

Nea Sandström

KIERRÄTYSMUOVIN KÄYTTÖ ELINTARVI- KEKONTAKTIMATERIAALINA

Kontaminaatoriskit avoimessa ja suljetussa kierrossa

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Sanna Auvinen
Joulukuu 2024

TIIVISTELMÄ

Nea Sandström: Kierrätysmuovin käyttö elintarvikekontaktimateriaalina: Kontaminaatoriskit avoimessa ja suljetussa kierrossa

Use of recycled plastic as food contact material: Contamination risks in open-loop and closed-loop recycling

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Materiaalitekniikka

Joulukuu 2024

Elintarvikekontaktimateriaalit ovat materiaaleja ja tarvikkeita, jotka ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa. Elintarvikekontaktimateriaaleja säädellään laissa ja niille on olemassa tiukat laatu- ja turvallisuusvaatimukset, jotta se ei aiheuta uhkaa ihmisen terveydelle. Kierrätysmuovin käyttö elintarvikekontaktimateriaalina on vielä hyvin rajoitettua. Kontaminaatiot lisäävät haasteita kierrätysmuovin käytölle elintarvikekontaktimateriaalina.

Tämän työn tavoitteena on selvittää, voidaanko avoimen ja suljetun kierron kautta valmistettua kierrätysmuovia käyttää elintarvikekontaktimateriaalina ja miten kontaminaatoriskit eroavat suljetun ja avoimen kierron välillä. Lisäksi työssä vertaillaan avoimen ja suljetun kierron etuja ja haasteita kontaminaatoriskien ja elintarvikekontaktimateriaalikäytön näkökulmista. Työ on tehty kirjallisuuskatsauksena.

Elintarvikepakkauksen päätyttyä kierrätykseen sen käytön jälkeen joko kuluttajien toimesta tai kaupan ja teollisuuden kautta. Tämä työ keskittyy muovien mekaaniseen kierrättämiseen, joka jaetaan avoimeen ja suljettuun kiertoon. Avoimessa kierrossa kierrätysmuovista valmistetaan tuote toiseen käyttötarkoitukseen kuin missä se on aiemmin ollut. Suljetussa kierrossa voidaan kierrättää muovi takaisin alkuperäiseen käyttötarkoitukseen. Pullojen panttipalautusjärjestelmä on tunnettu esimerkki suljetusta kierrosta.

Elintarvikepakkauksien kierrättämisessä on havaittu haasteita, joista yhtenä tekijänä on kontaminaatiot. Kontaminaatioiden pääseminen kierrätysmuoviin heikentää sen kierrättämisprosessia ja täten vaarantaa kierrätysmuovin turvallisen käytön. Avoimen kierron kontaminaatoriskejä aiheuttavat muun muassa kierrätysastiassa muovipakkauksimateriaalien sekoittuminen keskenään, pakkauksiin jääneet ruokajäämät, muovien väärinkäyttö ja kierrätysprosessissa käytetyt kemikaalit. Suljetussa kierrossa kontaminaatoriskit ovat pienempiä sen tiukan valvonnan ansiosta, mutta niitä voi silti syntyä esimerkiksi etikettien liimoista ja puhdistusaineiden jäämistä.

Kirjallisuuskatsaus osoitti, että elintarvikepakkauksen kiertotavalla on merkitystä kierrätysmuovin soveltuvuuteen elintarvikekontaktimateriaaliksi. Lisäksi kiertojen välillä on eroavaisuuksia kontaminaatoriskien määrissä ja niiden aiheuttajissa. Avoin kierto, jossa kuluttajilta kerättyä muovijätettä kierrätetään, ei sovellu elintarvikekontaktimateriaaliksi. Tämä johtuu siitä, että avoimessa kierrossa kerätty materiaali sisältää myös muuta kuin alun perin elintarvikekontaktimateriaaliksi hyväksyttyä materiaalia. Suljettu kierto, jossa käytetään tiettyjen elintarvikepakkauksien muovia, täyttää EU:n lainsäädännön asettamat tiukat turvallisuusvaatimukset ja soveltuu elintarvikekontaktimateriaalien valmistamiseen kierrätysmuovista.

Avainsanat: Kierrätysmuovi, kontaktimateriaali, kontaminaatio, avoin kierto, suljettu kierto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Opinnäytteessäni käytetyt tekoälytyökalut ja niiden käyttötarkoitukset on kuvailtu alla:

Työkalun nimi (ja versio): ChatGPT-4

Käyttötarkoitus ja osio, jossa työkalua käytettiin: Apuna englanninkielisten tekstien kääntämisessä suomen kielelle

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien tekoälyllä tuotetut osat, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö sai alkunsa minun mielenkiinnostani kiertotaloutta kohtaan. Kierrättäminen ja erityisesti kierrätettävien materiaalien käyttö ovat kiinnostaneet minua jo pitkään. Aihettani kierrätysmuovin käytöstä elintarvikekontaktimateriaalina on ollut mielenkiintoista tutkia sen mahdollisuuksien ja haasteiden takia. Työni on ollut minulle eräänlainen oppimismatka, jossa olen syventänyt tietämystäni ja kehittynyt kirjoittajana.

Toivon, että tämä työ voisi herättää lukijassa ajatuksia kierrättämisen ja elintarvikekontaktimateriaalien turvallisuuden merkityksellisyydestä. Nämä teemat ovat ajankohtaisia ja tärkeitä kestävän kehityksen näkökulmasta.

Haluan kiittää erityisesti ohjaajaani Sanna Auvista kaikesta avusta ja tuesta, jota olen koko kirjoitusprosessin aikana häneltä saanut. Iso kiitos kuuluu myös perheelleni, kihlalleni ja ystäväilleni, jotka ovat kannustaneet ja luottaneet minuun, niin hyvinä kuin haastavinakin hetkinä.

Tampereella, 13.12.2024

Nea Sandström

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. ELINTARVIKEKONTAKTIMATERIAALIT	3
2.1 Kierrätysmuovi kontaktimateriaalina	3
2.2 Lainsäädäntö ja vaatimukset	4
2.2.1 Kehysasetus ja GMP-asetus	5
2.2.2 Muoviasetus.....	5
2.2.3 Kierrätysmuoviasetus.....	6
3. ELINTARVIKEPAKKAUKSEN KIERTO.....	7
3.1 Mekaaninen kierrätys.....	8
3.2 Avoin kierto.....	9
3.3 Suljettu kierto.....	10
4. KONTAMINAATORISKIT	13
4.1 Kontaminaatiot elintarvikepakkauksissa.....	13
4.2 Kontaminaatoriskit avoimessa kierrossa	14
4.3 Kontaminaatoriskit suljetussa kierrossa	15
5. YHTEENVETO.....	17
LÄHTEET	20
LIITTEET.....	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EFSA	Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen, European Food Safety Authority
GMP	Hyvät valmistustavat, Good Manufacturing Practice
OML	Kokonaissiirtymän raja-arvo, Overall Migration Limit
PALPA	Suomen palautuspakkaus Oy
PE-HD	Korkean tiheyden polyeteeni, Polyethylene High-Density
PE-LD	Matalan tiheyden polyeteeni, Polyethylene Low-Density
PET	Polyeteenitereftalaatti, Polyethylene terephthalate
PP	Polypropeeni, Polypropylene
PPWR	Pakkaus- ja pakkausjäteasetus, Packaging and Packaging Waste Regulation
SML	Ainekohtaisen siirtymän raja-arvo, Specific Migration Limit

1. JOHDANTO

Vuonna 2022 Euroopassa kerättiin kuluttajien jälkeistä muovijätettä 32,3 miljoona tonnia, mistä muovipakkauksien osuus oli noin 18,5 miljoona tonnia. Näistä muovipakkauksista kierrätykseen päätyi lopulta vain noin 38 %. [1] Muovien suurimmat haasteet ympäristön kannalta ovat niiden heikko kierrätettävyyys ja päätyminen luontoon [2]. Muoviset elintarvikepakkaukset päätyvät yleensä nopeasti jätteeksi. Niiden tehokkaammalla kierrättämisellä pystyttäisiin vähentämään niiden aiheuttamaa ympäristökuormitusta. Ongelmana on kuitenkin muovien haastava kierrättäminen takaisin elintarvikepakkauksiksi, koska se edellyttää tarkkoja turvallisuusvaatimuksia. [3]

Kierrätysmuovin käyttöä elintarvikekontaktimateriaalina rajoittavat lainsäädännön asettamat tiukat laatu- ja turvallisuusvaatimukset, joiden tarkoituksena on varmistaa sen turvallinen käyttö. Elintarvikekontaktimateriaalin tulee olla inerttiä ja estää kontaminaatioiden pääseminen elintarvikkeeseen, jotta ihmisten terveys ei vaarantuisi. [4] Kierrätysmuovi altistuu helpommin useammille kontaminaatioille sen kierrätysprosessin aikana. Kontaminaatioita syntyy erilaisten sisäisten ja ulkoisten tekijöiden aiheuttamana. [5] Lisäksi kerätyn kierrätysmuovin joukossa on yhä sinne kuulumatonta materiaalia. Nämä kontaminaatiot tekevät kierrätysmuovin kierrättämisestä ja hyödyntämisestä haastavaa. [6]

Mekaaninen kierrätys on yleisin tapa kierrättää muovia [7]. Mekaanisessa kierrätyksessä muovi voidaan kierrättää joko takaisin samaan käyttötarkoitukseen tai uudelleenlaiseen käyttötarkoitukseen. Vaihtoehtoinen tapa muovien kierrätykselle on kemiallinen kierrätys, jossa muovi hajotetaan takaisin lähtöaineiksi. [8] Tässä työssä keskitytään mekaaniseen kierrätykseen, joka tapahtuu avoimessa ja suljetussa kierrossa.

Työn tavoitteena on selvittää, voidaanko avoimen ja suljetun kierron kautta valmistettua kierrätysmuovia käyttää elintarvikekontaktimateriaalina ja miten kontaminaatoriskit eroavat avoimen ja suljetun kierron välillä. Lisäksi työn tavoitteena on vertailla näiden kahden kierrätysjärjestelmän haasteita ja etuja kontaminaatoriskien ja elintarvikekontaktimateriaalikäytettävyyden näkökulmasta.

Luvussa 2 käsitellään kierrätysmuovin käyttöä elintarvikekontaktimateriaalina sekä siihen liittyvää lainsäädäntöä ja vaatimuksia. Luvussa 3 käsitellään, miten elintarvikepak-

kaus kiertää mekaanisen avoimen ja mekaanisen suljetun kierron kautta. Luvussa 4 käsitellään kontaminaatioita ja niiden riskejä avoimessa ja suljetussa kierrossa. Luku 5 sisältää yhteenvedon ja johtopäätökset työn tavoitteille.

2. ELINTARVIKEKONTAKTIMATERIAALIT

Elintarvikekontaktimateriaalit ovat materiaaleja ja tarvikkeita, mitkä ovat suoraan tai välillisesti kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa. Esimerkkinä suorasta kontaktista on muovikääre keksien ympärillä ja välillisenä kontaktina on kartonkipakkaus, johon muovikääre kekseineen on pakattuna. [9] Elintarvikekontaktimateriaaleja ovat myös pakkauksissa käytetyt liimat, voiteluaineet, painovärit sekä lisäaineet [2, 9]. Elintarvikekontaktimateriaaleja ovat esimerkiksi

- elintarvikkeiden pakkausmateriaalit
- astiat ja ruokailuvälineet
- ruuanvalmistusvälineet
- ruuanvalmistuslaitteet ja niiden osat
- elintarvikekontaktimateriaalien valmistuksessa käytettävät aineet [9].

Elintarvikekontaktimateriaalien tehtävänä on elintarvikkeen turvallisuuden takaaminen. Elintarvikkeeseen ei saa siirtyä terveydelle haitallisia vierasaineita. Elintarvikekontaktimateriaalit eivät saa aiheuttaa elintarvikkeeseen koostumuksen ja aistinvaraisien ominaisuuksien muutoksia. Tästä syystä elintarvikekontaktimateriaaleilta vaaditaan tarkkaa turvallisuutta ja jäljitettävyyttä. Turvallisuuden takaamiseksi elintarvikekontaktimateriaalien tulee olla kemiallisesti ja mikrobiologisesti laadukkaita, eivätkä ne saa reagoida muiden aineiden kanssa. Jäljitettävyydellä tarkoitetaan tietoa elintarvikekontaktimateriaalin kulusta eli mistä se on hankittu, mihin ja milloin käytetty sekä minne se on toimitettu eteenpäin. [4] Muovi lukeutuu yhdeksi elintarvikekontaktimateriaaliksi [9].

2.1 Kierrätysmuovi kontaktimateriaalina

Kierrätysmuovilla tarkoitetaan uusiomuovia, joka on valmistettu kierrätetyistä muovimateriaaleista ja -tuotteista [10]. Kierrätysmuovin käyttö elintarvikekontaktimateriaalina on vielä hyvin rajoitettua, mutta EU:n tarkoituksena on lisätä kierrätysmuovin käyttöä elintarvikepakkausmateriaaleissa. Tämän tavoitteen tarkoituksena on tehostaa muun muassa muovien kierrätystä entisestään ja vähentää muovien aiheuttamaa ympäristökuormitusta. [11] Kierrätysmuovin käyttö vähentää esimerkiksi fossiilisten raaka-aineiden käyttöä, energian kulutusta sekä jätteiden määrää, mikä tekee siitä ensiömuovia ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon [12, 13]. Ensiömuovilla tarkoitetaan muovia, joka ei

sisällä uusiomuovia [14]. Ensiömuovia valmistetaan fossiilisista raaka-aineista, jotka ovat uusiutumattomia luonnonvaroja [13].

Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen (EFSA) on hyväksynyt kierrätettyjen korkean tiheyden polyeteenin (PE-HD) ja polyetyleenitereftalaatin (PET) käytön elintarvikekontaktimateriaalina tietyissä tapauksissa. Näissä tapauksissa kierrätettyjä PE-HD-muovipulloja on valmistettu esimerkiksi tarjotinalustoiksi, joita käytetään kuivien hedelmien sekä vihanneksien esillepanoon. Puolestaan kierrätettyjä PET-muovipulloja on kierrätetty takaisin PET-muovipulloiksi suljetulla kierrolla. [15]

Suomalainen pullopanttijärjestelmä on hyvä esimerkki siitä, miten kierrätysmuovia hyödynnetään nykyisin uusien PET-pullojen valmistuksessa [2, 16]. Suomalainen yritys Pramia Plastic Oy valmistaa tuotteidensa joukossa myös elintarvikekontaktikelpoista PET-muoviraetta eli Pramia Granulaattia, joka on EFSA:n hyväksymä. Pramia Granulaatin valmistamisessa hyödynnetään suomalaisesta pullojen palautusjärjestelmästä saatua PET-muovia. Pramia Granulaattia käytetään esimerkiksi uusien PET-muovipullojen raaka-aineena. [17]

Kierrätysmuovin hyödyntämisessä on sen mahdollisuuksiensa lisäksi myös haasteensa. Kierrätysmuovin käyttö elintarvikekontaktimateriaalina edellyttää korkeita turvallisuusvaatimuksia [11]. Haasteena on, että muovi voi sen käytön ja kierrätyksen aikana altistua erilaisille ulkoisille tekijöille, kuten auringonvalolle, kosteudelle, kuumuudelle, epäpuhtauksille, mekaaniselle kulumiselle ja mikro-organismeille. Nämä tekijät heikentävät muovin rakennetta ja sen turvallisuutta. [18] Lisäksi muovissa käytetyt lisäaineet voivat jäädä kierrätettyyn muoviin [19]. Näistä syistä kierrätetyn muovin käyttö elintarvikekontaktimateriaalina on haasteellista.

2.2 Lainsäädäntö ja vaatimukset

EU:n lainsäädännön tehtävänä on varmistaa elintarvikekontaktimateriaalin turvallisuus, niin ettei se aiheuta uhkaa ihmisten terveydelle. Siksi EU:n lainsäädäntö on asettanut tiukat laatu- ja turvallisuusvaatimukset elintarvikekontaktimateriaaleille, minkä takia niitä myös valvotaan ja tutkitaan tarkasti. [11] Muovisia elintarvikepakkauksia ja elintarvikekontaktimateriaaleja koskevat erityisesti muovi- ja kierrätysmuoviasetukset, jotka ovat kehysasetuksen ja GMP-asetuksen alaisia. [2, 20]

2.2.1 Kehysasetus ja GMP-asetus

Kehysasetus (EU) N:o 1935/2004 sisältää kaikkia elintarvikekontaktimateriaaleja koskevan lainsäädännön EU:n alueella. Se on määritellyt 17 materiaalia sopivaksi elintarvikekontaktiin mukaan lukien muovin. Siinä määritellään kaikkia elintarvikekontaktimateriaaleja koskevat yleiset vaatimukset. Yhtenä yleisenä vaatimuksena on, että elintarvikekontaktimateriaalit ja tarvikkeet valmistetaan hyvien tuotantotapojen mukaisesti. Tämä varmistaa, että elintarvikekontaktimateriaaleista ei siirry elintarvikkeeseen aineita, jotka voisivat vaarantaa terveyden, muuttaa elintarvikkeen koostumusta tai heikentää sen makua tai hajua. Kaikkien elintarvikekontaktimateriaalien tulee täyttää tämän asetuksen vaatimukset ja näin varmistaa käytettävien kontaktimateriaalien turvallisuus. [20-23]

GMP-asetuksessa (EU) N:o 2023/2006 määritetään vaatimukset elintarvikekontaktimateriaalien valmistukselle. Tämä asetus on määritellyt hyvät tuotantotavat, joihin kuuluvat esimerkiksi dokumentoidut laadunvarmistus- ja laadunvalvontajärjestelmät. Tämä asetus koskee erityisesti elintarvikekontaktimateriaalitoimijoita, joita ovat esimerkiksi maahantuojat ja tukut. [20, 21, 24, 25]

2.2.2 Muoviasetus

EU:ssa on voimassa materiaalikohtaisia säädöksiä. Muovisille elintarvikekontaktimateriaaleille on käytössä muoviasetus (EU) N:o 10/2011, jossa määritellään vaatimukset muun muassa muovien koostumukselle sekä hyväksytyille aineille, joita saa käyttää muovien valmistuksessa. [20, 21]

Muoviasetus sisältää ohjeita muun muassa elintarvikekontaktimuovien testaamiseen ja vaatimustenmukaisuusilmoituksen tekemiseen. Elintarvikekontaktimateriaaleista on aina testattava raja-arvot ainekohtaisille siirtymille ja kokonaissiirtymille. Ainekohtainen siirtymän raja-arvo (SML) tarkoittaa tietyn aineen sallittua enimmäismäärää, joka voi siirtyä muovimateriaalista- tai tarvikkeesta elintarvikkeeseen. Kokonaissiirtymän raja-arvo (OML) tarkoittaa muovimateriaaleista- ja tarvikkeista elintarvikesimulanttiin siirtyvien haihtumattomien aineiden sallittua enimmäismäärää. Elintarvikesimulantilla tarkoitetaan testiainetta, jolla jäljitellään elintarviketta. Näiden raja-arvojen testaamisen tarkoituksena on suojata elintarvikkeita haitallisilta aineilta muovisia elintarvikekontaktimateriaaleja käytettäessä. [26, 27]

2.2.3 Kierrätysmuoviasetus

Kierrätysmuoviasetus (EU) N:o 1616/2022 koskee kierrätysmuovimateriaaleja ja niiden kierrätysmenetelmiä. Sen tavoitteena on edistää kierrätysmuovin käyttöä elintarvikekontaktimateriaalina ja varmistaa samalla sen turvallinen käyttö. Tämä tarkoittaa sitä, että elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevien kierrätysmuovien tulee täyttää tämän asetuksen asettamat tiukat vaatimukset. Asetuksen tullessa voimaan komissio on hyväksynyt kaksi kierrätystekniikkaa, jotka ovat kuluttajakäytön jälkeisen PET-muovin mekaaninen kierrätys sekä tuotteiden kierrätys suljetussa ja tarkasti valvotussa kierrossa. [11, 28]

Kierrätysmuovin koostumuksen valvominen on haastavaa, koska niiden tarkkaa sisältöä ei aina tiedetä, eikä kaikille aineille ole välttämättä olemassa edellä mainittuja raja-arvoja. Ensiömuovin valvonta on sen sijaan yksinkertaisempaa, koska sen rakenteellinen koostumus tiedetään. Tämän takia kierrätysmuovin valvonta painottuu sen tuotantoprosesseihin, joissa on noudatettava muun muassa siihen soveltuvia raaka-aineita, laitteita ja asianmukaisia tuotantotapoja. [29]

3. ELINTARVIKEPAKKAUKSEN KIERTO

Muovisen elintarvikepakkauksen kierto alkaa jo pakkauksen suunnitteluvaiheesta, jossa pakkaus suunnitellaan kierrätykseen soveltuvaksi [30]. Tämän takana on EU:n Pakkaukset ja pakkausjätteet -direktiivi (PPWR), joka säätelee pakkausten suunnittelua, käyttöä ja kierrätystä. PPWR:n tavoitteena on edistää kierrätettävien pakkausten käyttöä ja vähentää pakkausjätteen syntymistä. [31, 32] Pakkaustuottajilla on vastuu huolehtia pakkauksien jätehuollosta ja sen toimivuudesta. Muovinen elintarvikepakkaus muuttuu jätteeksi sen käytön jälkeen, jonka jälkeen se tulee lajitella muovijätteen joukkoon. Lajitteluvaihe alkaa jo kuluttajien toimesta, sillä kuluttajilta kerätty pakkausmuovi toimitetaan kierrätykseen muovijalostamolle. Sinne päätyy kotitalouksilta kerätyn muovin lisäksi myös kauppojen ja teollisuuden muovipakkausjätteet. Kierrätyslaitoksilla tapahtuu muovipakkauksen kierrättäminen kierrätysmuovigranulaateiksi. [30]

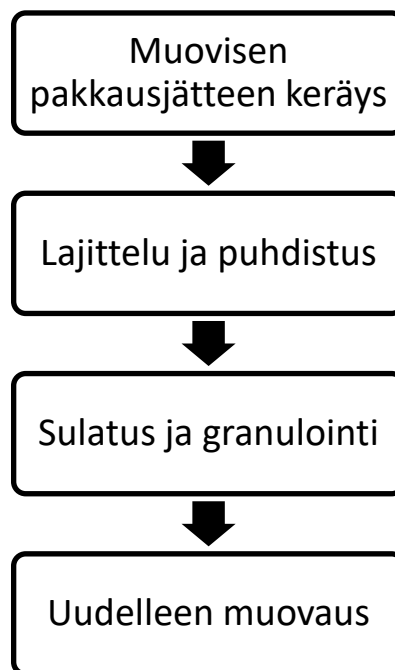
Euroopan unioni on asettanut muovipakkauksien kierrätystavoitteeksi 55 prosenttia 2030 vuoteen mennessä [33]. Tämän tavoitteen tarkoituksena on muun muassa parantaa kierrätysmuovi-raaka-aineiden laatua, lisätä niiden käyttöä entisestään sekä tehostaa niiden kiertoa, niin ettei ne päätyisi kaatopaikoille ja jätteenpolttoon. Tämä tarkoittaa uusiokäytön ja kierrätyksen lisäämistä. [34]

Elintarvikemuovipakkauksien kierrätyksessä on havaittu haasteita. Muovipakkausjätteen kierrätystä vaikeuttavat muun muassa niiden mahdollinen monikerrosrakenne, erilaisten muovityyppien laaja määrä sekä niiden kierrätysominaisuuksien eroavaisuudet. Haasteena ovat myös elintarvikepakkausjätteen sisältämät mahdolliset kontaminaatiot sekä muut kierrätykseen päätyneet haitalliset aineet. [35]

Elintarvikepakkausten kierrättäminen tyhjinä ja puhtaina on tärkeää sen turvallisuuden takaamisen ja kierrätysprosessin tehokkuuden kannalta. Kuluttajilta ja kaupoilta kerättäviin muovinkeräysastioihin soveltuu kierrätettäväksi erityisesti muoviset elintarvikepakkaukset, joita ovat muun muassa erilaiset muovikääreet, muovipussit, pantittomat muovipullot, muoviset jogurtti- ja viilipurkit, juustopakettit ja niin edelleen. Myös muut kuin elintarvikkeen kanssa kosketuksissa olevat muoviset pakkaukset voidaan lajitella samaan muovinkeräysastiaan. [34] Pantillisille muovipulloille on käytössä panttipalautusjärjestelmä, jonka kautta ne voidaan kierrättää [16].

3.1 Mekaaninen kierrätys

Mekaaninen kierrätys perustuu muovijätteen käsittelemiseen takaisin alkuperäiseen käyttötarkoitukseen tai kokonaan uuteen käyttötarkoitukseen soveltuvaksi. Mekaaniseen kierrätykseen soveltuu parhaiten sellaiset muovijätteet, jotka ovat säilyneet mahdollisimman puhtaina, vahingoittumattomina ja sisältävät yhdenlaista muovityyppiä. Nämä tekijät parantavat muovin kierrätettävyyttä. [8] Mekaanisen kierrätyksen etuna ovat muun muassa se, että sillä voidaan vähentää uusien raaka-aineiden tarvetta, tuottaa markkinoille kierrätysmuovista valmistettuja tuotteita, säästää energiaa ja vähentää merkittävästi syntyvän muovijätteen määrää. [36, 37] Mekaanisen kierrätyksen vaiheet ovat esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Mekaanisen kierrätyksen vaiheet, muokattu lähteestä [36]

Kuvasta 1 huomataan, että mekaaninen kierrätys alkaa muovisen pakkausjätteen keräämisellä. Tämän jälkeen ne lajitellaan ja puhdistetaan. Lajittelu- ja puhdistusvaiheen yhteydessä muovi pestään ja rouhitaan pienemmiksi paloiksi, jotta se helpottaa seuraavia vaiheita. [36, 37] Nämä ovat tärkeitä vaiheita, sillä niissä pyritään poistamaan joukosta kaikki kontaminaatiot [38]. Näiden vaiheiden jälkeen muovi sulatetaan ennen sen granulointia. Sulaa muovia voidaan käsitellä niin, että siitä poistetaan mahdollisia kaasuja ja sulamattomia kappaleita, kuten vanhojen painovärien ja liimojen jäänteitä. Lisäksi

sulaan muoviin voidaan joutua lisäämään erilaisia lisä- tai täyteaineita haluttujen ominaisuuksien tuottamiseksi. Granuloinnin jälkeen muodostetaan haluttu lopputuote joko alkuperäiseen käyttötarkoitukseen tai uuteen käyttötarkoitukseen. [36, 37]

Suomessa mekaaninen kierrätys keskittyy pääosin muun muassa polyeteenitereftalaatin (PET), korkean ja matalan tiheyden polyeteenin (PE-HD ja PE-LD) ja polypropeenin (PP) kierrättämiseen [39]. Nämä muovit ovat kestumuoveja, koska niitä voidaan sulattaa ja muovata uudelleen. Kuluttajien käytöstä kerättävä muovi on kierrätyksen kannalta haasteellista, sillä sen sisältöä ei välttämättä tunneta niin hyvin. [15] Mekaanisen kierrätyksen muita haasteita ovat myös muovien sisältämät kontaminaatiot. Niitä on voinut kertyä muoviin sen valmistusvaiheessa, käytön yhteydessä tai kierrätyksen aikana. [40] Siksi on tärkeää, että mekaaniseen kierrätykseen päätyisi puhdasta yhtä muovilaatua sisältävää muovijätettä. Puhtaus helpottaa muovin kierrätettävyyttä ja vähentää myös puhdistamisvaiheessa veden ja puhdistusaineiden kulutusta. [8] Mekaaninen kierrätys jaetaan mekaaniseen avoimeen kiertoon (open-loop) ja mekaaniseen suljettuun kiertoon (closed-loop), jotka esitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa [15].

3.2 Avoin kierto

Avoimella kierrolla tarkoitetaan mekaanista kierrätystä, jossa kierrätysmuovista valmistetaan tuote uuteen käyttötarkoitukseen aiemman käyttötarkoituksen sijasta. Siinä kierrätetyn muovin rakenne pysyy samanlaisena, mutta sen laatu heikkenee, jonka takia sitä valmistetaan tuotteisiin, joissa on heikommat laatuvaatimukset kuin alkuperäisessä käyttötarkoituksessa. [15] Avoimen kierron peruseräite on esitettyä kuvassa 2.



Kuva 2. Avoin kierto

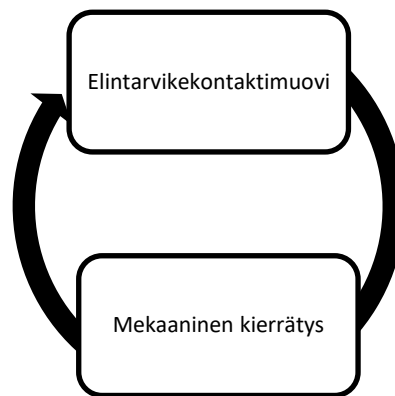
Kuvasta 2 huomataan, että muovinkeräysastioista kerätyt pakkausmuovijätteet kierrätetään mekaanisesti ja hyödynnetään uusien tuotteiden valmistuksessa, kuten esimerkiksi

tekstiileissä. Avoimessa kierrossa kierrätetään muovipakkauksia, jotka kerätään kierrätysmuovipisteiltä joko kiinteistöjen tai kauppojen pihoilta. Tämän takia muovinkeräysasioissa on joukossa myös sellaisia muovipakkauksia, jotka eivät ole alun perin tarkoitettu elintarvikekontaktimateriaaliksi. Elintarvikekontaktimateriaalin turvallisuuden varmistamiseksi on tärkeää, ettei se joudu kontaktiin sellaisten materiaalien kanssa, joita ei ole hyväksytty kyseiseen käyttöön. Avoimessa kierrossa pakkausmuovijätteet sekoittuvat keskenään, joka johtaa siihen, että siitä saatua kierrätysmuovia ei voida käyttää elintarvikekontaktimateriaalien valmistamiseen. [34, 41]

Esimerkkinä avoimesta kierrosta on muovinkeräyspisteiltä kerätty muoviset pakkausjätteet, jotka päätyvät Riihimäelle Fortumin laitokselle, jossa niistä valmistetaan kierrätysmuovigranulaatteja lähinnä teollisuuden käyttöön. Näistä kierrätysmuovista valmistetuista granulaateista valmistetaan esimerkiksi kukkaruukkuja, pesuainepulloja ja muovipusseja. [34] Vaikka mekaaninen avoin kierto ei sovellu kierrätysmuovin valmistamiseen elintarvikekontaktimateriaaliksi, se silti edistää kierrätysmuovin käyttöä muissa tuotteissa ja siten vähentää ympäristökuormitusta.

3.3 Suljettu kierto

Suljetulla kierrolla tarkoitetaan mekaanista kierrätystä, jossa muovi kierrätetään takaisin alkuperäiseksi tuotteeksi [15]. EU:n kierrätysmuoviasetus puoltaa suljetun kierron käyttöä elintarvikekontaktimateriaalien valmistukselle [11]. Tämä tarkoittaa sitä, että elintarvikekontaktimateriaalia voidaan valmistaa suljetulla kierrolla kierrätysmuovista. Suljettu kierto on esitettyä kuvassa 3.



Kuva 3. Suljetun kierron kulku [42]

Kuvasta 3 huomataan, miten elintarvikekontaktimuovi kiertää suljetussa kierrossa. Siinä tuote kierrätetään mekaanisen kierrätyksen vaiheiden mukaisesti takaisin alkuperäiseen käyttötarkoitukseen. Suljetussa kierrossa tapahtuva mekaaninen kierrätys säilyttää eniten arvoa, sillä siinä muovin laatu säilyy samana kuin ennen kierrätystä, koska muovi

kierrätetään samoihin käyttötarkoituksiin uudelleen. Lisäksi siinä kierrätetyt materiaalit ovat elintarvikekontaktimateriaaleiksi hyväksytyjä ja materiaalivirta on homogeenista. Suljetun kierron etuna on myös muovin jäljittäminen, joka helpottaa sen kierrätysprosessin kulkua. [15] Suljetulla kierrolla on myös positiiviset vaikutukset ympäristökuorman vähentämisessä. Sen avulla vähennetään jätteen määrää, raaka-aineiden ja energian kulutusta sekä se pitää tuotteen kierrossa [5,18]. Merkittävä esimerkki suljetusta kierrosta on Suomessa tapahtuva PET-muovipullojen kierrätys [40].

Suomessa juomapakkauksille on käytössä panttipalautusjärjestelmä, joka mahdollistaa tehokkaan juomapakkausten keräämisen ja kierrättämisen. Vuonna 2023 muovipullojen palautusaste Suomen Palautuspakkaus Oy (PALPA:n) kautta oli 90 prosenttia. [16]



Kuva 4. Juomapakkauksen kierto, lupa saatu [16]

Kuvassa 4 on esitetty PALPA:n juomapakkauksien suljettu kierto. Se alkaa, kun tuote toimitetaan kappoihin myyntiin. Seuraavaksi kuluttaja käy kaupasta ostamassa tuotteen sekä palauttaa tyhjän juomapakkauksen pullonpalautusautomaatin kautta. Pullonpalautusautomaatti tunnistaa pantillisen pullon vertaamalla sen viivakoodia ja muotoa laitteen tietokannassa oleviin tietoihin. Jotta pakkaus voidaan tunnistaa, sen on oltava ehjä ja viivakoodin selkeästi luettavissa. Pullonpalautusautomaatti tunnistaa ja lajittelee juomapakkaukset palautustapahtumahetkellä, mikä tehostaa kierrätysprosessin lajitteluvaihetta. Seuraavassa vaiheessa palautetut juomapakkaukset noudetaan palautuspisteeltä ja kuljetetaan käsittelylaitokselle. Siellä materiaali siirretään jatkokäsittelyyn jälleenkäsittelijälle. Kierrätetyistä juomapakkauksista saadaan kierrätysmateriaalia, josta valmistetaan uudelleen uusia juomapakkauksia. [16]

Panttialautusjärjestelmästä vastuussa oleva taho määrittää erinäisiä vaatimuksia PET-pullojen kierrolle, joita ovat esimerkiksi pulloissa käytetyt muut materiaalit, pullojen muodot, korkit, pulloihin hyväksytyt etiketit ja etiketteihin käytetyt liimat. Nämä varmistavat, että kierrätyksessä syntyy mahdollisimman puhdas ja homogeeninen materiaalivirta. [15] Lisäksi panttialautusjärjestelmän läpi kulkeneet muovipullot ovat jäljitettävissä viivakoodin ja tiukan valvonnan avulla [15,16]. Nämä tekijät mahdollistavat panttialautusjärjestelmän avulla kierrätetyn kierrätysmuovin käytön elintarvikekontaktimateriaalina. [15]

4. KONTAMINAATORISKIT

Kontaminaatio on jonkin asian saastumista eli likaantumista. Elintarvikkeiden kohdalla kontaminoituminen tarkoittaa sitä, että siitä tulee terveydelle haitallista. [43] Kierrätetyt muovit kerätään pääosin kuluttajien käytöstä ja siksi ne voivat sisältää monenlaisia kontaminaatioita. Jos näitä kontaminaatioita ei poisteta, ne voivat päätyä elintarvikkeisiin ja aiheuttaa riskejä muun muassa ihmisten terveydelle. Yleiset muovien kierrätyksen kontaminaatiot ovat mikrobiologisia ja kemiallisia. [29]

Kierrätysmuovissa esiintyvät kontaminaatiot eroavat ensiömuovien valmistuksessa käytettävistä aineista siinä, että kaikkia kontaminaatioiden lähteitä ei pystytä tunnistamaan, ja niitä löytyy satunnaisia määriä [29]. Kontaminoituminen voi tapahtua missä tahansa vaiheessa muovin kiertoa.

4.1 Kontaminaatiot elintarvikepakkauksissa

Elintarvikekäytöstä peräisin oleva muovi voi sisältää kontaminaatioita, jotka heikentävät kierrätysmuovin turvallisuutta ja laatua, jos sitä käytetään uudestaan elintarvikekontaktimateriaalina. Kierrätetyissä elintarvikepakkauksissa esiintyvät mahdolliset kontaminaatiot ja niiden määrät voivat vaihdella satunnaisesti, eikä niitä voida tarkasti määrittää. Tämä riippuu myös siitä, mistä muovijäte on peräisin ja millä tavalla se on kerätty. [11]

Kaupasta ja teollisuudesta kerätyt muoviset pakkauksjätteet ovat yleensä homogeenisempaa ja puhtaampaa kuin kuluttajilta kerätyt muovipakkauksjätteet. Kuluttajilta kerätyt muovipakkauksjätteet sisältävät elintarvikepakkausten lisäksi myös muita muovisia pakkauksjätteitä ja siten myös sisältävät erilaisia kontaminaatioita, kuten ruokajäämiä, kosteutta ja pakkauksen sisältämiä muita materiaaleja, esimerkiksi tarrojen liimoja. [44] Elintarvikkeiden pilaantuminen itsessään on myös kontaminoitumista, jota aiheuttavat niin ulkoiset kuin sisäiset tekijät. Pilaantumisen syitä voivat olla muun muassa UV-valo, mikro-organismit, lämpötila, ja elintarvikkeisiin kuulumattomat yhdisteet. Nämä tekijät voivat aiheuttaa elintarvikkeeseen esimerkiksi mikrobien kasvua, väriaineiden muutoksia, terveysvaaroja ja muita kemiallisia muutoksia. Esimerkiksi ulkoiset tekijät, kuten UV-valo tai mekaaninen rasitus voivat aiheuttaa muovisen elintarvikepakkauksrakenteen hajoamista, joka johtaa samalla elintarvikkeen pilaantumiseen. Tämän vuoksi elintarvikepakkaukselta ja elintarvikekontaktimateriaalilta vaaditaan ominaisuuksia, jotka estäisivät elintarvikkeen pilaantumisen ja siten varmistavat, ettei niistä ole terveydelle vaaraa. [45]

Elintarvikekontaktimuoveihin on voitu lisätä antimikrobisia lisäaineita parantamaan hygieenisyyttä. Elintarvikekontaktissa oleviin muovipakkauksiin käytetään silti huomattavasti vähemmän lisäaineita kuin muissa muovisissa pakkauksissa, sillä elintarvikepakkauksien ja kontaktimateriaalien laatukriteerit ovat erittäin tiukat [40].

4.2 Kontaminaatoriskit avoimessa kierrossa

Avoimessa kierrossa kuluttajilta kerätty muovipakkausjäte voi sisältää sinne kuulumatonta jätettä. Muovijätteen joukossa voi olla muovin lisäksi esimerkiksi metalleja, paperia, biojätettä, kemikaaleja ja muuhun kuin elintarvikekäyttöön tarkoitettuja pakkauksia. Nämä muun muassa vaikuttavat siihen, millaisia kontaminaatioita muovissa voi olla. [38]

Kuten työssä on aikaisemmin todettu, mekaaniseen kierrätykseen soveltuu parhaiten puhtaat ja yhtä muovityyppiä sisältävät muovijätteet, kuten esimerkiksi PET-muovit. PET-muovin kontaminaatoriskejä avoimessa kierrossa aiheuttavat muun muassa seuraavat kontaminaatiolähteet [29, 38]:

- Muut muovipakkaukset: Kierrätysmuoviastioissa on muitakin muovisia pakkausmateriaaleja kuin elintarvikepakkausmuoveja. Pakkaukset, jotka eivät ole olleet elintarvikekontaktissa saattavat sisältää aineita, jotka päätyessään kierrätysmuoviin eivät sovellu enää elintarvikekontaktimateriaaliksi.
- Elintarvikepakkauksien ruokajäämät: Kierrätettyihin elintarvikepakkauksiin on saattanut jäädä ruokajäämiä, jotka voivat kierrätyksen aikana aiheuttaa kontaminaatioita. Ruokajäämät voivat myös reagoida muiden kontaminaatioiden ja muovien hajoamistuotteiden kanssa.
- Kierrätysprosessissa käytetyt kemikaalit: Puhdistusvaiheessa käytetyt pesuaineet ja emäksiset aineet voivat jäädä kierrätysmuoviin ja muodostaa siihen kontaminaatioita.
- PET-muovin hajoamistuotteet: Sekä pakkauksen käyttö että kierrätysprosessi voivat aiheuttaa muovin hajoamista pienemmiksi molekyyleiksi. Tämä voi aiheuttaa kontaminaatioiden syntymistä, kun esimerkiksi muovin rakenne ja lisäaineet reagoivat keskenään.
- Muut materiaalit: Muovinkeräysastioihin on voinut päätyä muita sinne kuulumatomia materiaaleja, kuten esimerkiksi metalleja, paperia tai biojätettä. Nämä aiheuttavat kontaminaatoriskejä kierrätettyyn muoviin.

- PET-muovin väärinkäyttö: Elintarvikepakkausmuovia on voitu käyttää myös muiden aineiden säilytykseen ennen kierrätykseen päätymistä. Näitä aineita voivat olla esimerkiksi maalit, liimat, pesuaineet ja niin edelleen.

Avoimessa kierrossa on paljon erilaisia kontaminaatoriskien lähteitä. Edellä mainitut kontaminaatoriskit johtuvat pääasiassa ulkoisista tekijöistä, kuten siitä, että muovinkeräysastioihin päätyy myös muita muovipakkauksia kuin elintarvikepakkauksia, muovin käytöstä ennen kierrätystä ja lajittelun puutteista. Myös kierrätysprosessin aikana on mahdollista syntyä kontaminaatoriskejä. Avoimen kierron erilaiset kontaminaatoriskit PET-muovin eri elinkaaren vaiheissa tekevät elintarvikekäyttöön soveltuvan kierrätysmuovin valmistamisesta monimutkaista ja haastavaa. [38]

4.3 Kontaminaatoriskit suljetussa kierrossa

Suljetussa ja valvotussa kierrossa kontaminaatiot pyritään estämään tarkalla valvonnalla [11]. Siitä huolimatta kontaminaatoriskejä on kuitenkin olemassa. Suljetussa kierrossa PET-muovin kontaminaatoriskejä aiheuttavat muun muassa seuraavat kontaminaatiolähteet [29, 38]:

- PET-muovipakkauksien muut materiaalit: PET-muovipulloissa on korkkeja ja etikettejä, joihin on voitu käyttää esimerkiksi toisia muovilaatuja ja liimoja. Nämä lisäävät kontaminoitumisen riskejä kierrätysprosessissa, jos materiaalit pääsevät sekoittumaan keskenään.
- Kierrätysprosessissa käytetyt kemikaalit: Puhdistusvaiheissa käytetyt pesuaineet ja emäksiset aineet voivat jäädä kierrätysmuoviin ja aiheuttaa kontaminoitumista.
- PET-muovin hajoamistuotteet: Sekä pakkauksen käyttö että kierrätysprosessi voivat aiheuttaa muovin hajoamista pienemmiksi osiksi. Tämä voi aiheuttaa uusien epäpuhtauksien syntymistä, kun muovin rakenne ja lisäaineet reagoivat keskenään.
- PET-pullojen sisältö: Kierrätetyissä muovipulloissa saattaa olla jäljellä neste- tai ruokajäämiä, jotka aiheuttavat kierrätyksen aikana kontaminaatioita. Lisäksi kuluttaja on voinut säilyttää muovipullossa myös jotakin sinne kuulumatonta ainetta, kuten pesuaineita tai öljyä ennen muovipullon palauttamista palautusjärjestelmään.

Suljetun kierron kontaminaatoriskit ovat huomattavasti vähäisempiä kuin avoimen kierron. Tähän vaikuttavat muun muassa yhtenäinen materiaalivirta, materiaalien jäljitettävyys ja kierron tarkka valvonta. [15] Myös tutkimusten mukaan PET-pullojen suljetussa

kierrossa esiintyy vähemmän kontaminaatioita kuin avoimen kierron kautta kerätyillä PET-pulloilla [38].

5. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, miten kontaminaatoriskit eroavat avoimen ja suljetun kierroksen välillä sekä voidaanko avoimen ja suljetun kierron kautta valmistettua kierrätysmuovia käyttää elintarvikekontaktimateriaalina. Lisäksi työn tavoitteena oli vertailla näiden kahden kierrätysjärjestelmän haasteita ja mahdollisuuksia kontaminaatoriskien ja elintarvikekontaktimateriaalikäytön näkökulmista.

Kierrätysmuovia käytetään elintarvikekontaktimateriaalina, mutta sen käyttö on vielä hyvin rajoitettua. Lainsäädännön asettamat tiukat turvallisuusvaatimukset asettavat tarkat kriteerit kierrätysmuovin käytölle elintarvikekontaktimateriaalina. Yhtenä turvallisuusvaatimuksena on elintarvikekontaktimateriaalin puhtaus. Kontaminaatiot vaikuttavat niin ihmisen terveyteen kuin tekevät muovin kierrättämisestä haastavaa. Kontaminoitumista voi syntyä muoviin missä tahansa sen elinkaaren vaiheessa. Työssä huomattiin, että elintarvikepakkauksen kierrolla on merkitystä kierrätysmuovin käytettävyyteen elintarvikekontaktimateriaalina.

Avoimessa kierrossa kuluttajalta kerätty muovipakkausjäte ei sovellu kierrätysmuovisen elintarvikekontaktimateriaalin valmistukseen, koska siinä muovinen pakkausjäte sekoittuu sellaisten muovipakkausjätteiden kanssa, jotka eivät ole alun perin tarkoitettu elintarvikekontaktimateriaali käyttöön. Tämä aiheuttaa kontaminaatoriskin, jossa muoviin päätyy sellaisia aineita, jotka eivät täytä elintarvikekontaktimateriaalille asetettuja tiukoja turvallisuusvaatimuksia. Avoimessa kierrossa kontaminaatoriskejä on huomattavasti enemmän kuin suljetussa kierrossa. Suurin osa avoimen kierron kontaminaatoriskien aiheuttajista ovat peräisin muovin käytön ajalta sekä keräyspisteiden sisällöstä.

Sen sijaan suljettua kiertoa voidaan käyttää elintarvikekontaktimateriaalin valmistukseen kierrätysmuovista, koska siinä kierrätetyt materiaalit ovat elintarvikekontaktiin hyväksytyjä ja materiaalivirta on homogeenista. Lisäksi se vastaa kierrätysmuoviasetuksen vaatimuksia. Vaikka suljetussa kierrossa on myös kontaminaatoriskejä, niitä on huomattavasti vähemmän ja riskit ovat hallittavissa tarkan valvonnan avulla. Suurin osa riskeistä liittyy itse tuotteeseen ja kierrätysprosessiin. Kontaminaatio voi esimerkiksi tapahtua, jos PET-pullojen sisältämät muut materiaalit pääsevät sekoittumaan keskenään kierrätysprosessissa tai kierrätysprosessin pesuvaiheessa pesuainejäämät voivat jäädä kierrätysmuoviin. Lisäksi väärinkäytölle on aina olemassa mahdollisuus, mutta ulkopuolisten tekijöiden aiheuttamat kontaminaatiot ovat kuitenkin vähäisemmät kuin avoimessa kier-

rossa. Suljettu kierto on kontrolloidumpaa sen tarkan valvonnan ja materiaalien jäljitettävyyden ansiosta. Avoimen ja suljetun kierron edut ja haasteet ovat eriteltynä alla olevassa taulukossa.

Taulukko 1. *Avoimen ja suljetun kierron edut ja haasteet*

	Avoim kierto	Suljettu kierto
++	Mahdollistaa kierrätysmuovin käytön muissa kuin elintarvikepakkauksissa. Täten vähentää ympäristökuormaa ja muovien päätymistä luontoon.	EU:n hyväksymä kierrätystekniikka elintarvikekontaktimuovimateriaalin valmistukseen. Muovin jäljitettävyys helppoa. Vähemmän kontaminaatoriskejä.
+	Kierrätykseen soveltuu kaikenlaiset muovipakkaukset ja ei vaadi tiukkoja turvallisuusvaatimuksia.	Muovin laatu säilyy. Suuri ympäristöhyöty, sillä säästää raaka-aineiden tarvetta ja vähentää jätteen määrää.
-	Kontaminaatoriskejä useammasta erilähteestä.	Rajoitettu sovellettavuus. Tällä hetkellä tunnetuin käyttökohde on PET-pullojen panttipalautusjärjestelmä.
--	Ei sovellu elintarvikekontaktimuovimateriaalin valmistukseen	Tuotteiden väärinkäyttö ennen kierrätystä lisää kontaminaatoriskiä

Taulukossa 1 esitellään avoimen ja suljetun kierron etuja ja haasteita kontaminaatoriskien ja elintarvikekontaktimateriaalivaatimusten näkökulmasta. Yhteenvedona voidaan todeta, että avoin kierto on laajempi ja joustavampi kierrätysmuovin käytössä, mutta se tuo mukanaan enemmän riskejä kierrätysmuovin turvallisuudelle. Suljettu kierto on turvallisempi vaihtoehto elintarvikekontaktimateriaalien valmistukseen sen tarkan valvonnan myötä. Molemmilla kierroilla pienennetään muovien aiheuttamaa ympäristökuormaa vähentämällä uuden raaka-aineen tarvetta, syntyvän jätteen määrää sekä energian kulutusta.

Kierrätysmuovin käytön lisääminen elintarvikekontaktimateriaaleissa vaatii sen turvallisuuden ja laadun säilyttämistä. Avoimen ja suljetun kierron prosesseja voitaisiin kehittää aiempaa tehokkaammaksi. Esimerkiksi suljetun kierron soveltuvuutta voitaisiin laajentaa muillekin tuotteille kuin PET-muovipulloille. Panttipalautusjärjestelmä on todettu motivoivaksi tavaksi kierrättää muovia, jolloin se voisi toimia myös muiden tuotteiden kohdalla.

Kuluttajien tietoisuuden lisääminen oikeaoppisesta kierrättämisestä on tärkeää. Erityisesti tieto lajittelun ja jätteen puhtauden merkityksestä edesauttaisi kierrätysprosessia. Tietoisuuden lisäämisellä voitaisiin esimerkiksi säästää aikaa ja resursseja, kuten vähentää pesuaineiden ja veden käyttöä muovin mekaanisessa kierrätyksessä. Myös uudenlaiset kierrätystekniikat tai vaihtoehtoiset materiaalit voisivat auttaa tämän haasteen ratkaisemisessa.

LÄHTEET

- [1] The Circular Economy for Plastics – A European Analysis, Plastics Europe, 2024, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.11.2024): <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-analysis-2024/>
- [2] J. Kohvakka, L. Lehtinen, Hyvä, paha muovi, Minerva Kustannus Oy, 2019, 182 s.
- [3] Food Packaging Materials and recycling, Food Packaging Forum, 2024, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2024): <https://foodpackagingforum.org/resources/food-packaging-materials-and-recycling>
- [4] Elintarvikekontaktimateriaalien turvallisuus ja muu vaatimustenmukaisuus, Ruokavirasto, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.11.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/kontaktimateriaalien-turvallisuus-ja-muu-vaatimustenmukaisuus/>
- [5] B. Geueke, K. Groh, J. Muncke, Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials, Journal of Cleaner Production, Vol. 193, 2018, pp. 491–505. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.005>
- [6] Muovipakkausten keräysmäärä kasvoi vuonna 2022–Lajittelussa parantamisen varaa, Uusiouutiset-lehti, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.11.2024): <https://uusiouutiset.fi/muovipakkausten-keraysmaara-kasvoi-vuonna-2022-jopa-neljasosa-lajiteltu-vaarin/>
- [7] K. Ragaert, L. Delva, K. Van Geem, Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, Waste management (Elmsford), Vol. 69, 2017, pp. 24–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- [8] P. Järvelä, P. Järvelä, Teknisten muovien kierrätys ja uusiokäyttö, verkkodokumentti, 2015. Saatavissa (viitattu 16.11.2024): <https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Teknisten+muovien+kierr%C3%A4tys+ja+uusiok%C3%A4ytt%C3%B6.pdf/11ba242e-d2ac-0fb1-893c-eb9e2c666612/Teknisten+muovien+kierr%C3%A4tys+ja+uusiok%C3%A4ytt%C3%B6.pdf?t=1605597422822>
- [9] Mitä ovat kontaktimateriaalit?, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.10.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/mita-ovat-kontaktimateriaalit/>
- [10] Uusiomuovisanasto, Muoviteollisuus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.10.2024): https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/oppaat_ja_materiaalit/uusiomuovisanasto/
- [11] Komission asetus (EU) 2022/1616, elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista kierrätysmuovimateriaaleista ja -tarvikkeista ja asetuksen (EY) N:o 282/2008 kumoamisesta, Euroopan unionin virallinen lehti, L 243/3, 2022. Saatavissa (viitattu 15.10.2024): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32022R1616&qid=1664971543594>
- [12] Kotitalouksien pakkaukset kiertoon, Sumi Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.11.2024): <https://sumi.fi/pakkaus-kiertaa/kotitalouksien-pakkaukset-kiertoon-jatteiden-lajittelu-ja-kierratys/>
- [13] Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa, Muovitiekartta 2.0, Ympäristöministeriö, verkkodokumentti, 2023. Saatavissa (viitattu 12.12.2024): <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/V%C3%A4henn%C3%A4+ja+v%C3%A4lt%C3%A4,+kierr%C3%A4t%C3%A4+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf/4336039b-f222-dc07-6ae5-f193ad418e60/V%C3%A4henn%C3%A4+ja+v%C3%A4lt%C3%A4,+kierr%C3%A4t%C3%A4+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf?t=1681804745974>

- [14] Ensiömuovi, TEPA-termipankki, Sanastokeskus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2024): <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/ensi%C3%B6muovi>
- [15] Å. Stenmarck, E. L. Belleza, A. Frâne, N. Busch, Å. Larsen, M. Wahlström, Hazardous substances in plastics: ways to increase recycling, Copenhagen: Nordisk Ministerråd, 2017, pp. 15-92.
- [16] Pantillinen järjestelmä, Suomen Palautuspakkaus Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.10.2024): <https://www.palpa.fi/juomapakkausten-kierratys/pantillinen-jarjestelma/>
- [17] Granulaatti muovirae, Pramia Plastic Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.10.2024): <https://www.pramiaplastic.fi/granulaatti-muovirae/>
- [18] H. Dahlbo, V. Poliakova, V. Mylläri, O. Sahimaa, R. Anderson, Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland, Waste Management, Vol. 71, p. 52-61, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>
- [19] L. Koketso Ncube, A. Uchenna Ude, E. Nifise Ogunmuyiwa, R. Zulkifli, I. Nongwe Beas, An Overview of Plastic Waste Generation and Management in Food Packaging Industries, Recycling, Vol. 6, Iss. 1, 2021. <https://doi.org/10.3390/recycling6010012>
- [20] Elintarvikekontaktimateriaaleja koskeva lainsäädäntö, Ruokavirasto, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.10.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/>
- [21] Elintarvikekontaktimateriaalit, Euroopan komissio, Euroopan unionin julkaisutoimisto, 2015. Saatavissa (viitattu 22.10.2024): doi:10.2875/607676
- [22] Kontaktimateriaaleja koskeva kehysasetus (EU) 1935/2004, Ruokavirasto, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.10.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/kehysasetus-eu-19352004/>
- [23] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1935/2004 elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista ja direktiivien 80/509/ETY ja 89/109/ETY kumoamisesta, Euroopan unionin virallinen lehti, L 338/4, 2004. Saatavissa (viitattu 22.10.2024): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32004R1935>
- [24] GMP-asetus (EU) 2023/2006, Ruokavirasto, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.10.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/gmp-asetus-eu-20232006/>
- [25] Komission asetus (EY) N:o 2023/2006 elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvien materiaalien ja tarvikkeiden hyvistä tuotantotavoista, Euroopan unionin virallinen lehti, L 384/75, 2006. Saatavissa (viitattu 22.10.2024): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006R2023&qid=1729606030834>
- [26] Komission asetus (EY) N:o 10/2011 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista, Euroopan unionin virallinen lehti, L 12/1, 2011. Saatavissa (viitattu 23.10.2024): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32011R0010>
- [27] Muoviasetus (EU) 10/2011, Ruokavirasto, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.10.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/muoviasetus-eu-102011/>
- [28] Kierrätysmuoviasetus (EU) 1616/2022, Ruokavirasto, 2023, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2024): https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/pakkaukset-ja-kontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/kierratysmuoviasetus_EY_1616_2022/

- [29] Plastic Recycling, An official website of the European Union, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2024): https://food.ec.europa.eu/food-safety/chemical-safety/food-contact-materials/plastic-recycling_en?prefLang=fi
- [30] Muovien kierrätys, Fortum, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 21.11.2024): <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/kierratys-ja-jatepalvelut/muovien-kierratys>
- [31] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/62/EY pakkauksista ja pakkausjätteestä, Euroopan Unionin virallinen lehti, L 356, 1994. Saatavissa (viitattu 12.12.2024): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062>
- [32] European Green Deal: Putting an end to wasteful packaging, boosting reuse and recycling, Euroopan komissio, 2022, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2024): https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7155
- [33] Packaging waste, Euroopan komissio, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.10.2024): https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en?prefLang=fi&ettrans=fi
- [34] Muovin kierrätys -Kattavat ohjeet ja käytännön vinkit 2024, Molok, 2024. Saatavissa (viitattu 14.11.2024): <https://www.molok.com/fi/blogi/muovin-kierratys-ohjeet-ja-vinkit>
- [35] Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, 2019:64, 2019. Saatavissa (viitattu 1.11.2024): https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161993/TEM_2019_64.pdf
- [36] M. Grigore, Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers, Recycling, Vol. 2, Iss. 4, 2017. <https://doi.org/10.3390/recycling2040024>
- [37] Mekaaninen kierrätys, Muovien kierrätys, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 16.11.2024): <https://muovienkierratys.wordpress.com/mekaaninen-kierratys/>
- [38] E.D. Tsochatzis, J. Alberto Lopes, M. Corredig, Chemical testing of mechanically recycled polyethylene terephthalate for food packaging in the European Union, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 179, 106096, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106096>
- [39] P. Järvinen, E. Saarinen, Muovien kierrätys ja hyötykäyttö Suomessa, Söderkulla: Muovifakta Oy, 2016, 130 s.
- [40] P. Fjäder, M. Korkalainen, S. Kauppi, M. Lehtiniemi, J. Salminen, S. Selonen, et al., Muovien haitalliset ympäristö- ja terveysvaikutukset, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2022, 2022, 37-97 s. Saatavissa (viitattu 18.10.2024): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5480-5>
- [41] Elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvat muovit, Muoviteollisuus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2024): <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/elintarvikemuovit/>
- [42] K. Ha, Open-loop recycling to apply refrigerator plastics from post-consumer waste polypropylene, Materials & Design, Vol. 35, pp. 310-317, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.09.062>
- [43] Ristikontaminaatio, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.10.2024): <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/hygieeninen-toiminta/ristikontaminaatio/>
- [44] J. Laine-Ylijoki, M. zu Castell-Rudenhansen, T. Kaartinen, J. Kärki, T. Pellikka, H. Punkkinen, et al., Selvitys eräiden jätteiden ja rejektien käsittelykapasiteetin sekä muutaman jäteperäisen materiaalin markkinan tilanteesta Suomessa, Ympäristöministeriön raportteja 21/2018, 2018, 52 s. Saatavissa (viitattu 21.10.2024): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4812-5>
- [45] T. Järvi-Kääriäinen, M. Ollila, Toimiva Pakkaus, Hakapaino Oy, Helsinki 2007, s. 51–59.

LIITTEET