

TARTU ÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Pilleriin Laanemets

BALTIMAADES SEKUNDAARPLASTI KEEMILISE RINGLUSSE VÕTMISE
RAKENDAMISE AKUUTSUS, EELDUSED JA VÕIMALIKUD MÕJUD

Magistritöö

Juhendaja: innovatsiooni juhtimise külalisteadur Liina Joller-Vahter

Tartu 2024

Suunan kaitsmisele

(juhendaja allkiri)

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Pilleriin Laanemets

.....

(töö autori allkiri)

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Plastitööstuse areng lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele.....	7
1.1. Ringmajandusele ülemineku teoreetilised alused, eeldused ja mõjud.....	7
1.2. Plastmaterjali olusringi mõjud majandusele ja keskkonnale.....	12
1.3. Euroopa Liidu plastitööstuse ringmajanduse hetkeolukord ja eesmärgid.....	18
1.4. Keemilise ümbertöötamise mõju plasti olusringile ja maailmapraktika.....	22
2. Baltimaades sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise akuutsus, eeldused ja võimalikud mõjud.....	33
2.1. Eestis, Lätis ja Leedus tarbimisjärgse pakendiplasti probleemi ulatus.....	33
2.2. Enefiti lahenduse tutvustus.....	35
2.3. Kvalitatiivse uuringu tutvustus, intervjuude analüüs.....	38
2.4. Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise võimalike mõjude hindamine.....	49
Kokkuvõte.....	56
Viidatud allikad.....	59
Lisad.....	73
LISA A. EL-i liikmesriikide 2021. a. ringlusse võtmata pakendiplasti omavahend.....	73
LISA B. Intervjuu küsimuste plaan.....	74
LISA C. Intervjuu küsimuste plaan Läti ja Leedu ametkondadele ning plasti olusringi osapooltele (inglise keeles).....	75
LISA D. Ringmajanduse hetkeolukorra teemaplokis loodud koodid ja kategooriad.....	76
LISA E. Ringmajanduse eesmärkide teemaplokis loodud koodid ja kategooriad.....	77
LISA F. Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise teemaplokis loodud koodid ja kategooriad.....	78
LISA G. Regionaalse koostööpotentsiaali teemaplokis loodud koodid ja kategooriad.....	79
LISA H. Enefiti lahenduse rakendamise võimalike mõjude hindamise kokkuvõte.....	80
Summary.....	81

Sissejuhatus

Maailmapanga poolt avaldatud andmetel 2016. aastal 1,6 miljardit tonni süsinikdioksiidi emiteeriti puudulikust jäätmemajandusest, mis on umbes 5% globaalsest CO₂-e emissioonist. Kui järgmistel kümnenditel olukorda ei suudeta parandada, siis eelduste kohaselt heitkogused kasvavad 2,6 miljardi tonnini aastaks 2050. (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Woerden, 2018: 5) OECD andmetele tuginedes oli 2019. aastal maailmas looduskeskkonda jõudnud plastijäätmete kogus 22 miljonit tonni ja 2060. aastaks prognoositakse reostuse kasvu 44 miljoni tonnini (OECD, 2022: 1). Euroopa Liidu, Suurbritannia, Norra ja Šveitsi riigis tekkinud tarbimisjärgse sekundaarplasti kogumaht 2020. aastal oli 29,5 miljonit tonni, millest keskmiselt 35% võeti ringlusse, 42% taaskasutati energiatootmiseks ning ülejäänud 23% ladestati prügilas (Plastics Europe, 2022: 48). Keskkonnaprobleemile saaks lahendusi otsida ringmajandusest. Erinevate teadustööde andmetel on ühe tonni tarbimisjärgse sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmisega võimalik vältida keskmiselt 1,54 tonni CO₂-e ning ühtlasi vähendada survet loodusvaradele (Jeswani et al., 2021: 7; Quantis, 2020: 5; Xayachak et al., 2023: 599).

2021. aasta 1. jaanuarist hakkas Euroopa Liidus (edaspidi nimetatud: EL) kehtima uus omavahendite kategooria, mille kohaselt tuleb igal liikmesriigil EL-i eelarvesse tasuda 800 eurot ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti tonni kohta (EL Omavahend 2020/2053, 2020, artikkel 2). 2021. aastal maksis Eesti 22,5 miljonit eurot, ning kolm Balti riiki kokku ligi 50 miljonit eurot. Juhul kui ringlusse võtmise tase jääb endiseks, on 2033. aastaks vastavat EL-i omavahendit Eesti tasunud juba ligi 300 miljonit eurot ning kolm Balti riiki kokku üle 600 miljoni euro. (Riigikantselei, 2023)

Tarbimisjärgse sekundaarplasti ringlusse võtmine on seni baseerunud mehaanilise ümbertöötamise rakendamisel, millel on tehnoloogilised piirangud, sest protsessi sisendina on sobiv pigem puhas ja homogeenne materjalivoog. Lõpptarbijatelt kogutud sekundaarplast on valdavalt madala kvaliteediga ja heterogeenne, mistõttu on mehaaniline ümbertöötlus raskendatud ja suures osas liiga ressursimahukas ning majanduslikult ebaefektiivne (Eriksen, Christiansen, Daugaard, & Astrup, 2019). Sellest tulenevalt on viimased kümmekond aastat aktiivselt uuritud sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise võimalusi (Euroopa Patendiamet, 2021). 2020. aastal Saksamaal laiapõhjalise esindatusega ringmajanduse töögrupi ja veel mitmete teadusuuringute raames on selgunud, et keemilise ümbertöötamise võimalikest tehnoloogiatest üks tõhusaim on pürolüüs. (Alcazar-Ruiz et al., 2021; Grigore, 2017; Pinsky et al., 2019; Ramesohl et al., 2020)

Eesti Energia AS (edaspidi nimetatud: Enefit) põlevkiviõli tootmine baseerub pürolüüsitehnoloogial ning 2018. aastast alates on teostatud arvukalt sekundaarplasti koospürolüüsi katseid. Teadus- ja arendustöö ning rakendusuringute tulemusi on valideeritud rahvusvahelistes keemiatööstusettevõtetes, kus on kinnitatud tuleviku saaduse sobivus uute plastitoorainete tootmiseks. Enefitil on tehnoloogiline võimekus Baltimaades ringlusse võtmata tarbimisjärgse plasti probleemi lahendamiseks, rakendades selleks olemasolevaid pürolüüsitehaseid. (Eesti Energia, 2022)

Tööstuslikul skaalal sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise käivitamise eelduseks on plasti ringmajanduse arenduse osapoolte ja valdkonna eest vastutavate ametkondade esindajate koostöö. Käesolev magistritöö koosneb kahest peatükist: teoreetilisest ja empiirilisest. Teoreetilise peatüki eesmärk on uurida ringmajanduse teoreetilisi aluseid ja võimalikke mõjusid plasti olemusringist lähtuvalt. Empiirilise peatüki eesmärgiks on analüüsida Baltimaades sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise akuutsust, eeldusi ning hinnata võimalikke mõjusid: Balti riikide EL-i omavahendi maksetele, sotsiaalmajanduslikku mõju tööhõivele ja keskkonnavalast mõju CO₂-e emissioonile. Eesmärgi täitmiseks on autor seadnud järgmised uurimisülesanded:

- 1) anda ülevaade ringmajanduse teoreetilisest alusest ja mõjudest uurimisprobleemi keskselt, kirjeldada plasti ringmajanduse hetkeolukorda EL-s ja globaalselt, ning analüüsida keemilise ümbertöötamise tehnoloogia keskkonnavalast mõju süsinikuemissioonile, sealjuures võttes aluseks teaduskirjanduse ja kaasused maailmapraktikast;
- 2) selgitada välja ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti probleemi ulatus Eestis, Lätis ja Leedus, teostada kvalitatiivne uuring ning analüüsida probleemi akuutsust, väljakutseid ja riikidevahelise koostöö potentsiaali;
- 3) teoreetiliselt hinnata Enefitis sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise tööstusliku rakendamise võimalikku mõju *Ceteris paribus* põhimõttel Balti riikide EL-i omavahendi maksetele, sotsiaalmajanduslikku mõju tööhõivele ja keskkonnavalast mõju CO₂-e emissioonile.

Uurimisülesannete täitmiseks analüüsib autor erialast teaduskirjandust, rahvusvaheliste organisatsioonide raporteid ning ekspertide hinnanguid.

Keskkonnavalaste ulatuse väljaselgitamiseks on valdavalt kasutatud Maailmapanga, OECD ja EL-i vastavaid andmebaase. Teooria osas on aluseks võetud teaduskirjandus, milles on analüüsitud ringmajanduse teoreetilisi aluseid võimalike mõjude aspektist. Lisaks viidi

läbi 20 intervjuud, milles osalesid Eestist, Lätist ja Leedust plasti ringmajanduse arenduse ning valdkonna eest vastutavate ametkondade eksperdid.

Märksõnad: ringmajandus, süsinikuemissioon.

CERCS: S185 Kaubandus- ja tööstusökonomika

Terminoloogia

CO₂ - süsinikdioksiid

EL - Euroopa Liit

EL+3 - Euroopa Liidu liikmesriigid ning Suurbritannia, Norra ja Šveits

EL omavahend - EL-i eelarvesse liikmesriikide poolt makstav ringlusse võtmata plastpakendijäätmete ehk tarbimisjärgse pakendi plasti tasu 0,8 eurot/kg ehk 800 eurot/t

EPR – *ingl. k. Extended Producer Responsibility* - tootjavastutuse süsteem

Gt - gigatonn

Korduskasutus - toote korduv kasutamine algotstarbel

LCA - *ingl. k. Life Cycle Assessment* - toote või teenuse keskkonnamõjude hindamine kogu olemusringi kestel, s.o alates toorme hankimisest kuni tootejätmete kõrvaldamiseni

MJ - energia mõõtühik megadžaul

Mt - miljon tonni

Plasti keemiline ümbertöötus - keemiline protsess, mis muudab polümeerid tagasi üksikuteks monomeerideks (molekulideks, mida saab polümeeri moodustamiseks siduda teiste identsete molekulidega), et materjali uuesti polümeriseerida, andes primaarse tooraine omadused

Plasti mehaaniline ümbertöötus - füüsikaliste protsesside: sortimine, purustamine, jahvatamine, pesemine ja ekstrudeerimine - läbiviimine tarbimisjärgse plasti muundamiseks uute toodete sisendmaterjaliks

Primaarne plastmaterjal - esmasel naftasaadusel baseeruv plastmaterjal

Pürolüüs - termokeemiline protsess, mille käigus polümeerid lõhustatakse temperatuuril üle 300 kraadi Celsiuse järgi, ilma hapniku juurdepääsuta

Ringmajandus - ressursside jätkusuutlikule kasutusele orienteeritud majandusmudel, mille eesmärk on ressursi maksimaalselt pikaajaline kasutamine sama või erineva funktsiooni täitmiseks, sealjuures võttes kasutusele meetmeid üleminekuks puhtamatele ning ressursitõhusamatele tootmistehnoloogiatele

Sekundaarne plastmaterjal – tarbimisjärgsel plastil baseeruv tooraine, ka teisene tooraine

Tarbimisjärgne plast – EL-i õigusaktides nimetatud plastijäätmed

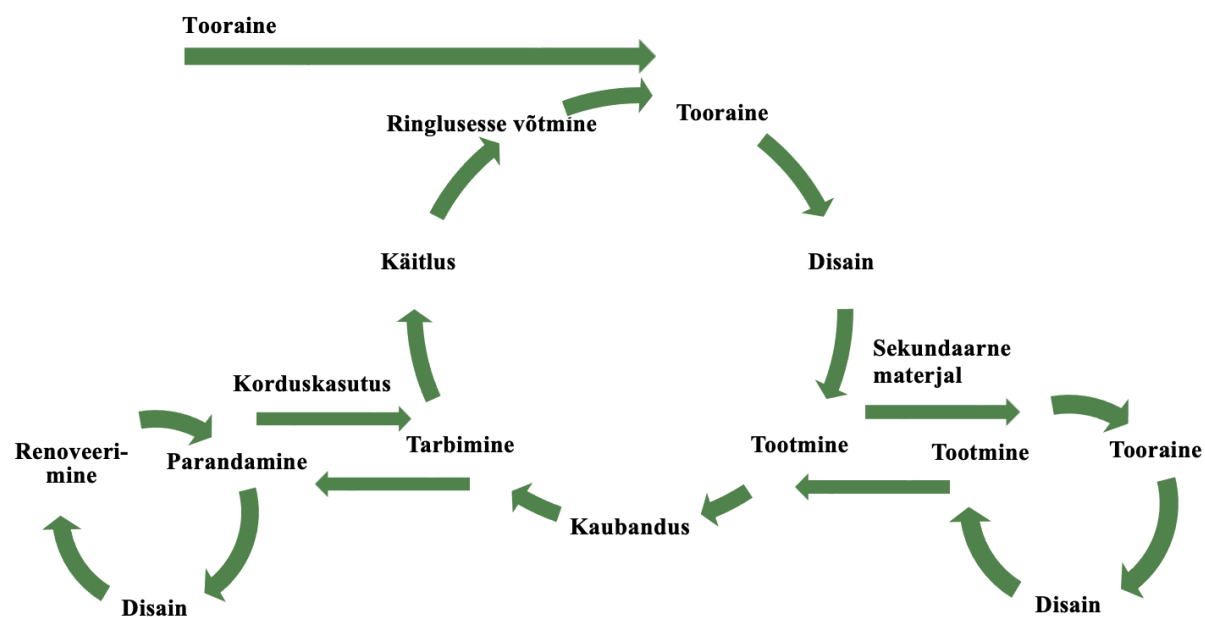
1. Plastitööstuse areng lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele

1.1. Ringmajandusele ülemineku teoreetilised alused, eeldused ja mõjud

Käesolevas peatükis annab autor ülevaate ringmajanduse teoreetilistest alustest ja mõjudest uurimisprobleemi keskselt Analüüsitud on teaduskirjanduse ja rahvusvaheliste kaasuste põhjal ringmajanduse juurutamist takistavaid ja soodustavaid tegureid. Esimeses alapeatükis on käsitletud laiemat paradigma muutust ja majandusarengu perspektiivi. Seejärel on fookus valdkonnaspetsiifiline, keskendudes plasti olelusringi dünaamikale ja muutustele Euroopas.

Ajaloo on lineaarse majandusmudeli vastuoludele tähelepanu juhtinud Robert Thomas Malthus 1798. aastal essees „An Essey on the Principle of Population“. Malthuse teooria kohaselt oli rahvastiku kiire kasv põhjustamas ressursside defitsiiti ja elukvaliteedi langust. (Malthus, 1798) Tema väited pälvisid palju kriitikat liberaalse maailmavaate esindajatelt, nende seas teadlased Raymond Pearl ja Lowell Reed, kes olid veendunud majandusarengu perspektiivis ning väitsid, et populatsiooni kasv ja elukvaliteedi langus ei ole otseses seoses, sest loodusressursside kasutamist suudetakse efektiivselt arendada (Lloyd, 1967). Konsensus valitses veendumuses, et lineaarne majandusmudel ei ole jätkusuutlik ning ringmajanduse printsiipide rakendamise vajalikkusele juhiti tähelepanu juba toona, sest ressursside defitsiidil on otsene mõju tsiviilkonfliktide sagenemisele ja laiemalt maailma rahule (Mishra, & Mary, 2019; Woolston, 1924). 20. sajandi esimesel poolel kirjutas Winston Churchill: „Inimkond on jõudnud liiga kaugele, et tagasi pöörduda ja liigub liiga kiiresti, et peatuda.“ (Churchill, 1931: 1) Tööstuslikul skaalal ringmajanduse põhimõtete mõningast rakendamist täheldati 1920-ndatel aastatel, nüüdisaegsemate meetodikate kasutusele võtmine algas 1990-ndatel (Rodriguez, Florido, & Jacob, 2020: 3).

Kui traditsiooniline majandusmudel baseerub „tooda-tarbi-hülga“ printsiibil, siis ringmajanduse eesmärk on vähendada majandustegevuse negatiivset mõju keskkonnale kõigi tarbitavate ressursside kogu olelusringi ulatuses (Alassali et al., 2021; Huysman et al., 2017). „Üleminekut lineaarselt majandusmudelilt (tsüklilisele) ringmajandusele võib nimetada ka tööstusökoloogiaks, mille eesmärk on tööstuslike ökosüsteemide loomine.“ (Talve & Põld, 2005: 62) Majanduskasvu aluseks ei ole enam tarbimise kasvatamine vaid uute väärtusahelate loomine ning sektorite ülene innovatsioon (vt. joonis1) (Neves & Marques, 2022).

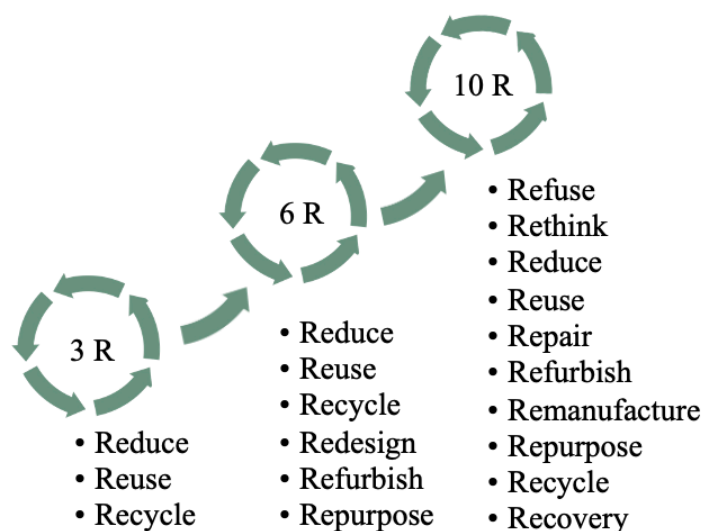


Joonis 1. Ökosüsteemidel baseeruv ringmajandus

Allikad: Alassali et al., 2021; Huysman et al., 2017; Neves & Marques, 2022; Talve & Pöld, 2005; autori koostatud

Ringmajandus on interdistsiplinaarne, millest tulenevalt mõnevõrra varieerub selle käsitlus ning kasutatav terminoloogia. Teaduskirjanduse analüüsisist järeldub, et hoolimata valdkonnaspetsiifilistest erinevustest on alusprintsüübid valdavalt kattuvad, lähtudes jätkusuutlikust ressursikasutusest. (Geissdoerfer et al., 2017; Rasi et al., 2023)

Ringmajanduse mõiste ja laiem kontseptsioon on ajas muutunud. Inglise keelses terminoloogias oli esimeses etapis kasutusel lühend 3R sõnadest: Reduce, Reuse, Recycle (kirjeldavalt eesti keeles: vähendamine, korduskasutus ja ringlusse võtmine) (Manickam & Duraisamy, 2019). Seejärel 6R lühend sõnadest: Reduce, Reuse, Recycle, Redesign, Refurbish, Repurpose (kirjeldavalt eesti keeles: vähendamine, korduskasutus, ringlusse võtmine, uuesti disainimine, taastamine ja uuel otstarbel kasutamine) ning nüüdisaegseim lähenemine on 10R lühend sõnadest: Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, Recovery (kirjeldavalt eesti keeles: vältimine, ennetamine, vähendamine, korduskasutus, parandamine, taastamine, taastootmine, uuel otstarbel kasutamine, ringlusse võtmine ja uuesti taastamine) (vt. joonis 2) (Morseletto, 2020; Reike et al., 2018).



Joonis 2. Ringmajanduse kontseptsiooni laienemine

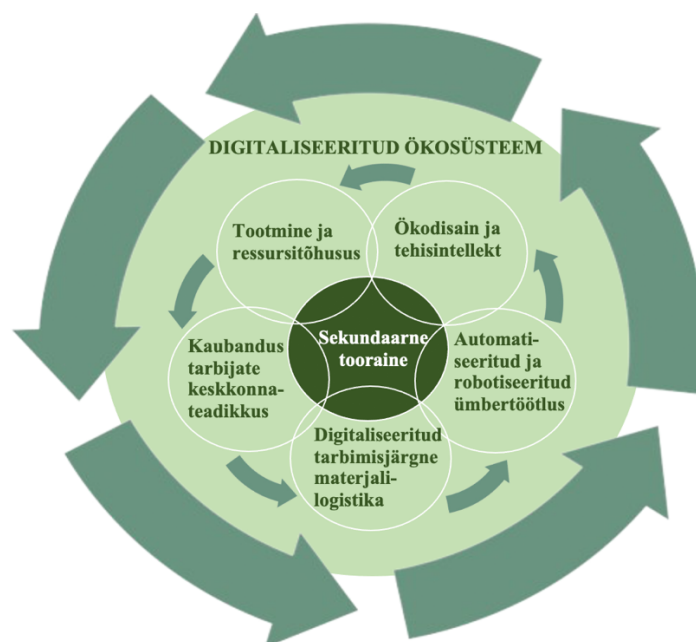
Allikad: Manickam & Duraisam, 2018; Morsetto, 2020; Reike et al., 2018; autori koostatud

Traditsiooniline majandus baseerub tarbimise kasvatamisel, mistõttu on kriitikut ringmajandust seostanud majanduskasvu võimaliku pidurdumise riskiga, see omakorda on pärssinud laiemat paradigma muutust. (Kirchherr, 2021) Kuna kliimat ja keskkonda mõjutavad probleemid on globaalsed, siis on lahenduste eelduseks riikidevaheline konstruktiivne koostöö ning rahvusvaheline innovatsioon, mis baseerub ringmajanduse printsiipidel. (Brem et al., 2019; Weidner et al., 2020) Schmiele (2009) teooria kohaselt on piiriülest innovatsiooni hinnatud tõhusamaks riikide vahel, millel on ühine ajalugu ja riigipiir, sarnane majandusarengu ja innovatsiooni tase ning kultuuriline ja sotsiaalne ühisosa.

Rajasõltuvus eelmiste sajandite jooksul juurdunud lineaarsest majandusmudelist mõjutab innovatsiooniotsuseid ka kõrge keskkonnateadlikkusega ettevõtetes. Ringmajandusel baseeruva innovatsiooni väljakutsed tulenevad peamiselt teadus- ja arendustöö kapitalimahukusest, püstitatud uurimisülesannete tehnoloogilisest keerukusest, tururiskidest ja veel mitmetest muudest teguritest (Englund et al., 2011; Galvao et al., 2018; Zahler et al., 2018). Ärimudelites, mille tootmissisendiks on sekundaarne tooraine, on üldjuhul kõrgem tootmistehnoloogiline risk kui primaartooraine kasutamisel (Cioca et al., 2018). Lisaks võib takistuseks osutada ka tooteinnovatsiooni piloteerimisest komertsialiseerimiseni kaasneva protsessi bürokraatia ning keskkonna- ja tegevuslubade taotlemine (Tosun & Howlett, 2021). Ringmajandus sageli lahendab mõnda laiemat ühiskondlikku probleemi, millest tulenevalt on põhjendatud ka riigipoolne strateegiline toetus. Avaliku raha kaasamise ajamahukas bürokraatia võib samas osutada ka innovatsiooni pärssivaks. (Kebapci et al., 2020) Lineaarse majandusmudeli rajasõltuvusest väljumiseks peab olema riskitaluvus kõrge ja kapitaliseeritus

tugev, et vajadusel tagada ettevõtte toimepidevus ka oodatust pikema juurutusperioodi korral. (Lehtimäki et al., 2020) Downing ja White (1986) uurisid bürokraatiast tingitud takistusi 1980-ndatel: kui suure keskkonnamõjuga ettevõtte planeeris innovatsiooni, võisid valitsusasutused määrusi muuta ja reegleid karmistada, et tagada stabiilsus ning ennetada muutustega kaasneva võivaid täiendavaid keskkonnariske. Toonast praktikat võib nimetada ka teadmatusest või vähesest informeeritusest tingitud keskkonnainnovatsiooni takistavaks teguriks. (Downing & White, 1986) Nüüdisaegsest kliimapoliitikast lähtuva regulatiivse raamistiku loomisel võetakse otsuste langetamisel aluseks kompleksseid mõjuanalüüse (Adusei-Asante, 2017).

Viimase sajandi jooksul on ühiskond läbi teinud kolm tööstusrevolutsiooni. Käesoleva, neljanda tööstusrevolutsiooni, ajajärgul on majandusarengu ja ettevõtete konkurentsivõime eelduseks protsesside digitaliseerimine, robotiseerimine, rohetehnoloogiate kasutusele võtmine ning üleminek lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele. (Horbach, Prokop, Stejskal, & Gerstlberger, 2022). Khatami et al. (2023) uurisid ringmajanduse paradigmat digitaalsete ökosüsteemide tasandil ning leidsid, et tulenevalt materjali olelusringi etappide erinevast karakteristikast ning vastastikusest sõltuvusest, on protsesside digitaliseeritusel ja infovahetuse kvaliteedil otsene mõju ringmajanduse tulemuslikkusele (vt joonis 3).



Joonis 3. Sekundaarse tooraine olelusring digitaliseeritud ökosüsteemis

Allikas: Khatami et al., 2023: 9, autori koostatud

Weidner, Nakata ja Zhu (2020) teooria kohaselt on konkurentsivõimeline ärimudel ainult selline, mis hõlmab võrdselt harmoniseeritult nii keskkonna, majanduslikku kui ka sotsiaalseid sfääri. Jätkusuutlikkusel ja ringmajandusel baseeruva äritegevuse eesmärk on väärtuse loomine lisaks ettevõtte omanikule, ka ühiskonnale ja keskkonnale tervikuna. Sealjuures on oluline selgelt defineerida traditsioonilises mõistes „omaniku ootused ja tulemusnäitajad“ kõigil tasanditel ehk ootused ning tulemusnäitajad ka sotsiaalsete - ja looduskeskkonna mõjude aspektist.

Ringmajanduse juurutamine toetab innovatsiooni ja majandusarengut, leevendab kliimamuutusi ning omab laiemat sotsiaalmajanduslikku mõju: inimeste elukvaliteedile, sotsiaalsele ühtekuuluvusele ja koostööle, võrdsusele, valitsemisele, mitmekesisusele ning kaasatusele ja küpsusele (Valencia et al., 2023). Olulusringi hindamise (LCA) laiendusena on välja töötatud ka sotsiaalsete mõjude hindamise mudel (S-LCA), mis analüüsib toodete, teenuste ja organisatsioonide positiivseid ning negatiivseid mõjusid inimeste heaolule nii makro- kui ka mikromajanduse tasandil (Toniolo et al., 2020). Ringmajanduse sotsiaalmajanduslike mõjusid analüüsinud teadlase Schmiele (2009) hinnangul ajendab Lääneriike omavahelisele koostööle spetsiifiliste teadmiste ja oskustega tööjõupuudus ning arengumaad on uute tehnoloogiate rahvusvahelistes väärtusahelates peamiselt toorainete tarnijad. Ringmajandusele suunatud investeeringud liiguvad ennekõike riikidesse, kus on sekundaarse tooraine kättesaadavus, stabiilne maksukeskkond ja ligipääs turule (Lamperti et al., 2021). Kõrge innovatsioonitasemega riikides väljaarendatud ja kommertsialiseeritud ringmajanduse tehnoloogiate maksimaalne rakendatavus saavutatakse sageli just arengumaades, kus keskkonnaprobleemid on mastaapsemad. Tehnoloogiasiiire aitab sihtriigis suurendada tööhõivet ning majandusarengut tervikuna. (Schmiele, 2009) Arengumaades töötab suur hulk inimesi jäätmevaldkonnas mitteametlikult, reguleerimata töökeskkonnas, mis omakorda soodustab üleüldist süsteemi kontrollimatust (Interpol, 2020; Wilson et al., 2006). Indias läbiviidud sotsiaalmajanduslike mõjude analüüsist järeldus, et ringmajanduse arendamisel on positiivne mõju kohalike inimeste moraalile, distsipliinile ja hügieeniharjumustele, mis omakorda ennetab terviseriske (Sawant et al., 2021). Ühiskonnas ringmajandusele ülemineku protsessi tulemuslikkus sõltub olulisel määral inimeste keskkonnateadlikkusest ning tarbimisharjumustest, mida mõjutavad haridustase, päritolu ja kultuuriruum (Butt et al., 2022). Võrreldes ülejäänud maailmaga on Lääneriikides tarbijad valdavalt kõrge keskkonnateadlikkusega, kuid enamasti mõistetakse ringmajandust jäätmekäitlusvaldkonna täiendusena ning vähem teadvustatakse kogu olulusringi ulatust (Laurenti et al., 2018).

Kliimamuutused on kaasa toonud ühiskonnas laiema paradigma muutuse ja teadlikkuse loodusressursside jätkusuutliku ning kogu olelusringi mõju arvesse võtva vastutustundliku tarbimise vajalikkusest. Ringmajandusele üleminek on vältimatu ja kompleksne väljakutse, mis eeldab nii majanduslike kui ka sotsiaalsete aspektide vastastikmõju arvesse võtmist. (Karayilan et al., 2021; Neves & Marques, 2022)

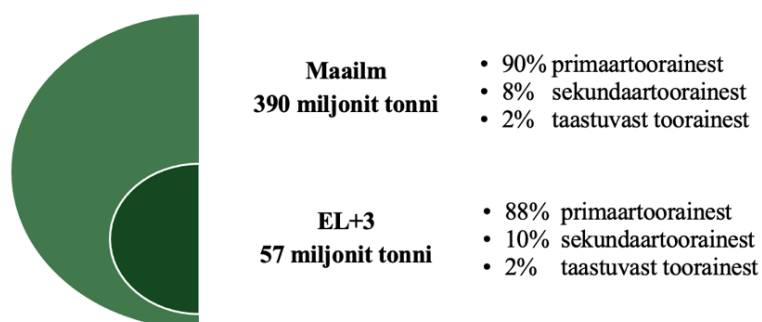
1.2. Plastmaterjali olelusringi mõjud majandusele ja keskkonnale

Traditsioonilises ehk lineaarses majandusmudelil tänapäevase sünteetilise plasti kasutusele võtmise kohta leiab teaduskirjandusest viiteid 19. sajandi teiselt poolt. Esimese sünteetilise polümeeri leiutas 1869. aastal John Wesley Hyatt, kelle eesmärk oli leida alternatiiv elevandiluu, kilpkonnakilbi, sarve jm elusloodusest tuleneva asendamiseks (Science Museum, 2019). Teise maailmasõja perioodil sai maailmas alguse plasti laiaulatuslikum kasutamine, kuna materjal võimaldas lahendada mitmeid militaarvaldkonna ja erinevate tööstussektorite väljakutseid. (Smith, 1935) 1935. aastal arendati nailon, mida esmalt kasutati sünteetilisest siidist sukatoodes, kuid mis peatselt võeti kasutusele USA sõjaväe poolt langevarjude ja köite valmistamiseks (Waring, 2018). 1944. aastal oli materjalitehnoloogias märkimisväärseks läbimurdeks vahtpolüstüreeni kasutusele võtmine, mis on vastupidav soojusisolaator ja amortisaator (National Inventors, 2022).

Plastide leiutamisel ja kasutuselevõtmisel materjalide ümbertöötlemisele ning laiemalt keskkonnamõjule olulist tähelepanu ei pööratud. Üle-eelmisel sajandil plastitööstusest alguse saanud teadus- ja arendustöö lõi eeldusi II tööstusrevolutsiooniks ja sellega kaasneva majandusarenguks. Plastitootmist valmistatud majapidamistarvikute ja teiste kaupade masstoodang oli efektiivne ning võimaldas vähendada ühiskondlikku ebavõrdsust, sest paljud esmatarbekaupad said laiale tarbijaskonnale kättesaadavaks taskukohase hinnaga. Soodne ja funktsionaalne materjal lõi eeldusi innovatsiooniks elektroonikas, telekommunikatsioonis, autotööstuses, pakenditööstuses ja mujal. Plastist valmistatud toodete masstarbimine on eksponentsiaalselt kasvanud ning 19. sajandi materjaliarenduse ühest suurimast läbimurdest on saanud 21. sajandi üks vastuolulisemaid materjale. (Andrady & Neal, 2009) Plastmaterjali vastuolu tuleneb peamiselt pakendite ja esmatarbekaupade segmendist, kus vastutustundetu tarbijakäitumine on väljendunud ebakorrektses jäätmekäitluses, mille tagajärjeks on prügistamine ning jäätmete ladestamine looduskeskkonda (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016).

Selleks, et analüüsida plastmaterjali olelusringi mõjusid majandusele ja keskkonnale on oluline valdkonna tänaste kitsaskohtade ulatuse ja põhjuste väljaselgitamine. 2021. aastal

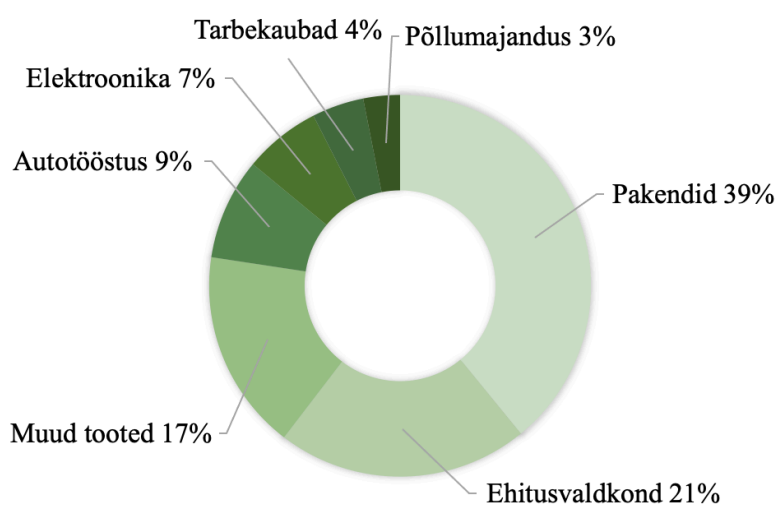
oli globaalne plastitoodangu maht 390 miljonit tonni, millest EL+3 toodang moodustas 15% ehk 57 miljonit tonni, sellest omakorda 12% tulenes sekundaar- ja bioplastidest (vt joonis 4) (Plastics Europe, 2022: 18, 28).



Joonis 4. 2021. aastal maailma ja EL+3 plastitoodangu maht ja tooraine määr

Allikas: Plastics Europe, 2022: 18; 28; autori koostatud

EL+3 riikide aastasest plastitööstuse toodangumahust kasutati suurim kogus pakendite tootmises 39%, seejärel ehitusvaldkonnas 21% ja ülejäänud muude tööstuskaupade tootmisvaldkondades (vt joonis 5) (Plastics Europe, 2022: 35).



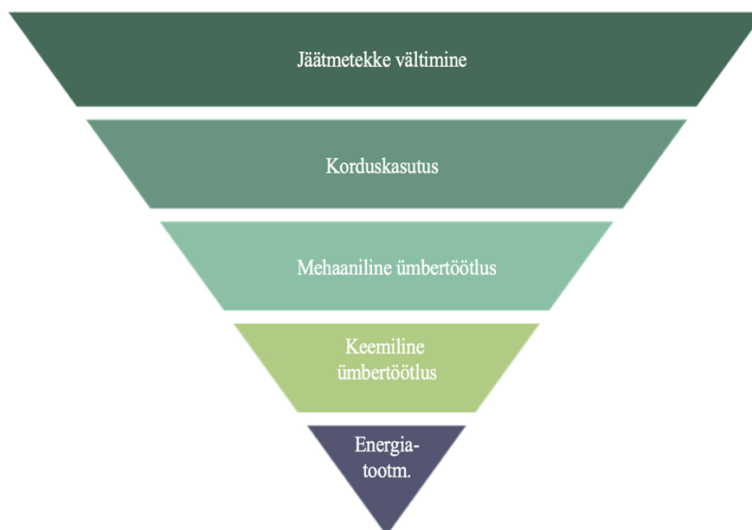
Joonis 5. 2021. aastal EL+3 plastitoodangu kasutusvaldkondade jaotus

Allikas: Plastics Europe, 2022: 35; autori koostatud

Globaalse plastitoodangu kogumahuks on prognoositud 2030. aastaks 500 miljonit tonni ja 2050. aastaks 800 miljonit tonni (Rouch, 2023: 6). Suurem osa jääb fossiilsel ressursil baseeruvaks, kuna taastuva tooraine alternatiividega ei ole võimalik, lähimatel aastakümnetel, kõiki traditsioonilise plasti funktsioone samaväärselt ja konkurentsivõimelise hinnatasemega asendada (Narancic & Connor, 2019).

Plastijäätmete loodusreostuse probleemiga tegelemise vajalikkuse üle algas laiaulatuslikum avalik diskussioon 1990-ndate aastate alguses. 1994. aastal jõustus ÜRO Mereõiguse konventsioon (UNCLOS), mille allkirjastasid 167 riiki ja EL. Dokumendis sõnastati merenduse õiguslik raamistik ja muuhulgas adresseeriti keskkonnaprobleemid ning riike kohustati rakendama meetmeid reostuse vältimiseks, vähendamiseks ja kontrollimiseks. (ÜRO, 1994) Merekeskkond on plasti jm prügistamise suhtes kõige tundlikum, sest reostuse tagajärgede likvideerimine on äärmiselt komplitseeritud, millest tulenevalt on ennetustegevus kriitilise tähtsusega (Amato, Paleari, Pohjakallio, Vanderreydt, & Zoboli, 2019). 2022. aastal kiitsid ÜRO liikmesriikide esindajad Nairobis Keskkonnaassambleel (UNEA-5) heaks ajaloolise resolutsiooni, mille eesmärk on tarbimisjärgse plasti keskkonnareostuse probleemi lahendamine ja 2024. aastaks rahvusvaheliselt õiguslikult siduva lepingu sõlmimine. Resolutsioon käsitleb kõiki plasti olelusringi etappe, sealhulgas selle tootmine, töötlemine, tarbimine, käitlus ja ringlusse võtmine. Dokumendis toodi välja riikide kohustus parandada käitlusprotsesse ning arendada ringmajandust. (Tiller, Booth, & Cowan, 2022)

Regulatiivse raamistiku loomisel on esmatähtis lähtuda jäätmehierarhia põhimõtetest. Plasti olelusringis on prioriteetide järjekord: jäätmetekke vältimine, korduskasutus, materjali mehaaniline ümbertöötlus, keemiline ümbertöötlus, energiatootmine ning täielikult välistatud peaks olema ladestamine. (vt joonis 6). (Olatayo, Matiwenga, & Marnewick, 2022)



Joonis 6. Plasti olelusringis prioriteetide hierarhia

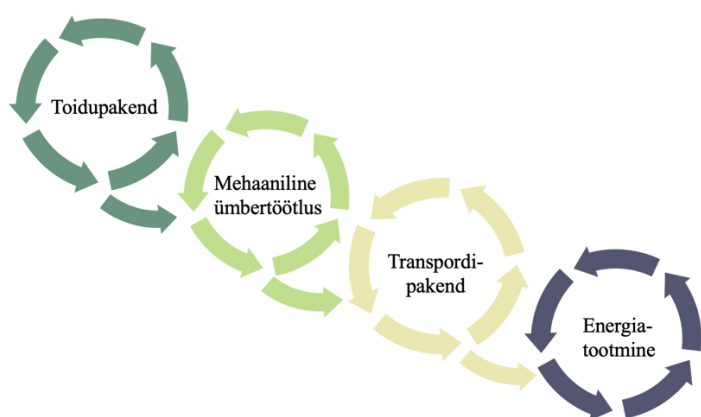
Allikas: Olatayo et al, 2022; autori koostatud

Mehaaniline ümbertöötlus on füüsikaliste protsesside - sortimine, purustamine, jahvatamine, pesemine ja ekstrudeerimine - läbiviimine tarbimisjärgse plasti muundamiseks

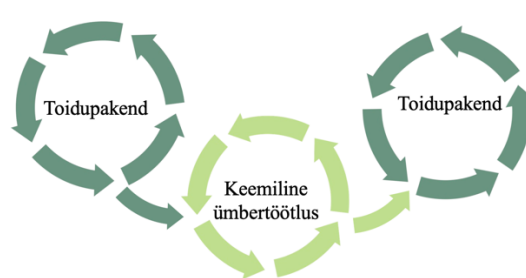
uute toodete sisendmaterjaliks. Tehnoloogia sobib enamjaolt homogeenise ja pigem puhta sekundaarse materjali töötlemiseks. Igal mehaanilise ümbertöötuse korral materjali kvaliteediomadused ja funktsionaalsus väheneb. (Alassali et al., 2021; Pfaendner, 2022)

Keemiline ümbertöötus on polümeeride muundamine monomeerideks, mida saab seejärel uuesti polümeriseerida primaarse toorainega samaväärsete kvaliteediomadustega plastiks. Lisaks võimaldab see peaaegu lõputut ringlusse võtmist, kuna lisandid, värvained ja heterogeense materjalivoo defektid eemaldatakse täielikult iga tsükliga (vt joonis 7). (Pinsky et al., 2019)

Plasti mehaaniline töötus



Plasti keemiline töötus



Joonis 7. Plasti olusringist lähtuv mehaanilise ja keemilise töötuse võrdlus

Allikas: Eriksen et al., 2019; Pinsky et al., 2019; autori koostatud

Valdav osa kvaliteetsest mehaaniliselt ümbertöödeldud plastmaterjalist tuleneb homogeensetest tööstuspakenditest, kuna nende käitlusprotsessi osalised on üldjuhul ettevõtted, kes on seadusest tulenevalt motiveeritud kasutatud pakendeid nõuetekohaselt üle andma. Lõpptarbijatelt kogutav sekundaarne pakendiplast on enamasti heterogeenne, mistõttu on selle mehaaniliseks ümbertöötuseks vähem tehnoloogilisi võimalusi, välja arvatud plastpudelite materjal polüetüleentereftalaat (PET). (Huysman jt, 2017)

Arvestades plastide valdkonnas tehtud aastatepikkust teadus- ja arendustööd, võiks eeldada, et kirjeldatud olusringi prioriteetide hierarhia järgimine on Lääneriikides laialdaselt rakendatud, kuid siiski on praktika komplitseeritum. Selleks, et EL-i lõpptarbijate poolt tekitatud sekundaarset pakendiplasti saaks mehaaniliselt ümber töödelda, oleks sisuliselt vajalik järeleandmiste tegemine pakendite omadustes ja funktsionaalsuses. (Brouwer, Velzen, Ragaert, & Klooster, 2020)

Toiduainetetööstuses on plastpakendid kriitilise tähtsusega toote deformatsioonide eest kaitsmisel ja toiduohutuse tagamisel. Kvaliteetne plastpakend võimaldab toidu säilivusaega pikendada, ilma või minimaalse säilitusainete kogusega, aidates vähendada toiduraiskamist. (Huang et al., 2019; Yan et al., 2022) Plastik sisalduvatel polümeeridel on molekulaarsed võrgustikud ja ristsidumine (polümeetrilised maatriksid), mis tagab pakendile kriitilise tähtsusega omadused: tugevuse, hapniku- ja niiskusebarjääri ning vastupidavuse. Sealjuures erinevatest plastidest koosnevad komposiit-pakendilahendused on sageli kõige paremate omadustega, mistõttu valdav osa tarbimisjärgsest pakendiplastist jääb heterogeenseks, sisaldades nii erinevaid plaste kui ka teisi võõriseid, näiteks paberist etiketid, kartong, biojätmed jm. Tegemist on madala kvaliteediga sekundaarse materjalivooga, mis on siiani peamiselt kasutatud energiatootmises või ladestatud prügilas. (Eriksen et al., 2019)

OECD andmetel tekib aastas kõige suuremas mahus plastijätmeid elaniku kohta Ameerika Ühendriikides 221 kg, Euroopas on keskmine 69 kg – sealjuures enamus tuleneb ühekordsete plasttoodete tarbimisest (OECD, 2022: 40). „Hinnangute järgi läheb majanduse jaoks kaotsi 95% plastpakendimaterjali väärtusest ehk 80–120 miljardit USD aastas pärast seda, kui materjali on kasutatud vaid korra väga lühikese aja jooksul.“ (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016: 26)

Ühekordsed plasttooted on peamine tarbimisjärgse sekundaarplasti tekkeallikas, mille jõudmine looduskeskkonda on käesoleva sajandi globaalne väljakutse (Narancic et al., 2019). „2016. aastal tekkis maailmas 242 miljonit tonni tarbimisjärgset sekundaarplasti, mis on 12% kõigist olmejätmetest. Sellest kogusest 45 miljonit tonni pärines Euroopast ja Kesk-Aasiast.“ (Kaza et al., 2018: 117) OECD andmetele tuginedes oli maailmas looduskeskkonda jõudnud plastijätmete kogus 2019. aastal 22 miljonit tonni ja 2060. aastaks prognoositakse reostava mahu kasvu 44 miljoni tonnini (OECD, 2022: 1). Looduskeskkonda jõudnud plastijätmetest 88% on põhjustatud makroplastide puudulikust käitlusest (OECD, 2022: 21). Ülejäänud kogus tulenes peamiselt inimtegevuse tagajärjel tekkivast mikroplasti, ehk kuni 5 mm läbimõõduga plastmaterjali osakeste, reostusest (Jin, 2022: 3). Seal hulgas on näiteks plastigraanulite logistika käigus tekkiv materjalikadu ning transpordisektoris teekattmaterjalidest, rehvidest ja mujalt eralduvad plastiosakesed (Andersson-Sköld et al., 2020). Samuti mikroplasti sisaldavate keemia- ja kosmeetikatoodete tarbimise tagajärjel või sünteetiliste kangaste pesemisest tulenev mikroplast reovees (Anagnosti et al., 2021).

Globaalset plastide olelusringi süsinikujalajälge hinnatakse 3,4% ülemaailmsest kasvuhooonegaaside heitkogusest (OECD-GHG, 2022). Ringmajanduse printsiipe rakendamata võib 2050. aastaks plasti olelusringist tulenev CO₂ emissioon küündida 15%-ni

globaalsest CO₂ emissiooni lubatud summaarsest kogusest (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016: 29). ÜRO Pariisi kliimakokkuleppe raames on 195 riiki võtnud kohustuse vähendada kasvuhooonegaaside emissioone ning saavutada süsinikuneutraalsus aastaks 2050. (ÜRO, 2015, artikkel 2) 2021. aasta maailma naftatoodang oli keskmiselt 90,3 miljonit barrelit päevas, millest plastitööstuse toorainena kasutati umbes 10%. Nafta ja selle saaduste töötlemine plastiks jt toodeteks on üks olulisi CO₂ emissiooni tekkepõhjuseid. (IEA, 2022: 329, 347)

Keskkonnaprobleemile saaks lahendusi otsida ringmajandusest. Erinevate teadustööde andmetel on ühe tonni sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmisega võimalik vältida keskmiselt 1,54 tonni CO₂-e emissiooni ning ühtlasi vähendada survet loodusvaradele (Jeswani jt, 2021: 7; Quantis, 2020: 5; Xayachak jt, 2023: 599). Kommertsialiseerimise faasis on järjest enam tööstuslikke süsinikdioksiidi sidumise tehnoloogiaid, mille panust globaalse emissiooni vähendamisse prognoositakse 2030. aastaks 125 Mt CO₂-e aastas (IEA, 2023). Püütud süsinikdioksiidi saab omakorda töödelda plastide tooraineks. Pikemas perspektiivis loob plastitööstus teistele suure süsinikdioksiidi emissiooniga tööstusharudele kõrge lisandväärtusega väljundi püütud CO₂ väärimisel uuteks toodeteks. (Tebbiche, Mocellin, Huong, & Pasquier, 2021) Samuti on plastitööstuses kasvutrendis fossiilse tooraine järkjärguline asendamine taastuva ressursiga, mis juba sisaldab atmosfäärist seotud süsinikdioksiidi (Moshood et al., 2022; Lee, 2016).

Ringmajanduse juurutamine plastitööstuses aitab vähendada süsinikdioksiidi heitkoguseid ning leevendada kliimamuutustest tingitud makromajanduslikke ja sotsiaalseid mõjusid. (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016) Plasti olelusringi keskkonnainnovatsioon on oluline kestliku majandusarengu tagamiseks. Ühtlasi on ringmajanduse juurutamisel era- ja avaliku sektori kaasinvesteeringuid soodustav mõju, sest sageli on eesmärgiks riigi haldusalasse jääva väljakutse lahendamine. Enamlevinud on koostöö jäätmekäitluse ja strateegiliste ressursside valdkonnas, aga ka elutähtsate teenuste osutamise tegevusaladel. Mastaapsed ringmajanduse projektid on sageli väga kapitalimahukad, mistõttu erasektori kaasamine maandab äririski ning üldjuhul parandab organisatsiooni konkurentsivõimet. (Tavana et al., 2022; Khawaja et al. 2021) Investeeringud tarbimisjärge materjali käitlus- ja ümbertöötusvaldkonnas on loomas järjest enam uusi ametlikke töökohti arengumaades ja kõrgema lisandväärtusega positsioone Lääneriikides (Repp et al., 2021). USA riiklikust ringmajanduse uuringu mõjuanalüüsist järeldus, et 1000 tonni plasti ringlusse võtmine loob kogu plasti olelusringi ulatuses 23,46 töökohta, töötaja kohta töötasu 1047,41 USD väärtuses ning tööjõumakse 139,76 USD (US Environmental Protection Agency, 2020: 8).

Hinnanguliselt 50 000 tonni sekundaarplasti ainult ümbertööstlustehase etapp loob töökohti umbes 30 inimesele. Tarbimisjärgsest sekundaarplastist energiatootmine või prügilas ladestamine on madala personalivajadusega, seevastu plastide ümbertöötlemine annab olulise panuse kõrgema lisandväärtusega töökohtade loomisse. (Ambrieres, 2019: 17) 2018. aastal Euroopa Komisjoni tellimusel uuriti ringmajanduse edendamise poliitika võimalikke mõjusid EL-i töajouturule ja majanduskasvule aastaks 2030. Uuringu raportis prognoositakse ringmajanduse juurutamisest tingitult EL-i SKT kasvuks kuni 0,5% aastaks 2030, mis tuleneb kõige enam muutustest tarbimisjärgse sekundaarse materjali käitluse ja autotööstuse valdkonnas. Sealjuures hinnatakse tööhõive kasvuks 0,3%, mis on 650 000 - 700 000 uut töökohta. EL-i plastitööstusele prognoositakse ringmajandusest tulenevalt kuni 5%-list töajoukasvu. (Cambridge Econometrics et al., 2018: 38-39)

Plastmaterjali olerusringi mõju majandusele ja keskkonnale kätkeb endas vastuolusid. Materjaliarenduse läbimurdele järgnenud vastutustundetu masstarbimine on kaasa toonud prügistamise, mis on inimkonna laiemate sotsiaalmajanduslike probleemide tagajärg (Eisenstein, 2021). Tarbimisjärgse plasti sattumine looduskeskkonda on andnud tõuke üleminekuks lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele ja muutnud kogu olerusringi ulatuses reformide läbiviimise vältimatuks (Brouwer et al., 2020; Keller et al., 2022). Hinnanguliselt oleks võimalik ennetada tarbimisjärgse plasti prügistamise tagajärjel looduskeskkonna reostust 2040. aastaks rohkem kui 80% ja vähendada riikide kulusid 70 miljardi USD ulatuses, sealjuures luua uusi töökohti ja vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni 25% (Fletcher et al., 2021: 13).

1.3. Euroopa Liidu plastitööstuse ringmajanduse hetkeolukord ja eesmärgid

Tööstuslike materjalide segmendis on plasti konkurentsieeliseks enamasti toodangu soodne hind ja lai funktsionaalsus. EL-i sekundaarplast konkureerib globaalsel turul soodsamast primaartoorainest valmistatud alternatiividega, mistõttu on ringmajanduslikud investeeringud EL-s pigem kõrge äririskiga. (Qureshi et al., 2020) „*Plastics Europe poolt 2021. aastal avaldatud sektori ülevaade ilmestab EL-i kliimapoliitika ühte olulist kitsaskohta, milleks on süsinikulekke oht ehk karmi kliimapoliitika mõjul tootmistegevuse liikumine EL-st välja. Alates 2016. aastast on EL-i primaarse plastitööstuse tootmismahud iga-aastaselt vähenenud, samal ajal on maailmas tootmismahud järjepidevalt kasvanud. Paraku ei tähenda see vähem plastijäätmeid Euroopas vaid rohkem kolmandatest riikidest importtoodangut, millel on suurem keskkonnamõju ning vähem läbipaistvust kvaliteedinõuetele vastavuses.*“ (Laanemets, 2022: 1; Plastics Europe, 2021: 12)

Euroopa Komisjon avaldas EL-i Ringmajanduspaketi ja tegevuskava strateegia esimese versiooni 2015. aastal ja 2020. aastal uuendatud dokumendi, milles sõnastati ringmajanduse laiem eesmärk vähendada survet loodusvaradele ning luua jätkusuutlikku majanduskasvu ja töökohti. Üks olulistest fookusvaldkondadest on plastide olelusringis jäätmetekke vähendamine ning ringmajandusele ülemineku kiirendamine. (EL COM 2020, 2020). EL+3 riigis tekkinud tarbimisjärgse sekundaarplasti kogumaht 2020. aastal oli 29,5 miljonit tonni, millest keskmiselt 35% võeti ringlusse, 42% taaskasutati energiatootmiseks ning ülejäänud 23% ehk 6,9 miljonit tonni ladestati prügilas (Plastics Europe, 2022: 48). Plastics Europe andmetel pärines 2018. aastal keskmiselt vaid 5% pakendis olevast plastist ringlusse võetud allikatest (Plastics Europe, 2020: 57). 2018. aastal võttis Euroopa Komisjon vastu Plasti Strateegia (EL Plast Strateegia, 2018) ja Euroopa Parlamendi ning Nõukogu pakendi ja pakendijäätmete direktiiviga kehtestati liikmesriikidele kohustus hiljemalt 2025. aasta 31. detsembriks ringlusse võtta 50% tarbimisjärgsest pakendiplastist ja hiljemalt 2030. aasta 31. detsembriks juba 55% tarbimisjärgsest pakendiplastist (94/62/EC, 1994, Art 6). Lisaks kehtestati 2022. aastal sekundaarse plasti minimaalne kohustuslik sisalduse määr plastpakendites aastaks 2030 ja 2040 (vt tabel 1) (EL COM 2022/677, Art 7).

Tabel 1

Ringlusse võetud materjalide sisalduse kohustuslik määr plastpakendites

Plastpakend	2030	2040
Plast joogipudel, polüetüleentereftalaat (PET)	30%	65%
Kontaktitundliku toote pakend (toidu, kosmeetika jm)		50%
PET materjalist pakend	30%	
Teised plastidest pakendid	10%	
Kõik muud plastpakendid	35%	65%

Allikas: EL COM 2022/677, Art 7; autori koostatud

Kirjeldatud regulatiivne raamistik loob plastpakendite väärtusahelas eelduse sekundaarse tooraine nõudluse kasvuks, mis aitab maandada vastavate investeringute tururiski. Analooget metoodikat plaanitakse kohaldada ka EL-i autotööstuses jt sektorites, milles ringmajanduslike praktikate juurutamisel on tehnoloogilised eeldused, kuid puudub investeerimiskindlus ning nõudluse prognoositavus. (Schneider, 2020)

EL-i eelarvet rahastatakse üle 90%-i ulatuses omavahenditest. 2021. aasta 1. jaanuarist hakkas kehtima uus omavahendite kategooria, mille kohaselt tuleb igal

liikmesriigil EL-i eelarvesse tasuda 800 eurot ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti tonni kohta (EL Omavahend 2020/2053, 2020, artikkel 2). 2021. aasta tarbimisjärgse pakendiplasti ringlusse võtmise prognooside kohaselt tasusid liikmesriigid EL-i eelarvesse kokku 5,847 miljardit eurot (vt lisa A). 2024. aastal tehakse tasaarvestus prognooside ja tegelike summade vahel. (Riigikantselei, 2023) Uus omavahendite kategooria baseerub „saastaja maksab“ (ingl. k. „polluter pays“) põhimõttel, kuid samas ei ole otseselt seotud ühegi ringmajanduse investeeringuid edendava kuluartikliga ning sisuliselt on tegemist EL-i eelarve kulude kattega. Sellele ja mitmetele teistele kriitilistele aspektidele viitab Centres for European Policy Network poolt koostatud raport, milles kaheldakse ka EL-i tänase plastpakendite statistika vastavuses reaalsele mahtudele. Ühtlasi järeldub, et võttes arvesse tarbimise üldist kasvu, siis vähemalt käesoleva kümnendi lõpuni uus omavahend sisulist keskkonnaeesmärki ei täida. (CEP, 2021)

Seni on pakendite keskkonnamõju vähendamiseks rakendatud laiendatud tootjavastutuse süsteemi (EPR), mis kohustab pakendite turule tootjaid tagama enda kaubaga kaasnenud tarbimisjärgsete pakendite kogumine ja ringlusse suunamine. Ettevõtte saab antud kohustust täita ise või anda volitused tootjavastutusorganisatsioonile. EPR süsteemi rakendamise üks edukamaid näiteid on Saksamaa, pärast rakendamist 1991. aastal, tõestati lühikese ajaga lahenduse efektiivsust, sest 1998. aastaks oli riigis pakendite tarbimine elaniku kohta vähenenud 13,4%. (OECD, 2001: 11) Hispaania, Holland, Itaalia, Prantsusmaa ja Rootsi on rakendanud diferentseeritud EPR tasusid, mille eesmärk on suunata tootjaid pakendite valikul eelistama jätkusuutlikke materjale, mis on, kas korduskasutatavad või ringlusse võetavad. (Sun et al., 2022) Lisaks on mitmetes EL-i liikmesriikides rakendatud erinevaid materjali keskkonnamõjust lähtuvaid pakendite tasusüsteeme (Wts Global, 2023).

EL-s puudub tarbimisjärgse plasti ringlusse võtmise sisulise tõhususe hindamiseks laiapõhjaline standard, millest tulenevalt on seni ainus ametlik mõõdik statistiline. EL-i liikmesriikide analüüsil selgus, et kõige olulisem ringmajanduse edendamise eeldus on kapitaliseeritus. Mida suuremad on käitlusjaamadesse ja materjalide ümbertööstlustehastesse tehtud investeeringud, seda kõrgem on tarbimisjärgse plasti ringlusse võtmise tase riigis. Lisaks on jõutud järeldusele, et ringmajanduse edendamisel ei seisne loodav väärtus ainult jäätmete ja heitkoguste vähendamises, vaid olulisem on kõrgema lisandväärtusega tootmistegevuse mõju majanduskasvule. (Robaina, Murillo, Rocha, & Villar, 2020) Salmenpera (2021) uuris Soome, Rootsi ja Austria näitel lineaarselt majandusmudelilt ringsele üleminekut mõjutavaid tegureid ning järeldas, et väljakutsed on valdavalt sarnased. Arengut mõjutab kõige enam ringmajanduse kompleksus, mis nõuab süsteemset

keskkonnahoiu põhimõtete juurutamist ja praktikasse rakendamist erinevatel tasanditel: riiklik tööstus- ja jäätme poliitika, infrastruktuuri arendused, era- ja avaliku sektori koostööprogrammid ning investeeringud ja haridus ning keskkonnateadlikkus (Salmenpera, 2021). Eelnimetatule lisaks mõjutab üleminekut ka teadus- ja arendustegevus ning digipädevus. 2023. aastal avaldatud teadusartiklis analüüsiti seitsme EL-i liikmesriigi ja Suurbritannia tarbimisjärgsete sekundaarplastide tekkekoguseid ning riigi digitaliseerituse taseme omavahelist seost. Uuringu valimisse kuulusid EL-i liikmesriikidest: Hispaania, Holland, Itaalia, Poola, Prantsusmaa, Rootsi ja Saksamaa. Tulemused näitasid, et digitaalsete lahenduste rakendamisel on jäätmeteket ennetav ja kontrolliv mõju, millega kaasneb kõrgem ringlusse võtmise määr. (Khatami et al, 2023: 9) Belgias uuriti peamiselt väikese- ja keskmise suurusega, erinevatest valdkondadest, ettevõtete töötajaskonna hoiakuid ja reaalselt valmisolekut panustada plasti ringmajanduse edendamisse. Küsitlusele vastanutest analüüsiti 637-e ettevõtte tagasisidet, ning järeldustest selgus, et 91% vastanute hoiak muutuse vajalikkuse osas oli positiivne, 83% protsenti nõustus, et plasti ringlusse võtmisel on nende organisatsioonil vastutus ning 76% oli veendunud, et plasti ringlusse võtmine pakuks nende organisatsioonile suurt rahulolu. (Khan et al, 2020: 4, 8)

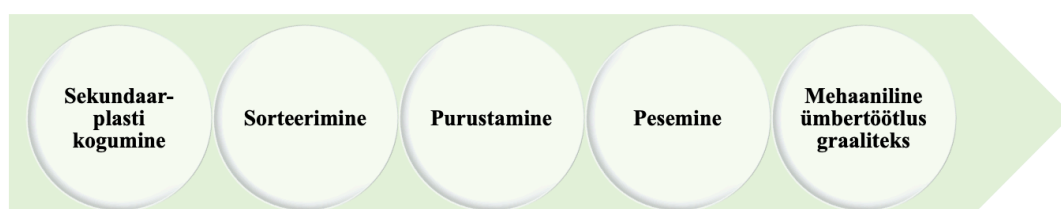
2020. aastal EL+3 riigi tarbimisjärgsest sekundaarplastist 12 miljonit tonni kasutati energiatootmiseks (Plastics Europe, 2022: 48), seda peamiselt kolmel põhjusel: materjal on mehaaniliseks ümbertöötamiseks sobimatu, energiatootmises kasutamine on soodne ja materjali energeetiline (kütte)väärtus on kõrge. Kahe peamise plastpakendimaterjali tooraine Polüetüleen (PE) ja Polüpropüleen (PP) energeetilist väärtust on hinnatud vastavalt 46,3 MJ/kg ja 46,6 MJ/kg. (Nagy & Kuti, 2016: 234) EL-s on vastu võetud otsus saavutada kodumajapidamisest tulenevate jäätmete ladestamine alla 10%-i aastaks 2035 (Pakendite ja pakendijäätmete direktiiv 94/62/EÜ, 1994). EL+3 riigi lõpptarbivate poolt tekitatud sekundaarplastist kogumahust 23% ehk 6,9 miljonit tonni ladestati prügilas (Plastics Europe, 2022: 48). Jäätmehierarhia tuginedes ja majanduslikest stiimulitest lähtuvalt peaks kõige kõrgem hind olema tarbimisjärgse materjali prügilas ladestamisel, seejärel energiatootmisel ning kõige väiksem ringlusse võtmisel (Olatayo et al., 2022).

EL-i üldine tendents ja regulatiivne raamistik lähtub jäätme hierarhia põhimõtetest soodustades ökodisaini, jäätmetekke vältimist ja korduskasutuse edendamist. 100%-line tarbimisjärgse plasti ringlusse võtmine oleks ebarealistlik eeldus, seda tulenevalt käitlussüsteemide tehnoloogilistest piirangutest ja plasti olelusringi osapoolte karakteristikast. EL-s on valdkonna eksperdid hinnanud, et ringlusse võtmata tarbimisjärgsest plastist kuni

70% saaks keemilise ümbertöötuse, pürolüüsi, abil uuesti tooteks töödelda. (Sakthipriya, 2022: 8; Russ et al. 2020; Plastics Circularity, 2023)

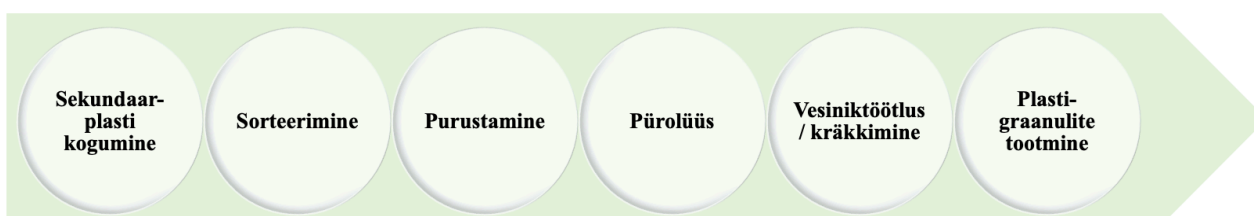
1.4. Keemilise ümbertöötuse mõju plasti olelusringile ja maailmapraktika

Sekundaarplasti mehaaniline töötus on maailmapraktikas laiaulatuslikult rakendatud üle 30 aasta, keemilise ümbertöötuse võimalusi on hakatud põhjalikumalt uurima viimasel kümnendil. Perioodil 2010-2019 esitati EL-s ja Ameerika Ühendriikides kokku suurusjärgus 9000 patenditaotlust plasti keemilise ja bioloogilise ümbertöötuse valdkonnas, mida on kaks korda rohkem kui samal perioodil mehaanilise ümbertöötuse tegevusalal. (Euroopa Patendiamet, 2021) Keemilise ümbertöötuse protsessi eristab mehaanilisest tehnoloogiline keerukus ning materjali olelusringi tsüklite arv (vt joonis 8 ja 9).



Joonis 8 Sekundaarplasti mehaanilise töötuse protsessi etapid toormest tooteni

Allikas: Vollmer et al., 2020; autori koostatud



Joonis 9 Sekundaarplasti keemilise töötuse protsessi etapid toormest tooteni

Allikas: Vollmer et al., 2020; autori koostatud

Keemiline ümbertöötus on üldjuhul energiamahukam, mille keskkonnamõju aitab leevendada taastuvenergia kasutamine. Pürolüüsi peamine eelis seisneb asjaolus, et sisendmaterjaliks sobib heterogeenne ning madala kvaliteediga sekundaarplast, mis loob eelduse plasti olelusringi pikendamiseks mitmeks tarbimistsükliks. Keemilise ümbertöötlustehnoloogiaga on võimalik toota sekundaarsest materjalist primaarse toorainega kvaliteedilt samaväärset saadust. (Pinsky et al., 2019)

Keemiline ümbertöötus on protsess, mis kasutab lähtematerjali töötamiseks rohkem kui lihtsalt mehaanilisi või füüsikalisi protsesse selleks, et toota uuesti algmaterjali

monomeerimolekule. Sekundarplasti keemilise ringlusse võtmise tehnoloogiaid on mitmesuguseid, millest tulenevalt leiab teaduskirjandusest sama termini kohta erinevaid tõlgendusi. Alljärgnevalt on lühike ülevaade enamlevinud klassifikatsioonist. (Ramesohl et al., 2020)

Pürolüüs ehk termolüüs on termokeemiline protsess, mille käigus polümeerid lõhustatakse temperatuuril üle 300 kraadi Celsiuse järgi, ilma hapniku juurdepääsuta, mis tähendab, et tegemist ei ole põletamisega. Sõltuvalt protsessi tingimustest toodetakse, kas sünteetilist toorõli/pürolüüsiõli, pürolüüsigaasi või vahasid, mida saab täiendavalt töödelda ja rafineerida, et toota kõrgema lindväärtusega kemikaale, nagu keemiatööstuses ning plastitööstuses kasutatavad polümeerid. (Ramesohl et al., 2020: 10)

Katalüütiline krakkimine on termokeemiline protsess, milles kasutatakse täiendavat katalüsaatorit, termilise lagunemisega võrreldes moodustub rohkem aromaatsid ühendeid, mis mõjutab toodete spektrit. (Kholidah et al., 2018)

Hüdrokrakkimine on termokeemiline, katalüütiline protsess vesiniku lisamisega. Tekivad peamiselt küllastunud ja küllastumata ning aromaatsed süsivesinike ühendid. Protsessi võib läbi viia ka pärast pürolüüsi, et eemaldada heteroatomid, lisandid ja koks. (Musayeva, Yanık, Ürüt, & Özel, 2017)

Gaasistamine on autotermiline protsess, ilma välise energiavarustusega, osalise oksüdeerimise teel, kasutades hapnikku, auru või süsivesinike segusid saadakse polümeerist süngaas (ehk sünteesgaas) ja süsihappegaas. Sõltuvalt protsessi tingimustest ja lähteainest sisaldab saadusgaas plastitööstuses toorainena kasutatavaid süsivesinikke. (Madanikashhani, Vandewalle, Meester, Wilde, & Geem, 2022)

Solvolüüs on depolümeerisatsiooniprotsess, milles kasutatakse spetsiaalseid solvente ehk lahusteid, et toota monomeere. Kasutatakse peamiselt plastpudelite materjali (PET) ümbertöötamiseks. Teadusartiklites nimetatakse sageli lahustite baasil juhivat protsessi keemiliseks ümbertöötamiseks, kuid tegemist on füüsikalise meetodiga. (Naviroj, Treacy, & Urffer, 2019).

Saksamaal läbiviidud sekundaarplasti keemilise ümbertöötuse erinevate tehnoloogiate võrdlusanalüüsil selgus, et madala kvaliteediga heterogeense materjali ringlusse võtmiseks on tõhusaim pürolüüs. Teiste tehnoloogiate puhul ilmnes, et protsessi sisendina kasutatavad tarbimisjärgsed plastid peavad olema pigem homogeenised ja eeltöödeldud (vt tabel 2).

Tabel 2

Mehaanilise ja keemilise ümbertöötamise sobivus homogeensete ja heterogeensete tarbimisjärgsete plastide töötlemisel

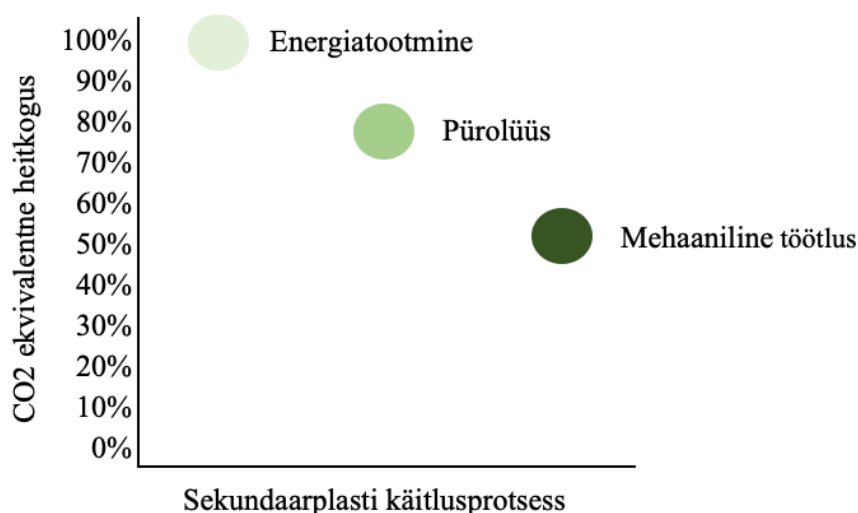
	Mehaaniline ümbertöötus	Keemiline ümbertöötus (pürolüüs)
Homogeensed polümeerid PE, PP, PS, PET, PVC		
Homogeensed polümeerid PE, PP, PS, PET, PVC + Lisaained		
Heterogeensed polümeerid PE, PP, PS, PET, PVC		
Heterogeensed polümeerid PE, PP, PS, PET, PVC + Lisaained		

Ümbertöötusel kvaliteet stabiilne
 Ümbertöötusel kvaliteet ebastabiilne
 Ümbertöötusel kvaliteet valdavalt ebapiisav

Allikas: Ramesohl et al., 2020: 8, autori koostatud

Viimasel kümnendil on sekundaarplasti ümbertöötustehnoloogiaid võrreldud veel mitmete teadustööde raames ning valdavalt jõutud samale järeldusele, et heterogeense tarbimisjärgse plasti ümbertöötamiseks on kõige tõhusam pürolüüs. Teistel tehnoloogiatel on enamasti väiksem keskkonnamõju, kuid madala kvaliteediga sekundaarplasti ümbertöötamise probleemi need ei lahenda, sest sisendmaterjalina sobib enamasti tooraine, mida saab ka mehaaniliselt ringlusse võtta. (Alcazar-Ruiz et al., 2021; Grigore, 2017) Pürolüüs on rakendatav nii fossiilsel kui ka bioloogilisel ressursil baseeruva materjali töötlemiseks (Zhang, Shaoping, Zhao, & Liu, 2007). EL-i direktiivide kohaselt kehtivad pürolüüsile jäätme põletuse keskkonnanõuded ning eelsorteeritud ja purustatud sekundaarne plast on klassifitseeritud kui jäätmematerjal, mis pürolüüsi järgselt tuleb registreerida Euroopa Parlamendi ja Komisjoni määruse REACH, (REACH 1907/2006/EÜ, 2006) kohaselt nõuetele vastavaks tooteks. REACH-i eesmärk on saaduse keemiliste ainete omaduste kindlakstegemine ning inimeste tervisele ja keskkonnale ohutus mõjus veendumine. Sekundaarplasti pürolüüsi saadusel, kasutatuna keemia- ja plastitööstuse toorainena, hetkel rahvusvaheline tootestandard puudub. Saaduse tootena registreerimine, jäätmete ringlusse võtmise tõendamine vastavalt EL-i Jäätmedirektiivile (Jäätmedirektiiv 2008/98/EÜ, 2008) toimub projektipõhiselt. (Qureshi et al., 2020) Lisaks on EL-i tasandil veel lõpuni reguleerimata, millised massibilansi arvutusmeetodid sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmiseks kehtestatakse (Hann, Bapasola, Fletcher, Lee, & Long, 2022).

Keemiline ümbertöötus monomeerideks ja seejärel uuteks polümeerideks loob toodetesse rakendatuna kõrget lisandväärtust, vähendades CO₂ emissiooni ja esmase tooraine vajadust (Meys et al., 2020). Pürolüüsi peamine kriitiline aspekt seisneb protsessi süsinikuheitmete osakaalus, mis on küll väiksem kui energiatootmisel, kuid suurem võrreldes mehaanilise tööstustehnoloogiaga (vt joonis 10) (Vollmer et al., 2020).



Joonis 10. Sekundaarplasti käitlusvõimaluste ja töötlemistehnoloogiate CO₂-ekvivalentne heitkogus, suhtelisest heitkogusest, mis on indekseeritud energiatootmisele

Allikas: Vollmer et al., 2020: 15409; autori koostatud

Olelusringi hindamine teeb kindlaks tootesüsteemi ja keskkonna vastastikuse mõju ning võimaldab võrrelda erinevaid tarbimisjärgse plasti käitluslahendusi. (Pellengahr, et al., 2023; Talve & Pöld, 2005). LCA põhimõtetest lähtuvalt on sekundaarplastist energiatootmise negatiivne keskkonnamõju väiksem võrreldes prügilas ladestamisega, millel puudub igasugune ressursside asendamise efekt (Ambrieres, 2019). Sõltuvalt tarbimisjärgse materjali sorteerimise kvaliteedist, sisaldavad sekundaarsed materjalivood ka võõrseid. Ümbertöötuse keskkonnamõju hindamisel on oluline arvesse võtta protsessist ja võõristest tulenevat kadude määra. Müügi pakendite puhul enamjaolt etikette, aga ka teisi materjale nagu kartongi, biomaterjale jm. (Meys et al., 2020) Samuti võivad plastpakendid sisaldada erinevaid mineraalseid täitematerjale nagu talk ja kaltsiumkarbonaat, mida lisatakse tootmise etapis pakendi omaduste parandamiseks (Civancik-Uslu, 2019). Erinevate teadusuuringute põhjal on analüüsitud ühe tonni peamiselt kasutatava pakendiplasti HDPE, LDPE ja PP realistlikku kadude määra. Hinnanguliselt on keemilise töötuse protsessis materjalikadu 15% kuni 25%, mis on sama suurusjärgi kui mehaanilisel töötusel. Pürolüüsi protsessis võõrised ei mõjuta

oluliselt saaduse kvaliteeti, kuid tegemist on kadude hulka kuuluva ressursiga, mistõttu on oluline, et sisendina kasutatakse eelsorteeritud tarbimisjärgset plasti, mida mehaaniliselt ümber töödelda ei saa. (Meys et al., 2020: 8)

Järgnevalt on analüüsitud plasti olelusringi keskkonnamõju koos keemilise ümbertöötuse, pürolüüsi, etapiga. 2020. aastal koostas ettevõtte Quantis heterogeense tarbimisjärgse pakendiplasti ümbertöötuse LCA võrreldes erinevaid käitlusvõimalusi ja Euroopa juhtiva plastide ümbertöötaja Plastic Energy pürolüüsitehnoloogia rakendamise mõju. Kirjeldatud LCA raamistik on magistritöö analüüsil kõige relevantsem, kuna hindamine baseerub ISO14040/14044 standardil, hindamisel on kasutatud Euroopa Komisjoni (2013) poolt ametlikult tunnustatud keskkonnamõju (*ingl. k. Environmental Footprint (EF)*) meetodit JRC-IES 2017, mis vastab keskkonnasõbralike toodete ühtse turu nõuetele (*ingl. k. Single Market for Green Products (SMGP)*). Hindamisel võrreldi CO₂ emissiooni erinevust heterogeense tarbimisjärgse pakendiplasti pürolüüsil ja energiatootmisel, EL-is. Lisaks on LCA-s selgelt välja toodud, et töötusprotsessides kasutatavate energiakandjatena on arvestatud EL-i fossiilse ja taastuvenergia tarbimise keskmist näitajat 2020. aastal. Protsessi sisendina kasutatud tarbimisjärgsed pakendiplastid pärinevad kuni 1000 km raadiuselt ning toormena on arvestatud EL-is eelsorteeritud heterogeensete tarbimisjärgsete pakendiplastide keskmise väärtusi. Tulemused võtavad arvesse ka primaartooraine asendamist. Hindamise ühik (*ingl. k. functional unit*) on 1 kg lõpptarbijatelt kogutud, heterogeenseid pakendiplaste, täpsemalt LDPE materjalist, millest üldjuhul valmistatakse kilepakendeid. (Quantis, 2020: 2, 3, 7) Tabelis 3 on esitatud hindamistulemused 1 kg keemilise ümbertöötuse ja energiatootmise kg/CO₂ ekvivalendi võrdluses.

Tabel 3

Ühe kilogrammi heterogeense tarbimisjärgse plasti kg/CO₂ ekvivalenti keemilise ümbertöötuse ja energiatootmise võrdluses

Ühik	Heterogeense sekundaarplasti keemiline ümbertöötus pürolüüsil	Heterogeenselt sekundaarplastist energiatootmine
kg/CO ₂ ekvivalenti	0,55	1,60

Allikas: Quantis 2020: 4, autori koostatud

LCA teises etapis hinnati ka keemiliselt ja mehaaniliselt ümbertöödeldud sekundaarplasti saaduse ning primaartoorainest 1 kg kilematerjali (LDPE graanuli) tootmise keskkonnamõju: kg/CO₂ ekvivalenti (vt tabel 4).

Tabel 4

Primaartoorainest ja keemiliselt ning mehaaniliselt ümbertöödeldud saadusest ühe kilogrammi kilematerjali (LDPE graanuli) tootmise kg/CO₂ ekvivalenti võrdlus

Ühik	Esmasest naftasaadusest 1kg LDPE graanuleid	Heterogeense sekundaarplasti pürolüüsi saadusest toodetud 1kg LDPE graanuleid	Mehaaniliselt ümbertöödeldud sekundaarplastist toodetud 1 kg LDPE graanuleid
kg/CO ₂ ekvivalenti	1,9	0,86	-0,45

Allikas: Quantis, 2020: 5, autori koostatud

LCA tulemustest järeldus, et keemiliselt ümbertöödeldud plasti CO₂-e emissioon on suurem kui mehaanilise protsessi läbinud materjalil, kuid üle 50% väiksem kui primaartooraine kasutamisel. Keemilise ümbertöötamise keskkonnamõju aitab vähendada taastuvenergia kasutamine, mida antud uuringu puhul ei olnud arvesse võetud. (Quantis, 2020: 5)

Sarnaste tulemusteni jõuti ka 2020. aastal Manchesteri Ülikoolis läbiviidud teadustöös, milles analüüsiti pürolüüsi tehnoloogia CO₂-e emissiooni. Järeldustest selgus, et pürolüüsiga vähendatakse 57-61% CO₂-e emissiooni võrreldes tarbimisjärgsest plastist energiatootmisega. Ühtlasi leiti, et ühe tonn keemiliselt ümbertöödeldud plasti CO₂-e emissioon on 2,3 tonni väiksem kui primaartoorainest valmistatud plastil. (Jeswani et al., 2021: 7)

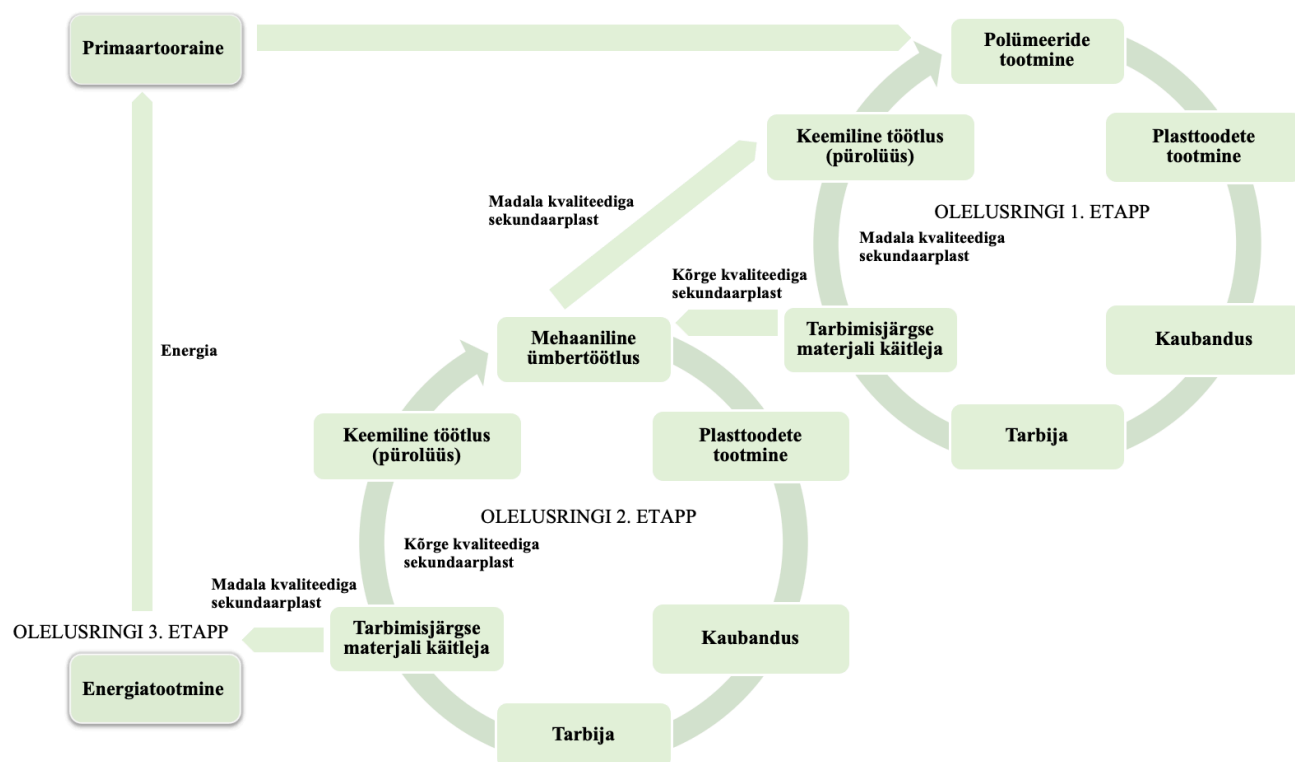
Austraalias läbiviidud plasti ümbertöötamise praktikate analüüsil leiti, et ühe tonni tarbimisjärgse plasti pürolüüs ja saaduse rakendamine keemia- või plastitööstuses võimaldab vältida 1,29 tonni CO₂-e emissiooni võrreldes primaartooraine kasutamisega (Xayachak jt, 2023: 599).

Euroopa Komisjoni tellitud ja Joint Research Centre poolt läbiviidud tarbimisjärgse plasti taaskasutamise keskkonna ja majanduslike mõjude hinnangus jõuti järeldusele, et heterogeensete tarbimisjärgsete plastide keemilise ümbertöötamise mõju CO₂-e emissioonile on 40-50% väiksem kui energiatootmisel (Garcia-Gutierrez et al., 2023: 73).

Kirjeldatud LCA-d annaksid CO₂ emissiooni muutuse võrdluseks täpse aluse ainult juhul kui olelusringi hindamise ulatus oleks identselt määratud. Toodud näidetes tulemused võtavad arvesse esmase primaartooraine asendamist ja enamasti on süsteemi piirid nn hällist väravani (*ingl.k. cradle-to-gate*), kuid hindamistulemused sõltuvad ka geograafilisest asukohast jpm. Siiski annavad LCA näited kinnitust, et ringmajanduse juurutamine ja keemilise ümbertööstehnoloogia integreerimine vähendab plasti olelusringi keskkonnamõju märkimisväärselt. Sealjuures jätkusuutlik lahendus baseerub erinevate tehnoloogiate kombineerimisel (Judl, Horn, & Karppinen, 2023). Juurutades kombineeritud lähenemist, koos maksimaalse tarbimisjärgse materjalivoo sorteerimiseefektiivsusega, oleks EL-s 15-e enimtarbitud plastipolümeeri olelusringis hinnanguline täispotentsiaal CO₂-e emissiooni vähendamiseks 73% ehk u 200 Mt/CO₂ (Schwarz et al., 2021: 341).

Pürolüüsitehaseid on võimalik rajada eraldiseisvalt või integreerida olemasolevatesse polümeeride tootmiskompleksidesse, mis suudavad vastu võtta nii sekundaar- kui ka primaartooraineid. Olemasolevasse polümeeritööstuse protsessi eraldiseisva pürolüüsi üksuse integreerimise korral suunatakse sekundaarne tooraine jätkutöötlemiseks primaartoorainega samasse tootmisprotsessi. Plasti olelusring koos keemilise ümbertööstuse etapiga on esitatud alljärgneval joonisel (vt joonis 11). (Russ, Gonzalez, & Horlacher, 2020)

OLELUSRINGI ALGUSPUNKT



Joonis 11. Plasti olelusring koos keemilise ümbertööstuse etapiga

Allikas: Russ et al., 2020; autori koostatud

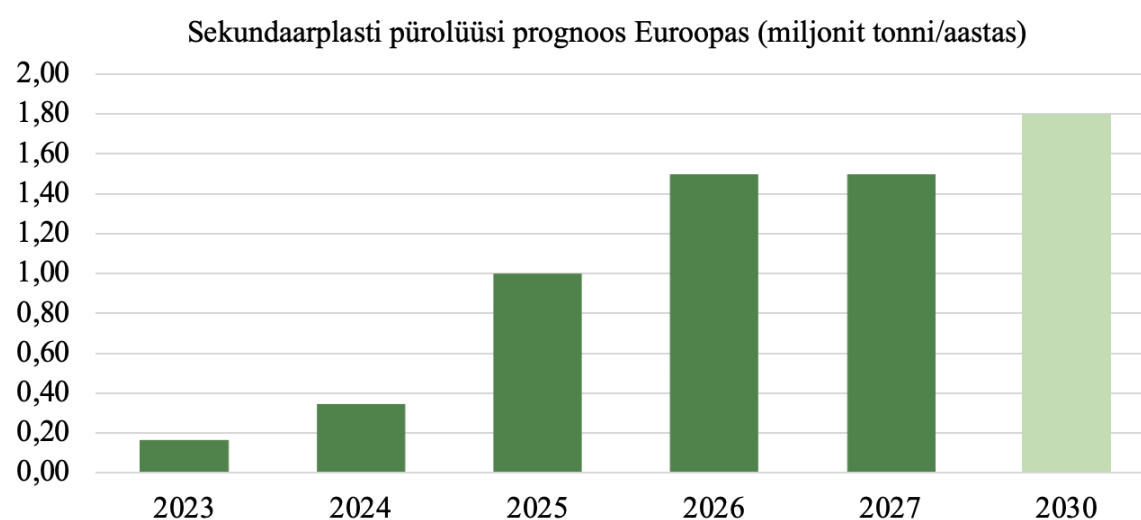
Massibilansi põhimõte võimaldab integreeritud protsessis jälgida sisendina kasutatava sekundaarse tooraine ja protsessi järgselt turustatava ümbertöödeldud materjali õiglast kogust. Selleks, et tagada keemiliselt ümbertöödeldud sekundaarplasti korrektne massiarvestus ja turustamine vastavalt realselt töödeldud sekundaarplasti mahule, on näiteks Euroopa turul kõige enam rakendatud ISCC PLUS sertifikaati. Saksamaal väljatöötatud Rahvusvaheline Jätkusuutlikkuse ja Süsiniku Sertifitseerimise süsteemi sertifikaat ISCC PLUS annab selged juhised ning kehtestab tingimused, millistel tohib sekundaarse päritoluga toorainet kasutada primaartoorainega samas väärtusahelas. Ühtlasi kehtestab sertifikaat väärtusahela jälgitavuse ja tõenduspõhisuse nõuded. Sertifikaati omavat ettevõtet auditeeritakse iga-aastaselt, vastavat tunnustust ja õigust omava audiitorfirma poolt. (ISCC, 2022) Sertifitseeritud ja tõenduspõhist massibilansi aruandlusmetoodikat on aastaid rakendatud metsandussektoris, põllumajanduse valdkonnas, samuti rakendatakse seda plasti mehaanilise töötuse väärtusahelas (Hinkes, 2020).

Sekundaarsel toorainel baseeruva pürolüüsisaaduse kommertsialiseerimisel on oluline produkti kvaliteet. Plastpakendid sisaldavad valdavalt polüolefiine, mille pürolüüsi saaduses sisalduvad parafiinid ja erinevad süsivesinikud annavad tootele kõrge lisandväärtuse ja konkurentsivõimelise turuhinna. (Vollmer et al, 2020; Qureshi et al., 2020) Keemilise ümbertöötuse tehaste ökonomika võib olla väga konkurentsivõimeline. Plasti konventsionaalse pürolüüsitehase uusinvesteeringu tasuvusanalüüsil on leitud, et majanduslikult kasumliku äritegevuse saavutamiseks peaks sekundaarplasti töötuskogus olema vähemalt 70 000 tonni aastas (Larrain et al., 2020: 11). Kommertsialiseerimise faasis on ka järjest enam pürolüüsi tööstusinnovatsioonil baseeruvaid tehnoloogiad. Näiteks Belgias PlastPyro arendusprojektis kasutatakse katalüsaatorina tsingisulamit ning tasuvusanalüüsil hinnati tehnoloogia kommertsialiseeritavaks kui sekundaarplasti maht on vähemalt 40 000 tonni/aastas (Reidewald, Patel, Wilson, Santos, & Sousa-Gallagher, 2021: 705).

IDTechEx prognoosi kohaselt globaalselt sekundaarplasti keemilise töötuse tehased võtavad aastaks 2033 ringlusse üle 20 miljoni tonni tarbimisjärgset plasti. See on märkimisväärne kogus, kuid nõuab mastaapseid investeeringuid ja tõhusat koostööd plasti olemusringi ulatuses. (IDTechEx, 2022) GMI Global Markets Insights andmetel oli 2022. aastal sekundaarplasti pürolüüsi, erinevate tootesegmentide, globaalne turuväärtus 208 miljonit USD ning küündib aastaks 2032 tasemele 1,02 miljardit USD (GMI, 2023).

Argus Media poolt koostatud prognooside kohaselt kasvab keemilise ümbertöötuse, pürolüüsi, maht Euroopas (EL+3, Island, Türgi) 2026. aastaks 1,5 miljoni tonnini (vt joonis

12) (Collins, 2023: 4). Muutustel saab olema arvestatav mõju sekundaarplasti ümbertöötluusele, siiski ainuüksi tarbimisjärgse pakendiplasti ringlusse võtmata kogused on täna EL-is üle 8 miljoni tonni, millele lisaks veel miljoneid tonne muud sekundaarplasti (vt Lisa A). Samaks aastaks, koos pürolüüsi tootmisvõimsuste hüppelise kasvuga, prognoositakse ka tarbimisjärgse plasti hinnatõusu. Sekundaarse plastitooraine turul on olnud väga suur hindade volatiilsus viimased kümmekond aastat, jäädes vahemikku 0-360 eurot/tonn (Garcia-Gutierrez et al., 2023: 64).



Joonis 12. Euroopa sekundaarplasti pürolüüsi tootmismahu prognoos

Allikas: Collins, 2023: 4, autori koostatud

Euroopas on kõige enam on sekundaarplasti keemilise töötluuse projekte käivitatud Hollandis, millele järgneb Saksamaa. Vastavate investeeringute maht on suur ka Belgias, Prantsusmaal, Hispaanias ja Suurbritannias. Kõik arvestatava tootmisvõimsusega tehased on Euroopa suurimate keemia- ja plastitööstusettevõtete materjalitootjate kaasomandis või seotud pikaagsete toorme ostulepingutega (vt joonis 13). Lisaks otsitakse järjepidevalt uusi projekte, et tagada sekundaarsel toorainel baseeruv toodangumaht vastavalt turu ootustele ja EL-i sihtmääradele. (Collins, 2023)

Euroopa suurimad plastitööstuse toormetootjad ja nende sekundaarplasti keemilise töötamise strateegilised partnerid									
									
									
									

Joonis 13. Euroopa keemia- ja plastitööstuse toormetootjad (esimene rida) ja nende poolt kaasomandis või pikaajaliste toorme ostulepingutega seotud sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise projektid (teine rida)

Allikas: Collins, 2023: 8

Urbanski ja Haque (2020) hinnangul peavad plasti olelusringis osalevad ettevõtted ringmajandusel baseeruva turumahu kasvatamiseks panustama tarbijast lähtuvate sotsiaalsete väljakutsete ületamise, mis hõlmab teadlikkuse tõstmist ja keskkonnaväidete tõendus põhised esitamist vastavuses rahvusvaheliste keskkonnastandarditega.

Sekundaarplasti pakkumise suurendamiseks on kaks olulist eeldust:

- paranema peab tarbimisjärgse materjali sortimine esimeses etapis lõpptarbijate poolt ning teises etapis tuleb liikmesriikidel tagada sekundaarsete materjalide käitlusjaamades nüüdisaegsete sorteerimisliinide ja muu inventariga varustus, et maksimaalselt suur maht sekundaarplasti jõuaks mehaanilise ümbertöötamise protsessi (Lubongo & Alexandridis, 2022);

- turule peavad sisenema heterogeensete sekundaarplastide keemilise ümbertöötamise tehased, kas integreerituna olemasolevate polümeeride ja keemiatööstusettevõtte juurde või eraldiseisvalt. Ilma keemilise ümbertöötamise integreerimiseta suur osa tarbitavast plastist jääks endiselt vastuolusse jätkusuutliku ja kliimaneutraalse majanduse ambitsiooniga. (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016)

Käesoleva magistr töö esimene peatükk andis teaduskirjanduse ja rahvusvaheliste kaasuste põhjal ülevaate ringmajanduse üleminekut takistavatest ja soodustavatest teguritest. Ühtlasi käsitleti laiemat paradigma muutust ja majandusarengu perspektiivi. Teooria osa andis valdkonnaspetsiifiliselt ülevaate plasti olelusringi dünaamikast ja muutustest Euroopas, mille võtab kokku järgnev tabel, mis on ühtlasi teise peatüki kvalitatiivse uuringu sisendiks (vt tabel 5).

Tabel 5

Teooria osa kokkuvõte alateemadena

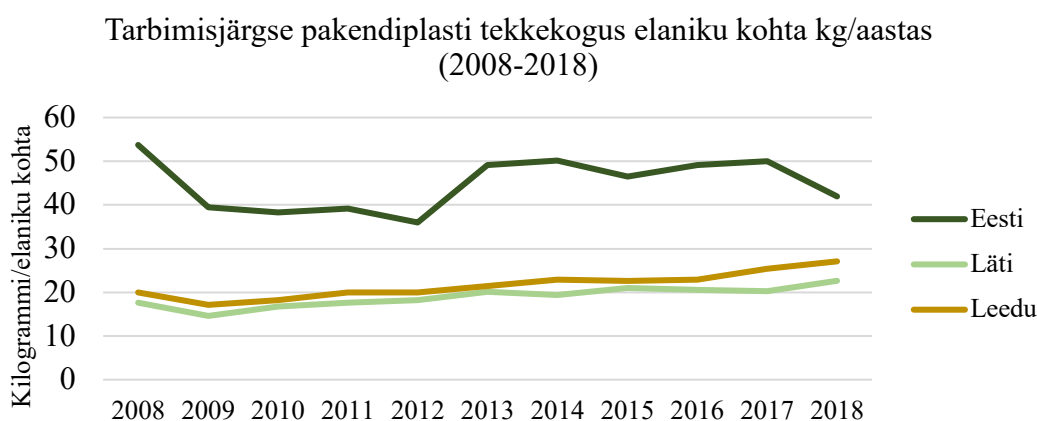
Teemad	Teooria osa olulisemad tulemused
1. Plastide ringmajanduse hetkeolukord	Puudulik plastide ringmajandus on globaalne probleem, mis põhjustab keskkonnareostust ja liigset CO ₂ -e emissiooni (Schwarz et al., 2021). Ühiskonna teadlikkus keskkonnaprobleemidest on tõusnud, kuid ringmajanduse olelusringi põhine mõistmine, tarbimisjärgse materjali liigiti sortimine ning ringmajanduse valdonna investeeringute soodustamine on vajalik olukorra parandamiseks (Butt et al., 2022). Plastpakendile samaväärse funktsionaalsusega alternatiivid puuduvad ja tarbimisjärgne materjalivoog jääb heterogeenseks. Mehaanilisel ümbertöötusel on tehnoloogilised piirangud. (Huysman et al., 2017). Heterogeense sekundaarplasti keemiliseks ümbertöötamiseks on tõhusaimaks hinnatud pürolüüsi tehnoloogiat (Ramesohl et al., 2020).
2. Ringmajanduse eesmärgid	Ringmajanduse juurutamisel on suur mõju primaartoorainete tarbimise vähendamisele ning majandustegevuse keskkonnamõjude leevendamisele. EL kehtestas tarbimisjärgse pakendiplasti ringlusse võtmise edendamiseks kohustuslikud sihtmäärad ja vastava omavahendi maksmise kohustuse EL-i eelarvesse. EL peab lähiaastatel suutma saavutada läbimurde nii tarbimisjärgse materjali käitluses kui ka uute übertöötlustehnoloogiate integreerimisel (Lubongo et al., 2022; Schwarz et al., 2021). Majanduskeskkond ja regulatiivne raamistik peab soosima uute tehnoloogiate integreerimist (Robaina jt, 2019).
3. Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamine	Sekundaarplasti keemiline ümbertöötus on vajalik täiendamaks mehaanilist ning tagamaks alternatiivi energiatootmisele ja ladestamisele. Olelusringi hindamise põhiselt on keemilise protsessi keskkonnamõju väiksem kui energiatootmisel ja prügilas ladestamisel, kuid suurem võrreldes mehaanilise ümbertöötusega. (Vollmer et al., 2020) Kuna sekundaarplasti keemiline ringlusse võtmine nõuab täna veel projektipõhist keskkonnamõjude hindamist ja integreerimist, siis on oluline, et regulatiivne raamistik ei pärsiks innovatsiooni (Tosun & Howlett, 2021; Qureshi et al., 2020).
4. Riikidevaheline koostööpotentsiaal	Majandusteadlased on hinnanud piiriülest innovatsiooni tõhusamaks riikide vahel, millel on ühine ajalugu ja riigipiir, sarnane majandusarengu ja innovatsiooni tase ning kultuuriline ja sotsiaalne ühisosa. Piiriülese koostöö eelduseks on osapoolte veendumus, et koostöös on probleemilahendus efektiivsem ning lisandväärtus suurem. EL-i kehtestatud omavahend annab täiendava stiimuli riikidevaheliseks koostööks, et lahendada mastaapne keskkonnaprobleem ning soodustada majandusarengut. (Schmiele, 2009)

Allikas: autori koostatud

2. Baltimaades sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise akuutsus, eeldused ja võimalikud mõjud

2.1. Eestis, Lätis ja Leedus tarbimisjärgse pakendiplasti probleemi ulatus

Eesti, Läti ja Leedu plastitööstuse valdkonna üleminek lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele on kiiresti arenev ja suure potentsiaaliga. Kolmel turul on palju ühiseid jooni nii sekundaarplasti mehaanilise ümbertöötamise tehnoloogilistes lahendustes kui ka tarbimisjärgse materjalikäitluse kitsaskohtades (Karaluna, 2019). Statistiliselt tekib ühe elaniku kohta kõige rohkem tarbimisjärgset pakendiplasti Eestis, seejärel Leedus, ning kõige vähem Lätis (vt joonis 14).



Joonis 14. Tarbimisjärgse pakendiplasti tekkekogus elaniku kohta Eestis, Lätis ja Leedus, aastatel 2008-2018

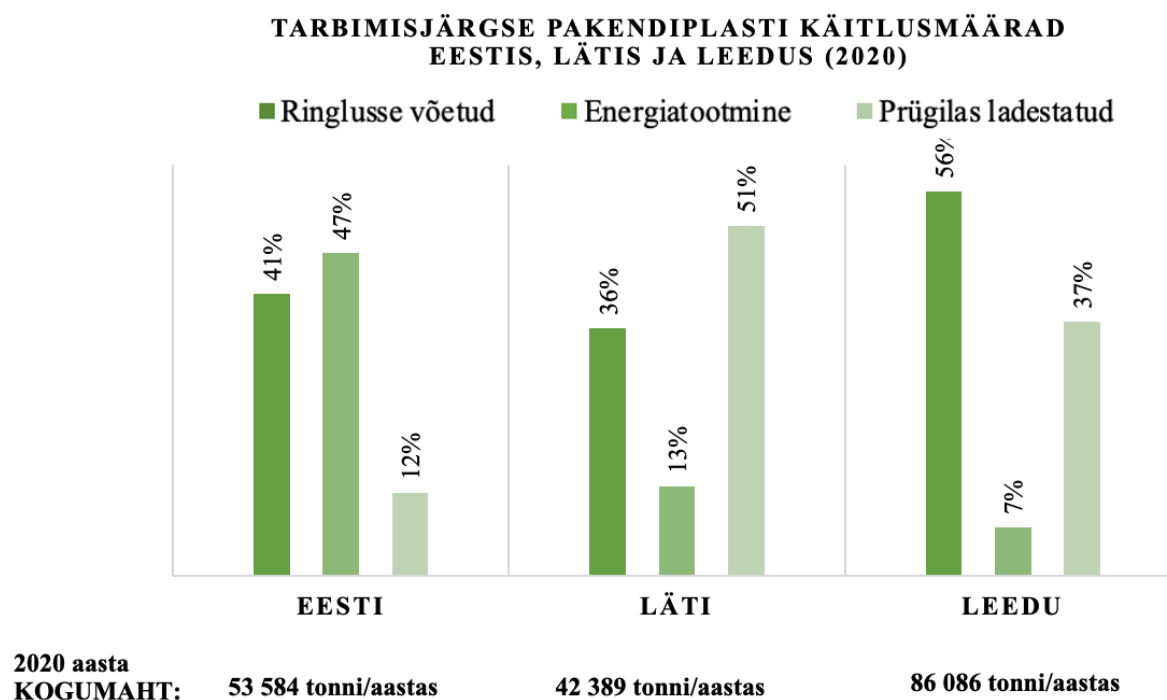
Allikas: Eurostat, 2022; autori koostatud

EL-s kehtima hakanud ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti tasu 800 eurot tonni kohta on suurendanud kõikide liikmesriikide kulutusi. (EL Omavahend 2020/2053, 2020, artikkel 2; Walker et al., 2020) „Selleks, et vältida liigselt pärssivat mõju riikide osamaksetele, kohaldati korrigeerimismehhanism, mis hõlmab nende liikmesriikide osamaksete iga-aastast kindlasummalist vähendamist, kelle kogurahvatulu elaniku kohta jäi 2017. aastal allapoole EL-i keskmist. Vähendus vastab 3,8 kilogrammile korrutatuna asjaomase liikmesriigi elanikkonna arvuga 2017. aastal.“ (EL Omavahend 2020/2053, 2020, artikkel 2) Kirjeldatud tehte alusel kohaldatakse Balti riikides iga-aastast kindlasummalist vähendamist alljärgnevalt:

- Eesti: 4 miljonit eurot;
- Läti: 6 miljonit eurot;
- Leedu: 9 miljonit eurot.

(EL Omavahend 2020/2053, 2020, artikkel 2)

Kirjeldatud omavahendi tasumise kohustus EL-i eelarvesse hakkas kehtima alates 1. jaanuarist 2021, ning esialgse prognoosi aluseks võeti eelnevate aastate vastav statistika. Kuna ringlusse võtmise määr on olnud viimased aastad valdavalt samal tasemel, siis on alljärgnevalt näitena toodud 2020. aastal deklareeritud plastpakendite kogused. Joonis 15 kajastab Eesti, Läti ja Leedu üldist hetkeolukorda ning oli sisuliselt lähtekoht EL-i vastava omavahendi kehtestamise hetkel. Siinjuures on oluline arvesse võtta, et kirjeldatud statistika on EL-i vastava omavahendi arvutuse orienteeruvaks prognoositavaks aluseks ja annab edasi ennekõike suurusjärgud.



Joonis 15. Eestis, Lätis ja Leedus 2020. aastal deklareeritud tarbimisjärgse pakendiplasti kogumaht, ning sellest ringlusse võetud, energiatootmises kasutatud ja prügilas ladestatud määr

Allikas: Eurostat, 2022, autori koostatud

Järgnevas tabelis 6 on ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti prognoositud maht ja 2021. aastal EL-i eelarvesse tasumisele kuulunud omavahendi vastavad summad Eestis, Lätis ja Leedus. 2024. aastal tehakse tasaarvestus prognooside ja tegelike summade vahel. (Riigikantselei, 2023)

Tabel 6

Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti omavahendi summa EL-i eelarvesse 2021. aastal

	Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti prognoositud maht (tonni/aastas)*	Omavahendi summa korrigeerimis-mehhanismiga (800 eurot/t)	Korrigeerimis-mehhanismist tulenev vähendusmäär summa (eurot/aastas)	Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti omavahendi tasumisele kuuluv summa (eurot/2021)
Eesti	33 101	26 481 040	4 000 000	22 481 040
Läti	26 009	20 807 040	6 000 000	14 807 040
Leedu	24 671	19 737 120	9 000 000	10 737 120
KOKKU	83 781	67 025 200	19 000 000	48 025 200

Allikas: Riigikantselei 2023, e-kirjas edastatud tabeli põhjal (v.t. Lisa A); autori koostatud

2021. aastal maksid Eesti, Läti ja Leedu ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti eest kokku EL-i eelarvesse ligi 50 miljonit eurot. Centres for European Policy Network raportis prognoositakse, et tarbimisjärgse pakendiplasti ringlusse võtmise tase jääb stabiilseks kuni 2026. aastani ja muutub veidi alles pärast seda, kuid mitte märkimisväärselt, sest hinnatakse, et koos üldise tarbimise kasvuga kokkuvõttes jääb olukord endiseks. Tarbimisjärgse materjali käitlusjaamade nüüdisajastamine parandab materjalide liigiti sortimist, tänu millele mõnevõrra kasvab mehaanilise ümbertöötuse määr, kui ilma suurema tehnoloogilise läbimurdeta keemilise ümbertöötuse valdkonnas, jäävad liikmesriikide omavahendi maksed samale tasemele. Lisaks on karmistumas statistika koostamise meetodika, mis eelduslikult pigem hakkab kajastama suuremaid ringlusse võtmata koguseid. (CEP, 2021)

Antud prognoosi arvesse võttes ning eeldades, et tarbimisjärgse pakendiplasti ringlusse võtmine jääb ka Balti riikides endisele tasemele oleks aastaks 2033 kokku makstud omavahendi summa suurusjärgud järgmised:

- Eesti: 290 miljonit eurot;
- Läti: 190 miljonit eurot;
- Leedu: 140 miljonit eurot;

Balti riigid kokku: 620 miljonit eurot.

2.2. Enefiti lahenduse tutvustus

Alljärgnevalt annab magistritöö autor ülevaate Enefiti sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise võimalustest, senistest kogemustest ja perspektiivist. Informatsioon on

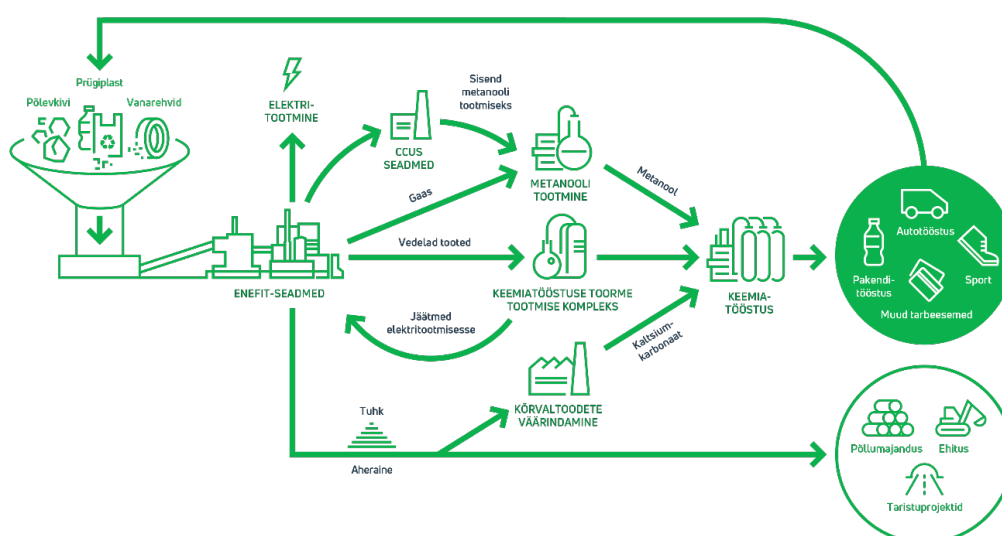
kogutud Enefiti ekspertidelt perioodil oktoober 2022 - mai 2023 töökoosolekute ja e-kirja teel. Kogutud teabe põhjal on töö autor alljärgnevalt kirjeldatu iseseisvalt koostanud.

Enefitil on strateegiline eesmärk liikuda põlevkivist vedelkütuste tootmiselt ringmajandusel baseeruva keemiatööstuses kasutatavate toormete tootjaks ja saavutada süsinikuneutraalsus aastaks 2045. Ettevõtte süsinikuneutraalsuse strateegia toetub kolmele sambale:

1. üleminek vedelkütuste tootmiselt keemiatööstuse tooraine tootmisele;
2. põlevkivi järkjärguline asendamine sekundaarplasti jt sekundaarsete toormetega;
3. pikemas perspektiivis süsiniku püüdmise ja väärimise tehnoloogiate integreerimine. (Eesti Energia 2045, 2021)

Kuna nimetatutest viimane on rakendusüüringu faasis (Eesti Energia-CO₂, 2022), siis magistritöö käsitleb esimest kahte: pürolüüsi protsessis põlevkivi järkjärguline asendamine, lisaks juba kasutatavale rehvide toormele ka sekundaarplastiga ning ringmajandusel baseeruva saaduse jätkutöötlus keemia- ja plastitööstuses kasutatavaks tooraineks.

Enefiti eesmärgiks on arendada välja sekundaarplasti keemiline töötlus olemasolevates pürolüüsitehastes. Sekundaarplasti- ja rehvi ning põlevkivi koospürolüüsi protsessis saab toota kõrge lisandväärtusega polümeeride toorainet uute plasttoodete valmistamiseks. Sealjuures toimub primaartooraine, põlevkivi, järjepidev vähendamine (vt joonis 16). Koospürolüüs tagab efektiivsuse, sest võimaldab ringmajandusel baseeruvat tootmist paindlikult juhtida, vastavalt reaalsele sekundaarplasti tekkekogusele Eestis, Lätis, Leedus ning mujal. (Eesti Energia-Ringmajandus, 2023)



Joonis 16. Sekundaarplasti- ja rehvi ning põlevkivi koospürolüüsi ringmajanduse väärtusahel
Allikas: Vals, 2022: 5

Koospürolüüsi protsessis sekundaarplasti keemilise töötuse eelduseks on massi-bilansi põhimõttel järjepidev sisendina kasutatava teisese toorme ja väljundina turustatava ümbertöödeldud saaduse mahu üle arvestuse pidamine. Massi-bilansi põhimõttel koospürolüüsi tootmissisendina sekundaarplasti- ja rehvi kasutamist ning väljundina ümbertöödeldud teisese tooraine tõenduspõhist turustamist võimaldab ISCC PLUS sertifikaat (ISCC, 2022), mille eeldokumentatsioon on Enefitis koostatud. Selline aruandlus tagab ringmajanduse juurutamisel läbipaistvuse ning roheväidete tõenduspõhisuse kogu tarneahela ulatuses. Sisuliselt võimaldab ISCC PLUS sertifikaat massi-bilansi printsiibil allokeerida sekundaarse tooraine kindlasse tootmisüksusesse ning turustatavasse tootegrupi, ning teised üksused välistatakse hindamisest. Enefiti puhul ühte pürolüüsi tehasesse ning arendatavasse vesiniktöötuse üksusesse. (Enefiti ekspert, 2023)

Oluline argument, miks Enefitis ollakse veendunud sekundaarplasti keemilise töötuse võimalikkuses, tuleneb faktist, et enne kui Eesti liitus EL-iga, kasutati ettevõtte pürolüüsitehastes sekundaarset rehvi- ja kummimaterjali (Eesti Energia, 2024). Eesti liitumisel EL-iga, hakkasid kehtima EL-i õigusaktid, mille kohaselt ei olnud enam võimalik nimetatud toormeid kasutada. Pärast rohkem kui kümnet aastast pausi, mil paralleelselt kasvas EL-s ja maailmas teadlikkus tarbimisjärgsete materjalide problemaatikast, alustas Enefit 2014. aastal, kaasajastatud mudelil, koospürolüüsi arendust, toona sekundaarsete rehvide baasil. Sekundaarplasti koospürolüüsiga tehti nüüdisaegsed laboratoorsed katsed 2018. aastal, seda koostöös TalTech Ida-Virumaa Kompetentsikeskusega (Oone, 2019). Täiendavalt on sekundaarplasti- ja rehvide keemilise töötuse koospürolüüsi valideeritud Enefitile kuuluvas katseseadmes Frankfurdis. Ka seal on tõestatud tehnoloogia töökindlus. Eelhinnangute kohaselt, koospürolüüs ei mõjuta Enefiti kogutehase töökindlust ja tootmisstabiilsust, vaid tõstab selle efektiivsust ning loodavat lisandväärtust. (Enefiti ekspert, 2023)

Sekundaarplasti koospürolüüsil valmistatud toorainet on testinud ka maailma suurimad keemiatööstusettevõtted, kes on kinnitanud tuleviku saaduse sobivust uute keemia- ja plastitööstuses kasutatavate toodete tooraineks. Juhul kui Enefit saab liikuda protsessiga tööstuslikule skaalale ning läbi viia jätkutöötuseks vajalikud arendustegevused, oleks täidetud kõik tehnoloogilised eeldused. Kuna esimeses etapis saab sekundaarplasti töötusmaht küündida 250 000 tonnini aastas, siis on ettevõttel perspektiiv pakkuda olulise keskkonnaprobleemi lahendust nii Baltimaadele kui ka regioonile laiemalt. (Eesti Energia AS, 2022)

Käesolev magistritöö kajastab võimalikust toorme segmendist ainult väga kitsalt plastpakendeid, mis on väike, kuid oluline osa ringlusse võtmata tarbimisjärgsest plastist. Enefiti strateegia näeb ette ka teistes valdkondades kasutatavate plastide ringlusse võtmise probleemi lahendamist. Näiteks kõik muud tarbimisjärgsed plastid, mida tekib Baltimaades suurusjärgus 100 000 tonni/aastas (Eesti Plastitööstuse Liit, 2020). Lisaks on veel mitmeid tööstuses kasutatavaid plaste, millel täna puudub ümbertöötamise võimalus, kuid mille ringlusse võtmine, eelhindangute kohaselt, oleks samuti Enefitis teostatav.

Eelpool kirjeldatu andis Baltimaades ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti probleemist kvantitatiivse ülevaate ning tutvustas Enefiti lahendust, millele järgneb kvalitatiivne uuring ja tarbimisjärgsetest pakenditest tuleneva sekundaarplasti keemilise töötamise rakendamise võimalike mõjude teoreetiline hindamine.

2.3. Kvalitatiivse uuringu tutvustus, intervjuude analüüs

Magistritöö teooria osas on sissejuhatavalt analüüsitud lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele ülemineku teaduskirjandusel baseeruvaid lähteseisukohti. Lisaks on kirjeldatud sarnaseid empiirilisi uuringuid ja mõjuanalüüse, mille järeldusi on sünteesitud magistritöö uurimisprobleemist lähtuvalt. Baltimaades sekundaarplasti keemilise töötamise rakendamise akuutsuse, eelduste ja võimalike mõjude hindamisel tervikliku analüüsi tagamiseks on esimese peatüki lõpus koostatud kokkuvõtte ühtlasi aluseks empiirilise osa intervjuudele ja kvalitatiivsele analüüsile (vt tabel 5).

Kvalitatiivne analüüs baseerub intervjuudel valdkonna eest vastutavate ametkondade esindajatega ning plasti ringmajanduse arenduse ekspertidega. Uuringu valim on piiritletud, kasutatud on kitsamat kvalitatiivset analüüsi, mis lähtub ühest võimalikust kaasusest uurimisprobleemi lahendamisel - Enefitis sekundaarse pakendiplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamisest. Kokku intervjueriti 20-e eksperti. Valdkonna ametkondade esindajatena on intervjueritud kokku 12 eksperti, nende seas: Eesti Kliimaministeeriumist, Läti ja Leedu Keskkonnaministeeriumitest - kokku 10 eksperti, lisaks 1 Eesti Keskkonnaameti ekspert ja 1 Eesti Riigikantselei EL-i eelarve valdkonna ekspert. Plasti ringmajanduse arenduse osapooltena on intervjueritud kokku 8 eksperti, nende seas: 2 Enefiti eksperti, 2 Eesti tootjavastutusorganisatsiooni eksperti, 2 Läti jäätmekäitlusvaldkonna eksperti, 1 Ida-Virumaa Kompetentsikeskuse ekspert ja 1 Ida-Virumaa Maakondade Liidu ekspert. Alljärgnevalt on ülevaade intervjueritavate valimist koos eksperdi nime, ametikoha, asutuse nimetuse, kvalitatiivsel analüüsil kasutatud lühendi ning intervjuu toimumise aja ning kestvusega. (vt tabel 7).

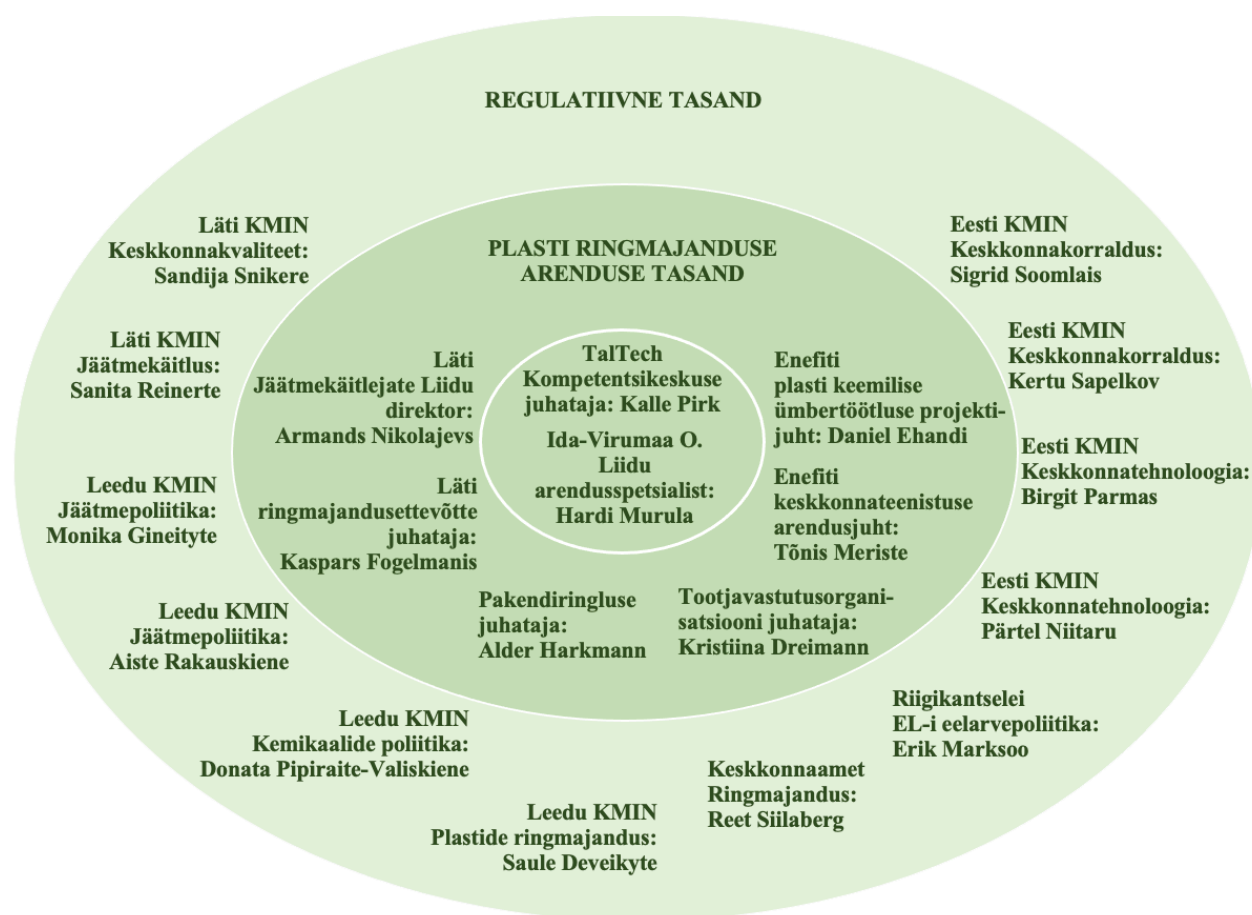
Tabel 7

Intervjuueritavate valim, ekspertide ametivaldkonna kirjeldus ja lühend analüüsil

Intervjuueritava nimi, ametikoht, organisatsioon, lühend	Intervjuu kuupäev, kestvus
Sigrid Soomlais, keskkonnakorralduse osakonna juhataja, Eesti Kliimaministeerium (EEA)	21.12.2022 32 minutit
Kertu Sapelkov, keskkonnakorralduse osakonna nõunik, Eesti Kliimaministeerium (EEA)	21.12.2022 27 minutit
Birgit Parmas, keskkonnatehnoloogia osakonna juhataja, Eesti Kliimaministeerium (EEA)	03.05.2023 36 minutit
Pärtel Niitaru, keskkonnatehnoloogia osakonna nõunik, Eesti Kliimaministeerium (EEA)	03.05.2023 36 minutit
Reet Siilaberg, ringmajanduse osakonna juhataja, Keskkonnaamet (EEA)	04.05.2023 27 minutit
Erik Marksoo, Riigikantselei nõunik, varem Rahandusministeeriumi EL-i poliitika talituse nõunik (EEA)	22.12.2022 47 minutit
Sandija Snikere, keskkonnakvaliteedi ja jäätmekäitluse osakonna juhataja, Läti Keskkonnaministeerium (LVA)	17.05.2023 47 minutit
Sanita Reinerte, jäätmekäitlusvaldkonna osakonna juhataja, Läti Keskkonnaministeerium (LVA)	17.05.2023 47 minutit
Armands Nikolajevs, tegevdirektor, Läti Jäätmekäitlusettevõtete Liit (LASULA) (RMA)	17.05.2023 47 minutit
Kaspars Fogelmanis, juhataja, Läti ringmajandusettevõtte CleanR (RMA)	17.05.2023 47 minutit
Saule Deveikyte, plastpakendite ringmajanduse nõunik, Leedu Keskkonnaministeerium (LTA)	23.05.2023 79 minutit
Monika Gineityte, jäätmepoliitika peaspetsialist, Leedu Keskkonnaministeerium (LTA)	23.05.2023 79 minutit
Aiste Rakauskiene, jäätmepoliitika nõunik, Leedu Keskkonnaministeerium (LTA)	23.05.2023 79 minutit
Donata Pipiraite-Vališkiene, kemikaalide poliitika peaspetsialist, Leedu Keskkonnaministeerium (LTA)	23.05.2023 79 minutit
Kristiina Dreimann, juhatuse liige, Tootjavastutusorganisatsioon OÜ (RMA)	26.04.2023 59 minutit
Alder Harkmann, juhatuse liige, Eesti Pakendiringlus OÜ (RMA)	21.04.2023 53 minutit
Kalle Pirk, juhataja, TalTech Virumaa kolledž: Põlevkivi Kompetentsikeskus (RMA)	21.12.2023 49 minutit
Hardi Murula, arendusspetsialist, Ida-Virumaa Omavalitsuste Liit (RMA)	16.05.2023 29 minutit
Daniel Ehandi, plasti keemilise ümbertöötamise projektijuht, Enefit (RMA)	28.04.2023 32 minutit
Tõnis Meriste, keskkonnateenistuse arendusjuht, Enefit (RMA)	28.04.2023 68 minutit

Allikas: autori koostatud

Empiirilise osa eesmärgiks oli fokuseeritud uuringu läbiviimine, et magistritöö piiratud mahtu arvesse võttes oleks kogutud piisavalt informatsiooni analüüsi ning järelduste koostamiseks. Valimi kujundamisel on tuginetud magistritöö autori valdkondlikule ekspertiisile ning ametialasele tutvusringkonnale. Töö autor on Eesti Plastitööstuse Liidu tegevjuht. Intervjueeritavate valikul on jälgitud, et kvalitatiivne uuring annaks ülevaate ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti probleemist Baltimaades ning Enefiti lahenduse rakendamise võimalustest, väljakutsetest ja eeldustest lähtuvalt kõigi ekspertide professionaalsetest hinnangutest. Arvesse on võetud nii ametkondade kui ka plasti ringmajanduse arenduse ekspertide seisukohad vastavalt nende tegevusvaldkonnale. Magistritöö eesmärgi täitmiseks oli oluline kvalitatiivse uuringu valimi terviklikkus (vt joonis 17).



Joonis 17. Kvalitatiivses uuringus osalenud eksperdid

Märkus: Kliimaministeerium ja Keskkonnaministeerium lühendatud KMIN

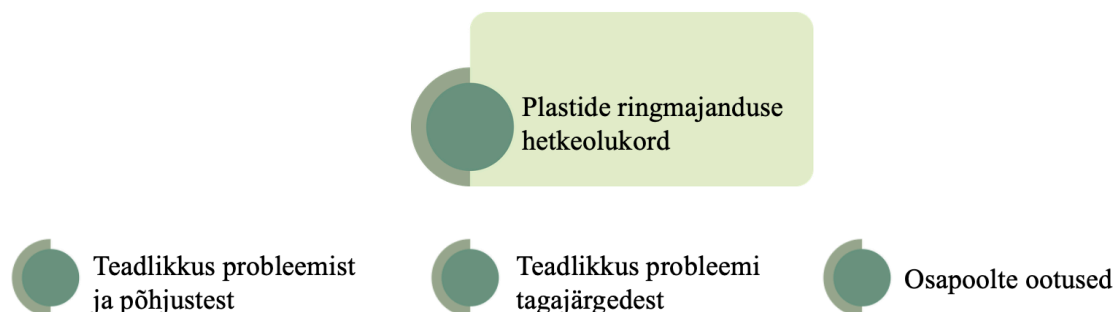
Allikas: autori koostatud

Intervjuudel lähtuti maksimaalselt avatud küsimuste formaadist, et ekspertide arvamused saaksid argumenteeritud ning põhjendatud. Kõik intervjuud algasid sissejuhatusena, millele järgnes teemaarendus ja kokkuvõte. Intervjuud viidi läbi perioodil oktoober-november-detsember 2022, jaanuar ning aprill-mai 2023 virtuaalsete koosolekute ja telefonikõnedega. Kuna töö autori ametiala ja ekspertide ametialad uurimisprobleemi keskselt valdavalt kattusid - olles seotud plasti ringmajandusega, siis olid intervjuud väga konstruktiivsed, väldates keskmiselt 50 minutit. Magistritöös käsitletud küsimused ei vajanud osapooltele täiendavat selgitust. Intervjuud transkribeeriti ja toimetati töö autori poolt, tervikmaht dokumendist oli 98 lehekülge (Times New Roman, tähemärgi suurus 12, reavahe 1,5), mis tulenevalt konfidentsiaalsusest ei kuulu magistritöö lisade hulka. Magistritöö autor annab edasi intervjuudest olulisema sünteesi, mida on võrreldud seniste teoreetiliste teadmistega.

Järgnevalt kajastab autor kvalitatiivset analüüsi lähtuvalt teooria osa kokkuvõttes (vt tabel 5) toodud teemaplokkidest: plastide ringmajanduse hetkeolukord, ringmajanduse eesmärgid, sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamine ning riikidevaheline koostööpotentsiaal. Kirjeldatud teemaplokkidest lähtuvalt koostati intervjuu plaan ja küsimuste põhiraamistik (vt lisa B). Tulenevalt magistritöö autori valdkondlikust ekspertiisist küsiti intervjuueeritavatelt uurimisprobleemi keskset eksperthinnangut ainult lähtuvalt eksperdi ametikohast ja vastutusvaldkonnast. Alati võeti põhialuseks kirjeldatud intervjuu küsimuste plaan. Intervjuudes ametkondade esindajatega keskenduti keemilise ümbertöötamise võimaliku rakendamise väljakutsetele lähtuvalt regulatiivsest raamistikust. Intervjuudes plasti ringmajanduse arenduse osapooltega oli küsimuste fookus tarbimisjärgse plasti probleemil, Enefiti lahenduse võimalikul rakendamisel ning riikidevahelise koostöö potentsiaalil. Intervjuud Läti ja Leedu ametkondade ning plasti ringmajanduse arenduse osapooltega toimusid inglise keeles. Intervjuude ettevalmistamisel koostati analoogne küsimuste plaan inglise keeles (vt lisa C). Intervjuude läbiviimisel seati küsimuste fookus lähtuvalt eksperdi ametikohast ja vastutusvaldkonnast. Antud metoodika võimaldas tagada kvalitatiivse uuringu terviklikkuse.

Iga teema (vt tabel 5) juures analüüsib autor intervjuudest tekkinud kategooriaid ja koode, mis leiti senise teooria läbitöötamise ja kvalitatiivse andmeanalüüsi tarkvara NVivo abil. Fookuses oli eelkõige kriitilise tähtsusega aspektide väljatoomine ja vajadusel tsiteerimine, lisaks ekspertide hinnangutest olulisema ühisosa ning vaatenurkade lahknevuse, kus teemakohane, edasi andmine. Tähtsamad autori poolsed järeldused on välja toodud iga teema kategooria analüüsi lõpus.

Esimeseks teemaks oli **plastide ringmajanduse hetkeolukord**, selle kaardistamine ekspertide hinnangutest lähtuvalt. Teema jagunes intervjuu koodide (vt lisa D) põhjal kolmeks kategooriaks (vt joonis 18).



Joonis 18. Plastide ringmajanduse hetkeolukorra teemaplokis loodud kategooriad

Allikas: autori koostatud

Antud teema esimeseks kategooriaks oli **teadlikkus probleemist ja põhjustest**. Tarbimisjärgse plasti probleemi põhjustena toodi välja lõpptarbivate poolt tarbimisjärgse materjali sortimise madalat taset, käitluse puudulikku infrastruktuuri ja heterogeensete sekundaarplastide ümbertöötamise võimaluste puudumist, mida töö autor järeldas ka teooria ülevaates (Brouwer et al., 2020; Keller et al., 2022). „*Liigiti kogutud jäätmed on esimeseks eelduseks plastijäätmete ringlusse võtmise edendamiseks.*“ (EEA) Ekspertid hindavad, et tarbijate madal teadlikkus materjalide liigiti sortimise olulisusest võib olla osaliselt põhjustatud harjumustest, vähesest informeeritusest või käitlussüsteemi läbipaistvuse kahtluse alla seadmisest, mida toetab ka teooria osas Butt et al. (2022) teadustöös järeldatu. Ametkondade ekspertid juhtisid tähelepanu ka heterogeensete pakendiplastide tekke ennetamise olulisusele, et pakendajad kasutaksid minimaalselt selliseid pakendilahendusi, millel puudub mehaanilise ümbertöötamise väljund. Samas nenditi, et komposiit-pakendid on ennekõike toiduainetetööstuses sageli vältimatud (Yan et al, 2022) ning heterogeensetele pakendiplastidele on ringlusse võtmise tehnoloogiline võimekus puudu, mida on ringmajanduse hetkeolukorra põhjusena järeldatud ka teooria osas Huysman et al., (2017) ja Vollmer et al. (2020).

Antud kategoorias on analüüsist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: teadlikkus tarbimisjärgse plasti probleemi põhjustest on kõrge, ent analüüsil joonistus selgelt välja probleemi põhjuste kompleksus. Lisaks heterogeensete

sekundaarplastide ümbertöötuse lahenduse senisele puudumisele, on tarbimisjärgse plasti vähene ringlusse võtmine tingitud ka puudulikust sortimisest.

Teema teiseks kategooriaks oli **teadlikkus probleemi tagajärgedest**.

Intervjuueritavad olid üksmeelsed, et tarbimisjärgse plasti senisel käitlusel on negatiivne keskkonnamõju, sest ringlusse võtmise tase on ebapiisav, taaskasutus energiatootmisel madala lisandväärtusega ning prügilas ladestamine peaks olema täielikult välistatud - sisuliselt lähtuvad kõik eksperdid plasti olulusringi prioriteetide hierarhia põhimõtetest (vt teooria osa joonis 6) (Olatayo et al., 2022). EL-i poolt kehtestatud ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti omavahendi teema võttis kokku valdkonna ekspert Eestist järgmiselt: „*Tegemist on saastaja maksab põhimõttega, mis haakub EL-i kliimapoliitikaga.*“ (EEA) Sekundaarplasti probleemi kõige kriitilisema tagajärjena nimetati jäätmete sattumist merekeskkonda, mis järeldus ka töö esimeses osas (Amato et al., 2019).

Antud kategoorias on analüüsisist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: ringlusse võtmata sekundaarplasti negatiivne keskkonnamõju on väga kõrgelt teadvustatud ning kehtestatud EL-i omavahendi nõuet hinnatakse oluliseks motiveerimaks liikmesriike tagajärgedega tegelema ning probleemi kumulatiivset mõju ennetama.

Teema kolmandaks kategooriaks oli **osapoolte ootused**, nende kirjeldamine plastide ringmajanduse hetkeolukorrast lähtuvalt. Kõik eksperdid hindasid plasti ringmajanduse hetkeolukorrast lähtuvalt oluliseks koostööd ja tegevuskava loomist. „*On oluline, et tagatud oleks plastijäätmete jõudmine mehaanilisse töötusse maksimaalses ulatuses ning selle üle oleks ka järelevalve reaalselt teostatav koostöös turuosalistega. Keemilise ümbertöötuse keskkonnamõju on suurem, mistõttu saab see asendada ainult energiatootmist ja prügilas ladestamist.*“ (EEA) Plastide ringmajanduse läbimõeldud ja kombineeritud terviklahenduse juurutamise olulisus järeldus ka Läti ja Leedu ekspertide hinnangust, mida toetab ka magistr töö esimene osa (Schwarz et al., 2021).

Antud kategoorias on analüüsisist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised. Sõltuvalt eksperdi ametivaldkonnast oli ootuste osas tagasiside mõneti erinev. Ühisosa oli tuvastatav ametkondade ekspertide poolt: vajalik on plasti ringmajanduse edendamine kogu olulusringi ulatuses, prioritseerides mehaanilist ümbertöötlust. Plasti ringmajanduse arenduse ekspertidest enamus, olles veendunud heterogeensete tarbimisjärgsete plastide keemilise ringlusse võtmise tehnoloogilises võimalikkuses, ootab ametkondadelt avatud ja lahendustele orienteeritud koostööd, sest ilma selleta ei peeta võimalikuks EL-i ringmajanduse eesmärkide täitmist.

Teiseks teemaks oli **ringmajanduse eesmärgid**. Ekspertide hinnangu põhjal analüüsiti EL-i sekundaarplasti ringlusse võtmise sihtarvude täitmise realistlikkust, eeldusi ning vajalikke tegevusi. Teema jagunes intervjuu koodide (vt lisa E) põhjal kolmeks kategooriaks (vt joonis 19).



Joonis 19. Plastide ringmajanduse eesmärkide teemaplokis loodud kategooriad

Allikas: autori koostatud

Antud teema esimeseks kategooriaks oli **regulatiivne raamistik**. EL-i poolt seatud sekundaarplasti ringlusse võtmise sihtarvude täitmist hindavad eksperdid pigem suureks väljakutseks ning oluliseks peetakse ajakriitiliselt konstruktiivsete lahenduste otsimist plasti olelusringi ulatuses, kuid tegemist ei ole ainult Baltimaade probleemiga (Plastics Europe, 2022). Ekspertid nii Eestis, Lätis kui ka Leedus väljendasid muret ja kahtlusi kehtiva pakendiplasti statistika vastavuses reaalse mahtudega, sealjuures viidati e-kaubandusest ja väikeettevõtetele tulenevate pakendikoguste võimalikule ebaselgusele - ollakse skeptilised turuosaliste koostöötahetes. Kõigis Baltimaades tõdeti, et EL-i ambitsioonikad ringmajanduse eesmärgid ja EL-i vastava omavahendi tasumise kohustus, mille summa sõltub otseselt ringmajanduse tulemuslikkusest, on ärgitanud osapooli aktiivsemale diskussioonile, mis loob eeldusi ka võimalikuks piiriüleseks koostööks (Schmiele, 2009). Intervjueeritavatest ekspertidest kõik tõid välja sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise rakendamise varasema praktika puudumise. Samuti on regulatiivne ebaselgus EL-i tasandil, mistõttu vajab juriidiline raamistik analüüsi ning vajadusel ajakohastamist.

Antud kategoorias on analüüsist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: EL-i omavahendi kohustus ja ambitsioonikad sekundaarplasti ringlusse võtmise eesmärgid survestavad kõiki osapooli senisest aktiivsemale koostööle. Keemiline ümbertöötlust ei ole EL-s veel laialdaselt rakendatud, mistõttu vajab antud tegevusala regulatiivne raamistik analüüsi, uue praktika loomist ja vajadusel ajakohastamist.

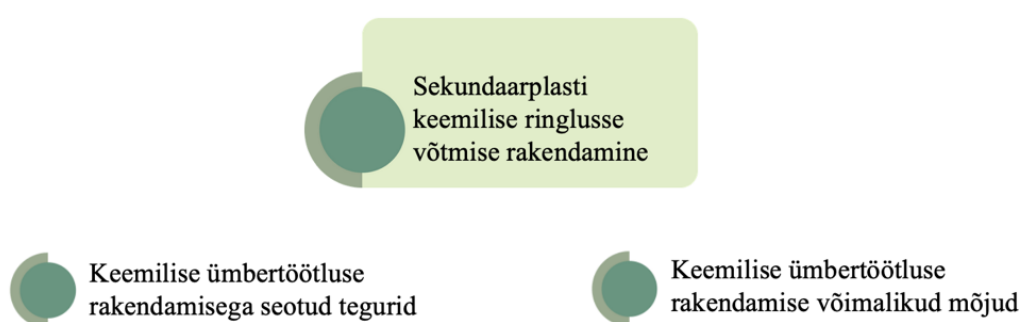
Teemas, ringmajanduse eesmärgid, teiseks kategooriaks oli **kaasamine ja koostöö**. Eelmises, regulatsioonide kategooria analüüsis joonistus selgelt välja osapoolte kaasamise ja koostöö olulisus, samuti ringmajanduslike eesmärkide saavutamiseks vajalike tegevuste algatamise ajakriitilisus. „2023. aasta alguses pannakse kokku erinevate valdkondade ekspertidest töörihmad, et analüüsida erinevate materjaliliikide ringlusse võtmise eesmärkide täitmise saavutamise võimalikke lahendusi.“ (EEA) Ekspertid väljendasid muret, et 2022. aasta energiahindade tõusust ja kiirest inflatsioonist tulenevalt on lõpptarbivad väga hinnatundlikud ka jäätmemajandust puudutavate kulude võimalikule muutusele. „Lõpptarbivate seas jäätmete liigiti sortimise edendamiseks on vajalik eraldiseisev mõjuanalüüs, et leida parimad lahendused.“ (RMA) Pakendiringluse ja tootjavastutuse süsteemides professionaalse eksperdi poolt lisati märkimisväärne tähelepanek: „On väga oluline, et riigi tasandil, tulenevalt EL-i plastijäätmete omavahendi kuluartiklist, kindlasti välistataks lisakoormuse rakendamist pakendiettevõtjatele ja nende tootjavastutusorganisatsioonidele, sest juba 2% tootjavastutusorganisatsiooni tasude tõstmine muudab turu ärevaks ja suurendab ebakorreksete pakendimahtude deklareerimise riski.“ (RMA) Kõik Baltimaade eksperdid, nii ametkondade esindajad kui ka plasti ringmajanduse arenduse osapooled, väljendasid valmisolekut jätkuaruteludeks, et tarbimisjärgse sekundaarplasti probleemi lahendamiseks analüüsida pürolüüsil baseeruva keemilise ümbertötluse integreerimise võimalusi. „Kaasamine ja selge koostööplaani väljatöötamine loob eelduse seni ringlusse võtmata plastipakendijäätmete ümbertötluseks Eestis“ (LTA).

Antud kategoorias on analüüsist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: ringmajanduses ambitsioonikate eesmärkide täitmise eelduseks on konstruktiivne koostöö, et nii jäätmemajanduse korrastamise kui ka keemilise ümbertötluse rakendamise võimalikud lahendused võtaksid arvesse kogu plasti olulusringi ja muutuste võimalikke mõjusid nii turuosalistele kui ka lõpptarbivatele.

Teema kolmandaks kategooriaks oli **tegevuskava eeldused**. Ringmajanduse eesmärkide täitmise ja edendamise tegevuskavas keemilise ümbertötluse integreerimise eelduseks on Baltimaade kõigi ametkondade ekspertide jaoks põhjaliku ülevaate saamine sekundaarplasti keemilise ümbertötluse ja pürolüüsi integreerimise protsessist, keskkonnamõjudest ja saaduse tootestamise tõendamisest. Enefiti esindaja kinnitusel on ettevõtte projekti Eesti ametkondadele tutvustanud: „Oleme Enefiti plasti keemilise ümbertötluse projekti Eesti ametkondadele tutvustanud ning pärast tööstuskatseid valmis projekti tutvustama ka Lätis ja Leedus.“ (RMA, Enefit)

Antud kategoorias on autori poolsest analüüsist lähtuvalt kõige olulisem järgnev: keemilise ümbertöötamise lahenduse integreerimise eelduseks on sekundaarplasti pürolüüsi projektist informeerituse ja protsessi tõenduspõhisuse tagamine, mille esimene eeldus on Enefitis tööstuskatsete läbiviimine.

Kolmandaks teemaks oli **sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamine**. Teema jagunes intervjuu koodide (vt lisa F) põhjal kaheks kategooriaks (vt joonis 19).



Joonis 19. Sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise rakendamise teemaplokis loodud kategooriad

Allikas: autori koostatud

Antud teema esimeseks kategooriaks oli **keemilise ümbertöötamise rakendamisega seotud tegurid**, nende väljatoomine ja analüüs. Baltimaade ametkondade ja tootjavastutusorganisatsioonide eksperdid väljendasid vähest teadlikkust plasti keemilisest ümbertöötamisest: „*Varasema praktika puudumisest tulenevalt nõuab Enefiti projekti hindamine uue praktika sisseviimist.*“ (EEA) „*Kuna EL-ist tulenevate regulatsioonide kohaselt kehtivad pürolüüsile jäätmepeletustehase nõuded, siis jäätmete lakkamine ja saaduse tootena kasutamine nõuab projektipõhist menetlust.*“ (EEA) Tulenevalt sekundaarplasti mehaanilise ümbertöötamise väiksemast keskkonnamõjust on ametkondade esindajatele tähtis, et rakendamise tegevusplaan näeks ette, kuidas ennetatakse mehaaniliseks ümbertöötamiseks sobiva materjalivoo jõudmist pürolüüsi. Samuti sooviti saada koospürolüüsil vajaliku massibilansi põhimõtete rakendamise detailset kirjeldust ja tõenduspõhisuse ülevaadet. Samuti oodatakse selgust, millisel viisil käsitleb ja jõustab EL massibilansi arvutusmetoodika, mis mõjutab oluliselt tuleviku koostöötusprojektide arendust (Hann et al., 2022). „*Kuna iga protsessiga kaasneb ka materjalikadu, siis on oluline välja selgitada kui*

suur on Enefiti projektis pürolüüsiga kaasnev materjali koguse vähenemine.“ (EEA) Lisaks nimetasid eksperdid olulisena ka püsivate orgaaniliste saasteainete (POS) ennetamist (Qureshi et al., 2020) ning väljendasid soovi saada rohkem infot teiste riikide praktika kohta, kus on juba sekundaarplasti keemiline ümbertöötlus pürolüüsil rakendatud. Plasti ringmajanduse arenduse eksperdid kinnitasid omalt poolt valmidust tõendada tarbimisjärgse plasti päritolu ja koospürolüüsi rakendamist massibilansi põhimõttel vastavuses rahvusvahelise sertifikaadi (ISCC PLUS) nõuetele. *„Enefitil juba on Keskkonnakompleksluba ning oleme loostamise faasis, et viia läbi tööstuskatsed, mis annab täiendavaid vastuseid ning on eelduseks tootestamise ja REACH-i nõuetele vastavuse tõendamisel. Enefit on hinnanud ka materjalikadu, mis võib pürolüüsiprotsessis olla kuni 15%.“* (RMA, Enefit) *„Koostatud on eeldokumentatsioon, mis tõendab Enefiti planeeritud plasti keemilise ümbertöötamise protsessi vastavust ISCC PLUS sertifikaadi nõuetele.“* (RMA, Enefit)

Antud kategoorias on analüüsist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: EL-i tasandi regulatiivse raamistiku ebaselguse ja Baltimaades varasema praktika puudumise tõttu on ametkondade ekspertidel ja Enefitil koostöös teiste plasti ringmajanduse arenduse osapooltega vaja olla teerajajaks regioonis tarbimisjärgse plasti ringlusse võtmise probleemi lahendamisel ning keemilise ümbertöötamise integreerimisel.

Antud teema teiseks kategooriaks oli **keemilise ümbertöötamise rakendamise mõjud**. Ekspertide hinnangul, juhul kui Eestis saab pürolüüsitehnoloogial baseeruv keemiline ümbertöötlus ametlikuks tarbimisjärgse plasti ringlusse võtmise protsessiks, siis on sellel positiivne mõju EL-i vastava omavahendi kuluartikli vähendamisele. *„Igal juhul on tervitatav uute tehnoloogiate rakendamine, mis aitavad EL-i vastava omavahendi kulu vähendada ja lahendada olulist keskkonnaprobleemi.“* (EEA) Ametkondade ekspertide hinnangul saab keemilise ümbertöötamise mõju keskkonnale hinnata, kui eelnevas kategoorias kirjeldatud tööstuskatsete järgselt on rohkem informatsiooni. Keemilise ümbertöötamise rakendamise mõju CO₂-e emissioonile võrreldes energiatootmise ja prügilas ladestamisega hindasid mitmed eksperdid positiivselt tulenevalt esmase tooraine vajaduse asendamisest. Nenditi, et see on plasti olelusringi loogikast tulenev teoreetiline eksperthinnang, täpsema CO₂-e emissiooni vähendamise mõju saab hinnata ainult praktilise LCA-ga (Vollmer et al., 2020). Ida-Virumaa piirkonda hästi tundvad eksperdid hindasid sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise võimalikke mõjusid sotsiaalmajanduslikust aspektist. Ekspertide hinnangul oleks lahenduse integreerimisel positiivne mõju Ida-Virumaa keskkonnavalasele jätkusuutlikkusele ja majandusarengule, kuna väheneks esmase põlevkivi kasutamine, samas säiliksid töökohad ning aidataks lahendada olulist keskkonnaprobleemi kogu regioonis.

„Tähtis on töötajate olemasoleva pürolüüsikompetentsi rakendamine ja teadmiste ning oskuste edasiarendamine ringmajanduse valdkonnas, mis on innovatsiooni eelduseks.“

(RMA)

Antud kategoorias on analüüsisist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise integreerimine ja Baltimaade ülene koostöö saaks olla Ida-Virumaa väärtuspakkumine rahvusvahelisel tasandil, mis võimaldaks unikaalseid pürolüüsi teadmisi, oskusi ja infrastruktuuri realiseerida nüüdisaegselt.

Neljandaks teemaks oli **riikidevaheline koostööpotentsiaal**. Teema jagunes intervjuu koodide (vt lisa G) põhjal kaheks kategooriaks (vt joonis 20).



Joonis 20. Regionaalse koostööpotentsiaali teemaplokis loodud kategooriad

Allikas: autori koostatud

Antud teema esimeseks kategooriaks oli **riikidevahelise koostöö tegurid**, nende väljatoomine ja analüüs. Ekspertide hinnangul on piiriülese koostöö saavutamiseks kriitilise tähtsusega Baltimaade üleselt Enefiti sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise projekti põhjalik tutvustamine nii ametkondadele kui ka plasti olelusringi osapooltele. Lisaks on oluline koostööst huvitatud osapoolte väljaselgitamine ning koostöövõimaluste ja kitsaskohtade hindamine ja ning eestvedajate olemasolu. „*Seni energiatootmisel kasutatud või prügilas ladestatud plastijäätmete saatmine Ida-Virumaale ümbertöötlusesse peab olema jäätmevaldajale ja käitluse eest vastutavale organisatsioonile majanduslikult põhjendatud.*“ (LTA) Läti ja Leedu ekspertide hinnangul on oluline, et esmalt oleks Eestis sekundaarplasti pürolüüs valideeritud ja kinnitatud kui ringlusse võtmise tehnoloogia, ning vastavuses regulatiivse raamistikuga.

Antud kategoorias on analüüsisist tekkinud autori poolsed olulisemad järeldused järgmised: regionaalse koostöö eelduseks ja mõjutavaks faktoriks on keemilise ümbertöötamise projektist põhjalik informeeritus, Eestis lahenduse valideerimine ja kinnitamine. Plasti ringmajanduse arenduse ekspertidele on oluline, et tehnoloogia integreerimine ja piiriülene

koostöö oleks majanduslikult põhjendatud. Laiapõhjalise koostöö eelduseks on ka eestvedajate olemasolu.

Antud teema teiseks kategooriaks oli **riikidevahelise koostöö võimalikud mõjud**, nende väljaselgitamine ekspertide hinnangule tuginedes. Plasti ringmajanduse arenduse eksperdid hindasid riikidevahelise koostöö võimalikku mõju positiivsena, tulenevalt asjaolust, et Eestis juba on pürolüüsi kompetents ja tehased olemas. „*Baltimaade ülene koostöömudel oleks kindlasti mõistlikum.*“ (RMA) Läti ja Leedu ekspertide hinnangul oleks piiriülel koostööprojektile positiivne mõju EL-i poolt kehtestatud omavahendi kuluartikli vähendamisele. Ühtlasi hindasid nad sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise positiivse keskkonnavalase mõjuna võimalust vähendada esmase tooraine kasutamist. Lisaks mainisid eksperdid Baltimaade ülese koostöö praktiseerimise ja edendamise väärtust, mis ühtlasi saaks anda eeskujuga ka teistes valdkondades samalaadseks tegevuseks.

Antud kategoorias on analüüsist tekkinud autori poolset olulisemad järeldused järgmised: valdavalt eksperdid hindavad riikidevahelise koostöö potentsiaalset mõju positiivseks nii majanduslikult kui ka keskkonnavalaselt ning laiemas sotsiaalmajanduslikus aspektis. Positiivse mõju realiseerumise eelduseks on plasti ringmajanduse hetkeolukorra teema kategoorias osapoolte ootuste täitmine.

2.4. Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise võimalike mõjude hindamine

Võttes arvesse magistr töö esimese osa teaduskirjandust, plasti keemilise töötlemise maailmapraktikat, empiirilises osas kirjeldatud Balti riikides ringlusse võtmata pakendi plasti probleemikirjeldust ja kvalitatiiivset analüüsi, on alljärgnevalt hinnatud Enefitis sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise võimalikku mõju *Ceteris paribus* tingimustel: Balti riikide EL-i omavahendi maksetele, sotsiaalmajanduslikku mõju tööhõivele ja keskkonnavalast mõju CO₂-e emissioonile.

Esmalt keemilise ümbertöötlemise rakendamise võimalik mõju Balti riikide EL-i omavahendi maksele, mida arvutatakse ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendi plasti koguselt 800 eurot/tonn (EL Omavahend 2020/2053, 2020, artikkel 2). Peatükis 1.3. kirjeldatult oleks 100%-line sekundaarplasti ringlusse võtmine ebarealistlik eeldus, seda tulenevalt käitlussüsteemide ja töötlemisprotsesside tehnoloogilistest piirangutest. Kuigi Eestis on toimivad suuremahulised pürolüüsitehased juba olemas, võtab EL-i ja kohalikul tasandil regulatiivse raamistiku ajakohastamine, tehnoloogiate integreerimine ja piiriülese koostöömudeli ettevalmistamine siiski aega. Sekundaarplasti keemilise töötlemise rakendamine oleks Enefiti eksperdi hinnangul teostatav alates 2027. aastast, väiksemate kogustega on

eesmärk alustada varem (RMA, Enefit). EL-is on valdkonna eksperdid hinnanud, et ringlusse võtmata tarbimisjärgsest pakendiplastist kuni 70% saaks keemilise ümbertöötuse, pürolüüsi, abil ringlusse võtta ja uuesti tooteks töödelda (Sakthipriya, 2022: 8; Russ et al. 2020; *Plastics Circularity*, 2023). Centres for European Policy Network raportis prognoositakse, et sekundaarplasti ringlusse võtmise määr püsib suuresti muutumatu vähemalt 2026. aastani. Arendatakse materjalide liigiti sortimist, mis võimaldab rohkem materjali suunata mehaanilisse ümbertöötusse. Samal ajal tulenevalt tarbimise üldisest kasvust plasti kogumahu vähenemist ei prognoosita. Kokkuvõttes, ei ole alust eeldada, et järgmise kümnekonna aasta jooksul toimuks EL-is pakendiplasti koguste märkimisväärset muutust. (CEP, 2021) Ainus arvestatav muutus on keemilise töötuse tehaste turule sisenemine, nagu prognoosis Argus Media (Collins, 2023).

Eelnevast lähtuvalt seab magistritöö autor järgnevale võimalike mõjude hindamisele ühe stsenaariumi, edaspidi nimetatud, Stsenaarium nr 1: keemilise ringlusse võtmisega alustatakse 2027. aastal, kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on Baltimaades 70% seni ringlusse võtmata pakendiplasti kogusest Enefiti pürolüüsitehases keemiliselt ringlusse võetud. Tulenevalt tarbimisjärgse materjali sorteerimisvõimekuse arendamisest on mehaaniline ümbertöötus Eestis ja Lätis kasvanud perioodil 2027-2032 5% aastas. Kuna Leedu ametlik statistika kajastab juba 2020. aastal ligi 60%-i mehaanilise ümbertöötuse määra, siis ei ole selle edasist kasvu realistlik eeldada.

Kuna muutused võtavad üldjuhul oodatust kauem aega, siis magistritöö kvalitatiivne analüüs annab töö autorile alust seada järgnevaks mõjude hindamiseks ka teine võimalik stsenaarium, edaspidi nimetatud, Stsenaarium nr 2: keemilise ringlusse võtmisega alustatakse 2027. aastal, kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on Baltimaades 50% seni ringlusse võtmata pakendiplasti kogusest Enefiti pürolüüsitehases keemiliselt ringlusse võetud. Tulenevalt tarbimisjärgse materjali sorteerimisvõimekuse arendamisest on mehaaniline ümbertöötus Eestis ja Lätis kasvanud perioodil 2027-2032 3% aastas. Tuginedes eelpool kirjeldatule ei ole mehaanilise ümbertöötuse määra kasvu Leedus realistlik eeldada.

Tulenevalt asjaolust, et tarbimisjärgse pakendiplasti suurusjärgud on olnud viimastel aastatel samal tasemel ning lähtudes eelpool kirjeldatust, mille kohaselt märkimisväärseid muutusi mahtudes ei prognoosita, siis on mõjude hindamise lähteandmeteks võetud 2020. aasta Eurostati vastav statistika (vt tabel 8).

Tabel 8

Baltimaades 2020. aastal tekkinud tarbimisjärgse pakendiplasti kogused ja käitluse jaotus

	Tarbimisjärgse pakendiplasti tekkekogus (t/a)	Ringlusse võetud (t/a)	Energiatootmises taaskasutatud (t/a)	Ladestatud (t/a)	Ringlusse võtmata maht kokku (t/a)
Eesti	53 584	21 916	24 918	6 750	31 668
Läti	42 389	15 217	5 609	21 562	27 171
Leedu	86 086	48 294	6 315	31 477	37 792
Kokku	182 059	85 427	36 842	59 789	96 631

Allikas: Eurostat 2022, autori koostatud

Stsenaarium 1 tingimused: Tarbimisjärgse pakendiplasti kogused jäävad Baltimaades endisele, 2020. aasta, tasemele. Keemilise ringlusse võtmisega alustatakse 2027. aastal, kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on 70% seni ringlusse võtmata pakendiplasti kogusest keemiliselt ringlusse võetud. Samal ajal sorteerimisvõimekust arendatakse ja mehaaniline ringlusse võtmine Eestis ja Lätis kasvab 5% aastas perioodil 2027-2032.

Stsenaarium 1 järelendus: Võttes aluseks tabelis 8 kirjeldatud lähteandmeid ja Stsenaarium 1 tingimused, mille kohaselt aastaks 2032 saavutatakse 70%-i seni energiatootmises kasutatud ja ladestamisele läinud tarbimisjärgse pakendiplasti mahu keemiline ümbertöötlus, oleks perioodi 2027-2033 jooksul Baltimaades EL-i vastava omavahendi kohustus, keemilisest tööstusest tulenevalt, vähenemas kokku u 225 miljonit eurot (vt tabel 9).

Tabel 9

EL omavahendi kohustuse lineaarne vähenemine Baltimaades aastatel 2027 kuni 2033

	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti kogumaht võttes arvesse mehaanilise ümbertöötamise kasvu 5% aastas (tonni/aastas)	90 356	88 407	86 360	84 211	81 954	79 584	79 584
Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti kogumahust keemilise tööstuse määr	20%	30%	40%	50%	60%	70%	70%
Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti kogumahust keemilise tööstuse kogus (tonni/aastas)	18 071	26 522	34 544	42 106	49 172	55 709	55 709
EL-i omavahendi kohustuse vähenemine keemilise tööstuse rakendamiseks (eurot/aastas)	14 456 960	21 217 680	27 635 200	33 684 400	39 337 920	44 567 040	44 567 040
Baltimaades EL-i omavahendi kohustuse vähenemine kokku (eurot/7 aastat)							225 466 240

Allikas: autori koostatud

Stsenaarium 2 tingimused: Tarbimisjärgse pakendioplasti kogused jäävad Baltimaades endisele, 2020. aasta, tasemele. Keemilise ringlusse võtmisega alustatakse 2027. aastal, kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on 50% seni ringlusse võtmata pakendioplasti kogusest keemiliselt ringlusse võetud. Samal ajal sorteerimisvõimekust arendatakse ja mehaaniline ringlusse võtmine Eestis ja Lätis kasvab 3% aastas perioodil 2027-2032.

Stsenaarium 2 järeldus: Võttes aluseks tabelis 8 kirjeldatud lähteandmeid ja Stsenaarium 2 tingimusi, mille kohaselt aastaks 2032 saavutatakse 50%-i seni energiatootmises kasutatud ja ladestamisele läinud tarbimisjärgse pakendioplasti mahu keemiline ümbertöötlus, oleks perioodi 2027-2033 jooksul Baltimaades EL-i vastava omavahendi kohustus, keemilisest tööstusest tulenevalt, vähenemas kokku u 156 miljonit eurot (vt tabel 10).

Tabel 10

EL omavahendi kohustuse lineaarne vähenemine Baltimaades aastatel 2027 kuni 2033, Stsenaarium 2 tingimustel

	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendioplasti kogumaht võttes arvesse mehaanilise ümbertöötamise kasvu 3% aastas (tonni/aastas)	91 099	89 956	88 770	87 552	86 299	85 007	85 007
Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendioplasti kogumahust keemilise töötamise määr	10%	20%	25%	30%	40%	50%	50%
Ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendioplasti kogumahust keemilise töötamise kogus (tonni/aastas)	9 110	17 991	22 193	26 266	34 520	42 504	42 504
EL-i omavahendi kohustuse vähenemine keemilise töötamise rakendamisega (eurot/aastas)	7 287 920	14 392 960	17 754 000	21 012 480	27 615 680	34 002 800	34 002 800
Baltimaade EL-i omavahendi kohustuse vähenemine kokku (eurot/7 aastat)							156 068 640

Allikas: autori koostatud

Magistritöö esimeses osas on välja toodud, et 50 000 tonni sekundaarplasti ringlusse võtmine loob 30 uut töökohta, mida on oluliselt rohkem kui samaväärse koguse energiatootmise või prügilas ladestamisega (Ambrieres, 2019: 17). Vastavalt Enefiti ekspertide hinnangule siiski sama eeldust luua ei saa, sest tegemist on koospürolüüsi protsessiga, ehk esmalt säilivad olemasolevad töökohad. Enefiti ekspertide hinnangul on

realistlik eeldada, et sekundaarplasti keemilise töötuse protsessi tulemusena olemasolevad töökohad säilivad, kuid töötaja kohta loodav lisandväärtus kasvab. Enefitis lahenduse rakendamisega luuakse uusi töökohti plasti olelusringi teistes etappides, näiteks eelsorteerimise etapis. Kvalitatiivsesse uuringusse kaasatud tarbimisjärgsete materjalide käitlusvaldkonna ekspertide hinnangul oleks materjalide sorteerimisvõimekuse tõstmiseks esmatähtis investeerida automatiseeritud sorteerimisliinide võimekusse ning mõju tööhõivele tuleneb pigem lisandväärtuse kasvust. Tuginedes mõjude hindamise esimeses etapis aluseks võetud kahest võimalikust Stsenaariumist on järgnevalt hinnatud nende võimalikku mõju Ida-Virumaa tööhõivele.

Stsenaarium 1. 2032. aastaks saavutatakse 70%-i seni energiatootmises kasutatud ja ladestamisele läinud tarbimisjärgse pakendioplasti, ehk u 55 000 tonni/aastas, keemiline ümbertöötlus.

Stsenaarium 2. 2032. aastaks saavutatakse 50%-i seni energiatootmises kasutatud ja ladestamisele läinud tarbimisjärgse pakendioplasti, ehk u 42 000 tonni/aastas, keemiline ümbertöötlus.

Stsenaariumi 1 ja 2 järeldused: Enefiti lahendus baseerub olemasoleva pürolüüsitehase rakendamisel ning arendamisel, mistõttu mõju tööhõivele on absoluutväärtuses pigem väike - luuakse mõned uued töökohad. Samas suhtelises väärtuses on mõju suur, kuna olemasolevad töökohad säilivad, kasvab töötaja kohta loodav lisandväärtus nii pürolüüsi kui ka plasti olelusringi teistes etappides. Antud järeldust toetab ka kvalitatiivse uuringu raames välja toodud ekspertide hinnang.

Lähtuvalt eelnevalt määratud *Ceteris paribus* põhimõttel aluseks võetud kahest võimalikust Stsenaariumist on uurimistöös raames hinnatud ka CO₂ emissiooni võimalikku teoreetilist muutust juhul kui Baltimaades juurutatakse sekundaarplasti keemiline töötus. Üldjuhul mahukaupade ja sekundaarse tooraine väärimdamisel on kriitilise tähtsusega sisendmaterjali ning tööstustehase asukoha vahemaa. Tuginedes magistritöö kvalitatiivse uuringu raames kogutud plastide ümbertöötuse ja käitlusvaldkonna ekspertide hinnangutele on Euroopas, maanteetranspordi kasutamisel, vähemalt 1000 km raadiuses ümbertöötus majandlikult ja keskkonnavalaselt endiselt jätkusuutlik. Enefiti pürolüüsitehased paiknevad kõik Ida-Virumaal. Eestis kogutakse tarbimisjärgset materjali Harju-, Pärnu- ja Tartumaale, Kesk-Eestisse ning mujale. Läti suurimad kogumispunktid asuvad Riia piirkonnas ning Leedu suurim Vilniuse lähistel - kõik paiknevad 700 km raadiuses Enefiti pürolüüsitehastest. Võib eeldada, et Enefitis Baltimaade sekundaarplasti ringlusse võtmine oleks majandlikult ja keskkonnavalaselt jätkusuutlik.

Kuna pürolüüsi tehnoloogia kasutamise eesmärk on asendada tarbimisjärgse plasti energiatootmist ja ladestamist, siis CO₂-e emissiooni võimaliku muutuse teoreetiliseks hindamiseks on võrreldud keemilist ümbertöötlust ja energiatootmist. Ladestamisel puudub igasugune ressurside asendamise efekt ning EL-is on tegemist selgelt kiires langustrendis oleva praktikaga, mille puhul eelduslikult mahud liiguvad ladestamiselt energiatootmisele ja ümbertöötlusele, mistõttu on käesolevas analüüsis pürolüüsi CO₂-e emissiooni võrdlus ainult energiatootmisega asjakohane. Järgnev hindamine baseerub magistritöö esimeses osas kirjeldatud ISCC PLUS massibilansi allokeerimise printsiibil, mis võimaldab hinnata ainult sekundaarse tooraine käitluse väärtusahelat ning välistada hindamisest teised ettevõttele kuuluvad tootmisüksused (ISCC, 2022). Enefiti puhul oleks tegemist ühe pürolüüsitehasega ja arendatava vesiniktöötluse üksusega – teised tootmisüksused ei kuuluks hindamisele. Järgneva teoreetilise hindamise aluseks on võetud esimeses osas Quantis (2020) poolt läbiviidud plasti olelusringis Plastic Energy pürolüüsitehnoloogia rakendamise olelusringi hindamine (LCA), mis on antud kaasuses teoreetiliste võimalike mõjude hindamisel kõige relevantsem: baseerudes Euroopa kaasusel; ISO14040/14044 standardil; hindamise sisendina on kasutatud EL-i fossiilse ja taastuvenergia tarbimise keskmist näitajat; tarbimisjärgne plast pärineb kuni 1000 km raadiuselt; toormena on kasutatud EL-i eelsorteeritud heterogeense sekundaarplasti keskmisi väärtusi, mille 1 kg on ka hindamise ühik (*ingl. k. functional unit*). (Quantis, 2020: 2, 3, 7) Käesolevaga magistritöö autor soovib rõhutada, et tegemist on teoreetilise võimaliku CO₂ emissiooni erinevuse hindamisega ISCC PLUS massibilansi allokeerimise põhimõttel. Enefiti LCA põhised võrdlusandmed saavad olla esialgselt hinnatud alles pärast tööstuskatseid ja ettevõtte enda juhtimisel. Lähteandmed Quantis (2020: 4) analüüsist:

1 kg tarbimisjärgse pakendiplasti pürolüüs = 0,55 kg CO₂

1 kg tarbimisjärgse pakendiplasti energiatootmine = 1,6 kg CO₂

Võttes aluseks eelpool kirjeldatud Stsenaarium 1 ja Stsenaarium 2 tingimused ning Plastic Energy pürolüüsi LCA lähteandmed on alljärgnevalt teoreetiliselt hinnatud võimalikku CO₂-e emissiooni muutuse määra 2033. aastal (vt tabel 11).

Tabel 11

Baltimaades CO₂ emissiooni teoreetiline võimalik muutus võttes arvesse Stsenaarium 1 ja Stsenaarium 2 tingimusi ja Plastic Energy pürolüüsi LCA lähteandmeid

Stsenaarium 1: ringlusse võtmata pakendiplasti kogumaht tonni/aastal 2033	Kogumahust energiatootmine tonni/CO ₂	30% kogumahust energiatootmise tonni/CO ₂	Stsenaarium 1: 70% mahust keemiline ümbertöötlus tonni/CO ₂	Stsenaarium 1: koguemissioon tonni/CO ₂	Stsenaarium 1: CO ₂ emissiooni vähenemise määr
79 584	127 334	38 200	30 640	68 840	45%
Stsenaarium 2: ringlusse võtmata pakendiplasti kogumaht tonni/aastal 2033	Kogumahust energiatootmine tonni/CO ₂	50% kogumahust energiatootmise tonni/CO ₂	Stsenaarium 2: 50% mahust keemiline ümbertöötlus tonni/CO ₂	Stsenaarium 2: koguemissioon tonni/CO ₂	Stsenaarium 2: CO ₂ emissiooni vähenemise määr
85 007	136 011	68 006	23 377	91 383	33%

Allikas: autori koostatud

Stsenaarium 1 järelendus: Baltimaades 70% ringlusse võtmata pakendiplasti keemiline töötlus võimaldaks aastas CO₂-e emissiooni vähendada kuni 45%.

Stsenaarium 2 järelendus: Baltimaades 50% ringlusse võtmata pakendiplasti keemiline töötlus võimaldaks aastas CO₂-e emissiooni vähendada kuni 33%.

Alljärgnevalt teoreetilise hindamise kokkuvõtte *Ceteris paribus* põhimõttel Enefitis sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise võimalikest mõjudest Balti riikide EL-i omavahendi maksetele, sotsiaalmajanduslik mõju tööhõivele ja keskkonnavalade mõju CO₂-e emissioonile Stsenaarium 1 ja Stsenaarium 2 tingimustel.

Stsenaarium 1 järelenduste kokkuvõtte. Tarbimisjärgse pakendiplasti kogused jäävad 2020. aasta tasemele, ehk Baltimaades on ringlusse võtmata kokku u 90 000 t/a. Mehaaniline ringlusse võtmine kasvab 5% aastas. Keemilise ümbertöötusega alustatakse 2027. aastast ja lineaarselt mahtu kasvatades on 2032. aastaks Baltimaades 70% seni energiatootmises kasutatud ja ladestatud kogusest keemiliselt ringlusse võetud, ehk u 55 000 t/a. Antud tingimustel on võimalik vähendada Balti riikide EL-i omavahendi vastavat makset perioodil 2027-2033 kokku u 225 miljonit eurot ning võrreldes sama koguse energiatootmisega, vähendada CO₂-e emissiooni 2033. aastal kuni 45%.

Stsenaarium 2 järelenduste kokkuvõtte. Tarbimisjärgse pakendiplasti kogused jäävad 2020. aasta tasemele, ehk Baltimaades on ringlusse võtmata kokku u 90 000 t/a. Mehaaniline

ringlusse võtmise kasvab 3% aastas. Keemilise ümbertöötusega alustatakse 2027. aastast ja lineaarselt mahtu kasvatades on 2032. aastaks Baltimaades 50% seni energiatootmises kasutatud ja ladestatud kogusest keemiliselt ringlusse võetud, ehk u 42 000 tonni aastas. Antud tingimustel on võimalik vähendada Balti riikide EL-i omavahendi vastavat makset perioodil 2027-2033 kokku u 156 miljonit eurot ning võrreldes sama koguse energiatootmisega, vähendada CO₂-e emissiooni 2033. aastal kuni 33%.

Mõlema stsenaariumi korral on rakendamise mõju tööhõivele absoluutväärtuses pigem väike - luuakse mõned uued töökohad. Samas suhtelises väärtuses on mõju suur, kuna olemasolevad töökohad säilivad, kasvab töötaja kohta loodav lisandväärtus nii Enefitis kui ka plasti olelusringi teistes etappides.

Magistritöö mõjude hindamise fookuses oli kitsalt tarbimisjärgne pakendiplast Baltimaades. Perspektiivis on Enefitil potentsiaal pakkuda lahendust ka teistele EL-i liikmesriikidele, näiteks Soomes tekib ringlusse võtmata tarbimisjärgset pakendiplasti u 86 000 tonni ja Rootsis 127 000 tonni aastas (vt Lisa A). Lisaks eelpool nimetatud muu tarbimisjärgne sekundaarplast, mida Baltimaades tekib u 100 000 tonni aastas.

Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö eesmärk oli välja selgitada Baltimaades sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise akuutsus, eeldused ja võimalikud mõjud.

Uurimiseesmärgi täitmiseks seadis töö autor kolm uurimisülesannet:

- anda ülevaade ringmajanduse teoreetilistest alustest ja mõjudest uurimisprobleemi keskselt, kirjeldada plasti ringmajanduse hetkeolukorda EL-s ja globaalselt, ning analüüsida keemilise ümbertöötuse tehnoloogia keskkonnaalast mõju süsinikuemissioonile, sealjuures võttes aluseks teaduskirjanduse ja kaasused maailmapraktikast;
- selgitada välja ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti probleemi ulatus Eestis, Lätis ja Leedus, teostada kvalitatiivne uuring ning analüüsida probleemi akuutsust, väljakutseid ja riikidevahelise koostöö potentsiaali;
- hinnata teoreetiliselt Enefitis sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise tööstusliku rakendamise võimalikku mõju *Ceteris paribus* põhimõttel Balti riikide EL-i omavahendi maksetele, sotsiaalmajanduslikku mõju tööhõivele ja keskkonnaalast mõju CO₂-e emissioonile.

Uurimisülesannete täitmiseks analüüsis autor erialast teaduskirjandust ja rahvusvaheliste organisatsioonide raporteid. Lisaks viidi läbi 20 intervjuud, milles osalesid

Eestist, Lätist, Leedust plasti ringmajanduse arenduse ning valdkonna eest vastutavate ametkondade eksperdid.

Esimese uurimisülesande täitmiseks tuli mõtestada lineaarselt majandusmudelilt ringmajandusele ülemineku paradigmat ja uurida teemakohast teaduskirjandust. Analüüsil selgus, et interdistsiplinaarsusest tulenevalt on kompleksed väljakutsed: innovatsiooni ja tehnoloogilised, poliitika ja regulatiivsed, majanduslikud ja sotsiaalsed jt - endiselt barjääriks lineaarse majandusmudeli rajasõltuvusest väljumisel. 19. sajandil loodud materjaliarenduse ühe suurima läbimurde – plasti vastutustundetud masstarbimise tagajärjeks on prügistamine, mille negatiivne keskkonnamõju põhjustab täna OECD andmetel 3,4% kasvuhoonegaasidest ning võib neljakordistuda aastaks 2050, kui ei rakendata ringmajanduse printsiipe. Viimasest lähtuvalt analüüsiti magistritöös sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise võimalikku rakendamist, ning jõuti järeldusele, et sellel on potentsiaal ringlusse võtta hinnanguliselt 70% seni energiatootmises kasutatud ja ladestatud sekundaarplastist, millega ühtlasi kaasneks CO₂-e emissiooni vähenemine 30-45%.

Teise uurimisülesande täitmiseks uuriti tarbimisjärgse pakendiplasti probleemi ulatust ja akuutsust Eestis, Lätis ja Leedus. Selleks analüüsiti vastavat statistikat EL-i andmebaasidest. Selgus, et Baltimaades on ringlusse võtmata pakendiplasti kogus kokku u 90 000 tonni aastas, ning vastavast EL-i omavahendist tulenevalt on selle kogukulu Balti riikidele u 50 miljonit eurot aastas. Lisaks teostati kvalitatiivne uuring, selleks viidi läbi 20 intervjuud, milles osalesid Eestist, Lätist ja Leedust plasti ringmajanduse arenduse ning valdkonna eest vastutavate ametkondade eksperdid. Veenduti, et ringlusse võtmata sekundaarplasti probleem on akuutne kõigis Balti riikides ning intervjuueeritavad olid huvitatud jätkuaruteludest, et analüüsida riikidevahelist koostööpotentsiaali. Lisaks toodi välja regulatiivse raamistiku ebaselgus EL-i ja kohalikul tasandil, mis jääb mõjutama sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise realiseerumise võimalikkust.

Kolmanda uurimisülesande täitmiseks hinnati teoreetiliselt *Ceteris paribus* põhimõttel Enefitis sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise võimalikku mõju Balti riikide EL-i omavahendi maksetele, sotsiaalmajanduslikku mõju tööhõivele ja keskkonnavalast mõju CO₂ emissioonile autori poolt seatud kahe stsenaariumi tingimustel.

Stsenaarium 1. Tarbimisjärgse pakendiplasti kogused jäävad 2020. aasta tasemele, ehk Baltimaades on ringlusse võtmata kokku u 90 000 t/a. Mehaaniline ringlusse võtmine kasvab 5% aastas. Keemilise ümbertöötamisega alustatakse 2027. aastast ja lineaarselt mahtu kasvatades on 2032. aastaks Baltimaades 70% seni energiatootmises kasutatud ja ladestatud kogusest keemiliselt ringlusse võetud, ehk u 55 000 t/a. Antud tingimustel on võimalik

vähendada Balti riikide EL-i omavahendi vastavat makset perioodil 2027-2033 kokku u 225 miljonit eurot ning võrreldes sama koguse energiatootmisega, vähendada CO₂-e emissiooni 2033. aastal kuni 45%.

Stsenaarium 2. Tarbimisjärgse pakendiplasti kogused jäävad 2020. aasta tasemele, ehk Baltimaades on ringlusse võtmata kokku u 90 000 t/a. Mehaaniline ringlusse võtmine kasvab 3% aastas. Keemilise ümbertöötusega alustatakse 2027. aastast ja lineaarselt mahtu kasvatades on 2032. aastaks Baltimaades 50% seni energiatootmises kasutatud ja ladestatud kogusest keemiliselt ringlusse võetud, ehk u 42 000 tonni aastas. Antud tingimustel on võimalik vähendada Balti riikide EL-i omavahendi vastavat makset perioodil 2027-2033 kokku u 156 miljonit eurot ning võrreldes sama koguse energiatootmisega, vähendada CO₂-e emissiooni 2033. aastal kuni 33%.

Lisaks leiti, et Enefitil on potentsiaal perspektiivis pakkuda lahendust ka teistele EL-i liikmesriikidele, näiteks Soomes tekib ringlusse võtmata tarbimisjärgset pakendiplasti u 86 000 t/a ja Rootsis u 127 000 t/a (vt Lisa A). Lisaks muu tarbimisjärgne sekundaarplast, mida Baltimaades tekib u 100 000 tonni aastas ning millest osa oleks, eelhinnangute kohaselt, samuti keemiliselt ringlusse võetav.

Mõlema stsenaariumi korral säilivad olemasolevad töökohad ja kasvab töötaja kohta loodav lisandväärtus nii Enefitis kui ka plasti olelusringi teistes etappides.

Magistritöö piiratud mahtu ja sekundaarplasti probleemi akuutsust arvesse võttes on töö autori hinnangul käesolev uurimistöo aluseks tulevikus võimalikule laiapõhjalisele mõjuanalüüsile.

Viidatud allikad

1. Adusei-Asante, K. (2017). Towards developing policy impact assessment framework: An introduction. *37th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment*.
https://www.researchgate.net/publication/317385926_Towards_Developing_Policy_Impact_Assessment_Framework_An_Introduction
2. Anagnosti L., Varvaresou, A., Pavlou, P., Protopapa, E., & Carayanni, V. (2021). Worldwide actions against plastic pollution from microbeads and microplastics in cosmetics focusing on European policies. Has the issue been handled effectively?. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111883. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111883
3. Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järtskog, I., Lithner, D., Polukarova, M., & Strömvall, A.-M. (2020). Microplastics from tyre and road wear. *Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), 1028A*. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1430623/FULLTEXT02.pdf>
4. Alassali, A., Picuno, C., Chong, Z. K., Guo, J., Maletz, R., & Kuchta, K. (2021). Towards Higher Quality of Recycled Plastics: Limitations from the Material's Perspective. *Sustainability*, 13(23). DOI: 10.3390/su132313266
5. Alcazar-Ruiz, A., Dorado, F., & Sanchez-Silva, L. (2021). Fast pyrolysis of agroindustrial wastes blends: Hydrocarbon production enhancement. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 157. DOI: 10.1016/j.jaap.2021.105242
6. Amato, A. D., Paleari, S., Pohjakallio, M., Vanderreydt, I., & Zoboli, R. (2019). Plastics waste trade and the environment. *European Environment Agency, Eionet Report - ETC/WMGE 2019/5*. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/plastics-waste-trade-and-the-environment>
7. Ambrieres, W. D. (2019). Plastics recycling worldwide: current overview and desirable changes. *The Veolia Institute Review*, 19, 12-21, 17.
<https://journals.openedition.org/factsreports/5102>
8. Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical transactions of the royal society*, 364, 1977-1984. DOI: 10.1098/rstb.2008.0304
9. Brem, A., Tidd, J., & Daim, T. (2019). Introduction — Managing Innovation: Understanding International Innovation. *Managing Innovation*, 34. DOI: 10.1142/9781786346551_0001

10. Brouwer, M. T., Velzen, E. U. T. V., Ragaert, K., & Klooster, R. T. (2020). Technical Limits in Circularity for Plastic Packages. *Sustainability*, 12(23), 10021. DOI: 10.3390/su122310021
11. Butt, A., Khan, M. A., & Hameed, I. (2022). Factors Affecting Consumers' Recycling Behavior in Developing Countries: Extending the Theory of Planned Behavior in the Recycling Domain. *Kasbit Business Journal*, 15(2), 172-195. <https://kasbitoric.com/index.php/kbj/article/view/270/176>
12. Cambridge Econometrics, European Commission, ICF, Trinomics. (2018). Impacts of circular economy policies on the labour market – Final report and annexes. *European Commission, Directorate-General for Environment, Publications Office*, 38- 39. DOI: 10.2779/574719
13. CEP. (2021). The „EU Plastic Tax“ Greenwashing New Revenue for the EU Budget. *Centres for European Policy Network*, 3. https://www.cep.eu/fileadmin/user_upload/cep.eu/Studien/cepInput_EU_Plastic_Tax/cepInput_EU_Plastic_Tax.pdf
14. Churchill, W. (1931). *Fifty Years Hence, 1931*. America's National Churchill Museum. 1890-1939 Speeches. Vaadatud 07.12.2022 <https://www.nationalchurchillmuseum.org/fifty-years-hence.html>
15. Cioca, L. I., Ferronato, N., Viotti, Paolo., Magaril, E., Ragazzi, M., Torretta, V., & Rada, E. C. (2018). Risk assessment in a materials recycling facility: Perspectives for reducing operational issues. *Resources*, 7(4), 85. DOI: 10.3390/resources7040085
16. Civancik-Uslu, D. (2019). Advances in life cycle assessment of plastics with mineral fillers in packaging applications. *Universitat Politècnica De Catalunya Barcelonatech* (dokoritöö). Loetud aadressil <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/134609/TDCU1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
17. Collins, W. (2023). Capacity and supply of chemical recyclates. *Argus Media. British Plastic Federation: Chemical Recycling Seminar, 19th October 2023*. <https://www.bpf.co.uk/events/chemical-recycling.aspx>
18. Downing, P. B., & White L. J. (1986). Innovation in pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management*, 13, 18-29. DOI: 10.1016/0095-0696(86)90014-8
19. Eesti Energia. (2024). Pürolüüs vanasti – enne EL-iga liitumist. *Eesti Energia AS, brošüüri foto, e-kiri*, Loetud 09.01.2024.

20. Eesti Energia. (2022). Süsinikuneutraalne keemiatööstus. *Eesti Energia AS*. Loetud 27.12.2023 aadressil <https://www.energia.ee/ari/toostuslahendused/keemiatööstus>
21. Eesti Energia 2045, (2021, 2. juuni). Eesti Energia saavutab süsinikuneutraalsuse aastaks 2045. *Eesti Energia AS, Keemiatööstus*. Loetud 27.12.2023 aadressil <https://www.energia.ee/uudised/avaleht/-/newsv2/2021/06/02/eesti-energia-saavutab-susinekuneutraalsuse-aastaks-2045>
22. Eesti Energia-CO2. (2022, 21. oktoober). Eesti Energia tuvastas koos TalTechiga parimad CO2 püüdmise tehnoloogiad. *Eesti Energia AS*. Loetud 27.12.2023 aadressil <https://www.energia.ee/et/uudised/avaleht/-/newsv2/2022/10/21/eesti-energia-tuvastas-parimad-co2-puudmise-tehnoloogiad>
23. Eesti Energia-Ringmajandus. (2023, 1. veebruar). Miks prügiplastid ja vanarehvid sobivad pürolüüsil ümber töötlemiseks? *Eesti Energia AS, Keemiatööstus*. Loetud 27.12.2023 aadressil <https://www.energia.ee/et/blogi/keemiatööstus/-/newsv2/2023/02/01/miks-prugiplastid-ja-vanarehvid-sobivad-puroluusil-umber-tootlemiseks>
24. Eesti Plastitööstuse Liit. 2020. *Baltimaades ringlusse võtmata plastide koguse uuring*. Sisedokument. Loetud 17.12.2023.
25. Eisenstein, C. (2021). *Kliima: uus lugu*. Postimehe Kirjastus OÜ. <https://www.postimehekirjastus.ee/raamatud/aimekirjandus/kliima-uus-lugu>
26. Ellen MacArthur Foundation, McKinsey & Company, World Economic Forum. (2016). *The new plastics economy: rethinking the future of plastics*, 5-101, 26, 29. <https://ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>
27. Ellen MacArthur Foundation. (2019). Enabling a Circular Economy for the Chemicals with the Mass Balance Approach. *A White Paper from co.Project Mass Balance*. https://www.basf.com/global/documents/en/sustainability/we-source-responsibly/EllenMacArthur_White%20Paper_2019.pdf.assetinline.pdf
28. Englund, A., & Hjelm, O. (2011). *Market barriers for environmental innovations*. <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:456423/FULLTEXT01.pdf>
29. Eriksen, M. K., Christiansen, J. D., Daugaard, A. E., & Astrup, T.F. (2019). Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling. *Waste Management*, 96, 75-85. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.07.005

30. Euroopa Patendiamet. (2021, 19. oktoober). New EPO study: Europe and US are leading innovation in plastic recycling and alternative plastics globally, patent data shows. *Euroopa Patendiamet*. Loetud: 22. oktoober 2023 <https://www.epo.org/en/news-events/news/new-epo-study-europe-and-us-are-leading-innovation-plastic-recycling-and>
31. EL COM 2020. (2020). Uus ringmajanduse tegevuskava. *Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile Nõukogule, Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomiteele ning regioonide komiteele*. Euroopa Komisjon 11.03.2020. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=ET>
32. Eurostat. (2022). Recycling rate of packaging waste for monitoring compliance with policy targets by type of packaging. *Eurostat*. Online data code: env_waspacr. 2020 andmed. Vaadatud: 24.11.2022
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASPACR/default/table?lang=en
33. EL COM 2022/677. (2022). Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus milles käsitletakse pakendeid ja pakendijäätmeid ning millega muudetakse määrust EL 2019/1020 ja direktiivi (EL) 2019/904, *Euroopa Komisjon*. 30.11.2022, Art 7. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:52022PC0677>
34. EL Omavahend. (2020). Euroopa Liidu omavahendite süsteem. *Euroopa Nõukogu otsus 2020/2053*. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:32020D2053>
35. EL Plasti Strateegia. (2018). Euroopa strateegia plasti kohta ringmajanduses. *Euroopa Komisjon*, 16.1.2018. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM%3A2018%3A28%3AFIN>
36. EL 94/62EC. (1994). Euroopa Parlamendi ning Nõukogu pakendi ja pakendijäätmete direktiiv 94/62/EC. *Euroopa Liit 1994*, artikkel 6. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:01994L0062-20180704>
37. Fletcher, S., Roberts, K. P., Shiran, Y., & Virdin, J. (2021). Policy options to eliminate additional marine plastic litter by 2050 under the G20. Osaka Blue Ocean Vision. *International Resource Panel*, 13.
https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/policy_options_to_eliminate_additional_marine_plastic_litter.pdf
38. Galvao, G. D. A., Nadae, J. D., Clemente, D. H., Chinen, G., & Carvalho, M. M. De. (2018). Circular Economy: Overview of Barriers. *Procedia CIRP*, 73, 79-85. DOI: 10.1016/j.procir.2018.04.011

39. Garcia-Gutierrez, P., Amadei, A.M., Klenert, D., Nessi, S., Tonini, D., Tosches, D., Ardente, F., & Saveyn, H. (2023). Environmental and economic assessment of plastic waste recycling. (*European Commission*) *Joint Research Centres*. 73. DOI: 10.2760/0472
40. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hulting, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048
41. GMI. (2023). Plastic Waste Pyrolysis Oil Market Size By Feedstock & Forecast, 2023-2032. *Chemicals and Materials*, GMI5914. Vaadatud 12.01.2024
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/plastic-waste-pyrolysis-oil-market#:~:text=Plastic%20Waste%20Pyrolysis%20Oil%20Market%20size%20surpassed%20USD%20608.1%20million,CAGR%20from%202023%20to%202032>
42. Grigore, M. E. (2017). Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. *Recycling*, 2(4), 24. DOI: 10.3390/recycling2040024
43. Hann, S., Bapasola, A., Fletcher, E., Lee, T., & Long, L. (2022). Study on Development Options for Rules on Recycled Plastic Content for the Implementing Act Related to Single-use Plastic Bottles Under Directive (EU) 2019/904. *Euroopa Komisjon, Eunomia*. DOI: 10.2779/13133
44. Hinkes, C. V. M. (2020). Sustainability certification for deforestation-free supply chains: the cases of palm oil and soy. *Georg-August-Universität-Göttingen. Doctoral degree*. DOI: 10.53846/goediss-8489
45. Horbach, J., Prokop, V., Stejskal, J., & Gerstlberger, W. (2022). *Business Models for the Circular Economy: A European Perspective*. Springer, 113-133.
https://www.ester.ee/record=b5517221*est
46. Huysman, S., Schaepmeester, J. D., Ragaert, K., Dewulf, J., & Meester, S. D. (2017). Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 46-54. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.013
47. Huang, T., Qian, Y., Wei, J., & Zhou, C. (2019). Polymeric Antimicrobial Food Packaging and Its Applications. *Polymers*, 11(3), 560. DOI: 10.3390/polym11030560
48. Horbach, J., Prokop, V., Stejskal, J., & Gerstlberger, W. (2022). Business Models for the Circular Economy: A European Perspective. *Springer*, 113-133.
https://www.ester.ee/record=b5517221*est

49. IDTechEx. (2022). Chemical Recycling and Dissolution of Plastics 2023-2033. *Research Reports*. Vaadatud: 27.11.2022 <https://www.idtechex.com/en/research-report/chemical-recycling-and-dissolution-of-plastics-2023-2033/894>
50. IEA. (2023). Tracking Carbon Capture Utilization and Storage. *International Energy Agency*. Vaadatud 12.01.24 <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage>
51. IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. International Energy Agency, 329, 347. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
52. Interpol. (2020). Emerging criminal trends in the global plastic waste market since January 2018. *Strategic Analysis Report* Loetud aadressil <https://www.interpol.int/en/News-and-Events/News/2020/INTERPOL-report-alerts-to-sharp-rise-in-plastic-waste-crime>
53. ISCC. (2022). Certification Scheme: ISCC PLUS. *International Sustainability and Carbon Certification*. Vaadatud: 24.10.2022 <https://www.iscc-system.org/certification/iscc-certification-schemes/iscc-plus/>
54. Jeswani, H., Krüger, C., Russ, M., Horlacher, M., Antony, F., Hann, S., & Azapagic, A. (2021). Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery. *Science of the Total Environment*, 769, 144483, 7. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144483
55. Jin, A. (2022). The Effects of Microplastics and the Urgency of Further Scientific Research. *International Journal of Life Sciences Research*, 10(4), 1-7. DOI: 10.5281/zenodo.7198724
56. Judl, J., Horn, S., & Karppinen, T.K.M. (2023). Towards a Low-Carbon Plastic Waste Recycling in Finland: Evaluating the Impacts of Improvement Measures on GHG Emissions. *Circular Economy and Sustainability*. DOI: 10.1007/s43615-023-00306-w
57. Jäätmedirektiiv 2008/98/EÜ. (2008). Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ, 19. november 2008, mis käsitleb jäätmeid. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>
58. Karaluna, M. E. (2019). Assessment of the Baltic States on regulation of plastic packaging recycling. *Latvijas Universitate*. <https://dspace.lu.lv/dspace/handle/7/48959>
59. Karayilan, S., Yilmaz, Ö., Uysal, C., & Naneci, C. (2021). Prospective evaluation of circular economy practices within plastic packaging value chain through optimization of life cycle impacts and circularity. *Resources, Conservation and Recycling*, 173. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105691

60. Kaza, S., Y., L., Bhada-Tata P., & Woerden, F.V. (2018). What a waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Managements to 2050. *World Bank*, 5, 117. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0
61. Kebapci, H., Wendland B. V., & Kaymaktchiyski, S. (2020). State Aid Rules in Reseach, Development and Innovation. *Publications Office of the European Union*. DOI:10.2760/675525
62. Keller, J., Scagnetti, C., & Albrecht, S. (2022). The Relevance of Recyclability for the Life Cycle Assessment of Packaging Based on Design for Life Cycle. *Sustainability*, 14(7). DOI: 10.3390/su14074076
63. Khan, O., Daddi, T., Slabbinck, H., Kleinhans, K., Vazquez-Brust, D., & Meester. S. D. (2020). Assessing the determinants of intentions and behaviors of organizations towards a circular economy for plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 4; 8. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105069
64. Khatami, F., Vilamova, Š., Cagno, E., Bernadi, P. D., Neri, A., & Cantino, V. (2023). Efficiency of consumer behaviour and digital ecosystem in the generation of the plastic waste toward the circular economy. *Journal of Environmental Management*, 325(B), 9. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116555
65. Khawaja, M. K., Ghaith, M., & Alkhalidi, A. (2021). Public-private partnership versus extended producer responsibility for end-of-life of photovoltaic modules management policy. *Solar Energy*, 222, 193-201. DOI: 10.1016/j.solener.2021.05.022
66. Kholidah, N., Faizal, M., & Said, M. (2018). Polystyrene Plastic Waste Conversion into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst. *Science & Technology Indonesia*, 3, 1-6. DOI: 10.26554/sti.2017.3.1.1-6
67. Kirchherr, J. (2021). Circular economy and growth: A critical review of “post-growth” circularity and a plea for a circular economy that grows. *Resources, Conservation & Recycling*, 179. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106033
68. Laanemets, P. (2022, oktoober). Konkurentsivõime ja ringmajanduse perspektiivid. *Tööstusest*. Loetud aadressil <https://toostusest.ee/uudis/2022/10/10/plastitoostus-konkurentsivoime-ja-ringmajanduse-perspektiivid/>
69. Lamperti, F., Bosetti, V., Roventini, A., Tavoni, M., & Treibich, T. (2021). Three green financial policies to address climate risks. *LEM Working Paper Series*, 2021/05. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/243501/1/2021-05.pdf>
70. Larrain, M., Passel, S. V., Thomassen, G., Kresovic, U., Alderweireldt, N., Moerman, E., & Billen, P. (2020). Economic performance of pyrolysis of mixed plastic waste:

- Open-loop versus closed-loop recycling. *Journal of Cleaner Production*, 270. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122442
71. Laurenti, R., Martin, M., & Stemark, A. (2018). Developing Adequate Communication of Waste Footprints of Products for a Circular Economy—A Stakeholder Consultation. *Resources*, 7(4), 78. DOI: 10.3390/resources7040078
 72. Lee, D. H. (2016). Bio-based economies in Asia: Economic analysis of development of bio-based industry in China, India, Japan, Korea, Malaysia and Taiwan. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (7), 4333-4346. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.10.048
 73. Lehtimäki, H., Piispanen, V.-V., & Henttonen, K. (2020). Strategic Decisions Related to Circular Business Model in a Forerunner Company: Challenges Due to Path Dependency and Lock-In. *South Asian Journal of Business and Management Cases*, 9 (3), 402-412. DOI: 10.1177/2277977920957957
 74. Lloyd, T.P. (1967). *American, German and British Antecedents to Pearl and Reed's Logistics Curve*. Population Investigation Committee. JSTOR.
https://u.demog.berkeley.edu/~jrw/Biblio/Eprints/%20J-L/lloyd.1967_logistic.curve.pdf
 75. Lubongo, C., & Alexandridis, P. (2022). Assessment of Performance and Challenges in Use of Commercial Automated Sorting Technology for Plastic Waste. *Recycling*, 7(2), 11. DOI: 10.3390/recycling7020011
 76. Madanikashhahi, S., Vandewalle, L. A., Meester, S. D., Wilde, J. D., & Geem, K. M. V. (2022). Multi-Scale Modeling of Plastic Waste Gasification: Opportunities and Challenges. *Materials*, 15(12), 4215. DOI: 10.3390/ma15124215
 77. Manickam, P., & Duraisamy G. (2019). Circular Economy and Textiles and Apparel. 4-3Rs and circular economy, 2019, 77-93. DOI: 10.1016/B978-0-08-102630-4.00004-2
 78. Malthus, R. T., (1798). *An Essey on the Principle of Population, as it affects the future improvement of society. With remarks on the speculations of Mr Godwin, M. Condorcet and ohter writers*. Toronto University Library. Internet Archieve. Vaadatud 17.11.2022
<https://archive.org/details/essayonprincipl00malt/mode/2up>
 79. Meys, R., Frick, F., Westhues, S., Sternberg, A., Klankermayer, J., & Bardow A. (2020). Towards a circular economy for plastic packaging wastes – the environmental potential of chemical recyclin. *Resources, Conservation & Recycling*, 162, 8. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105010
 80. Mishra A. K., & Mary, S. (2019). Does Food Insecurity Fuel Civil Conflict in Sub-Saharan Africa, *Agricultural and Food Policy*. DOI: 10.22004/ag.econ.290896

81. Morsetto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104553
82. Moshood, D. T., Nawanir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H., Ghani, A. A., & Kumar, S. (2022). Green product innovation: A means towards achieving global sustainable product within biodegradable plastic. *Journal of Cleaner Production*, 363. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132506
83. Musayeva, L., Yanık, J., Ürüt, G. Ö., & Özel, A. (2017). Isolation and characterization of asphaltenes is the products obtained by hydrocracking process of petrochemical industry wastes. *International Scientific Publications*, 11, 266-273.
<https://www.scientific-publications.net/get/1000024/1501345840365618.pdf>
84. Nagy, A., & Kuti, R. (2016). The Environmental Impact of Plastic Waste Incineration. *Aarms*, 15(3), 231–237. DOI: 10.32565/aarms.2016.3.3
85. Narancic, T., & Connor, K. E. O. (2019). Plastic waste as a global challenge: are biodegradable plastics the answer to the plastic waste problem?. *Microbiology*, 165, 129-137. DOI: 10.1099/mic.0.000749
86. National Inventors. (2022). *Otis Ray McInte*. Fall of Fame. Vaadatud 27.10.2022.
<https://www.invent.org/inductees/otis-ray-mcintire>
87. Naviroj, P., Treacy, J., & Urffer, C. (2019). Chemical Recycling of Plastics by Dissolution. *University of Pennsylvania*. https://repository.upenn.edu/cbe_sdr/115
88. Neves, S. A., & Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130865
89. OECD. (2001). Extended Producer Responsibility, A Guidance Manual for Governments, *OECD*, 11. DOI: 10.1787/9789264189867-en
90. OECD. (2022). *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*, 14-36, 40. DOI: 10.1787/de747aef-en
91. OECD-GHG. (2022). *Plastic leakage and greenhouse gas emissions are increasing*, 1. Vaadatud 24.11.2022 <https://www.oecd.org/environment/plastics/increased-plastic-leakage-and-greenhouse-gas-emissions.htm>
92. Olatayo, K. I., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. L. (2022). Does Policy on Plastic Waste Support Higher Waste Management Hierarchy Options?. *Recycling*, 7 (3), 36. DOI: 10.3390/recycling7030036

93. Oone, A. (2019, 18 oktoober). Prügiplasti taaskasutuse lahendus võib tulla põlevkivitööstusest. *TalTech*. Loetud 21. november 2022
<https://taltech.ee/uudised/prugiplasti-taaskasutuse-lahendus-voib-tulla-polevkivitoostusest>
94. Pakendite ja pakendijäätmete direktiiv 94/62/EÜ. (1994). Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 94/62/EÜ, 20. detsember 1994, pakendite ja pakendijäätmete kohta. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:31994L0062&qid=1705401940336>
95. Pellengahr, F., Ghannadzadeh, A., & Meer Y. (2023). How accurate is plastic end-of-life modeling in LCA? Investigating the main assumptions and deviations for the end-of-life management of plastic packaging. *Sustainable Production and Consumption*, 42, 170-182. DOI: 10.1016/j.spc.2023.09.014
96. Pfaendner, R. (2022). Restabilization – 30 years of research for quality improvement of recycled plastics review. *Polymer Degradation and Stability*, 203. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2022.110082
97. Pinsky, R. Z., Sabharwall, P., & Gaffiney, A. M. (2019). Energy input and process flow for plastic recycling. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 8(7), 230-243. DOI: 10.5281/zenodo.3352136
98. Plastics Circularity. (2023) Chemical Recycling is Growing Worldwide. *Global Partners for Plastics Circularity*. Vaadatud 04.12.2023
<https://plasticcircularity.org/?resources=chemical-recycling-technologies>
99. Plastics Europe. (2020). *Plastics – the Facts 2020*, 57.
<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
100. Plastics Europe. (2021). *Plastics – the Facts 2021*, 12.
<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
101. Plastics Europe. (2022). *Plastics – the Facts 2022*, 18, 28, 35, 48.
<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022-2/>
102. Plastics Industry Association. (2022). *History of Plastics*. Vaadatud 19.10.2022.
<https://thisisplastics.com/plastics-101/155-years-of-plastic/>
103. Quantis. (2020). Life Cycle Assessment of Plastic Energy Technology for the Chemical Recycling of Mixed Plastic Waste. 5; Vaadatud 06.10.2022
<https://plasticenergy.com/wp-content/uploads/2020/10/Plastic-Energy-LCA-Executive-Summary.pdf>
104. Qureshi, M. S., Oasmaa, A., Pihkola, H., Deviatkin, I., Tenhunen, A., Mannila, J., Minkkinen, H., Pohjakallio, M., & Laine-Ylijoki, J. (2020). Pyrolysis of plastic waste:

- Opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 152. DOI: 10.1016/j.jaap.2020.104804
105. Ramesohl, S., Vetter, L., Meys, R., & Steger, S. (2020). Chemical Plastics Recycling – Potentials and Development Prospects. *IN4climate.NRW*, 10, 17. <https://idw-online.de/de/attachmentdata80362>
106. Rasi, R. Z., Ismail, H., Shahbaz, M. S., & Sundram, V. P. K. (2023). Interdisciplinary challenges in the circular supply chains: A systematic literature review. *Heliyon*, 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15225
107. REACH. (2006.) Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr 1907/2006. Loetud aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907>
108. Reidewald, F., Patel, Y., Wilson, E., Santos, S., & Sousa-Gallagher, M. (2021). Economic assessment of a 40,000 t/y mixed plastic waste pyrolysis plant using direct heat treatment with molten metal: A case study of a plant located in Belgium. *Waste Management*, 120, 698-707. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.10.039
109. Reike, D., Vermeulen, W.J.V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as C.E 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*. 135, 246-264. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.08.027
110. Repp, L., Hekkert, M., & Kirzherr, J. (2021). Circular economy-induced global employment shifts in apparel value chains: Job reduction in apparel production activities, job growth in reuse and recycling activities. *Resources, Conservation and Recycling*, 171. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105621
111. Riigikantselei. (2023). EL-i omavahendite koondtabel 2021. *MS Excel*. e-kiri: 4. jaanuar 2023.
112. Robaina, M., Murillo, K., Rocha, E., & Villar, J. (2020). Circular economy in plastic waste - Efficiency analysis of European countries. *Science of The Total Environment*, 730. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139038
113. Rodriguez, C., Florido, C., & Jacob, M. (2020). Circular economy contributions to the tourism sector: A critical literature review. *Sustainability*, 12 (11), 3. DOI: 10.3390/su12114338
114. Rouch, D. A. (2023). Plastic future: How to reduce the increasing environmental footprint of plastic packaging. *Clarendon Policy & Strategy Group, Melbourne, Australia, Working Paper No. 11*, 6. <https://www.researchgate.net/publication/337506127>

115. Russ, M., Gonzalez, M., & Horlacher, M. (2020). Evaluation of pyrolysis with LCA – 3 case studies. *BASF, Sphera Solutions GmbH*, 69. <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling/lca-for-chemcycling/download-study.html>
116. Sakthipriya, N. (2022). Plastic waste management: A road map to achieve circular economy and recent innovations in pyrolysis. *Science of the total Environment*, 809, 8. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151160
117. Salmenpera, H. (2021). Different pathways to a recycling society – Comparison of the transition in Austria, Sweden and Finland. *Journal of Cleaner Production*. 292. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125986
118. Sawant, A. D., Warriar, S., & Pawar, G. (2021). Socio-Economic Implications of Waste Management. *Urban Growth and Environmental Issues in India*, 239-252. DOI: 10.1007/978-981-16-4273-9_15
119. Schmiele, A. (2009). Drivers for International Innovation Activities in Developed and Emerging Countries. *Centre for European Economic Research, Discussion Paper No. 09-064*. Loetud aadressil <https://d-nb.info/1188566601/34>
120. Schneider, J. (2020). *Circular economy in the automotive Industry: the case of polymethylmethacrylate (PMMA)*. Lappeenranta-Lahti University of Technology-Lut, (magistritöö). Loetud aadressil <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/161676>
121. Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Bizarro, D. Godoi., Wild, P. D., Vreugdenhil, B., & Harmelen, T. V. (2021). Plastic recycling in a circular economy; determining environmental performance through an LCA matrix model approach. *Waste Management*, 121, 331-342. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.12.020
122. Science Museum. (2019). The age of plastic: from parkesine to pollution. *Chemistry, 11. October 2019*. Vaadatud: 26.10.2022. <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/chemistry/age-plastic-parkesine-pollution#:~:text=Belgian%20chemist%20and%20clever%20marketeer,phenol%2C%20under%20heat%20and%20pressure>
123. Smith, P. H. (1935). Plastics Come of Age. *Scientific American*, 152 (1), 5-7. <https://www.jstor.org/stable/24998498>
124. Sun, X., Lettow, F., & Neuhoff, K. (2021). Climate Neutrality Requires Coordinated Measures for High Quality Recycling. *Diw Weekly Report*, 26, 187. DOI: 10.18723/diw_dwr:2021-26-1

125. Talve, S., & Põld, E. (2005). *Olelusringi hindamine*. Pärnu, 61-62.
https://www.ester.ee/record=b2037835*est
126. Tavana, M., Nasr, A. K., Mina, H., & Micknik, J. (2022). A private sustainable partner selection model for green public-private partnerships and regional economic development. *Socio-Economic Planning Sciences*, 83. DOI: 10.1016/j.seps.2021.101189
127. Tebbiche, I., Mocellin, J., Huong, L. T., & Pasquier, L. C. (2021). 27 - Circular Economy and Carbon Capture, Utilization, and Storage. *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, 813-851. DOI: 10.1016/B978-0-12-821878-5.00005-2
128. Tiller, R., Booth, A. M., & Cowan, E. (2022). Risk perception and risk realities in forming legally binding agreements: The governance of plastics. *Environmental Science and Policy*, 134, 67-74. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.04.002
129. Toniolo, S., Tosato, R. C., Gambaro, F., & Ren, J. (2020). Life cycle thinking tools: Life cycle assessment, life cycle costing and social life cycle assessment. *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*, 39-56. DOI: 10.1016/B978-0-12-818355-7.00003-8
130. Tosun, J., & Howlett, M. (2021). Managing slow onset events related to climate change: the role of public bureaucracy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 43-53. DOI: 10.1016/j.cosust.2021.02.003
131. Urbanski, M., & Haque, A. U. (2020). Are You Environmentally Conscious Enough to Differentiate between Greenwashed and Sustainable Items? A Global Consumers Perspective. *Sustainability*, 12(5), 1786. DOI: 10.3390/su12051786
132. US Environmental Protection Agency. (2020). *Recycling Economic Information (REI)*. Loetud aadressil https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-11/documents/rei_report_508_compliant.pdf
133. Valencia, M., Bocken, N., Loaiza, C., & Jaeger, S. D. (2023). The socioeconomics of the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 408. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137082
134. Vals, M. (2022). Süsinikuneutraalne keemiatööstus. *TalTech XIV Põlevkivikonverents*. 18. november 2022, 5. <https://taltech.ee/polevkivi-kompetentsikeskus-konverentsid>
135. Vollmer, I., Jenks, M. J. F., Roelands, M. C. P., White, R. J., Harmelen, T. V., Wild, P. D., Laan, G. P., Meirer, F., Keurentjes, J. T. F., Weckhuysen, B. M. (2020). Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste. *Angewandte Chemie International Edition*, 59, 15402-15423. DOI: 10.1002/anie.201915651

136. ÜRO. (2015). *Paris Agreement*, artikkel 2. Loetud aadressil https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
137. ÜRO. (1994). United Nations Convention on the Law of the Sea. Loetud aadressil https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf
138. Walker, T., Gramlich, D., & Dumont-Bergeron, A. (2020). The Case for a Plastic Tax: A Review of Its Benefits and Disadvantages Within a Circular Economy. *Business and Society* 360, 4, 185-211. DOI: 10.1108/S2514-175920200000004010
139. Waring, S. (2018). Nylon: The creation of a revolutionary fabric. *Science Museum* 6. March 2018. Vaadatud: 26.10.2022. https://blog.sciencemuseum.org.uk/nylon-the-creation-of-a-revolutionary-fabric/?_gl=1*1vmedo5*_gcl_au*MzM5MzYzNjc3LjE3MDUwMTQyODc
140. Weidner, K., Nakata, C., & Zhu, Z. (2020). Sustainable innovation and triple bottom-line: A market-based capabilities and stakeholder perspective. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 29(2), 141-161. DOI: 10.1080/10696679.2020.1798253
141. Wilson, D. C., Velis, C., & Cheeseman, C. (2006). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International*, 30(4), 797-808. DOI: 10.1016/j.habitatint.2005.09.005
142. Woolston, H. B. (1924). The Dynamics of Population: A Criticism of Malthus. *Oxford Academic, The Journal of Social Forces*, 2 (2), 169-177. DOI: 10.2307/3005334
143. Wts Global. (2023). *Plastic Taxation in Europe: Update 2023*. Loetud aadressil <https://wts.com/wts.com/publications/climate-protection-green-tax-energy/2023/wtsglobal-plastic-taxation-in-europe-2023.pdf>
144. Xayachak. T., Haque, N., Lau, D., Parthasarathy, R., & Pramanik B. K. (2023). Assessing the environmental footprint of plastic pyrolysis and gasification: A life cycle inventory study. *Process Safety and Environmental Protection*, 173, 592-603. DOI: 10.1016/j.psep.2023.03.061
145. Yan, M. R., Hsieh, S., & Ricacho, N. (2022). Innovative Food Packaging, Food Quality and Safety, and Consumer Perspective. *Processes*, 10(4), 747. DOI: 10.3390/pr10040747
146. Zahler, A., Goya, D., & Caamano, M. (2018). The role of obstacles to innovation on innovative activities: An empirical analysis. *ResearchGate*. DOI: 10.18235/0001505
147. Zhang, L., Shaoping, X., Zhao W., & Liu, S. (2007). Co-pyrolysis of biomass and coal in a free fall reactor. *Fuel*, 86(3), 353-359. DOI: 10.1016/j.fuel.2006.07.004

Lisad

LISA A. EL-i liikmesriikide 2021. a. ringlusse võtmata pakendiplasti omavahend

EL liikmesriik	2021. aasta EL-i korrigeeritud omavahend eurot/aastas	2021. aasta EL-i omavahend korrigeerimismehhanismiga eurot/aastas	2021. aasta ringlusse võtmata pakendiplasti kogus tonni/aastas (ametlik prognoos)*
Belgia	151 012 640	151 012 640	188 766
Bulgaaria	22 173 920	44 173 920	55 217
Tsehhi	51 658 240	83 658 240	104 573
Taani	124 519 840	124 519 840	155 650
Saksamaa	1 357 307 680	1 357 307 680	1 696 635
Eesti	22 481 040	26 481 040	33 101
Iirimaa	145 762 960	145 762 960	182 204
Kreeka	48 034 240	81 034 240	101 293
Hispaania	478 754 480	620 754 480	775 943
Prantsusmaa	1 247 247 520	1 247 247 520	1 559 059
Horvaatia	17 806 160	30 806 160	38 508
Itaalia	744 439 280	928 439 280	1 160 549
Küpros	3 377 920	6 377 920	7 972
Läti	14 807 040	20 807 040	26 009
Leedu	10 737 120	19 737 120	24 671
Luxembourg	14 015 760	14 015 760	17 520
Ungari	152 341 120	182 341 120	227 926
Malta	7 179 300	8 579 300	10 724
Holland	205 092 000	205 092 000	256 365
Austria	156 078 240	156 078 240	195 098
Poola	372 037 440	489 037 440	611 297
Portugal	167 299 200	198 299 200	247 874
Rumeenia	116 763 920	176 763 920	220 955
Sloveenia	10 338 860	16 338 860	20 424
Slovakkia	33 593 920	50 593 920	63 242
Soome	69 406 800	69 406 800	86 759
Rootsi	102 398 240	102 398 240	127 998
KOKKU:	5 846 664 880	6 557 064 880	8 196 331

*Arvutus on tehtud liikmesriikide poolt esitatud 2021. a tarbimisjärgse pakendiplasti ringlusse võtmise prognooside kohaselt. 2024. aastal tehakse tasaarvestus prognooside ja tegelike summade vahel. Korrigeerimismehhanism tuleneb vastavast kindlasummalisest vähendusest (EL Omavahend 2020/2052, 2020, artikkel 2).

Allikas: Riigikantselei 2023, autori koostatud

LISA B. Intervjuu küsimuste plaan

Teema	Intervjuu küsimused
Sissejuhatus	Palun kirjeldage lühidalt oma vastutusvaldkonda ringmajanduses?
Plastide ringmajanduse hetkeolukord	Millisena hindate plastide ringmajanduse hetkeolukorda? Mida peate peamiseks kitsaskohaks ja miks? Mida näete ringmajanduse edendamise võimalustena?
Plastide ringmajanduse eesmärgid	Kuidas suhtute EL kliimapoliitikast lähtuvalt seatud plasti ringlusse võtmise sihtarvudesse? Kui realistlikuks hindate sihtarvude täitmist ja millisel ajaperioodil? Kas EL-i poolt kehtestatud ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti vastav omavahend on teie hinnangul piisav majanduslik stiimul? Palun kirjeldage, mis võiks teie hinnangul olla ringlusse võtmise sihtarvude täitmist motiveeriv stiimul turuosalistele? Millised on teie vastutusvaldkonnas planeeritud tegevused, eesmärgid ja vahe-eesmärgid sekundaarplasti ringlusse võtmise edendamiseks?
Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamine	Milline on teie senine kokkupuude plasti keemilise ümbertöötamise projektidega? Millisena hindate keemilise ümbertöötlustehnoloogia rakendamise vajadust? Milliseid regulatiivseid takistusi näete sekundaarplasti keemilise ümbertöötamise (pürolüüsi) rakendamisel Eestis? Millised oleksid teie hinnangul võimalikud lahendused?
Riikidevaheline koostööpotentsiaal	Millisena hindate Baltimaades ringlusse võtmata tarbimisjärgse pakendiplasti probleemi lahenduse koostööpotentsiaali? Kas olete omalt poolt valmis Baltimaade üleselt koostöövõimalusi arutama ja kaasama vajadusel ka kolleege teiste Balti riikide vastavatest ametiasutustest? Mida oleks teie hinnangul Baltimaade üleseks koostööks teha vaja ning milliseks hindate potentsiaalseid mõjusid?
Kokkuvõte	Meie vestluse lõpetuseks, kas soovite antud teemal midagi eraldi välja tuua ja rõhutada? Kas soovite midagi omalt poolt küsimustele täiendavalt lisada?

Allikas: autori koostatud

LISA C. Intervjuu küsimuste plaan Läti ja Leedu ametkondadele ning plasti olelusringi osapooltele (inglise keeles)

Topic	Framework for the discussion
Introduction	Please describe your area of responsibility in the plastic's circular economy in Latvia/Lithuania?
Current situation of plastics recycling	How would you assess the current plastics recycling situation in Latvia/Lithuania? What are the main challenges? In your opinion, what should be done to improve recycling in Latvia/Lithuania?
Plastics recycling targets	The EU has set mandatory plastics recycling targets for plastics packaging, so how challenging is it for Latvia/Lithuania? Do you have a local action plan and timeframe to achieve these goals? In your opinion, does the EU plastics levy stimulate recycling activities locally?
Plastics chemical recycling	Have you had any previous experience with plastics chemical recycling locally? Are there any project initiatives in Latvia/Lithuania? What's your opinion about plastics chemical recycling and pyrolysis technology? Is there a local regulation implemented or planned to regulate plastics chemical recycling?
International Collaboration	How would you evaluate the potential to collaborate within the Baltic States on plastics chemical recycling? What are the most important pre-conditions? Would you be interested in further discussions with the relevant stakeholders from Estonia, Latvia and Lithuania to evaluate the potential for regional collaboration?
Summary	Do you have any questions, or would you like to highlight something from our discussion?

Allikas: autori koostatud

LISA D. Ringmajanduse hetkeolukorra teemaplokis loodud koodid ja kategooriad

Teema	Intervjuu tulemuste koodid	Loodud kategooriad
1. Plastide ringmajanduse hetkeolukord	Jäätmete liigiti sortimise madal tase	Teadlikkus probleemist ja põhjustest
	Tarbijate vähene teadlikkus	
	Puudulik infrastruktuur	
	Heterogeensed pakendid	
	Mehaanilise ümbertöötuse piirangud	
	Negatiivne keskkonnamõju	Teadlikkus probleemi tagajärgedest
	Saastaja maksab põhimõte	
	Turu korrastamise vajadus	
	Energiatootmise madal lisandväärtus	
	Ladestamise välistamise vajadus	
	Ennetustegevuse vajadus	Osapoolte ootused
	Jäätmekäitlussüsteemi korrastamine	
	Mehaanilise ümbertöötuse eelistamine	
	Tarneahela läbipaistvus	
	Uute lahenduste integreerimine	
Avatud koostöö		

Allikas: autori koostatud

LISA E. Ringmajanduse eesmärkide teemaplokis loodud koodid ja kategooriad

Teema	Intervjuu tulemuste koodid	Loodud kategooriad
2. Ringmajanduse eesmärgid	EL-i ringlussevõtu sihtarvud on väga ambitsioonikad	Regulatiivne raamistik
	Ringmajanduse korrastamisega on kiire	
	Statistika ebaselgus	
	Deklareerimata pakendikogused	
	Kaheldakse koostöotahtes	
	Omavahend ärgitab koostööle	
	Plasti keemilise ümbertöötamise praktika puudumine	
	Ekspertide tööühmad	Kaasamine ja koostöö
	Lõpptarbivate hinnatundlikus	
	Jäätmete liigiti sortimise lahendused	
	Kulude tõusuga kaasnevad riskid	
	Koostööplaani vajadus	
	Informeeritus	Tegevuskava eeldused
	Tõendus põhisisus	
	Keskkonnamõjude hindamine	
	Tööstuskatsete tulemuste vajalikkus	

Allikas: autori koostatud

LISA F. Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise teemaplokis loodud koodid ja kategooriad

Teema	Intervjuu tulemuste koodid	Loodud kategooriad	
3. Sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamine	Vähene teadlikkus keemilisest ümbertööstlusest	Keemilise ümbertööstluse rakendamisega seotud tegurid	
	Varasema praktika puudumine		
	Projektipõhine menetlus		
	EL-i riikide regulatiivne raamistik pürolüüsile		
	Loastamine		
	Riskide maandamine		
	Tõendus põhisis		
	Keskkonnanõutele vastavus		
	Massibilansi rakendamine		
	Jäätmetest toode		
	Tooteohutus		
	Tootestandarditele vastavus		
	Tööstuskatsete vältimatus		
	EL-i vastava omavahendi kuluartikli vähenemine		Keemilise ümbertööstluse rakendamise võimalikud mõjud
	Olelusringi teooria		
	Esmase tooraine vajaduse vähenemine		
	Emissioonide vähenemise teoreetiline hinnang		
	Olulise keskkonnaprobleemi lahendamine		
	Töötaja kohta loodava lisandväärtuse kasv		
	Pürolüüsikompetentsi rakendamine		
	Töökohtatde säilimine		
	Ida-Virumaa majandusareng		
	Ida-Virumaa konkurentivõime kasv		

Allikas: autori koostatud

LISA G. Regionaalse koostööpotentsiaali teemaplokis loodud koodid ja kategooriad

Teema	Intervjuu tulemuste koodid	Loodud kategooriad
4. Riikidevaheline koostööpotentsiaal	Informeeritus	Riikidevahelise koostöö tegurid
	Osapoolte kaardistamine	
	Majanduslikud huvid	
	Eestvedajate vajadus	
	Riskide ja võimaluste hindamine	
	Eestis valideerimine ja reguleerimine	
	Positiivne mõju majandusele	Riikidevahelise koostöö võimalikud mõjud
	Olemasolena tehnoloogia ja kompetentsi rakendamine	
	EL-i vastava omavahendi kuluartikli vähenemine	
	Plastijäätmete ringlusse võtmine	
	Eesmise plastitooraine ennetamine	
	Keskkonnamõjud laiemalt	
	Baltimaade ülese koostöö praktiseerimine ja edendamine	

Allikas: autori koostatud

LISA H. Enefiti lahenduse rakendamise võimalike mõjude hindamise kokkuvõte

STSENAARIUM 1	STSENAARIUM 2
TINGIMUSED	TINGIMUSED
1. Pakendiplasti kogused 2020. a tasemel. Baltimaades ringlusse võtmata 90 000 t/a.	1. Pakendiplasti kogused 2020. a tasemel. Baltimaades ringlusse võtmata 90 000 t/a.
2. Keemilise ringlusse võtmisega alustatakse 2027. a., kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on 70% seni ringlusse võtmata pakendiplasti kogusest keemiliselt ringlusse võetud.	2. Keemilise ringlusse võtmisega alustatakse 2027. a., kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on 50% seni ringlusse võtmata pakendiplasti kogusest keemiliselt ringlusse võetud.
2. Sorteerimisvõimekus paraneb ja mehaaniline ringlusse võtmine Eestis ja Lätis kasvab 5% aastas alates 2027-2032.	3. Sorteerimisvõimekus paraneb ja mehaaniline ringlusse võtmine Eestis ja Lätis kasvab 3% aastas alates 2027-2032.
4. Keemilise ringlusse võtmisega asendatakse sama koguse energiatootmist ja primaartooraine kasutamist, millest tulenevalt väheneb CO ₂ -e emissioon.	4. Keemilise ringlusse võtmisega asendatakse sama koguse energiatootmist ja primaartooraine kasutamist, millest tulenevalt väheneb CO ₂ -e emissioon.
JÄRELDUSED	JÄRELDUSED
1. Alates 2027. a. keemilise ringlusse võtmise kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on 70% seni ringlusse võtmata kogusest ehk u 55 000 t/a pakendiplasti keemiliselt ringlusse võetud.	1. Alates 2027. a. keemilise ringlusse võtmise kogused lineaarselt kasvavad ja 2032. aastaks on 50% seni ringlusse võtmata kogusest ehk u 42 000 t/a pakendiplasti keemiliselt ringlusse võetud.
2. Baltimaade EL-i omavahendi makset on vähendatud perioodil 2027-2033 kokku u 225 miljonit eurot.	2. Baltimaade EL-i omavahendi makset on vähendatud perioodil 2027-2033 kokku u 156 miljonit eurot.
3. Kirjeldatud tingimustel asendatakse sama koguse energiatootmist ja primaartooraine kasutamist – millest tulenevalt: CO₂-e emissioon väheneb 2033. a. u 45%.	3. Kirjeldatud tingimustel asendatakse sama koguse energiatootmist ja primaartooraine kasutamist – millest tulenevalt: CO₂-e emissioon väheneb 2033. a. u 33%.
4. Mõju tööhõivele: töökohad säilivad ja töötaja kohta loodav lisandväärtus kasvab.	4. Mõju tööhõivele: töökohad säilivad ja töötaja kohta loodav lisandväärtus kasvab.
5. Lisaks on potentsiaal teiste riikide ringlusse võtmata pakendiplastist (Soome u 86 000 t/a, Rootsi u 127 000 t/a jt – vt. Lisa A) osa keemiliselt ringlusse võtta.	5. Lisaks on potentsiaal teiste riikide ringlusse võtmata pakendiplastist (Soome u 86 000 t/a, Rootsi u 127 000 t/a jt – vt. Lisa A) osa keemiliselt ringlusse võtta.
6. Eelhinnangute kohaselt, on potentsiaal keemiliselt ringlusse võtta ka osa muust tarbimisjärgsest sekundaarplastist, mida Baltimaades tekib u 100 000 t/a.	6. Eelhinnangute kohaselt, on potentsiaal keemiliselt ringlusse võtta ka osa muust tarbimisjärgsest sekundaarplastist, mida Baltimaades tekib u 100 000 t/a.

Allikas: autori koostatud

Summary

ACUTENESS, ASSUMPTIONS AND POSSIBLE IMPACTS OF IMPLEMENTATION OF CHEMICAL RECYCLING OF SECONDARY PLASTICS IN THE BALTIC COUNTRIES

Pilleriin Laanemets

The purpose of this master's thesis was to find out the acuteness, assumptions, and possible effects of the implementation of chemical recycling of secondary plastics in the Baltic countries. To fulfill the research objective, the author set three research tasks:

- to provide an overview of the theoretical foundations and effects of the circular economy from the perspective of the research problem; to describe the current situation of the circular economy of plastics in the EU and globally; and to analyze the environmental impact of chemical recycling technology on carbon emissions, based on scientific literature;
- investigate the extent of the problem of unrecycled secondary plastic packaging in Estonia, Latvia and Lithuania and carry out a qualitative study to find out the prerequisites for the industrial implementation and analyze the potential and bottlenecks of regional cooperation;
- theoretically assess, on the *Ceteris paribus* principle, the possible impact of the secondary plastics chemical recycling at Enefit, on the EU's own resource payments of the Baltic countries, the socio-economic impact on employment, and the environmental impact of CO₂ emissions.

To fulfill the research tasks, the author analyzed professional scientific literature, reports from international organizations and experts' assessments. Additionally, 20 interviews were conducted, in which experts from Estonia, Latvia, and Lithuania in the plastics recycling development, along with the authorities responsible for the field, participated.

To fulfill the first research task, the paradigm of the transition from a linear economic model to a circular economy and relevant scientific literature had to be conceptualized. The analysis revealed that complex challenges: innovative and technological, political, regulatory, and economic, etc. - are still barriers to achieving a breakthrough. The dominance of the linear economic model and the strong interdependence of the parties in the life cycle lead to path dependence. Plastic, as one of the biggest breakthroughs in material development created under the conditions of the linear economic model of the 19th century, has become a controversial material in the 21st century due to irresponsible mass consumption and littering. Since, according to the OECD, the life cycle of plastics emits 3.4% of greenhouse gases today, which may quadruple by 2050, the possible change in CO₂ emissions associated with

the implementation of chemical recycling of plastic waste was investigated. To fulfill the task, LCA reports prepared in the field of chemical recycling of secondary plastics were analyzed. It turned out that the application of chemical recycling has the potential to recycle an estimated 70% of the secondary plastics used in energy production and landfilled so far, which would also result in a 30-45% reduction in CO₂ emissions.

To fulfill the second research task, the scope of the problem of secondary plastic packaging in Estonia, Latvia and Lithuania was investigated. For this purpose, relevant statistics from EU databases were analyzed. It turned out that the total amount of unrecycled secondary plastic packaging in the Baltic countries is more than 90,000 tons per year, and its total cost is approx. 50 million euros of the corresponding EU own resource. Also, a qualitative study was carried out with the aim of finding out the acuteness of the problem and the prerequisites for the implementation of chemical recycling. For this purpose, 20 interviews were conducted, in which experts from Estonia, Latvia and Lithuania in the plastics recycling development, along with the authorities responsible for the field, participated. It was confirmed that the problem of unrecycled secondary plastic packaging is acute in all Baltic countries, and the interviewees were interested in further discussions to analyze the potential of cross-border cooperation. In addition, the ambiguity of the regulatory framework at the EU and local level was pointed out, which will affect the possibility of realizing the chemical recycling of secondary plastic.

To fulfill the third research task, the possible theoretical impact assessment of the implementation of the Enefit chemical recycling was carried out to learn the potential impact on the EU own resource payments of the Baltic countries, the socio-economic impact on employment and the impact of CO₂ emissions on the environment according to the *Ceteris paribus* principle. Two scenarios were analyzed.

Scenario 1. Assuming that the quantities of post-consumer packaging plastic remain at the 2020 level, i.e., the unrecycled quantity in the Baltic countries totals approx. 90,000 t/y. The mechanical recycling will improve by 5% annually. Chemical processing will commence in 2027, and by linearly increasing the volume, by 2032, 70% of the amount currently used in energy production or landfilled in the Baltic States will be chemically recycled, i.e., approx. 55,000 t/y. Under these conditions it will be possible to reduce the corresponding payments of the Baltic States' EU own funds during the period 2027-2033 by a total of approx. 225 million euros, while also achieving a potential reduction of up to 45% in CO₂ emissions by 2033, compared to the same level of energy production.

Senario 2. Assuming that the quantities of post-consumer packaging plastic remain at the 2020 level, i.e., the unrecycled quantity in the Baltic countries totals approx. 90,000 t/y. The mechanical recycling will improve by 3% annually. Chemical processing will commence in 2027, and by linearly increasing the volume, by 2032, 50% of the amount currently used in energy production or landfilled in the Baltic States will be chemically recycled, i.e., approx. 42,000 t/y. Under these conditions it will be possible to reduce the corresponding payments of the Baltic States' EU own funds during the period 2027-2033 by a total of approx. 156 million euros, while also achieving a potential reduction of up to 33% in CO₂ emissions by 2033, compared to the same level of energy production.

Furthermore, it was discovered that Enefit has the potential to chemically recycle unrecycled secondary plastic packaging from other EU countries, such as approx. 86,000 t/y in Finland and 127,000 t/y in Sweden, as well as other secondary plastics, approx. 100,000 t/y, in the Baltic countries.

In both scenarios, the existing jobs in Enefit would be preserved and the added value created per employee would increase. In addition, new jobs would be created in other stages of the plastic life cycle.

Considering the limited volume of the master's thesis and the acuteness of the research problem, according to the author of the thesis, this research is the basis for a possible more extensive and comprehensive impact analysis in the future.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Pilleriin Laanemets,

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Baltimaades sekundaarplasti keemilise ringlusse võtmise rakendamise akuutsus, eeldused ja võimalikud mõjud“, mille juhendaja on Liina Joller-Vahter reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Pilleriin Laanemets
16.01.2024