

Elisa Oja

KIERRÄTETYN MUOVIN TURVALLI- SUUS ELINTARVIKEPAKKAUSKÄY- TÖSSÄ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Elokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Elisa Oja: Kierrätetyn muovin turvallisuus elintarvikepakkauksikäytössä
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Elokuu 2022

Kontaktimateriaalit tarkoittavat elintarvikkeen kanssa kosketuksiin joutuvia materiaaleja. Muovit ovat yleisin kontaktimateriaali ja kontaktimateriaaleiksi soveltuvia muovilaatuja on useita, mikä mahdollistaa elintarvikepakkauksen ominaisuuksien räätälöinnin kullekin tuotteelle sopivimmaksi. Muoveille on kuitenkin ominaista läpäisevyys esimerkiksi kaasuille, minkä vuoksi kontaktimateriaali on vuorovaikutuksessa elintarvikepakkauksen ympäristön ja sisällön kanssa. Vuorovaikutuksien takia on mahdollista, että elintarvikkeeseen siirtyy tuntemattomia vierasaineita esimerkiksi kontaktimateriaalista. Tuntemattomat vierasaineet voivat aiheuttaa vaaraa ihmisen terveydelle. Tyypillisesti vierasaineet päätyvät kontaktimateriaaliin väärinkäytön seurauksena, esimerkiksi kemikaalien säilyttämisestä juomapullossa.

Useimmat elintarvikepakkaukset ovat kertakäyttöisiä. Tämän vuoksi niiden kierrättäminen uusiksi elintarvikepakkauksiksi on houkutteleva vaihtoehto. Kierrätetyn materiaalin käyttö kontaktimateriaaleissa asettaa kuitenkin haasteita tuotteen turvallisuudelle. Mahdollisten saastumislähteiden määrä nousee kierrätettyä materiaali käytettäessä, mikä voi johtaa vierasaineiden kumuloitumiseen materiaaliin. Kierrätyksen aikana olisi pystyttävä puhdistamaan kierrätettävä materiaali tuntemattomista vierasaineista, jotta ne eivät pääse siirtymään elintarvikkeeseen.

Tämän työn tarkoituksena, on selvittää, onko muovisten elintarvikepakkauksen kierrättäminen elintarvikepakkauksiksi turvallista. Työssä tarkastellaan muovin mekaanista kierrätystä ja syväpuhdistavaa prosessia. Syväpuhdistavan prosessin tavoitteena on puhdistaa kierrätettävä materiaali tuntemattomista vierasaineista siten, että kierrätetty materiaali soveltuu kontaktimateriaaliksi. Työssä käsitellään myös, miten kierrätysprosessin puhdistustehokkuus määritetään. Kierrätetyn materiaalin käyttöä kontaktimateriaaleissa säädelään ja työssä perehdytään kontaktimateriaaleja koskevaan lainsäädäntöön.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Työn aineistona käytettiin Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen vuosina 2020–2021 julkaisemia kierrätysprosessien turvallisuusarvioinnit. Turvallisuusarvioinneista tutkittiin, mitä materiaalia ne koskivat ja millä perusteilla kierrätysprosessin katsottiin täyttävän kierrätysmuoviasetuksessa säädetyt vaatimukset ja EFSA:n turvallisuusarvioinnin kriteerit.

Kaikkiaan turvallisuusarvioinnit tutkittiin 35 kappaletta. Niistä kaikki koskivat polyeteenitereftalaattia ja kierrätystapana oli mekaaninen kierrätys. Kierrätysprosessien olosuhteista johtuen, turvallisuusarvioinnit koskivat materiaalin kemiallista turvallisuutta. Kolmea turvallisuusarviointia lukuun ottamatta, kierrätysprosessin hyväksyntää puollettiin Euroopan komissiolle. Tutkimuksen perusteella elintarvikepakkauksen kierrätys uusiksi elintarvikepakkauksiksi on turvallista, jos kierrätysprosessi on hyväksytty. Hyväksytyjen prosessien puhdistustehokkuudet ovat riittäviä, jotta tuntemattomien vierasaineiden pitoisuudet kierrätetyssä materiaalissa eivät aiheuta vaaraa ihmisen terveydelle.

Avainsanat: muovin kierrätys, kontaktimateriaali, turvallisuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. ELINTARVIKEPAKKAUKSET	3
2.1 Muovien käyttö	3
2.2 Muovit kontaktimateriaaleina	4
3. MUOVIEIN KIERRÄTYS	7
3.1 Mekaaninen kierrätys	8
3.2 Syväpuhdistava prosessi	10
3.3 Kemiallinen kierrätys	11
3.4 Muovien kierrätys Suomessa	12
4. LAINSÄÄDÄNTÖ	14
4.1 Kehys- ja GMP-asetus	14
4.2 Muovi- ja kierrätysmuoviasetus	15
5. KIERRÄTYSPROSESSIN ARVIOINTI	17
5.1 Tutkimus ja sen tausta	17
5.2 EFSA:n turvallisuusarvioinnin kriteerit	17
5.2.1 Vierasaineiden lähteet	19
5.2.2 Referenssisaastumispitoisuus	19
5.2.3 Puhdistustehokkuuden määrittäminen	19
5.2.4 Mallinnettu pitoisuus	20
6. TULOKSET	22
6.1 Puolletun hyväksynnän perustelut	23
6.2 Epäämisen syyt	26
6.2.1 Martogg Group	26
6.2.2 Veolia URRC	26
6.2.3 Plastrec	27
7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	29
LÄHTEET	31

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AESAN	Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, Espanjan elintarviketurvallisuus- ja ravitsemusvirasto
BMSPGK	Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, Itävallan liittovaltion sosiaali-, terveys-, hoito- ja kuluttajansuojaministeriö
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Saksan liittovaltion kuluttaja- ja elintarviketurvallisuusvirasto
EFSA	European Food Safety Authority, Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen
GMP	Good Manufacturing Practice, hyvät valmistustavat
NIAS	Non-Intentionally Added Substances, tahattomasti lisätyt aineet
NIRS	Near Infrared Spectroscopy, lähi-infrapunaspektroskopia
OML	Overall Migration Limit, kokonaissiirtymän raja-arvo
PALPA	Suomen palautuspakkaus Oy
PE	Polyethylene, polyeteeni
PE-HD	Polyethylene High-Density, suuritiheyspolyeteeni
PE-LD	Polyethylene Low-Density, pientiheyspolyeteeni
PE-LLD	Polyethylene Linear Low Density, lineaarinen pientiheyspolyeteeni
PET	Polyethylene terephthalate, polyeteenitereftalaatti
PP	Polypropylene, polypropeeni
PVC	Polyvinyl chloride, polyvinyylikloridi
SML	Specific Migration Limit, ainekohtaisen siirtymän raja-arvo
SSP	Solid State Polycondensation, kiinteän tilan polykondensaatio
SUP	Single-Use Plastic, kertakäyttöinen muovituote

1. JOHDANTO

Elintarvikepakkaukset ovat pääsääntöisesti kertakäyttöisiä. Vuonna 2020 Euroopassa kerättiin lähes 30 miljoonaa tonnia kulutuksen jälkeistä muovijätettä. Tästä määrästä pakkaukset kattoivat noin 40 prosenttia. Elinkaarensa lopussa niistä suurin osa päätyy kaatopaikoille ja poltettavaksi, vain noin kolmasosa kierrätetään. [1] Muovin kierrätysastetta pyritään kuitenkin kasvattamaan, mutta elintarvikepakkausten kierrättäminen uusiksi elintarvikepakkauksiksi asettaa haasteita tuotteen turvallisuudelle [2, 3].

Elintarvikkeiden kanssa kontaktiin joutuvia materiaaleja koskevat tiukat elintarviketurvallisuusnormit [2]. Kontaktimateriaaleissa kierrätetyn materiaalin käytön ongelmana on, että mahdollisten saastumislähteiden määrää kasvaa, mikä voi johtaa vierasaineiden kumuloitumiseen materiaaliin ja materiaalin saastumiseen. Saastuneella materiaalilla tarkoitetaan materiaalia, jossa on tuntemattomia vierasaineita. Nämä vierasaineet voivat olla peräisin esimerkiksi pakkauksen osista, kuten tuoteetiketeistä ja liimoista. Tyypillinen vierasaineiden lähde on kuitenkin alkuperäisen käyttösovelluksen käyttäminen muuhun kuin alkuperäiseen käyttöön. Esimerkiksi kemikaalien säilyttäminen juomapullossa. [3, 4] Kierrätetyn muovin käyttöä säädellään elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvissa materiaaleissa, ja vain hyväksytystä kierrätysprosessista saatua materiaalia saa tuoda markkinoille. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen (EFSA) puoltaa hyväksyntää Euroopan komissiolle, jos kierrätysprosessin katsotaan pystyvän vähentämään tuntemattomat vierasaineet pitoisuuteen, joka ei vaaranna ihmisen terveyttä. [5]

Työn tavoitteena on selvittää, onko elintarvikepakkausten uudelleenkierrättäminen elintarvikepakkauksiksi turvallista. Tämä tehtiin perehtymällä muovien kierrätysprosessiin ja tutkimalla vuonna 2020–2021 julkaistuja Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen tekemiä kierrätysprosessien turvallisuusarviointeja. Turvallisuusarvioinneista tarkastellaan millä perusteilla hyväksyntää on komissiolle puollettu. Työssä tutustutaan myös tarkemmin kolmeen prosessiin, jotka eivät täyttäneet Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen puoltamisen kriteerejä.

Luvussa 2 esitellään muovi kontaktimateriaalina ja millaisia muoveja elintarvikepakkauksissa käytetään. Luku 3 käsittelee pääasiassa mekaanista kierrätystä ja syväpuhdistavaa prosessia. Luvussa käsitellään myös kemiallisen kierrätyksen yleisimmät tekniikat ja muovien kierrätystä Suomessa. Luvussa 4 käsitellään kontaktimateriaaleihin liittyvää yleistä lainsäädäntöä sekä miten lainsäädäntö

rajoittaa kierrätetyn muovin käyttöä elintarvikepakkauksissa. Luvussa 5 taustoitetaan työssä tehty tutkimus määrittelemällä kierrätysprosessien puhdistustehokkuuden kannalta oleelliset parametrit. Luvussa 6 esitetään tutkimuksen tulokset. Viimeisessä kappaleessa on yhteenveto ja johtopäätökset.

2. ELINTARVIKEPAKKAUKSET

Ruoan hävikkiä voidaan estää asianmukaisella elintarvikepakkauksella [6]. Elintarvikkeet pakataan useisiin pakkauskerroksiin helpottamaan niiden kuljetusta, käsittelyä ja suojaamaan kuluttajapakkausta [7]. Primääripakkaus tarkoittaa kuluttajapakkausta ja se valmistetaan kontaktimateriaalista. Kontaktimateriaali tarkoittaa elintarvikkeen kanssa suoraan tai välillisesti kosketuksissa olevaa materiaalia. [7,8] Primääripakkaukset pakataan sekundäärisiin pakkauksiin, jotka ovat usein pahvilaitikoita [7].

2.1 Muovien käyttö

Elintarvikepakkauksen varsinaisena tarkoituksena on suojella elintarviketta ulkoisilta tekijöiltä, kuten kosteudelta, hapelta, kemikaaleilta, valolta, pölyltä ja mikrobiologiselta kontaminaatiolta. Pakkauksen tarjoama suoja on olennainen osa säilyvyyden kannalta. Muovisen pakkauksen tapauksessa pakkauksen tarjoama suoja riippuu pitkälti käytetystä polymeeristä ja sen ominaisuuksista. [7] Yleisimpiä elintarvikekäytössä olevia muoveja ovat polyeteenitereftalaatti (PET), polypropeeni (PP), polystyreeni (PS), polyvinyylikloridi (PVC) ja polyeteeni (PE) [9].

Polyeteenit voidaan jaotella tiheyden ja molekyyliarakenteen mukaan. Suuritiheypolyeteeniä (PE-HD) voidaan käyttää sekä jäykkiin että joustaviin pakkauksiin. Pientiheypolyeteeniä (PE-LD) ja lineaarista pientiheypolyeteeniä (PE-LLD) käytetään esimerkiksi kalvoihin ja muovipusseihin. [9] Polyeteeniä valmistetaan ketjupolymeroinnilla, jossa monomeerit muodostavat pitkiä ketjuja sitoutumalla kovalenttisilla sidoksilla toisiinsa [10].

Polypropeeni (PP) on ominaisuuksiltaan kovempaa ja tiheämpää kuin polyeteeni. Se kestää hyvin kemikaaleja ja sillä on hyvät barrier-ominaisuudet vesihöyryä vastaan. Polypropeenia käytetään usein esimerkiksi jugurttipakkauksissa. [11]

Polyeteenitereftalaatti (PET) on puolikiteinen polymeeri, jota voidaan hyödyntää sekä amorfisessa että kiteisessä muodossaan. Amorfisessa muodossaan se on lasimaisen läpinäkyvä ja sillä on hyvät barrier-ominaisuudet kaasuja vastaan, joten se on suosittu juomapakkauksissa. Sitä valmistetaan kondensaatiopolymerisaatiolla, jossa karboksyylihappo reagoi alkoholin kanssa. [11]

Polystyreeni (PS) on amorfinen polymeeri, ja siitä voidaan valmistaa erilaisia astioita lämpömuovauksen ja ruiskuvalun avulla. Polystyreeniä käytetään ruokapakkauksissa kahdessa eri muodossa.

Jäykässä muodossaan se on kirkas ja soveltuu siten ruokapakkauksiksi ja kansiksi. [10] Polystyreeniä voidaan myös vaahdottaa, jolloin se on läpikuultamaton ja siitä valmistetaan lämpömuovaamalla astioita esimerkiksi pikaruualle ja lihatuotteille. Polystyreeniä valmistetaan additiopolymeroimalla styreeniä. [11, 12]

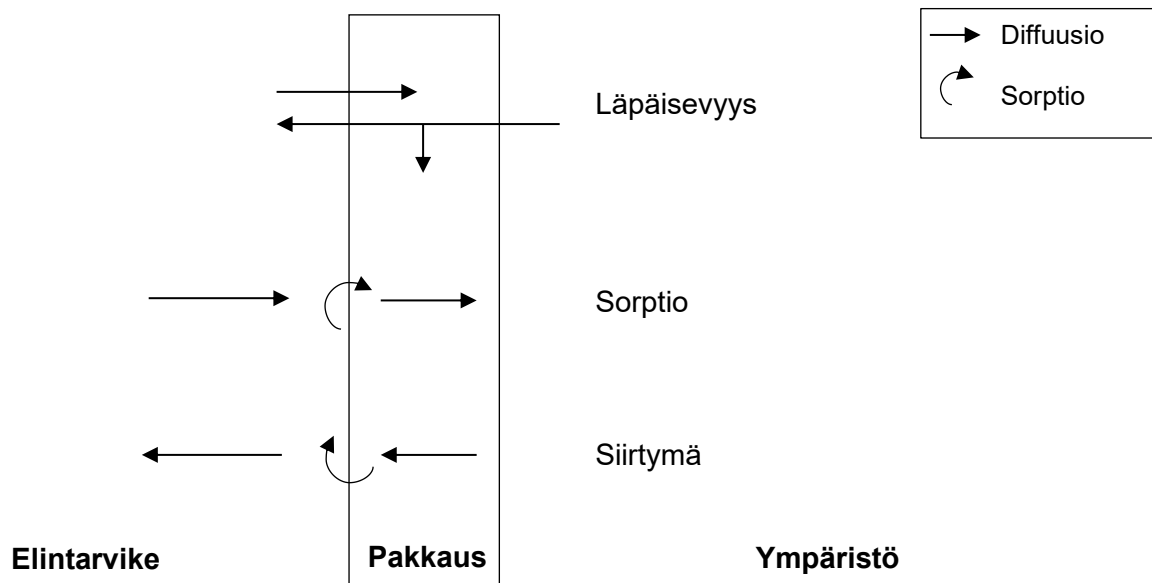
Polyvinyylikloridi (PVC) on jäykkä, kestävä ja amorfinen polymeeri. Sillä on erinomainen kestävyys sekä happoja että emäksiä vastaan. Elintarvikekäytössä sitä käytetään usein läpipainopakkauksissa. Polyvinyylikloridia valmistetaan additiopolymeroimalla vinyylikloridimonomeeria. [13]

2.2 Muovit kontaktimateriaaleina

Edellisen luvun perusteella voidaan todeta, että kontaktimateriaaleiksi soveltuvia muovilaatuja on paljon. Ne ovat ominaisuuksiltaan erilaisia, minkä vuoksi muovit ovat yleisin elintarvikkeiden pakkausmateriaali [3]. Muovien käyttö on kasvanut verrattuna perinteisiin kontaktimateriaaleihin, kuten lasiin ja alumiiniin, koska laaja muovilaatujen määrää mahdollistaa elintarvikepakkauksen ominaisuuksien optimoinnin kunkin tuotteen mukaan. [14] Muoveja käytetään kontaktimateriaaleina myös sen takia, että niiden avulla elintarvikepakkauksista saadaan kevyitä, raaka-aine on edullista ja muoveja on helppo muovata erilaisiin muotoihin. Etuina pidetään myös kuumasaumautuvuutta ja integroituja prosesseja, joissa elintarvikepakkaukset voidaan valmistaa, täyttää ja sulkea yhdessä tuotantolinjassa. [11] Integroitujen prosessien avulla vältetään esimerkiksi tyhjien pakkausten kuljetus ja varastointi [14].

Muoviset kontaktimateriaalit voivat, edellisessä luvussa esiteltujen yksittäisten polymeerien lisäksi, koostua useammasta polymeeristä muodostaen kerrosrakenteita. Kerrosrakenteet ovat yhdistelmiä eri muovikerroksista. [3] Ne mahdollistavat eri muovien ominaisuuksien, kuten mekaanisten tai barrier-ominaisuuksien, yhdistämisen. Kerrosrakenteiden avulla pakkauksen keskimääräistä seinämävahvuutta voidaan myös pienentää. Niiden huonona puolena on kuitenkin se, että perinteisillä kierrätystavoilla ei pystytä tunnistamaan rakenteen eri muoveja, minkä vuoksi niiden kierrätys on hankalaa. [15] Tämän vuoksi tässä työssä keskitytään yhdestä polymeeristä valmistettujen kontaktimateriaalien kierrätykseen. Muoveja voidaan käyttää kontaktimateriaaleina myös yhdessä muiden kontaktimateriaalien, kuten paperin, kartongin ja metallin, kanssa. [3, 14]

Muovisten kontaktimateriaalien haittana on muovin läpäisevyys kaasuille ja pienen molekyylipainon omaaville molekyyleille [14]. Tämän takia, muovinen elintarvikepakkaus on vuorovaikutuksessa ympäristön ja pakkauksen sisällön kanssa. Vuorovaikutuksen seurauksena niiden välillä tapahtuu aineensiiirtoa. Kuvassa 1 on esitetty nämä vuorovaikutukset, jotka voidaan jakaa muovin läpäisevyyteen, sorptioon ja aineiden siirtymiseen muovista. [16]



Kuva 1. Elintarvikepakkauksen, sen sisällön ja ympäristön väliset vuorovaikutukset, muokattu lähteistä [17, 18]

Kuvan 1 vasemmassa reunassa on elintarvike, keskellä muovisen elintarvikepakkauksen seinämä ja vasemmalla pakkauksen ulkopuolinen ympäristö. Vuorovaikutuksien suunta kuvataan nuolilla, jotka edustavat joko diffuusio- tai sorptioprosesseja.

Läpäisevyys kuvaa homogeenisen materiaalin läpi kulkevia nesteitä, kaasuja tai höyryjä [16]. Esimerkiksi happi ja vesihöyry voivat olla läpäiseviä aineita [18]. Läpäisevyys ei kata materiaalin vioista, kuten rei'istä tai halkeamista kulkeutuvia aineita. Pakkauksen läpäisevyys vaikuttaa elintarvikkeen säilyvyysaikaan. Esimerkiksi kuivien elintarvikkeiden koostumus voi muuttua pakkaukseen pääsevän kosteuden seurauksena ja siten lyhentää elintarvikkeen säilyvyysaikaa. [16]

Aineiden alkuperäistä tunkeutumista ja leviämistä polymeerimatriisiin kuvataan sorptiolla. Se kattaa sekä adsorption, joka rajoittuu materiaalin pintaan, ja absorption, joka kattaa koko polymeerimatriisiin. [7] Esimerkiksi elintarvikkeen väri-, maku- tai aromiyhdisteet voivat sorptoitua muoviseen pakkauksmateriaaliin. Muovin kemiallisella rakenteella ja molekyyli-massajakaumalla on vaikutusta sorption voimakkuuteen. Sorptio kasvaa, jos sorptoituvalla aineella on samankaltainen kemiallinen rakenne kuin pakkauksen muovilla. Suuri molekyyli-massajakauma myös kasvattaa sorptiota. [16] Sorption seurauksena elintarvikkeen aromien voimakkuus voi laskea. Sorptio voi myös vahingoittaa pakkausta. [18] Esimerkiksi orgaanisten molekyylien sorptio voi heikentää vetolujuutta muovikalvoissa [7].

Siirtymällä tarkoitetaan muovissa olevien aineiden siirtymistä elintarvikkeeseen [16]. Siirtyvät aineet voivat olla esimerkiksi muovin valmistuksen ja prosessoinnin aikana käytettäviä lisäaineita, kuten pehmittimiä tai muovin ikääntymistä hidastavia lisäaineita. Niiden tarkoituksena on esimerkiksi helpottaa prosessointia tai parantaa lopputuotteen ominaisuuksia. Niiden molekyylipaino on kuitenkin pieni ja täten niiden on mahdollista siirtyä muovisesta kontaktimateriaalista elintarvikkeeseen. [19] Siirtyvät aineet voivat olla myös tahattomasti lisättyjä aineita (NIAS-aineet). Ne voivat esimerkiksi olla reaktio- ja hajoamistuotteita sekä epäpuhtauksia. [3] Siirtyvillä aineilla voi olla vaikutusta elintarvikkeen aistinvaraisiin ja toksikologisiin ominaisuuksiin. Tämän vuoksi niiden mahdollista esiintyvyyttä kontaktimateriaaleissa säädellään lainsäädännöllä, joka käsitellään tarkemmin luvussa 4. Sekä siirtymässä että sorptiossa prosessien laajuuteen vaikuttaa esimerkiksi liikkuvan aineen alkuperäinen konsentraatio ja aineensiirtonopeus. [16]

3. MUOVIEIN KIERRÄTYS

Muovien kierrätyksellä tarkoitetaan prosessia, jossa kerätty muovi lajitellaan ja uusiokäytetään materiaaleiksi, tuotteiksi tai aineiksi [20]. Muovien hyötykäyttämistä energiana ei Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta, jäljempänä jäte-direktiivi, määritelmän mukaan pidetä kierrätyksenä, vaikka se usein käsitellään muovien kierrätyksen yhteydessä [20–22].

Muovien kierrätystavat voidaan jakaa lopputuotteen perusteella primäärisiin, sekundäärisiin, tertiäärisiin ja kvartäärisiin menetelmiin [21, 23–25]. Kvartäärisessä menetelmässä muovit hyödynnetään energiana. Se ei jätedirektiivin mukaan ole kierrättämistä, joten sitä ei tarkastella tässä työssä.

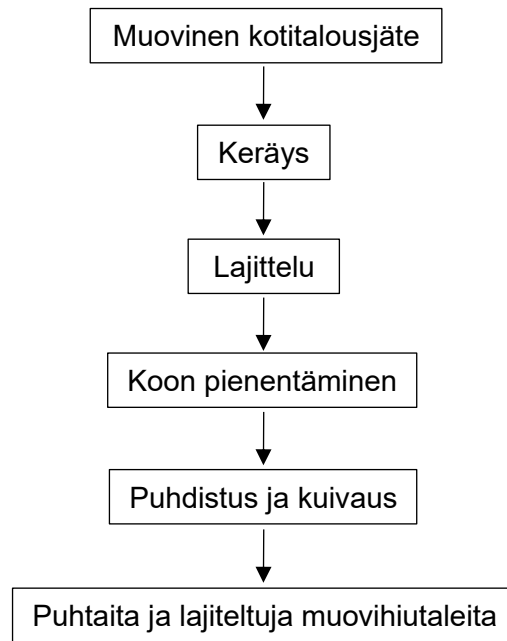
Sekä primäärisessä että sekundäärisessä menetelmässä käytetään mekaanista kierrätystä. Primäärinen kierrätys on tuotannon aikana syntyneiden hukkamateriaalien uudelleen kierrättämistä takaisin prosessiin. Hukkamateriaalia seostetaan neitseellisen, yhtä polymeeriä sisältävän, materiaalin kanssa. Siten lopputuotteella on vastaavat ominaisuudet kuin neitseellisestä materiaalista valmistetulla tuotteella. [22, 26] Muoviteollisuudessa primäärikierrätys on vakiintunut tapa, koska hukkamateriaali on tyypillisesti puhdasta, korkealaatuista ja yhtä polymeeriä sisältävää. Täten, se on helppo palauttaa prosessiin. [26]

Tässä työssä mekaaninen kierrätys tarkoittaa sekundääristä kierrätystä. Siinä raaka-aineena on kulluttajilta kerätty lajittelematon muovijae [27]. Sekundäärisessä kierrätyksessä lopputuotteen ominaisuudet yleensä heikentyvät verrattuna neitseellisestä materiaalista valmistettuun. Lopputuotetta voidaan myös käyttää sovelluksiin, joissa on alhaisemmat suorituskykyvaatimukset [22, 24, 25]. Kierrotalouden näkökulmasta primäärinen kierrätys on suljettua kierrätystä (closed-loop) ja sekundäärinen avointa (open-loop) [27].

Tässä työssä tertiääriset menetelmät tarkoittavat kemiallista kierrätystä, jossa alkuperäinen polymeeri muutetaan monomeereiksi tai kemikaaleiksi [28]. Tertiääriset menetelmät voidaan jakaa saatujen tuotteiden käyttökohteiden mukaan kemiallisen kierrätykseen (chemical recycling) ja raaka-ainekierrätykseen (feedstock recycling). Kemiallisessa kierrätyksessä saadut kemikaalit käytetään alkuperäisen materiaalin valmistukseen, kun taas raaka-ainekierrätyksessä kemikaalit voidaan hyödyntää muun kuin alkuperäisen materiaalin valmistamisessa. [24, 29]

3.1 Mekaaninen kierrätys

Mekaaninen kierrätys on muovijätteen yleisin kierrätystapa [27]. Muovijätteen lajittelu ja peseminen ovat korkealaatuisen lopputuotteen kannalta tärkeitä prosessin vaiheita, joten mekaaninen kierrätys soveltuu parhaiten puhtaille jätteille, jotka sisältävät vain yhtä polymeeriä [22]. Muovin mekaanisen kierrätyksen vaiheet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Mekaanisen kierrätyksen vaiheet, muokattu lähteistä [4, 30]

Kuvasta 2 nähdään, että mekaaninen kierrätys sisältää monta vaihetta. Kierrätysprosessi alkaa muovisen jätteen keräyksellä, jonka jälkeen se lajitellaan. Puhdistusta varten muovien kokoa usein pienennetään. Prosessin tuloksena on puhtaita ja lajiteltuja muovihiutaleita. Kierrätysprosessista riippuen kaikkia vaiheita ei välttämättä esiinny tai niitä voi olla enemmän, esimerkiksi lisäaineistus. Vaiheet voidaan myös toistaa useampaan kertaan. [24, 27] Kontaktimateriaalisovelluksia varten muovihiutaleet puhdistetaan vielä syväpuhdistavassa prosessissa [31]. Syväpuhdistava prosessi ja mekaanisen kierrätyksen vaiheet käydään seuraavissa luvuissa tarkemmin läpi.

Suomessa kotitalouksilta erilliskerätään muovipakkausjätettä kiinteistöjen keräyspisteiden ja keräyspisteverkon kautta. Suomen palautuspakkaus Oy (PALPA) -keräysjärjestelmän kautta kierrätetään PET-pullot. [32] Kerättyjen muovipakkauksien alkuperällä on suuri merkitys, kun kierrätettyä materiaalia on tarkoitus käyttää kontaktimateriaaliksi. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen (EFSA) on määrittänyt, että kontaktimateriaaliksi tarkoitettujen muovien kierrätysprosessiin kerätystä muovijakeesta 5 % saa olla peräisin muista kuin kontaktimateriaaleista [4].

Kotitalouksilta kerätty muovijäte sisältää eri muovilaatua [27]. Muovijakeen lajittelun tarkoituksena on erotella muovit muista jätteistä sekä lajitella muovit lajeittain. Lajittelun päämääränä on yhtä tai kahta muovilajia sisältävä materiaalivirta. [30] Kaikki muovit eivät kuitenkaan ole yhteensopivia keskenään, mikä tuo haasteita kierrätykseen. Esimerkiksi kierrätettäessä korkean sulamislämpötilan omaavaa PET:a, joukossa oleva PVC synnyttää kuumentuessaan vetykloridipäästöjä. Tämä johtaa kierrätetyn PET:n huonolaatuisuuteen. [24] Heikko lajittelu voi myös johtaa siihen, että eri muovilajia sisältävää materiaalia ei voida hyödyntää tai se on taloudellisesti kannattamatonta [30].

Muovijakeen lajittelu voidaan tehdä esimerkiksi muodon, tiheyden, koon tai värin perusteella hyödyntämällä sekä automaattisia että manuaalisia prosesseja [21, 27]. Lajiteltavien muovien koon perusteella lajittelutekniikat voidaan jakaa makro- ja mikrolajitteluihin. Manuaalisessa lajittelussa muovituotteet ovat pääasiassa kokonaisia. Mikrolajittelussa tuotteiden kokoa on pienennetty esimerkiksi rouhimalla ne hiutaleiksi. [24]

Lajittelutekniikan valintaan vaikuttavat lajittelemattoman muovijakeen laatu ja kierrätetyn muovimateriaalin haluttu puhtaustaso. Käytetyimmät lajittelumenetelmät perustuvat tiheyteen, magneettisiin ominaisuuksiin sekä spektrofotometriin ominaisuuksiin, kuten väriin ja läpinäkyvyyteen. [24] Tiheyteen perustuvista menetelmissä yleisin on märkäerottelu (float-sink), jossa erottelu tapahtuu nestepatsaassa muovipartikkeleiden kelluvuuden perusteella. Jos muovin tiheys on suurempi kuin väliaineen, se uppoaa, mutta jos tiheys on pienempi, muovi kelluu. [24, 27] Muovijätteen seassa olevat metallit voidaan poistaa magneettien avulla. Optisessa erottelussa muovien tunnistaminen perustuu spektrofotometriin ominaisuuksiin. Tietokoneen algoritmi tunnistaa muovikappaleen kamerakuvan perusteella. Muovikappaleiden ohjaus lajittelulinjastolla tapahtuu tietokoneohjatun ilmavirran avulla, joka joko poistaa sen jätevirrasta tai antaa sen jatkaa matkaa. [24] Pakkaukset lajitellaan usein infrapunavirran avulla [30]. Yleisimmin käytetty teknologia on NIRS (Near Infrared Spectroscopy), jonka etuina ovat sen nopeus ja tehokkuus. Toisaalta heikkoutena on kyvyttömyys erottaa tummia muovilajia. [24]

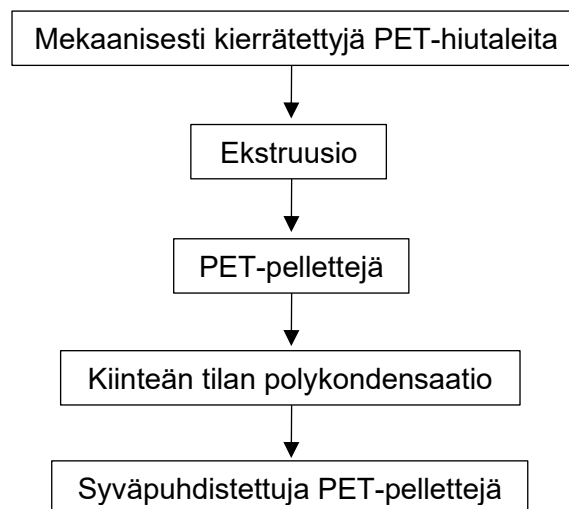
Ennen puhdistusta muovijätteen kokoa pienennetään hiutaleiksi. Puhdistuksessa jätteestä poistetaan siihen kuulumaton, usein orgaaninen, aines. [27] Puhdistuksessa pyritään myös poistamaan muoviin imeytyneitä aineita, kuten liuottimia, öljyjä ja puhdistusaineita. Niiden imeytyminen on riippuvainen muovilaadusta ja imeytyneestä aineesta. Puhdistuksessa voidaan käyttää apuna puhdistusaineita tai emäksiä, ja se sisältää usein sekoittamista kuumassa tai kylmässä vedessä. [30] Puhdistuksen jälkeen muovit kuivataan [24].

3.2 Syväpuhdistava prosessi

Mekaanisen kierrätyksen aikana tapahtuva puhdistus ulottuu vain materiaalin pinnalle. Tämän vuoksi kierrätysprosesseissa, jotka tuottavat kontaktimateriaalisovelluksiin tarkoitettua materiaalia, käytetään niin sanottuja syväpuhdistavia prosesseja. Syväpuhdistavat prosessit voidaan jakaa puhdistettavan materiaalin muodon perusteella hiutaleisiin tai pelletteihin pohjautuviin menetelmiin. Ensimmäiset markkinoille tulleet syväpuhdistavat prosessit perustuivat pelletteihin. Tämä oli seurausta siitä, että neitseellisen materiaalin valmistukseen käytettävät tilat ovat samankaltaisia kuin mitä syväpuhdistavat prosessit vaativat, ja neitseellisen materiaalin valmistuksessa käytettäviä laitteita on mahdollista hyödyntää molemmissa prosesseissa. Pelletteihin pohjautuvissa prosesseissa pääasiallisena puhdistusvaiheena on kiinteässä tilassa tapahtuva polykondensaatio. [31]

Syväpuhdistava prosessi perustuu siihen, että lämmittämällä kierrätettävää materiaalia korkeassa lämpötilassa, materiaalissa olevat kulutuksen jälkeiset vierasaineet pystyvät diffundoitumaan materiaalin pinnalle. Tämän jälkeen ne voidaan poistaa materiaalin pinnalta tyhjiö- tai inerttikaasukäsittelyllä. Pinnalle diffundoituneet vierasaineet voidaan poistaa myös poistamalla osa materiaalin pinnasta. Tämä tehdään kemikaaleilla, kuten kaustisella soodalla. Kemikaaleja voidaan käyttää myös turvottamaan polymeerimatriisia, jolloin vierasaineiden diffuusio kasvaa. [31]

Kuvassa 3 on esitetty PET:n syväpuhdistavan prosessin kaavio. Tyypillisiä prosessivaiheita ovat korkean lämpötilan käsittely, tyhjiö- tai inerttikaasukäsittely ja pintakäsittely vaarattomilla kemikaaleilla.



Kuva 3. PET:n syväpuhdistavan prosessin kaavio, muokattu lähteestä [31]

Kuvasta 3 nähdään, että syväpuhdistavan prosessin syöttömateriaalina on mekaanisesti kierrätetyt PET-hiutaleet. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa hiutaleet ekstruudataan pelleteiksi. Ekstruusion

lämpötila on 280–290 °C ja sen aikana syntyneiden kaasujen poisto tapahtuu tyhjiössä. Tämän jälkeen SSP-reaktorissa (Solid State Polycondensation) tapahtuu tyhjiö- tai inerttikaasukäsittely. SSP-reaktori perustuu kiinteän tilan polykondensaatioreaktioon ja tämä vaihe vastaa pääasiallisesti prosessin puhdistustehokkuudesta. Reaktorin lämpötila on 180–230 °C. Viipymäaika reaktorissa riippuu vierasaineiden diffuusiokertoimista puhdistuslämpötilassa. Yleisesti PET-pellettien viipymäajat SSP-reaktorissa ovat 6–20 tuntia. [31]

Pelletteihin perustuvan syväpuhdistavan prosessin etuna on, että ekstruusio saa vierasaineet tasaisesti jakautumaan materiaaliin, materiaali on homogenisoitua ja kaikki pelletit ovat samankokoisia. Pellettien haittana on kuitenkin pitkä matka, joka vierasaineiden tarvitsee kulkea saavuttaakseen pelletin pinnan. Tämän vuoksi viipymäaika SSP-reaktorissa on pitkä. Viipymäaikaa voidaan lyhentää käyttämällä hiutaleita pellettien sijaan. Tällöin vierasaineiden tarvitsee kulkea lyhyempi matka päästäkseen hiutaleen pinnalle, mikä lyhentää viipymäaikaa SSP-reaktorissa. [31]

3.3 Kemiallinen kierrätys

Kemiallisella kierrätyksellä voidaan viitata molempiin tertiärisiin menetelmiin, kun sillä tarkoitetaan kemiallista prosessia, jossa muovin kemiallista rakennetta muuttamalla polymeeri palautetaan takaisin monomeereiksi tai muiksi kemikaaleiksi [33, 29]. Saadut monomeerit ja kemikaalit voidaan käyttää alkuperäisen materiaalin valmistukseen tai hyödyntää muun kuin alkuperäisen materiaalin valmistuksessa, esimerkiksi polttoaineissa. Muovien kemiallinen kierrätys voidaan toteuttaa useiden erilaisten tekniikoiden avulla. Tässä luvussa käsitellään pääasiallisessa käytössä olevat tekniikat, joita ovat kaasutus, depolymerointi ja krakkaus. [28]

Krakkausta kutsutaan usein myös pyrolyysiksi ja niitä on kolme erilaista tekniikkaa: katalyyttinen, terminen ja hydrokrakkaus. [28, 33] Pyrolyysiprosessissa pitkät polymeeriketjut hajotetaan termisesti pienemmiksi molekyyleiksi tai oligomeereiksi [34]. Prosessi tapahtuu hapettomissa olosuhteissa korkeissa lämpötiloissa ja tuottaa erilaisia lopputuotteita, kuten pyrolyysiöljyä, kaasua ja hiiltä. Muovijätteen laadulla on suurin vaikutus lopputuotteiden koostumukseen ja osuuteen, mutta myös prosessiparametrit vaikuttavat. [28, 33]

Näistä prosesseista depolymerointi vaatii eniten esikäsittelyä, mutta siitä saatavat monomeerit ovat arvokkaimpia kaupallisessa mielessä [29]. Se soveltuu kondensaatiopolymeereille, kuten polyesteereille, nyloneille ja polyamideille, jotka voidaan palautuvien synteesisireaktioiden avulla depolymeroida alkuperäisiin monomeereihinsa. Depolymerointitekniikoita on monia, kuten glykolyysi, aminolyysi ja hydrolyysi. [28, 33]

Kaasutus eli osittainen hapetus on monivaiheinen prosessi, jonka tavoitteena on maksimaalinen synteettisen kaasun saanto ja minimaalinen ei-toivottujen sivuotteiden, kuten tervan ja hiilen, määrä [35]. Kaasutus tarvitsee vähiten esikäsitteilyä. Kaasutus tapahtuu pyrolyysiä korkeammissa lämpötiloissa, 700–1200 °C, riippuen kaasutusaineesta. Pääasiallisessa käytössä olevia kaasutusaineita ovat ilma, plasma ja höyry, jotka määräävät myös kaasutusprosessissa syntyneen synteettisen kaasun koostumuksen ja käyttökohteet. [36]

3.4 Muovien kierrätys Suomessa

Muovinen pakkausjäte on tuottajavastuun alaista jätettä. Suomen Pakkauskierätyks RINKI Oy huolehtii kuluttajapakkausten keräyspisteverkostosta. Kuluttajapakkausten keräyspisteiden ja yrityspakkausten vastaanottoterminaalien lukumäärän asettaa Valtioneuvoston asetus pakkauksista ja pakkausjätteistä (1029/2021). Keräysverkoston teoreettinen kapasiteetti on lähes 15 000 tonnia vuodessa. Muovipakkausjätettä kerätään myös kuntien ja jätehuoltoyritysten toimesta kiinteistökohtaisesti. [32]

Muovipakkausjäte voidaan jakaa alkuperän perusteella kotitalousjätteisiin ja elinkeinotoiminnan jätteisiin. Muovipakkausjätteestä noin 30 % on peräisin kaupan, alkutuotannon, teollisuuden ja muiden institutionaalisten toimijoiden aloilta. Kotitalouksien tuottamien kuluttajapakkausten sekä hotelli- ja ravintola-alan pakkausjätteiden osuus on noin 70 %, joka sisältää PET-pullot. Näiden lähteiden lisäksi muovipakkausjätettä syntyy myös maataloudessa. [32]

Vuonna 2017 kotitalouksilta erilliskerättiin keräyspisteverkon ja kiinteistökeräyksen kautta noin 7 000 tonnia muovipakkausjätettä [32]. Muovipakkausjätteen keräysmäärä on kasvussa. Vuonna 2019 pelkästään Rinki-ekopisteiden kautta kerättiin muovipakkauksia 10 900 tonnia [37]. Pakkausjätteestä pääosa hyödynnetään muun jätteen seassa energiana. Vuonna 2015 hyödyntämistä oli 89 %, kun taas kierrätysaste oli 24 % [32]. Kuluttajapakkausten suurenkapasiteetin kierrätystä harjoittaa Suomessa ainoastaan Fortumin Riihimäen muovijalostamo. Siellä pakkaukset kierrätetään mekaanisesti ja niistä valmistetaan kierrätysmuovigranulaattia. Jalostamon kapasiteetti on 10 000 tonnia vuodessa. [32, 38]

Kaupan ja teollisuuden muovipakkausjätettä kerättiin 12 500 tonnia vuonna 2016. Aikaisemmin osa kaupan ja teollisuuden muovipakkausjätteistä on kuljetettu kierrätettäväksi Kiinaan, mutta nykyään niiden kierrätyksen hoitaa L&T Muoviportti. [32]

Vuonna 2017 PET-pulloja kerättiin PALPA:n keräysjärjestelmän kautta 12 600 tonnia. Niistä noin puolet hyödyntää Pramia Plastic Oy ja loput kuljetetaan ulkomaille. [32] Pramia Plastic Oy kierrättää

PET-pullot mekaanisesti muovihiutaleiksi ja korkkimurskeeksi. PET-pullot erotellaan värin perusteella kirkkaisiin ja värillisiin, jonka jälkeen ne murskataan ja pestään. Pramia PET-muovivannetta valmistetaan värillisistä hiutaleista ja kirkkaita hiutaleita käytetään kalvotekniikan ja uusien pullojen raaka-aineena. Korkkimursketta käytetään raaka-aineena ruiskuvalu- ja rotaatiotekniikassa.

[39]

4. LAINSÄÄDÄNTÖ

Kontaktimateriaalit ovat EU-lainsäädön alaisia. Kaikkia kontaktimateriaaleja koskevat asetukset ovat Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista ja direktiivien 80/509/ETY ja 89/109/ETY kumoamisesta (EY) N:o 1935/2004, jäljempänä kehysasetus, ja komission asetus elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvien materiaalien ja tarvikkeiden hyvistä tuotantotavoista (EY) N:o 2023/2006, jäljempänä GMP-asetus. Muovista ja kierrätysmuovista valmistettuja elintarvikepakkauksia säädellään edellä mainittujen lisäksi komission asetuksella elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista (EU) N:o 10/2011, jäljempänä muoviasetus, ja komission asetuksella elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista kierrätysmuovimateriaaleista ja -tarvikkeista ja asetuksen (EY) N:o 2023/2006 muuttamisesta (EY) N:o 282/2008, jäljempänä kierrätysmuoviasetus. [40]

4.1 Kehys- ja GMP-asetus

Kehysasetus koskee kaikkia materiaaleja tai tarvikkeita, jotka ovat suoraan tai välillisesti elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa ja niille asetetaan kaksi yleistä vaatimusta. Ensimmäinen yleinen vaatimus asettaa, että materiaalit ja tarvikkeet tulee valmistaa noudattaen hyvää valmistustapaa (GMP), ja ainesosien siirtymä elintarvikkeeseen ei saa aiheuttaa vaaraa ihmisen terveydelle olosuhteissa, jotka ovat ennakoitavissa tai tavallisia. Myös elintarvikkeen koostumus ei saa muuttua sopimattomaksi tai sen aistinvaraiset ominaisuudet heikentyä ainesosien siirtymän vuoksi. Toinen yleinen vaatimus asettaa, että kuluttajia ei saa johtaa harhaan materiaalin ja tarvikkeen mainonnalla, merkinnöillä ja esillepanolla. [41]

Kehysasetuksen kontaktimateriaaleille asettamien vaatimusten toteutumista valvoo Suomessa elintarvikevalvonta. Valvonnan tavoitteena on rajoittaa ihmisten altistumista haitallisille kemikaaleille sekä kemiallisille aineille, jotka siirtyvät kontaktimateriaaleista elintarvikkeisiin. Valvonnan johtamisesta ja ohjauksesta vastaa Ruokavirasto ja kunnalliset elintarvikevalvojat suorittavat tarkastuksia kontaktimateriaalitoimijoissa. [42]

Kehysasetuksen liitteessä I on luettelo materiaaleista, joita voidaan säädellä erityistoimenpiteillä. Muovi ja kierrätysmuovi kuuluvat näihin säädeltäviin materiaaleihin, joten niiden tulee kehysasetuksen lisäksi täyttää komission muovi- ja kierrätysmuoviasetukset. [5, 41, 43]

GMP-asetus kattaa kontaktimateriaalien tuotannon, jalostuksen ja jakelun vaiheet. Se asettaa vaatimuksen dokumentoidusta laadunhallintajärjestelmästä, joka sisältää laadunvarmistusmenetelmät ja laadunvalvontamenetelmät. [44]

4.2 Muovi- ja kierrätysmuoviasetus

Muoviasetuksessa on unionin hyväksymä luettelo monomeereista, lähtö-, lisä- ja apuaineista, joita saa käyttää muovisten materiaalien ja tarvikkeiden valmistukseen. Niille on tehty riskinarviointi, jonka perusteella on tarvittaessa vahvistettu aineen eritelmiä, siirtymien raja-arvot tai määrälliset rajoitukset sekä käyttörajoitukset. Näiden tarkoituksena on varmistaa tuotetun materiaalin tai tarvikkeen turvallisuus. [43]

Muoviasetuksen 9 artiklassa on lueteltu aineita koskevia erityisvaatimuksia, kuten ainekohtainen ja kokonaissiirtymän raja-arvot. Ainekohtainen siirtymän raja-arvo (SML) tarkoittaa tietyn aineen sallittua enimmäismäärää elintarvikkeessa. Se esitetään milligrammaa ainetta elintarvikekilogrammaa kohti. Yleinen ainekohtainen siirtymän raja-arvo on 60 mg/kg. Sitä sovelletaan niihin aineisiin, joille ei ole liitteessä I säädetty ainekohtaisen siirtymän raja-arvoa. Kokonaissiirtymän raja-arvolla (OML) tarkoitetaan kaikkien haihtumattomien aineiden sallittua enimmäismäärää elintarvikkeessa. Hyvää valmistustapaa noudattamalla on mahdollista valmistaa muovimateriaalia siten, että siitä vapautuu muovimateriaalin 1 dm² pinta-alaa kohden enintään 10 mg aineita. Kokonaissiirtymän raja-arvo on siten 10 mg/1 dm². Se on myös yleinen raja-arvo muovimateriaalin inerttiydelle, ellei yksittäisen aineen riskinarvioinnissa ilmoiteta alemmaa määrää. [43, 45]

Kierrätysmuoviasetus koskee vain mekaanisesti kierrätettyä muovia, eli se ei koske kemiallista kierrätystä, estokerroksen takana olevaa kierrätysmuovia tai uusiomuovia, joka on tehty tuotantohyllystä. Kierrätysmuoviasetuksessa säädetään, että kierrätetyn materiaalin on vastattava muoviasetuksessa asetettuja siirtymien raja-arvoja. Asetuksen 3 artiklassa säädetään, että kierrätetystä muovista valmistettuja materiaaleja ja tarvikkeita saa tuoda markkinoille ainoastaan asetuksen mukaisesti hyväksytyistä kierrätysprosesseista. Asianmukaista laadunvarmistusjärjestelmää on käytettävä kierrätysprosessin hallintaan. Siten varmistetaan, että kierrätysmuovi täyttää vaatimukset, jotka on asetettu hyväksynnässä. [5, 46]

EFSA arvioi elintarvikekäyttöön tarkoitettujen materiaalien ja tarvikkeiden valmistukseen tarkoitettujen kierrätysprosessien turvallisuutta. Se voi puoltaa prosessin hyväksyntää Euroopan komissiolle. Kierrätysprosessissa käytetty tekniikka ja prosessiparametrit ovat yrityskohtaisia. Tämän vuoksi kierrätysprosesseja arvioidaan prosessikohtaisesti ja myönnetään vain prosessikohtaisia hyväksyntöjä. [5]

Kierrätysmuoviasetuksen 4 artiklassa säädetään edellytykset, jotka hyväksytyyn kierrätysprosessin tulee täyttää:

- a) Lopullisen kierrätysmateriaalin ja -tarvikkeen on oltava kehysasetuksen 3 artiklan mukainen. Tämä varmistetaan yksilöidyllä muoviraaka-aineen laadulla ja ennalta laadittujen vaatimusten mukaisella valvonnalla.
- b) Muoviraaka-aineen alkuperä tulee yhteisön lainsäädännön mukaisesti olla peräisin elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin tarkoitetuista muovimateriaaleista ja -tarvikkeista. Erityisesti vinyyliloridimonomeeria sisältävät tarvikkeet, jotka joutuvat kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa, tulee valmistaa direktiivien 78/142/ETY ja 2002/72/EY mukaisesti.
- c)
 - i. Joko muoviraaka-aine on peräisin tuotekierrosta, joka on suljettu ja valvottu ketju. Sen avulla varmistetaan, että käytetään vain elintarvikekosketukseen tarkoitettuja materiaaleja ja tarvikkeita sekä voidaan poissulkea mahdollinen saastuminen.
 - ii. Tai osoitetaan altistustestillä tai soveltuvalla tieteellisellä näytöllä, että prosessin avulla pystytään vähentämään mahdollinen muoviraaka-aineen saastuminen pitoisuuteen, josta ei seuraa riskiä ihmisen terveydelle.
- d) Lopullisen kierrätysmateriaalin ja -tarvikkeen on oltava kehysasetuksen 3 artiklan mukainen. Tämä varmistetaan yksilöidyllä kierrätysmuovin laadulla ja ennalta laadittujen vaatimusten mukaisella valvonnalla.
- e) Kehysasetuksen 3 artiklan vaatimustenmukaisuus varmistetaan vahvistetuilla käyttöolosuhteilla. [5]

5. KIERRÄTYSPROSESSIN ARVIOINTI

5.1 Tutkimus ja sen tausta

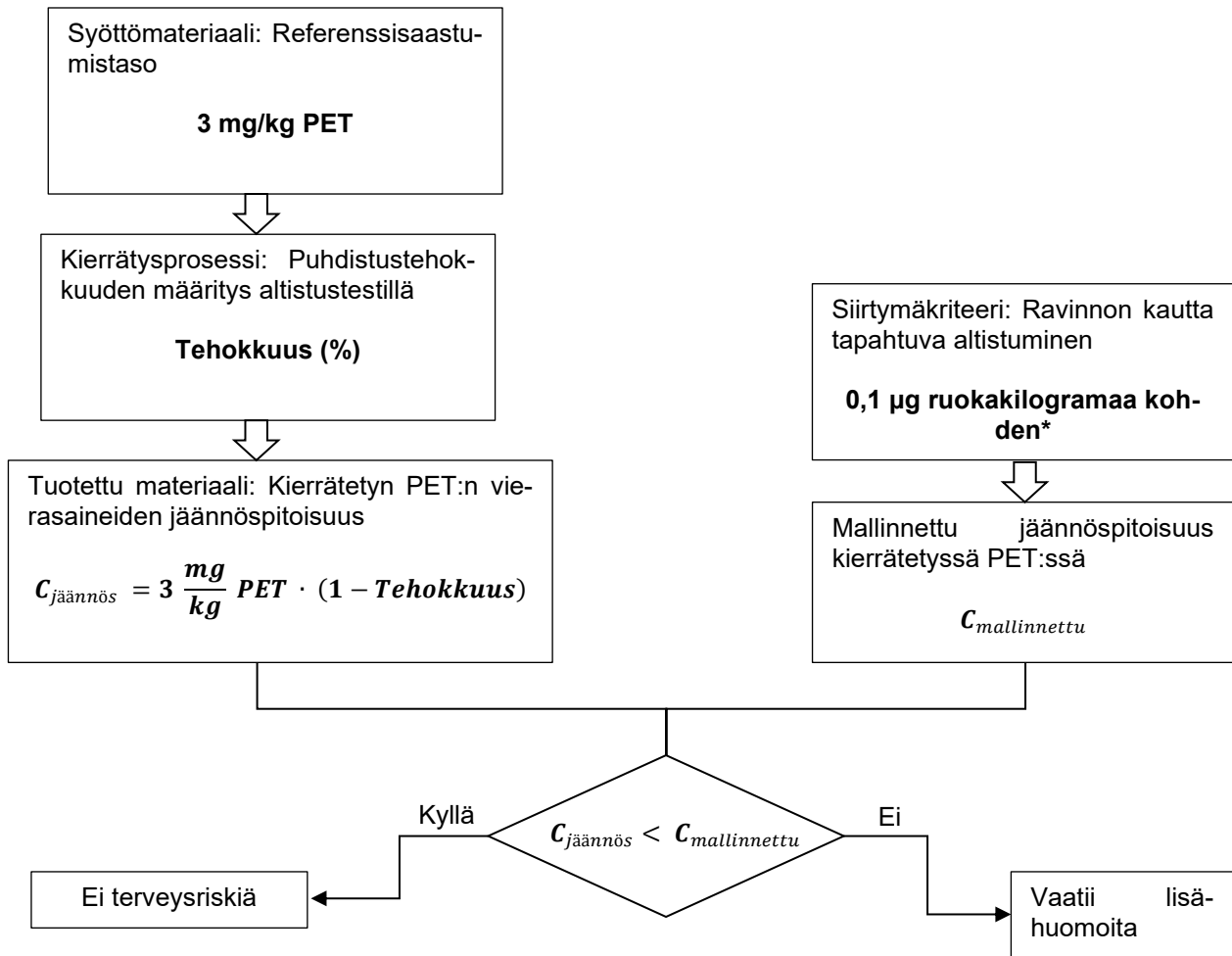
Aineistona käytettiin vuosina 2020–2021 julkaistuja EFSA:n tekemiä kontaktimateriaaliksi tarkoitettujen kierrätysmuovien kierrätysprosessien turvallisuusarviointeja. Turvallisuusarvioinneista tutkittiin mitä materiaalia arviointi koski ja millä perusteilla hyväksyntää puollettiin komissiolle tai perusteluista epäämiseksi.

Elintarvikepakkausten kierrättäminen uusiksi elintarvikepakkauksiksi asettaa haasteita tuotteiden turvallisuudelle. Kierrätetyn materiaalin käyttö kasvattaa mahdollisten saastumislähteiden määrää, mikä voi johtaa vierasaineiden kumuloitumiseen materiaalissa. Tämä voi aiheuttaa vaaraa terveydelle vierasaineiden siirtyessä kontaktimateriaalista elintarvikkeeseen. Geueken et al. mukaan on erityisen tärkeää seurata NIAS-aineiden pitoisuuksia kierrätetyistä materiaaleista. NIAS-aineet voivat olla esimerkiksi epäpuhtauksia tai reaktio- ja hajoamistuotteita. Niiden pitoisuudet voivat kasvaa esimerkiksi aikaisemman käytön tai väärinkäytön seurauksena. [3]

Vierasaineiden siirtymisestä aiheutuva ongelma on huomioitu myös lainsäädännössä. Kierrätysmuoviasetuksen johdannon kohdassa 4 säädetään, että erityisvaatimukset ovat tarpeen vierasainejäämien vuoksi, jotta kontaktimateriaalit ja tarvikkeet ovat kehysasetuksen 3 artiklan vaatimusten mukaisia. Vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi kontaktimateriaalisovelluksiin tarkoitettu kierrätysmuovi saa olla peräisin vain EFSA:n arvioimista prosesseista, jotka Euroopan komissio on hyväksynyt. [5] Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, millä perusteilla kierrätysprosessien katsottiin täyttävän kierrätysmuoviasetuksessa säädetyt vaatimukset ja EFSA:n turvallisuusarvioinnin kriteerit, jotka käsitellään seuraavissa luvuissa.

5.2 EFSA:n turvallisuusarvioinnin kriteerit

EFSA:n mukaan turvallisuusarvioinnin peruseräteenä on osoittaa, että kierrätysteknologian tai prosessin puhdistustehokkuus on riittävä. Tämä tehdään vertaamalla kierrätetyn PET:n vierasaineiden jäännöspitoisuutta mallinnettuun jäännöspitoisuuteen. [4] Kuvan 4 kaaviossa esitetään, miten nämä pitoisuudet saadaan ja niiden määrittäminen käsitellään seuraavissa luvuissa tarkemmin.



*: Oletusskenaario (imeväinen)

Kuva 4. Turvallisuusarvioinnin tärkeimpien parametrien välinen suhde, muokattu lähteestä [5]

Kuvan 4 kaavion vasemmalla puolella on parametrit, joiden avulla saadaan kierrätetyn PET:n vierasaineiden jäännöspitoisuus. Jäännöspitoisuus lasketaan referenssisaastumispitoisuuden ja kierrätysprosessin altistustestistä määritetyn puhdistustehokkuuden avulla. Kaavion oikeassa reunassa on vierasaineiden mallinnettu jäännöspitoisuus PET:ssä. Vierasaineiden mallinnettu pitoisuus saadaan siirtymäkriteerin avulla, joka huomioi ravinnon kautta tapahtuvan altistumisen. Prosessin katsotaan pystyvän tuottamaan materiaalia, joka ei todennäköisesti ole määritellyissä olosuhteissa turvallisuusriski, jos vierasaineiden jäännöspitoisuus kierrätetyssä PET:ssä on pienempi kuin mallinnettu jäännöspitoisuus. [4]

Vuonna 2008 EFSA laati ohjeasiakirjan, joka sisältää hallinnolliset ja tekniset tiedot, jotka muovien kierrätysprosessin turvallisuusarviointia hakevien tulee toimittaa. Julkaisun jälkeen toimitettiin suuri määrä hakemuksia, jotka koskivat kierrätettyä PET:a tuottavia prosesseja. Tämän takia EFSan paneeli täsmensi vuonna 2011 PET:n kierrätysprosessien turvallisuusarviointimenetelmää ja tarkensi arviointikriteerejä. [47] Tämän asiakirjan sisältöä käsitellään seuraavissa luvuissa tutkimuksen

kannalta aiheellisista kohdista, koska tutkimuksen aineistona käytetyt turvallisuusarvioinnit koskivat yksinomaan PET:a.

5.2.1 Vierasaineiden lähteet

EFSA:n mukaan kierrätettyjen kontaktimateriaalien käyttöön liittyvät riskit johtuvat kemikaalien mahdollisesta siirtymisestä elintarvikkeeseen. Seuraavista lähteistä peräisin olevat vierasaineet otetaan huomioon kierrätetyn PET:n tapauksessa:

- a) Väärinkäyttö, esimerkiksi kemikaalien säilöminen elintarvikkepakkauksissa
- b) Muut kuin elintarvikkeeseen tarkoitettujen käyttösovellukset
- c) Muista materiaaleista peräisin olevat kemikaalit, esimerkiksi tuote-etiketit ja liimat
- d) Kierrätysprosessin kemikaalit, esimerkiksi puhdistuksessa käytetyt puhdistusaineet ja emäkset ovat mahdollisia saastumisen lähteitä
- e) Muovin hajoamistuotteet
- f) Elintarvikkeiden osat voivat sorpota muovin pintakerrokseen, mikä voi aiheuttaa muovin saastumisen.

Muusta kuin elintarvikkeeseen tarkoitettuja käyttösovelluksia saa olla syöttömateriaalissa enintään 5 %. Syöttömateriaalin hallintaan liittyvät tiedot tulee olla hakemuksessa. [4]

Useita tutkimuksia on tehty selvittämään missä määrin ja millä esiintymistiheydellä kerätyt PET-muovit ovat saastuneita. EFSA:n asiakirja esittelee useita tutkimuksia, joissa tyypilliset vierasaineet ja niiden määrät on tunnistettu. [4]

5.2.2 Referenssisaastumispitoisuus

EFSA perustaa referenssisaastumispitoisuuden EU-tutkimuksesta FAIR-CT98-4318 saatuihin tietoihin. Tässä tutkimuksessa pestyistä ja kuivatuista PET-hiutaleista havaittiin korkeimmat väärinkäytöstä johtuneet pitoisuudet tolueenilla ja ksyleenillä. FAIR-tutkimuksen tekijät arvioivat, että huonoimassa tapauksessa tolueenin enimmäispitoisuus kierrätetyssä materiaalissa olisi 1,4–2,7 mg/kg PET:a. Tässä määrässä otettiin huomioon väärinkäyttämättömien pullojen suuren määrän aiheuttama laimennusvaikutus. Enimmäispitoisuus saatiin yhdistämällä väärinkäytettyjen pullojen koko esiintyvyys korkeimpiin arvioituihin vierasainetasoihin. Täten PET:n kierrätysprosessissa yksittäisen aineen väärinkäytöstä johtuvan saastumisen referenssipitoisuudeksi on asetettu 3 mg/kg PET:a. [4]

5.2.3 Puhdistustehokkuuden määrittäminen

Kierrätysprosessin puhdistustehokkuus määritetään altistustestillä. Altistustestiä varten PET:a saastutetaan niin sanotuilla korvikevierasaineilla, joista käytetään termiä korvikkeet. Kierrätysprosessin puhdistustehokkuus määritetään vertaamalla korvikkeiden konsentraatiota ennen ja jälkeen

altistustestin. Tätä puhdistustehokkuutta käytetään tuotetun materiaalin vierasaineiden jäännöspitoisuuden laskemisessa kuvan 4 mukaisesti. [4]

Altistustestissä tulee osoittaa, että korvikkeiden aiheuttama muovin saastuminen ei ole pääasiassa muovin pinnalla, sillä tämä voi johtaa puhdistustehokkuuden yliarvioimiseen. Pintakerrokseen kertymiseen vaikuttavat vierasaineiden fyysiset ja kemialliset ominaisuudet, joten korvikkeet ovat eri molekyylipainon ja polariteetin omaavia aineita. Saastumistaso tulee valita tarkoin. Tason tulee olla tarpeeksi korkea, jotta jäännöspitoisuudet puhdistetusta PET:sta voidaan analysoida, mutta liian korkea saastumistaso voi haastaa puhdistustehokkuutta liikaa ja siten vaikuttaa siihen negatiivisesti. [4]

Altistumistesti voidaan suorittaa puhtaiden ja saastuneiden muovihutaleiden seoksella. Tällöin voi tapahtua ristisaastumista eli korvikkeita siirtyä saastuneista hutaleista puhtaisiin hutaleisiin. Puhdistustehokkuus tulee tällöin määrittää jäljellä olevien korvikkeiden kokonaismäärästä, eli mitattuna sekä saastuneista että alun perin puhtaista hutaleista. [4]

Altistustestin mittakaava voi vaihdella teollisesta laboratoriomittakaavaan. Kriittisten prosessiparametrien, kuten lämpötila, keskimääräinen viipymäaika ja paine, vähimmäisarvot tulee ilmoittaa. Jos altistustesti suoritetaan täyden mittakaavan teollisuuslinjastoa pienemmässä mittakaavassa, tulee selittää miksi ja miten käytetyt olosuhteet ja saadut tulokset edustavat täyden mittakaavan teollisuusprosessin suorituskykyä ja olosuhteita. Jos varsinaista kierrätysprosessi ei suoriteta vähintään yhtä haastavissa olosuhteissa kuin altistustesti, tulee erojen vaikutukset puhdistustehokkuuteen selittää. [4]

5.2.4 Mallinnettu pitoisuus

Ravinnon kautta tapahtuva altistuminen tarkoittaa mahdollisten ihmisen terveudelle vaarallisten vierasainejäämien siirtymistä kierrätetystä kontaktimateriaalista elintarvikkeeseen ja edelleen ihmiseen. Tälle altistumiselle on määritetty kynnyсарvo, jonka alittamalla tuntemattoman vierasaineen aiheuttama riski terveudelle on mitätön. Ihmisen painokiloa kohden vierasaineiden enimmäissaanti vuorokaudessa on 0,0025 µg/ruokakilogramma. EFSA:n mukaan tuntemattomia vierasaineita on poistettu riittävästi prosessin syöttömateriaalista, jos kierrätetyssä PET:ssä vierasainejäämien aiheuttama siirtymä elintarvikkeeseen ei ylitä tätä kynnyсарvoa. [4]

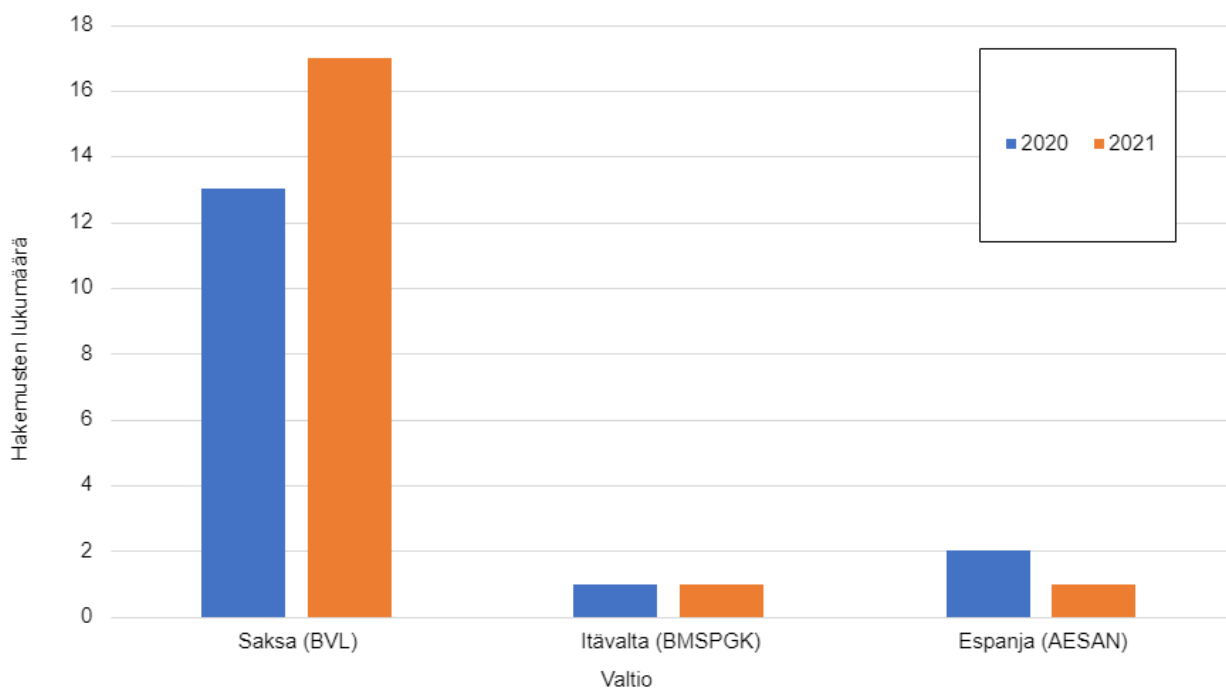
Siirtymämalleja käytetään mahdollisten jäännösvierasaineiden siirtymisen arviointiin määritellyissä olosuhteissa. Siirtymämallin parametrit saadaan kynnyсарvon avulla. Sopivien parametrien avulla kierrätysprosesseista voidaan arvioida ravinnon kautta tapahtuvaa altistumista. Siirtymämallien avulla saatu siirtymä on 5–100-kertainen todellisesta, yliarviointi otetaan huomioon siirtymäkriteeriä laskettaessa. Siirtymäkriteerillä tarkoitetaan ruoassa olevaa vierasaineiden maksimimäärää, joka ei

ylitä ravinnon kautta tapahtuvan altistumisen kynnyksarvoa. Se määritetään erikseen aikuisille, taaperoille ja imeväisille, koska imeväiset kuluttavat painokiloaan kohden eniten ruokaa. Siirtymäkriteerin arvo on aikuisille 0,75 µg ruokakilogrammaa kohden, taaperoille 0,15 µg ruokakilogrammaa kohden ja imeväisille 0,1 µg ruokakilogrammaa kohden. [4]

Kierrätetyn PET:n mallinnettu pitoisuus antaa arvion tietyn vierasaineen konsentraatiosta PET:ssa, mikä aiheutuisi siirtymäkriteerin mukaisesta siirtymästä yhtä ruokakilogrammaa kohden määritellyissä olosuhteissa. Mallinnettua pitoisuutta verrataan vierasaineiden laskettuun jäännöspitoisuuteen kierrätetyssä PET:ssa. Jos kierrätetyssä PET:ssä olevien jäännösvierasaineiden pitoisuus on pienempi kuin mallinnettu pitoisuus, prosessin katsotaan pystyvän vähentämään vierasaineiden siirtyminen elintarvikkeeseen alle siirtymäkriteerin. [4]

6. TULOKSET

Kaikki turvallisuusarviointit koskivat PET:n kierrätysprosesseja ja niitä haettiin yhteensä 35 kierrätysprosessille vuosina 2020–2021. Hakemukset jätetään jäsenvaltion kansalliselle toimivaltaiselle viranomaiselle, esimerkiksi Suomessa Ruokavirasto, joka toimittaa ne EFSAlle arvioitavaksi [48]. Kuvasta 5 nähdään, että hakemukset jakautuivat kolmen valtion toimivaltaisen viranomaisen jättämiksi.



Kuva 5. Haettujen turvallisuusarviointien jakautuminen valtioiden toimivaltaisten viranomaisten kesken

Saksan liittovaltion kuluttaja- ja elintarviketurvallisuusvirasto (BVL) toimitti vuonna 2020 14 hakemusta, joista yksi evättiin. Vuonna 2021 BVL toimitti 17 hakemusta, joista kaksi evättiin. Itävallan liittovaltion sosiaali-, terveys-, hoito- ja kuluttajansuojaministeriö (BMSPGK) toimitti yhden hakemuksen sekä vuonna 2020 että 2021. Espanjan elintarviketurvallisuus- ja ravitsemusvirasto (AESAN) jätti arvioitavaksi kaksi hakemusta vuonna 2020 ja yhden hakemuksen vuonna 2021. Kaikki BMSPGK:n ja AESAN jättämät hakemukset hyväksyttiin.

Haettujen turvallisuusarviointien rajoittuminen PET:n johtuu monesta syystä. PET:n inertti luonne vähentää vierasaineiden mahdollisia pitoisuuksia ensimmäistä kertaa kierrätettävässä

materiaalissa. Myös kierrätettävää materiaalia on paljon, sillä PET-pulloja on markkinoilla maailmanlaajuisesti runsaasti, minkä vuoksi monissa maissa on myös niiden keräysjärjestelmät. Keräysjärjestelmät myös mahdollistavat homogeenisemmän materiaalivirran. Kontaktimateriaaliksi kierrättämisen kannalta on myös etuna esimerkiksi se, että PET-pullot sisältävät tyypillisesti tuote-etiketit, jolloin suoraan materiaaliin painamisesta johtuva painomusteiden aiheuttama saastuminen vähenee. [31]

Hakemusten määrän kasvua on vauhdittanut Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivit tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutusten vähentämisestä 2019/904/EU, jäljempänä SUP-direktiivi, ja pakkauksista ja pakkausjätteistä 94/62/EU, jäljempänä pakkausdirektiivi. Molemmissa direktiiveissä on muovipakkauksille vuoteen 2025 mennessä saavutettavat kierrätystavoitteet. Pakkausdirektiivin mukaan muovisten pakkausten painoon perustuva kierrätyksen vähimmäistavoite on 50 %. SUP-direktiivin 9 artikla asettaa, että jäsenvaltioiden olisi erilliskerättävä 77 % enintään kolmen litran muovisista juomapulloista ja 6 artiklan mukaan pääasiallisesti PET-muovista valmistettujen juomapullojen tulee sisältää vähintään 25 % kierrätettyä muovia. [49, 50]

6.1 Puolletun hyväksynnän perustelut

EFSA:n paneelin arvion mukaan hyväksytty kierrätysprosessi on asianmukaisesti karakterisoitu ja prosessista on tunnistettavissa päävaiheet, joiden lopputuloksena on puhdistettua PET:a. Prosessi-kohtaisen altistustestin perusteella puhdistustehokkuuden kannalta kriittiset prosessiparametrit ja -vaiheet on tunnistettu. Kierrätysprosessien korkean lämpötilan takia mikro-organismien aiheuttamaa saastumista ei tarvitse ottaa huomioon, joten turvallisuusarviointit koskevat materiaalin kemiallista turvallisuutta. [51–82] Taulukossa 1 on esitetty puhdistustehokkuuden kannalta kriittiset prosessivaiheet ja -parametrit prosesseista, joiden hyväksyntää EFSA puolsi.

Taulukko 1. Puhdistustehokkuuden kannalta kriittiset prosessivaiheet ja -parametrit

Prosessien lukumäärä	Prosessivaiheet	Prosessiparametrit	Lähde
16	<ul style="list-style-type: none"> - Esilämmitys - SSP-reaktori 	<ul style="list-style-type: none"> - Esilämmityksen lämpötila, viipymäaika ja paine 	[51–66]
6	<ul style="list-style-type: none"> - Kuivaus ja kiteytyminen - Ekstruusio ja kiteytyminen - SSP-reaktori 	<ul style="list-style-type: none"> - Kuivaamisen ja kiteytymisen lämpötila, ilmavirta ja viipymäaika - Ekstruusion ja kiteytymisen sekä SSP-reaktorin lämpötila, paine ja viipymäaika 	[67–72]
4	<ul style="list-style-type: none"> - Jatkuva reaktori 	<ul style="list-style-type: none"> - Jatkuvan reaktorin lämpötila paine ja viipymäaika 	[73–76]
3	<ul style="list-style-type: none"> - Ekstruusio - Kiteytyminen - SSP-reaktori 	<ul style="list-style-type: none"> - Ekstruusion lämpötila - Kiteytymisen lämpötila, kaasun virtaus ja viipymäaika - SSP-reaktorin lämpötila, paine ja viipymäaika 	[77–79]
1	<ul style="list-style-type: none"> - Infrapunakuivaus - Kuumailmakuivaus - Ekstruusio 	<ul style="list-style-type: none"> - Kaikkien vaiheissa lämpötila ja viipymisaika - Ilman virtaamisnopeus kuumailmakuivauksessa - Paine ekstruusiossa 	[80]
1	<ul style="list-style-type: none"> - Ekstruusio - SSP-reaktori 	<ul style="list-style-type: none"> - SSP-reaktorin lämpötila, viipymäaika ja paine 	[81]
1	<ul style="list-style-type: none"> - Esilämmitys - SSP-reaktori 	<ul style="list-style-type: none"> - SSP-reaktorin lämpötila, viipymäaika, paine ja virtausnopeus 	[82]

Taulukosta 1 nähdään, että tyypillisimpiä kriittisiä prosessivaiheita ovat ekstruusio ja SSP-reaktori. Lähes kaikissa prosesseissa pääasiallinen puhdistus tapahtuu SSP-reaktorissa. Sen kriittisimpiä prosessiparametreja ovat lämpötila, viipymäaika ja paine. Niiden avulla kontrolloidaan vierasaineiden diffuusiota materiaalin pinnalle, minkä jälkeen ne voidaan poistaa materiaalista [31]. Samankaltaiset kriittiset prosessinvaiheet ja -parametrit selittyvät myös samankaltaisen kierrätysteknologioiden käytöllä. Kaikista 35 kierrätysprosessista 26 oli Starlingerin teknologioita [51–72, 77–79, 82].

Kierrätysprosessien turvallisuusarvioinneissa lueteltiin keskimäärin kolme kohtaa, jotka täyttämällä kierrätysprosessi pystyy vähentämään saastumisen pitoisuuteen, joka ei vaaranna ihmisen terveyttä. Kaksi ensimmäistä kohtaa olivat samat kaikissa prosesseissa. Ne käsittelivät suosituksia muoviraaka-aineen ja kierrätysprosessin ehtoihin ja rajoituksiin. Prosessit tulee suorittaa vähintään yhtä haastavissa olosuhteissa kuin altistustesti, jossa puhdistustehokkuus mitattiin. Prosessin syötömateriaali pestään ja kuivataan sekä se on oltava EU-lainsäädännön mukaisesti peräisin elintarvikkeen kanssa kosketuksiin joutuneista materiaaleista ja tarvikkeista. Muiden kuin elintarvikekäyttöön tarkoitettujen PET:n käyttösovellusten määrä on enintään 5 %. Viimeiset kohdat käsittelivät vaatimuksia koskien kierrätysmuovin yksilöintiä sekä suosituksia käyttökohteista. Nämä käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa. [51–82]

27 prosessissa kierrätettyä PET:a käytetään jopa 100-prosenttisesti kontaktimateriaalien ja -tarvikkeiden valmistukseen. Ne soveltuvat kosketukseen kaikentyyppisten elintarvikkeiden kanssa. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä, hot fill -kuumapakkausmenetelmällä tai ilman. [51–72, 77–79, 81, 82]

Kahdessa prosessissa kierrätettyä PET:a käytetään jopa 100-prosenttisesti lämpömuovattujen alustojen ja säilytysastioiden valmistukseen. Ne soveltuvat kosketukseen kaikentyyppisten elintarvikkeiden kanssa, pois lukien juomavesi. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä. [75, 76]

Yhdessä prosessissa kierrätettyä PET:a käytetään jopa 100-prosenttisesti kontaktimateriaalien ja -tarvikkeiden valmistukseen. Ne soveltuvat kosketukseen kaikentyyppisten elintarvikkeiden kanssa, mukaan lukien juomavesi. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä. [73]

Yhdessä prosessissa kierrätettyä PET:a käytetään:

- 50 %:ssa seoksissa neutraalisen PET:n kanssa juomapullojen valmistukseen. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä, hot fill -kuumapakkausmenetelmällä tai ilman.
- 80 %:ssa seoksissa neutraalisen PET:n kanssa kontaktimateriaalien ja -tarvikkeiden valmistukseen. Ne soveltuvat kosketukseen kaikentyyppisten elintarvikkeiden kanssa. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä, hot fill -kuumapakkausmenetelmällä tai ilman.
- 100-prosenttisesti alustojen valmistukseen, jotka ovat tarkoitettu kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa pakastetuissa ja jäädytetyissä olosuhteissa (sisältää 10 päivän siirtymävaatimusten mukaisuustestin 20 °C:ssa). [80]

Kaksi eri seosprosenttia neitseellisen materiaalin kanssa määritetään yhdessä prosessissa. Kierrätettyä PET:a käytetään jopa 70-prosenttisesti seostettuna neitseellisen PET:n kanssa vesipullojen valmistukseen. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä. Vaihtoehtoisesti, kierrätettyä PET:a käytetään jopa 100-prosenttisesti materiaalien ja tarvikkeiden valmistukseen, joita ei käytetä veden juomiseen. Loppukäytössä materiaalin pitkäaikainen varastointi tapahtuu huoneenlämmössä. [74]

6.2 Epäämisen syyt

EFSA:n lautakunta totesi kolmesta hakemuksesta, että ne eivät täyttäneet EFSA:n ohjeasiakirjan vaatimuksia. Epäämiseen johtaneet syyt ovat prosessikohtaisia ja niitä käsitellään tarkemmin tässä luvussa.

6.2.1 Martogg Group

Martogg Groupin prosessin kuvaus ja altistumistesti eivät ole riittävän yksityiskohtaisia ja johdonmukaisia, joten altistumistesti ei kuvaa prosessia asianmukaisesti. Altistumistestin toimintatavasta ei myöskään saada varmuutta. Asiakirjassa ei ole johdonmukaisesti kuvattu suoritetaanko altistustesti jatkuvana vai eräkäsittelynä, mikä voi vaikuttaa johdettuun viipymäaikaan. Teollinen prosessi kuvataan suoritettavan jatkuvana prosessina, joten ilman varmuutta altistustestin käsittelytavasta, ei sen edustavuutta teollisen prosessin suhteen voi arvioida. [83]

Paneelin mukaan puhdistus ensimmäisessä ja toisessa jatkuvassa reaktorissa eivät ole tarpeeksi yksityiskohtaisesti kuvattuja. Täten, näistä vaiheista ei voi arvioida hiutaleiden liikkumista ja potentiaalista sekoittumista sekä viipymääjan vaikutusta. [83]

Asiakirjassa on epä johdonmukaista tietoa altistustestissä käytettyjen reaktoreiden täyttöprosentista sekä prosessireaktoreiden kapasiteetista. Lisäksi prosessilinjojen viipymäaikalaskelmat eivät vastaa reaktorikokojen kuvauksia. Paneelin reaktorikokotietojen perusteella laskemat reaktorien täyttöprosentit ja -asteet sekä viipymääjat ovat kaukana hakijan ilmoittamista. [83]

6.2.2 Veolia URRC

Veolia URRC:n prosessista toimitetut tiedot eivät sisältäneet riittävää ja selkeää kuvausta kierrätysprosessista, minkä vuoksi tekniikan päävaiheista ja prosessiparametreista ei saatu selkeää käsitystä. Paneelin mukaan altistustesti ei edusta teollista prosessia, joten puhdistustehokkuutta ei

pystytä määrittämään. Lisäselvityspyynnöstä huolimatta seuraavia peruskysymyksiä ei käsitellä tyydyttävästi. [84]

Prosessi suoritetaan seuraavilla parametreilla: natriumhydroksidi- tai kaliumhydroksidiannostelu, paine, lämpötila, viipymäaika ja kuivan ilman vastavirtaus. Parametrien raportoinnissa on kuitenkin puutteita ja niitä ei ole raportoitu riittävän tarkasti prosessin eri vaiheissa. Sekoitusruuvien lämpötila ja kesto eivät ole johdonmukaisia seuraavan vaiheen esikuivumisen kanssa. Epäselväksi jää tapahtuuko hiutaleiden lämmitys jatkuvatoimisessa reaktorissa erillään sekoitusruuvista vai sekoitusruuvien sisällä. [84]

Saastumiseen johtaneita mekanismeja ei ole kuvattu tarpeeksi, jotta hiutaleiden pinnan depolymerisaatiosta voitaisiin raportoida perusteellisesti. Epäselväksi jää, missä vaiheessa ja missä määrin (mihin paksuuteen) hiutaleiden pinta depolymeroituu. Tämä on edellytys altistustestin teollisen prosessin edustavuudelle. [84]

Altistustestiä ei ole suoritettu EFSA:n PET-kierrätysprosessien kriteerien mukaisesti. Prosessin puhdistustehokkuutta mitataan suorittamalla kaksi altistustestiä sekoitusruuvissa, esikuivatuksessa ja puhdistuskiertouunissa. Ne suoritetaan pienessä laboratoriomittakaavassa ja yhtä kiertohaihdutinta käytetään useiden teollisuusprosessien vaiheiden simulointiin. Altistustestissä käytetään laitetta, jonka edustavuutta teollisen prosessin laitteen kannalta ei osoiteta. Näytteitä myös analysoidaan rajoitettu määrä. Vuonna 2013 haettiin hyväksyntää Veolia-prosessille, jonka hyväksyntää paneeli puolsi. Tähän hakemukseen verrattuna, puhdistustehokkuus on yhtä suurta tai hieman korkeampaa vaikka aika-, lämpötila- ja hydroksidiprosentit ovat pienempiä. Tieteelliset ja tekniset tiedot tai argumentit eivät perustele tarpeeksi hyvin miksi ja miten altistustesti edustaa teollista prosessia. [84]

6.2.3 Plastrec

Puhdistustehokkuuden asianmukainen arvioiminen ei ole mahdollista lisäselvityksestä huolimatta Plastrec-kierrätysprosessin tapauksessa. Jotta SSP-pilottilaitoksen reaktoriin saadaan tarvittava määrä materiaalia, kirkkaita saastutettuja PET-pellettejä sekoitetaan suureen määrään puhtaita sinisiä pellettejä. Puhdistustehokkuus lasketaan vertaamalla kirkkaiden pellettien korvikepitoisuuksia ennen ja jälkeen SSP-reaktorin, mikä voi EFSA:n paneelin mukaan johtaa puhdistustehokkuuden yliarvioimiseen. Laskelmissa ei myöskään oteta huomioon ristisaastumista kirkkaiden ja sinisten pellettien välillä. Puhdistustehokkuus olisi pitänyt määrittää jäljellä olevien korvikkeiden kokonaismäärästä, mitattuna sekä saastuneista että alun perin puhtaista pelleteistä. [85]

Lisäselvityksessä viitataan Wellen tutkimukseen, jossa ristisaastumista havaitaan pienillä sekoitussuhteilla, mutta suurilla sekoitussuhteilla se muuttuu merkityksettömäksi. Paneeli on kuitenkin

vuonna 2017 julkaistussa turvallisuusarvioinnissa todennut, että hakijan toimittamat tiedot eivät mahdollistaneet ristisaastumisen poissulkemista käytetyn analyysimenetelmän korkeiden havaitsemisrajojen vuoksi. Vähäinen pitoisuus korvikkeita alun perin suuressa määrässä puhtaita hiutaleita vaikuttaa voimakkaasti jäännöskorvikkeiden määrään tuotoksessa. [85]

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli selvittää, onko muovisten elintarvikepakkausten kierrättäminen uusiksi elintarvikepakkauksiksi turvallista. Kontaktimateriaaleina muoveja käytetään laajasti, mutta niille on ominaista olla vuorovaikutuksessa elintarvikepakkauksen sisällön ja ympäristön kanssa. Vuorovaikutuksien seurauksena kierrätetyssä materiaalissa voi esiintyä tuntemattomia vierasaineita. Tyypillisesti vierasaineet päätyvät materiaaliin alkuperäisen käyttösovelluksen väärinkäytön takia. Vierasaineiden siirtyessä elintarvikkeeseen, ne voivat aiheuttaa vaaraa ihmisen terveydelle. Vierasainepitoisuuksien minimoimiseksi on tärkeää, että kierrätysprosessin puhdistustehokkuus on riittävä. Syväpuhdistavien prosessien avulla mekaanisesti kierrätetystä muovista saadaan soveltuvaa kontaktimateriaalikäyttöön.

Tutkimuksen aineistona käytettiin EFSA:n vuosina 2020–2021 julkaisemia kierrätysprosessien turvallisuusarviointeja. Tutkittuja turvallisuusarviointeja oli yhteensä 35 ja ne kaikki koskivat mekaanisesti kierrätettyä PET:a. PET soveltuu hyvin kierrätettäväksi ja sitä on markkinoilla paljon, esimerkiksi pulloina, mikä on lisännyt sen kierrätyksen kiinnostavuutta. Suuri osa PET:sta päätyy kierrätykseen keräysjärjestelmien kautta, mikä rajaa materiaalivirtaan eksyviä muita muoveja. Turvallisuusarvioinnit koskivat materiaalin kemiallista turvallisuutta, koska kierrätysprosessien korkean lämpötilan vuoksi mikro-organismien aiheuttama saastuminen voitiin jättää huomiotta.

Kontaktimateriaaleja säädellään lainsäädännöllä ja esimerkiksi kontaktimateriaaliksi tarkoitetun kierrätysmuovin tulee täyttää kierrätysmuoviasetuksessa asetetut edellytykset hyväksytylle kierrätysprosessille. Tutkimuksen perusteella lähes kaikki tutkitut kierrätysprosessit täyttivät kierrätysmuoviasetuksessa asetetut edellytykset. Hyväksytyissä prosesseissa oli useita yhtäläisyyksiä, kuten SSP-reaktorissa tapahtuva materiaalin pääasiallinen puhdistuminen. Reaktorissa vierasaineiden diffuusiota materiaalin pinnalle pystytään kontrolloimaan kriittisten parametrien, kuten viipymääjan ja lämpötilan, avulla, minkä jälkeen ne pystytään poistamaan materiaalista. Yhtäläisyyksiä selitti osaltaan myös samankaltaisten kierrätysteknologioiden käyttö.

Aineistossa oli kolme prosessia, jotka eivät täyttäneet kierrätysmuoviasetuksessa säädettyjä edellytyksiä. Prosesseissa oli useita puutteita. Yleisimmät puutteet johtuivat esimerkiksi tarpeeksi yksityiskohtaisten tietojen puuttumisesta ja prosessin altistustestin edustavuudesta teollisen prosessin kannalta.

Tutkimuksen perusteella elintarvikepakkauksen kierrätys uusiksi elintarvikkeiksi on turvallista, koska puhdistustehokkuuden todistaminen riittäväksi on turvallisuusarvioinnin peruseriaatteena. Turvallisuusarvioinneista ei kuitenkaan ollut saatavilla tietoja, miten hakijat varmistavat, että syöttömateriaalissa on enintään 5 % muita kuin elintarvikekäyttöön tarkoitettuja käyttösovelluksia. Niiden määrän

kasvaminen voi johtaa vierasainepitoisuuksien nousuun ja siten vaikuttaa lopullisen materiaalin puhtauteen. Toisaalta vierasaineiden jäännöspitoisuuden määrittämisessä käytetty referenssisaastumispitoisuus on konservatiivinen.

LÄHTEET

- [1] Plastics - the Facts 2021, Plastics Europe, 2021, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.1.2022): <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
- [2] Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle EU:n strategia muoveista kiertotaloudessa, Euroopan komissio, 2018. Saatavissa (viitattu 21.2.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=COM:2018:28:FIN>
- [3] Geueke B., Groh K., Muncke J., 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.
- [4] EFSA Panel on food contact materials enzymes, Scientific Opinion on the criteria to be used for safety evaluation of a mechanical recycling process to produce recycled PET intended to be used for manufacture of materials and articles in contact with food, EFSA journal, Vol. 9, Iss. 7 , 2011, 25 p.
- [5] Komission asetus (EY) N:o 282/2008 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista kierrätysmuovimateriaaleista ja -tarvikkeista ja asetuksen (EY) N:o 2023/2006 muuttamisesta, Euroopan unionin virallinen lehti, L 86/9, 2008. Saatavissa (viitattu 15.1.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008R0282&qid=1642229966757>
- [6] Rangappa S.M., Parameswaranpillai J., Thiagamani S.M.K., Krishnasamy S., Siengchin S., Food Packaging: Advanced Materials, Technologies, and Innovations, CRC Press, Boca Raton, 2020, pp. 131.
- [7] Robertson G.L., Food packaging : Principles and Practice, Third Edition, CRC Press, 2016, pp. 2–336.
- [8] Kontaktimateriaalit, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.1.2022): <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaalit>
- [9] Knight D.J., Creighton L.A., Regulation of Food Packaging in Europe and the USA, Rapra Technology Ltd, Shawbury, U.K, 2004, pp. 3–4.
- [10] Piergiovanni L., Limbo S., Plastic Packaging Materials, Springer International Publishing, Cham, 2016, pp. 38–42.
- [11] Marsh K., Bugusu B., Food packaging - Roles, materials, and environmental issues: Scientific status summary, Journal of food science, Vol. 72, Iss. 3, 2007, pp. R39–R55.
- [12] Block C., Brands B., Gude T., Packaging Materials 2: Polystyrene for Food Packaging Applications. Updated version, ILSI Europe Packaging Materials Task Force, 2017, 36 p. Saatavissa (viitattu 12.1.2022): https://ils.eu/wp-content/uploads/sites/3/2018/06/PS-ILSI-Europe-Report-Update-2017_Interactif_FIN-June-2018.pdf
- [13] Coles R., McDowell D., Kirwan M.J., Food packaging technology, Blackwell Publishing, Oxford, 2003, pp. 198–199.

- [14] López-Rubio A., Almenar E., Hernandez-Muñoz P., Lagarón J.M., Catalá R., Gavara R., Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications, *Food reviews international*, Vol. 20, Iss. 4, 2004, pp. 357–387.
- [15] Soares C.T. de M., Ek M., Östmark E., Gällstedt M., Karlsson S., Recycling of multi-material multilayer plastic packaging: Current trends and future scenarios, *Resources, conservation and recycling*, Vol. 176, 2022, pp. 105905.
- [16] Selke S.E.M., Culter J.D., Auras R.A., Rabnawaz M., *Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations*, Hanser, München, 2021, pp 355–358.
- [17] Fang X., Vitrac O., Predicting diffusion coefficients of chemicals in and through packaging materials, *Critical reviews in food science and nutrition*, Vol 57, Iss. 2, 2017, pp. 275–312.
- [18] Rahman M.S., *Handbook of Food Preservation*, Baton Rouge: CRC Press, 2007, pp. 940.
- [19] Vergnaud J.M., Rosca I-D., *Assessing food safety of polymer packaging*, Shropshire : Rapra Technology, Shrewsbury, 2006, pp. 145.
- [20] Euroopan unionin neuvosto. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta, Euroopan unionin virallinen lehti, L 312/3, 2008. Saatavissa (viitattu 14.1.2022): <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- [21] Schyns Z.O.G., Shaver M.P., *Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review*, *Macromolecular rapid communications*, Vol. 42, Iss. 3, 2021, pp. 2000415
- [22] Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J., Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, *Waste management (Elmsford)*, Vol. 29, Iss. 10, 2009, pp. 2625-2643.
- [23] Hopewell J., Dvorak R., Kosior E., *Plastics recycling: challenges and opportunities*, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 364, Iss. 1526, 2009, pp. 2115–2126.
- [24] Eskelinen H., Haavisto T., Salmenperä H., Dahlbo H., *Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet*, CLIC Innovation Raportti nro D4 1-3, 2016, 58 s.
- [25] Kutz M., *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials, and Applications (2nd Edition)*, Elsevier Science & Technology Books, Norwich, 2016, pp. 169.
- [26] Gauthier M.M., *Engineered materials handbook*, Materials Park, ASM International, Ohio, 1995, pp. 292.
- [27] Ragaert K., Delva L., Van Geem K., *Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste*, *Waste management (Elmsford)*, Vol. 69, 2017, pp. 24–58.
- [28] Panda A.K., Singh R.K., Mishra D.K., *Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-A world prospective*, *Renewable & sustainable energy reviews*, Vol. 14, Iss. 1, 2010, pp. 233–248.
- [29] Punkkinen H., Teerioja N., Merta E., Moliis K., Mroueh U-M., Ollikainen M., *Pyrolyysin potentiaali jätemuovien käsittelymenetelmänä Ympäristökuormitukset ja kustannusvaikutukset*, VTT Working Papers 176, VTT, 2011, 79 s. + liitt. 15 s. Saatavissa (viitattu 18.2.2022): <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2011/W176.pdf>

- [30] Villanueva A., Eder P., End-of-waste criteria for waste plastic for conversion: technical proposals: final report, Publications Office, Luxembourg, 2014, 252 p. Saatavissa (viitattu 21.2.2022): <http://dx.doi.org/10.2791/13033>
- [31] Welle F., Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview, Resources, conservation and recycling, Vol. 55. Iss. 11, 2011, pp. 865–875.
- [32] Laine-Ylijoki J., zu Castell-Rüdenhausen M., Kaartinen T., Kärki J., Pellikka T., Punkkinen H. et al., Selvitys eräiden jätteiden ja rejektien käsittelykapasiteetin sekä muutaman jäteperäisen materiaalin markkinan tilanteesta Suomessa, Ympäristöministeriön raportteja 21/2018, 2018, 52 s. Saatavissa (viitattu 14.1.2022): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4812-5>
- [33] Teittinen T., Wahlström M., Pohjakallio M., Vaajasaari K., CHEMPLAST - Kansallisten EoW-asetusten mahdollisuudet muovijätteiden kemiallisen kierrätyksen edistämässä, VTT Asia-kasraportti No. VTT-CR-01281-19, VTT Technical Research Centre of Finland, 2020, 44 s. + liit. 25 s. Saatavissa (viitattu 14.1.2022): https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/27257473/VTT_CR_01281_19.pdf
- [34] Anuar Sharuddin S.D., Abnisa F., Wan Daud W.M.A., Aroua M.K., A review on pyrolysis of plastic wastes, Energy conversion and management, Vol. 115, 2016, pp. 308–326.
- [35] Lopez G., Artetxe M., Amutio M., Alvarez J., Bilbao J., Olazar M., Recent advances in the gasification of waste plastics. A critical overview, Renewable & sustainable energy reviews, Vol. 82, 2018, pp. 576–596.
- [36] Solis M., Silveira S., Technologies for chemical recycling of household plastics – A technical review and TRL assessment, Waste management, Elmsford, Vol. 105, 2020, pp. 128–138.
- [37] RINKI Vuosikertomus 2019, Suomen Pakkauskierrätys RINKI Oy, 9 s. Saatavissa (viitattu 18.2.2022): https://rinkiin.fi/app/uploads/2020/06/RINKI_vuosikertomus-2019.pdf
- [38] Muovien kierrätys, Fortum, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.2.2022): <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/kierratys-ja-jatepalvelut/muovien-kierratys>
- [39] Flake, Pramia Plastic Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.2.2022): <https://www.pramiaplastic.fi/flake/>
- [40] Kontaktimateriaaleja koskeva lainsäädäntö, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.1.2022): <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/>
- [41] 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 14.1.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32004R1935>
- [42] Kontaktimateriaalien valvonta, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.1.2022): <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaalien-valvonta/>
- [43] Komission asetus (EU) N:o 10/2011 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista, Euroopan unionin virallinen lehti, L 12/1, 2011. Saatavissa (viitattu 15.1.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0010&qid=1642229548651>

- [44] 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 15.1.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006R2023&qid=1642229292242>
- [45] Muoviasetus (EU) 10/2011, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.12.2021): <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/muoviasetus-eu-102011/>
- [46] Kierrätysmuoviasetus (EU) 282/2008, Ruokavirasto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.12.2021): <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-koskeva-lainsaadanto/kierratysmuoviaseetus-eu-2822008/>
- [47] Plastics and plastic recycling, EFSA, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.1.2022): <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/plastics-and-plastic-recycling>
- [48] European Food Safety Authority, Administrative Guidance for the preparation of applications for the safety assessment of substances to be used in plastic Food Contact Materials, EFSA Supporting Publication, Vol. 15. Iss. 5, 2017, 40 p.
- [49] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2019/904 tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutuksen vähentämisestä, Euroopan unionin virallinen lehti, L 155/1, 2019. Saatavissa (viitattu 15.1.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0904&qid=1642239664679>
- [50] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/62/EY pakkauksista ja pakkausjätteistä, Euroopan unionin virallinen lehti, L 365/10, 1994. Saatavissa (viitattu 15.1.2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062&qid=1642239562180>
- [51] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process UTSUMI RECYCLE SYSTEMS, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 10, 2021, 12 p.
- [52] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Marmara PET Levha, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 10, 2021, 12 p.
- [53] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process BPCL, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 10, 2021, 12 p.
- [54] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Sulpet Plásticos, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 10, 2021, 12 p.
- [55] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process ROL, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 6, 2021, 12 p.

- [56] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Drava International, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 6, 2021, 12 p.
- [57] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Somoplast - Riachi & Co, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials. EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 10, 2020, 12 p.
- [58] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Flight Plastics (UK), based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 10, 2020, 12 p.
- [59] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Carton Pack, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 7, 2020, 12 p.
- [60] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process PT Asioplast, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 10, 2020, 12 p.
- [61] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Technoplastika Prima Perdana, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 7, 2020, 12 p.
- [62] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process sicht-pack Hagner, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 10, 2020, 12 p.
- [63] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process WIP, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 7, 2020, 12 p.
- [64] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Erreplast, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 10, 2020, 12 p.
- [65] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Severn Valley Polymers, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 11, 2020, 12 p.
- [66] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process ISAP Packaging, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 6, 2021, 12 p.

- [67] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Nosoplas, based on Starlinger iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 12 p.
- [68] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process ESTERPET, based on Starlinger iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.
- [69] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Viridor Waste Management, based on Starlinger iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.
- [70] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process RECICLADOS INDUSTRIALES DE PRAVIA (RECINPRA), based on Starlinger iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 12 p.
- [71] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process PET STAR RECYCLING, based on Starlinger iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.
- [72] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process HIROYUKI INDUSTRIES, based on Starlinger iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.
- [73] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process STF, based on EREMA Basic technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 3, 2020, 13 p.
- [74] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process RE-PET, based on EREMA Basic technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 3, 2020, 14 p.
- [75] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process ONDUPET, based on EREMA Basic technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 10, 2020, 13 p.
- [76] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Buergofol, based on EREMA Basic technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 3, 2020, 13 p.
- [77] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Omorika Recycling, based on PET direct iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 10, 2021, 13 p.
- [78] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process DENTIS RECYCLING ITALY, based on PET direct iV+

technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.

- [79] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process DY Polymer, based on PET direct iV+ technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.
- [80] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process SML Maschinengesellschaft, based on SML technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 14 p.
- [81] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Novapet, based on Protec technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 8, 2021, 13 p.
- [82] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Ltd. PolyER, based on Starlinger deCON technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 3, 2020, 12 p.
- [83] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Martogg Group, based on EREMA Advanced technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 6, 2021, 9 p.
- [84] Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Veolia URRC used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 18, Iss. 5, 2020, 13 p.
- [85] Lambré C., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., et al., Safety assessment of the process Plastrec, based on Polymetrix pellet technology, used to recycle post-consumer PET into food contact materials, EFSA Journal, Vol. 19, Iss. 4, 2021, 10 p.