



EESTI MAAÜLIKOOL

Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut

Kristel Danneberg

**BIOPLASTI TOOTMINE TOIDUJÄÄTMETEST JA
KASUTAMISE VÕIMALUSED TOIDUAINETETÖÖSTUSES**

**PRODUCTION OF BIOPLASTICS FROM FOOD WASTE AND
POSSIBILITIES FOR USAGE IN FOOD INDUSTRIES**

Bakalaureusetöö

Toiduainete tehnoloogia õppekava (100984)

Juhendajad: Alice Aav *PhD*
Katrín Jõgi *MSc*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Kristel Danneberg		Õppekava: Toiduainete tehnoloogia	
Pealkiri: Bioplasti tootmine toidujäätmetest ja kasutamise võimalused toiduainetetööstuses			
Lehekülgi: 68	Jooniseid: 3	Tabeleid: 1	Lisaid: 4
Osakond / Õppetool: Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: T430 Toiduainete ja jookide tehnoloogia Juhendajad: <i>PhD</i> Alice Aav, <i>MSc</i> Katrin Jõgi Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Naftapõhiste plastide ja toidujäätmete üleküllus ning kahjulik mõju keskkonnale on pannud plasti tootjaid vaatama jätkusuutlikumade variantide suunas. Selliseks lahenduseks on bioplast ning bioplasti tootmine toidujäätmetest. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida bioplasti tootmist toidujäätmetest ning selle kasutamist toiduainetetööstuses. Kirjanduse analüüsis anti ülevaade erinevatest bioplasti liikidest, bioplasti tootmisvõimalustest toidujäätmetest, kasutamise võimalustest toiduainetetööstuses, lagunemisest erinevates tingimustes ning bioplasti eelistest ja väljakutsetest. Levinumateks bioplastideks on PHA, PLA ning tärglisepõhised plastid. Töö eksperimentaalses osas keskenduti erineva taustaga ettevõtete teadmistele toidujäätmetest bioplasti tootmisel, nende väljakutsetele ning ettevõtete kasutatavatele bioplastidele ning tuleviku väljavaadetele. Naftapõhist plasti on hakatud järjest rohkem asendada bioplastiga toiduainete pakendamises. Pakenditootjad ja toidutööstused soovivad kasutada jätkusuutlikumaid ning kliendile hinnasõbralikumaid bioplaste, et olla konkurentsivõimeline naftapõhise plastiga, aga samal ajal hoides meie keskkonda. Toidujäätmetest bioplasti kasutamine selliseid võimalusi pakub, vähendades sellega toidujäätmete sattumist prügilatesse ja kasvuhoonegaaside emissiooni.</p>			
Märksõnad: bioplast, toidujäätmed, PHA, PLA, toiduainetetööstus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Kristel Danneberg		Curriculum: Food Technology	
Title: Production of bioplastics from food waste and possibilities of usage in food industries			
Pages: 68	Figures: 3	Tables: 1	Appendixes: 4
Department / Chair: Chair of Food Science and Technology Field of research and (CERC S) code: T430 Food and Beverage Technology Supervisors: <i>PhD</i> Alice Aav, <i>MSc</i> Katrin Jõgi Place and date: Tartu 2021			
<p>The abundance of petroleum-based plastics and food waste as well as the adverse effects on the environment have led plastics producers to look towards more sustainable options. Such a solution is bioplastics and production of bioplastics from food wastes. The aim of this bachelor's thesis was to study the production of Bioplastics from food waste and its usage in the food industries. The literature review provided an overview of different types of bioplastics, possibilities of bioplastics production from food waste, possibilities of usage in food industries, degradation under different conditions, and the advantages as well as challenges of bioplastics. The most common bioplastics are PHA, PLA and starch-based plastics. The experimental part of the work focused on the knowledge companies from different backgrounds in the production of bioplastics from food waste, its challenges, and the bioplastics used by the companies and their future prospects. Packaging manufacturers and food industries are keen to use more sustainable and customer-friendly bioplastics, while caring for our environment. The use of bioplastics from food waste offers such opportunities, thereby reducing food waste in landfilling and greenhouse gas emissions.</p>			
Keywords: bioplastic, food waste, PHA, PLA, food industries			

SISUKORD

SISUKORD	4
LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS.....	7
1. KIRJANDUSE ANALÜÜS	9
1.1. Bioplasti olemus ja liigid.....	9
1.1.1. Polülaktiidhape.....	12
1.1.2. Polühüdroksüalkanoaadid	13
1.1.3. Termoplastilineitärklis.....	13
1.1.4. Tselluloosil põhinevad bioplastid.....	14
1.2. Bioplasti tootmine toidujäätmetest.....	15
1.3. Bioplasti kasutamine toiduainetetööstuses.....	18
1.4. Bioplasti lagunemine erinevates tingimustes	21
1.4.1. Kompost	23
1.4.2. Pinnas	23
1.4.3. Veekeskkond	24
1.4.4. Anaeroobne biolagunemine.....	24
1.5. Bioplasti kasutamise eelised ja väljakutsed	25
2. MATERJAL JA MEETODIKA.....	28
3. TULEMUSED JA ARUTELU.....	30
3.1. Bioplasti tootmise areng.....	30
3.2. Toidujäätmetest bioplasti kasutamine toiduainetetööstuses.....	35
3.3. Toidujäätmetest bioplasti tootmise väljakutsed	38
3.4. Ettevõtete teadlikkus ja kogemused bioplasti kasutamisest	41
KOKKUVÕTE.....	45
KASUTATUD KIRJANDUS	47
LISAD	53

Lisa 1. Intervjuu pakenditootja Estiko Plastar AS'iga	53
Lisa 2. Intervjuu firmaga CRA.....	58
Lisa 3. Intervjuu Toiduliidu juhataja Sirje Potiseppaga	63
Lisa 4. Intervjuu Soome Paulig Group strateegilise pakendiarenduse juhiga Kati Randell.	66

LÜHENDID

ABS – akrüülnitriil-butadien-stüreen
Bio-PE – polüetüleen bioetanoolist
EVOH – etüülvinüülakohol
PBAT – polübutüleenadipaas tereftalaat
PBSA – polübutüleensuktsinaat adipaas
PBS – polü(butüleensuktsinaat)
PCL – polükaprolaktoon
PE – polüetüleen
PEA – polüesteramiid
PET – polüetüleentereftalaat
PGA – polüglükoolhape
PHA – polühüdrosüalkanoaat
PHB – polühüdroskübutüraat
PHH – polühüdrosüheksanoaat
PHV – polühüdrosüvaleriaat
PLA – polülaktiidhape
PP – polüpropüleen
PS – polüstüreen
PTMAT – polümetüleenadipaas tereftalaat
PVOH – polüvinüülalkohol

SISSEJUHATUS

Viimaste aastate jooksul on palju hakatud tähelepanu pöörama inimkonna poolt toodetavale ja tarbitavale plastile, kuna suurem osa sellest jõuab loodusesse, kus see oma kestva iseloomust tingituna ei ole kergesti lagundatav, kahjustades sellega keskkonda ja elusorganisme ning avaldades inimese tervisele märkimisväärset kahju (Webb *et al.*, 2013; Ganesh Kumar *et al.*, 2020). Lisaks plasti loodusesse jõudmisele vaadeldakse ka asjaolu, kui palju kahjustab plasti tootmine Maa ökosüsteemi üleliigse süsihappegaasi vabanemisega (Webb *et al.*, 2013). Sellest tingituna on hakatud välja töötama plastile sobivaid asendusi, et vähendada liigse süsihappegaasi sattumist loodusesse ning vähendada keskkonnareostust, sest plasti täielik lagunemine looduses võib võtta 50 või enam aastat (Webb *et al.*, 2013). Biomassi väärimise läbi on võimalik toota elektrit, soojust, kütuseid ja ühe võimalusena ka plasti, mille tulemusena väheneks kasvuhoonegaaside teke ja tootmiseks kuluv energiahulk (Carmona-Cabello *et al.*, 2018). Biopõhinevate plastide ja kemikaalide olelustersükli analüüsid on näidanud oluliselt madalamat kasvuhoonegaaside emissiooni võrreldes naftapõhiste plastide ja kemikaalidega (Narayan, 2011; Spierling *et al.*, 2018; Shogren *et al.*, 2019). Jätkusuutlikkus on saanud üheks oluliseks eesmärgiks toidupakendamise tööstustes ning ka terves kogukonnas (Hill, 2010; Han, 2014). Seoses kliima muutumise ja globaalse soojenemisega on viimase 20 aasta jooksul bioplast hakanud saama ülemaailmset tähelepanu tarbijatelt, tootjatelt ning investoritelt (Han, 2014). Bioplasti toodetakse nii taastuvatest kui ka mittetaastuvatest lähtematerjalidest ning seda nähakse kui võimalikku lahendust jäätmete ja fossiilkütuste tekitatud keskkonnaprobleemidele (Han, 2014; de Paula *et al.*, 2018).

Aastal 2019 toodeti maailmas 368 miljonit tonni naftal põhinevat plasti, millest 57,9 miljonit tonni toodeti EU28 riikides, Norras ja Šveitsis (Plastics – the Facts, 2020). Nimetatud paikades toodetud plastist 39,6% kasutatakse toiduainete pakendamiseks (Plastics – the Facts, 2020). Aastal 2020 toodeti bioplasti 2,11 miljonit tonni, millest 1,227 miljonit tonni oli biolagunev bioplast ning 884 tuhat tonni biopõhine või bioloogiliselt mittelagunev bioplast (Bioplastics market data, 2020). Arvatakse, et bioplasti tootmine tõuseb 2025. aastaks 2,87 miljoni tonnini, kus 1,8 miljonit tonni on biolagunev ning 1,07 miljonit tonni on biopõhine või bioloogiliselt mittelagunev (Bioplastics market data, 2020).

Bioressursipõhised polümeerid või taastuvatest orgaanilistest substraatidest saadud polümeerid pakuvad olulist panust, vähendades sõltuvust fossiilkütustest ning sellest tingituna vähendavad tekkivate kasvuhoonegaaside heitkoguseid, millel omakorda on keskkonnale positiivne mõju (Nayak & Bhushan, 2019). Tänu tehnoloogia arengule on bioplasti tootmine ning kasutamine kasvanud, kuid põhinedes faktidele, moodustab bioplasti tootmine vaid 0,6% kogu maailma plasti tootmisest (Bioplastics market data, 2020).

ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni (FAO) info kohaselt läheb igal aastal globaalselt kaotsi või raisku 1,3 miljardit tonni toitu, mis vastab ühele kolmandikule kogu toodetud toiduainevarudest (FAO, 2020). Aastal 2012 tekkis EU28 riikides hinnanguliselt kokku 88 miljonit tonni toidujäätmeid (kaasa arvatud toidu söödamatud osad), millest 53% tekkis kodumajapidamistes, 19% toidutöötlemisel ning jaekaubandus moodustas vaid 5% (EU FUSIONS, 2016). ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon defineerib toidujäätmeid kui toidu kvaliteedi ja kvantiteedi kadu erinevates tarneahela protsesside osades (FAO, 2020). Toidujäätmeid tekib igas toidu käitlemisetapis, sealhulgas käitlemisel, hoiustamisel, tootmisel, tootmisjärgselt, hulgi- ja jaemüügis ning ka tarbimise etapis (Ravindran & Jaiswal, 2016; Tsang *et al.*, 2019). Enamus toidujäätmeid utiliseeritakse prügilate, komposteerimise või fermenteerimise kaudu (Tsang *et al.*, 2019). Seega, toidujäätmete väärimine läbi lisandväärtusega toodete tootmise, võib olla praktiline ja ideaalne lõppkasutus – suurendades globaalset jätkusuutlikkust (Tsang *et al.*, 2019).

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida, millised on võimalused bioplasti tootmiseks toidujäätmetest ning millised on selle kasutamise võimalused toiduainetetööstustes.

Uurimusküsimused:

- 1) Kuhu on jõutud toidujäätmetest bioplasti tootmises?
 - a. Mis on praeguseni bioplasti alal tehtud?
- 2) Kas toidujäätmetest toodetud bioplasti saab kasutada toiduainetetööstuses?
 - a. Kas kasutamist piiravad erinevad regulatsioonid?
- 3) Millised on toidujäätmetest bioplasti tootmise väljakutsed?

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS

Kirjanduse analüüsis uuritakse, mis on bioplast, mis on praeguseni bioplasti valdkonnas tehtud ning millised on võimalused bioplasti tootmiseks toidujäätmetest. Seejärel uuritakse, kas toidujäätmetest bioplasti on võimalik kasutada toiduainetetööstustes, millised toiduainetetööstused juba kasutavad bioplaste ja mis on bioplasti kasutamise eelised ja väljakutsed. Väiksemal määral käsitletakse ka bioplasti lagunemist erinevates tingimustes, et saada ülevaade hetkeolukorrast.

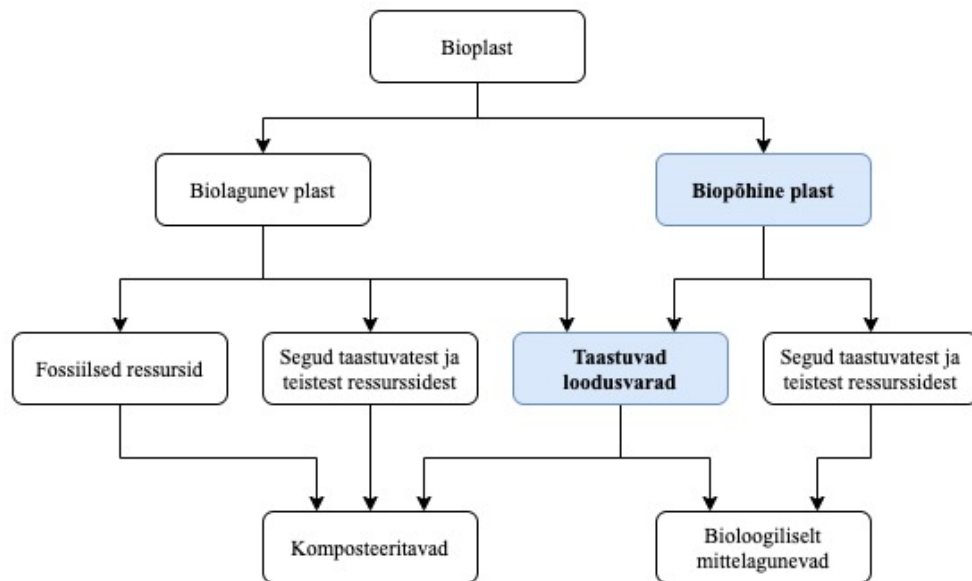
1.1. Bioplasti olemus ja liigid

Enne kui saab rääkida bioplasti tootmisest toidujäätmetest ning kasutamisest toiduainetetööstustes, tuleb aru saada, kuidas ja millest bioplasti toodetakse, kuhu on praeguseks jõutud bioplasti tootmisel ning milliseid bioplaste on võimalik toota toidujäätmetest.

Erinevatest allikatest leiab bioplastile erinevaid definitsioone, kuid Euroopa Bioplasti andmetel defineeritakse bioplasti kui plastmaterjali, mis on kas biolagunev, biopõhine või mõlemate omadustega (EBA, 2020). Bioplastid moodustavad väga mitmekülgse materjalide rühma, millest lähtuvalt võib bioplaste liigitada erinevate parameetrite alusel, nagu valmistamise lähteained, materjali omadused ja sünteesimeetodid (EBA, 2020).

Bioplasti terminit saab kasutada kahe erineva plasti defineerimiseks (Joonis 1) (Song *et al.*, 2011):

- 1) Biolagunev ja komposteeritav plast, mis võib põhineda nii taastumatutel kui ka taastuvatel loodusvaradel, kui ka olla segu mõlemast;
- 2) Biopõhine ehk taastuvatel loodusvaradel põhinev plast, kus fookuseks on kasutatava tooraine päritolu, mille puhul on oluline, et tooraine pärineks bioloogilistest allikatest.



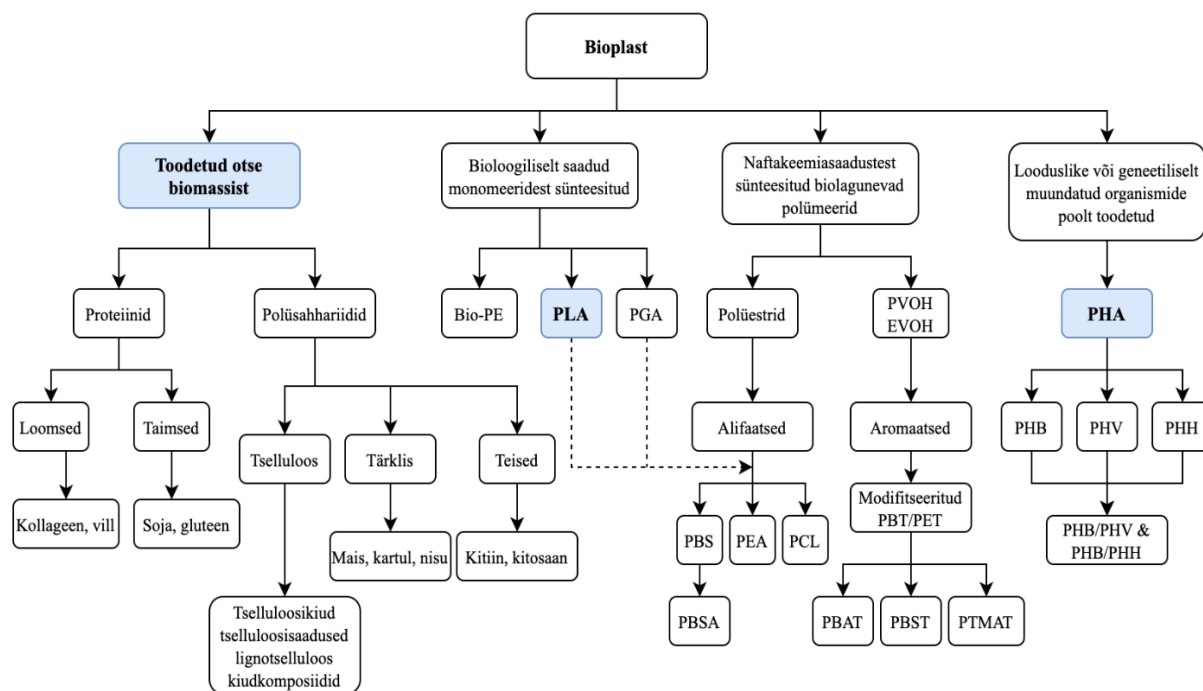
Joonis 1. Bioplasti liigid (Song *et al.*, 2011)

Jooniselt 1 saab järeldada, et bioplasti puhul ei saa eeldada, et materjal on biolagunev, vaid biolagunemine sõltub materjali lähteainetest ja omadustest. Antud töös on põhifookuseks bioplasti tootmine toidujäätmetest, märgitud Joonisel 1 sinisega, mis liigitub biopõhise plasti alla, ning võib öelda, et on valmistatud taastuvatest loodusvaradest, sest toidujäätmeid tekib igapäev meile juurde.

Tulenevalt bioplasti keemilisest koostisest, päritolust ja sünteesimeetodist, on bioplasti võimalik liigitada nelja erinevasse kategooriasse (Joonis 2) (Robertson, 2008; Mittal, 2012; Han, 2014):

- 1) mikroobse fermentatsiooni teel toodetud polümeerid, näiteks polühüdrosüalcanoaadid (PHA);
- 2) keemilise sünteesi teel toodetud polümeerid bioloogiliselt saadud monomeeridest, näiteks polülaktiidhape (PLA) ja biopõhine polüetüleen (PE);
- 3) otse biomassist toodetud polümeerid, näiteks tärklis, proteiin, tselluloos;
- 4) keemilise sünteesi teel toodetud polümeerid bioloogiliselt saadud monomeeridest ja naftal põhinevates monomeeridest, näiteks polü(butüleensuksinaat) ehk PBS ja polü(trimetüültereftalaat) ehk PTT.

Bioplasti on võimalik toota ka kui biokomposiite või kopolümeere kasutades kahte või enamat Joonisel 2 toodud materjali (Song *et al.*, 2011). Käesolev uurimustöö keskendub bioplasti tootmisele biomassist, PHA ning PLA tootmisele, mis on Joonisel 2 ära märgitud sinisega.



Joonis 2. Bioplasti klassifikatsioon lähtuvalt toorainest ja tootmistehnoloogiast (Song *et al.*, 2011).

Tuginedes bioplasti olelutsükli käitlusele, saab liigitada bioplasti ka kolme järgnevasse kategooriasse (Han, 2014):

- 1) biolagunev bioplast, näiteks tärklisel põhinev, polühüdrosüalcanoaadid (PHA) ja polü(butüleensuksinaat) ehk PBS;
- 2) komposteeritav bioplast, näiteks polülaktiidhape (PLA);
- 3) ümertöödeldav bioplast, näiteks biopõhine polüetüleen (PE), biopõhine polüetüleentereftalaat (PET) ja biopõhine polüpropüleen (PP).

Biolagunev plast ei tähenda, et see materjal oleks alati komposteeritav, kuid kõik bioplastid, mis on komposteeritavad on alati biolagunevad (Kale *et al.*, 2007 a,b; Emadian *et al.*, 2017). Joonis 1 illustreerib, et bioloogiliselt mittelagunevad biopõhised plastid on kas taastuvatest loodusvaradest või segud taastuvatest ja teistest ressurssidest.

Biopõhiste biolagunevate plastide valdkonna kasvu peamised edendajad on innovaatilised biopolümeerid nagu polülaktiidhape (PLA) ja polühüdrosüalcanoaadid (PHA) (Bioplastics market data, 2020). Erinevatest looduslikest ressurssidest, nagu tselluloosist, maisist, kitosaanist ning mitmetest loomsetest ja taimsetest proteiinidest toodetud biopolümeere peetakse headeks alternatiivideks naftapõhiste bioloogiliselt mittelagunevatele

plastmaterjalidele, sest sellised materjalid on taastuvad, kättesaadavad, odavad, biolagunevad, keskkonnasõbralikud ning bioühilduvad (Sorrentino *et al.*, 2007; Luckachan & Pillai, 2011; Tang *et al.*, 2012; Han, 2014).

1.1.1. Polülaktiidhape

Polülaktiidhape (PLA) on bioloogiliselt ühilduv komposteeritav termoplastiline materjal, mis on toodetud taastuvatest loodusvaradest, nagu mais, suhkrupeet ja kartulitärklis (Garlotta, 2001; Kale *et al.*, 2007a; Han, 2014), kuid PLA-d saab toota ka naftakeemiasaadustest (Song *et al.*, 2011). PLA tootmisprotsess hõlmab endas sahhariidide muundamist dekstroosiks ning sellele järgnevat fermentatsiooni, mille lõpptulemuseks on piimhape (Jabeen *et al.*, 2015). Polülaktiidhappe lagunemiskiirus sõltub PLA kristallilisusest, morfoloogiast, molekulmassist, molekulmassi jaotusest, vee imendumiskiirusest polümeeri ja stereoisomeeri sisaldusest (Janorkar *et al.*, 2004; Han, 2014). Polülaktiidhappe laguneb süsinikuskeletis asetsevate estrirühmade hüdrolyüüsi kaudu (Janorkar *et al.*, 2004; Han, 2014). PLA kui pakkematerjal asendab mitmeid naftapõhiseid materjale, nagu kõrgtihe polüetüleen (HDPE), madaltihe polüetüleen (LDPE), polüetüleen tereftalaat ning polüstüreen (Jabeen *et al.*, 2015). PLA-l võib olla kolm erinevat struktuuri: (1) polü(D-laktiid) – PDLA, (2) polü(L-laktiid) – PLLA ning (3) polü(D,L-laktiid) (Tang *et al.*, 2004; Han, 2014). Kõige laiemalt kasutatakse pakendamiseks polü(D,L-laktiidi), mis sisaldab 90% ulatuses L-laktiidi (Han, 2014). Tõstes D-laktiidi kontsentratsiooni, saab toota veel kristallilisema struktuuriga PLA polümeere ning parema mehaanilise tugevuse, termilise stabiilsuse ja barjääriomadustega PLA kilesid, aga kõrgete tootmiskulude tõttu ei ole kõrge D-laktiidi kontsentratsiooniga PLA tootmine majanduslikult mõistlik (Han, 2014). Varasemalt ei saanud PLA-d kasutada gaasiliste jookide ning kuumalt täidetavate joogipudelite valmistamiseks, kuid 2007. aastal patenteeris firma Purac PLA polümeeri, mis talub temperatuure 100 – 140 °C (Song *et al.*, 2011; Shogren *et al.*, 2019). Selline tulemus saavutati segades omavahel PLLA ja PDLA, mis annab tulemuseks kõrge sulamistemperatuuriga kiirelt kristalliseeruva kompleksi (Shogren *et al.*, 2019). Antud omadustega polümeer leiab kasutust näiteks kuumtäidetava pudelina, temperatuurikindlate kiududena, mikrolaineahjus kasutatava alusena, elektroonikas ning autoosades (Song *et al.*, 2011). Üha enam segatakse PLA-d teiste materjalidega, nagu tärklis, nanosavi või teiste bioplastide ja tselluloosidega, et muuta funktsionaalsust ja/või vähendada kulusid (Song *et al.*,

2011). Polülaktiidhappe osakaal bioplasti toomises 2020. aastal oli 18,7% ning 2025. aastaks eeldatakse kasvu 19,5 protsendini (Bioplastics market data, 2020).

1.1.2. Polühüdrosüalkanoaadid

Polühüdrosüalkanoaadid (PHA) on polüestrite perekond, mis on toodetud läbi bakteriaalse fermentatsiooni ning arvatakse, et PHA-l on potentsiaal asendada traditsioonilisi süsivesinikel põhinevaid polümeere (Nayak & Bhushan, 2019). Põhilised toorained, mida kasutatakse PHA tootmiseks on suhkruroog, põllukultuurid ja taimeõlid (Tsang *et al.*, 2019). PHA ainulaadsed omadused võrreldes bioloogiliselt mittelagunevate polüpropüleeni ja polüetüleentereftalaadiga, on parem veeaurubarjäär ning parem rasva- ja lõhnabarjäär (Tsang *et al.*, 2019). Selliste omadustega on PHA-l võimalik asendada kolme põhilist polümeeri maailmaturul – polüetüleeni, polüpropüleeni ja polüstüreeni (Lee, 1996; Dietrich *et al.*, 2017). Kõige tihedamini kasutatavad PHA bioplastid on polü-4-hüdrosübutüraat (P4HB), polühüdrosüoktanoaat (PHO), polühüdrosüheksanoaat (PHH), polühüdrosüvaleriaat (PHV) ja nende kopolümeerid, näiteks polü-3-hüdrosübutüraat (P3HB) (Ren *et al.*, 2011; Tsang *et al.*, 2019). PHA füüsikalised-keemilised omadused on kaasa aidanud PHA kasutusele toiduainete pakenditena ning lisaks ka teistes valdkondades, näiteks meditsiinis ja energeetikas (Tsang *et al.*, 2019). Polühüdrosüalkanoaatide omadused varieeruvad rabedast termoplastist sitkete elastomeerideni ning neid omadusi on võimalik kontrollida bakterite, substraadi ja fermentatsiooni tingimuste valikuga (Dietrich *et al.*, 2017). PHA-sid on võimalik muuta survevalu komponentideks, nagu näiteks kiud, laminaadid, kiled ja lehed, lausriie, ühekordsed esemed, sünteetilised paberist tooted, vahad, vahud, liimid, värvid, ja sideained (Nayak & Bhushan, 2019). PHA-sid soovitatakse kasutada oma ülitugevuse, sitkuse ning niiskuskindlusest tingituna pudelite ja veekindlate kilede tootmiseks (Nayak & Bhushan, 2019). PHA osakaal bioplasti tootmises 2020. aastal oli vaid 1,7% (Bioplastics market data, 2020).

1.1.3. Termoplastiline tärklis

Tärklis on amüloosi ja amülopektiini molekulidest koosnev polümeer, olles potentsiaalne materjal bioplasti tootmiseks oma kättesaadavuse, taastuvuse ja odavuse tõttu (Song *et al.*,

2011). Tärglist leidub graanulitena paljudes taimedes, nagu nisu, mais, riis, kartul ja tapiokk (Song *et al.*, 2011; Han, 2014). Looduslikku tärglist ei ole bioplasti tootmiseks võimalik kasutada tema kõrge sulamispunkti ja rabaduse tõttu (Song *et al.*, 2011). Selleks, et saada tärglisest termoplastiline materjal, tuleb rakendada vee juuresolekul tärglise destruktureerimiseks kuumust, mehaanilist lõhkumist ning lisada plastifikaatoreid, nagu polüool või glütserool (Song *et al.*, 2011). Kõige tavalisemad plastifikaatorid on glütserool ja vesi, kuid veel on parem plastifitseerimise efekt kui glütseroolil (de Vileger, 2000; Han, 2014). Tavaliselt peab termoplastiline tärglis sisaldama vähemalt 70 massiprotsenti tärglist, kus koos tasakaalustatud kompositsioonis on plastifikaatorid, täidised ja polümeerste omaduste täiendajad (Song *et al.*, 2011). Termoplastilisel tärglisel on sarnased omadused harilikele sünteetilistele termoplastidele ning neid saab ka töödelda sarnaselt tavalisele plastile, kuid termoplastilise tärglise kehvad mehaanilised omadused ning niiskustundlikkus piiravad tema rakendusi pakkematerjalina (de Vileger, 2000; Han, 2014). Termoplastiline tärglis võiks olla üks asendus polüstüreenile (Jabeen *et al.*, 2015). Termoplastilise tärglise mehaanilised omadused on suuresti sõltuvuses plastifitseerijatest, niiskusesisaldusest ning amüloosi sisaldusest, kusjuures kõrgema amüloosi sisaldusega tärglised on plastilisemad (Han, 2014).

Termoplastilise tärglise funktsionaalsuse laiendamiseks ja/või kulude vähendamiseks võib seda kombineerida teiste biopõhinevate või naftakeemiasaadustel põhinevate bioplastidega, kus termoplastilise tärglise kontsentratsioonid varieeruvad 30 – 70 massiprotsendi juures (Song *et al.*, 2011). Erinevaid bioplaste on kombineeritud termoplastilise tärglisega, näiteks PCL, PLA, PVOH, PBS ja PBSA (Halley, 2005; Song *et al.*, 2011). Enamus selliseid materjale on poolläbipaistvad või läbipaistmatud ning sellest tingituna ei sobi need rakendusteks, kus läbipaistvus on nõutav (Song *et al.*, 2011). Tärglise lisamisel biolagunevasse polümeeri tõstab see polümeerkomposiidi biolagunevust (Han, 2014). Tärglise segude osakaal bioplasti tootmises 2020. aastal oli 18,7% (Bioplastics market data, 2020).

1.1.4. Tselluloosil põhinevad bioplastid

Tselluloos on kõikide taimede peamine struktuurielement olles Maal kõige levinum looduslik polümeer – glükoosi lineaarne homopolümeer (Song *et al.*, 2011; Shogren *et al.*, 2019). Tselluloosist on võimalik toota erinevaid polümeere, nagu tselluloosikiud, lignotselluloos, tselluloosisaadused ja looduslikud kiudkomposiidid (Song *et al.*, 2011). Tselluloosikiudest

mikrofibrill on biopõhine nanomaterjal, mida oleks võimalik kasutada erinevates pakendamiskandustes, näiteks läbipaistvad kiled või katmiskihid, kuid oma tootmiskalliduse poolest on selle kasutamine väga piiratud (Song *et al.*, 2011). Lisaks on võimalik tselluloosikiududest valmistada erinevaid paberist ja papist tooteid, näiteks munakarbid ning vormitud paberimassist saab valmistada aluseid, mis sobivad toiduainete pakendamiseks ja toitlustusasutustele (Song *et al.*, 2017). Lignotselluloosi saab kasutada ka PHA tootmiseks, kuid tootmine on raskendatud, kuna lignotselluloosi hüdrolysaatide kääritamisvõime on madal (Dietrich *et al.*, 2019). Looduslike kiudkomposiitide kasutatakse laialdaselt ehituses, autotööstuses ning lennundussektoris, aga ka sekundaarpakendi materjalina, näiteks vormitud konteinerites toidu säilitamiseks ja transpordiks (Song *et al.*, 2011). Laialdaselt kasutatakse toiduainete pakendamiseks ka tsellofaani, mida peamiselt saadakse delignifitseeritud puuvillast või paberimassist (Geueke, 2014; Youssef & El-Sayed, 2018).

1.2. Bioplasti tootmine toidujäätmetest

Toidujäätmete definitsioone on erinevaid. ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon defineerib toidujäätmeid kui toidu kvaliteedi ja kvantiteedi kadu, mis tekib erinevates tarneahela protsessides, nagu korjejärgelt, tootmisel ja töötlemisel (FAO, 2020). EU FUSIONS defineerib toidujäätmeid kui mistahes toitu ja toidu söödamatuid osi, mis on toidu tarneahelast eemaldatud, et neid taastada või utiliseerida (sealhulgas komposteeritud, anaeroobselt lagundatud, koristamata põllukultuurid, bioenergia tootmine, soojusenergia ja elektrienergia tootmine, tuhastamine, ladestamine kanalisatsiooni, prügilasse või merre) (EU FUSIONS, 2020). Direktiiv 2008/98/EÜ defineerib biojäätmeid kui biolagunevaid aia- ja halajastusjäätmeid, kodumajapidamistest, büroodest, restoranidest, hulгимүүгiettevetest, sööklatest, toitlustus- ja jaemүүгiettevetest pärinevaid toidu- ja köögijäätmeid ning samalaadseid toiduainetööstuse jäätmeid (2008/98/EÜ, 2018).

Üks põhjustest, miks PHA tootmine toidujäätmetest on ideaalne strateegia naftapõhiste plastide asendamiseks, on see, et toidujäätmed prügilates toovad soovimatuid tagajärgi, nagu kasvuhoonegaaside keskkonda sattumine ning põhjavee saastamine (Tsang *et al.*, 2019). Bioplasti tootmine toidujäätmetest on aga jätkusuutlik taastuv protsess, kus materjalid on sünteesitud süsinikdioksiidivabast allikast (Tsang *et al.*, 2019). Lignotselluloosne biomass on

paljulubav lähteaine PHA tootmiseks, oma kättesaadavuse ja alakasutatavuse tõttu (Dietrich *et al.*, 2019). PHA-d saab toota näiteks järgnevatest toidujäätmetest: fermenteeritud juustuvadak, juustuvadak, ananassijäätmed, piimatööstuse jäätmed, õlletehaste reovesi, koorimata õled, kasutatud palmi- ja taimeõlid ning nisuõled (Tsang *et al.*, 2019).

Teadlased üle maailma keskenduvad PHA tootmiskulude vähendamise võimalustele, kasutades erinevaid jäätmeid süsinikuallikana (Alavi *et al.*, 2015; Raza *et al.*, 2018). Sellisteks jäätmeteks on vadak, nisukliid, riisikliid, tärklis, suhkruroo melass, taimeõli jäätmed ning reovesi (Raza *et al.*, 2018). Maailmas toodavad PHA-d mitmed firmad USA-s, Brasiilias, Itaalias ja Hiinas (Tsang *et al.*, 2019). Metabolix USA-s toodab P3HB maisist ja nende tootlikkus on 50 000 tonni aastas, MHG Bio USA-s toodab Mcl-PHA rapsiõlist tootlikkusega 20 tonni aastas, Biocycles Brasiilias toodab P3HB roosuhkrust tootlikkusega 100 tonni aastas, Bio-On Itaalias toodab PHA-d peedisuhkrust tootlikkusega 10 000 tonni aastas ning Hiinas TianAn Biopolymer toodab P4HB ja P3HBV maisist ja Tianijin GreenBio etüül-3-HB ja P(3,4-HB) sukroosist ning mõlemad on tootlikkusega 10 000 tonni aastas (Tsang *et al.*, 2019).

Biopolümeeride tootmiseks on kasutatud palju põllumajandustööstuste jääke (Nayak & Bhushan, 2019). Toiduainetööstustes tekib küllaldaselt jääke nagu seemnejäägid (mango, viinamari ja kõrvits), tsitrusviljade nahad ja viljaliha (apelsin, greip, sidrun, laim ja mandariin), koored (kartul ja banaan), kohv, suhkruroo pressimisjäätmed, maapähkli kestad ja teraviljaõled (Nayak & Bhushan, 2019).

PLA üks suurimaid tootjaid, ca 149 000 tonni PLA-d aastas (Shogren *et al.*, 2019), on NatureWorks ning 2003. aastal tutvustasid nad oma toodet Ingeo, mis on toodetud söödamaisist, mida kasvatatakse tööstuslikul eesmärgil (Han, 2014). Ingeo't kasutatakse toidu ja jookide pakendamiseks ning toidu teenindamisnõudeks, nagu näiteks kohvikapslid, teekotid, lihaalused, piimatoodete pakendid, kuivained, kõrred, läbipaistvad topsid, taldrükud ning söögiriistad (NatureWorks, 2020). Firma Total Corbion PLA on maailma suurim piimhappe tootja ning aastal 2018 alustasid 74,8 miljoni kilogrammi PLA tootmist aastas uues tehases Tais ja PLA-d toodavad nad suhkruroost (Shogren *et al.*, 2019). Austria firma Weforyou Group toodab aastas 9,9 miljonit kilogrammi PLA-d suhkruroost ja tapiokist, Hollandi firma Synbra Technology B.V. 4,9 miljonit kilogrammi PLA-d aastas taimejäätmetest ning Hiina firma Hisun Biomaterials 4,5 miljonit kilogrammi PLA-d aastas maisist ja tapiokist (Shogren *et al.*, 2019).

Bioplasti tootmiseks toidujäätmetest peavad toidujäätmed läbima eeltötluse, et muuta ja täiustada bioloogilisi ja füüsikalisi-keemilisi omadusi (Tsang *et al.*, 2019). Kõige rohkem kasutatakse eeltötluseks järgmisi tehnoloogiaid: füüsikalised, keemilised ja bioloogilised protsessid ning ensümaatilise hüdrolyüsi (Tsang *et al.*, 2019). Mehaaniliste ja termiliste muundamisprotsessidega viiakse läbi füüsikaline eeltötlus ning seda rakendatakse tavaliselt tootmisprotsessi alguses, et muuta osakeste suurust või eraldada materjale järgmiste protsessi sammude jaoks (Tsang *et al.*, 2019). Füüsikaline eeltötlus on alati kombineeritud teiste töötlemisviisidega (Tsang *et al.*, 2019). Eeltötlus happega on üks levinumaid toidujäätmete töötlemisviise, eriti lignotselluloosete materjalide puhul (Mussoline *et al.*, 2013; Tsang *et al.*, 2019). Füüsikalisi ja keemilisi töötlemisviise on kasulik PHA tootmisel kombineerida, et saavutada paremad tulemused või suurem lõppsaagis (Tsang *et al.*, 2019). Jäätmetest toodetav PHA võib olla saastunud bakteriaalselt, viiruslikult või geneetiliselt (Koller *et al.*, 2013; Raza *et al.*, 2018). Erinevad lisandid PHA-s nõuavad hügieenikriteeriumite täitmiseks järeltötlust, mis tõstab aga toote hinda (Volova *et al.*, 2003; Raza *et al.*, 2018). Mitmetes uuringutes on erinevaid seeni rakendatud bioloogiliseks toidujäätmete eeltötluseks ning selline eeltötlusmeetod on paljutöötav ja keskkonnasõbralik, põhinedes spetsiifiliste mikroorganismide ensüümide lisamisel (Tsang *et al.*, 2019). Hüdrolyüsi käigus lagundatakse polümeerid monomeerideks ning ensümaatilise hüdrolyüsi kriitiliseks sammuks on toidujäätmete polümeeride struktuuride teisendamine kääritatavateks produktideks (Tsang *et al.*, 2019).

Alashwal *et al.* (2020) arendasid välja sünteetilise bioplasti, kasutades selleks kana sulgedest eraldatud keratiini ja mikrokristalset tselluloosi. Erinevate analüüsidega tõestati materjali kõrge kristallilisus, termilised omadused ning hea pinna morfoloogia ja autorid arvavad, et keratiinipõhisel bioplastil on paljutöötav tulevik (Alashwal *et al.*, 2020).

Bioplasti tootmine toidujäätmetest on paljulubav jätkusuutlik protsess (Yukesh Kannah *et al.*, 2020) ning seda näitavad ka mitmed teaduslikud uuringud. Asendades naftapõhised plastid bioplastidega, mille tootmine ja kasutamine on jätkusuutlik, on võimalik vähendada olemasolevaid keskkonnaprobleeme. Bioplasti tootmisel keskendutakse palju materjali omadustele, tootmisprotsessi ning materjali lõpphinna odavamisele, et üleminek naftapõhiselt plastilt bioplastile oleks kiirem ning sujuvam. Praegu eelistavad tootjad ja tarbijad odavama hinna tõttu just naftapõhiseid plaste, sest kõrgema hinnaga biopõhised plastid tõstavad ka lõpptootte hinda.

1.3. Bioplasti kasutamine toiduainetetööstuses

Bioplasti kasutamine toiduainetetööstuses on oluline samm edasi asendamaks naftapõhiseid plaste, sest väga suure osa toiduainete pakenditest moodustab just selline plast.

Polülaktiidhape on termoplastiline polümeer (PLA) ja seda kasutatakse laialdaselt, eriti toiduainete pakendamiseks (Nayak & Bhushan, 2019). PLA-d kasutatakse kõige rohkem värskete toidu pakendamiseks ja lühikese säilivusajaga toodetele, mis ei nõua keerulisi barjääre kaitsmaks toodet pikaajaliselt (Song *et al.*, 2011). PLA kondendseerumisvastased omadused on väärtuslikud värskete sooja leiva ja pagaritoodete pakendamisel, lisaks kasutatakse PLA kilet võileivakarpide akendes, PLA pudeleid jookide pakendamiseks ning termiliselt vormitud PLA aluseid kasutatakse värske toodete, nagu näiteks salatite pakendamiseks (Song *et al.*, 2011). PLA-d leiab kasutust veel jogurtitopsidena, ürtide ja kommide anumadena, külma joogi topsidena ning kahesuunaliselt orienteeritud PLA kilet kasutatakse kommide paberina, püsti seisvate kottidena (*pouch*) ja koogisegude, leibade ning hommikusöögihelveste kottidena (Shogren *et al.*, 2019). Puhumisvormimismeetodil valmistatud PLA pudeleid kasutatakse toiduõlide, lühikese säilivusajaga piima ning vee pakendamiseks (Shogren *et al.*, 2019).

Polühüdroskübutüraat (PHB) on oma mehaaniliste omaduste poolest sarnane PP-le, välja arvatud tema haprus, mis on tingitud kõrge kristallilisusest (Han, 2014). PHA kilede omadused on: kõrge veeaurutõke, süsihappegaasitõke, hapnikutõke, UV-tõke ja selliste omadustega materjali saab kasutada mitmete toodete pakendamiseks (Koller, 2014).

Euroopa Komisjoni määrus (EÜ) nr 10/2011, toiduga kokkupuutumiseks ettenähtud plastmaterjalide ja -esemete kohta lubab kasutada järgnevaid lisaineid plastis: tselluloos, lignotselluloos ja teised tselluloosid, tärkliseid, soja. Samuti on määruse 10/2011 lähteainete tabelis välja toodud piimhape, mis on PLA komponendiks. Määrus 10/2011 toob välja, et (R)-3-hüdroskübutüraadi ja (R)-3-hüdrosüheksanaadi kopolümeeri tohib kasutada ainult eraldi või segatuna muude polümeeridega kokkupuutes mis tahes toiduga, kui kokkupuude kestab kuni kuus kuud ja/või kuus kuud ja kauem toatemperatuuril või alla selle, sealhulgas kuumtäitmine või lühiajaline kuumutamine. Kõik bioplastid, mida tahetakse kasutada toiduainete pakendamiseks, peavad vastama määruses 10/2011 väljatoodud punktidele, nagu näiteks migratsiooni piirnõuded, üldnõuded ja erinõuded ainete kohta. Sellest määrusest võib järeldada,

et kõik bioplastid, mida soovitakse kasutada toiduainete pakendamiseks, ei tohi sisaldada erinevaid mürke, toksilisi saasteaineid ning ka allergiat tekitavaid osakesi.

Tabelis 1 on välja toodud erinevad bioplastid, mida kasutatakse toidutööstuses, nende kasutusala, kasutatud biopolümeer ning bioplasti kasutav ettevõte.

Tabel 1. Bioplasti rakendused (Jabeen *et al.*, 2015)

Pakendi kasutusala	Biopolümeer	Firma
PLA		
Kohv ja tee	Kartong tops kaetud PLA-ga	KLM
Joogid	PLA topsid	Mosburger (Jaapan)
Värske salat	PLA kausid	McDonald's
Värskelt lõigatud puu- ja juurviljad	Jäigad PLA alused ja pakid	Asda (jaemüüja)
Kartulikrõpsud	PLA kotid	PepsiCo Frito-lay
Jogurt	PLA purgid	Stonyfield (Danone)
Leib	Paberkotid PLA-st aknaga	Delhaize (jaemüüja)
Tärklisepõhised		
Piimašokolaadid	Maisitärklisest alused	Cadbury Schwepps
Mahe tomatid	Maisipõhised pakendid	Iper supermarketid (Itaalia) Coop Itaalia
Tselluloos		
Kiivi	Biopõhised alused pakitud tselluloosist kilesse	Wal-Mart
Kartulikrõpsud	Metalliseeritud tselluloosist kile	Boulder Canyon
Maiustused	Metalliseeritud tselluloosist kile	Qualitystreet, Thomton
Mahe pasta	Tselluloosipõhised pakendid	Birkel

Lisaks tabelis 1 väljatoodud firmadele, kes kasutavad bioplaste, on palju firmasid, kes toodavad igapäevaselt bioplasti, mida on võimalik kasutada toiduainetetööstustes ning toitlustusettevõtetes (Shogren *et al.*, 2019). Tuntumatest firmadest võib veel välja tuua Coca-Cola ja Heinz'i, kes kasutavad biopõhist PET materjali joogipudeliteks ja maitseainete purkideks, Pepsico kasutab PHA-ga lamineeritud snäkkide kotte ning Huhtamaki kasutab PLA-ga kaetud paberist topse kuumadele jookidele (Shogren *et al.*, 2019). Coca-Cola biopõhine PET pudel kannab nime PlantBottle® ning see on valmistatud biopõhisest etüleenglükoolist ja naftapõhisest tereftaalhappest (Han, 2014). Biopõhisel PET-il on naftapõhise PET-iga täpselt samasugused omadused ning seda saab tavapärastes ümbertöötlemissüsteemides ümber töödelda (Han, 2014). Heinz kasutab USA-s ja Kanadas oma ketšupi jaoks samuti PlantBottle tehnoloogiat (Han, 2014).

Näiteks Plantic Technologies Austraalias kasutab termoplastilist tärklis – TPS pressitakse kuumvormimiseks lehtedeks, et valmistada aluseid toiduainete pakendamiseks (Song *et al.*, 2011). Novamont Itaalias on peamine tärklisest bioplasti tootja ning nende tooteks on Mater-Bi, mis jõudis turule juba 1992. aastal prügikottide kujul (Han, 2014). Mater-Bi sisaldab minimaalselt 60% tärklis ja tärklise derivaate ning 40% sünteetilist vaiku (Batori *et al.*, 2018). Mater-Bi leiab kasutust nii toiduainete pakendamise valdkonnas kui ka tootlustusettevõtetes komposteeritavates lauanõudes (Novamont, 2020).

Vegware on Suurbritannia pakenditootja, kes toodab alates 2006. aastat keskkonnasõbralikke pakendeid. Kõik tooted on valmistatud ümbertöödeldud või taastuvatest materjalidest ning kogu toodang on tööstuslikult komposteeritav koos toidujäätmetega. Vegware tooted on suunatud eelkõige tootlustusasutustele ning nende sortimendis leiab erinevaid joogitopse, kõrsi, söögiriistu, toidukarpe, salvrätte, kotte, lauanõusid ning palju muud. Vegware kasutab oma toodete tootmiseks ümbertöödeldud suhkruroogu, mahalangenud Areca palmilehti, vee- või taimepõhiseid tinte, taimepõhiseid PLA ja CPLA – kristalliseeritud PLA, paberit ja kartongi ning puitmaterjali. Eestis kasutavad Vegware tooteid näiteks Wolt, Reval Cafe, CHI, Chopsticks ja Little India toidukohad. (Vegware, 2021)

Stora Enso on rahvusvaheline Soome ettevõtte, mis on üks juhtivaid taastuvate materjalide tootjaid. Nad toodavad pakendeid paljudele tööstusharudele maailmas, kaasa arvatud toiduainetetööstusele. Olemasolevatest lahendustest võib välja tuua vormitud kiud, graanulid ning lainepaberi ja -papi pakkelahendused. Vormitud kiud, nimega PureFiber™, on valmistatud taastuvatest materjalidest ja on taaskasutatavad või komposteeritavad pärast kasutust. Seda materjali kasutatakse näiteks ühekordsetes toidunõudes, joogitopside kaantes ja maitsetaimede pottides. Stora Enso toodetavad graanulid on kas biopõhised, puidupõhised või taaskasutatud materjalist ning graanulitest valmistatud materjal leiab rakendust söögiriistades, toidunõudes, toiduga kokku puutuvates plastides ning erinevates pakendites. (Stora Enso, 2021)

Paulig Group on rahvusvaheline Soome toiduaineettevõtte, mille alla kuuluvad mitmed kaubamärgid nendest tuntumad on Paulig ja Santa Maria. Pauligil on loodud jätkusuutlikkuse programm 2030, mille üheks eesmärgiks on välja töötada aastaks 2030 pakendid, mis on 100% ulatuses taaskasutatavad ning valmistatud taaskasutatud või taastuvatest materjalidest. 2020. aasta lõpus asendas Paulig oma kohvi New York naftapõhise pakendi männiõli põhise

polüetüleeniga UPM BioVerno, mida toodetakse metsatööstuse kõrvalsaadusest, männiõli on üle poole pakendis kasutatavast toorainest. (Paulig Group, 2021)

Kirjandusest saab järeldada, et kõige levinumad biopõhised materjalid toiduainete pakendamiseks praeguseks on PHA, PLA, PHB, termoplastilist tärklisist ning tselluloosil põhinevad bioplastid. Tehnoloogia ja tootmisvõimaluste arenedes on kindlasti biopõhistel plastidel perspektiivi asendada suuremas osas naftapõhiseid plaste toiduainetetööstustes ning toitlustusettevõtetes. Selline samm edasi on juba päästerõngas meie ökosüsteemile ning aitaks vältida naftapõhiste plastide üleküllust toiduahela lõpus. Autori arvates on lootust, et toiduainetetööstused ning tarbijad hakkavad järjest rohkem tegema läbimõeldud otsuseid ning hakkavad rohkem eelistama biopõhist plasti naftapõhistele plastidele.

1.4. Bioplasti lagunemine erinevates tingimustes

Biolagunevaks peetakse plasti, mis lagundatakse täielikult läbi bioloogiliste protsesside, näiteks erinevate mikroorganismide poolt läbiviidavad bioprotsessid (Dilkes-Hoffmann *et al.*, 2019). Plasti biolagunevus sõltub polümeeri omadustest ja keemilisest struktuurist, lisaks on oluline mõju lagundamiskeskkonna pH-l, temperatuuril ning vee ja hapniku osakaalul (Emadian *et al.*, 2017).

Osad bioplastid on komposteeritavad ja biolagundatavad ainult tööstuslikes tingimustes (Dietrich *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2019). Komposteeritavad bioplastid lagunevad mitme kuuga 90% ulatuses looduses või kodustes komposteerimistingimustes aga võivad ka vajada biolagunemiseks tööstuslikku sekkumist (Siracusa *et al.*, 2008; Tsang *et al.*, 2019).

EN 13432 standard määrab ära, millistele nõuetele peavad materjalid, nimelt õhukesed plastkandekotid, vastama, et nende kohta saaks öelda komposteeritavad:

- süsinikurikas keskkonnas peab materjal olema kuue kuu jooksul lagunenu vähemalt 90% oma kaalust;
- kui materjal on olnud kolm kuud kontaktis orgaanilise materjaliga, peab vähemalt 90% massist olema lagunenu väiksemaks kui kahe millimeetristeks fragmentideks;
- materjal ei tohiks negatiivselt mõjutada komposteerimisprotsessi;

- komposteeritud materjalis ei tohi raskemetallide kogus ületada standardites määratud. (Calabrò & Grosso, 2018).

Bioplasti biolagunemise ja komposteerimise tingimused määrab ära bioplasti liik. Selliste bioplastide puhul on oluline, et need vastaksid rahvusvaheliste standardite, näiteks EN 13432, EN 14995 ja ASTM D6400, spetsifikatsioonidele ja hindamiskriteeriumitele, mis on mõeldud biolagunevatele plastidele ja toodetele, nagu näiteks komposteerimine (Tsang *et al.*, 2019). Bioplasti biolagunemine on suuresti tingitud plasti füüsikalise-keemilistest omadustest, näiteks:

- 1) esimest järku struktuur – molekulmass, molekulmassi jaotus ning keemiline struktuur;
- 2) pinna omadused – hüdrofiilne või hüdrofoobne ning pindala;
- 3) kõrgemat järku struktuur – kristallilisus, kristallstruktuur, sulamistemperatuur, klaasistumistemperatuur ja elastsusmoodul (Tokiwa *et al.*, 2009; Batori *et al.*, 2018).

Süsinikurikka komposti tootmise eesmärgil võib biolagunevat ja komposteeritava bioplasti jäätmeid töödelda koos toidu, põllumajanduslike ning aia- ja haljastusjäätmetega. Bioplasti anaeroobse lagunemise korral saab kasutada orgaanilisi lagunemissaadusi, nagu biogaas, alternatiivina taastuva energia tootmiseks. (Song *et al.*, 2011)

Polülaktiidhape (PLA) on biolagunev ainult kindlates tingimustes. Olulised on keskkonna suhteliselt kõrge niiskusesisaldus, kõrge temperatuur ning õhu olemasolu (Auras *et al.*, 2004; Han, 2011). Polülaktiidhape on komposteeritav tööstuslikes komposteerimisasutustes ja seda ei saa komposteerida kodustes tingimustes (Song *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2011). Selleks, et PLA biolagunemine saaks alata, peab PLA-d hüdroolüüsima kõrgematel temperatuuridel, umbes 58°C juures, et vähendada molekulmassi (Hamad *et al.*, 2015; Batori *et al.*, 2018).

Materjali ümbertöödeldavus sõltub plastiliigist, mitte tooraine allikast. Osaliselt või täielikult biopõhiseid plaste, mille materjali omadused on tavapäraste plastidega samasugused, võib ümber töödelda olemasolevatest ümbertöötlemissüsteemides. (Geueke *et al.*, 2018)

PHA on biolagunev kompostis, pinnases, merekeskkonnas ning anaeroobsetes tingimustes (Shogren *et al.*, 2019). Kuid muutuvates keskkonnatingimustes või mikroorganismide kõrge kontsentratsiooni puudumisel on PHA stabiilne kui paber (Shogren *et al.*, 2019). Erinevad tselluloosist polümeerid on võimelised biolagunema kompostis, pinnases, merekeskkonnas

ning reovees, mille käigus bakterid ja seeneensüümid lagundavad lignotselluloosi suhkruks, mida nad suudavad seedida (Shogren *et al.*, 2019).

1.4.1. Kompost

Komposteerimisel muudetakse orgaaniline aine erinevate mikroorganismide poolt süsihappegaasiks ja huumuseks (Kale *et al.*, 2007b; Emadian *et al.*, 2017). Komposteeritav plast on defineeritud USA Materjalide Katsetamise Ühingu poolt kui plast, mis läbib komposteerimise ajal lagunemise protsessi, mille tulemusel saadakse süsihappegaasi, anorgaanilisi aineid, vett ja biomassi sama kiiresti kui teiste teadaolevate komposteeritavate materjalidega ning ei jäta visuaalselt eristatavaid või mürgiseid jääke (Emadian *et al.*, 2017). Nii biopõhised kui ka naftapõhised bioplastid, kaasa arvatud tärklisepõhised bioplastid, PLA, PHA, PBS, PES ja PCL on vastuvõtlikud biolagunemisele komposteerimise teel, mis vajavad keskkonna kindlat pH-d, temperatuuri ja niiskusesisaldust (Emadian *et al.*, 2017). Koduste ja tööstuslike komposteerimistingimuste erinevused võivad viia bioplasti biolagunemise oluliste erinevusteni (Emadian *et al.*, 2017). Näitena üks uuring, kus PLA bioplasti lagunemist jälgiti kodustes komposteerimistingimustes 11 kuud ning tulemuseks oli väga aeglane biolagunemine, mis võib olla tingitud madalamast temperatuurist võrreldes tööstusliku komposteerimise kõrgete temperatuuridega (Rudnik & Briassoulis, 2011; Emadian *et al.*, 2017).

Kõrgest tärkliise sisaldusest tingituna säilitab termoplastiline tärkliis oma hüdrofiilsed omadused ning on võimeline biolagunema kodustes komposteerimise tingimustes (Song *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2011).

1.4.2. Pinnas

PLA bioplasti biolagunemist uuriti pinnases Vahemere tingimustes 11 kuu jooksul, kus selgus, et lagunemisprotsess oli väga aeglane olenemata sellest, et tselluloosist kontrollmaterjal lagunes samades tingimustes täielikult (Emadian *et al.*, 2017). Sellised bioplastid vajavad kõrgeid temperatuure ja pikemat aega, et lagunemine oleks efektiivne (Rudnik & Briassoulis, 2011; Emadian *et al.*, 2017). Bioplasti lagunemine võib erineda sõltuvalt pinnase keskkonnast, näiteks PHA kiled lagunesid Vietnamis Hoa Loc'i pinnases rohkem kui 98% ulatuses, kuid Vietnami Dam Bai pinnases ainult 47% ulatuses (Emadian *et al.*, 2017). Arvatakse, et sellised erinevused

võivad olla tingitud Dam Bai regiooni pinnase madalast pH tasemest, 5,48, mis ilmselt halvendasid pinnase mikrobioloogilist aktiivsust (Boyandin *et al.*, 2013; Emadian *et al.*, 2017).

1.4.3. Veekeskkond

ASTM standardi kohaselt on PHA-d nii komposteeritavad kui ka biolagunevad merekeskkonnas, mis on oluline erinevus teiste biopõhiste polümeeridega, nagu PLA, mis võib merekeskkonda jääda kuni tuhandeks aastaks (DiGregorio, 2009; Dietrich *et al.*, 2017). Vee temperatuur võib mängida bioplasti biolagunemises olulist rolli ning kõikumad temperatuurid pikendavad lagunemist (Emadian *et al.*, 2017). Teine oluline parameeter, mis võib merevees biolagunemise määra mõjutada on polümeeri kuju ja suurus, näiteks PHA kiled lagunesid kiiremini kui PHA graanulid suurest pindalast tingituna (Emadian *et al.*, 2017). PHB võib merevees laguneda mitmeid aastaid (Verlinden *et al.*, 2007; Batori *et al.*, 2018).

1.4.4. Anaeroobne biolagunemine

Anaeroobne biolagunemine toimub mikroorganismide toimel vaba hapnikuta keskkonnas, kas mesofiilses (37°C) või termofiilses (55°C) keskkonnas (Batori *et al.*, 2018). Orgaaniline aine muundatakse hapniku puudumisel süsihappegaasiks, metaangaasiks, vesiniksulfiidiks, vesinikuks ja veeks, mille tulemuseks on erinevate mikroorganismide rühmade poolt metaboolsete interaktsioonide jada (Mohee *et al.*, 2008; Batori *et al.*, 2018). Aeroobsetes tingimustes on PHA suuteline lagunema süsihappegaasiks ja veeks viie kuni kuue nädala jooksul, kuid anaeroobsetes tingimustes on lagunemine kiirem ning metaani tootmine on soodne (Siracusa *et al.*, 2008; Batori *et al.*, 2018). PHB võib anaeroobsetes tingimustes biolagunemiseks vajada mõned kuud (Verlinden *et al.*, 2007; Batori *et al.*, 2018). Termoplastilise tärglise anaeroobne lagunemine sõltub tärglise osakaalust materjalis ning kõrgema tärglise osakaalu puhul on biogaasi saagis kõrgem (Russo *et al.*, 2009; Batori *et al.*, 2018). Kõrge molekulaarmassiga PLA anaeroobsetes tingimustes ei lagune (Batori *et al.*, 2018), kuid kasutades kuivlagundamist kõrge tahkete ainete sisaldusega termofiilsetes tingimustes, lagunes PLA kuni 60% ulatuses 40 päeva jooksul (Itävaara *et al.*, 2002; Batori *et al.*, 2018).

1.5. Bioplasti kasutamise eelised ja väljakutsed

Bioplastide üks suurimaid eeliseid on see, et neil on väiksem süsinikujalajalg ning enamasti on bioplastid biolagunevad või komposteeritavad, võimaldades vähendada jäätmete ladestamist prügilatesse (Barnett, 2011; Han, 2014). Biopõhinevate plastide ja kemikaalide olelustersükli analüüsid on näidanud oluliselt madalamat kasvuhoonegaaside emissiooni kui seda on naftapõhiste plastide ja kemikaalide analüüsid (Narayan, 2011; Spierling *et al.*, 2018; Shogren *et al.*, 2019). Maisipõhisest glükoosist toodetud PLA NatureWorksi tootmisprotsess näitas, et kasvuhoonegaaside emissioon oli 0,62 kilogrammi CO₂ ühe kilogrammi PLA kohta (Vink & Davies, 2015), mis on madalam kui naftal põhinevatel polümeeridel, nagu PE, PP, PS ja PET, mille väärtuste vahemik on 1,6 – 2,3 kilogrammi CO₂ ühe kilogrammi polümeeri kohta (Shogren *et al.*, 2019). Samuti oli termoplastilise tärklise ja vastavate polümeeride segude kasvuhoonegaaside emissioon oluliselt madalam, 0,8 – 1,2 kilogrammi CO₂ ühe kilogrammi kohta (Shen & Patel, 2008; Shogren *et al.*, 2019). Kuna PHA kaubandusliku tootmise protsessid ei ole hetkel hästi väljakujunenud, siis kasvuhoonegaaside emissiooni hinnangud varieeruvad suuresti ning täpsed andmed puuduvad (Dietrich *et al.*, 2017).

Enamus taimepõhistel materjalidel on madal toksilisus ning vähe ka teisi ohte, mis tuleneb sellest, et need materjalid on saadud eluskudedest (Shogren *et al.*, 2019). Vastupidiselt biopõhiste materjalidele, on paljud naftapõhised materjalid toksilised ja teatud tingimustel väga tule- ja plahvatusohtlikud (Shogren *et al.*, 2019). Nisugluteenist toodetud plastil on toiduainete pakendamiseks mitmeid sobivaid omadusi (Chaiwong *et al.*, 2019; Jiménez-Rosado *et al.*, 2019), kuid oma gluteeni sisalduse tõttu ei saa seda toiduainete pakendamiseks kasutada, sest võib tsöliaakiat põdevatel inimestel esile tuua allergilise reaktsiooni (Gómez-Heincke *et al.*, 2017; Jiménez-Rosado *et al.*, 2019).

Bioplasti peetakse keskkonnasõbralikuks materjaliks, kuid antud materjalil on ka mitmeid piiranguid, nagu kehvad mehaanilised omadused ning kõrged tootmiskulud (Emadian *et al.*, 2017). Kasutades madalate kuludega taastuvaid ressursse nagu põllumajandusjäätmed, saab hallata kõrgete tootmiskulude puuduseid (Jaind & Tiwari, 2015; Emadian *et al.*, 2017). Euroopa Komisjoni strateegia plasti ringmajanduse visioon toob välja, et bioplastid on jätkusuutlikumad kui praegu kasutuses olevad naftapõhised plastid (Euroopa Komisjon, 2018). Ümbertöödeldava

plasti nõudlus on Euroopas kasvanud neljakordselt, bioplasti turuosa suurendamisega saab täita kasvavat nõudlust sellise plasti osas (Euroopa Komisjon, 2018).

Üheks põhiliseks takistuseks bioplasti funktsionaalsuses on maakasutus bioplasti tooraine tootmiseks (Jabeen *et al.*, 2015). Bioplasti tootmiseks oli 2020. aastal maakasutus taastuvate lähteainete kasvatamiseks ligikaudu 0,7 miljonit hektarit, mis moodustab 0,015% kogu maailma 4,7 miljardist hektarist põllumajandusalast (Bioplastics market data, 2020). Järgneva viie aasta jooksul jääb maakasutus bioplasti lähteainete kasvatuseks 0,02 protsendi lähedusse, mis näitab, et konkurentsi bioplasti tootmises ja tavapärasel põllumajandusmaa kasutuses ei teki (Bioplastics market data, 2020).

PLA tuleb saata biolagunemiseks tööstuslikesse komposteerimisasutusse ning see materjal ei ole ka meretingimustes biolagunev (Han, 2011). Erinevad PLA omadused, nagu materjali rabedus, termiline ebastabiilsus, madal sulavustugevus, kõrge veeauru ja hapniku läbilaskvus, piiravad PLA-st kilede kasutamist toiduainete pakendamiseks (Rhim *et al.*, 2009; Jabeen *et al.*, 2015). PLA hind on järk-järgult langenud umbes 2 €/kg peale, mis on hetkel ainult veidi kõrgem paljude naftakeemiasaaduste polümeeridest (Shogren *et al.*, 2019). Edasiste kulude vähenemisega võib PLA potentsiaalselt üle võtta suurema osa praegusest PS-i ja osa PP, ABS ja PET turust (Shogren *et al.*, 2019).

PHA praegused tootmiskulud on viis kuni kümme korda kõrgemad kui toornaftast saadud polümeeridel, seetõttu on PHA tööstusliku tootmise suurimad takistused kõrged tootmiskulud, suur energiakulu kääritajate steriliseerimisel, ja madala efektiivsusega järeltöötlemine (Koller *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2019). PHA jäikus, haprus – tingitud kõrgest klaasistumis- ja sulamistemperatuurist, kehv löögikindlus ning termiline ebastabiilsus piiravad PHA kasutamist toiduainete pakendamiseks (Modi, 2010; Jabeen *et al.*, 2015). Viimastel aastatel on PHA hinnad olnud umbes 5 €/kg kohta, mis võrreldes PLA ja naftapõhiste polümeeridega on endiselt üsna kõrge (Shogren *et al.*, 2019). Tänu PHA tootmiskefektivsuse paranemisele, on hinnad viimase 20-30 aasta jooksul langenud ning arvatakse, et need langevad edasi, sest pidevalt otsitakse paremaid ja odavamaid võimalusi ning tooraineid PHA tootmiseks (Kaur *et al.*, 2017; Shogren *et al.*, 2019). Kui PHA tootmiskulud muutuvad konkurentsivõimeliseks, siis saaks potentsiaalselt asendada märkimisväärse osa PE ja PP turust, mille väärtus hetkel on sajad miljardid dollarid aastas (Shogren *et al.*, 2019). Kuigi PHA tootmiskulud on kõrged, siis tema eeliseks on täielik biolagunemine, seda ka merekeskkonnas ning PHA kasutamine oleks

loodussõbralikum alternatiiv ookeanites leiduvale naftapõhisele plastile, mis väldiks mikroplastide sattumist inimese toidulauale (de Paula *et al.*, 2018).

Omaduste poolest on termoplastiline tähtselt sobilik kasutamaks madala niiskusesisaldusega toodete, nagu maiustuste, pakendamiseks ning lühikese kasutusega vahmaterjalide kasutamiseks transiitpakendites (Song *et al.*, 2011).

Kirjandusest saab järeldada, et bioplasti tootmisel on nii eeliseid, puudusi kui ka väljakutseid, kuid tänu arenevatele tehnoloogilistele võimalustele ning laiale lähtematerjalide valikule on võimalik viia bioplasti tootmiskulud väga lähedale naftapõhise plasti tootmiskuludele. Kõige levinumad bioplastid on endiselt PLA, PHA ning tärklispõhised plastid, kuid loodetavasti 10 kuni 20 aasta pärast on erinevate bioplastide valik suurem ning bioplast on tarbijale palju kättesaadavam kui seni. Bioplast pakub väga head asendust naftapõhiste plastidele, aga seni kuni naftapõhise plasti nõudlus ületab bioplasti oma ning hind jääb oluliselt madalamale kui bioplasti hind, siis ettevõtted ja tarbijad valivad eelkõige sellise plasti, mis on neile taskukohasem ning laialdasemalt kättesaadav. Autor näeb, et bioplastidel on järgmise 10 kuni 20 aasta jooksul väga suurt potentsiaali kasvuks ning jõulisemalt turule tulekuks, sest üha rohkem pööratakse tähelepanu looduse hoidmisele ning jätkusuutlikkusele.

2. MATERJAL JA MEETODIKA

Käesoleva bakalaureusetöö uurimismeetodiks oli kvalitatiivne analüüs, milleks vajalikud andmed saadi poolstruktureeritud intervjuude teel. Poolstruktureeritud intervjuu puhul on teada alateemad, kuid küsimused võivad olla eelnevalt moodustatud või pole täpselt sõnastatud ja järjestatud (Virkus, 2016). Antud töös kasutati eelnevalt moodustatud küsimusi, kus osad küsimused intervjuueeritavate puhul kattusid ning osad olid ettevõtte põhised. Kvalitatiivse analüüsi eesmärgiks on välja selgitada probleemi küsimuste miks ja kuidas vastused (Õunapuu, 2014). Antud juhul oli eesmärgiks uurida, kui palju teatakse bioplastist kui materjalist, nende tootmisvõimalustest toidujäätmetest, kasutades seda toidutööstuses pakkematerjalina ning bioplasti eelistest ja puudustest. Ettevõtte spetsiifilised küsimused hõlmasid üldisemalt nende tegevusi ja arendusi bioplasti vallas.

Intervjuud sooritati nelja erineva ettevõtte esindajaga e-maili vahendusel. Intervjuud viidi läbi eesti ja inglise keeles, sõltuvalt kas intervjuueeritavad olid eestlased või välismaalased. Inglise keelsete intervjuude vastused on tõlgitud eesti keelde ning originaalvastused on leitavad lisades (Lisa 2 ja Lisa 4).

Intervjuueeritavad ettevõtted:

- Eesti pakenditootja Estiko-Plastar AS – Eesti ja Baltimaade üks juhtivaid pakenditootjaid. Toodab plastpakendeid biotoorainel põhinevast taastöödeldavast monokilest ning kõrgbarjäärsest laminaadist. Ettevõtte toodetud monokile sisaldab üle 72% ja laminaat üle 61% taastuvat biotoorainel põhinevat polüetüleeni. Biotoorainel põhineva polüetüleeni tootmiseks kasutatakse etanooli tootmisel suhkruroost ülejäänud materjale (Estiko-Plastar AS, 2020).
- Itaalia disaini- ja innovatsioonifirma Carlo Ratti – koostöös energiafirmaga ENI arendas välja eksperimentaalse Circular Juice Bar'i ehk ümmarguse mahlabaari, mis võimaldab toota 3D prinditud bioplastist topsikesi. Carlo Ratti ümmargune mahlabaar kasutab bioplasti tootmiseks apelsine, muutes jäätmed filamentideks ja printides 3D printeriga topsikesed värskelt pressitud mahla joomiseks. Sobiva bioplasti saamiseks apelsini koored kuivatatakse ja jahvatatakse ning segatakse polülaktiidhappega. Seejärel kuumutatakse ja sulatatakse bioplast filamentideks, mida kasutab mahlabaari sisse

installitud 3D printer, sellised 3D prinditud topsikesed on ümbertöödeldavad (CRA, 2020).

- Eesti Toiduainetetööstuse Liit – toidutööstuste esindusorganisatsioon Eestis ning muuhulgas tegeleb ka pakendamise seotud seadusandlusega.
- Paulig Group – rahvusvaheline toiduaineettevõtte, mille alla kuuluvad kaubamärgid nagu Paulig, Santa Maria, Risenta, Poco Loco ning Gold & Green. Pauligil on loodud jätkusuutlikkuse programm 2030, mille üheks eesmärgiks on välja töötada aastaks 2030 pakendid, mis on 100% ulatuses taaskasutatavad ning valmistatud taaskasutatud või taastuvatest materjalidest. (Paulig Group, 2021)

Kuna intervjueritavad ettevõtete esindajad on seotud erinevate tootmisprotsessi osadega (alates bioplasti tootmisest kuni selle kasutamiseni toiduainetetööstustes), siis intervjuu kava iga intervjueritavaga mõnevõrra erines. Estiko-Plastari intervjuu jagunes neljaks alapunktiks: vajadus bioplasti tootmise järele, protsess ja tehnoloogia, regulatsioonid ning tuleviku väljavaated. CRA ja Paulig Group intervjuude alapunktid olid sarnased, kuid esimesse alapunkti lisati idee kirjeldus. Intervjuus Toiduliiduga eraldi alapunkte ei olnud, kuid põhiküsimused, millele uurimuses vastuseid otsitakse olid kõikides intervjuudes esindatud. Intervjuu küsimused koos vastustega on leitavad lisades (Lisa 1, Lisa 2, Lisa 3 ja Lisa 4).

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Bioplasti tootmise areng

Miks on Teie arvates oluline leida asendus naftapõhiste plastidele bioplasti näol?

Estiko Plastar: Jätkusuutlikkus – esiteks on vaja vähendada CO₂ keskkonda paiskamist nafta maa alt välja pumpamise näol, teiseks on vaja leida toorainet, mis ei saaks ühel hetkel otsa. Mida varem see leida, seda parem, nii keskkonna kui toiduainetööstuse vaatevinklist.

Paulig: Vähendamaks materjalide süsiniku jalajälge ja globaalset soojenemist. (Lisa 4)

Autori märkus: Pauligil on loodud jätkusuutliku lähenemise programm, kus tahavad 2030. aastaks asendada kõik kasutatavad pakendid taaskasutatavate ja, mis on valmistatud taaskasutatud või taastuvatest materjalidest. Eesmärgiks on vähendada nende ettevõtte tegevusest tekkivaid kasvuhoonegaase 80% ning väärtusahelast tingitud kasvuhoonegaaside hulka 50%. Lisaks osaleb Paulig VTT (Soome Tehniliste Uuringute Keskuse) uurimusprojekti, kus arendatakse taastuvat ja taaskasutatavat materjali Thermocell kile, et asendada toidutööstustes naftapõhist plasti. Thermocell materjali toorained, tselluloos ja rasvhapped, on muudetud termoplastiliseks, mis on oluline nõue toidutööstustes pakendi kasutamiseks. Kile on suudetud teha juba üsna õhukeseks, kus paksus on 100 mikromeetrit, kuid konkureerimaks teiste kiledega, tuleks saada see veel õhemaks. (Paulig Group 2021a, 2021b)

Toiduliit: Plast on tänuväärne materjal, ka toiduainetööstustes. Samas on toidutööstustes kasutatavatele materjalidele kehtestatud ranged erinõuded: Toiduga kokkupuutuvad materjalid ja esemed (TKM). Selleks, et materjalid/esemed oleksid inimese tervisele ohutud, on lubatud toiduga kokkupuutumisel nendest toitu üle kanduda väga väike kogus materjaliosakesi. Pigem on probleemiks see, et plasti tootmismahud kasvavad ning nuputatakse, kuidas tarbimisega keskkonnasõbralikumaks minna. Selleks on vajalik näiteks üleminek bioplastile. Tavalist plasti valmistatakse fossiilsetest algmaterjalidest, mille tootmine eraldab meie atmosfääri kasvuhoonegaase. Seevastu taastuvallikatest materjal aitab kasvuhoonegaase ära hoida, pidurdades kliimamuutusi ja vähendades keskkonnasaastet. Samas on suured vaidlused ka teadlaste vahel, kas lõpmatu bioplasti kasutamine põllumajandustoorainest on jätkusuutlik ja mõistlik ning mis mõju sellel kõigil kliimale on, või valmistada endiselt tavalist plasti, kuid

muuta see korduvkasutatavaks, minna üle ringmajanduse põhimõtetele. Las teadlased annavad lõpliku vastuse, mida siin eelistada.

Carlo Ratti : Viimaste aastakümnete keskkonnaalane hädaolukord paneb meid mõtlema, kuidas saaksime oma teadmisi ja kogemusi kasutades parandada tarbimis- ja tootmisharjumusi, samal ajal nende mõju vähendades. (Lisa 2)

Kõik neli intervjueeritavat vastasid sarnaselt, kus põhiliselt toodi välja, et on vaja vähendada naftapõhiste plastide mõju meie keskkonnale – kasvuhoonegaaside vähendamine, süsiniku jalajälje vähendamine ning leida jätkusuutlik ning taastuv tooraine. „Pauligil on loodud jätkusuutliku lähenemise programm, kus tahavad 2030. aastaks asendada kõik kasutatavad pakendid taaskasutatavatega ja, et need oleks valmistatud taaskasutatud või taastuvatest materjalidest“ (Paulig). Intervjueeritavate seisukohti toetavad kirjanduses uuritu, kus Webb *et al.* (2013) ja Han (2014) on leidnud oma uurimuses, et plasti tootmise tõttu vabaneb ökosüsteemi üleliigset süsihappegaasi ning tänu kliima soojenemisele on hakatud rohkem tähelepanu pöörama bioplastile kui asendus naftapõhisele plastile. Erinevad biopõhinevate plastide ja kemikaalide olelustersükli analüüsid näitavad oluliselt madalamat kasvuhoonegaaside saastatust kui seda on naftapõhistel plastidel ja kemikaalidel (Narayan, 2011; Spierling *et al.*, 2018; Nayak & Bhushan, 2019; Shogren *et al.*, 2019). Carmona-Cabello *et al* (2018) tõi oma uurimuses välja, et läbi biomassi väärimise on võimalik toota plasti, mille tulemusena väheneks kasvuhoonegaaside teke.

Kas bioplasti tootmine toidujäätmetest on jätkusuutlik protsess ning tasub ennast ära?

Estiko Plastar: Kahjuks ei ole nii hästi kursis selle tootmise üksikasjadega, et osata hinnata majanduslikku tasuvust või LCA-d (Life Cycle Analysis). Tõenäoliselt siiski mitte, kuna protsess on ääretult töömahukas (toidujäätmete kogumine, sorteerimine jne) ja saagis ilmselt väike, võrreldes hetkel kasutuses olevate meetoditega. Kuigi, kui lugeda näiteks suhkrutootmise kõrvalprodukti ja bioetanooli algmaterjale ka toidujäätmeks, siis see toimib ja üsnagi edukalt.

Paulig: Mõnel juhul kindlasti (sõltuvalt toidujäätmete keemilisest struktuurist ja kasutatavatest protsessidest). (Lisa 4)

Toiduliit: Las hindavad selliseid tegevusi teadlased.

Carlo Ratti: Usume, et paljud ettevõtted ja disainerid lähevad õiges suunas ning jätkame tööd selle nimel, et muuta see tavapäraseks kujundusmeetodiks – see on eesmärk, mida jätkame oma praeguste projektidega, nagu näiteks Itaalia paviljon Expo Dubai jaoks ja meie disaini- ja arhitektuuriprojektid üldiselt. (Lisa 2)

Kolm intervjueeritavat ettevõtet leidsid, et see on jätkusuutlik ja näevad, et pikemas perspektiivis bioplasti tootmine toidujäätmetest tasub ära. Kuigi Estiko Plastar on välja toonud, et see võiks olla jätkusuutlik – „kui lugeda näiteks suhkrutootmise kõrvalprodukti ja bioetanooli algmaterjale ka toidujäätmeiks, siis see toimib ja üsnagi eduvalt,“ lisab ta, et protsesside mahukuse tõttu ei pruugi selline bioplasti tootmine olla just kõige tasuvam. Carlo Ratti arvates liiguvad paljud ettevõtted ja disainerid selles suunas, et luua rohkem jätkusuutlikke asendusi naftapõhisele plastile. Yukesh Kannah *et al.* (2020) uuritu toetab kolme intervjueeritava seisukoht, kus on välja toodud, et toidujäätmetest bioplasti tootmine on paljulubav jätkusuutlik protsess. Tsang *et al.* (2019) toob oma uurimuses välja, et toidujäätmete sattumine prügilatesse suurendavad kasvuhoonegaaside keskkonda sattumist ning ka põhjavee saastamist, aga toidujäätmete väärimine läbi bioplasti tootmise oleks aga praktiline ja jätkusuutlik taastuv protsess. Samuti mainib Euroopa Komisjoni plasti ringmajanduse visiooni strateegia (2018), et bioplastid on oluliselt jätkusuutlikumad kui hetkel kasutatavad naftapõhised plastid.

Kui palju olete varasemalt kokku puutunud bioplasti ning selle tootmise võimalustega?

Estiko Plastar: Päril ulatuslikult, Estikos on tehtud varasemalt katseid ka näiteks linaseemnetest ja tselluloosist valmistatud kiledega, seda juba aastaid tagasi. Seni on jäänud projektide arendamine klientide vähese huvi taha, nüüdseks on juba soovijaid ja kõrgemat hinda maksvaid kliente rohkem.

Paulig: Meie jaoks on väga oluline mõista kasutatavate materjalide tooraine tootmise ja taaskasutamise võimalusi. (Lisa 4)

Toiduliit: Bioplastist on võimalik lugeda olnud aastaid erinevat informatsiooni. Bioplastist rääkides võib sageli täheldada, et inimesed ei tea täpselt, millega tegu ning bioplasti aetakse

segi biolaguneva plastiga, mis pole sama asi. Bioplast materjal, mille tooraine on bioloogilist päritolu, biolagunev aga laguneb looduses väikesteks tükkideks. Bioplasti tooraine on pärit taastuvallikatest. Algmaterjalid võivad olla suhkur, mais, nisu vms taimne allikas.

Estiko Plaster on aastate jooksul puutunud palju kokku erinevate biopõhiste materjalide ja nende arendamisega ning nüüdseks on klientide huvi bioplastide vastu hakanud kasvama. Toiduliit toob välja, et tihti arvatakse, et bioplast tähendab, et materjal on ka biolagunev, kuid nii see ikkagi ei ole. Bioplast on materjal, mis võib olla biolagunev, biopõhine või hoopis mõlemat (EBA, 2020) ning Paulig rõhub sellele, et nemad peavad oluliseks kasutava materjali tooraine tootmise ja taaskasutamise võimalusi. Song *et al.* (2011) defineerib bioplasti kui kahte erinevat plasti – biolagunev ja komposteeritav plast, kus algmaterjal võib olla nii taastumatu kui ka taastuv loodusvara, ning biopõhine ehk taastuvatel ressurssidel põhinev, kus algmaterjal peab pärinema bioloogilisest allikast. Bioplasti tootmine ja kasutamine on kasvanud aastatega tänu tehnoloogia arengule, kuid endiselt moodustab see kogu maailma plasti tootmisest ainult 0,6% (Bioplastics market data, 2020).

Kas bioplasti tootmine toidujäätmetest võiks aidata vähendada riknenud toidu ning toidujäätmete sattumist prügilatesse ning loodusesse?

Estiko Plaster: Kui sellega tekib ostja sorteeritud toidujäätmetele, siis kindlasti, kuid riknenud toit ja toidujäätmed ei tohiks loodusele ega prügilatele otseselt suuri probleeme tekitada – komposti ostetakse ka hetkel prügilatest, mida biojäätmetest tehakse ja looduses tähendab see lihtsalt toitaineid taimedele ja loomadele.

Paulig: Ma arvan, et mõistlikum on proovida võimalikult palju toidu raiskamist vältida. Toidujäätmed ei ole nii homogeenne materjal, seega pole see tõenäoliselt nii optimaalne materjal nagu näiteks tallõli. (Lisa 4)

Autori märkus: Tallõli on männiõli, mis on puidutöötlemise kõrvalsaadus. (Paulig Group, 2021b)

Toiduliit: Loogiliselt võttes vähendaks, kui olemas vastavad tehnoloogiad.

Autori märkus: Intervjuu küsimus Toiduliidule erines sõnastuse poolest teistest - Kas bioplasti tootmine võiks vähendada ära vistud toidu mõju meie keskkonnale?

Kaks intervjueritavat on samal seisukohal, et olemasolevate tehnoloogiate ja võimalustega vähendaks toidujäätmetest bioplasti tootmine toidujäätmete sattumist prügilatesse ja loodusesse. Paulig aga arvas, et mõistlikum oleks vältida toidu raiskamist ja ära viskamist nii palju kui võimalik ning toidujäätmeid ei kõige homogeensem materjal, millest toota bioplasti. Tsang *et al.* (2019) leidis oma uurimuses, et suurem enamus toidujäätmeid utiliseeritakse prügilate, fermenteerimise või komposteerimise kaudu ning plasti tootmine läbi toidujäätme väärimise võiks olla praktiline ja suurendaks ka globaalset jätkusuutlikkust. Materjalid bioplasti tootmiseks on sünteesitud süsinikdioksiidivabast allikast ja sellega on võimalik vähendada kasvuhoonegaaside sattumist keskkonda (Tsang *et al.*, 2019). PHA tootmiskulude vähendamiseks otsitakse võimalusi ära kasutamaks erinevaid jäätmeid kui süsinikuallikat (Alavi *et al.*, 2015; Raza *et al.*, 2018) ning erinevaid põllumajandustööstuste jääke, nagu näiteks koored, seemnejäägid, tsitruste viljaliha ja nahk, kasutatakse biopolümeeride tootmiseks (Nayak & Bhushan, 2019).

Kas toidujäätmetest bioplasti tootmisel võiks kasutada ka väljaspool toiduainetetööstusi tekkivaid toidujäätmeid kasutada?

Estiko Plastar: Absoluutselt, bioplasti tootmise seisukohalt ei ole vahet, kust need toiduained pärit on, küsimus on lihtsalt protsessi efektiivsuses – täiesti sorteerimata ja kõiksugusest biomassist näiteks etanooli tootmine on palju ebaefektiivsem, kui näiteks homogeensest rapsiõlist või viljast.

Toiduliit: Kui on toidujäätmeid, siis on toidujäätmeid, mis vahet seal on, kust ta pärineb – kas esmatootjatelt, toidutööstusest, toitlustusasutustest või eraisikutelt. Tähtis on biojäätmed eraldi ja korralikult kokku koguda, mis annaks võimaluse seda edaspidi töödelda.

Intervjueritavate seisukohast võiks bioplasti tootmiseks kasutada ka väljaspool toiduainetetööstusi tekkivaid toidujäätmeid kasutada, kuid oluline on, et toidujäätmed oleks teistest jäätmetest eraldi sorteeritud ning kokkukogumine oleks efektiivselt planeeritud. Praegu juba kasutatakse põllumajandustööstuste jääke biopolümeeride tootmiseks ning ka toidutööstustes tekkivaid tsitrusviljade viljalihaseid ning nahk (Nayak & Bhushan, 2019). Kui suunata bioplasti tootmine mõnele kindlale toorainele, siis näiteks tsitrusviljade nahkaseid ja

koori tekib jaemüügis, kodumajapidamistes ning restoranides igapäevaselt – seega võiks kasutada toidujäätmeid kõikidest tarneahela lülidest bioplasti tootmiseks.

3.2. Toidujäätmetest bioplasti kasutamine toiduainetetööstuses

Kas toidujäätmetest toodetud bioplasti kasutamist toiduainetetööstustes piiraks Eestis ning Euroopas erinevad regulatsioonid?

Estiko Plastar: Tooraine iseenesest ei sea mingeid piiranguid, kui valmis pakend läbib migratsioonitesti (pakendist ei tule kõrgendatud temperatuuril mingeid aineid välja ja ei migreeru toidu sisse) ning selles ei sisaldu keelatud raskemetalle või muid Euroopa Komisjoni määrusega keelatud aineid, siis ei ole selle kasutamisele mingeid piiranguid.

- a. Kas kasutamist võivad piirata hoopis võimalikud mürgid pakendis?

Kindlasti, kui tootmisprotsessist on plasti jäänud mingeid mürkaineid või raskemetalle, siis seda ei ole lubatud kasutada kokkupuuteks toiduainetega.

Toiduliit: Nagu juba mainitud, on toidu pakenditele kindlad ja ranged nõuded. P.S. Mürke ei saa ega tohi olla ei toiduainetes ega pakendites – siis oleksid tarbijad ju surnud.

Carlo Ratti: Põhiliselt on teema seotud materjali päritoluga. See peab olema tõendatud tootja poolt. (Lisa 2)

Paulig: Toiduga kokkupuutuvatele materjalidele on olemas õigusaktid, mida KÕIK pakendid peavad täitma, olenemata toorainest. (Lisa 4)

Kolm intervjuueeritavat on sarnastel seisukohtadel ning mainivad ära, et toiduga kokkupuutuvatele materjalidele on olemas õigusakt, mis näitab, milliseid materjale tohib kasutada pakendites, mis puutuvad kokku toiduga. Carlo Ratti tõi välja, et oluline on materjali päritolu ning selle tõendamine tootja poolt. Euroopa Komisjoni määruses nr 10/2011 on välja toodud erinevate pakendite migratsiooni piinormid, üldnõuded ja erinõuded ainete kohta, ära on ka märgitud, et lubatud on kasutada tselluloosi, lignotselluloosi, soja ja tärkliseid. Gluteeni sisaldavaid bioplaste ei oleks võimalik kasutada toiduainete pakendamiseks, sest gluteen on

allergeen ning võib põhjustada tsöliaakiat põdevatel inimestel tugevaid reaktsioone (Gómez-Heincke *et al.*, 2017; Jiménez-Rosado *et al.*, 2019). Shogren *et al.* (2019) leidis oma uurimuses, et enamused naftapõhiseid materjale on toksilised, aga suuremal osal taimepõhistel materjalidel on madal toksilisus ja ka vähe teisi ohte, sest pärinevad eluskudedest.

Kas lähima viie aasta jooksul on teil plaanis turule tuua rohkem bioplasti ning mingil hetkel vähendada ka naftapõhise plasti tootmist?

Estiko Plastar: Kindlasti on plaanis tuua turule rohkem bioplasti, oleme just saanud omale sertifikaadi, mis võimaldab meil hakata kasutama plastijäätmetest ning puiduhakkest valmistatud polümeere ning bio-baasil polümeerid on ka meie jätkusuutlikkuse programmi üks suur osa. Ainuke lootus on, et meie kliendid on sellest sama huvitatud kui meie. Naftapõhise plasti teadlikku vähendamist ei saa me kahjuks omaalgatuslikult teha, see sõltub siiski meie kliendist – kui nad ei ole valmis ostma kallimat, bio-baasil plasti, siis peame neile pakkuma siiski odavamalt nafta baasil valmistatud pakendeid. Kuna konkurents turul on suur, tähendaks teadlikult nafta baasil pakendi mitte pakkumine tugevat majanduslikku miinust – konkurendid on kindlasti valmis seda neile pakkuma ning me ei saavutaks sellega midagi – nafta baasil pakend jõuab turule ikkagi ning meie jääme lihtsalt kliendist ilma.

Paulig: Jah. (Lisa 4)

Nii Estiko Plastar kui ka Paulig plaanivad lähima viie aasta jooksul turule tuua rohkem bioplasti. Estiko Plastar mainib ka, et ainult nende initsiatiivist ei saa see tulla, klient peab olema ise ka huvitatud asendamaks naftapõhist plasti bioplastiga. „Kuna konkurents turul on suur, tähendaks teadlikult nafta baasil pakendi mitte pakkumine tugevat majanduslikku miinust – konkurendid on kindlasti valmis seda neile pakkuma ning me ei saavutaks sellega midagi – nafta baasil pakend jõuab turule ikkagi ning meie jääme lihtsalt kliendist ilma“ (Estiko Plastar). Paulig on loonud jätkusuutlikkuse programmi, kus plaanivad 2030. aastaks asendada kõik oma pakendid taaskasutatavatega ja, mis on valmistatud taaskasutatud või taastuvatest materjalidest (Paulig Group, 2021a, 2021b). 2020. aastal toodeti 2,11 miljonit tonni bioplasti ning eeldatakse, et 2025. aastaks tõuseb bioplasti tootmine 2,87 miljoni tonnini aastas (Bioplastics market data, 2020).

Kas Eesti toiduainetetööstused oleksid valmis vastu võtma bioplastist pakendid?

Estiko Plastar: Absoluutselt, hetkel seisab paljugi kahjuks hinna taga – selline tooraine on kohati kuni 3x kallim ja paljud kliendid ei ole lihtsalt nõus seda hinnavahet kinni maksma.

a. Kas teate mõnda ettevõtet Eestis, kes seda juba kasutab?

Jah, kuid pigem on nende arv küllaltki tagasihoidlik.

Toiduliit: Toiduainete pakendid peavad olema õhukindlad, veekindlad, niiskuskindlad, rasvakindlad jms nõuetele vastavad ning lubatud kasutada. Samuti on oluline pakendite hind, sest tarbijad on hinnatundlikud. Kui tingimused täidetud ja hind sobilik, siis miks mitte. Juba kasutatakse erinevatest taimsetest materjalidest ühekordse kasutusega tooteid – paberist, kartongist (papp) ja tselluloosist.

Intervjueeritavate seisukoht on, et Eesti toiduainetetööstused oleks valmis võtma kasutusele bioplastid, kuid praegusel hetkel jääb see suuresti hinna taha kinni ning tarbijad ei soovi kinni maksta naftapõhise plasti ja bioplasti hinnavahet. Intervjueeritavate seisukohti toetavad kirjanduses uuritu, kus leiti, et PHA tootmiskulud on toornaftast toodetud polümeeride hinnast viis kuni kümme korda kõrgemad (Koller *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2019), kuid tänu tootmiskõlblikkuse paranemisele on hakanud PHA hinnad langema (Kaur *et al.*, 2017; Shogren *et al.*, 2019). Shogren *et al.* (2019) leidis oma uurimuses, et PLA hind on hetkel veidi kõrgem kui naftapõhiste polümeeride hind ning hinna langemisega võib PLA asendada suure osa praegusest PS-i ja osa ABS, PS ja PET turust. Vegware toodab keskkonnasõbralikke pakendeid, kus suurem enamus on suunatud toitlustusettevõtetele ning Eestis kasutavad neid Wolt, Reval Cafe, CHI, Chopsticks ja Little India (Vegware, 2021). Paulig Group liigub ka selles suunas, et saaks kasutada biopõhiseid materjale toodete pakendamiseks (Paulig Group, 2021a). „Toiduainete pakendid peavad olema õhukindlad, veekindlad, niiskuskindlad, rasvakindlad jms nõuetele vastavad ning lubatud kasutada“ (Toiduliit). PLA kilede kasutamist toiduainete pakendamiseks piiravad termiline ebastabiilsus, kõrge veeauru ja hapniku läbilaskvus, materjali rabedus ja madal sulavustegevus (Rhim *et al.*, 2009; Jabeen *et al.*, 2015). PHA kasutamist toidutööstustes piirab termiline ebastabiilsus, kehv löögikindlus ning kõrge klaasistumis- ja sulamistemperatuur (Modi, 2010; Jabeen *et al.*, 2015), termoplastilist tärklis sobiks kasutada madala niiskusesisaldusega toiduainetes (Song *et al.*, 2011).

Kas inimesed üleüldiselt on valmis asendama naftapõhist plasti bioplastiga?

Estiko Plastar: Absoluutselt, peamine probleem seisab hetkel siiski hinna ja vähese teadlikkuse taga.

Paulig: Jah. Ma väldin mõiste bioplast kasutamist kuna see võib viidata biopõhisele plastile, biolagunevale plastile või hoopis mõlemale. Seega eelistan kasutada mõistet biopõhine plast. (Lisa 4)

Mõlemad intervjuueeritavad tõdevad, et naftapõhist plasti ollakse valmis asendama bioplastiga aga Estiko Plastar arvab, et see sõltub ka suuresti hinnast. PLA ja PHA tootmiskulud ning hinnad on endiselt kõrgemad kui seda on naftapõhistel plastidel, kuid tehnoloogia arenguga nähakse hinnalangust nendel bioplastidel ning ka võimalikku asendust PS, PP ja PE plastidele (Kaur *et al.*, 2017; Shogren *et al.*, 2019). Paulig pööras tähelepanu bioplasti mõiste kasutamise osas, „Ma väldin mõiste bioplast kasutamist kuna see võib viidata biopõhisele plastile, biolagunevale plastile või hoopis mõlemale. Seega eelistan kasutada mõistet biopõhine plast.“ Bioplasti saab defineerida kui kahte erinevat plasti – biolagunev ja komposteeritav plast, kus algmaterjal võib olla nii taastumatu kui ka taastuv loodusvara, ning biopõhine ehk taastuvatel ressurssidel põhinev, kus algmaterjal peab pärinema bioloogilisest allikast (Song *et al.*, 2011).

3.3. Toidujäätmetest bioplasti tootmise väljakutsed

Mis on Teie arvates suurimad väljakutsed bioplasti tootmisel ning miks ei ole bioplast nii levinud kui naftapõhine plast?

Estiko Plastar: Vähene tooraine kättesaadavus, keerukas ja kulukas protsess, lisaks naftapõhise tööstuse pikk ajalugu ja sissetöötatud lahendused. Kindlasti ka nafta baasil valmistatud plasti valik on palju laiem.

a. Milliste väljakutsetega biotoorainel põhineva plasti tootmisel Teie kokku puutute?

Vähe pakkujaid, kallid hind ja valikus olevate plastitüüpide vähesus.

Paulig: Tehnoloogia on uus ning mahud on endiselt väikesed. (Lisa 4)

a. Milliste väljakutsetega biotoorainel põhineva plasti tootmisel Teie kokku puutute?

Valitud materjalidega ei ole meil tehnilisi ega säilivus probleeme. Hind on kõrgem. (Lisa 4)

Toiduliit: Küsimusele, kui suurt mõju avaldab bioplasti tootmiseks vajaliku tooraine kasvatamine ja selle hilisem käitlemine ringmajanduse põhimõtetele tegelikult loodusele ja keskkonnale, vajavad selget ja ühest vastust. Täna seda ei ole. Olen lugenud ja tean PLA – see on taimesuhkrust saadud kompostitav bioplast. PLA tähendab „polüpiimhapet” (teine nimetus „polülaktiid”). Seda võib valmistada mistahes suhkrust, näiteks maisitärklisest, maniokist, suhkruroost või suhkrupeedist. Jällegi – mis on nende komponentide tootmise tegelik mõju looduskeskkonnale?

Intervjueeritavate hinnangul on suurimad väljakutsed bioplasti tootmisel uus tehnoloogia, kõrgemad hinnad, tooraine ja tootmismahutude vähesus ning erinevate biotoormete kasutamise mõju meie keskkonnale. Toiduliit toob välja, et praeguseks on vähe teada kui suurt mõju võiks keskkonnale avaldada bioplasti tooraine kasvatamine ning käitlemine. Emadian *et al.* (2017) on leidnud oma uurimuses, et kuigi bioplast on keskkonnasõbralik materjal, siis suurimateks piiranguteks on kõrged tootmiskulud ja kehvad mehaanilised omadused. Materjali mehaanilised omadused on just need, mis määravad ära, kas toiduainete pakendamiseks on võimalik seda kasutada või mitte. Aastal 2020 kasutati 0,7 miljonit hektarit maad bioplasti lähteainete kasvatamiseks, mis moodustab kogu maailma 4,7 miljardist hektarist põllumajandusalast vaid 0,015%, ning 2025. aastaks jõuab see 0,02 protsendi lähedusse (Bioplastics market data, 2020). Sellised numbrid näitavad, et bioplasti toorainete kasvatamiseks vaja minev maakasutus ei tohiks mõjutada meie keskkonda selliselt nagu seda teeb ülejäänud põllumajandusmaa kasutus. PLA ja PHA tootmiskulud ning valmismaterjali hinnad on endiselt kõrgemad kui seda on naftapõhistel plastidel, kuid tehnoloogia arenguga nähakse hinnalangust eelkõige selles kategoorias (Kaur *et al.*, 2017; Shogren *et al.*, 2019).

Kui kaua võiks Teie arvates Eestis, Euroopas ning terves maailmas aega võtta, et saaksime peaaegu täielikult asendada naftapõhise plasti bioplastiga?

Estiko Plastar: Kahjuks ilmselt väga kaua – nafta baasil toodetud plast on palju odavam (kliendid valivad selle kallima bio-baasil plasti asemel), laialdasemate võimalustega (mis ongi mõne toiduainepakendi puhul vältimatu). Lisaks ei ole piisavalt palju bio-baasil plasti tooraine

tootjaid (võibolla, et pole ka piisavalt toorainet) ega olemasolevatel tootjatel võimsust, et kogu nafta baasil loodud plasti asendada.

Toiduliit: Kuna plast on nii tänuväärne materjal ja alternatiive on raske leida just ka hinnakonkurentsisis, võtavad muutused aega. On kindlasti valdkondi, kus muutused toimuvad kiiremini ja on valdkondi, kus muutused aeglasemad. Siin on suur osa ka teadlastel. Et mitte pakkuda mingit ajalist graafikut välja, kutsuksin pigem mõistlikule tarbimisele ja prügi sorteerimisele. Siis jõuavad ka pakendid õigesse kohta ning ei kujuta looduskeskkonnale erilist reostust. Pakendid ei satu loodusesse niisama, vaid inimeste vastutustundetu ja lohaka käitumise tagajärjel.

Paulig: Tulevikku on raske ennustada. Kui võtta arvesse KÕIKI plaste, mida kasutatakse autodes, pakendites, ehituses, jne, ütleksin, et 70 – 100 aastat. (Lisa 4)

Intervjueeritavate hinnangul läheb naftapõhiste plastide asendamiseks bioplastiga veel väga pikalt. Seda just sellepärast, et naftapõhine plast on erinevates tööstusharudes väga laialdaselt levinud, ning hind on madal ja kättesaadavus on suur. Madalam hind on tootjatele ja tarbijatele on üheks oluliseks kriteeriumiks. Toiduliit toob ka välja, et kui pöörata rohkem tähelepanu mõistlikumale tarbimisele ja prügi sorteerimisele, siis ei satuks inimeste vastutustundetu ja lohaka käitumise tõttu pakendid loodusesse. Bioplasti ja naftapõhise plasti tootmismahdade kogused on võrreldamatud, aastal 2019 toodeti maailmas 368 miljonit tonni naftapõhist plast, bioplasti toodeti aga 2020. aastal vaid 2,11 miljonit tonni (Bioplastics market data, 2020). Sellised numbrid näitavad, et bioplasti tootmine moodustab ainult 0,6% kogu maailma plasti tootmisest, eeldatakse, et 2015. aastaks tõuseb bioplasti tootmine 2,11 miljonilt tonnilt 2,87 miljoni tonnini (Bioplastics market data, 2020). Numbritest saab järeldada, et kasv 5 aastaga ei ole suur, aga on siiski paljulubav. Asendamaks kogu naftapõhist plasti bioplastiga, läheb veel mitmeid aastakümneid aega.

Millised on peamised kaalutlused, käitumuslikud hoiakud, arusaamad turult, lõpptarbivate või tööstuse kasutamise seisukohast?

Paulig: Ma ei ole kõige parem inimene sellele vastama, seega soovitan teil intervjueerida kedagi müügist/turundusest. (Lisa 4)

Carlo Ratti: Tarbijad, ürituste planeerijad ja tootmisettevõtted hindasid idee kohe heaks. See on meie jaoks tähendusrikas: see tõestab, et oleme valmis reklaamima uusi mudeleid ja lahendusi, kuidas oma standardeid kompromissitult tõsta. (Lisa 2)

Carlo Ratti seisukohalt on tarbijad, tootmisettevõtted ning ürituste planeerijad valmis vastu võtma bioplasti, asendades sellega naftapõhine plast. Seda seisukohta toetab ka kirjanduses leitud, kus mitmed toidutööstused ning toitlustuskohad on juba kasutusele võtnud bioplaste. Coca-Cola ning Heinz kasutavad USA-s oma toodete pakendamiseks biopõhist PET pudelit PlantBottle[®], mis on valmistatud biopõhisest etüleenglükoolist ja naftapõhisest tereftaalhappes (Han, 2014; Shogren *et al.*, 2019). Vegware biopõhised tooted on enamasti kasutusel toitlustusettevõtetes, Eestis näiteks Wolt ja Reval Cafe (Vegware, 2021).

3.4. Ettevõtete teadlikkus ja kogemused bioplasti kasutamisest

Kas olete kursis uusimate trendide ning tehnoloogiatega bioplasti tootmisel toidu- või põllumajandusjäätmetest?

Estiko Plastar: Konkreetselt toidu- või põllumajandusjäätmetest pigem mitte. Üldiselt bio-toormel põhinevate plastide osas tahaks loota, et oleme, kuid kindlasti on mingeid väikesemaid projekte ning avastusi, mis ei ole meie kõrvu veel jõudnud. Täpse protsessi ja tehnoloogia kohta pealt ilmselt mitte, pigem tooraine ja lõpptoote tasemel, mis oleksid ka meie tootmisprotsessis rakendatavad.

Carlo Ratti: Jah, oleme ja töötame jätkuvalt selle nimel, et olla osa globaalsest üleminekust ringikujuliseks lähenemiseks. (Lisa 2)

Paulig: Jah, me jälgime seda piirkonda tähelepanelikult. Ja mul on alati huvitav kuulda, kas teil on mõnda uudist jagada. (Lisa 4).

Estiko, Paulig ning Carlo Ratti on kõik erineva tegevusala ja taustaga ettevõtted, kuid nende eesmärk on üks – asendada naftapõhised plastid biopõhiste plastidega. Iga ettevõtte annab oma panuse, et üha rohkem leiaks turult biopõhised või tooteid, mida pakendatakse biopõhistesse

pakenditesse. Intervjueeritavad tahavad olla kursis turu kõige uuemate trendide ja tehnoloogiatega, ning jätkavad oma ideede ja eesmärkide edasi arendamisega. Ettevõtete erinevast taustast lähtudes uuriti intervjuude käigus ka nende endapoolseid ideid, tehnoloogiaid ning kas ja milliseid bioplaste nad juba kasutavad.

Kasutatavad bioplastid ning ideed

Estiko Plastar alustas klientide nõudlusel tootma biotoorainel põhinevat kile ja laminaati, et püsida teiste biotoorainel põhinevate pakendipakkujatega konkurents. Toodetav pakend on biopõhine polüetüleen, mille tooraineks on suhkruroog. Selline polümeer on valitud just tema hea hinna, kättesaadavuse ning tuntuse ja tunnustatuse tõttu, lisaks saab seda kasutada ka toiduainete pakendamiseks. Estiko Plastar loodab, et tulevikus võiks olla võimalik keemiliselt ümbertöödelda ka naftapõhiseid plastijäärmeid, et saada polümeere, kuid praegusel ajal on sellised ideed ja projektid alles arengujärgus. Nende biopõhine polüetüleen on täielikult ümbertöödeldav ning eelistavadki ümbertöödeldavat materjali komposteeritavatel või biolagunevale. Reaalsuses on vaja eritingimusi selliste materjalide komposteerimiseks või biolagunemiseks, ka kirjanduses leitu kinnitab, et osad bioplastid on ainult tööstuslikes tingimustes biolagundatavad ja komposteeritavad (Dietrich *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2019).

Paulig kasutab oma toodete pakendamiseks suhkruroopõhist ja männiõlipõhist bioplasti. Mitmetes Pauligi kohvide pakendites on asendatud osa naftapõhist plasti bioplastidega, kus kasutatakse männiõlipõhist bioplasti. Suhkruroopõhisest bioplastist soovivad nad loobuda, sest sellise materjali nõudluse tõusuga soovivad nad leida lahendusi, mis ei kasutaks põllumajandusmaad. Sellest tingituna hakkasid nad 2020. aasta lõpus kasutama männiõlipõhist PE-d. Lisaks osaleb Paulig juba varem mainitud uurimusprojektis, kus arendatakse tselluloosipõhist taastuvat ja taaskasutatavat materjali Thermocell kile, et asendada toidutööstustes naftapõhist plasti. Paulig Group eesmärgiks on asendada 2030. aastaks kõik naftapõhised plastid taaskasutatavatega ja, mis on valmistatud taaskasutatud või taastuvatest materjalidest.

Carlo Ratti on Itaalia disaini- ja innovatsioonifirma, kes koos energiafirmaga ENI arendasid välja ümmarguse mahlabaari Circular Juice Bar'i (Joonis 3), kus saab apelsini koortest toota 3D prinditud bioplastist topsi. Selline eksperiment loob võimaluse ringmajanduseks, kus klient

tellib aplesinimahla, koored jäävad alles ning koortest saadakse ümbertöötlemise ja 3D printimise läbi tops, mida saab kasutada mahla joomiseks. Carlo Ratti peab oluliseks bioplasti tootmisvõimalusi sellistest allikatest, mis ei mõjutaks meie keskkonnabilanssi. Apelsini koortest valmistatakse läbi kuivatamise, jahvatamise ning PLA kokku segamisega bioplast. Kuumutamise ja sulatamise teel saadakse kiud, mida kasutatakse 3D printeris topsikese printimiseks. Praegu on prototüüp alles algfaasis, kuid tahavad jõuda sellega masstootmisesse. Olemasolev masin ei võimalda hetkel PLA muundamist bioplastiks, kuid idee on kõige tehnoloogilised protsessid mahutada ühte masinasse, et protsess oleks kiire. Tänu materjali omadustele on topsike nii taaskasutatav kui ka komposteeritav ning kasutatav PLA omab komposteerimise sertifikaati. 1 topsi tootmiseks on vaja 3 – 4 apelsini koort, koorte kuivatamine võtab 6 tundi, jahvatamine ja PLA-ga segamine 1 tund, 1 kilogrammi kiude valmistamiseks kulub 2 tundi ning printer tootab 1 topsi 15 minutiga. Kuna projekt on veel arengukäigus, siis ei ole veel teada kui kaugemale selle ideega jõutakse. Carlo Ratti soovib aga ühel hetkel jõuda mahlabaariga masstootmisesse.



Joonis 3. Carlo Ratti ümmargune mahlabaar Circular Juice Bar (CRA, 2020).

Kõik kolm intervjueritavat soovivad oma töö ja ideedega leida rohkem lahendusi ja võimalusi, kuidas asendada naftapõhine plast erinevate bioplastidega. Oluliseks eesmärgiks on leida võimalus, kus bioplasti toorainet ei peaks eraldi tootma ning saaks ära kasutada tekkivat biojäädet. Ettevõtete ideed ja mõtted on ambitsioonikad, kuid siiski peab arvestama naftapõhist plasti asendades ka tarbija soove ja nõudlusi. Oluline roll on ka materjali järeltötlusel, kas saab seda ümbertöödelda, või on see komposteeritav või biolagunev. Intervjuudest tuli välja, et eelistatakse ümbertöötlemise võimalusega bioplasti, sest komposteerimiseks ja

biolagunemiseks on vaja enamasti tööstuslikke tingimusi (Dietrich *et al.*, 2017; Tsang *et al.*, 2019). Võib öelda, et intervjueeritavad on kursis praeguste trendidega bioplasti alal ning on valmis katsetama ja uurima uuemaid tehnoloogiaid vastavalt tarbijate nõudlustele.

KOKKUVÕTE

Plastmaterjalid ja pakendid mängivad üha suuremat rolli meie igapäevastes tarbimisharjumustes. Väga palju on hakatud uurima naftapõhiste plastide mõju kliimasoojenemisele ja meie keskkonnale ning sellest tingituna on hakatud välja töötama sobivamaid asendusi bioplastide näol. Uurimuse tulemusel leiti, et bioplastide tootmine ja kasutamine on jätkusuutlik protsess ning sellega on võimalik vähendada ka kasvuhoonegaaside emissiooni ning jäätmete ja fossiilsete toorainete tekitatud keskkonnaprobleeme.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida, millised võimalused on olemas bioplasti tootmiseks toidujäätmetest, millised on sellise bioplasti kasutamise võimalused toiduainetetööstustes ning millised on toidujäätmetest bioplasti tootmise väljakutsed.

Bioplasti tootmine toidujäätmetest aitaks vähendada toidujäätmete jõudmist prügilatesse ning läbi selle keskkonna saastamist. PLA, PHA ning tärkliisepõhised bioplastid on kõige levinumad ja uuritumad bioplastid praegusel turul. Toidujäätmetest bioplasti tootmisel on perspektiive, kuid on ka mitmeid väljakutseid. Antud hetkel on naftapõhiste plastide tootmiskulud oluliselt madalamad, kui seda on bioplastide oma, ning see on üks põhjustest miks bioplasti tootmine 2020. aastal moodustas vaid 0,6% kogu plasti toodangust. Põhilisteks väljakutseteks on leida tehnoloogilisi võimalusi vähendamaks bioplastide tootmiskulusid ning materjali mehaanilisi omadusi. Tehnoloogia arenguga on võimalik, et bioplastide hind järgnevatel aastatel jooksul oluliselt langeb ning järjest rohkem saab asendada naftapõhist plasti.

Bioplastid jagunevad kaheks erinevaks plastiks, kus üks on biolagunev ja komposteeritav plast, mille toormaterjaliks võivad olla taastuvad loodusvarad, taastumatud loodusvarad või hoopis segu nendest kahest; ning teine on taastuvatel loodusvaradel põhinev plast ehk biopõhine plast, mille toormaterjaliks peab olema bioloogilist päritolu. Toidujäätmetest plast kuulub biopõhiste plastide alla, sest on taastuv loodusvara – igapäevaselt tekib seda juurde. Toidujäätmetest on võimalik toota PHA, PLA, proteiinidel ja polüsahhariididel põhinevaid plaste. Kõik sõltub materjali kättesaadavusest ning tarbijate nõudlusest.

Toiduainetetööstuses on pakendamine väga olulisel kohal ning on hakatud asendama naftapõhiseid plaste bioplastidega. Materjali mehaanilised omadused ja sobivus toiduainete

pakendamiseks määrab ära tema kasutusvõimalused toidutööstuses. Põhiliselt on kasutuses PLA, PHA ja tärklisepõhised materjalid.

Kvalitatiivne analüüs annab ülevaate ettevõtete teadmistest bioplastide ja toidujäätmetest bioplastide tootmisest, kasutamise võimalustest toidutööstustes, erinevatest väljakutsetest, ning ka ettevõtete enda kogemusi bioplastist.

Intervjuude tulemustest võib järeldada, et ettevõtted on teadlikud olemasolevatest bioplasti tootmisvõimalustest ning nende kasutamisevõimalustest toidutööstustes. Vähem on nad aga kursis bioplasti tootmisest toidujäätmetest, kuid tõdevad, et kui on võimalik luua sobilik pakend sellise materjali põhjal, siis võib see olla jätkusuutlik protsess. Kolm intervjuueeritavat juba panustavad naftapõhiste plastide asendamisele bioplastide näol, kas siis läbi pakendi tootmise, toiduainete pakendamise või innovatiivsusega. Kõige suuremateks väljakutseteks pidasid intervjuueeritavad tootmiskulude kallidust ning vähest kättesaadavust, mis tuli ka uurimuses välja.

Kokkuvõtteks võib öelda, et bioplastide tootmine toidujäätmetest on tuleviku mõistes jätkusuutlik protsess ning tehnoloogia arenguga on võimalik tegeleda suurima väljakutsega vähendades ka tootmiskulusid. Juba on toidutööstustes kasutusel erinevaid bioplaste ning pikas perspektiivis saab asendada suure osa naftapõhiseid plaste bioplastidega, mis on suur samm edasi meie keskkonna hoidmise suunas. Kui tarbijad ja tootjad teeksid ise teadlikumaid valikuid, siis oleks võimalik asendada naftapõhiseid plaste bioplastidega ka kiiremini.

Käesolevat teemat on võimalik edasi uurida, leides rohkem tootjaid, kes oleks valmis tootma bioplasti toidujäätmetest ning toidutööstuseid, kes oleks valmis selliseid pakendeid kasutama. Lisaks on võimalik uurida ka materjalide vastupidavust erinevatele toiduainetele, et mõista kuidas säilib toiduohutus ning kuidas pakend erinevatele tarneahela protsessidele vastu peab.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Alashwal, B.Y., Bala, M.S., Gupta, A., Sharma, S., & Mishra, P.** (2020). Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 853–857. doi: 10.1016/j.jksus.2019.03.006
- Alavi, S., Thomas, S., Sandeep, K. P., Kalarikkal, N., Varghese, J., Yaragalla, S.** (2015). *Polymers for Packaging Applications*. New Jersey: Apple Academic Press
- Auras, R., Harte, B., & Selke, S.** (2004). An Overview of Polylactides as Packaging Materials. *Macromolecular Bioscience*, 4(9), 835–864. doi: 10.1002/mabi.20040004
- Barnett, I.** (2011). *The Global Outlook For Biodegradable Packaging: Key Trends and Developments Driving the Global Biodegradable Packaging Market*. Business Insight, London
- Bátori, V., Åkesson, D., Zamani, A., Taherzadeh, M.J., & Horváth, I.S.** (2018). Anaerobic degradation of bioplastics: A review. *Waste Management*, 80, 406–413. doi: 10.1016/j.wasman.2018.09.040
- Bioplastics market data 2020. (2020). European Bioplastics Association. https://docs.european-bioplastics.org/conference/Report_Bioplastics_Market_Data_2020_short_version.pdf (28.04.2021)
- Boyandin, A. N., Prudnikova, S. V., Karpov, V. A., Ivonin, V. N., Đỗ, N. L., Nguyễn, T. H., ... Gitelson, I. I.** (2013). Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates in tropical soils. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 83, 77–84. doi: 10.1016/j.ibiod.2013.04.014
- Calabrò, P. S., & Grosso, M.** (2018). Bioplastics and waste management. *Waste Management*, 78, 800–801. doi: 10.1016/j.wasman.2018.06.054
- Carmona-Cabello, M., Garcia, I. L., Leiva-Candia, D., & Dorado, M. P.** (2018). Valorization of food waste based on its composition through the concept of biorefinery. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 14, 67-79. doi:10.1016/j.cogsc.2018.06.011
- Chaiwong, W., Samoh, N., Eksomtramage, T., & Kaewtatip, K.** (2019). Surface-treated oil palm empty fruit bunch fiber improved tensile strength and water resistance of wheat gluten-based bioplastic. *Composites Part B*, 176. doi:10.1016/j.compositesb.2019.107331
- De Paula, F. C., De Paula, C. B., & Contiero, J.** (2018). Prospective biodegradable plastics from biomass conversion processes. *Biofuels - State of Development*. doi:10.5772/intechopen.75111
- De Vileger, J. J.** (2000). Green plastics for food packaging. In: Ahvenainen, R. (Ed.), *Novel Food Packaging Techniques* (519 – 534). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Dietrich, K., Dumont, M.-J., Rio, L. F. D., & Orsat, V.** (2017). Producing PHAs in the bioeconomy — Towards a sustainable bioplastic. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 58–70. doi:10.1016/j.spc.2016.09.001

- Dietrich, K., Dumont, M.-J., Rio, L. F. D., & Orsat, V.** (2019). Sustainable PHA production in integrated lignocellulose biorefineries. *New Biotechnology*, *49*, 161–168. doi: 10.1016/j.nbt.2018.11.004
- DiGregorio, B. E.** (2009). Biobased Performance Bioplastic: Mirel. *Chemistry & Biology*, *16*(1), 1–2. doi: 10.1016/j.chembiol.2009.01.001
- Dilkes-Hoffman, L.S., Pratt, S., Lant, P.A., Laycock, B.** (2019). 19 – The Role of Biodegradable Plastic in Solving Plastic Solid Waste Accumulation. In Al-Salem, S.M. (Ed.), *Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications* (pp. 469 – 505). Amsterdam: William Andrew.
- Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B.** (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, *59*, 526–536. doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.006
- EU FUSIONS. (2016). Estimates of European food waste levels. [veebileht] <http://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf> (06.04.2021)
- EU FUSIONS. (2020). Food Waste Definition. [veebileht] <https://www.eu-fusions.org/index.php/about-food-waste/280-food-waste-definition> (03.05.2020)
- Euroopa Liidu Komisjoni määrus nr 10/2011. (vastu võetud 14.01.2011, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 29.08.2019). Euroopa Liidu Teataja. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/10/2019-08-29> (09.05.2020).
- Euroopa strateegia plasti kohta ringmajanduses. (2018). Euroopa Komisjon. <https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/plastics-strategy-brochure.pdf> (09.05.2020)
- European Bioplastics Association. (2020). What are bioplastics?. [veebileht] <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/> (26.04.2021)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Food Loss and Food Waste. [veebileht] <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/> (03.05.2020)
- Ganesh Kumar, A., Anjana, K., Hinduja, M., Sujitha, K., & Dharani, G.** (2020). Review on plastic wastes in marine environment – biodegradation and biotechnological solutions. *Marine Pollution Bulletin*, *150*, 110733. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110733
- Garlotta, D.** (2001). A literature review of poly(lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, *9*(2), 63–84. doi: 10.1023/a:1020200822435
- Gueke, B.,** (2014). Dossier – Bioplastics as Food Contact Materials. *Food Packaging Forum* (pp. 1 – 8). [veebileht] https://www.foodpackagingforum.org/fpf-2016/wp-content/uploads/2015/11/FPF_Dossier06_Bioplastics.pdf (08.05.2021)
- Gueke, B., Groh, K., & Muncke, J.** (2018). Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *Journal of Cleaner Production*, *193*, 491–505. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.005

- Gómez-Heincke, D., Martínez, I., Stading, M., Gallegos, C., & Partal, P.** (2017). Improvement of mechanical and water absorption properties of plant protein based bioplastics. *Food Hydrocolloids*, 73, 21-29. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.06.022
- Halley, P. J.** (2005). Thermoplastic starch biodegradable polymers. In Smith, R. (Ed.), *Biodegradable Polymers for Industrial Applications* (pp. 140 – 159). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Han, J. H.** (2014). *Innovations in food packaging*. Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Hamad, K., Kaseem, M., Yang, H. W., Deri, F., & Ko, Y. G.** (2015). Properties and medical applications of polylactic acid: A review. *Express Polymer Letters*, 9(5), 435–455. doi:10.3144/expresspolymlett.2015.42
- Hill, J.,** (2010). Successful Brand Enhancement Through Packaging. Best Practice in Leveraging Unique Brand Attributes and Innovative Products. Business Insight, London
- Itävaara, M., Karjoma, S., & Selin, J.-F.** (2002). Biodegradation of polylactide in aerobic and anaerobic thermophilic conditions. *Chemosphere*, 46(6), 879–885. doi:10.1016/s0045-6535(01)00163-1
- Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A.** (2015). Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1). doi:10.1080/23311932.2015.1117749
- Jain, R., & Tiwari, A.** (2015). Biosynthesis of planet friendly bioplastics using renewable carbon source. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1). doi:10.1186/s40201-015-0165-3
- Janorkar, A. V., Metters, A. T., & Hirt, D. E.** (2004). Modification of Poly(lactic acid) Films: Enhanced Wettability from Surface-Confined Photografting and Increased Degradation Rate Due to an Artifact of the Photografting Process. *Macromolecules*, 37(24), 9151–9159. doi:10.1021/ma049056u
- Jiménez-Rosado, M., Zarate-Ramírez, L., Romero, A., Bengoechea, C., Partal, P., & Guerrero, A.** (2019). Bioplastics based on wheat gluten processed by extrusion. *Journal of Cleaner Production*, 239, 117994. doi:10.1016/j.jclepro.2019.117994
- Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., & Narayan, R.** (2007a). Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Polymer Testing*, 26(8), 1049-1061. doi:10.1016/j.polymertesting.2007.07.006
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., & Singh, S. P.** (2007b). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255–277. doi:10.1002/mabi.200600168
- Kaur, L., Khajuria, R., Parihar, L., & Singh, G. D.** (2017). Polyhydroxyalkanoates: Biosynthesis To Commercial Production: A Review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 6(4), 1098–1106. doi:10.15414/jmbfs.2017.6.4.1098-1106
- Koller, M.** (2014). Poly(hydroxyalkanoates) for Food Packaging: Application and Attempts towards Implementation. *Applied Food Biotechnology*, 1(1), 1-13. doi:10.22037/afb.v1i1.7127

- Koller, M., Maršálek, L., Dias, M. M. D. S., & Braunegg, G.** (2017). Producing microbial polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters in a sustainable manner. *New Biotechnology*, 37, 24-38. doi:10.1016/j.nbt.2016.05.001
- Koller, M., Niebelschütz, H., & Braunegg, G.** (2013). Strategies for recovery and purification of poly[(r)-3-hydroxyalkanoates] (pha) biopolyesters from surrounding biomass. *Engineering in Life Sciences*, 13(6), 549-562. doi:10.1002/elsc.201300021
- Lee, S. Y.** (1996). Plastic bacteria? Progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria. *Trends in Biotechnology*, 14(11), 431–438. doi:10.1016/0167-7799(96)10061-5
- Luckachan, G. E., & Pillai, C. K. S.** (2011). Biodegradable Polymers – A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 637–676. doi:10.1007/s10924-011-0317-1
- Mittal, V.** (2012). *Renewable polymers: synthesis, processing, and technology*. Salem, Mass: Scrivener.
- Modi, S. J.** (2010). *Assessing the Feasibility of Poly-(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) and Poly-(lactic acid) for Potential Food Packaging Applications* (Diplomitöö). Ohio State University.
- Mohee, R., Unmar, G., Mudhoo, A., & Khadoo, P.** (2008). Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions. *Waste Management*, 28(9), 1624–1629. doi:10.1016/j.wasman.2007.07.003
- Mussoline, W., Esposito, G., Giordano, A., Lens, P.** (2013). The Anaerobic Digestion of Rice Straw: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(9), 895-915. doi:10.1080/10643389.2011.627018
- Narayan, R.** (2011). Carbon footprint of bioplastics using biocarbon content analysis and life-cycle assessment. *MRS Bulletin*, 36(9), 716–721. doi:10.1557/mrs.2011.210
- NatureWorks LLC. (2020). What is Ingeo?. [veebileht] <https://www.natureworksllc.com/What-is-Ingeo> (26.04.2020)
- Nayak, A., & Bhushan, B.** (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. *Journal of Environmental Management*, 233, 352–370. doi:10.1016/j.jenvman.2018.12.041
- Novamont S.p.A. (2020). Mater-Bi. [veebileht]. <https://www.novamont.com/eng/mater-bi> (27.04.2020)
- Paulig Group. (2021a). What does sustainability mean at Paulig?. [veebileht]. <https://www.pauliggroup.com/sustainability> (06.05.2021)
- Paulig Group. (2021b). Paulig takes part in the development of new bio-based packaging material to replace fossil plastic. [veebileht]. <https://www.pauliggroup.com/news/paulig-takes-part-in-the-development-of-new-bio-based-packaging-material-to-replace-fossil-plastic> (01.05.2021)
- Plastics – the Facts 2020. (2020). PlasticsEurope – Association of Plastics Manufacturers. https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf (29.04.2021)

- Raza, Z.A., Abid, A., Banat, I.M.** (2018). Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 126, 45-56. doi:10.1016/j.ibiod.2017.10.001
- Ravindran, R., & Jaiswal, A. K.** (2016). Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58–69. doi:10.1016/j.tibtech.2015.10.008
- Ren, X., Chen, C., Nagatsu, M., & Wang, X.** (2011). Carbon nanotubes as adsorbents in environmental pollution management: A review. *Chemical Engineering Journal*, 170(2-3), 395–410. doi:10.1016/j.cej.2010.08.045
- Rhim, J.-W., Hong, S.-I., & Ha, C.-S.** (2009). Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films. *LWT - Food Science and Technology*, 42(2), 612–617. doi:10.1016/j.lwt.2008.02.015
- Robertson, G.** (2008). State-of-the-art biobased food packaging materials. In Chiellini, E. (Ed.), *Environmentally Compatible Food Packaging* (pp. 3 – 28). Boca Raton, FL: CRC Press
- Rudnik, E., & Briassoulis, D.** (2011). Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products*, 33(3), 648–658. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.12.031
- Russo, M. A., O’Sullivan, C., Rounsefell, B., Halley, P. J., Truss, R., & Clarke, W. P.** (2009). The anaerobic degradability of thermoplastic starch: Polyvinyl alcohol blends: Potential biodegradable food packaging materials. *Bioresource Technology*, 100(5), 1705–1710. doi:10.1016/j.biortech.2008.09.026
- Shen, L., & Patel, M. K.** (2008). Life Cycle Assessment of Polysaccharide Materials: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 16(2), 154–167. doi:10.1007/s10924-008-0092-9
- Shogren, R., Wood, D., Orts, W., & Glenn, G.** (2019). Plant-based materials and transitioning to a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 19, 194–215. doi:10.1016/j.spc.2019.04.007
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D.** (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634–643. doi:10.1016/j.tifs.2008.07.003
- Song, J., Kay, M., Coles, R.** (2011). Bioplastics. In R. Coles & M. J. Kirwan (Eds), *Food and Beverage Packaging Technology* (2nd ed.) (pp. 295-319). New Jersey: Blackwell Publishing Ltd.
- Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R., & Davies, G. B. H.** (2009). Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526), 2127-2139. doi:10.1098/rstb.2008.0289
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., Vittoria, V.** (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging materials. *Trends in Food Science & Technology*, 18(2), 84-95. doi:10.1016/j.tifs.2006.09.004

- Spierling, S., Knüpffer, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., ... Endres, H.-J.** (2018). Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production*, 185, 476–491. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.014
- Stora Enso Oyj. (2021). Products. [veebileht]. <https://www.storaenso.com/en/products> (08.05.2021)
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P.** (2012). Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(5), 426–442. doi:10.1080/10408398.2010.500508
- Tsang, Y. F., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y. S., ... Jeon, Y. J.** (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 127, 625–644. doi:10.1016/j.envint.2019.03.076
- Vegware Ltd. (2021). Vegware – plant-based compostable foodservice packaging. [veebileht]. <https://www.vegware.com/uk/> (08.05.2021)
- Verlinden, R., Hill, D., Kenward, M., Williams, C., & Radecka, I.** (2007). Bacterial synthesis of biodegradable polyhydroxyalkanoates. *Journal of Applied Microbiology*, 102(6), 1437–1449. doi:10.1111/j.1365-2672.2007.03335.x
- Vink, E. T., & Davies, S.** (2015). Life Cycle Inventory and Impact Assessment Data for 2014 Ingeo™ Polylactide Production. *Industrial Biotechnology*, 11(3), 167–180. doi:10.1089/ind.2015.0003
- Virkus, S.** (2016). Õpiobjekt: Intervjuu, vaatlus ja sisuanalüüs. *Tallinna Ülikooli Digitehnoloogia instituut*. https://www.tlu.ee/~sirvir/Intervjuu_vaatlus_ja_sisuanals/index.html (28.03.2021)
- Volova, T., Shishatskaya, E., Sevastianov, V., Efremov, S., & Mogilnaya, O.** (2003). Results of biomedical investigations of PHB and PHB/PHV FIBERS. *Biochemical Engineering Journal*, 16(2), 125-133. doi:10.1016/s1369-703x(03)00038-x
- Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J., & Ivanova, E. P.** (2012). Plastic Degradation and Its Environmental Implications with Special Reference to Poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 5(1), 1–18. doi:10.3390/polym5010001
- Õunapuu, L.** (2014). Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimismeetod sotsiaalteadustes. Tartu: Tartu Ülikool. 211 lk. <http://hdl.handle.net/10062/36419> (30.04.2021)
- Youssef, A. M., & El-Sayed, S. M.** (2018). Bionanocomposites materials for food PACKAGING applications: Concepts and future outlook. *Carbohydrate Polymers*, 193, 19-27. doi:10.1016/j.carbpol.2018.03.088
- Yukesh Kannah, R., Merrylin, J., Poornima Devi, T., Kavitha, S., Sivashanmugam, P., Kumar, G., & Rajesh Banu, J.** (2020). Food waste valorization: Biofuels and value added product recovery. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100524. doi:10.1016/j.biteb.2020.100524
- 2008/98/EÜ, Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ, mis käsitleb jäätmeid ja millega tunnistatakse kehtetuks teatud direktiivid. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705> (02.05.2020)

LISAD

Lisa 1. Intervjuu pakenditootja Estiko Plastar AS'iga

Vajadus bioplasti tootmise järele

1. Estiko toodab biotoorainel põhinevat kile ja laminaati, millal ja millest tekkis Teil vajadus sellise toote järele?

Klientide huvi tõttu – turul on palju biotoormel põhinevaid pakendeid, seega pidime tulema vastu oma klientide soovidele, et konkurentsisis püsida.

2. Kui palju olete varasemalt kokku puutunud bioplasti ning selle tootmise võimalustega?

Päris ulatuslikult, Estikos on tehtud varasemalt katseid ka näiteks linaseemnete ja tselluloosist valmistatud kiledega, seda juba aastaid tagasi. Seni on jäänud projektide arendamine klientide vähese huvi taha, nüüdseks on juba soovijaid ja kõrgemat hinda maksvaid kliente rohkem.

3. Miks on Teie arvates oluline leida asendus nafta põhiste plastidele bioplasti näol?

Jätkusuutlikkus – esiteks on vaja vähendada CO₂ keskkonda paiskamist nafta maa alt välja pumpamise näol, teiseks on vaja leida toorainet, mis ei saaks ühel hetkel otsa. Mida varem see leida, seda parem, nii keskkonna kui toiduainetööstuse vaatevinklist.

4. Kas Eesti toiduainetetööstused oleksid valmis vastu võtma bioplastist pakendid?

Absoluutselt, hetkel seisab paljugi kahjuks hinna taga – selline tooraine on kohati kuni 3x kallim ja paljud kliendid ei ole lihtsalt nõus seda hinnavahet kinni maksuma.

a. Kas teate mõnda ettevõtet Eestis, kes seda juba kasutab?

Jah, kuid pigem on nende arv küllaltki tagasihoidlik.

5. Kas inimesed üleüldiselt on valmis asendama naftapõhist plasti bioplastiga?

Absoluutselt, peamine probleem seisab hetkel siiski hinna ja vähese teadlikkuse taga.

Protsess ja tehnoloogia

6. Mis on Teie arvates suurimad väljakutsed bioplasti tootmisel ning miks ei ole bioplast nii levinud kui naftapõhine plast?

Vähene tooraine kättesaadavus, keerukas ja kulukas protsess, lisaks naftapõhise tööstuse pikk ajalugu ja sisse töötatud lahendused. Kindlasti ka nafta baasil valmistatud plasti valik on palju laiem.

a. Milliste väljakutsetega biotoorainel põhineva plasti tootmisel Teie kokku puutute?

Vähe pakkujaid, kallis hind ja valikus olevate plastitüüpide vähesus.

7. Mis on Teie biotoorainel põhineva plasti üldine kompositsiooni? Mida peale biotoorainel veel kasutatakse?

Meie poolt hetkel kasutusel oleva bio-baasil polüetüleeni tooraine on suhkruroog, millest valmistatakse suhkrut ning selle suhkrutootmise kõrvalprodukti kasutatakse bioetanooli tootmiseks, millest omakorda toodetakse etüleen ja sellest polüetüleen. Peale biotooraine on tulevikus loodetavasti võimalik ka plastijäätmetest keemiliselt ümber töödeldud polümeere saada, kuid see projekt on hetkel küllaltki algusjärgus.

8. Miks olete valinud just sellise tooraine materjali tootmiseks?

Kuna see on hetkel kõige laialdasemalt kättesaadav, suhteliselt vastuvõetava hinnaga ja ka kõige tuntum ja tunnustatum.

9. Kas olete kaalunud või proovinud toota bioplasti toidujäätmetest, mis tekivad toiduainetetööstustes?

Kuna meie ise polümeere ei tooda, siis meil selline võimekus puudub, küll on seda mujal maailmas katsetatud. See toimib, aga kuna selleks on olemas palju lihtsamaid ja tasuvamaid meetodeid, siis ei ole see laialt levinud.

10. Teie biotoorainel põhinev materjal on täielikult ümbertöödeldav, kas olete proovinud leida ka sellist varianti, mis oleks biolagunev või komposteeritav?

Oleme, selliseid variante on mitmeid ka meie praeguses toodete portfellis, kuid seda me klientidele ei soovita. Vastupidi, me soovitame neid mitte kasutada, kuna reaalsuses need ei komposteeru (vaja eritingimusi) ega jõua komposteerimisjaama pea iialgi (jäätmejaamad

sorteerivad tihti kile biojätmetest välja). Kui klient ka peale sellise info saamist jätkuvalt nõuab komposteeruvat materjali, on siiski meie asi seda neile pakkuda.

11. Kas bioplasti tootmine toidujätmetest on jätkusuutlik protsess ning tasub ennast ära?

Kahjuks ei ole nii hästi kursis selle tootmise üksikasjadega, et osata hinnata majanduslikku tasuvust või LCA-d (Life Cycle Analysis). Tõenäoliselt siiski mitte, kuna protsess on ääretult töömahukas (toidujätmete kogumine, sorteerimine jne) ja saagis ilmselt väike, võrreldes hetkel kasutuses olevate meetoditega. Kuigi, kui lugeda näiteks suhkrutootmise kõrvalprodukti ja bioetanooli algmaterjale ka toidujätteks, siis see toimib ja üsnagi edukalt.

12. Kas bioplasti tootmine toidujätmetest võiks aidata vähendada riknenud toidu ning toidujätmete sattumist prügilatesse ning loodusesse?

Kui sellega tekib ostja sorteeritud toidujätmetele, siis kindlasti, kuid riknenud toit ja toidujätmed ei tohiks loodusele ega prügilatele otseselt suuri probleeme tekitada – komposti ostetakse ka hetkel prügilatest, mida biojätmetest tehakse ja looduses tähendab see lihtsalt toitaineid taimedele ja loomadele.

13. Kas toidujätmetest bioplasti tootmisel võiks kasutada ka väljaspool toiduainetetööstusi tekkivaid toidujätmeid kasutada?

Absoluutselt, bioplasti tootmise seisukohalt ei ole vahet, kust need toiduained pärit on, küsimus on lihtsalt protsessi efektiivsuses – täiesti sorteerimata ja kõiksugusest biomassist näiteks etanooli tootmine on palju ebaefektiivsem, kui näiteks homogeensest rapsiõlist või viljast.

a. Mis oleks sellisel juhul väljakutsed ning piirangud?

Kindlasti olekski efektiivsuse tõstmine, otseseid piiranguid seab ilmselt ainult konkurents turul – polüetüleenil puhul on protsess alates bioetanoolist identne, olenemata algmaterjalist. Kui soovida muid plaste toidujätmetest valmistada (tärklise/tselluloosi baasil PLA/tsellofaan), siis peab samuti algmaterjal olema küllaltki homogeenne, et saavutada piisav efektiivsus, et olla majanduslikult jätkusuutlik.

Regulatsioonid

14. Kas Teie poolt toodetavat biotoorainel põhinevat materjali on lubatud kasutada ka toiduainete pakendamiseks?

Jah, tootele on tehtud vajalikud migratsioonitesti ja see on lubatud kokkupuuteks toiduainetega. Tegemist on keemiliselt ja füüsikaliselt identse polüetüleeniga võrreldes fossiilsel baasil toodetuga.

15. Kas toidujäätmetest toodetud bioplasti kasutamist toiduainetetööstustes piiraks Eestis ning Euroopas erinevad regulatsioonid?

Tooraine iseenesest ei sea mingeid piiranguid, kui valmis pakend läbib migratsioonitesti (pakendist ei tule kõrgendatud temperatuuril mingeid aineid välja ja ei migreeru toidu siss) ning selles ei sisaldu keelatud raskemetalle või muid Euroopa Komisjoni määrusega keelatud aineid, siis ei ole selle kasutamisele mingeid piiranguid.

a. Kas kasutamist võivad piirata hoopis võimalikud mürgid pakendis?

Kindlasti, kui tootmisprotsessist on plasti jäänud mingeid mürkaineid või raskemetalle, siis seda ei ole lubatud kasutada kokkupuuteks toiduainetega.

16. Mis on need põhilised punktid regulatsioonide poole pealt, et saaksite toota toiduainetetööstustele sobivaid ja ohutuid biotoorainel põhinevaid pakendeid?

Eelmises punktis kirjeldatu – peab olema ohutu toiduainega kokkupuuteks – ei tohi sisaldada raskemetalle ning peab läbima üldmigratsioonitesti (pakendit kuumutatakse teatud aja jooksul kokkupuutes oliivõli, etanoolilahuse ja äädikhappega ning mõõdetakse pakendist migreerunud ainete kogust). Ehk EC 1935/2004:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32004R1935>

Tuleviku väljavaated

17. Kui kaua võiks Teie arvates Eestis, Euroopas ning terves maailmas aega võtta, et saaksime peaaegu täielikult asendada naftapõhise plasti bioplastiga?

Kahjuks ilmselt väga kaua – nafta baasil toodetud plast on palju odavam (kliendid valivad selle kallima bio-baasil plasti asemel), laialdasemate võimalustega (mis ongi mõne toiduainepakendi puhul vältimatu). Lisaks ei ole piisavalt palju bio-baasil plasti tooraine tootjaid (võibolla, et pole ka piisavalt toorainet) ega olemasolevatel tootjatel võimsust, et kogu nafta baasil loodud plasti asendada.

18. Kas lähima viie aasta jooksul on Estikol plaanis turule tuua rohkem bioplasti ning mingil hetkel vähendada ka naftapõhise plasti tootmist?

Kindlasti on plaanis tuua turule rohkem bioplasti, oleme just saanud omale sertifikaadi, mis võimaldab meil hakata kasutama plastijäätmetest ning puiduhakkest valmistatud polümeere ning bio-baasil polümeerid on ka meie jätkusuutlikkuse programmi üks suur osa. Ainuke lootus on, et meie kliendid on sellest sama huvitatud kui meie. Naftapõhise plasti teadlikku vähendamist ei saa me kahjuks omaalgatuslikult teha, see sõltub siiski meie kliendist – kui nad ei ole valmis ostma kallimat, bio-baasil plasti, siis peame neile pakkuma siiski odavamad nafta baasil valmistatud pakendeid. Kuna konkurents turul on suur, tähendaks teadlikult nafta baasil pakendi mitte pakkumine tugevat majanduslikku miinust – konkurendid on kindlasti valmis seda neile pakkuma ning me ei saavutaks sellega midagi – nafta baasil pakend jõuab turule ikkagi ning meie jääme lihtsalt kliendist ilma.

19. Kas olete kursis uusimate trendide ning tehnoloogiatega bioplasti tootmisel toidu- või põllumajandusjäätmetest?

Konkreetselt toidu- või põllumajandusjäätmetest pigem mitte. Üldiselt bio-toormel põhinevate plastide osas tahaks loota, et oleme, kuid kindlasti on mingeid väikesemaid projekte ning avastusi, mis ei ole meie kõrvu veel jõudnud. Täpse protsessi ja tehnoloogia koha pealt ilmselt mitte, pigem tooraine ja lõpptoote tasemel, mis oleksid ka meie tootmisprotsessis rakendatavad.

Lisa 2. Intervjuu firmaga CRA

The idea and need for production of bioplastics

1. How did you come up with idea to make bioplastic cups from orange peels with 3D printer?

The idea came by working together with global energy company Eni: we wanted to create a concept about circularity to show how waste can be turned into a new source of energy.

2. Why do you think it is important to replace petroleum-based plastic with bioplastic?

The environmental emergency of the last decades leads us to think about how we can use our knowledge and experience to improve our consumption and production patterns while reducing their impact.

3. Is your packaging material from biodegradable waste meant for using in food industries (e.g. cups, etc.) or have you considered applications in other, non-food, industries?

We have previously been working on circular paradigms in design solutions, such as using mycelium or hydroponic cultivation for architectural installations. We believe that one of the main issues in design should be how to produce things that last without impacting our environmental balance.

4. Why did you decide to use orange peels as the biodegradable waste to the main source for packaging solution? Did you consider alternative biowaste sources as the base component? If yes, then which ones?

The idea behind the prototype is to embed within the same object a circular production and consumption paradigm: When someone orders a juice, oranges slide down into the squeezer. As each orange is cut in half, its peel falls into the lower part, where they accumulate. Through a process of drying, milling, and mixing with Polylactic Acid (PLA), peels become a bioplastic. The bioplastic is then heated and melted into a filament that is used by a 3D printer incorporated into the machine.

5. What are the main considerations, behavioral attitudes, perceptions from market, from end-consumers or industry usage perspective?

The idea was immediately appreciated by consumers, event planners and production companies. This is meaningful to us: it proves that we are ready to promote new models and solutions on how to increase our standards uncompromisingly.

Process and the technology

6. What was your prior knowledge, experience about the technology, the opportunities, about the production of packaging materials and packages from biodegradable waste?

a. Who are your partners in developing the materials?

Gloal energy company ENI

b. Is the 3D printed cup ready to hit the market?

At the moment, the prototype is still in its initial phase, but we aim to develop it for mass production.

7. What has been the most difficult about developing the base material for producing the package and the ingredients used for it?

We have tested all the phases internally, included the drying, milling and the final production of the bioplastic filament for 3d printing. This has been our greatest challenge, but it proved to us that a circular paradigm can be implemented in any field.

8. What has been the most difficult about the technology of printing 3D printed cups?

The main difficulty is to keep the process fast - this cannot be achieved without a serial production to optimize the prototype: at the moment the transformation of the Polylactic Acid (PLA) into a bioplastic is made possible through an external process, but we aim to embed it within the same machine on a further stage.

9. The 3D printed cup is recyclable, but is it also biodegradable or compostable? If yes, have you done any tests how and in which conditions the cup will biodegrade? What were the results?

The 3D printed cups are also compostable, due to the material characteristics. PLA allows us to keep this characteristic during the whole process. Our material is produced with compostable certified PLA.

10. What is the composition of the material used for production and in 3D print technology?

a. Why did you choose PLA for mixing with orange peels for this product?

We wanted to produce a compostable material. Due to its characteristics, PLA was the correct material to use.

b. How long is the process of making the 3D printed cups, starting with the orange peels?

The material production process still is not optimized as the project started from an R&D idea. Anyway, we need around 6 hours for drying the orange peels, 1 hour to make it in powder and mix it with PLA, 2 hours to produce 1 Kg of filament. The printing time to produce 1 cup is around 15 minutes.

c. How much orange peels do you need to make 1 cup?

3-4 oranges should be enough, of course it depends by the dimensions of the oranges.

d. If you would make the 3D printed cups on daily basis, what would be the challenges?

The first step should be to optimize the filament production phase. Right now, it is quite time consuming. Then, we should also work on the energy consumption of the whole production process.

e. Do you know what kind of bioplastics are used in food industries in Italy?

The most common is MaterBi, produced by Novamont.

11. Based on the material, you call it “Feel the Peel”. What are the bottlenecks of “Feel the Peel” technology and the materials used?

As a main issue I would mention the production series that can't be embedded in the same machine - this increases the procurement process as well as the production process. Although, we think that being able to transform the peels into dust available for bioplastics is a great achievement to keep working on.

12. What are the main learnings and improvements about the technology?

A wide production scale would help us a lot to include as much as possible the production phases within the same machine. More than a learning, this is to be considered as a challenge.

Regulative environment

13. What are the main considerations of regulative environment in producing packaging materials from biodegradable waste for use in food industries?

The main topic is related to the origin of the material. It has to be certified by the producer.

14. How regulations in EU, etc. affect the production process/technology so that the product material could be used for food industries?

a. Or would it be wise to start the application in non-food industries to experiment with the materials and technology?

EU is quite tight in its regulations. To produce a material for the food industry you have to certify not only the materials you're using, but also the production processes.

15. From the perspective of the regulations, have you tested the material safety by yourselves?

We decided to don't move forward with the certifications as it is a very long process. Anyway yes, we did tests by ourselves to have more informations about the safety of the material and its main characteristics.

The future outlook and next steps

16. Based on your experience with "Feel the Peel", the project objective, societal pressure, and potential demand, have you decided to continue with it and why?

Yes, we are currently producing a smaller version of the juice bar, in order to keep promoting the original aim of the idea and make it accessible to small companies as well as to the larger ones. This would allow us to promote this concept on the occasion of events as well as to figure out further developments for mass production.

17. What are the possibilities and challenges in production of bioplastics from agricultural or food wastes?

We believe that many companies and designers are going in the right direction and we will keep working to make it a usual practice inside a design method - this is the aim we keep pursuing on our current projects, such as the Italian Pavilion for Expo Dubai and our design and architectural projects in general.

18. Are you aware of the recent trends in the production of bioplastics from agricultural or food wastes?

Yes, we are, and we keep working to be part of a global transition into a circular approach.

19. What are your suggestions to tackle with the consumer attitudes and perceptions based on your experience with “Feel the Peel” project?

Our main suggestion would be to observe the natural behavior of our natural sources and keep experiencing on how we can improve their lifecycle to make it last as much as possible into a production process.

Lisa 3. Intervjuu Toiduliidu juhataja Sirje Potiseppaga

1. Kui palju puutub Toiduliit igapäevaselt kokku toiduainete pakendamisega?

Eesti Toiduainetööstuse Liit (edaspidi Toiduliit, TL) on toidutööstuste esindusorganisatsioon. TL ei pakenda ise midagi. Küll aga tegeleb kogu seadusandlusega, mis reguleerib toiduainete pakendamist. Pakendavad toidutöötajad.

2. Kas olete varasemalt kokku puutunud bioplastiga? Kui palju Te sellest teate?

Bioplastist on võimalik lugeda olnud aastaid erinevat informatsiooni. Bioplastist rääkides võib sageli täheldada, et inimesed ei tea täpselt, millega tegu ning bioplasti aetakse segi biolaguneva plastiga, mis pole sama asi. Bioplast materjal, mille tooraine on bioloogilist päritolu, biolagunev aga laguneb looduses väikesteks tükkideks. Bioplasti tooraine on pärit taastuvallikatest. Algmaterjalid võivad olla suhkur, mais, nisu vms taimne allikas.

3. Miks on Teie arvates oluline leida asendus nafta põhiste plastidele bioplasti näol?

Plast on tänuväärne materjal, ka toiduainetööstustes. Samas on toidutööstustes kasutatavatele materjalidele kehtestatud ranged erinõuded: Toiduga kokkupuutuvad materjalid ja esemed (TKM). Selleks, et materjalid/esemed oleksid inimese tervisele ohutud, on lubatud toiduga kokkupuutumisel nendest toitu üle kanduda väga väike kogus materjaliosakesi. Lisainfo: <https://vet.agri.ee/et/toit/toiduga-kokkupuutuvad-materjalid-ja-esemed-tkm-uldinfo>

Pigem on probleemiks see, et plasti tootmismahud kasvavad ning nuputatakse, kuidas tarbimisega keskkonnasõbralikumaks minna. Selleks on vajalik näiteks üleminek bioplastile. Tavalist plasti valmistatakse fossiilsetest algmaterjalidest, mille tootmine eraldab meie atmosfääri kasvuhoonegaase. Seevastu taastuvallikatest materjal aitab kasvuhoonegaase ära hoida, pidurdades kliimamuutusi ja vähendades keskkonnasaastet.

Samas on suured vaidlused ka teadlaste vahel, kas lõpmatu bioplasti kasutamine põllumajandustoorainest on jätkusuutlik ja mõistlik ning mis mõju sellel kõigil kliimale on, või valmistada endiselt tavalist plasti, kuid muuta see korduvkasutatavaks, minne üle ringmajanduse põhomõtetele. Las teadlased annavad lõpliku vastuse, mida siin eelistada.

4. Kui palju puutute kokku toidujäätmete ning toidu ära viskamise probleemiga?

Püüan tarbijana toitu mitte ära visata, kuid vahel tuleb ikka ette. Läbiviidud toidukaot ja toidujäätmete uuringu järgi aga tuleb vaid 3% toidujäätmetest toidutööstustest ja 72% kodumajapidamisest, 13% toitlustusettevõtetest ja 12% kaubandusest. See on ka loogiline, sest tooraine ja toit on kallis ressurss ning tootmistes tehakse kõik selleks, et toidukaod oleksid võimalikult väikesed ja praaktoodangut vältida.

5. Mis on Teie arvates suurimad väljakutsed bioplasti tootmisel ning miks ei ole bioplast endiselt nii levinud kui naftapõhine plast?

Küsimusele, kui suurt mõju avaldab bioplasti tootmiseks vajaliku tooraine kasvatamine ja selle hilisem käitlemine ringmajanduse põhimõtetele tegelikult loodusele ja keskkonnale, vajavad selget ja ühest vastust. Täna seda ei ole. Olen lugenud ja tean PLA – see on taimesuhkrust saadud kompostitav bioplast. PLA tähendab „polüpiimhapet” (teine nimetus „polülaktiid”). Seda võib valmistada mistahes suhkrust, näiteks maisitärklisest, maniokist, suhkruroost või suhkrupeedist. Jällegi – mis on nende komponentide tootmise tegelik mõju looduskeskkonnale?

6. Kas olete midagi kuulnud bioplasti tootmisest toidujäätmetest?

a. Millised toiduainetetööstused Eestis Teie arvates toodavad kõige rohkem toidujäätmeid, mida saaks kasutada bioplasti tootmiseks?

Tõsiseltvõetavaid tehnoloogiaid, millel oleks ka reaalselt võimekus ning taaskasutuspotentsiaal, on vähevõitu.

7. Kas bioplasti tootmine toidujäätmetest on jätkusuutlik protsess ning tasub ennast ära?

Las hindavad selliseid tegevusi teadlased.

8. Kas toidujäätmetest bioplasti tootmisel võiks ka väljaspool toiduainetetööstusi tekkivad toidujäätmeid kasutada? Mis võiksid sellise protsessi väljakutsed olla?

Kui on toidujäätmeid, siis on toidujäätmeid, mis vahet seal on, kust ta pärineb – kas esmatootjatelt, toidutööstusest, toitlustusasutustest või eraisikutelt. Tähtis on biojätmed eraldi ja korralikult kokku koguda, mis annaks võimaluse seda edaspidi töödelda.

9. Kas Eesti toiduainetetööstused oleksid valmis vastu võtma bioplastist pakendid?

a. Kas teate mõnda ettevõtet Eestis, kes juba kasutab bioplasti oma toodete pakendamiseks?

Toiduainete pakendid peavad olema õhukindlad, veekindlad, niiskuskindlad, rasvakindlad jms nõuetele vastavad ning lubatud kasutada. Samuti on oluline pakendite hind, sest tarbijad on hinnatundlikud. Kui tingimused täidetud ja hind sobilik, siis miks mitte. Juba kasutatakse erinevatest taimsetest materjalidest ühekordse kasutusega tooteid - paberist, kartongist (papp) ja tselluloosist.

10. Maailmas visatakse iga aasta ära meeletutes kogustes toitu, kas bioplasti tootmine toidujäätmetest võiks vähendada ära visatud toidu mõju meie keskkonnale?

Loogiliselt võttes vähendaks, kui olemas vastavad tehnoloogiad.

11. Kas toidujäätmetest toodetud bioplasti kasutamist toiduainetetööstustes piiravad Eestis või Euroopas erinevad regulatsioonid?

a. Kas kasutamist piiravad hoopis võimalikud mürgid pakendis?

Nagu juba mainitud, on toidu pakenditele kindlad ja ranged nõuded. P.S. Mürke ei saa ega tohi olla ei toiduainetes ega pakendites – siis oleksid tarbijad ju surnud.

12. Kui kaua võiks Teie arvates Eestis, Euroopas ning terves maailmas aega võtta, et saaksime peaaegu täielikult asendada naftapõhise plasti bioplastiga?

Kuna plast on nii tänuväärne materjal ja alternatiive on raske leida just ka hinnakonkurentsis, võtavad muutused aega. On kindlasti valdkondi, kus muutused toimuvad kiiremini ja on valdkondi, kus muutused aeglasemad. Siin on suur osa ka teadlastel. Et mitte pakkuda mingit ajalist graafikut välja, usuksin pigem mõistlikule tarbimisele ja prügi sorteerimisele. Siis jõuavad ka pakendid õigesse kohta ning ei kujuta looduskeskkonnale erilist reostust. Pakendid ei satu loodusesse niisama, vaid inimeste vastutustundetu ja lohaka käitumise tagajärjel.

Lisa 4. Intervjuu Soome Paulig Group strateegilise pakendiarenduse juhiga Kati Randell

The idea and need for production of bioplastics

1. How much of Paulig's and Santa Maria's product range is already using bioplastics in packaging the products?

Plastic replaced partly with bioplastic in packages of Paulig premium coffees (like City-coffees, Mundos, JM Luomu, Paulig Masterbrand).

2. What kind of different bioplastics are you using in packaging?

Sugarcane based and tall oil based. We are changing to use only tall oil based. We also take part in a research study where biobased material from cellulose is developed.

a. Why have you chosen these kinds of materials?

Sugarcane based "Green PE" by Braskem, Brazil: material was the only feasible commercial biobased PE available four years ago. The production of Braskem's plant-based packaging materials accounts for only 0.02% of the total arable land area, which means that Brazil has enough land for both food production and industrial use. However, it was clear that when the demand grows, we have to find new solutions, so called second generation biobased materials that do not use arable land. That is why we introduced tall-oil based PE at the end of last year.

Tall-oil based PE: In the packaging laminate, Paulig uses UPM BioVerno made from tall oil, a residue of pulp production.

Cellulose based packaging material (research project): The aim of the research project is to develop all of the laminate layers from cellulose, also the barrier layer. All of the above-mentioned materials have lower carbon footprint than fossil materials and all of them are suitable for recycling (cellulose based material under development must be verified).

3. How much do you know about the bioplastics and production of bioplastics?

It is very important for us to understand the raw material production and recovery options of the materials we use.

4. Why do you think it is important to replace petroleum-based plastic with bioplastic?

To reduce the carbon footprint of materials and global warming of climate.

Please read more:

<https://www.pauligggroup.com/news/paulig-tests-wood-based-raw-material-in-coffee-packaging>

<https://www.pauligggroup.com/news/paulig-takes-part-in-the-development-of-new-bio-based-packaging-material-to-replace-fossil-plastic>

5. Are Estonian and Finland’s consumers ready to replace petroleum-based plastics with bioplastic?

Yes. I avoid using term “bioplastic” since it might refer to biobased plastic or biodegradable plastic – or both. So, I prefer to use term “bio**based** plastic”.

6. What are the main considerations, behavioral attitudes, perceptions from market, from end-consumers or industry usage perspective?

I am not the best person to answer this, so I suggest you interview somebody from sales/marketing.

Process and the technology

7. What do you think are the biggest challenges in producing bioplastics and why bioplastics is not as common as petroleum-based plastics?

Technology is new and volumes are still small.

a. What are the challenges you daily face using biobased plastics?

With the chosen materials, we do not have technical or shelf-life issues. Price is higher.

8. Would producing the bioplastics from food waste be sustainable and would pay off?

Definitely in some cases (depending on the chemical structure of the food waste and the process to be used).

9. Do you think if producing bioplastics from food waste could help reduce the food waste ending up in landfill and nature?

I think it is more reasonable to try to avoid food waste as much as possible. "Food waste" is not that homogenous material so it is probably not so optimal material as e.g., tall oil.

Regulative environment

10. Would the use of bioplastics, produced from food waste, in food industry be restricted by different regulations in Estonia, Finland and Europe?

a. Could the use be limited by possible toxins in the packaging?

There is food contact legislation that ALL packages must fulfil, no matter what the raw material is.

The future outlook and next steps

11. How long do you think it would take in Estonia, Finland, Europe and over the World, to almost fully replace petroleum-based plastics with bioplastics?

Hard to predict future. If we think ALL plastic used in cars, packages, construction etc. I would say 70-100 years.

12. In the next five years, does Paulig and Santa Maria plan to replace more petroleum-based plastics with bioplastics?

Yes.

13. Are you aware of the recent trends in the production of bioplastics from agricultural or food wastes?

Yes, we follow the area closely. And I am always interested to hear if you have some news to share.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Kristel Danneberg, sünniaeg 04.05.1996,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Bioplasti tootmine toidujäätmetest ja kasutamise võimalused toiduainetetööstuses mille juhendajad on *PhD* Alice Aav, *MSc* Katrin Jõgi,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, 17.05.2021

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Alice Aav _____

(allkiri)

13.05.2021

(kuupäev)

Katrin Jõgi _____

(allkiri)

13.05.2021

(kuupäev)