

T1.8 ja T1.9 – Muovi-, tekstiili-, huonekalu- ja yhdistelmäjakeiden mahdolliset käyttökohteet

JÄTTI-HANKE

Maria Jäppinen, LAB University of Applied Sciences

Ville Puhakka, LAB University of Applied Sciences

Sanna Weiström, Muovipoli Oy



Euroopan unionin
osarahoittama

Sisällysluettelo

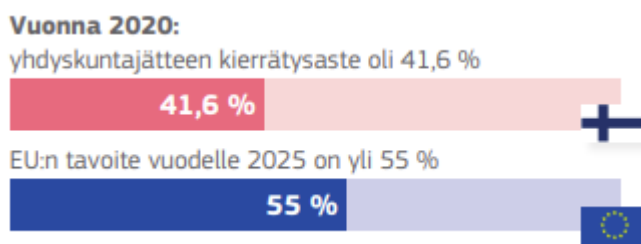
1	Johdanto	2
2	Muovijakeiden mahdolliset käyttökohteet	3
2.1	Muovijakeet ja niiden pakkausmerkinnät	4
2.2	Muovijakeiden jätteen luokittelun päättymistä koskevalle asetukselle ehdotetut arviointi- ja luokitteluperusteet	5
2.3	Uusiomuovin tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuudet	6
2.4	Kaupalliset uusiomuovituotteet	7
2.5	Muovin kemialliseen kierrätykseen liittyviä yrityksiä ja projekteja	10
3	Tekstiilijakeiden mahdolliset käyttökohteet	14
3.1	Tekstiilimateriaalit	14
4	Huonekalujakeiden mahdolliset käyttökohteet	17
4.1	Patjat (Polyuretaani)	17
4.2	Jätepuu	19
4.3	Huonekalutekstiilit	20
4.4	Huonekaluista huonekaluiksi	20
5	Yhdistelmäjäkeiden mahdolliset käyttökohteet	22
5.1	Yhdistelmäjäkeet ja niiden materiaalien pakkausmerkinnät	22
5.2	Muovikomposiittien kierrätys	23
5.3	Muovien yhdistelmä materiaalien hyödyntämiseen liittyviä hankkeita	23
5.4	Tekstiiliyhdistelmäjäkeet	25
6	Yhteenveto	26
	LÄHTEET	28

1 Johdanto

Tämä kartoitus on osa EAKR-rahoitteista Jätti-hanketta, jossa tavoitteena on kehittää erityisesti Suomessa alihyödynnettyjen yhdyskuntajätevirtojen (muovi, huonekalu ja tekstiili) hyödyntämis- ja liiketoimintamahdollisuuksia ja näihin liittyviä arvoketjuja sekä pilotoida korkean jalostusarvon tuotteita. Hankkeen osapuolia ovat LADEC, LAB-ammattikorkeakoulu ja Muovipoli Oy.

Tämä raportti esittelee yhdistettynä Jätti-hankkeen tulokset 1.8 ja 1.9. Näissä hankkeen osissa tavoitteena on selvittää mahdollisia käyttökohteita muovi-, tekstiili-, huonekalu- ja yhdistelmäjakeille, jotta niiden hyödyntämismahdollisuuksia voitaisiin kehittää Päijät-Hämeen alueella. Tavoitteiden kannalta keskeistä on tunnistaa alalle kehittyvä liiketoiminta, lajittelu- ja tunnistustekniikan mahdollisuudet sekä ulkoiset ajurit. Työ on tehty LAB-ammattikorkeakoulun ja Muovipoli Oy:n yhteistyönä, jossa Muovipoli on keskittynyt muoveihin liittyviin osuuksiin ja LAB-ammattikorkeakoulun osuus on painottunut tekstiileihin ja huonekaluihin.

Suomi on saavuttamassa vuoden 2025 kierrätystavoitteet pakkausjätteiden kierrätysasteen osalta. Poistotekstiileistä kerätään noin 30%, mutta saman jalostusarvon tuotteeksi kierrätetään vain noin 1%. Huonekalujätteestä kiertää vain noin 10%, ja sen kierrätyksen edistämiseksi tulisi keskittyä toistaiseksi materiaalivirtoihin. [1] Yhdyskuntajätteen kierrätysasteessa Suomi oli vielä vuonna 2020 jäljessä EU:n tavoitteesta vuodelle 2025, joka on yli 55 %. Suomen luku oli 41,6 %. (Kuva 1) [2] Tästä syystä tämän raportin kaltaisia tutkimuksia tehdään, jotta löydettäisiin ratkaisuja kierrätysasteen korottamiseksi.



Kuva 1 Yhdyskuntajätteen Suomen kierrätysaste vuonna 2020 ja EU:n tavoite vuodelle 2025 [2]

2 Muovijakeiden mahdolliset käyttökohteet

Muovijätteen määrä on kaksinkertaistunut viimeisen 20 vuoden aikana. Sitä oli globaalisti 353 milj. tonnia vuonna 2019. OECD:n vuoden 2022 ennusteen mukaan muovijätteen määrä on kolminkertaistumassa vuoteen 2060 mennessä, jolloin sitä arvioitiin syntyvän 1014 milj. tonnia. [3]

Vuonna 2020 Euroopassa vietiin kierrätykseen yli 10 miljoonaa tonnia kulutuksen jälkeistä muovijätettä. Tällöin kulutuksen jälkeisistä muoveista kierrätettiin vain 35 %. Energiakäyttöön meni 42 % ja 23 % joutui kaatopaikalle. Muovipakkausten kierrätysaste oli 46 % vuonna 2020, mikä on 9,5 % kasvua vuodesta 2018. Tällöin energiakäytön osuus oli 37 % ja 17 % vietiin kaatopaikalle. Kierrätys on ratkaisevan tärkeässä roolissa siirryttäessä aitoon kiertoalouteen laadukkaiden kierrätysratkaisuiden myötä. [4]

Muovijae koostuu PlasticsEuropeen mukaan 40 % pakkauksista, 22 % kulutus- ja kotitaloustavaroista, 20 % rakennustuotteista, 9 % autoista, 6 % sähkö- ja elektroniikkalaitteista sekä 3 % maataloustuotteista. (Kuva 2)



Kuva 2 Muovijakeen koostumus PlasticsEuropeen mukaan [5]

2.1 Muovijakeet ja niiden pakkausmerkinnät

Tämä kappale hankkeen idean myötä käsittelee yhdyskuntajätteessä esiintyviä muovijakeita, kuinka niitä lajitellaan ja miten ne merkitty. Suuri osa muovijätteestä on pakkausmuovia. Tämän vuoksi pakkausmuovin kierrätystä ja pakkausmerkintöjä on jo kehitetty. Muovipakkauksia on kerätty lajittelupisteissä vuodesta 2016 asti. Keräys on jo yleistynyt taloyhtiöissä, koska uusi vuoden 2023 jätelaki edellyttää kaikkien taajama-alueiden vähintään viiden huoneiston asuinkiinteistöjen lajitella muun muassa muovipakkaukset erikseen.

Pakkauksissa käytetään eniten polyeteenitereftalaattia (PET), polyeteeniä (PE), polypropeenia (PP) ja polystyreeniä (PS). Lajittelun helpottamiseksi muovipakkausmateriaaleille on annettu numerot pakkausmerkintöihin ja seuraava taulukko (**Error! Reference source not found.**) esittelee niiden merkinnät, yleiset ominaisuudet sekä esimerkkejä käyttö- ja hyödyntämiskohteista. [6]

Taulukko 1 Pakkausmuovimateriaalien merkinnät, ominaisuudet, käyttö- ja hyödyntämisesimerkkejä [6]

MATERIAALI-MERKINTÄ	NIMI	YLEISET OMINAISUUDET	ESIMERKKEJÄ KÄYTTÖKOhteista JA LAJITTELUSTA
	Polyeteenitereftalaatti	Kirkas, kova, kemikaaleja kestävä	Virvoitusjuoma- ym. pullot. Pantilliset pullot kauppojen automaatteihin. Muut muovinkeräykseen.
	Polyeteeni high-density	Samea tai värillinen, joustava, vahamainen pinta	Mehupullot, virvoitusjuomakorit.
	Polyvinyylikloridi	Erittäin monimuotoinen ja -piirteinen	Putket, letkut, rakennusmateriaalit. Harvoin pakkausmateriaalia
	Polyeteeni low-density	Pehmeä, joustava, vahamainen pinta	Muovikassit, pussit, kalvot. Muovinkeräykseen
	Polypropeeni	Jäykkä, sitkeä, hyvin monikäyttöinen	Narut, rasiat, kalvot, pehmusteet. Muovinkeräykseen
	Polystyreeni	Lasin kirkas tai värjätty, hauras, vaahdotettu (EPS)	Rasiat, purkit, pehmusteet Muovinkeräykseen
	Muut	Kaikkien ylläolevien yhdistelmät ja muut materiaalit	Jos yli puolet pakkauksesta on muovia laita muovinkeräykseen.

Muovipakkauksille on siis kierrätysmenetelmä kehitetty, mutta se vaatii vielä kuluttajien uusien tapojen oppimista, että kierrätysaste nousisi. Toki tämäkin kierrätysmenetelmä vaatii jatkuvaa kehittämistä, jotta kierrättäminen olisi suhteellisen tehokasta ja taloudellista. Yksi keino voisi olla pantillisen palautusjärjestelmän laajentaminen PET-pulloista muovipakkauksiin. Ellei lajittelemattomia pakkausmuoveja oteta lukuun, niin yhdyskuntajätteessä polttoon menee nyt kaikki likainen muovi ja muovituotteet. Näille muille muoveille tarvitaan myös oma kierrätysmenetelmä ja se pitäisi saada käyttöön, jotta kaikki muovi saataisiin kiertoon. Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) kerää jo Sortti-asetillaan maksullista muovitavaraa. [7]

Tekstiili- ja huonekalujakeet sisältävät myös paljon muoveja ja niissä esiintyvät muovit on käsitelty niihin keskittyvissä kappaleissa.

2.2 Muovijakeiden jätteeksi luokittelun päättymistä koskevalle asetukselle ehdotetut arviointi- ja luokitteluperusteet

Jätteeksi luokittelun päättymisen on menettely, jolla määritellään arviointiperusteet, joiden täytyessä jokin tietty jäte tai jätevirta lakkaa olemasta jätettä ja voi palata markkinoille tuotteena läpikäytyään hyödyntämistoimen. Tästä käytetään myös termejä EEJ (ei-enää-jätettä) tai EoW (End-of-Waste). Euroopan komissio kehotti vuonna 2017 jäsenvaltioitaan eteneään kansallisten EoW-asetusten valmistelussa, koska unioninlaajuisten asetusten antaminen osoittautui hankalaksi. [8]

Valtioneuvoksen asetusta on luonnosteltu jo vuodesta 2021 ja asetuksessa säädettäisiin yksityiskohtaiset arviointiperusteet sen määrittelemiseksi, milloin mekaanisesti kierrätetty muovi lakkaa olemasta jätettä ja mihin käyttötarkoituksiin arviointiperusteet täyttävää uusiomuovia voisi käyttää. Tietyiltä muoviraaka-aineilta päättyisi jäteluokitus asiaankuuluvien, ympäristöluvanvaraisten hyödyntämistoimien jälkeen. Asetus edellyttää kolmannen osapuolen sertifioimaa laadunvarmistusjärjestelmää hyödyntämislaitokselta. Merkityksellistä haitta-aineriskiä muovijätteen hyödyntämisessä ei saa olla. Asetus sallisi muoviteollisuuden ja rakentamisen muovijätteen sekä kotitalouksista, maa- ja metsätaloudesta, puutarhoilta, kaupoista ja teollisuudesta erilliskerättyjen muovijätteen hyödyntämisen. Yhtenäisillä arviointiperusteilla jäteluokittelun päättämisestä saataisiin uusiomuovista tuote jätteen sijaan ja muovin kierrättäjien ei tarvitsisi enää hakea tapauskohtaista ei-enää-jätettä-päätöstä ympäristölupaviranomaisilta. Asetus oli keväällä 2023 Ympäristöministeriön pyytämällä lausuntokierroksella. Myös Euroopan komissio on nyt valmistelemassa Euroopan Unionin laajuista asetusta aiheesta huomioiden kansallisesti säädetyt asetukset ja ehdotus on arvioitu tulevan vuoden 2024 alussa.

[9, 10]

2.3 Uusiomuovin tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuudet

Valtamuoveja (PET, PE, PP, PS) kierrätetään mekaanisesti melko hyvin, mutta aidon muovien kiertotalouden tavoittamiseksi vaaditaan myös muita kierrätysmenetelmiä täydentämään mekaanista kierrättämistä. Näitä ovat kemiallisen kierrättämisen menetelmät kuten pyrolyysi, kaasutus sekä puhtaasti kemialliset menetelmät hydrolyysi ja glukolyysi.

Pyrolyysissä muovia hajotetaan hapettomassa tilassa korkeissa lämpötiloissa, jolloin polymeeriketjut katkeavat. Jos prosessiin lisätään katalyyttejä, voidaan käyttää matalampia lämpötiloja ja lopputuotteiden jakauma on pienempi. Katalyytit ovat kuitenkin hyvin herkkiä epäpuhtauksille, joita jättejakeiden mukana prosessiin tulee. Pyrolyysin etuna on, että sinne voidaan syöttää sekalaista muovijätettä, joka olisi hankalaa kierrättää mekaanisesti. Lisäksi lopputuotteet ovat taloudellisesti hyödynnettävissä. [11, 12]

Pyrolyysin ohella myös kaasutus perustuu polymeerien hajottamiseen korkeissa lämpötiloissa. Kaasutuksessa käytetään yleensä leijupetireaktoria, jossa leijupetiin syötettyyn muovin puhalletaan ilmaa. Täällä muovi hajoaa osittain tai kokonaan ja kaasuuntuu. Kaasut johdetaan sykloneihin, joissa ne voidaan tarvittaessa pestä ja erotella toisistaan. Kaasutusprosessin lopputuotteena saadaan vedyn ja hiilidioksidin seosta, jota voidaan käyttää erilaisten kemikaalien valmistukseen. [13]

Puhtaasti kemiallisiin menetelmiin kuuluvat esimerkiksi hydrolyysi ja glykolyysi. Nämä menetelmät soveltuvat parhaiten askelpolymeroinnilla valmistetuille polymeereille, koska näiden monomeerit sisältävät substituentteja, jotka reagoivat keskenään ja näistä kohdista saadaan aikaiseksi päinvastaiset reaktiot. Lopputuotteet näissä menetelmissä ovat yleensä monomeerejä tai niiden johdannaisia, joita voidaan käyttää uusien polymeerien valmistukseen. [13]

BearingPointin toimintaympäristöanalyysin mukaan muovien teknologinen kehitys painottuu kemialliseen kierrätykseen. Kemiallisen kierrätyksen menetelmillä voidaan tuottaa korkealaatuisia raaka-aineita ja tekniikan kehittyessä kemiallinen kierrätys voi luoda kokonaan uusia käyttötapoja ja markkinoita muovijätteelle. Pyrolyysiin perustuva kemiallinen kierrätys on ottamassa merkittäviä edistysaskelia investointien ja kokeilujen kasvaessa.

Uusiomuovin mahdollisia hyödyntämiskäyttökohteita ovat esimerkiksi rakennusmassojen parantamisessa, polttoaineena, jäteveden käsittelyssä, tekstiileissä ja korkean lisäarvon tuotteissa. Rakentamisessa uusiomuovia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi muurauksessa ja päällysteissä. Polttoainetta voidaan valmistaa muuntamalla kertakäyttöisiä muovipusseja ja elintarvikepakkauksia ilman lisäaineita. Jäteveden käsittelyssä uusiomuoveja voitaisiin

käyttää erilaisissa kalvoissa ja hiilipohjaisissa ratkaisuissa adsorbentti- eli epäpuhtauksia suodattaviin materiaaleihin. Uusiomuovia voitaisiin käyttää tekstiilituotteiden valmistuksessa, mikä ei ainoastaan vähennä saasteita, vaan se tuo myös taloudellisia hyötyjä. Lisäksi uusiomuovia voitaisiin hyödyntää lääkkeiden, kosmetiikan, desinfiointiaineiden, eläinrehujen sekä biomuovien valmistuksessa. [14]

Muovien tunnistamiseen ja lajitteluun tuovat kehitystä esimerkiksi tekoäly ja robotiikka. Tästä esimerkkinä on Repecton Max-AI® tekoäly, joka analysoi ja lajittelee jätevirtoja optisen lajittelun avulla tunnistuen materiaalit reaaliaikaisesti. Tekniikka toimii pienellä virhemarginaalilla ja kone oppii toistoja tehdessään. Teknologian avulla saavutetaan tehokkaampaa materiaalien käsittelyä ja se pystyy vastaamaan dynaamisiin tarpeisiin. Max-AI® järjestelmä koostuu näköjärjestelmästä ja erilaisista robottilajittelijoista. Näköjärjestelmä Max-AI® VIS näkee esineet ja tunnistaa ne. Max-AI® AQC robottilajittelija poistaa epäpuhtaudet ja ottaa talteen kierrätettävät materiaalit. Max-AI® CoBot robottilajittelija toimii ahtaissa tiloissa ja Max-AI® Flex hoitaa raskaat ja epätasaiset esineet erilaisissa lajittelusovelluksissa. [15]

Toisena esimerkkinä amerikkalainen AMP Robotics, joka on luonut tekniikan, jonka avulla voidaan hyödyntää enemmän jätevirtoja. Tekoälyalusta AMP Neuron™ skannaa sekajätevirtoja nopeasti ja tunnistaa eri materiaaleja tarkasti. Tämä teknologia kykenee lajittelemaan jätteen monipuolisesti muun muassa värin, koon, muodon ja tuotemerkin mukaan. Järjestelmä tallentaa tiedot materiaali- ja pakkaustyypeistä eli tekoäly oppii koko ajan lisää lajiteltavista esineistä, kokemuksesta ja toistoista. Tekoälyalusta ohjaa AMP Cortex™ robottilajittelujärjestelmää, joka suorittaa materiaalien lajittelun, poiminnan ja siirron 99-prosenttisen tarkasti. Järjestelmään liittyy myös AMP Clarity™ verkkopohjainen tietoportaalii, joka tarjoaa reaaliaikaisen materiaalin karakterisoinnin ja suorituskyvyn mittauksen lajittelutoimintojen keskeisissä vaiheissa. Sen avulla voi kehittää jätteen lajittelua ja lisätä tuottavuutta. Yritys on kehittänyt myös AMP Vortex™ kalvonpoistamisjärjestelmän, jotta lajittelulinja toimisi sujuvasti. Tämä lisää linjan tehokkuutta ja turvallisuutta, kun sotkeutuva kalvo poistetaan. [16]

2.4 Kaupalliset uusiomuovituotteet

Kaupallisilla uusiomuovituotteilla käsitetään tässä kappaleessa pääsääntöisesti mekaanisesti kierrätetystä muovista valmistettuja tuotteita, koska kemiallisen kierrätyksen menetelmillä muovijätettä voidaan hyödyntää uusien polymeerien valmistuksessa. Moninaisen muovijätteen kierrättämiseen tarvitaan monenlaisia menetelmiä ja kemiallinen kierrätys täydentää kierrätyskeinopalettia, jotta kaikki muovi saataisiin kiertämään.

Kemiallisesti kierrätetystä muovista saatua pyrolyysiöljyä voidaan esimerkiksi käyttää neitseellisen muovin valmistamiseen yhtenä lähtöaineena. Kemiallisesti kierrätetystä uusiomuovista valmistetut tuotteet eivät eroa ominaisuuksiltaan ensiömuovista valmistetuista tuotteista. Näiden muovien yhteydessä puhutaan massatasemuoveista, joiden toimitukseen

kuuluu tiedot lähtöaineista ja täten todistetaan kemiallisesti kierrätetyn muovin määrä. Massatasemuovit ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan täysin samoja kuin fossiiliset raaka-aineet. Massatasemuovit edellyttävät kirjanpitoa ja tämä nostaa hinnan moninkertaisesti kalliimmaksi. Eli mikäli yrityksellä ei ole kestävyysertifioitua International Sustainability & Carbon Certification (ISCC) järjestelmää, niin yrityksen on turha ostaa kalliimpia massatasemuoveja, koska muoveille tarkoitettu ISCC PLUS sertifikaatti edellyttää koko tuotantoketjun alkupään toimitusketjun ISCC-sertifiointia. [17]

Esimerkkejä jo olemassa olevista kaupallisista mekaanisen kierrätyksen uusiomuovituotteista:

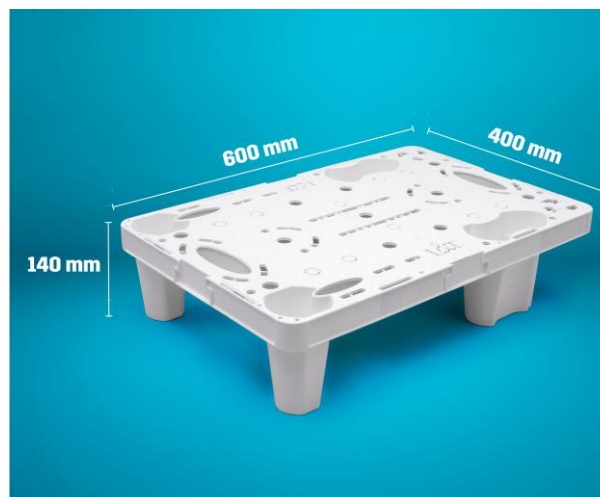
- Muovikassit
- Roska-astiat
- Kukkalaatikot
- Kastelukannut
- Meluaidat
- Aidantolpat
- Terassilankut
- Puutarhakalusteet
- Keittiötasot
- Pakkauslaatikot
- Tekstiilejä

Plastex Oy:n EKO-tuoteperheen tuotteet ovat valmistettu kokonaan uusiomuovista. Tuoteperheeseen kuuluvat esimerkiksi kastelukannuja, suihkupulloja, liukureita ja ahkioita. Tuotteet valmistetaan Fortumin CIRCO-materiaalista, joka on kuluttajakäytöstä kierrätettyä polyyteeniä. [18]



Kuva 3 Plastex:n EKO-tuoteperheen kastelukannuja [18]

Lassila&Tikanojan (L&T) Helmi-myyvälälava valmistetaan täysin uusiomuovista Okartekin tehtaalla Kaarinassa. Lavojen raaka-aine on kerätty teollisuuden ja kaupan muovijätteenä, joka on granuloitu Merkikarvialla pieniksi muovihelmiksi. Näistä sitten valmistetaan niin sanottuja varttilavoja (Kuva 4). Lavan suunnittelussa on otettu huomioon lavan monipuolinen käyttö. Lavassa on kädensijat, etikettien tartuntapintoja ja reikiä erilaisten esitteiden kiinnittämiseen. Se on pinottava, pestävä, helppo käsitellä ja kuljettaa. Käytöstä poistettulava voidaan käyttää jälleen uusien lavojen valmistukseen. [19]



Kuva 4 L&T:n uusiomuovista valmistettava lava [19]

UPM ProFi valmistaa puumuovikomposiitista korkealaatuisia terassilautatuotteita (Kuva 5) Saksassa, jotka on suunniteltu Suomessa. Komposiittituotteiden raaka-aineesta on jopa 75 % kierrätettyä eurooppalaista kotitalous- tai teollisuusmuovijätettä. Tuotteella on paljon

hyviä ominaisuuksia, kuten helppohoitoisuus ja miellyttävä pinta paljaan jalan alla. Tuotteille myönnetään pitkä 10–25 vuoden takuu. [20]



Kuva 5 UPM ProFi Terrace on valmistettu 97-prosenttisesti muovi- ja paperijätteestä [20]

2.5 Muovin kemialliseen kierrätykseen liittyviä yrityksiä ja projekteja

Tässä kappaleessa on esiteltynä muutamia kemialliseen kierrätykseen liittyviä yrityksiä ja heidän kemiallisen kierrätyksensä kehitystä.

Sepco Industries:n perustajat ovat olleet mukana pyrolyysiteknologian tutkimuksessa kehityksessä mukana 1990-luvulta lähtien. Perustajat aloittivat renkaiden pyrolyysillä ennen siirtymistä muovien pyrolyysiin. Perustajat kehittivät ja rakensivat ensimmäisen sukupolven Polypetron™ laitteiston vuonna 2003 ja se on edelleen toiminnassa. Sepco:n uusin Polypetron laitteisto edustaa viidettä sukupolvea ja sillä voidaan käsitellä 20 000 kg muovijätettä päivässä. Prosessiin voidaan käyttää kaikkia muita muovilajeja paitsi ei PVC:tä. Tällä hetkellä Speco:n prosessissa aikaansaataavaa öljyä käytetään polttoaineena hidaskäyntisissä dieselmoottoreissa tai dieselin, bensiinin ja kerosiinin raaka-aineena öljyn jatkojalostuksessa. [21]

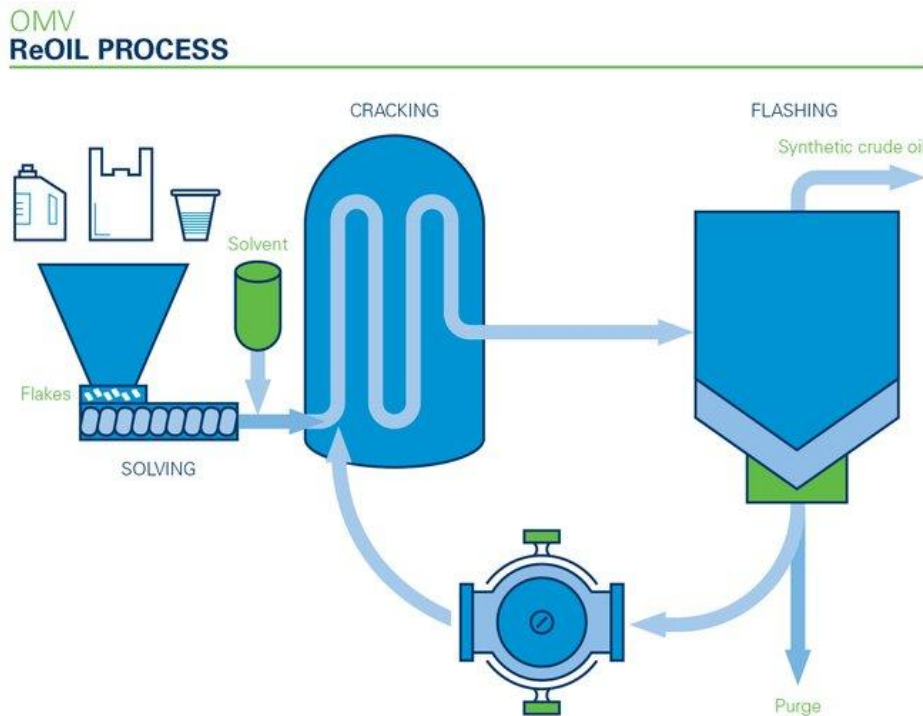
APK AG on kehittänyt liuotukseen perustuvan kierrätysprosessin Newcycling®, jolla voidaan valmistaa sekalaisesta muovijätteestä ja monikerroskalvoista uutta muovigranulaattia, jonka ominaisuuksien kerrotaan vastaavan neitseellisen materiaalin ominaisuuksia. Yritys myy tällä menetelmällä valmistettuja Mersalen® LDPE ja Mersamid® PA-6 raaka-aineita granulaatteina. Yritykseltä löytyy myös mekaanisesti kierrätettyjä LDPE laatuja. [22]

Iso-Britannialaisella Plastic Energy:llä on Espanjassa kaksi tuotantolaitosta, joissa he voivat kemiallisesti kierrättää sekalaista muovijätettä sekä monikerroskalvoja. Toinen laitos on ollut toiminnassa vuodesta 2014 ja toinen vuodesta 2017. Yritys pystyy käsittelemään LDPE,

HDPE, PS ja PP virtoja ja termiseen anaerobiseen hajotukseen perustuva teknologiansa on patentoitu. Lopputuotteena prosessista saadaan raakaöljyä, kevyttä öljyä sekä kaasua. Öljyt myydään petrokemianteollisuuteen ja siitä valmistetaan uutta muovia sekä liikennepolttoaineita. Plastic Energy:n tuottamaa öljyä käytetään muun muassa Sabcin massabalanssiprosessissa, jossa tuotetaan sertifioitua kierrätysmuovia. Prosessissa syntyvää kaasua käytetään Plastic Energy:n laitoksen pyörittämisessä. [23]

Borealixen pääomistaja on OMV, joka on yksi Itävallan suurimmista pörssiyrityksistä. Konsernin liikevaihto oli 36 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 22 400 työntekijää vuonna 2021. OMV aikoo siirtyä integroidusta öljy-, kaasu- ja kemikaaliyhtiöstä johtavaksi innovatiivisten ja kestävien polttoaineiden, kemikaalien ja materiaalien toimittajaksi samalla, kun se ottaa johtavan roolin kiertotaloudessa maailmanlaajuisesti. Siirtymällä vähähiiliseen liiketoimintaan OMV pyrkii saavuttamaan nettonollan kaikissa kolmessa Scopessa viimeistään vuoteen 2050 mennessä. Tällä Borealixen pääomistajalla on hallussaan tekniikka kemialliseen kierrätykseen, joten eivät lähde kilpailemaan omiaan vastaan. Konsernissa Saksassa PP- ja PE-kierrätysmuoveja valmistaa ja myy mtm plastics GmbH. Lisäksi Belgiassa on Renasci ja Itävallassa EcoPlast, jotka myös valmistavat Borealixen kierrätysmuoveja. Nämä tuotteet ovat kierrätetty mekaanisesti, joten eivät sovellu elintarvike- eikä lääketieteelliseen käyttöön. [24]

OMV:n kemiallisen kierrätyksen ReOIL-menetelmä mahdollistaa erityyppisten käytettyjen muoviseosten käsittelyn tai joita ei voi kierrättää millään muulla tavalla. Tällä menetelmällä voidaan valmistaa korkean puhtausasteen vaativia tuotteita esimerkiksi elintarviketeollisuuden tai lääketieteellisten tuotteiden pakkauksia. Seuraavassa kuvassa (Kuva 6) on ReOIL-menetelmän prosessikaavio ja prosessin vaiheita ovat Solving, Cracking ja Flashing. [24]



Kuva 6 ReOIL-menetelmän prosessikaavio [24]

ReOIL-menetelmä tarjoaa täydellisen täydennyksen mekaaniselle kierrätykselle ja mahdollistaa aidon kiertotalouden muoville. Itse asiassa tämä menetelmä on vieläkin parempi, koska OMV:n mukaan ReOil-menetelmällä valmistetun muovin laatu ei kärsi. Lisäksi prosessin etuna on se, että sen tuottama synteettinen raakaöljy on rakenteeltaan erilainen. Se on "kevyempi" kuin fossiilinen raakaöljy ja sen voi suoraan syöttää myöhempään jalostusprosessiin. Fossiilisen raakaöljyn käsittelyyn verrattuna jotkin käsittelyvaiheet voidaan ohittaa kuten esimerkiksi tislauksen, mikä puolestaan säästää energiaa noin 20 prosenttia verrattuna fossiilipohjaisen raakaöljyn jalostukseen. Tällä menetelmällä voidaan saavuttaa noin 45 prosentin hiilidioksidisäästö fossiiliseen raakaöljyyn verrattuna. ReOIL-menetelmää on käytetty pilottilaitoksessa ja sillä valmistettiin ensimmäisen kolmen vuoden aikana yli 500 tonnia käytettyä muovia synteettiseksi raakaöljyksi. Tulevien vuosien tavoitteena on skaalata prosessi useita satoja kertoja suuremmaksi. [24]

BASF:lla on ChemCycling®-projekti, joka tutkii kemiallista kierrätystä. Tavoitteena on kehittää edelleen pyrolyysiteknologiaa, joka muuttaa muovijätteet tai käytöstä poistetut renkaat pyrolyysiöljyksi. Öljy syötetään tuotantoon arvoketjun alussa ja se säästää fossiilisia resursseja. BASF käyttää kolmannen osapuolen auditoitua massatasemenetelmää ja kierrätysmateriaalin osuus lasketaan valmistetuille tuotteille. Nämä tuotteet ovat itsenäisesti sertifioituja ja niillä on samat ominaisuudet kuin fossiilisista raaka-aineista valmistetuilla.

Asiakkaat voivat siis käyttää niitä samalla tavalla kuin perinteisesti valmistettuja tuotteita ja käyttää niitä vaativissa sovelluksissa.

ChemCycling®-projekti keskittyy muovijätteeseen, jota ei kierrätetä mekaanisesti teknisistä, taloudellisista tai ekologisista syistä. Esimerkkejä ovat muovit, eri muovilajeista koostuvat yhdistelmämaterialit, joita ei pysty lajittelemaan tai renkaat, joita ei muuten kierrätetä. Yhdessä mekaanisen ja kemiallisen kierrätyksen voimin voidaan lisätä muovien kierrätysastetta ja edistää muovien kiertotaloutta. BASF:n sivut viittaavat vain polyamidin valmistukseen, joten muita muovilajikkeita ei heillä tässä projektissa ilmeisesti ole. [25]

ITERO on englantilainen vuonna 2010 perustettu yritys, joka on kehittänyt vaikeasti kierrätettävää muovijätettä varten teknologian ja patentoinut sen. Pyrolyysiin ja lämpökrakkausmenetelmään perustuva prosessi muuntaa jätemuovin pyrolyysiöljyksi, -vahaksi ja -kaasuksi. Pyrolyysiöljyä voidaan käyttää neitseellisten muovien valmistukseen, pyrolyysivahaa esimerkiksi teollisuuskäyttöön ja pyrolyysikaasua lämmitykseen tai sähköntuotantoon. [26]

UrbanMill on Business Finlandin rahoittama valtakunnallinen innovaatiohanke, jota koordinoi VTT yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa. Tutkimuksen kanssa tekee yhteistyötä muun muassa Sulapac ja Wipac. Hankkeessa innovoidaan uusia teknistaloudellisia konsepteja muovijätteen kierrättämiseksi uusiksi monomeereiksi. Tavoitteeseen päästään yhdistelmällä esikäsittely-, pyrolyysi- ja jälkikäsittelyteknologioita haasteiden ratkaisemiseksi pyrolyysituotteessa. [27]

Hankeyhtiö Lamor Resiclo Oy:lle on myönnetty Ilmastorahaston 6 miljoonan euron pääomailaina 10 000 tonnin vuosikapasiteetin muovien kemiallisen kierrätyslaitoksen rakentamiseen Porvoon Kilpilahteen. Tarkoituksena on käsitellä hankalasti kierrätettäviä muoveja uusiokäyttöön pyrolyysiteknologialla jätteen polton sijaan ja laajentaa toimintaa sekä kansallisesti että kansainvälisesti. [28]

PULSE on Nesteen EU-rahoitteinen projekti, jossa tutkitaan ja kehitetään kemiallisen kierrätyksen teknologioita Porvoon jalostamolle. Projektissa kehitetään nestemäisen jätemuovin esikäsittelyä kiertotalouden laajentamiseksi. Kemiallisella kierrätyksellä muovijäte muutetaan takaisin hiilivedyiksi, joita voidaan käyttää uusien muovien raaka-aineena. Tämä täydentää olemassa olevia kierrätystekniikoita ja parantaa näin sulkemaan muovien kiertotalouden silmukan. Nesteytetty jätemuovi sisältää epäpuhtauksia ja kemiallisia koostumuksia, jotka rajoittavat sen käyttöä. Projektilla korjataan nämä korroosioriskin ja prosessien tehottomuutta aiheuttavat sekä lopputuotteen laatua heikentävät tekijät. [29]

Ranskaan rakennetaan polyeteenitereftalaatin (PET) ja polyesterikuidun kierrättämisen tuotantolaitos vuonna 2025, jonka on tarkoitus olla valmis vuonna 2027. Kansainvälisessä hankkeessa käytetään kanadalaisen Loop Industries:n (Loop) innovatiivista

depolymerointitekniikkaa, hyödynnetään eteläkorealaisen SK Geo Centric:n (SKGC) kokemusta petrokemian prosesseista ja SUEZ:n asiantuntemusta resurssienhallinnasta kierrätysratkaisuiden valmistajana. Loopin depolymerointitekniikassa PET kierrätetään takaisin PET:n raaka-aineeksi matalalla lämpötilalla ilman lisäpainetta. Laitoksen täydellä kapasiteetilla voidaan laskelmien mukaan säästää yli 255 000 tonnia hiilidioksidia vuodessa fossiilisesta raaka-aineesta valmistettuun PET:iin verrattuna. [30]

Päijät-Hämeessä PlastEco Oy aloittamassa vuonna 2023 muoviöljyn tuotannon kierrätysmuovista Lahden Kujalan käsittelykeskuksessa Salpakierro Oy:n naapurissa. Salpakierro Oy erottelee muovin sekajätteestä ja sen jälkeen muovi pestään, pilkotaan ja käsitellään termokemiallisesti alkuperäiseksi raaka-aineeksi. Lopputuotteena saadaan muoviöljyä, jolla korvataan raakaöljyn käyttöä petrokemian teollisuudessa eri muovilajien valmistukseen. Sivujakeena syntyvä kaasu hyödynnetään täysimääräisesti prosessilaitteiston tarvitsemana lämmitysenergiana.

Prosessi parantaa merkittävästi muovijätteen kierrätystä, kun osa energiahyötykäyttöön ohjautuvasta muovijätteestä saadaan uudelleen raaka-aineena kiertoon. Kemiallinen kierrätys on hyvä ratkaisu niille sekajätteestä erotelluille muovijätteille, jotka eivät tällä hetkellä sovi mekaaniseen kierrätykseen. Kyseessä on hajautettu alueellinen ratkaisu, jolla vältetään muovijätteen kuljettaminen, mikä vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia. Kemiallinen kierrätys on tulevaisuuden ratkaisu, joka täydentää muovien mekaanisia kierrätysratkaisuja ilman tarvittavia lisäinvestointeja muovien valmistusprosesseihin. [31, 32]

3 Tekstiilijakeiden mahdolliset käyttökohteet

3.1 Tekstiilimateriaalit

Maailman kuitutuotannosta on noin 55 % polyesteriä, 27 % puuvillaa, 6 % selluloosapohjaisia muuntokuituja ja loput polyamidia, polypropeenaa, akryyliä ja villaa [33]. Texvexin materiaalitutkimuksessa poistotekstiilistä noin 60 % oli puuvillaa, 35 % polyesteriä ja loput 5 % akryyliä villaa ja fleecettä. Tutkimuksessa ei huomioitu eri kuitujen sekoituksia. [34]

Mekaanisesti kierrätetyn puuvillan hyödyntäminen tekstiilin raaka-aineena vaatii neitseellisen materiaalin lisäämistä kierrätettyyn [35]. Mekaanisesti kierrätettyä kuitua voidaan kuitenkin hyödyntää sellaisenaan tai siitä voidaan valmistaa kuitukangasta. Näin kierrätettyä kuitua käytetään esimerkiksi eristemateriaaleissa, imeytystuotteissa, akustiikkalevyissä ja täytemateriaaleissa. Mekaanisesti kierrätettyä kuitua voidaan hyödyntää myös komposiittimateriaalien valmistuksessa kuituna tai synteettisten kuitujen tapauksessa myös matriisimateriaalina [36]. Tekstiilin kierrätysmenetelmiä on vertailtu seuraavassa taulukossa (Taulukko 2).

Puuvillan selluloosakuidut voidaan liuottaa ja käyttää raaka-aineena uusille sellupohjaisille muuntokuidulle. Materiaalin tulee kuitenkin olla 97–98 % puuvillaa [36]. Sellupohjaisten kuitujen käsittelylaitosten etuna on, että ne pystyvät käsittelemään raaka-aineena myös muita selluloosan lähteitä kuten metsäteollisuuden sivuvirtoja, esimerkkinä Infinited Fibre Company [36].

Termisessä kierrätyksessä silputun tekstiilimassan polymeerit sulatetaan ja palautetaan uudelleen kuitumuotoon. Synteettisiä kuituja, kuten polyesteri, polyamidi ja polypropeeni voidaan kierrättää termisesti (sulattamalla) uusiksi muovituotteiksi. Kierrätetyn materiaalin puhdistus sekä edellisen tuotteen käytön aikana tapahtuneet muutokset muovissa vaikuttavat lopputuotteen ominaisuuksiin. Menetelmä toimii muovipohjaisille kuiduille. Muovipohjaisten kuitujen kemiallinen kierrättäminen kuitenkin vaatii kullekin kuitumateriaalille spesifin prosessin eikä raaka-aine saa juurikaan sisältää muita materiaaleja. Lisäksi kuitujen ominaisuudet kärsivät polymeeritasolla, eikä niitä voi hyödyntää tekstiilien raaka-aineena [34, 36].

Taulukko 2 Eri käsittelymenetelmien edut ja haitat tekstiilijätteen kemiallisessa kierrätyksessä (muokattu) [36, 37, 38]

Menetelmä	Edut	Haitat
Pyrolyysi - Hapeton kuumennus korkeassa lämpötilassa - Tuotteina esim. hiili, polttoaine ja synteesi-kaasu	- Yksinkertainen prosessi - Soveltuu lukuisille eri raaka-aineille	- Korkean lämpötilan - Verrattain korkea energian kulutus - Tietyt yhdisteet synnyttävät haitallisia kaasuja
Entsymaattinen - Entsyymeillä depolymerisointi	- Tuottaa uusia kuituja - Miedot reaktio-olosuhteet - Alhainen energiankulutus - Toimii ympäristöystävällisillä kemikaaleilla	- Ei sovellu kaikille kuitumateriaaleille - Kuluttaa paljon vettä
Hydroterminen - Vesi ja happo polymeerin uuttamiseksi - Paine ja lämpötila	- Pyrolyysiin verrattuna alhaiset lämpötilat ja syntyy vähemmän tuhkaa	- Pitkä reaktioaika - Ei yhtä puhdas & heterogeeninen lopputuote
Gasifikaatio (kaasutus) - Korkeat lämpötilat ja osittainen hapetus - Tuotteena synteesi-kaasu	- Mahdollista sekalaisella tekstiilijätteelle - Soveltuu myös likaisille jakeille	- Korkea lämpötila - Korkea energiankulutus
Glykolyysi Etyleeniglykoli depolymerisointi - Paineessa 200 °C	- Alhainen energiankulutus	- Huono selektiivisyys - Vaatii katalyytin tai pitkä reaktioaika
Ammonolyysi - Paineessa 300–350 °C - Lopputuotteena sekoi-tus erilaisia amineja	- Soveltuu erilaisille tekstiilijätteille	- Vaatii myrkyllisen liuottimen (Ammoniakki) - Korkea lämpötila ja paine

Tekstiilipolymeerejä voidaan jalostaa kierrätettävään muotoon kemiallisilla tai termomekaanisilla prosesseilla. Kemiallisessa kierrätyksessä monomeereiksi pilkotusta polyesterikuidusta voidaan valmistaa neitseellistä vastaavaa kuitua, mutta prosessi on kalliimpi kuin terminen kierrätys. [36]. Synteettisten tekstiilikuitujen kemiallista kierrätystä ei tehdä vielä laitosmittakaavassa ja tällaisen toiminnan käynnistäminen vaatisi merkittäviä investointeja [33]. Tekstiilipolymeerejä voidaan jalostaa kierrätettävään muotoon kemiallisilla tai termomekaanisilla prosesseilla. Kemiallisessa kierrätyksessä monomeereiksi pilkotusta polyesterikuidusta voidaan valmistaa neitseellistä vastaavaa kuitua, mutta prosessi on kalliimpi kuin terminen kierrätys. [36]. Synteettisten tekstiilikuitujen kemiallista kierrätystä ei tehdä vielä laitosmittakaavassa ja tällaisen toiminnan käynnistäminen vaatisi merkittäviä investointeja [33]. Puuvillapohjaisesta tekstiilijätteestä voidaan valmistaa katalyyttisellä pyrolyysillä hyvällä saannolla polttoainetta (35–65 p%) ja biohiiltä (10–18 p%). Muovipohjaisten kuitujen (PET, PA, PAN) pyrolyysissa syntyy haitallisia kemikaaleja. [39].

4 Huonekalujakeiden mahdolliset käyttökohteet

Suomessa myydään vuosittain noin 221 240 t uusia huonekaluja. Tästä uudelleenkäyttöön päätyy vain noin 16 % (34 795 tonnia). Huonekaluja tuotiin Suomeen vuonna 2016 tullin tietojen mukaan 145 295 tonnia. Jätteeksi huonekaluja päätyy selvityksen mukaan noin 17 111 tonnia vuodessa. [40]. Suhteutettuna väkilukuun tämä tekisi noin 640 tonnia huonekalujätettä Päijät-Hämeen alueella vuosittain. Salpakierto Oy murskaa vuodessa noin 700 tonnia huonekalujätteitä [41]. Karkeasti arvioiden huonekalujätettä syntyy noin kolme kiloa asukasta kohti vuodessa. Salpakierron huonekalujae koostui pääasiassa verhoilluista huonekaluista ja patjoista. Tällöin kokonaislukemasta puuttuu huomattava määrä homogeenisempia huonekaluja, jotka lajitellaan materiaalin perusteella eri kontteihin. **Metallien** kierrätykseen ei paneuduta tässä raportissa, sillä niiden hyödyntämiseen on jo olemassa valmiit prosessit ja markkinat.

Taulukko 3 Jättilä-hankkeessa toteutettu Salpakierrolle tulevan huonekalujätteen lajittelututkimus. Tutkimuksessa lajiteltiin Salpakierron lajitteluasemalla tuodut huonekalut kolmen viikon jaksolta

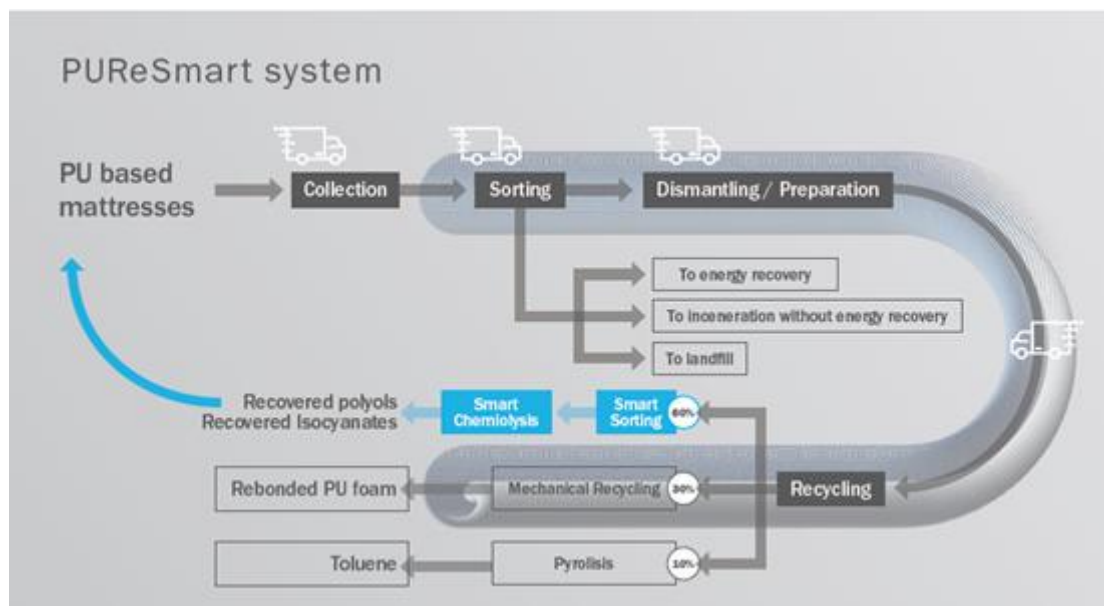
	Massa (kg)
Patjat	6 060
Verhoillut tai päällystetyt huonekalut	14 620
Puiset huonekalut	320
Muoviset huonekalut	0
Toimistotuolit	1 200
Metalliset huonekalut	180
Sekalaiset	200
Yhteensä	22 580

4.1 Patjat (Polyuretaani)

Europurin arvion Euroopassa syntyy vuosittain PU-jätettä noin 350–400 kt huonekaluista ja 200–350 kt patjoista. Haastavan purkamisen ja kierrättämisen takia, tästä valtaosa päätyy kuitenkin kaatopaikalla tai polttoon. Polyuretaani on kierrätetty jo pitkään mekaanisesti, PU-vaahto silputaan ja liitetään yhteen lämmön ja paineen avulla. Siitä voidaan valmistaa alemman arvon tuotteita kuten eristeitä ja mattoja. Näiden tuotteiden markkinat eivät ole riittävän suuret kattamaan kuluttajilta syntyvää PU-jättemäärää. Mekaanisessa kierrätyksessä hyödynnettävän polyuretaanin ei tarvitse olla täysin puhdasta, kunhan se on kuivaa, eli myös puhdistettua patjajätettä voidaan mahdollisesti hyödyntää. [42]. Mekaaninen kierrätys poistaa haitallisia bakteereja ja tiettyjä epäpuhtauksia, mutta todennäköisesti poistopatjat täytyy valikoida kierrätettäväksi lopputuotteen laadun takaamiseksi. [43]

Polyuretaanin kierrätys on edennyt viime vuosina varsinkin kemiallisen kierrätyksen osalta. Polyuretaanipatjojen kierrätykseen panostaneita yrityksiä on Euroopassa Dow, The Vita Group, TFR Group, RetourMatras, Repsol, Covestro, Basf ja TripleHelix. Myös kehityshankkeet kuten RePURpose, PureSmart ja FOAM2FOAM ovat tuottaneet tuloksia alalla [42, 44, 14].

Kemiallisen kierrätyksen etuna olisi muun muassa polyuretaanin arvon säilyminen loppu-tuotteessa. PureSmart-hankkeessa (Kuva 7) ehdottaa ketjua, jossa poistopatjat lajitellaan NIR-teknologiaa hyödyntäen PU-tyyppien perusteella. Kierrätysmenetelmiä on monia, mutta glykolyysin variaatioita pidetään potentiaalisimpina. [45]. Jaetun faasin glykolyysilla (Split-phase glycolysis) pystytään tuottamaan molempia PU-vaahdon pääraaka-aineita (polyoli ja diisosyanaatin). Menetelmät vaativat kuitenkin puhtaampia raaka-aineita kuin mekaaninen kierrätys. [14, 42, 46]. Myös muita kemiallisia kierrätysmenetelmiä pilotoidaan, mutta mikään kemiallisista menetelmistä ei ole valmis teollisen mittakaavan toimintaan. Polyuretaanista pystytään kierrättämään varsinkin polyoli, jota on pystytty hyödyntämään uuden polyuretaanivaahdon raaka-aineena, vaikka se ei vastaa laadultaan neitseellistä polyolia. [45]



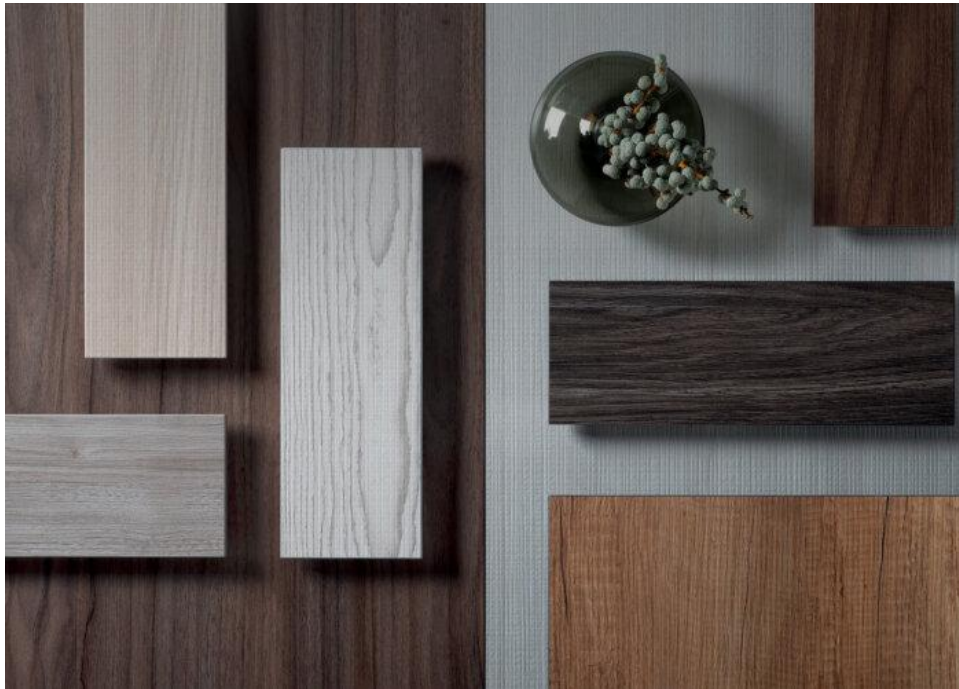
Kuva 7 PureSmart hankkeen kuvaama malli polyuretaanipatjojen kierrosta. [39]

4.2 Jätepuu

Jätepuun lajitteluun on jalostettu kehittyneempiä teknologioita. Röntgen-säteilyn avulla voidaan suorittaa korkean puhtausasteen esilajittelu materiaalien atomitiheyden perusteella. Esilajiteltu puulastu voidaan lajitella edelleen NIR-teknologialla ja väritunnistimilla A- ja B-luokan puuhun sammalla poistaen epäpuhtauksia. [14]. Syväoppimiseen perustuvat menetelmät pystyvät lajittelemaan A- ja B-puun lisäksi myös vaneria, lastulevyä, MDF:ä, HDF:ä sekä komposiitteja. [14, 47]

Haasteena jätepuun kierrätyksessä on jakeen heterogeenisuus. Jätepuuta voidaan homogenisoida esimerkiksi kuiduttamalla, jolloin sitä voidaan käyttää raaka-aineen esimerkiksi paperin tai kuitulevyjen valmistuksessa. Haasteena on kuidutetun puun lyhyempi kuitupituus sekä epäpuhtaudet raaka-aineessa. Kuidusta voidaan soveltaa myös huonekalujätteen puujakeille, mutta tämä ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa. Epäpuhtauksista liimojen poistoon on ehdotettu muun muassa hydrolyysia ja matalan lämpötilan pyrolyysia. Käsittely kuitenkin vaikuttaa kuitujen ominaisuuksiin. Myös biologisia menetelmiä on kehitetty laboratoriomittakaavassa, mutta yleisesti huonekalujätteen puujakeen kierrätykselle kaupallinen potentiaali on huono. [14, 47]

LABin rakennus- ja purkupuusta valmistettujen tuotteiden tuoteturvallisuus (RAPUPUU) –hankkeessa kehitettiin rakennus- ja purkupuun materiaali kiertoa. Vastaavia menetelmiä voisi mahdollisesti soveltaa myös huonekalujätteen puujakeelle, sillä on puhtaampaa ja vaatii vähemmän lajittelua. Kierrätyspuusta valmistettiin esimerkiksi betoni- tai geokomposiitteja. [48]. Destaclean valmistaa kierrätyspuumurskeesta puukivi -nimistä komposiittimateriaalia. Murskeen lisäksi puukiveen käytetään sementtiä, luonnonkiveä ja vettä. Puukiveä terrassi-, piha ja reunakiviksi sekä erilaisina istutusastioina. [49] Kierrätyspuuta voidaan käyttää myös esimerkiksi lastulevyn valmistuksessa (Kuva 8).



Kuva 8 Saib käyttää kierrätyspuuta lastulevyjen ja erilaisten paneelien raaka-aineena, myös huonekalujätteestä peräisin oleva puu soveltuu raaka-aineeksi. [60]

4.3 Huonekalutekstiilit

Dahlbo et al. [50] tekemän kartoituksen mukaan vaatteiden ja kodintekstiilien kulutus oli 11,3 kg per asukas vuonna 2019. Tämä tekisi Päijät-Hämeen väkilukuun suhteutettuna noin 2,3 kilotonnia uutta tekstiiliä vuosittain. Rahallisen arvon perusteella noin 6 % tekstiileistä menee huonekalujen valmistukseen.

Kierrätyksen kannalta huonekalutekstiilit ovat vaatteita haastavampia. Niitä voi olla hankala erotella huonekaluista. Huomattavasti vaatetekstiilejä pienempi volyymi on tuskin riittävä kannattavan liiketoiminnan kehittämiseen. Poistohuonekalujen tekstiilit ovat usein kovempia ja kuluneempia (pidempi käyttöikä). Vahvat synteettiset kuituseokset vaativat enemmän kierrätysmenetelmiltä. [14]

4.4 Huonekaluista huonekaluiksi

Ikea pyrkii huonekalujen kiertotalouteen 2030 mennessä. Tämä sisältää vahojen huonekalujen kierrätystä, leasing-malleja sekä kierrätysmateriaalien käytön lisäämistä. Kierrätysmateriaaleja pyritään käyttämään enemmän varsinkin lastulevyissä ja patjojen

vaahtomuoveissa. Jysk pyrkii lisäämään kierrätysmateriaalien käyttöä ja Martela suunnittelemaan huonekalunsa uusittaviksi, korjattaviksi ja materiaalit kierrätettäväksi. [14]

Furn360-hankkeessa on koottu kattava lista huonekalujätettä raaka-aineena hyödyntäviä toimijoita Euroopassa. Huonekaluja voidaan ehostaa tai valmistaa käyttäen raaka-aineina vanhoja huonekaluja, ovia tai kierrätettyä puuta. Tämä on pääasiassa pienemmän mittakaavan liiketoimintaa. Huonekalut ovat materiaaleiltaan ja käsittelyltään hyvin erilaisia. Tällaisen vaihtelevan raaka-aineen hyödyntäminen vaatii erilaista osaamista ja sopeutumista verrattuna perinteiseen huonekaluteollisuuteen. [51, 52]

5 Yhdistelmäjakeiden mahdolliset käyttökohteet

5.1 Yhdistelmäjakeet ja niiden materiaalien pakkausmerkinnät

Muovipakkausten materiaaleille on annettu numerot pakkausmerkintöihin, joista viimeinen on yhdistelmäjakeille:

1. Polyeteenitereftalaatti, PET
2. Korkeatiheyspolyeteeni, HDPE
3. Polyvinyylikloridi, PVC
4. Matalatiheyspolyeteeni, LDPE
5. Polypropeeni, PP
6. Polystyreeni, PS (myös solustettu EPS ja iskun kestävä HIPS polystyreeni)
7. Erilaiset edellä mainittujen muovien yhdistelmät (Kuva 9)



Kuva 9 Muovipakkausten yhdistelmämaalimerkintä

Esimerkiksi leikkelepakkaus voi olla tällainen yhdistelmämaalipakkaus, jossa kansi on pehmeää muovia ja alusta kovaa muovia. Nämä ovat hyvä irrottaa toisistaan ennen keräykseen viemistä, mikäli se onnistuu helposti. Näin erilaiset materiaalit saadaan hyödynnettyä materiaalina eivätkä päädy yhdistelmämuovina energiahyötykäyttöön.

Yhdistelmämaalipakkauksissa tulisi olla merkintä C, joka kertoo mitä materiaali on käytetty eniten ja pakkaus lajitellaan sen mukaisesti. Esimerkiksi 81C/PAP lajitellaan kartonkina ja 81C/PE muovipakkauksena. Valitettavasti merkinnät ovat joskus puutteellisia. [53]

5.2 Muovikomposiittien kierrätys

Muovikomposiittien käsittelymenetelmiä:

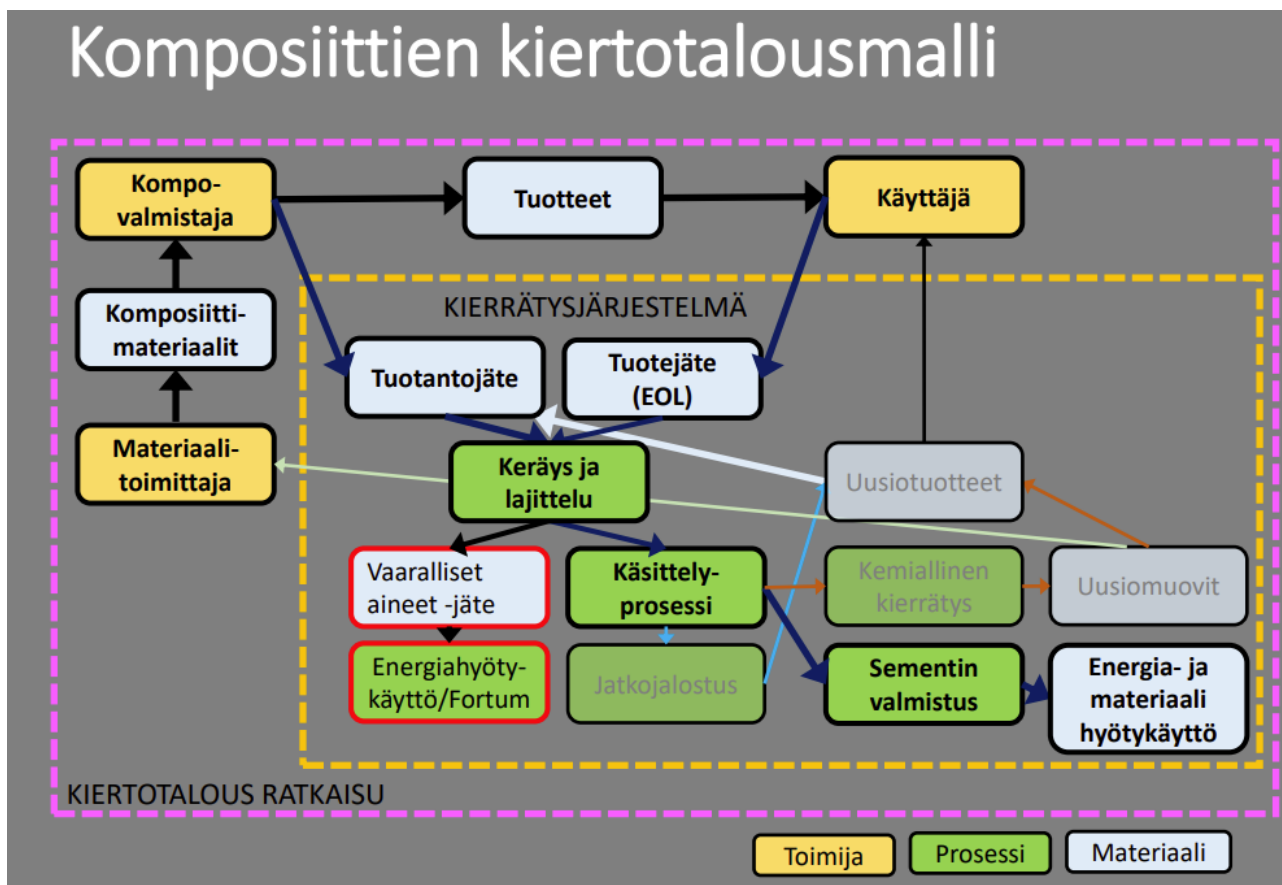
- **Poltto jätevoimalassa**
- **Poltto sementtiuunissa**
- **Mekaaninen kierrätys murskattuna tai jauhattuna esim. täyteaineena** (heikkoutena, että kaupalliset täyteaineet ovat halvempia ja ominaisuuksiltaan parempia sekä murskaus vaatii erikoislaitteiston)
- **Pyrolyysillä** saadaan eroteltua eri materiaalit: orgaaninen aines pyrolyysiöljyksi ja kuidut/täyteaineet voidaan uusiokäyttää
- **Leijupetipoltossa** komposiitti poltetaan hiekkapedissä kuuman ilman avulla, jonka seurauksena matriisi palaa lämmöksi ja palokaasujen mukana poistuneet kuidut voidaan uusiokäyttää kohteessa, jossa kuitujen ominaisuuksien heikkeneminen ei haittaa
- **Solvolyysissä** komposiitin eri materiaalit erotetaan liuottamalla matriisipolymeeri ottamalla kemikaalit talteen

Muovikomposiittien kaatopaikkasijoitus ei ole ollut sallittua vuoden 2016 alusta lähtien. [54]

5.3 Muovien yhdistelmämaterialien hyödyntämiseen liittyviä hankkeita

KiMuRa-hankkeessa vuosina 2021–2022 oli tavoitteena luoda teollisuudelle teknistaloudellisesti kannattava komposiittijätteen kierrättäminen. (Kuva 10) Tässä ympäristöministeriön rahoittamassa hankkeessa olivat mukana Ekin Muovi Oy, Exel Composites Oyj, Fenix Marin Oy, Muovilami Oy, Muovityö Hiltunen Oy, NCE Oy, Patria Aerostructures Oy, Kuusakoski Oy, Finnsementti Oy, Muoviteollisuus Oy, Finnboat ry, Suomen tuulivoimayhdistys ry ja YTP-liitto. Hankkeella on haettu ratkaisuja End of life (EOL)-jätteen kierrättämiselle ja sen logistiikalle. EOL-jätettä ovat esimerkiksi vaihtoiän saavuttaneet tuulimyllyjen lavat, käytöstä poistetut veneet, säiliöt ja putkistot. Näiden jätteiden kierrätysshaasteina on todettu lajittelu, kuljetus, jätteen vähäinen määrä ja sijainti laajalla alueella. [55]

Komposiittien kiertotalousmalli



Kuva 10 KiMuRa-hankkeessa kuvattu muovikomposiittien kiertotalousmalli [55]

Kierrätysyhtiö Kuusakoski perustaa Suomeen ensimmäisen muovikomposiitin kierrätyslaitoksen Hyvinkäälle. Laitoksen on määrä olla täydessä toiminnassa vuoden 2025 loppuun mennessä. Investoinnin arvo on noin 4 miljoona euroa. Laitos käsittelee komposiittimuovijätettä, jota tulee muun muassa käytöstä poistuvista tuulivoimaloista, teollisuuden sivuvirroista sekä kierrätettäväksi päätyvistä kulkuneuvoista, kuten lentokoneista, veneistä ja autoista. KiMuRa-projektissa pilotoitiin tätä komposiitin käsittelyratkaisua aiemmin menestyksekkäästi ja uuden laitoksen paremman murskaustehon myötä saadaan menetelmää kehitettyä entisestään. Laitoksen linjasto koostuu kahdesta murskaimesta, suljetuista kuljettimista, magneetista ja pölynhallintajärjestelmästä, jota tarvitaan komposiitin prosessoinnissa muodostuvan hienojakoisen, terveydelle haitallisen pölyn vuoksi. Komposiitin sisältämät lujitekuidut korvaavat sementin pääraaka-aineen eli kalkkikiven. Laitoksen lopputuotteena syntyvä komposiittimurske menee sementinvalmistaja Finnsementin käyttöön. Komposiittimateriaalit hyödynnetään menetelmässä sataprosenttisesti. Komposiittien matriisimuovit hyödynnetään sementtitehtaan tarvitsemana energiana eli ne korvaavat fossiilisia polttoaineita. Menetelmän prosessi on täysin tuhkaton. [56]

CIMPA on EU Horisontti 2020 -rahoitteinen projekti, jonka tavoitteena on saada elintarvike- ja maataloussovelluksien teollisuus- ja kuluttajakäytön jälkeisistä monikerrosmuovikalvo-pakkauksista kierrätettävämpiä. Projekti alkoi 2021 ja on kolmivuotinen. Mukana on 13 partneria viidestä eri maasta. Tavoitteena on, että pakkaukset kiertäisivät 12–72 % ja tämä kierrätysaste saavutettaisiin kehitettävien osa-alueiden synergiaa. Tarkoitus on kehittää muovien tunnistamista yhdistämällä Near InfraRed (NIR) ja digitaalinen vesileima lajittelussa, kehittää mekaanista ja fyysistä liukenemiskierrätystä, dekontaminaatioprosesseja (edistynyt scCO₂-pohjainen dekontaminaatio) ja kehittää edelleen jo käytössä olevien kierrätysratkaisuiden ominaisuuksia. Hanke tekee yhteistyötä kuuden muun pakkauksiin liittyvän kehitysprojektin kanssa, joita ovat CIRCULAR FOODPACK, MERLIN, SOLREC2, REMADYL, BUDDIE-PACK, and R3PACK. [57]

Greenful-niminen yritys on ottanut haasteekseen ratkaista Euroopan tekstiilijäteongelman ja kehittänyt ympäristöystävällisen rakennuslevyn, jossa hyödynnetään tekstiilijätettä käyttämällä sitä kierrätysmuovin täyteaineena. Levyjä on erilaisia ja niitä voidaan käyttää talon sisä- ja ulkopuolella, joten niillä on laajat hyödyntämismahdollisuudet talon rakennuksessa. [58]

5.4 Tekstiiliyhdistelmäjakeet

Erilaisille tekstiilisekoitteiden kierrätykseen kehitettyjä teknologioita on alkanut näkymään markkinoilla. Worn again avaa kemialliseen kierrätykseen perustuvan demotehtaan 2024 ja kaupallisen tehtaan vuonna 2027. Menetelmä pystyy erottamaan puuvilla ja polyesterikuidut toisistaan koneellisesti ja valmistamaan molemmista kangasta. Muitakin teknologioita polyesterin ja polycottonin kierrättämiseksi on jo lähes kaupallisen tason teknologioina olemassa, mutta ne eivät pääasiassa kykene kierrättämään molempia kuitumateriaaleja. [59]

Myös rakennus- ja huonekaluteollisuudesta löytyy yrityksiä, jotka hyödyntävät tekstiilijätettä erilaisissa komposiittituotteissa. Greenful valmistaa rakennuspaneeleja, Kvadrat Really levyjä ja akustiikkamateriaaleja ja Seljak Brand lepoalustoja. [14]

6 Yhteenveto

Erilaisia muovien kierrätysmenetelmiä on kehitettävä, jotta saadaan hyödynnettyä kaikki mahdollinen muovi uudelleen jätemäärien kasvaessa. Tarve olisi saada nostettua yhdyskuntajätteen kierrätysastetta paremmin kohti EU:n 55 %:n tavoitetta vuodelle 2025. Mekaanista kierrätystä tehdään suurimpien muovilajikkeiden osalta tuottajavastuun alaisille muoveille, mutta sen rinnalle täydentämään tarvitaan sekä erilliskeräystä myös muille kuin tuottajavastuun alaisille muoveille että kemiallisen kierrätyksen menetelmiä. Teknologinen kehitys keskittyy paljon siihen. Kemiallisen kierrätyksen merkittävin menetelmä on pyrolyysi, jonka tuotteena syntyvästä pyrolyysiöljystä voidaan valmistaa neitseellisen muoviraaka-aineen ominaisuudet omaavaa muovia.

Myös mekaaninen kierrätys vaatii jatkuvaa kehitystä ja siinä lajittelua tulee edistämään tekoälyn sekä robotiikan hyödyntäminen. Tekoälyn avulla lajittelu kehittyy jatkuvasti koneen oppiessa lajiteltavista asioista koko ajan uusia asioita.

Sääntely- ja tavoitelinjauksia on asetettu esimerkiksi muovistrategian, SUP-direktiivin, laajennetun tuottajavastuun ja EU:n jätepuitedirektiiviä seuraavan kansallisen jätelain muodossa, mutta edelleen tarvitaan lisää kiertotaloutta tukevia toimia. Tarvitaan esimerkiksi määritelmiä eri materiaaleille, milloin jäte lakkaa olemasta jätettä mekaanisessa kierrätyksessä. Kansallinen ehdotus muovin osalta on ollut valmistelussa vuosia ja keväällä 2023 se oli lausuntokierroksella. Tähän mennessä kansallinen Valtioneuvoston asetus jätteeksi luokittelemisen päättymiselle on saatu vasta betonimurskeelle.

Yksi Suomessa alihyödynnetyistä jätteistä on sängyn patjat. Maailmalla on olemassa patjojen kierrätykseen keskittyneitä yhteisöjä. Hollannissa on yritys, joka onnistunut tekemään siitä teollista toimintaa. Voitaisiin esimerkiksi selvittää, olisiko mahdollista saada järjestettyä vastaavanlaista patjojen kierrätystä Suomeen. Kuten monessa muussakin tuotteessa on haasteena monimutkaiset rakenteet, niin patjoissa on tuo sama ongelma. Tähän voidaan vaikuttaa vastuullisella tuotesuunnittelulla, jossa otetaan tuotteen kierrättäminen huomioon.

Pehmeää polyuretaanivaahtoa on pitkään kierrätetty mekaanisesti esimerkiksi rouhepuristeena. Suomessa kierrätetään mekaanisesti ainoastaan teollisuuden leikkuujätettä, vaikka prosessi soveltuisi hyvin myös patjajätteelle. Menetelmä poistaa haitallisia bakteereja ja tiettyjä epäpuhtauksia, mutta todennäköisesti poistopatjat täytyy valikoida kierrätettäväksi lopputuotteen laadun takaamiseksi. Kierrätykseen sopivat patjat voidaan seuloa esim. NIR-teknologialla. Raaka-aineen arvo voidaan säilyttää kemiallisella kierrätyksellä. Useita kemiallisia kierrätysmenetelmiä skaalataan ylös, mutta menetelmät ei ole valmis teollisen mitta-kaavan toimintaan. Polyuretaanista pystytään kierrättämään varsinkin polyoli, jota on

pystytty hyödyntämään uuden polyuretaanivaahdon raaka-aineena, vaikka se ei vastaa laadultaan neitseellistä polyolia.

Myös jätetuun kierrätyksessä on edistytty viime aikoina ja teknologia mahdollistaa tehokkaan lajittelun. Näissä sovelluksina on kuitenkin yhä haasteena matala kaupallinen potentiaali. Tekstiilijätteelle haasteena on tekstiilien kunnon arviointi, joka toistaiseksi vaatii ihmisen. Vaikeasti lajiteltavat tai huonokuntoiset tekstiilimateriaalit voidaan pyrolysoida.

Yhdyskuntajätteiden yhdistelmäjäkeet menevät muovien osalta pääsääntöisesti tällä hetkellä energiahyödyntämiseen. Muovien yhdistelmäjäkeita hyödynnetään jonkin verran jauhamalla niitä betonin sekaan, mutta luultavasti merkittävät määrät tulevat komposiittiteollisuudesta eikä niinkään kuluttajakäytöstä. Greenful yritys on kehittänyt muovikomposiitti levyä, jonka täyteaineena hyödynnetään tekstiilijätettä. Tämä voisi olla yksi potentiaalinen yhteistyöyritys kehitystyötä ajatellen.

LÄHTEET

- [1] E. Salminen, D. Laine, P. Ruokalainen ja O. Hytti, "Toimintaympäristöanalyysi," BearingPoint, 2023.
- [2] European Commission, Directorate-General for Environment, "Suomi, EU:n jätteenkierrätystavoitteiden – Tilanne vuonna 2025," Publications Office of the European Union, 2023. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/824902>. [Haettu 15. 9. 2023].
- [3] OECD, "Global plastic waste set to almost triple by 2060, says OECD," 2022. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/environment/global-plastic-waste-set-to-almost-triple-by-2060.htm>. [Haettu 27. 7. 2023].
- [4] EuRIC, "What we recycle - Plastics," [Online]. Available: <https://euric.org/what-we-recycle/plastics>. [Haettu 2. 8. 2023].
- [5] European Commission, Directorate-General for Environment, "Muutos muovien käyttötapaan," Publications Office, 2018. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/366203>. [Haettu 15. 9. 2023].
- [6] Suomen Uusiomuovi Oy, "Yrityksillä on vastuu muovijätteen käsittelystä," 2023. [Online]. Available: <https://uusiomuovi.fi/pakkaus-kiertaa/muovien-kierratys/muovien-materiaalimerkit/>. [Haettu 21. 6. 2023].
- [7] Helsingin seudun ympäristöpalvelut, "Sortti-asemat," 2023. [Online]. Available: <https://www.hsy.fi/jatteen-ja-kierratys/sortti-asemat/>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [8] J. Salminen, P. Rinne, S. Alt ja P. T. T. Fjäder, Kirjoittajat, *Muovin jätteeksi luokittelun päättymisen ja vaikutukset kierrätykseen*. [Performance]. SYKE, 2021.
- [9] J. Salminen, P. Rinne, P. Fjäder ja T. Turunen, Kirjoittajat, *Valtioneuvoston asetus arviointiperusteista sen määrittämiseksi milloin mekaanisesti kierrätetty muovi lakkaa olemasta jätettä*. [Performance]. Suomen Ympäristökeskus SYKE, 2021.

- [10] E. Saarinen, "Muovijätteen kierrätys helpottuu, kun uusiomuovi pääsee eroon jäteluokituksesta – Ympäristöministeriö pyytää lausuntoja muovien EEJ-asetuksesta," Uusiuutiset, 2023. [Online]. Available: <https://www.uusiuutiset.fi/>. [Haettu 25. 9. 2023].
- [11] M. Qureshi, "Role of thermolysis (pyrolysis) of plastics in feedstock recycling," Materiaalit kiertoon, 2019. [Online]. Available: https://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Kiertotalouden_kirittajat__tuloksia_kier. [Haettu 26. 7. 2023].
- [12] A. Oasmaa, "Huonolaatuinenkin muovijäte saadaan takaisin kiertoon termokemiallisella käsittelyllä," VTT, 2020. [Online]. Available: <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/vtt-huonolaatuinenkin-muovijate-saadaan-takaisin-kiertoon-termokemiallisella.> [Haettu 26. 7. 2023].
- [13] J. Scheirs ja W. Kaminsky, "Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels," Wiley Online Library, 2006. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0470021543>. [Haettu 26. 7. 2023].
- [14] E. Salminen, D. Laine, P. Ruokolainen ja O. Hytti, "Toimintaympäristöanalyysi - Osana Jätти-hanketta," BearingPoint, Helsinki, 2023.
- [15] Repetco, "The importance of artificial intelligence in the plastic recycling industry," [Online]. Available: <https://www.repetco.com/the-importance-of-artificial-intelligence-in-the-plastic-recycling-industry/>. [Haettu 28. 7. 2023].
- [16] AMP Robotics, "Yrityksen kotisivut," [Online]. Available: <https://www.amprobotics.com>. [Haettu 28. 7. 2023].
- [17] ISCC, "ISCC PLUS," 2023. [Online]. Available: <https://www.iscc-system.org/certification/iscc-certification-schemes/iscc-plus/>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [18] Plastex Oy, "EKO-tuoteperhe," 2023. [Online]. Available: <https://www.plastex.fi/tuotteet/eko-tuoteperhe.html>. [Haettu 24. 7. 2023].

- [19] Lassila-Tikanoja, "Helmilava," 2023. [Online]. Available: <https://www.lt.fi/fi/helmi>. [Haettu 24. 7. 2023].
- [20] UPM Profi, "Luokkansa paras terassilauta komposiitista - UPM ProFilta!," 2023. [Online]. Available: <https://www.upmprofi.com/fi/terassilauta-komposiitti/>. [Haettu 24. 7. 2023].
- [21] Sepco Industries, "Yrityksen kotisivut," 2023. [Online]. Available: <https://www.sepcoindustries.com/>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [22] APK, "Newcycling® – high-quality plastics," 2023. [Online]. Available: <https://www.apk.group/en/newcycling/>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [23] Plasticenergy, "Recycling plastics that no-one else can," 2023. [Online]. Available: <https://plasticenergy.com/>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [24] OMV, "Plastic2Plastic: ReOil completes the circle in plastics recycling," 2023. [Online]. Available: <https://www.omv.com/en/blog/plastic2plastic-reoil-completes-the-circle-in-plastics-recycling>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [25] BASF, "ChemCycling®," 2023. [Online]. Available: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html>. [Haettu 25. 7. 2023].
- [26] ITERO, "Turning trash into treasure," [Online]. Available: <https://www.itero-tech.com/solutions>. [Haettu 28. 7. 2023].
- [27] Packaging Insights, "Finnish industry and academia launch €3M UrbanMill project for plastic chemical recycling," 2022. [Online]. Available: <https://www.packaginginsights.com/news/finnish-industry-and-academia-launch-%E2%82%AC3m-urbanmill-project-for-plastic-chemical-recycling.html>. [Haettu 28. 7. 2023].
- [28] Lamo, "Ilmastorahastolta 6 miljoonan euron pääomailana Lamonin hankeyhtiölle muovien kierrätysasteen ratkomiseen," 2023. [Online]. Available:

<https://www.lamor.com/fi/ilmastorahastolta-6-miljoonan-euron-paaomalaina-lamorin-hankeyhtiölle-muovien-kierratysshaasteen-ratkomiseen>. [Haettu 31. 7. 2023].

- [29] Neste, "Project "PULSE"," 2023. [Online]. Available: <https://www.neste.com/products/all-products/plastics/combating-plastic-pollution/project-pulse>. [Haettu 28. 7. 2023].
- [30] Loop Industries, "THE INFINITE LOOP TECHNOLOGY," [Online]. Available: <https://www.loopindustries.com/cms/suez-loop-industries-and-sk-geo-centric-announce-selection-of-saint-avold-in-the-grand-est-region-of-france-as-the-site-to-manufacture-virgin-quality-pet-plastic-made-from-100-recycled-content-and/>. [Haettu 28. 7. 2023].
- [31] Plasteco, "Yrityksen kotisivut," [Online]. Available: <https://www.plasteco.fi/>. [Haettu 11. 9. 2023].
- [32] Salpakierto, "PlastEco Oy aloittaa muovijätteen kemiallisen kierrätyksen muovioöljyksi yhteistyössä Salpakierto Oy:n kanssa Lahdessa," 2022. [Online]. Available: <https://salpakierto.fi/>. [Haettu 11. 9. 2023].
- [33] T. Kamppuri, K. Kallio, S.-M. Mäkelä ja A. Harlin, "Finland as a forerunner in sustainable and knowledge-based textile industry - Roadmap for 2035," 2021.
- [34] H. Dahlbo, K. Aalto, H. Salmenperä, H. Eskelinen, J. Pennanen, K. Sippola ja M. Huopalainen, "Tekstiilien uudelleenkäytön ja tekstiilijätteen kierrätyksen tehostaminen Suomessa," Suomen ympäristö 4/2015, 2015.
- [35] S. Manshoven, M. Christis, A. Vercalsteren, M. Arnold, M. Nicolau, E. Lafond, L. Mortensen ja L. Coscieme, "Textiles and the environment in a circular economy," 2019.
- [36] T. Kamppuri, P. Heikkilä, M. Pitkänen, E. Saarimäki, K. Cura, J. Zitting, H. Knuutila ja I. Mäkiö, "Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen.," VTT Technical Research Centre of Finland, 2019.
- [37] McKinsey & Company, "Scaling textile recycling in Europe - Turning waste into value," 2022.

- [38] D. Damayanti, L. Wulandari, A. Bagaskoro, A. Rianjanu ja H. Wu, "Possibility routes for textile recycling technology," *Polymers*, osa/vuosik. 13, nro 3834, 2021.
- [39] P. Athanasopoulos ja A. Zabaniotou, "Post-consumer textile thermochemical recycling to fuels and biocarbon: A critical review," *Science of The Total Environment*, osa/vuosik. 834.
- [40] H. Eskelinen, H. Teerihalme, V. Lamberg, T. Hämäläinen, O. Sahimaa, V. Ranta, T. Alijoki, P. Eteläaho ja M. Hilli, "Uudelleenkäyttö ja sen edistäminen - Selvitys uudelleenkäyttömääristä ja uudelleenkäyttöön liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista Suomessa," SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 19 | 2018, 2018.
- [41] K. Rinne, Interviewee, *Kehityspäällikkö, Salpakierto*. [Haastattelu]. 17 1 2023.
- [42] S. Shan Xu, R. Van Den Bosch, M. Baumgartner, E. Le Grand, K. Sijsmans, B. Haelterman, R. Sanchez Magdaleno ja M. Lewis, "End-of-life flexible polyurethane foam from mattresses and furniture. An overview of regulatory drivers, recycling technologies and remaining challenges.," 2021.
- [43] M. Vesterholm, "Mechanical recycling of postconsumer mattress foam," *Bramming Plast-Industri A/S*, 2022.
- [44] N. Lardies, "Chemical recycling of polyurethane waste," Chemical Recycling Group, AIMPLAS, 31 7 2020. [Online]. Available: <https://www.recycling-magazine.com/2020/07/31/chemical-recycling-of-polyurethane-waste/>. [Haettu 10 8 2023].
- [45] L. Zanchi, S. Maranghi ja A. Zamagni, "Chance to change, PU from collection to recycling PUreSmart, Polyurethane recycling towards a smart circular economy," 2022.
- [46] A. Kemoni ja M. Piotrowska, "Polyurethane Recycling and Disposal: Methods and Prospects," *Polymers*, osa/vuosik. 12, nro 1752, 2020.
- [47] A. Besserer, S. Troilo, P. Girods, Y. Rogaume ja N. Brosse, "Cascading Recycling of Wood Waste: A Review," *Polymers*, osa/vuosik. 13, nro 1752, 2021.

- [48] M. Hyvärinen, T. Kärki ja K. Lillqvist, "Rakennus- ja purkupuusta valmistettujen tuotteiden tuoteturvallisuus (RAPUPUU). Loppuraportti," 2021.
- [49] Destaclean, 2023. [Online]. Available: <https://www.destaclean.fi/>. [Haettu 10 8 2023].
- [50] H. Dahlbo, A. Rautiainen, H. Savolainen, P. Oksanen, P. Nurmi, M. Virta ja O. Pokela, "Textile flows in Finland," 2021.
- [51] Furn360, "Circular economy in the furniture industry: overview of current challenges and competences needs. Furn360. Circular business training for the furniture and woodworking sectors," 2018.
- [52] A. Forrest, M. Hilton, B. A ja D. Whittaker, "Circular economy opportunities in furniture sector," EEB European environmental bureau, 2017.
- [53] Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy, "Pakkausmerkinnät," 2023. [Online]. Available: <https://ekjh.fi/tietopankki/lajittelu/pakkausmerkinnat/>. [Haettu 12. 6. 2023].
- [54] Muoviteollisuus, *Muovikomposiittien kierrätys*, Muoviteollisuus, 2014.
- [55] *Muovikomposiittijäte hyötykäyttöön -esitys*. [Performance]. Muoviteollisuus ry.
- [56] Kemiamedia, "Suomeen ensimmäinen muovikomposiitin kierrätyslaitos," 2023. [Online]. Available: <https://www.kemiamedia.fi/suomeen-ensimmainen-muovikomposiitin-kierratyslaitos/>. [Haettu 20. 6. 2023].
- [57] CIMPA, "What is CIMBA?," [Online]. Available: <https://cimpa-h2020.eu/>. [Haettu 2. 8. 2023].
- [58] Greenful, "Yrityksen kotisivut," [Online]. Available: <https://greenful.com/>. [Haettu 25. 9. 2023].
- [59] Worn again, [Online]. Available: <https://wornagain.co.uk/>. [Haettu 10 8 2023].

[60] Saib, 2023. [Online]. Available: <https://www.saib.it/prodotti-3/?lang=en>. [Haettu 10 8 2023].