



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Tartu kolledž

ÜHEKORDSETE PLASTNÕUDE ALTERNATIIVID

ALTERNATIVES TO DISPOSABLE PLASTIC TABLEWARE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Märt Reha

Üliõpilaskood: 163107NAEM

Juhendajad: Tiit Lepasaar, *MSc*
Mari Ivask, *PhD*
Valter Teppan, *MSc*

Tartu 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ TARTU KOLLEDŽ
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Märt Reha, 163107NAEM
Õppekava, peeriala: NAEM06/15 - Tööstusökoloogia
Juhendajad: lektor Tiit Lepasaar, 620 4803; emeriitprofessor Mari Ivask, 5164546
Konsultandid: Valter Teppan, ettevõtja, 5047431, walt@kodu.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ühekordsete plastnõude alternatiivid

(inglise keeles) Alternatives to disposable plastic tableware

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade erinevatest looduslikest materjalidest toodetavatest ühekordsetest nõudest ja nende valmistamise tehnikatest.
2. Leida kõikjal kasutatavate alternatiivide hulgast eesti taustsüsteemi sobituv, kohalikest looduslikest algmaterjalidest toodetav komposiitmaterjal, mida saaks kasutada ühekordsete keskkonnasõbralike nõude vormimiseks, ning proovida sellest ka nõusid valmistada.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse analüüs ning sellest ülevaate kirjutamine	01.04.19
2.	Tulemuste ja arutelu kirjutamine ning esitamine juhendajatele	23.05.19
3.	Magistritöö valmis köitmiseks ning esitamiseks	28.05.19

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "....."201....a

Üliõpilane: Märt Reha

.....

"....."201....a

Juhendaja: Tiit Lepasaar

.....

"....."201....a

Juhendaja: Mari Ivask

.....

"....."201....a

Konsultant: Valter Teppan

.....

"....."201....a

/allkiri/

SISUKORD

EESSÖNA.....	6
SISSEJUHATUS	7
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	9
1.1 Looduslikud alternatiivid.....	9
1.1.1 Pudelkõrvits.....	9
1.1.2 Kivipaber.....	10
1.1.3 Palmilehed.....	10
1.1.4 Kliid.....	11
1.1.5 Suhkruroog.....	12
1.1.6 Bioplastid.....	13
1.1.7 Jäätmekäitlus.....	15
1.2 Looduslikud materjalid	16
1.2.1 Looduslikud polümeerid.....	16
1.2.2 Tärklis.....	16
1.2.3 Pilliroog.....	18
1.2.4 Põhk.....	19
2 MATERJAL JA METOODIKA	21
2.1 Metoodika.....	21
2.2 Ettevalmistustööd.....	22
2.3 Komposiitmaterjali- ning nõude valmistamise protsess.....	22
2.3.1 Materjalide vahekorrad.....	23
2.4 Komposiitmaterjali omaduste testimine	24
3 TULEMUSED	25
3.1 Komposiitmaterjalikoogid.....	25
3.2 Kausid.....	29
4 ARUTELU.....	32
4.1 Komposiitmaterjali üldised karakteristikud.....	32
4.2 Segude- ja paksuste võrdlus	33
4.3 Veepidavus.....	33
5 JÄRELDUSED	35
5.1 Materjalid.....	35
5.2 Tehnoloogia	35

5.3 Nõud.....	36
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	38
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39
LISAD	45
Lisa 1 Alternatiivide koondtabel	46
Lisa 2 Looduslikud alternatiivid.....	47
Lisa 3 Komposiitmaterjali valmistamine	50

EESSÕNA

Antud magistritöö sai alguse tänu Valter Teppanile, kes tundis huvi ühekordsete plastnõude alternatiivide tootmise vastu ning pöördus TalTech Tartu Kolledži poole sooviga end antud teemaga rohkem kurssi viia. Läbi Tiit Lepasaare ja Mari Ivaski jõudis see info töö autorini. Töö eksperimentaalses osas presside ja muu vajamineva tehnoloogia kasutamise võimaldaski Valter Teppan.

Töö autor tänab Tiit Lepasaart, Mari Ivaskit ja Valter Teppanit teemani suunamise, meeldiva koostöö ning asjakohaste kommentaaride eest. Samuti sooviks tänada Eesti valitsust üheprotsendilise teaduse rahastamise lootuse lakkamatu ülalhoimise eest.

SISSEJUHATUS

Käesolev magistritöö käsitleb üha suurenevast plastireostusest tingitud suurenevat nõudlust ühekordseks kasutamiseks mõeldud plastnõude alternatiivide vastu. Plastikprobleem on päevakohasem kui kunagi varem ning seda kõikjal maailmas, sealhulgas ka Eestis.

Kõikidest plastesemetest, mis maailmas on kunagi toodetud (umbes 8,3 miljardit kuupmeetrit), jõuab taaskasutusse vaid üheksa protsenti [1]. Tänu aeglasele lagunemisele koguneb plast meredesse, ookeanidesse ja rannikualadesse. Euroopa Liidus on 80% - 85% merre sattunud prügist plast, millest 1/2 moodustavad ühekordseks kasutamiseks mõeldud plasttooted. [2] Plasti jääke on leitud paljudest mereliikidest (merikilpkonnad, hülged, vaalad, linnud), samuti kaladest ning koorikloomadest. Nüüdseks on teada, et mikroplast on ka sissehingatavas õhus [3], joogiveses [4] ja toidus [5]. Lisaks mereliikidele söövad plasti ka sääsed [6] ning sellisel viisil võib mikroplast kuhjuda toiduahelat pidi ka maismaalindudesse ja loomadesse ning sealt edasi inimestesse [7]. Pole veel lõpuni teada, kuidas mikroplast ise tervisele mõjuda võib, kuid murettekitav on asjaolu, et paljud keemilised saasteained (mida mikroplastid absorbeerivad) ning mikroplasti lisaained võivad loomadele ja keskkonnale kahjulikud olla [5].

Euroopa Parlamendi poolt heakskiidetud direktiivi eelnõu (5483/19) kohaselt keelustatakse Euroopas 2021. aastast mitmed ühekordseks kasutamiseks mõeldud plasttooted, sealhulgas ka näiteks ühekordsed plasttaldrikud ja -söögiriistad. Lisaks sellele töötatakse välja kava, mis aitab tulevikus paljude teiste ühekordsete plasttoodete tarbimist vähendada ning loodussõbralike alternatiivide kasutamise osakaalu suurendada. [2]

Parim lahendus oleks ühekordsete (plast)toodete kasutamise täielik lõpetamine, kuid see on väga ebatõenäoline. Sellest tulenevalt tasuski uurida, milliseid alternatiivmaterjale ja -meetodeid kasutada saaks. Isegi kui ümbertöötlemine on parem lahendus kui prügilasse ladestamine või põletamine, on tarbimise vähendamine ainuke lõpuni toimiv lahendus.

Antud töö üheks eesmärgiks oli anda ülevaade erinevatest looduslikest materjalidest toodetavatest ühekordsetest nõudest ja nende valmistamise tehnikatest.

Töö teiseks eesmärgiks oli leida kõikjal kasutatavate alternatiivide hulgast eesti taustsüsteemi sobituv, kohalikest looduslikest algmaterjalidest toodetav komposiitmaterjal, mida saaks kasutada ühekordsete keskkonnasõbralike nõude vormimiseks, ning proovida sellest ka nõusid valmistada.

Lisade peatükis on peamiselt illustreeriv materjal. Pilte on kirjanduse ülevaates esitatud erinevatest looduslikest materjalidest toodetavatest ühekordsetest nõudest ja nende valmistamise tehnikatest. Samuti on pilte ka töö teise eesmärgi eksperimentaalsest osast, komposiitmaterjali valmistamise protsessist.

Autor kasutab viitamisel APA viitamissüsteemi.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Käesolevas peatükis tutvustatakse lühidalt erinevaid looduslikke ja keskkonnasõbralikke ühekordsete plastnõude alternatiive ning nende valmistamise tehnikaid (vaata koondtabel, lisa 1). Lisaks antakse lühike ülevaade eesti kohalikest materjalidest, mida kasutatakse käesoleva uurimistöök eksperimentaalses osas algmaterjalidena ühekordsete nõude valmistamisel.

1.1 Looduslikud alternatiivid

1.1.1 Pudelkõrvits

Algselt Aafrikast pärit pudelkõrvits (ladina k. *Lagenaria siceraria*) on nüüdseks kõikjal kasvatatav kõrvitsaline. Sarnaselt teistele kõrvitsatele kasutatakse teda peamiselt toiduks. Eriliseks teeb pudelkõrvitsa asjaolu, et lõpuni valmides ning mõnda aega kuivades, muutub selle viljaliha kõvaks, tihedaks ja veekindlaks. See annab võimaluse kuivatatud kõrvitsatest näiteks veeanumaid või muusikariistu valmistada. [8]

Kuigi kõrvitsaid on erinevate anumate saamise eesmärgil juba sajandeid kasvatatud, on selle idee võtnud testimisse ka Crème Design disainistuudio. Kasvatate kõrvitsate ümber pannakse 3D-prinditud vormid, kõrvitsad kasvavad suuremaks ning võtavad näiteks joogitopsi kuju. Kui kõrvits on kuivanud, eemaldatakse selle üleliigsed osad ning vormid (joonis L2.1). [9, 10]

Tegemist on loodusliku materjaliga, mis on komposteeritav ka kodustes tingimustes. Tootmisprotsess on lihtne, vaja on vaid vorme. Kogu protsess on aga väga ajamahukas, 3-4 kuud. Samuti töömahukas, sest iga tops nõuab eraldi vormi ning selle paigaldamist kõrvitsale. [9, 10]

Kuna protsess on väga pikk ning iga kasvatatava topsi ümber tuleb vorm panna käsitsi, on ühe valmis ühiku hind väga kõrge. Tegemist on huvitava nišitootega, kuid laialdasema kasutuse leidmiseks tuleks protsessi arendada.

1.1.2 Kivipaber

Kivipaber (inglise k. *mineral paper*) on kaltsiumkarbonaadipuru sidumisel kõrgtihedusega polüetüleeni ehk HDPE'ga (vahekorras 4-1) saadud paberisarnane materjal. Kivipaberi valmistamiseks ei kasutata puitu, nagu tselluloosist toodetud paberi jaoks, tooraineks on hoopis (nt marmori) kaevandusjäätid. Tavapaberiga võrreldes hoitakse tootmisetapis kokku puitu, emissioone, vett ja energiat. Samuti kasutatakse minimaalselt happeid, valgendeid jm. Kivipaber on vastupidav, rebimis- ja veekindel ning sellest saab teha ka näiteks joogitopse (joonis L2.2). Materjal pole komposteeritav. Kuna sisaldab ka polüetüleeni, siis on nr 2 plastidega koos ümbertöödeldav [11]. Lisaks ümbertöödeldavusele on kivipaber ka fotodegradeeruv, kuid pole täpselt teada kuidas HDPE lagunemisel käitub. [12-16]

Paberit reklaamitakse kui keskkonnasõbralikku alternatiivi tavapaberile, kuid fakt, et üks viiendik sellest on HDPE annab tegevusele rohepesu varjundi juurde.

1.1.3 Palmilehed

Beetlipalm ehk Beetli-areekapalm (ladina k. *Areca catechus*) on pigem tuntud oma kergelt narkootiliste viljade, areekapähklite poolest. Arvestuslikult üle 600 miljoni inimese tarbib pähklitest saadavat psühhoaktiivset ainet, mis on maailmas kohvi, alkoholi ja nikotiini järel populaarsuselt neljandal kohal. Tänu sellele on ka palmide istutamine kasvavas trendis. [17]

Palmipuu lehed sobivad väga hästi näiteks ühekordsete taldrikute ja kausside tegemiseks. Palm langetab oma lehti pidevalt, 4-7 korda aastas. Kõigepealt lastakse lehtedel täielikult kuivada (kuni 6 kuud), seejärel nad leotatakse ning eemaldatakse mustus, kuivatatakse ning pressitakse vastava temperatuuri juures hüdraulilise pressiga soovitud suurusega ja kujuga vormidesse (joonis L2.3). Saadud nõu on suurepärase kandevõimega, kerge, kuuma- külma- ning vedelikukindel. Pärast tootmist püsivad antud omadused korrektsel pakendamisel (kuivas, puhtas keskkonnas) 1-2 aastat, pärast seda nõude omadused halvenevad. Pärast kasutamist on komposteeritav, ka kodustes tingimustes. Tootmise miinusteks on lehtede käsitsi korjamise vajadus, ka teised tootmisetapid pole automatiseeritud. [18, 19]

Analoogsete meetoditega saab toota nõusid ka näiteks *Shorea robusta* ja *Bauhinia vahlii* lehtedest ning Kanepbanaani (ladina k. *Musa textilis*) ja Kookospalmi (ladina k. *Cocos nucifera*) vilja kiududest [18].

1.1.4 Kliid

Teraviljakliid on jahvatamisel eraldatud seemnekestad koos nende külge jääva taimekoe- ja iduosadega [20]. Kliides on rohkesti kiudaineid ja rasvhappeid, samuti sisaldavad nad märkmisväärses koguses tärklisi, valke, vitamiine ning mineraale. Võib öelda, et kliid on kõige kasulikum osa teraviljast. Jahu jahvatamisel eraldatakse enamik kliidest. Vaatamata headele toitumisalastele omadustele kasutatakse kliisid inimtoiduks vähe. Nad leiavad kasutust loomasöödana, biokütuste- või õlle tootmises. [21]

Samuti on nisukliid näiteks väga heaks lähtematerjaliks keskkonnasõbralike nugade-kahvlite ning taldrikute tootmisel (joonis L2.4). Tootmisprotsess ei nõua suuri koguseid vett, mineraalressursi, ega keemilisi lisandeid. Ühest tonnist nisukliidest saab toota kuni 10000 ühikut taldrikuid või kausse. Tootmisprotsess on lihtne, kliid pressitakse väikese koguse veega kõrge temperatuuri juures soovitud vormidesse. Saadud nõud on sobivad nii külma kui kuuma toidu jaoks, kannatavad ka ahjus küpsetamist. Nad sisaldavad gluteeni ning on pärast kasutamist täielikult komposteeritavad. [22]

Kliid on jahutootmise kõrvalprodukt, tänu sellele ei vajaks nad eraldi tootmist. Kuid laialdasem kasutuselevõtt ühekordsete nõude tootmiseks võib tekitada toormaterjali puudujääki. Antud teema vajaks edasisi uuringuid.

Sarnase tehnoloogiaga on võimalik toota nõusid ka kasutatud kohvijahust. Kuid lisaks algmaterjalile ning veele lisatakse lõpp-produkti tugevdamiseks ka biopolümeere, tärklisi ja teisi looduslikke abiaineid. Selle tulemusel on ka nõud vastupidavamad ning mitmekordselt kasutatavad. [23]

1.1.5 Suhkruroog

Suhkruroog (ladina k. *Saccharum officinarum*) on üheaastane risoomne rohttaim, mida kasvatatakse peamiselt suhkru tootmiseks. Pärast suhkruroo purustamist ning mahlade ekstraheerimist jääb järele suur hulk kiulist taimemassi, mida nimetatakse ka suhkruroo rabaks (inglise k. *sugarcane bagasse*). See on üks suurim põllumajandusjääk maailmas. Tegemist on mitmekülgse materjaliga, mida saab muuhulgas kasutada ka näiteks loomasöödaks ning paberi- või biokütuse valmistamiseks. Tänu suhkruroo kasvutingimuste iseärasustele jäävad suhkrurooraba tootvad riigid peamiselt troopilisse ja lähistroopilisse vööndisse. [24, 25] Suhkruroorabast toodetakse ka taldrikuid, kausse, karpe, topse ja nuge-kahvleid. Et suhkruroomassist saaks soovitud toodet pressima hakata, peab see kõigepealt läbima sarnased etapid paberimassi valmistamisega. Etappideks on materjalide ettevalmistus, paberimassi keetmine, pesemine, sõelumine ning pleegitamine. Viimase neist võib nõude tootmisel ka vahele jätta, kuna pleegitamine on eelkõige vajalik paberile valge värvi andmiseks, kuid nõude puhul pole valge värvus esmatähtis. Samuti on see etapp kasulikum vahele jätta ka keskkonnanahoiu aspektist, kuna pleegitamisel kasutatakse enamjaolt kloori ja klooriühendeid, mis paiskavad keskkonda dioksiine. [25-27]

Suhkruroomassist pressitakse soovitud kuju ja suurusega nõud (joonis L2.5). Materjal välimuselt veidi paberi moodi, kuid omadustelt tugevam ning paremini vormi hoidev. Sellel on hea tõmbe- ja paindetugevus ning kõvadus. [28] Nõud sobivad kasutamiseks nii külmade kui kuumade toitudega (kuni 100°C), kuid kõrgematel temperatuuridel ahju panekuks ei sobi. [29, 30]

Nõud on pärast kasutamist täielikult bioloagunevad ning komposteeritavad koos teiste biojätmetega. Tööstuslikult komposteerides lagunevad kuni 12 nädalaga [31, 32]. Suhkrurooraba sobib väga hästi algmaterjaliks, millele lisades näiteks tärklisi ja glütserooli saab valmistada keerukamat ning mõnevõrra teiste omadustega komposiitmaterjali. Samuti on see hea algmaterjal bioplasti tootmiseks. [24]

Kuna suhkrurooraba toodetakse enamasti troopilises- ja lähistroopilise kliimas, siis on ka sellest nõude tootmine kõige mõistlikum seal. Eestis suhkruroog ei kasva ning sellest tulenevalt ei tundu siin tootmine kasulik. Detailsema info saamiseks tuleks läbi viia sellekohaseid uurimusi.

Sarnaselt suhkruroo kiududele saab veel ka näiteks riisi-, kanepi-, lina- või nisupõhust toota paberimassi, mida omakorda taaskord nõude valmistamiseks kasutada [33]

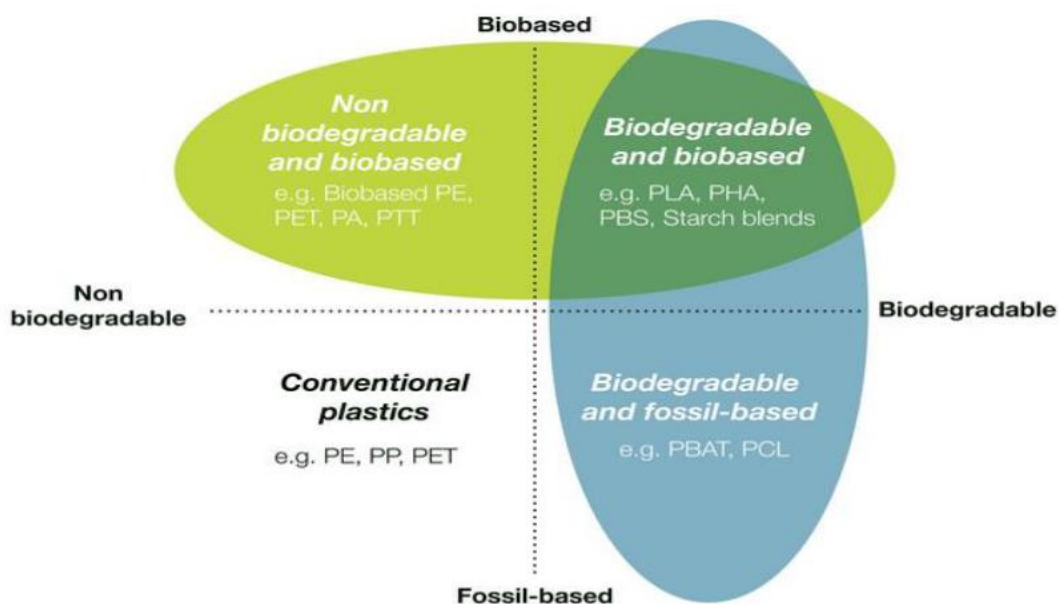
1.1.6 Bioplastid

Bioplastide perekonda kuuluvad materjalid, mis on kas bioloogilist päritolu, biolagunevad või mõlemad korraga [34]. Mõiste „bioplast“ on üpriski laialivalgus ja segadust tekitav ning seda kasutatakse tihti valesti. Järgnevalt (joonis 1.1) on toodud kõige enam kasutatud polümeerid, mida tihti mõiste all „bioplast“ silmas peetakse: [35]

1. Biopõhised/taastuvad mitte-biolagunevad plastid

2. Biopõhised/taastuvad biolagunevad plastid

3. Fossiilsed biolagunevad plastid



Joonis 1.1 Plastide liigitus päritolu ja biolagunevuse järgi [35]

1. Biopõhised/taastuvad mitte-biolagunevad plastid

Siiä alla kuuluvad polümeerid, mis on kas üleni või osaliselt tehtud looduslikest ja taastuvatest ressurssidest – biomassist. Neid mitte-biolagunevaid biopõhiseid plaste toodetakse üldiselt samamoodi nagu tavalisi fossiilsetest algmaterjalidest plaste, kasutades koostisosadena fossiilsete kütuste asemel biomassi. Näiteks teatud tüüpi nailoni tootmiseks kasutatakse täielikult kastroõlist (riitsinusõlist) saadud koostisosi ning näiteks Coca Cola *Plant Bottle* on valmistatud polüetüleentereftalaadist (PET), mis on tehtud 30% ulatuses biomassist.

Need plastid ei ole biolagunevad. Nad on disainitud olema identsed tavapäraste plastidega. Neid saab täielikult ümber töödelda koos tavapäraste plastidega. [35]

2. Biopõhised/taastuvad biolagunevad plastid

Siia alla kuuluvad plastid, mis on tehtud täielikult (või osaliselt) biomassist. Enamik neist on disainitud tööstuslikes tingimustes komposteeruma. Mõned neist on võimelised ka kodustes kompostrites lagunema.

Kuigi need polümeerid (PLA, PBS, PHA) kuuluvad polüestrite perekonda ning on ümbertöödeldavad, ei saa neid ümber töödelda tavapäraste polüestritega (nt. PET) koos. Teatud juhtudel võib see olemasolevale ümbertöötlusprotsessile negatiivselt mõjuda. Need plastid põhinevad ehitusmaterjalidel mis on hüdroolüüsile vastuvõtlikud. [35]

3. Fossiilsed biolagunevad plastid

On olemas ka plastid, mis on toodetud fossiilsete algallikate baasil ning mis on biolagunevad ja komposteeruvad. Sellised plastid pole kuigi levinud. Üldlevinumateks võib pidada polübutüleenadipaat-tereftalaati (PBAT) ja polükaprolaktooni (PCL). [35]

Oxo-lagunevad plastid

Lisaks eelpool nimetatud liikidele ja tavapärastele plastidele (PET, PE, PP jt) tuleks välja tuua ka oxo-lagunevad plastid. Nad pole biopõhised ega ka biolagunevad, kuid tihti kutsutakse neid ekslikult oxo-biolagunevateks plastideks. Tegelikult on tegemist tavapäraste plastidega, millele on lisatud spetsiaalseid lisaaineid (metallsoolasid), mis aitavad biolagunemist soodustada. [36] Olles päikesevalguse ja õhu käes, lagunevad nad aeglaselt (2-5 aastaga) väikesteks (silmale nähtamatuteks) osakesteks. Nad ei sobi komposteerimiseks (kuna nad pole biolagunevad) ega ümbertöötlemiseks (kuna nende lagunemine vähendab ümbertöödeldud plasti mehhaanilisi omadusi). Samuti kujutavad nad ohtu keskkonnale ja toiduahelale, kuna lagunevad väikesteks mikroplastideks.

Riikidele, millel puudub toimiv jäätmekäitlus, võib esmapilgul selliste „kiirete lahendustega“ materjalide kasutamine tunduda ahvatlev. Tegelikult aga võib nende hooletu käitlemine (või käitlemata jätmine) tähendada palju suuremat reostust, kui mikroplastiks lagunenu osakesi enam loodusest kätte ei saa. [34, 35, 36]

1.1.7 Jäätmekäitlus

Bioplastide puhul kasutatakse tihti läbisegi mõisteid biolagunev ja komposteeruv. Komposteerimine ehk kompostimine on orgaanilise aine kontrollitud aeroobne lagunemine mikroorganismide abil tingimustes, kus on tagatud sobiv niiskus ning hapnikusisaldus. Selle käigus tekkinud materjal parandab mullale lisades selle keemilisi, füüsikalisi ja bioloogilisi omadusi. [34, 36, 37]

Kõik mis on komposteeruv on biolagunev, kuid mitte kõik biolagunev pole komposteeruv. Tehniliselt on paljud materjalid võimelised biolagunema. Kuid selle mõiste puhul ei arvestata sinna juurde ajamääratlust. Seega võib biolagunevaks nimetada kõiki materjali, mis teoreetiliselt peaks lõpuks ära lagunema. Komposteerumise puhul on olemas aga ajavahemik, mille käigus materjal ettenähtud tööstuslikus kompostis peab lagunema, üldiselt peetakse selleks vahemikuks 80 päeva. [34, 36, 37]

Kuid Euroopa Liidu standardid EN 13432 ja EN 14995 näevad ette, et 6 kuuga peab olema vähemalt 90% orgaanilisest materjalidest kontrollitud komposteerimistingimustes CO₂-ks muudetud [38].

Enamik fossiilsete algmaterjalide baasil toodetud plastidest on ümbertöödeldavad ning seda tuleks ka nendega teha. [35] Samamoodi tuleks komposteeritavaid materjale vastavalt käidelda, sest prügilasse sattudes nad ei komposteeru, vaid hakkavad anaeroobsetes tingimustes lagunema ja seeläbi metaani tootma. Metaan on aga kordades ohtlikum kasvuhooonegaas kui CO₂. Samuti ei tohiks komposteeritavaid plaste koos tavaplastiga (PET, HDPE) ümber töödelda, sest nende keemilised koostised on väga erinevad ning ühise ümbertöötlemise korral saadud plasti mehhaanilised omadused kannatavad. [36]

1.2 Looduslikud materjalid

1.2.1 Looduslikud polümeerid

Looduslikud polümeerid ehk biopolümeerid on elusorganismide poolt toodetavad polümeerid, suurem osa neist pärineb põllumajanduslikest toorainetest. Polüsahhariidid on kõige laialdasemalt levinud looduslikud polümeerid, näiteks tselluloos, tärklis ja kitiin. [31] Käesolev töö keskendub lähemalt tselluloosi ja tärklis sisaldavatele materjalidele.

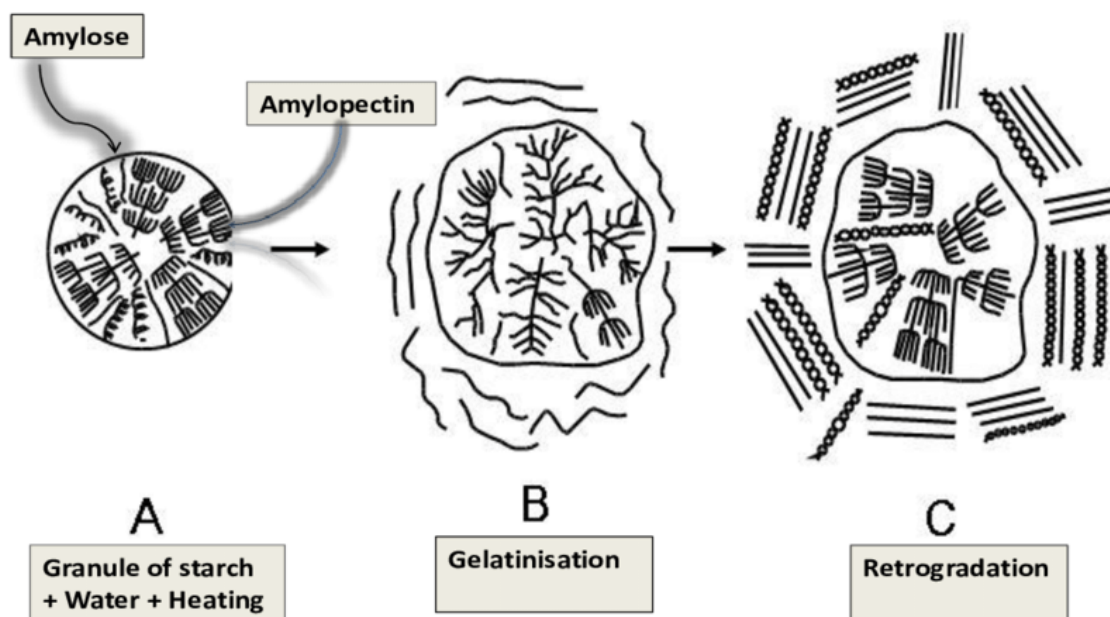
1.2.2 Tärklis

Tärklis on naturaalne polüsahhariid, mis toimib energia salvestajana ning asub varuainena paljudes taimedes, teiste hulgas näiteks nisus, kartulis, maisis, maniokis, riisis, hernes jt. Tärklis asub juurtes, seemnetes, varres ning lehtedes (nt. tubakas) graanulite kujul. Graanulite suurus sõltub tärklise päritolust, kuid jääb vahemikku 0,5 kuni 175 mikronit. [39]

Töötlemata tärklis on pulber, mis ei lahustu külmas vees ega orgaanilises lahustis. Puhta kuiva tärklise kuumutamisel üle 250°C see laguneb ning kaotab oma omadused. Sulamistemperatuur jääb vahemikku 220°C kuni 240°C, mis kattub tärklise lagunemise temperatuuriga [40]. See on ka põhjuseks, miks töötlemata tärklisel puudub termoplastiline iseloom. Kuid kui tärklis füüsiliselt või keemiliselt modifitseerida, saab seda siiski termoplastile vastavalt töödelda (survevalu, ekstrusioon, termovormimine). [41]

Tärklise modifitseerimiseks sobib näiteks vesi, kuna see on suurepärane plastifikaator, sest reageerib hõlpsalt tärklise hüdroksüülrühmadega. Tärklise ja vee segu kuumutades laguneb tärklise korrapärane struktuur [42]. Seda endotermilist protsessi on kutsutud ka kui korra seisundi muutumist korrapäratuks (inglise k. *order-disorder transition*) ning see sõltub väga palju veesisaldusest. [43, 44] Segades tärklis veega ning neid umbes 80°C-95°C kuumutades, hakkavad tärklise graanulid endasse vett imama. Süsiniku ühendused tärklise molekulide vahel muutuvad häirituks ning uued vee molekulid kinnituvad tärklise hüdroksüülrühmadele, mis viib tärklise osakeste vahede suurenemiseni ning graanulite paisumiseni [45]. Eelnevat protsessi kutsutakse tärklise želatiniseerumiseks (inglise k. *gelatinisation*) (joonis 1.2). [43] Saadud massi jahtumisel

tugevnevad taas tärklise molekulide vahelised sidemed ning toimub protsess, mida nimetatakse tärklise retrogradatsiooniks (joonis 1.2). Sõltuvalt sellest, kui suure veesisaldusega tehti algne segu, on tulemuseks kas tihenendud geelisarnane mass (vee osakaal suurem) või kõvem ja rabedam plastisarnane materjal (vee osakaal väiksem). Protsessi intensiivsus sõltub ka tärklise amüloosisisaldusest. Kõrgema amüloosisisaldusega tärklised retrogradeeruvad rohkem, kui madalama amüloosisisaldusega tärklised. Kartulitärklist peetakse pigem madalama amüloosisisaldusega tärkliseks (20% amüloosi), vastav näitaja aga maisitärklises on 28%. [46-49]



Joonis 1.2 Tärklise osakestevahelised sidemed(A) ja nende muutumine želatiniseerumise-(B) ja retrogradatsioon(C) protsessides [50]

Tärklise struktuuri lõhkumine õige koguse plastikaatori abil, mis on kombineeritud nõuetekohaselt soojuste ning nihkepingega, on tuntud kui tärklise destruktureerimine ning saadud produkt on termoplastne tärklis. Rakendades nihkepinget, võib želatiniseerimise saavutada ka madala niiskusesisalduse juures, kuna vesi liigub kiiremini tärklise molekulidesse, samal ajal lõhuvad nihkejõud molekulaarseid sidemeid. [51] Protsess, kus kasutatakse kombinatsiooni termilistest ja mehaanilistest sisenditest, on näiteks ekstrusioon ehk pressimine. Energiat, mis kulub tärklise ekstrudeerimisprotsessile, nimetatakse spetsiifiliseks mehaaniliseks energiaks (inglise k. *specific mechanical energy* - SME), ning ta vastutab tärklise molekulide killustumise ja želatiniseerumise eest. Mida kõrgem on SME, seda suurem on želatiniseerumise tase, ning mida kõrgem amüloosi sisaldus tärklises, seda vähem SME on vaja. [52]

Saadud plastifitseeritud tärklise rabedust mõjutab tugevalt niiskuse tase. Ekstrudeeritud tärklisetooted, milles kasutatakse ainsa plastikaatorina vett, muutuvad aja jooksul toatemperatuuril rabedateks. [53] Tärklisest toodetud materjalidele paindlikkuse tagamiseks kasutatakse ka teisi plastikaatoreid, levinumad on polüoolid, eriti glütserool ja sorbitool. On leitud, et ka muud tüüpi plastifikaatorid võivad olla efektiivsed, näiteks etüleenglükool, dietüleenglükool või polüetüleenglükool, mis kõik mõjutavad tärklisematerjali niiskusetundlikkust. [54] Želatiiniseerimist soodustavate lisaainetena kasutatakse koos peamise plastifikaatoriga näiteks ureat, glütseroolmonostearaati või soja letsitiini. Need lisandid mõjutavad oluliselt plastifitseeritud tärklise reoloogilisi omadusi, kuna need modifitseerivad tärklise viskoossust. [41] Lühidalt öeldes, nad muudavad saadud bioplasti elastsemaks.

Käesoleva töö eksperimentaalses osas kasutati tärklise plastikaatorina lisaks veele ka glütseriini, kuna puhast glütserooli polnud saadaval. Aga kuna glütserool on põhiline komponent glütseriinis, siis antud töö seisukohalt nii sobis [55].

1.2.3 Pilliroog

Harilik pilliroog *Phragmites australis* kasvab kogu maailmas paljude mererannikute ja siseveekogude ääres, kaasa arvatud Eestis, vee- ja maismaa piiril, kus kasvutingimused on nende taimede jaoks eriti sobivad [56]. Tegemist on mitmeaastase rohttaimega, mis võib kasvada kuni nelja meetri (soodsates tingimustes isegi kuni seitsme meetri) kõrguseks, seega on ta Eesti pikim kõrreline. [57] Eesti roostike kogupindala jääb erinevatele andmetele ja mõõtmismetoodikatele põhinedes umbes 8000 kuni 28 000 hektari vahele, aastane juurdekasv on keskmiselt 100 hektarit. [56, 58]

Pilliroogu on kasutatud läbi aegade väga mitmesugustel otstarvetel: ehitusmaterjalina (nt katusekatteks, soojustuseks, tuuletõkkeks, täiteainena savitellistes), loomasöödaks ja allapanuks, biogaasi tootmiseks, iluasjade ja kirjutussulgede valmistamiseks ning paljuks muuks. [56]

Pilliroogu saab kasutada ka paberimassi ja ühekordsete nõude valmistamiseks. Pilliroost paberimassi tegemine kätkeb endas sarnaseid protsesse kui selle valmistamine näiteks bambusest, suhkruroost või põhust. Bambuskiududest ja maniokitärklisest valmistatud segust vormitakse ka ühekordseid nõusid. [59] Üldiselt on pilliroos kiudusid rohkem kui okaspuidul, vähem kui

põhumassil ning umbes sama palju kui paplipuidul ja suhkruroomassil. [60] Kuna pilliroog, bambus kui ka suhkruroog kuuluvad kõrreliste sugukonda, võib neid käesoleva uurimuse raames üldjoontes sarnaste omadustega algmaterjalideks pidada.

1.2.4 Põhk

Põhk on teraviljavarte sasi, millest terad on viljapeksul eraldatud [61]. Tegemist on põllumajandusliku kõrvalsaadusega. Sõltuvalt vajadusest, asukohast ning nõudlusest kasutatakse seda kas loomasöödaks, loomadele allapanuks, biokütuseks või küntakse maa sisse. Varasemalt on seda ka koristuskohas põletatud, tänapäeval aga tehakse seda üha vähem. Põhku on kasutatud ka paberi valmistamiseks. [62]

Olgugi, et nisu- ja odrapõhk on mehaaniliste näitajate poolest omavahelises võrdluses üpriski erinevad [63], on nende keemiline koostis käesoleva töö kontekstis väga sarnane [64]. Edaspidi kasutatakse erinevatest allikatest pärit informatsioonile viidates üldterminina mõistet põhk, olenemata sellest kas algallikas on keskendunud nisu- või odrapõhule. Käesoleva töö eksperimentaalses osas kasutati odrapõhku.

Kõrreliste põhk on heaks näiteks biomassist, milles on suur kogus tselluloosi, hemitselluloosi ja ligniini. Põhu tselluloosisisaldus on sarnane enamiku puiduliikide omaga, ligniinisaldus on aga veidi madalam, tuha- ja lahustunud ekstraktiivainete sisaldus suurem [62, 64, 65]. Tselluloosi ja ligniini piisavalt kõrge kogus ja kontsentratsioonide omavaheline suhe on vajalik komposiitmaterjalidele vajamineva jäikuse ja tugevuse saavutamiseks. [65]

Põhku saab komposiitmaterjalide valmistamiseks kasutada mitmel erineval meetodil. Peamine meetod on põhust nõ. paberimassi valmistamine, millest saab hüdraulilise pressi abil nõusid vormida. Paberimassi võib ka omakorda segada teiste (komposiit)materjalidega. Näiteks põhu-põhiseid termoplaste valmistatakse üldiselt sulatamise teel (inglise k. melt-blending), millele järgneb survevalu vormimine [65, 66].

Lisaks saab põhku kasutada ka tselluloositööstuse algmaterjalina. Meetodid on sarnased nii põhu, suhkruroo, pilliroo, bambuse jt sarnaste algmaterjalide kasutamise puhul. Käesolevas töös antud meetodeid ei kasutatud, kuna tegemist on töömahukamate protsessidega ning puudus ka tehniline võimatus.

Lisaks eeltoodule on võimalik põhku kasutada ka töötlemata (või minimaalselt töödeldud) kujul. Siis jäävad kõrred kas täiesti terveks või läbivad mehaanilise purusti. Saadud jahu segatakse soovitud vahekorras teiste komponentidega vajaliku konsistentsi ja tugevuse saavutamiseks. [62]

Põhuvarud

Teravilja põhusaak sõltub eelkõige teravilja liigist ja sordist, kui ka ilmastikuoludest. Taliteraviljade saak on reeglina suurem kui suviviljadel, sest see on suvistest põudadest veidi vähem mõjutatud. Kevadised ja suvised põuad avaldavad aga suviviljadele suurt mõju, vähendades ka kõrrekasvu ja mõjutades biomassi jaotumist terade ja põhu vahel. Sõltuvalt teravilja liigist, sordist, ilmastikust ja muudest muutujatest võib põhu kaal moodustada kuni 90% teraviljasaagi kogukaalust. Tabelis 1.1 on toodud põhusaak Eestis aastatel 2007-2011. [61] Hilisemaid andmeid pole kahjuks avaldatud.

Tabel 1.1 Põhusaak Eestis 2007.-2011. a (tuhat tonni)

	2007	2008	2009	2010	2011
KOKKU PÕHUSAAC	687	651	671	532	592
sh teravilja põhk	614	591	596	460	518
odra põhk	285	202	219	200	197
suvinisu põhk	103	158	175	95	148
talinisu põhk	93	103	90	91	89
rukki põhk	47	57	34	20	24
kaera põhk	72	54	60	46	49
tritiku põhk	14	17	18	8	11
rapsi põhk	73	61	75	72	74

2 MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Metoodika

Püstitatud eesmärgi saavutamiseks kasutati metoodikat, mis on kombineeritud erinevatest tehnikatest, mida kasutatakse sarnastest algmaterjalidest toodetavate komposiitmaterjalide valmistamiseks. Kasutati nii visuaalset hindamist (värvus, õhuaugud), paindumistest, löikumist kui ka veepidavuse testi. Kuna siinsete algmaterjalide (kartulitärklis, pilliroog, põhk) kasutamine pole laialdaselt levinud, siis konkreetselt nendega antud katseid pole töö autorile teadaolevalt tehtud. Turul on aga müügil nõusid, mille valmistamiseks on kasutatud näiteks bambusekiududest ja maniokitärklisest moodustatud segu [67]. Samuti tehakse suhkruruumassist ning nisupõhust toodetud nõusid [29, 30].

Üldiselt kasutatakse sarnastest materjalidest nõude valmistamisel survevalu ehk injektioonvormimist, ekstrusioonvormimist või termovormimist [65, 66]. Antud magistritöö raames tehtavate katsete läbiviimiseks oli töö autoril kasutada pliit/ahi (mida sai kuumutada kuni 250°C), käsipress ning 40-tonnine hüdrauliline press (joonis L3.3). Eelmainitud võimaluste piires prooviti leida parim viis materjaliproovide saamiseks.

Töö eesmärk oli kasutada eesti kliima mõistes kohalikke algmaterjale, sellest tulenevalt osutusid valituks kartulitärklis (kui manioki- ja maisitärklise alternatiiv), pillirookiud (kui bambuse- ja suhkruruumassikiudude alternatiiv) ning odrapõhk. Tärglise plastikaatorina kasutati lisaks veele ka glütseriini.

2.2 Ettevalmistustööd

Nõude valmistamise protsessile eelnesid ettevalmistustööd. 2019. aasta jaanuaris korjati katseks vajaminev pilliroog. Võttes aluseks pilliroost paberimassi valmistamise analoogia, on just talv parim aeg pillirookorjeks, kuna siis on vars juba kuivanud ning ei vaja enam pikemat kuivatusprotsessi [68].

Odrapõhk pärineb AS Väätsa Agro maadelt, koristusajaks on 2018 aasta august. Säilitatud kuivades tingimustes.

Kartulitärklis on kättesaadav pea kõigis toidupoodides, selle kilogrammi hind jääb 1,5 ja 3 euro vahemikku [69].

Glütseriin on samuti internetipoodidest leitav, hinnad varieeruvad palju. Käesolevas töös kasutati maksis 7,8 eurot liiter. [70]

2.3 Komposiitmaterjali- ning nõude valmistamise protsess

Kuivad pillirookõrred ja põhk jahvatati purusti *MF 10 basic* (joonis L3.1) abil 4mm suurusteks osakesteks. Vesi aeti koos glütseriiniga keema, seejärel lisati neile tärklis ning vastavalt kas põhk, pilliroog või mõlema eelneva segu. Kõik komponendid segati hoolikalt omavahel läbi, samal ajal kergelt kuumutades.

Kui segu oli piisavalt ühtsustunud ning veidi jahtunud, võeti sellest viie grammi suurused kogused ning pressiti kolme erineva paksusega „koogid“ (joonis L3.4). Materjalide paksusteks olid <1mm, 1-2mm ja 3-5mm. Kuna tegemist on käsipressiga ning pressimise juures on palju muutujaid, mida ei saa iga pressimise puhul täpselt fikseerida, on „kookide“ paksusteks vahemikud. Vältimaks komposiitmaterjali kleepumist pressile tuli katta toidukilega pressi osad, mis vahetult sellega kokku puutusid. Katsetati ka materjali pressimist 40-tonnise hüdraulilise pressiga, kuid antud juhul puudus selliseks võimsuseks vajadus ning materjal „vajus laiali“ ja ei moodustunud ühtset sidusat pinda (joonis L3.5).

Erinevate segude ja erinevate paksusega materjalinäidiseid hinnati visuaalselt, nende värvi kui ka üldist välimust. Saamaks teada, milline on „kookide“ rabadus, tehti nendega painutamistest. Selleks painutati edasi-tagasi kõikidest materjalisegudest ning kõikide paksustega komposiitmaterjalikooke viis korda ning hinnati nende elastsust ja kirjeldati nende rabadust.

Imiteerimaks noa ja kahvliga ühekordse taldriku peal söömist, lõigati iga „kooki“ noaga 10 korda. Antud katset tehti kõikidest segudest valmistatud kuivadel kui ka niisketel komposiitmaterjalinäidistel.

Lisaks „kookidele“ pressiti igast materjalisegust ca. 12 sentimeetrise läbimõõduga 3-5cm kõrgune kauss. Kausside pressimiseks moodustati segud vastavalt ettenähtud vahekordadele. Erinevate segude kogumass oli alati algselt sama, 130g. Näiteks esimese segu puhul olid kogused järgmised: 40g tärklis, 10g põhku, 15g glütseriini, 65g vett. Komposiitmaterjali valmistamise käigus ning hiljem kuivamisel võisid kaussid kaotada kuni 40g kogumassist. Kausside pressimise tehnika oli analoogne eelnevalt pressitud „kookide“ pressimise tehnikale. Vormidena kasutati kahte identset roostevabast terasest kaussi. Kausside küljed, mis teineteisega kokku puutusid, kaeti toidukilega. Alumisse kaussi asetati komposiitmaterjalisegu (joonis L3.6), mida sooviti vormida, ning ülemist kaussi suruti käsipressi abiga alumisse, kuni ettenähtud piirini. Metallkaussid ja toidukiled eemaldati ettevaatlikult ning saadud nõu asetati kuivama ja tahkuma.

2.3.1 Materjalide vahekorrad

Tärglisest bioplasti valmistamiseks on parim vee ja tärklise vahekord umbes 50% - 50% kogu massist. Glütseriini kogus kogu massist jääb vahemikku 10%-15%, sõltuvalt sellest, kui elastset/rabadat materjali soovitakse. [71] Glütseriini lisatakse segusse vee arvelt (sest mõlemad käituvad kui tärklise plastikaatorid), st kui vee-tärklise vahekord 50%-50%, siis koos 10% glütseriiniga oleks vee-glütseriini-tärklise vahekord 10%-40%-50%.

Esimese segu puhul kasutati komposiitmaterjali valmistamisel järgmist vahekorda: 40 wt% tärklis, 10 wt% põhku, 35 wt% vett ja 15 wt% glütseriini (tabel 2.1). Vahekorra väljatöötamisel kasutati analoogiat suhkruruumassist ja tärklisest tehtava komposiitmaterjali tehnoloogiast [24]. Kahe järgneva segu puhul muutusid vaid põhu ja pilliroo sisaldused, teiste komponentide sisaldused jäid samaks.

Tabel 2.1 Kolmes segus kasutatud algmaterjalide suhe

Segu nr	Tärklis %	Vesi %	Glütseriin %	Põhk %	Pilliroog %
1	40	35	15	10	0
2	40	35	15	0	10
3	40	35	15	5	5

Esimest segu valmistades ilmnes, et planeeritud vahekorrad antud katsetingimustel ei toimi. Kuna vett imendub lisaks tärklisele ka kuivatatud põhku ja pilliroogu, siis selliste vahekordade juures jäi sellest lihtsat väheks, et kogu segu ühtlaseks massiks siduda. Vee osakaalu otsustati tõsta 35-lt protsendilt 50%-le. Teiste komponentide omavaheline vahekord jäi enamvähem paika. Samuti lisati neljas segu, milles suurendati tärklise osakaalu kogu massist põhu/pilliroo arvelt 4% võrra. Tabelis 2.2 on toodud segude lõplikud komponentide vahekorrad.

Tabel 2.2 Neljas segus kasutatud algmaterjalide korrigeeritud suhe

Segu nr	Tärklis %	Vesi %	Glütseriin %	Põhk %	Pilliroog %
1	30	50	12	8	0
2	30	50	12	0	8
3	30	50	12	4	4
4	34	50	12	0	4

2.4 Komposiitmaterjali omaduste testimine

Kuna antud komposiitmaterjali näol on tegemist potentsiaalse ühekordsete toidunõude algmaterjaliga, siis on oluline testida ka selle materjali reageerimist (vastupidavust) veele. Selleks täideti katsealused kausid võrdse koguse veega (10 grammi) ning jälgiti neid kindlate ajavahemike tagant. Märkiti üles kaua kulus aega enne kui kausside põhjast hakkas vett lekkima. Lisaks vaadeldi reageerimist kuuma (kuni 100°C) veega.

Lisaks eeltoodule viidi läbi rida väikseid katseid ning teste, mille käigus testmaterjali hindamiseks seda painutati, murti käte vahel ja asetati sellest tehtud kaussidele raskusi; imiteeriti noa ja kahvliga söömist; nuusutati ning maitsti; ning viidi läbi visuaalne analüüs, mille käigus muuhulgas võrreldi ka materjali visuaalseid tunnuseid vahetult pärast pressimist ja pärast kuivamist.

3 TULEMUSED

3.1 Komposiitmaterjalikoogid

Katsete tulemusena valmis 12 (4x3) 5-7 sentimeetrise läbimõõduga erineva paksusega komposiitmaterjali „kooki“. Joonisel 3.1 on esitatud segust nr. 1 pressitud kolme erineva paksusega materjalikoogid. Vasakult paremale lugedes on „kookide“ paksused vastavalt <1mm, 1-2mm ja 3-5mm. Segu nr. 1 koostises oli 40g tärklist, 65g vett, 15g glütseriini, 10g põhku ja 0g pilliroogu, protsentuaalselt siis 30% tärklist, 50% vett, 12% glütseriini, 8% põhku ning 0% pilliroogu. „Kookide“ värvus oli kollakas-hallikas. Õhemad segu nr 1 komposiitmaterjalikoogid talusid mõningast painutamist, kuid üle kolme millimeetri paksused olid rabadad ja ei paindunud, vaid murdusid lõpuks. Noa ja kahvliga lõikumisel 10 korda, ei ilmnenud kuival komposiitmaterjalil materjali õhenemist, aga niisutatud komposiitmaterjalil ilmnemiseid noajäljed.



Joonis 3.1 Segu nr. 1 tulemused. Materjali paksused alates vasakult: <1mm, 1-2mm ja 3-5mm

Alljärgneval joonisel 3.2 on esitatud segust nr. 2 pressitud kolme erineva paksusega materjalikoogid. Vasakult paremale lugedes on materjalitestide paksused vastavalt <1mm, 1-2mm ja 3-5mm. Segu nr. 2 koostises oli 40g tärklist, 65g vett, 15g glütseriini, 0g põhku ja 10g pilliroogu, protsentuaalselt siis 30% tärklist, 50% vett, 12% glütseriini, 0% põhku ning 8% pilliroogu. Kookide värvus oli tuhmi kollase ja hallika segu. Segu nr 2 õhemad komposiitmaterjalikoogid talusid

mõningast painutamist, kuid üle kolme millimeetri paksused olid rabedad ja ei paindunud, vaid murdusid lõpuks. Nagu ka segu nr 1 puhul, noa ja kahvliga lõikumisel 10 korda, ei ilmnenud kuival komposiitmaterjalil materjali õhenemist, aga niisutatud komposiitmaterjalil ilmnemiseid noajäljed.



Joonis 3.2 Segu nr. 2 tulemused. Materjali paksused alates vasakult: <1mm, 1-2mm ja 3-5mm

Joonisel 3.3 on esitatud segust nr. 3 pressitud kolme erineva paksusega „kookid“. Vasakult paremale lugedes on „kookide“ paksused vastavalt <1mm, 1-2mm ja 3-5mm. Segu nr. 3 koostises oli 40g tärklis, 65g vett, 15g glütseriini, 5g põhku ja 5g pilliroogu, protsentuaalselt siis 30% tärklis, 50% vett, 12% glütseriini, 4% põhku ning 4% pilliroogu. „Kookide“ värvus on hele, kollaka alatooniga. Segu nr 3 „kookide“ painutamisel ilmnemise tendents nagu eelnevate segude puhul, et õhemad komposiitmaterjalikoogid talusid mõningast painutamist, kuid üle kolme millimeetri paksused olid rabedad ja ei paindunud ning piisava jõu kasutamisel pigem murdusid. Noa ja kahvliga lõikumisel 10 korda, ei ilmnenud kuival komposiitmaterjalil materjali õhenemist, aga niisutatud komposiitmaterjalil olid tugevamad noajäljed.



Joonis 3.3 Segu nr. 3 tulemused. Materjali paksused alates vasakult: <1mm, 1-2mm ja 3-5mm





Segust nr. 4 pressitud kolme erineva paksusega „kookid“ on esitatud joonisel 3.4. Vasakult paremale lugedes on „kookide“ paksused vastavalt <1mm, 1-2mm ja 3-5mm. Segu nr. 4 koostises oli 45g tärklist, 65g vett, 15g glütseriini, 0g põhku ja 5g pilliroogu, protsentuaalselt siis 34% tärklist, 50% vett, 12% glütseriini, 0% põhku ning 4% pilliroogu. „Kookide“ värvus on pigem heledam hall. Painutamistestil olid samasugused tulemused nagu eelnevatel segudel, üle kolme millimeetri paksused olid rabadad ja ei paindunud. Noa ja kahvliga lõikumisel 10 korda, ei ilmnenud kuival komposiitmaterjalil materjali õhenemist, aga niisutatud komposiitmaterjalil oli märgata noajäljed.



Joonis 3.4 Segu nr. 4 tulemused. Materjali paksused alates vasakult: <1mm, 1-2mm ja 3-5mm

Erinevate segude koostis, välimus ning veepidavus on esitatud Tabelis 3.1. Kui segude nr 1, nr 2 ja segu nr 3 veepidavus oli < 1 minuti, siis segu nr 4 veepidavus oli >60 minuti.

Tabel 3.1 Erinevate segude koostus, välimus ning veepidavus

Segu nr	Tärklis %	Vesi %	Glütseriin %	Põhk %	Pilliroog %	Välimus	Veepidavus (aeg/min)
1	30	50	12	8	0		<1
2	30	50	12	0	8		<1
3	30	50	12	4	4		<1
4	34	50	12	0	4		>60

3.2 Kausid

Katsete tulemusel valmis erinevatest segudest 4 kaussi. Kausside läbimõõduks ca. 12cm ning kõrguseks 3-5cm. Segust nr 1 (30% tärklis, 50% vett, 12% glütseriini, 8% põhku ning 0% pilliroogu) valmistatud kauss on esitatud joonisel 3.5. Kausi serv tõmbus peale kuivamist laineliseks.



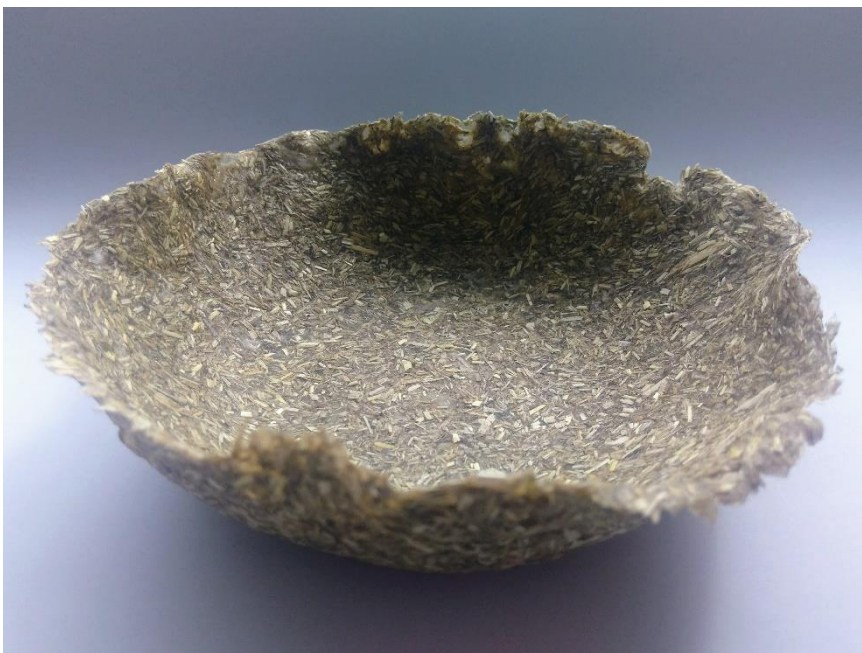
Joonis 3.5 Segust nr 1 valmistatud kauss

Joonisel 3.6 on esitletud segust nr 2 (30% tärklis, 50% vett, 12% glütseriini, 0% põhku ning 8% pilliroogu) valmistatud kauss. Kausi serv tõmbus peale kuivamist laineliseks.



Joonis 3.6 Segust nr 2 valmistatud kauss

Segust nr 3 (30% tärklist, 50% vett, 12% glütseriini, 4% põhku ning 4% pilliroogu) valmistatud kauss on esitatud joonisel 3.7. Ka komposiitmaterjalisegu nr 3 puhul tõmbus kausi serv peale kuivamist laineliseks.



Joonis 3.7 Segust nr 3 valmistatud kauss

Segust nr 4 (34% tärklist, 50% vett, 12% glütseriini, 0% põhku ning 4% pilliroogu) valmistatud kauss on esitatud joonisel 3.8. Peale kuivamist muutus kausi serv lainelisemaks.



Joonis 3.8 Segust nr 4. valmistatud kauss

4 ARUTELU

4.1 Komposiitmaterjali üldised karakteristikud

Tänapäevases plastireostuses otsitakse alternatiive, et vähendada survet keskkonnale ja vähendada plasti kasutamist. 2021. aastast keelustatakse Euroopas vastavalt Euroopa Parlamendi poolt heakskiidetud direktiivi eelnõule (5483/19) mitmed ühekordseks kasutamiseks mõeldud plasttooted, sealhulgas ka näiteks ühekordsed plasttaldrikud ja –söögiriistad. [2]

Maailmas on kasutatud väga erinevaid looduslike materjale, millest on võimalik ja saab toota ühekordseid sööginõusid [9, 10, 11, 18, 19, 22, 28] ning käesoleva magistritöö eesmärgiks oli leida kohalikest looduslikest algmaterjalidest toodetav komposiitmaterjal, mida saaks kasutada ühekordsete keskkonnasõbralike nõude vormimiseks, ning proovida sellest ka nõusid valmistada.

Käesolevas magistritöös uuriti nelja erinevat komposiitmaterjali segu. Esmasel vaatlusel meenutab pressitud komposiitmaterjal visuaalselt puitlaastplaati, kuna mõlemad on tehtud kiududest. Laiemas mõttes ongi nad väga sarnaste meetodite abil sarnastest algmaterjalidest toodetud. Värvuselt on materjalid üldiselt sama värvi, mis oli enne segusse segamist vastavalt kas põhk või pilliroog. Pilliroo baasil valmistatud komposiitmaterjal on heledam, hallikam ning veidi tuhmimat kollast värvi kui põhu baasil valmistatud segust vormitud nõud. Suurema tärkliisesisaldusega nõude puhul on värvid veidi tuhmimad, kui segude nr 1 ja nr 2 puhul.

Katsudes on materjal selline, nagu paistab – üldiselt plasti tundega ning kõva, kuid tänu põhu (pilliroo) sisaldusele veidi vetruvam, üpriski kerge kaaluga. Õhemad komposiitmaterjalikoogid taluvad mõningast painutamist, kuid üle kolme millimeetri paksused on rabadad ja ei paindu. Samas on materjal oma õhukuse kohta üpriski tugev ning kannatab enne murdumist märkimisväärset pinget. Kausid talusid enda massiga võrreldes mitukümmend korda suuremat raskust.

Komposiitmaterjalikookide peal korduvalt noaga lõigates (imateerides noa ja kahvliga ühekordse taldriku pealt söömist) ei täheldatud märkimisväärset materjali nõrgenemist. Tehes sama kergelt niiske materjali peal, jättis nuga suurema jälje.

Võrreldes komposiitmaterjali vahetult pärast pressimist ning pärast kuivamist, leiti, et kuivades tõmbub komposiitmaterjal veidi kokku, kuna tärgliseosakesed moodustavad kuivades ja tahenedes (retrogeerudes) korrapäraseid struktuure. Vahetult pärast pressimist olid tärgliseosakesed veel želatiniseerunud, ning korrapäratumalt laiali, olles suurema ruumalaga. Sellest tulenevalt on kuivanud kausside ääred suurenenud sisepingete tõttu lookleva kujuga (joonis 3.5), kuigi vahetult pärast pressimist olid kausside ääred ümarad ning sujuvad. Materjal on üldiselt lõhnatu, lähedalt võib tunda mõningast põhu (pilliroo) lõhna, tugevam isikupärane maitse samuti puudub.

4.2 Segude- ja paksuste võrdlus

Nelja erineva komposiitmaterjali segust vormitud materjalikookide ja kausside võrdlemisel ilmnes, et lõpp-produkti põhikarakteristikute seisukohast ei oma segude vahekorrad märkimisväärset tähtsust.

Komposiitmaterjali paksus aga mõjutab materjalist valmistatava potentsiaalse sööginõu omadusi. Läbi viidud testmaterjali omaduste analüüsist selgus, et alla 1mm ja 1-2mm paksune materjal on antud tehnoloogia kasutamise puhul liialt õhuke. Kuna liigne õhukus suurendab ohtu, et materjali sisse jääb mikropragusid ning –auke, mis omakorda nõrgestavad materjali ja lasevad vedelikke läbi. Liiga õhuke materjal on ka habras ning vaatamata mõningasele võimele painduda, siiski kergesti purunev. Lisaks tõmbub materjal kuivamisel mõningal määral kokku ning see võib tekitada liigse õhukuse korral auke, mida algselt pressides ei olnud.

On siiski tõenäoline, et pärast täpsemat tootearendust on võimalik teatud tooteosade puhul kasutada 1-2mm paksust materjali. Oluline on, et toodete põhjad ja muud osad, mis suuremat pinget peavad taluma, on tehtud paksemast materjalist ning vajab täiendavaid uuringuid.

4.3 Veepidavus

Nelja erineva komposiitmaterjalise seguga vormitud kausi veepidavus jagunes kaheks (tabel 3.1). Kolme (segud nr. 1, 2 ja 3; vt tabel 2.2) kausi puhul hakkas vesi neist läbi lekkima esimese minuti

jooksul. Segust nr. 4 tehtud kausi puhul läks aega 1 tund ja 7 minutit, kuni ka sealt põhjast vesi lekkima hakkas.

Kohese lekkimise põhjusteks võib pidada kausi põhja liigset õhukust, kuigi varasema visuaalse vaatluse tulemusel põhjas auke ei märgatud. Kui muidu on kausid katsudes kõvad ja jäigad, siis veega kokku puutudes muutuvad sealsed pinnad mõnevõrra painduvamaks ning pehmemaks. Lisaks lasevad mõningal määral vett läbi neis olevad põhu- ja pillirookiud. Samuti seovad lisaks eelmainitud kiududele endasse vett ka tärgliseosakesed, mille tulemusel võib kausi algne kuivanud kuju mõnevõrra deformeeruda, mis omakorda võib tekitada materjalisse auke.

Põhjuseks, miks üks katsealune kauss teistest nii palju kauem vett pidas, võib pidada ka asjaolu, et segus nr. 4 oli suurendatud tärglise osakaalu, samal ajal pillirookiudude osakaalu 50% võrra vähendades. Kuna pillirookiude oli vähe, ei liikunud vesi nii kiiresti läbi materjali, kuna termoplastne tärglis vettib aeglasemalt kui pillirookiud.

Peamiseks lekkimise põhjuseks võib siiski pidada kausside põhjade liigset õhukust. Ning kuna pressimise ja komposiitmaterjali valmistamise protsessid olid paljude muutujatega, mida ei saanud iga soorituse juures identselt korrata, siis võisid ka kausid olla mõnevõrra erineva kvaliteediga.

Kuuma vee valamisel katsealustesse kaussidesse hakkas see koheselt reageerima kausi struktuuris oleva termoplastse tärglisega. Kuuma veega kokku puutuv retrogeerunud tärglis želatiniseerus uuesti ning selle tulemusel vabanes ka põhu(pilliroo)kiude. Vee all olev pind muutus geelisarnaseks ning nõ. sulas üles, selle all olev materjal otseselt üles ei sulanud, kuid muutus väga pehmeks ning hapraks.

Nagu kirjanduse ülevaatest selgub, on maailmas kasutusel mitmeid erinevaid looduslikke alternatiivseid materjale (kivitolm, bioplastid jt) et vähendada plastireostust. Euroopa Parlamendi poolt heakskiidetud direktiivi eelnõu (5483/19) näeb ette, et töötatakse välja kava, mis aitab tulevikus paljude teiste ühekordsete plasttoodete tarbimist vähendada ning loodussõbralike alternatiivide kasutamise osakaalu suurendada. [2] Loomulikult oleks parim lahendus ühekordsete plasttoodete kasutamise täielik lõpetamine, kuid arvatavasti on see väga ebatõenäoline. Antud magistritöös vaadeldi kõigest ühte võimalust, kuidas kasutada ära Eestis olevat looduslikku materjali- põhku ja pilliroogu- et toota ühekordseid taldriku. Kindlasti on see teema, mida peab ja saab edasi arendada ning tuleb katsetada veel erinevaid materjale ja materjalide vahekordasid.

5 JÄRELDUSED

5.1 Materjalid

Töö praktilise osa eesmärgiks oli leida kõikjal kasutatavate alternatiivide hulgast eesti taustsüsteemi sobituv, kohalikest looduslikest algmaterjalidest toodetav komposiitmaterjal, mida saaks kasutada ühekordsete keskkonnasõbralike nõude vormimiseks, ning proovida sellest ka nõusid valmistada. Eesmärk sai ka täidetud.

Antud töö esimeses etapis valitud algmaterjalid sobivad töö teises etapis segatud komposiitmaterjali valmistamiseks ning täidavad neile pandud eesmärgi. Põhu- ja pilliroo kiudusid kasutati erinevates segudes kas teineteise alternatiividena või koos (segu nr. 3). Segudest valmistatud nõude karakteristikutest, ega sooritatud testide ja vaatluste tulemustest ei saa välja lugeda põhu- ning pilliroo kiudude omaduste erinevust. Sellest tulenevalt loetakse antud töö kontekstis neid võrdväärseteks komponendiks ning kumbki ei oma teineteise ees eelist.

5.2 Tehnoloogia

Kuna komposiitmaterjali segamiseks ning sellest nõude valmistamiseks oli kasutada vaid nõ. käepärased vahendid, siis võib tulemusega rahule jääda. Keerulisema tehnoloogia (injektsioon-, ekstrusioon- või termovormimise) olemasolul oleks tõenäoliselt saanud ka stabiilsema ja kvaliteetsema lõpptulemuse. Kuid keerulisem tehnoloogia võib teatud juhtudel eeldada ka komposiitmaterjali algkomponentide muutmist. Kuna töö algetapis oli juba teada, millised on katsete läbiviimise tehnoloogilised võimalused, siis detailsemalt ülal loetletud keerulisemate tehnoloogiate rakendamiseks ei valmistatud.

5.3 Nõud

Läbi viidud testide põhjal sobiksid komposiitmaterjalist valmistatud nõud kasutamiseks kuivema ja jahedama toidu jaoks, näiteks ühekordsete papptaldrikute ja vaagnate alternatiivina. Antud segu ja tehnoloogiaga valmistatud nõud ei sobi kuumade ja vedelate jookide ning toitude jaoks, kuna materjal hakkab kuumaga veega reageerima ning lõpuks ka sulama ja kuju muutma.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö teemaks on ühekordsete plastnõude alternatiivid. Sellest tulenevalt oli töö üheks eesmärgiks anda ülevaade erinevatest looduslikest materjalidest toodetavatest ühekordsetest nõudest ja nende valmistamise tehnikatest. Selle jaoks töötati läbi vastav erialane kirjandus ning toodi välja levinumad ning põnevamad praktikad ja arengusuunad. Kindlasti pole töös toodud alternatiivide valik täielik ning kuna antud teema on uurimistöö kirjutamise hetkel kõikjal maailmas aktuaalne, siis tõenäoliselt on selles vallas ka pidevaid arenguid.

Töö teiseks eesmärgiks oli leida kõikjal kasutatavate alternatiivide hulgast eesti taustsüsteemi sobituv, kohalikest looduslikest algmaterjalidest toodetav komposiitmaterjal, mida saaks kasutada ühekordsete keskkonnasõbralike nõude vormimiseks, ning proovida sellest ka nõusid valmistada. Kirjanduse analüüsi tulemusel leitud alternatiivide ning kohalike algmaterjalide võrdlemisel osutusid töö teise eesmärgi eksperimentaalse osa elluviimisel kasutatavateks algmaterjalideks odrapõhk, pilliroog, kartulitärklis, glütseriin ning vesi. Eelmainitud komponentidest valmistati nelja erineva vahekorraga segud, mida kuumutati, et vesi, tärklis ja glütseriin omavahel reageerima hakkaksid. Saadud massist pressiti vastavalt kas erinevate paksustega materjalinäidised („koogid“) või kausinäidised. Saadud komposiitmaterjalinäidistel analüüsiti erinevaid karakteristikuid ning testiti veepidavust.

Antud materjalist valmistatud nõusid saaks kasutada pigem kuivemate ja jahedamate toitude serveerimiseks. Töös kasutatud tehnoloogiaga antud segust näiteks kohvitopsi või supikausi alternatiive valmistada ei oleks mõistlik. Kuna vesi (eriti kuum) hakkab materjaliga reageerima, muutes selles asuva tärklise taas pehmeks, mis omakorda muudab kogu materjali hapramaks ning teatud aja pärast lekib vesi materjalist läbi.

Testitud komposiitmaterjali saab nõude valmistamiseks kasutada, kuid kvaliteetsema lõpptulemuse saavutamiseks tuleks tõenäoliselt muuta nõude valmistamisprotsessi tehnoloogiat, mis võib teatud juhtudel tähendada ka segu algmaterjalide (ja/või nende vahekordade) mõningast muutmist.

Kuna töö algetapis oli juba teada, millised on katsete läbiviimise tehnoloogilised võimalused, siis antud töös keerulisemate tehnoloogiate rakendamisest ei räägitud. Lisaks sellele ei räägitud kogu potentsiaalse tootmisprotsessi ajalisest- ega majanduslikust kulukusest, mis on kindlasti üks võtmeküsimustest, kui tahetakse konkureerida ühekordsete plastnõude toomisega.

SUMMARY

The subject of this master thesis is alternatives to disposable plastic tableware. One of the aims of the research was to give an overview of the disposable tableware made from different natural materials, and their manufacturing techniques. For this, professional literature was worked through and more common and exciting practices and developments were brought out. The list of alternatives in this work is certainly not complete, and since this topic was topical all over the world at the time of writing the research, there are likely to be ongoing developments in this field.

The second aim of the research was to find local natural materials that can be used to make composite material, which can be used to form disposable environmentally friendly tableware, and then try to make the tableware. As a result of the literature analysis, it turned out that the best materials for making a composite material were barley straw, reed, potato starch, glycerin and water. Of the above components, mixtures of four different ratios were prepared, which were then heated so that water, starch and glycerin would react to each other. From the resulting mass samples of different thicknesses („cakes“) or sample bowls were pressed. The resulting composite material samples were analyzed for different characteristics and tested for water resistance.

The dishes made of this material could be used to serve drier and cooler foods. It would be unreasonable to make coffee cups or soup bowls from this composite material with the same technology as used in this research. Because water (especially hot) begins to react with the material, making the starch in it soft again, which in turn makes the whole material fragile and after a certain time the water leaks through the material.

The composite material can be used to make dishes, but in order to achieve a higher quality result, it is likely that the manufacturing process technology should be changed, which may in some cases also imply some alternation of the starting materials (and/or their proportions) of the mixture.

As it was already known at the early stages of the work what technological possibilities for conducting the experiments were, then the application of more sophisticated technologies was not mentioned in this research. In addition, the issue of the time- and economic cost of the potential production process was not addressed, which is certainly one of the key issues when it comes to competing with disposable plastic tableware manufacturers.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Parker, L. (2018, detsember). A whopping 91% of plastic isn't recycled. Loetud aadressil <https://news.nationalgeographic.com/2017/07/plastic-produced-recycling-waste-ocean-trash-debris-environment/>
2. Euroopa Parlament. (2019). Parlament toetas ühekordselt kasutatavate plasttoodete keelustamist aastaks 2021. Loetud aadressil <http://www.europarl.europa.eu/news/et/press-room/20181018IPR16524/parlament-toetas-uehekordselt-kasutatavate-plasttoodete-keelustamist>
3. Gasperi, J., Wright, S., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., & Guerrouache, M. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in?. *Current Opinion In Environmental Science & Health, 1*, 1-5. doi:10.1016/j.coesh.2017.10.002
4. Eerkes-Medrano, D., Leslie, H., & Quinn, B. (2019). Microplastics in drinking water: A review and assessment. *Current Opinion In Environmental Science & Health, 7*, 69-75. doi:10.1016/j.coesh.2018.12.001'
5. Rainieri, S., & Barranco, A. (2019). Microplastics, a food safety issue?. *Trends In Food Science & Technology, 84*, 55-57. doi:10.1016/j.tifs.2018.12.009
6. Al-Jaibachi, R., Cuthbert, R., & Callaghan, A. (2019). Examining effects of ontogenic microplastic transference on Culex mosquito mortality and adult weight. *Science Of The Total Environment, 651*, 871-876. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.236
7. Duncombe, J. (2018). Microplastics found in human stool, Eos, 99. <https://doi.org/10.1029/2018EO108373>
8. Mashilo, J., Shimelis, H., & Odindo, A. (2017). Phenotypic and genotypic characterization of bottle gourd [Lagenaria siceraria (Molina) Standl.] and implications for breeding: A Review. *Scientia Horticulturae, 222*, 136-144. doi:10.1016/j.scienta.2017.05.020
9. Schwab, K. (2018). Is this the disposable cup of the future?. Loetud aadressil <https://www.fastcompany.com/90207213/could-gourds-replace-plastic-cups>
10. CRÈME. (2018). Loetud aadressil <http://cremedesign.com/product/gourds>
11. Pesti, R. (2013). Mida tähendavad määrgid (plast)pakenditel. Loetud aadressil <https://ragnsells.ee/kuukiri/mida-tahendavad-margid-plastpakenditel/>
12. Gómez Álvarez-Arenas, T., & Soto, D. (2012). Characterization of mineral paper by air-coupled ultrasonic spectroscopy. *Ultrasonics, 52*(6), 794-801. doi:10.1016/j.ultras.2012.02.012

13. SG 思創全球. (2018). Loetud aadressil <http://sgstraw.com/about.php?id=5&lang=en>
14. Taiwan Lung Meng Technology Co.,Ltd. (kuupäev puudub). Loetud aadressil http://www.taiwanlm.com/page003_eng.php?ab_ID=22
15. Stone Paper. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <http://stone-paper.nl/recycling>
16. Palladino, V., Stinson, E., Calore, M., Pardes, A., Stinson, E., & Pierce, D. (2013). This Paper Is Made From Stone, But It Isn't Exactly Eco-Friendly. Loetud aadressil <https://www.wired.com/2013/02/stone-paper-notebook/>
17. Mateen, F., Carone, M., Tshering, L., Dorji, C., Dema, U., & Grundy, S. (2017). Areca catechu (palm tree) nut chewing and seizures: An observational study. *Epilepsy & Behavior*, 74, 76-80. doi:10.1016/j.yebeh.2017.06.028
18. Gautam, A., & Caetano, N. (2017). Study, design and analysis of sustainable alternatives to plastic takeaway cutlery and crockery. *Energy Procedia*, 136, 507-512. doi:10.1016/j.egypro.2017.10.273
19. India põllumajandusministeerium. (2010). Arecanut. Loetud aadressil <https://www.dasd.gov.in/index.php/arecanut.html>
20. Eesti keele seletav sõnaraamat. (2019). Loetud aadressil <http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=kliid&F=M>
21. Stevenson, L., Phillips, F., O'sullivan, K., & Walton, J. (2012). Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 1001–1013. doi:10.3109/09637486.2012.687366
22. BIOTREM. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://biotrem.pl/en/>
23. Kaffeeform Cups. (2018). Loetud aadressil <https://www.kaffeeform.com/en/>
24. Loh, Y. R., Sujan, D., Rahman, M. E., & Das, C. A. (2013). Sugarcane bagasse - The future composite material: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 75, 14–22. doi:10.1016/j.resconrec.2013.03.002
25. How To Make Pulp From Sugarcane Bagasse | Bagasse Pulp Processing. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <http://www.paperpulpingmachine.com/applications/bagasse-pulp-processing/>
26. Rainey, T. J., & Covey, G. (2016). Pulp and paper production from sugarcane bagasse. *Sugarcane-Based Biofuels and Bioproducts*, 259–280. doi:10.1002/9781118719862.ch10
27. Plant Fiber, Bagasse, and Wheatstraw | World Centric. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <http://www.worldcentric.org/biocompostables/plant-fiber>

28. Pereira, L., Mafalda, R., Marconcini, J., & Mantovani, G. (2014). The Use of Sugarcane Bagasse-Based Green Materials for Sustainable Packaging Design. *Icord'15 – Research Into Design Across Boundaries Volume 2*, 113-123. doi:10.1007/978-81-322-2229-3_10
29. Bagasse: Sugarcane | GreenHome. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://greenhome.co.za/raw-materials/bagasse-sugarcane/>
30. Bamblu: Food Service > Bagasse Disposable Tableware and concession food containers are tree free. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://www.bambluware.com/specs/bagasse/>
31. Chiellini, E., Barghini, A., Cinelli, P., & Ilieva, V. I. (2008). Overview of environmentally compatible polymeric materials for food packaging. *Environmentally Compatible Food Packaging*, 371–395. doi:10.1533/9781845694784.3.371
32. Eco Food Packaging Materials. (kuupäev puudub). Loetud aadressil https://shop.biogreengate.com/materials_a/252.htm
33. About Compostables: Materials: Wheat Straw | World Centric. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <http://www.worldcentric.org/about-compostables/materials/wheatstraw>
34. European Bioplastics. (2016). *Bioplastics – Industry standards & labels*. Berlin: European Bioplastics. Loetud aadressil https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EUBP_FS_Standards.pdf
35. Bioplastics & Degradables | Plastics New Zealand. (2019). Loetud aadressil <http://www.plastics.org.nz/environment/bioplastics-degradables>
36. World Cleanup Day. (2019). Loetud aadressil <https://www.worldcleanupday.org/news/2018/03/12/what-are-biodegradable-plastics-the-need-for-a-clarified-terminology>
37. Biodegradable Products Institute - Composting. (2019). Loetud aadressil <https://www.bpiworld.org/Composting>
38. Certification. (2019). Loetud aadressil <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/standards/certification/>
39. Donald, A. M. (2004). Understanding starch structure and functionality. A. C. Eliasson (toim), *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing. doi:10.1533/9781855739093.1.156
40. Jang, J.K., & Pyun, Y.R. (1996). Effect of moisture content on the melting of wheat starch. *Starch - Stärke*, 48(2), 48-51. <https://doi.org/10.1002/star.19960480204>
41. González, R., & Villanueva, M. (2011). Starch-based polymers for food packaging. *Multifunctional And Nanoreinforced Polymers For Food Packaging*, 527-570. doi: 10.1533/9780857092786.4.527

42. Jane, J., Chen, Y., Lee, L., McPherson, A., Wong, K., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. *Cereal Chemistry Journal*, 76(5), 629-637. doi:10.1094/cchem.1999.76.5.629
43. Donovan, J. (1979). Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*, 18(2), 263-275. doi:10.1002/bip.1979.360180204
44. French, D. (1984). Organization Of Starch Granules. *Starch: Chemistry And Technology*, 183-247. doi:10.1016/b978-0-12-746270-7.50013-6
45. Lim, M., Wu, H., & Reid, D. (2000). The effect of starch gelatinization and solute concentrations on T_g' of starch model system. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 80(12), 1757-1762. doi:10.1002/1097-0010(20000915)80:12<1757::aid-jsfa703>3.0.co;2-y
46. Maurer, H. W. (2009). Starch in the Paper Industry. *Starch*, 657–713. doi:10.1016/b978-0-12-746275-2.00018-5
47. Liu, Q., Donner, E., Tarn, R., Singh, J., & Chung, H.-J. (2009). Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch. *Advances in Potato Chemistry and Technology*, 221–248. doi:10.1016/b978-0-12-374349-7.00008-8
48. Waterschoot, J., Gomand, S., Fierens, E., & Delcour, J. (2014). Starch blends and their physicochemical properties. *Starch - Stärke*, 67(1-2), 1-13. doi:10.1002/star.201300214
49. Gudmundsson, M. (1994). Retrogradation of starch and the role of its components. *Thermochimica Acta*, 246(2), 329–341. doi:10.1016/0040-6031(94)80100-2
50. Robles Ramírez, M.C., Flores-Morales, A., & Mora-Escobedo, R. (2012). Corn tortillas: Physicochemical, structural and functional changes. *Maize: Cultivation, Uses and Health Benefits*. 89-111.
51. Wen, L.F., Rodia, P., & Wasserman, B.P. (1990). Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chem.*, 67, 268-275.
52. Gropper, M., Moraru, C., & Kokini, J. (2002). Effect of Specific Mechanical Energy on Properties of Extruded Protein-Starch Mixtures. *Cereal Chemistry Journal*, 79(3), 429-433. doi:10.1094/cchem.2002.79.3.429
53. Nashed, G., Rutgers, R., & Sopade, P. (2003). The Plasticisation Effect of Glycerol and Water on the Gelatinisation of Wheat Starch. *Starch - Stärke*, 55(34), 131-137. doi:10.1002/star.200390027

54. Lourdin, D., Coignard, L., Bizot, H., & Colonna, P. (1997). Influence of equilibrium relative humidity and plasticizer concentration on the water content and glass transition of starch materials. *Polymer*, 38(21), 5401-5406. doi: 10.1016/s0032-3861(97)00082-7
55. Glycerol. (2019). Loetud aadressil
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/glycerol#section=MeSH-Entry-Terms>
56. Kask, Ü., & Kask, L. (2013). Pilliroog ja selle kasutamise võimalused. Tartu, 6-9.
57. Roosaluuste, E. (2007). The reed itself - *Phragmites australis*. *Read up on Reed!* Turku: Southwest Finland Regional Environmental Centre, 8-10.
58. Menert, T. (2015). Hariliku pilliroo (*Phragmites australis*) biogaasi toorainena kasutamise võimalused. *Tallinna Tehnikaülikool*.
59. Tapioca Starch % Bamboo. (2019). Loetud aadressil
<https://www.bambluware.com/specs/tapioca-starch-bamboo/>
60. How To Make Paper Pulp From Reed? | Reed Pulp Processing. (2019). Loetud aadressil
<http://www.paperpulpingmachine.com/applications/reed-pulp-making/>
61. Eesti Konjunkturiinstituut. (2011). *Ülevaade Eesti bioenergia turust 2010. aastal*. Loetud aadressil
https://www.ki.ee/publikatsioonid/valmis/Ylevaade_Eesti_bioenergia_turust_2010._aastal.pdf
62. Peng, Y., Zha, D., Bin, G., Bengang, L., & Panxin, L. (2018). Effect of wheat straw oxidation on thermoplastic starch composites: Mechanical, thermal, and rheological process behaviors. *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*.
doi:10.1177/0892705718809802
63. Chandio, F.A., Changying, J., Tagar, A., Ali Mari, I., Guangzhao, T., & Cuong, D. (2013). Comparison of mechanical properties of wheat and rice straw influenced by loading rates.
doi:10.5897/AJB12.2342
64. Plazonić, I., Barbarić-Mikočević, Ž., & Antonović, A. (2016). Chemical Composition of Straw as an Alternative Material to Wood Raw Material in Fibre Isolation. *Drvna Industrija*, 67(2), 119-125. doi:10.5552/drind.2016.1446
65. Masłowski, M., Miedzianowska, J., & Strzelec, K. (2017). Natural rubber biocomposites containing corn, barley and wheat straw. *Polymer Testing*, 63, 84-91.
doi:10.1016/j.polymertesting.2017.08.003
66. Panthapulakkal, S., & Sain, M. (2006). Injection Molded Wheat Straw and Corn Stem Filled Polypropylene Composites. *Journal Of Polymers And The Environment*, 14(3), 265-272.
doi:10.1007/s10924-006-0021-8

67. Bambluware. (2019). Loetud aadressil <https://www.bambluware.com/specs/tapioca-starch-bamboo/>
68. Köbbing, J., Thevs, N., & Zerbe, S. (2013). The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review. *Mires And Peat*, 13(1), 1-14. Loetud aadressil https://www.researchgate.net/publication/258438591_The_utilisation_of_Reed_Phragmites_australis_-_a_review
69. e-Selver. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://www.selver.ee/catalogsearch/result/?q=t%C3%A4rkliis>
70. Paradiisi Mesila. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <http://www.paradiisimesila.ee>
71. Schon, M., & Schwartz, P. (2013). Production of Bioplastic. Loetud aadressil <https://www.mysciencework.com/publication/show/production-bioplastic>

LISAD

Lisa 1 Alternatiivide koondtabel

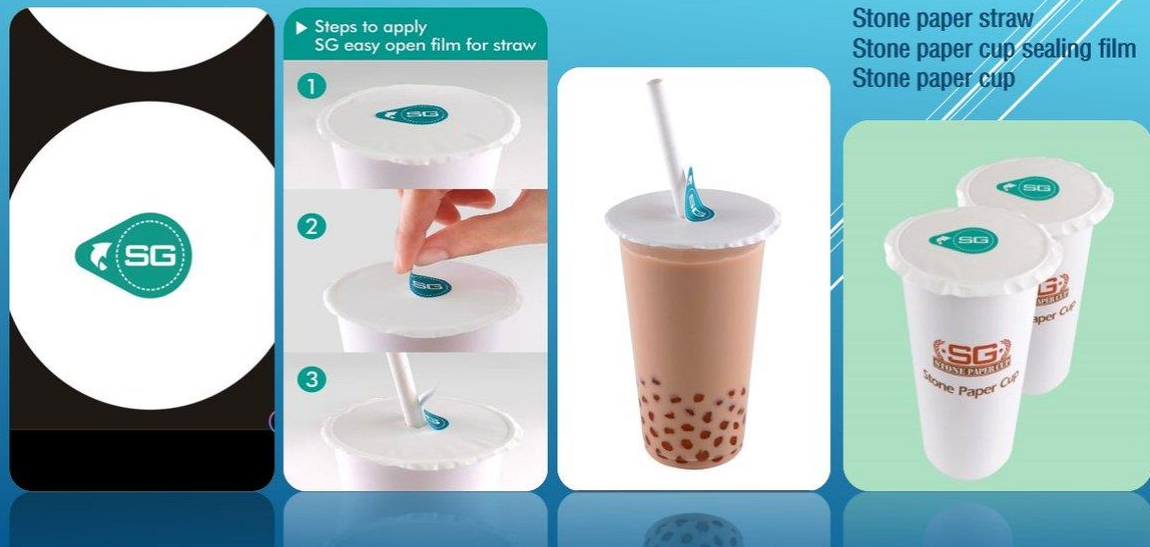
Alternatiiv	Mida saab teha?	Millest, kuidas?	Material/meetodi omadused	Pärast kasutust	Plussid	Miinused
Pudeelkõrvits	Topse	Kõrvitsate ümber pannakse kaasu alge tapsis 3D printitud vormid, kõrvitsad kasvavad suuremaks ning võtavad topsi kuju. Kuivatatakse.	Veekindel materjal, vormitav.	Komposteeritav koos teiste biojäätmega.	Täielikult looduslik materjal, tootmiseks pole palju keerulisi protsesse ega masinad vaja (va. vormid).	Väga ajamahukas, kogu protsess võtab kuni 3-4 kuud. Samuti ka töömahukas, iga topsi tootmine nõuab eraldi vormi ning selle installeerimist kõrvitsale.
Suhkuroog	Taldrikud, kausid, karbid, topsid, noad-kahvlid	Pärast suhkuroost suhkru ekstrahheerimist jääb järgi suur hulk jääkkuude (10t suhkuroo kohta 1t suhkrut, 3t jääkkuude - <i>bagasse</i>), mis muidu kasutust ei leiaks. Pressitakse kõrge temperatuuril juures vormidesse.	Stabiilne, vastupidav ja mitte liiga paindlik. Vee-, külma- ning kuumakindel. Biolagunev ja komposteeritav.	Komposteeritav (tööstuslikult) koos teiste biojäätmega.	Materjal suhkru tootmise kõrvalprodukt, tootmine pole liigselt keerukas.	Tootmine mõtekas suhkuroo kasvukoha/suhkru tootmise lähistel. Jäätmekäitlusele võib tekkida segadus - tooted näevad välja nagu vahtplast, võivad sattuda valesse konteinerisse. (See oht ka teiste alternatiividega)
Palmilehed (<i>Areca catechu</i>, <i>Shorea robusta</i> jt)	Taldrikud, kausid	Beeti-arekapalmi terved lehted pressitakse hüdraulilise pressi (+vesi ja temperatuur) abil vastavatesse vormidesse.	Kerge; kuuma-, külma- ja vedelikukindel; taldriku kandevõime kuni 20-kordine oma mass.	Disainitud iherkordseks kasutuseks, sobib toidujäätmete hulka, ka kodust kompostimiseks; võimalik ka mitu korda kasutada, kui õrnalt pesta.	Materjal nõ. tasuta käas, jääkprodukt - lehed langevad ise 4-7 korda aastas; kerge, odav ning lühike tootmisprotsess (troopikavööndid).	Tootmine ebaapraktiline väljaspool palmide kasvupiirkonda, troopikavööndid.
Kivipaber	Topse	Kaltsiumkarbonaadi puru on seotud kõrgtihedusega polüeteeniga (HDPE), mille tulemuseks on nõ. "kivipaber", millest saab valmistada ka joogitopse.	Vastupidav; sile; veekindel; paberisarnane materjal.	Ümbertöödeldav; pole biolagunev, kuid tööstuslikult komposteeritav? ning UV valguse all lagunev (<i>photo-degradable</i>). Saab koos nr. 2 plastikutega (HDPE) ümber töödelda.	Tooraineks on (marmor) kaevandusjäätid, paberi tootmisel kasutatakse minimaalselt vett, happeid ja vaigendeid jm. Hoiab tavapaberiga võrreldes kokku (tootmisetapis) puitu, emissioone ja energiat.	Kuna materjal sisaldab ka HDPE d siis kogu idee jätab siiski veidi "rohepesu" mulje, kus ühte halba üritatakse veidi vähem halvaga välja vahetada.
Kliid	Taldrikud, kausid, noad-kahvlid, vaagnad	Nisu-, rukki- või kaerakliid pressitakse hüdraulilise pressi, vee ning kõrge temperatuuril abil vormidesse. (1t kliid = kuni 10000 taldrikut)	Vastupidav; stabiilne, kuuma- ja külmakindel; ahjukindel.	Komposteeritav koos teiste biojäätmega.	Tooraineks on (marmor) kaevandusjäätid, paberi tootmisel kasutatakse minimaalselt vett, happeid ja vaigendeid jm. Hoiab tavapaberiga võrreldes kokku (tootmisetapis) puitu, emissioone ja energiat.	Kliide kasutamise üle võib tekkida konkurents, kuna seda kasutatakse juba teisteks otstarveteks.
Põhk	Taldrikud, kausid	Põhust moodustatakse mass (sarnane puudist paberi tootmisele), mis pressitakse kõrge kuumuse juures vormidesse. Sarnane suhkuroost valmistatavate nõude tehnoloogiaga.	Vastupidav; mikrolaineahju- ning külmpakikindel; vedelikekindel (kuni 93C); gluteeni- ja allergeenidevaba;	Komposteeritav koos teiste biojäätmega (tööstuslikes tingimustes 1-2 kuud, kodustes tingimustes kuni 6 kuud)	Puidumassiga (paberitööstuses) võrreldes kulub põhku sama koguse pabermassi (<i>puup</i>) tootmiseks 3-4 korda vähem. Kulub ka vähem energiat, raha, kemikaale.	Põhku "võib jääda puudu", kuna see pole otseselt ressurs, mis nõ üle jääb.
Maniokitärklis ja bambusekud	Taldrikud, kausid, noad-kahvlid	Maniokitärklis segatakse väikse osa bambuskududega. Pressitakse (küpsetatakse) kõrge temperatuuril juures abil piimahappes. Seejärel muundatakse see polümeerisatsioonil teel pika ahelaga süsinik-polümeerideks (ehk PLA-ks). PLA vormitakse väikseteks plastipilleteks, mida saab hiljem kasutada erinevate objektide	Kuuma-, külma- ja vedelikukindel.	Komposteeruv, tööstuslikes tingimustes juba 10 päevaga. Väitnigimustes komposteerub	Allergeenivaba. Ei kasutata kemikaale.	Maniokk (ja bambus) kasvab vaid (lühis-) troopilises kliimas.
PLA (polylactic acid - polüpiimhape) ehk bioplast	Taldrikud, kausid, karbid, topsid, noad-kahvlid jne	PLA moodustatakse polümeerisatsioonil teel pika ahelaga süsinik-polümeerideks (ehk PLA-ks). PLA vormitakse väikseteks plastipilleteks, mida saab hiljem kasutada erinevate objektide	Hästi vormitav, vastupidav, ühtlase kvaliteediga, külmakindel.	Komposteeritav koos teiste biojäätmega, tööstuslikes tingimustes alates 12 nädalast kuni 6 kuuni. Kodustes tingimustes pigem mitte -jäätmekäitlus üldiselt segane, kuna materjali kasutatakse	Pole kasutatud kemikaale, seega kasutamine ning näeteks ka põletamine ei eralda ohtlikke osakesi/gaase jms. Süsinikneutraalne.	Kultuure kasvatatakse üldiselt vaid selle tootmiseks - toormaterjal ei ole millegi kõrvalprodukt. Üle 65°C kuumenedes muutub materjal viskoelastseks, seega pole kuumakindel.

Lisa 2 Looduslikud alternatiivid



Joonis L2.1 Pudelkõrvitsast kasvatatud tops ja selle vorm

SG Patented Stone Paper Solutions –



Joonis L2.2 Kivipaberist valmistatud tops, kõrs ja topsi kaas



Joonis L2.3 Palmilehtedest nõude valmistamise pressid



Joonis L2.4 Nisukliidest valmistatud taldrik ja söögiriistad



Joonis L2.5 Suhkruroost valmistatud ühekordsed nõud ja söögiriistad

Lisa 3 Komposiitmaterjali valmistamine



Joonis L3.1 Purusti *MF 10 basic*



Joonis L3.2 Purusti *MF 10 basic* sõelad, töös kasutati pildil vasakpoolset, 4mm suuruse avaga



Joonis L3.3 Käsiress SEMET LPR 6/12 (esiplaanil) ja 40- tonnine hüdrauliline press (tagaplaanil)



Joonis L3.4 Käsi pressi (SEMET LPR 6/12) all vormunud komposiitmaterjalinäidis



Joonis L3.5 40-tonnise hüdraulilise pressi all vormitud ebaõnnestunud materjaliproov



Joonis L3.6 Valmis komposiitmaterjalisegu ootamas kausiks pressimist