: https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf

Setälä, O., Fjäder, P., Hakala, O., Kautto, P., Lehtiniemi M., Raitanen, E., Sillanpää, M., Talvitie, J., Äystö L. 2017. Microplastics – a growing environmental risk. SYKE Policy Brief. Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/177566/SYKE_PolicyBrief_mikromuovi_FI_web.pdf?sequence=1 [viitattu 25.7.2018]

Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V. and Lehtiniemi, M. (2014) Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185

Wu, C., Xiong, X., Zhang, K. 2018. Microplastic Pollution in Inland Waters Focusing on Asia. In: Wagner M, Lambert S (eds) *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?* Springer, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-319-61615-5_9

Liite 1. Haastattelukysymysrunko

1. Nestepakkauskartongin valmistuksen prosessivaihe:
2. Mitkä ovat prosesseista löytyvät muoviosat ja missä ne sijaitsevat?
3. Ovatko muoviosat primäärisiä vai sekundäärisiä muovilähteitä?
4. Esiintyykö prosessin ympäristöolosuhteissa tai prosessissa kulumismekanismeja, jotka mahdollistavat sekundääristen mikromuovien syntymisen?
5. Esiintyykö prosessissa siitä riippumattomia ulkopuolisia tekijöitä, jotka vaikuttavat mikromuovien syntymiseen?
6. Päätyvätkö mahdolliset mekaaniset epäpuhtaudet tuotteeseen vai suotautuvatko ne massasta pois?
7. Päätyvätkö mahdolliset epäpuhtaudet vesikiertojärjestelmään? Päätyvätkö mahdolliset epäpuhtaudet jätevesiin?