



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

PEHMEPABERI LAGUNDAMINE

DECOMPOSITION OF TISSUE PAPER

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Elise Teemus

Üliõpilaskood: 211846NAEM

Juhendaja: Mari Ivask, PhD

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Elise Teemus

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose *Pehmepaberi lagundamine*, mille juhendaja on Mari Ivask

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TalTech Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Elise Teemus, 211846NAEM
Õppekava, peeriala: NAEM06/18, tööstusökoloogia
Juhendaja: Emeriitprofessor, Mari Ivask

Lõputöö teema:

Pehmepaberi lagundamine
Decomposition of tissue paper

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Võrrelda erinevaid meetodeid ja substraate pehmepaberi lagundamiseks.
2. Leida kõige sobivam meetod ja substraat pehmepaberi lagundamiseks.
3. Anda soovitusi pehmepaberi lagundamiseks suures koguses.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate kirjutamine	02.05
2.	Katsete läbiviimine	11.04
3.	Töö tulemuste analüüsimine	06.05
4.	Lõputöö vormistamine	24.05

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "24" mai 2023 a

Üliõpilane: Elise Teemus ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Mari Ivask ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Jane Raamets ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	10
1.1 Paber	10
2.1.1 Pehmepaber	10
1.2 Kompost ja kompostimine.....	11
1.2.1 Kompostimist mõjutavad tegurid.....	12
2.3 Paberi kompostimine.....	13
2.4 Kompostimine erinevates tingimustes	14
2.4.1 Kompostimine tööstuslikes tingimustes	14
2.4.2 Kompostimine kodustes tingimustes	14
2.5 Kompostimine Eestis	18
2.6 Kompostimise eelised ja väljakutsed	18
2.6.1 Eelised.....	18
2.6.2 Väljakutsed	19
3. MATERJAL JA METOODIKA	20
3.1 Katsevahendid.....	20
3.2 Meetod	22
3.3 Katse kirjeldus	22
3.4 Analüüsid.....	24
3.4.1 Kuivkaalu mõõtmine.....	24
3.4.2 Kuivaine määramine.....	24
3.4.3 Mikrobioloogilised analüüsid	24
3.4.4 pH mõõtmine.....	26
3.4.5 Elektrijuhtivuse mõõtmine.....	26
3.4.6 Tuhasisalduse määramine	26
3.5 Statistiline analüüs.....	26
4. TULEMUSED	27
4.1 Pehmepaberi tuhasisaldus.....	27
4.2 Orgaanilise aine muutus	29
4.3 Substraadi niiskusesisaldus	32
4.4 Mikroobikoosluse hingamisaktiivsus ja mikroobne biomass.....	33
4.5 Vihmausside arvu muutus.....	34
4.6 Temperatuurimuutus.....	34
4.6 Happelisuse muutus	35

4.7 Elektri juhtivuse muutus	35
4.8 Kompostimiskeskonna tegurite omavahelised mõjud ja seosed	36
4.9 Visuaalne muutus	37
5. ARUTELU JA JÄRELDUSED	38
KOKKUVÕTE	40
SUMMARY	41
KASUTATUD KIRJANDUS	42
LISAD	50

EESSÕNA

Lõputöö teema käsitleb probleemi, millega puutuvad kokku kõik organisatsioonid, kus on võimalik käsi pesta ja kuivatada. Tallinna Tehnikaülikoolis, kus 2022. aasta andmetel töötab igapäevaselt 1953 töötajat ja õpib 9236 üliõpilast (TalTech, s.a.), tekib kasutatud kätekuivatuspaberit suurel hulgal. Kuna kasutatud kätekuivatuspaber läheb olmeprügisse, on kool huvitatud alternatiivsete käitlusvõimaluste leidmisest. Käesolevas töös uuritakse kätekuivatuspaberi käitlemise alternatiivse võimalusena kompostimist.

Magistritöö katse viidi läbi ja tulemused mõõdeti TalTech Tartu kolledži tööstusökoloogia laboris, paberi tuhasisalduse tulemused mõõdeti Eesti Maaülikooli mullateaduse osakonna laboris.

Autor tänab juhendajat Mari Ivaskit toetuse ja juhendamise eest magistritöö koostamisel.

Antud magistritöö eesmärk oli välja selgitada, kuidas lagundada pehmepaberit kõige efektiivsemalt. Töös uuriti kolme erinevat sorti pehmepaberi lagunemist erinevates substraadisegudes, kasutades nelja erinevat lagundamismeetodit. Tulemuste väljaselgitamiseks viidi läbi neli kahenädalast katset. Töö lõpus andis autor soovitusi, kuidas lagundada pehmepaberit suures koguses.

Võtmesõnad: pehmepaber, kompostimine, *bokashi*, magistritöö

SISSEJUHATUS

Keskmine eurooplane kasutab aastas ligikaudu 15 kilogrammi pehmepaberit (Naidu & Geller, 2018). Pehmepaberi alla liigitatakse nii tualettpaber, majapidamispaber, kosmeetilised salvrätikud kui ka taskurätikud (Costa Vieira et al., 2023). Ülemaailmne pehmepaberi turg on kasvavas trendis, mis on seletatav hügieenitarvete tarbimise tõusuga, sest inimeste elukvaliteedi ootused on samuti tõusnud (Costa Vieira et al., 2023).

Majapidamispaber jäätmena on biolagunev ja sobib biojätmete hulka (Keskkonnaministeerium, s.a.-b). 2023. aasta lõpuks peavad kõik Eesti omavalitsused korraldama biojätmete liigiti kogumise nende tekkekohal, kui neid ei kompostita (Keskkonnaministeerium, s.a.-a). Seega on Eesti elanikel omakorda kohustus biojätmeid liigiti koguda või kompostida, sest biojätmeid tekib ka koduses majapidamises.

Kokkukogutud biojätmetest, mida ei ole kodus kompostitud, tehakse Eestis kompostmulda ja biogaasi, et hoida toitaineid ringluses, kasutada vähem mineraalväetisi ja toota biojätmetest energiat näiteks biogaasil sõitvatele bussidele (Keskkonnaamet, s.a.). Kui biojätmed satuvad tavalisse prügilasse, siis tekib biojätmetest prügilagaas, mis on otsene kliimamuutuste põhjustaja (Cudjoe & Han, 2021). Prügilad on kasvuhoonegaaside tekitajatena Euroopas neljandal kohal (Keskkonnaamet, s.a.). SEI Tallinna 2020. aastal avaldatud uuringust selgus, et biojätmete osakaal segaolmejäätmete hulgas on 31,7%, 2012. aastal oli vastav protsent 31,8 (Moora et al., 2020; SEI Tallinn, 2013). Seega tuleb jätkata teavitustööga riiklikul tasandil, et biojätmed saaksid kodudes liigiti kokku kogutud. Kui komposteerida või koguda biojätmed eraldi, siis on ka teiste jäätmete kvaliteet kõrge – pakendi- ja paberijätmed ei puutu biojätmetega kokku ja kõik kogutu saab minna ringlusesse (Keskkonnaamet, s.a.).

Antud magistritöö eesmärk on võrrelda erinevaid tehnoloogiaid ja substraate pehmepaberi lagundamiseks, leida kõige optimaalsem meetod ja substraat ning anda soovitusi suuremas koguses pehmepaberi lagundamiseks.

Töö eesmärgi saavutamiseks püstitati järgnevad uurimisküsimused:

1. Millises substraadis laguneb pehmepaber kõige kiiremini?
2. Millise lagundamismeetodiga laguneb pehmepaber kõige kiiremini?
3. Millist sorti pehmepaber laguneb kõige kiiremini?

Magistritöö koosneb neljast peatükist. Kirjanduse ülevaates antakse ülevaade kompostimisest, pehmepaberist ja varasematest uurimustest ning kirjeldatakse kompostimisprotsessi nii kodumajapidamises kui ka tööstuslikes tingimustes. Pehmepaberi lagundamiskatsete metoodikat kirjeldatakse töö teises peatükis. Kolmandas peatükis tuuakse välja töö tulemused ja neljandas peatükis arutletakse saadud tulemuste üle.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Paber

Paberitööstus on suure energiatarbimisega ressursimahukas tööstusharu, mis tekitab tootmise käigus suures koguses kasvuhoonegaase (Zhang et al., 2021). Tegemist on energiantensiivsusest neljanda tööstusharuga Euroopas (European Commission, 2018). 2021. aastal tootis tselluloosi- ja paberitööstus ülemaailmselt ligi 190 miljonit tonni CO₂ emissioone, mis moodustab umbes 2% kogu maailma tööstuse heitkogustest. Tegemist on ajalooliselt seni kõige kõrgema tulemusega (IEA, 2022).

2.1.1 Pehmepaber

Pehmepaber on kergekaaluline tselluloosist toode, mida valmistatakse uuest või taaskasutatud paberimassist (Masternak-Janus & Rybczewska-Błażejowska, 2015). Täpsemalt on pehmepaber toodetud lühikeste ja pikkade tsellulooskiudude sadestatud segust, mõnikord on segusse lisatud ka tärklisi (Costa Vieira et al., 2020). Pehmepaberi tootjad peavad valima kiutüüpide, masinate tehnoloogiate ja keemiliste lisandite seast parima kombinatsiooni, arvestades tootmise kasumlikkusega (de Assis et al., 2018). Levinuimad pehmepaberi näited on majapidamispaber, taskurätik, salvrätik ja tualettpaber (Costa Vieira et al., 2023).

Pehmepaberist valmistatud tooteid saab jagada kahte gruppi – volditud tüüpi tooted nagu salvrätikud ja taskurätikud ning tagasikeritud tüüpi tooted nagu majapidamispaber ja WC-paber, mida rullitakse valmistamise käigus kokku ja lahti (Costa Vieira et al., 2023). Omadustelt on pehmepaber kaalult kerge, krepitud, niiskust imav, elastne ja katsumisel pehme (Costa Vieira et al., 2023). Tarbija peab majapidamispaberi puhul olulisimaks niiskuseimavust ja paberi tugevust märjana, sest teised omadused nagu pehmus, paberi heledus ja välimus ei mõjuta majapidamispaberi peamist otstarvet, milleks on pindade puhastamine ja kuivatamine (de Assis et al., 2018). Pehmepaberi puhul eristatakse veel ka kodumajapidamisse suunatud pehmepaberit ja HoReCa sektorile (hotellid, restoranid, kohvikud) suunatud pehmepaberit (Costa Vieira et al., 2023).

Nii toormaterjalist kui ka taaskasutatud paberist pehmepaberi tootmisprotsessi suurim keskkonnamõju tekib rohkest elektrikasutusest (Masternak-Janus & Rybczewska-Błażejowska, 2015). Siiski on pehmepaberi elutsükli analüüsiga leitud, et taaskasutatud materjalist paberi tootmisprotsessi kasvuhoonegaaside emissioonid on väiksemad kui

toormaterjalist paberi tootmisprotsessi emissioonid, sest taaskasutatud materjali kasutamisel on energia- ja materjalivajadus väiksem (Gemechu et al., 2013)

Pehmepaberi turg ja nõudlus selle järele on suur, mistõttu on uuritud ka võimalusi toota pehmepaberit muust materjalist peale puidutselluloosi. North Carolina ülikooli teadlased uurisid 2019. aastal, kas kõrgekvaliteetset pehmepaberit saab toota ka muust materjalist kui puidukiust, näiteks nisuõlgedest või bambuskiust (de Assis et al., 2019). Bambuskiust pehmepaber on omadustelt väga hea niiskusimavusega ja märjalt tugev, mis on ka tarbija jaoks kõige olulisemad omadused pehmepaberi puhul (de Assis et al., 2019). Bambuskiust pehmepaberi miinuseks on vähene kättesaadavus Eesti turul ja ühe rulli kohta 2,5-kordne kõrgem hind võrreldes puidukiust valmistatud pehmepaberiga (Coop Haapsalu, 2023).

1.2 Kompost ja kompostimine

Kompostimine on ringlussevõtu parim näide (Epstein, 1997), sest kompostimine on üks lihtsamaid jäätmekäitlusviise, mida igaüks saab kodustes tingimustes läbi viia (Kriipsalu et al., 2016). Kompostida saab pea kõiki biolagunevaid orgaanilisi jäätmeid (Kompostiljon, n.d.-a). Kompostimise järel saab orgaanilistest jäätmetest materjal, millest on kasu mullaelustikule, taimede kasvule, ja komposti kasutamine aitab vähendada ka näiteks erosiooni ja pinnase ärauhumise ohtu (Epstein, 1997).

Kompostimise puhul saab eristada kompostimist kui protsessi ja komposti kui toodet (Epstein, 1997). Kompostimine kui protsess on bioloogiline käitlusviis, mille käigus muudetakse orgaanilised jäätmed stabiilseks huumuselaadseks tooteks, mida saab kasutada nii orgaanilise väetise kui ka mullaparandajana (Awasthi et al., 2018; Sanchez-Monedero et al., 2018; Wang et al., 2018). Lisaks huumusele tekib komposti kui aeroobse käitlusprotsessi käigus süsihappegaas ja vesi (Kriipsalu et al., 2016).

Kompostiprotsessis osalevad bakterid, seened ja muud mullaasukad (Kriipsalu et al., 2016). Vihmaussid tükeldavad ja peenestavad lagunevat materjali ja hoiavad mikroorganismide jaoks keskkonda stabiilsena (Ansari & Ismail, 2012). Bakterid, seened ja muud mikroorganismid lagundavad orgaanilised molekulid väiksemateks molekulideks, kuni neist saavad anorgaanilised toitainete molekulid, mis lahustuvad mullavees ja on taimedele omastatavad (Aguilar-Paredes et al., 2023). Paberi kompostimisel lagundavad aktinomütseedid tselluloosi, hemitselluloosi, valke, ligniini ja muid suuri orgaanilisi molekule (Calrecycle, n.d.).

Kompostimisel saab olla mitu eesmärki: lagundada potentsiaalselt kõdunevat orgaanilist materjali stabiilsesse olekusse ja toota sellest mullaparandajat; kasutada kompostimist

kui majanduslikult soodsat jäätmekäitlusvõimalust ja toota kompostimise teel kasulikku toodet; lagundamise käigus muuta patogeenidega orgaanilised jäätmed ohutuks kasulikuks tooteks; lagundada ohtlikke jäätmeid kompostimisprotsessis (Epstein, 1997).

1.2.1 Kompostimist mõjutavad tegurid

Kompostiprotsessi edukaks toimumiseks on vaja tagada konkreetsed nõuded. Kompostimisprotsessi toimumiseks on vaja süsinikku, lämmastikku, vett ja õhku (Kompostiljon, n.d.-a), kompostitavad jäätmed peavad olema bioloogiliselt lagunevad ja kasti peab olema piisavalt niiskust ning õhuhapnikku (Kriipsalu et al., 2016).

Süsinik on energiaallikaks orgaanikat lagundavatele bakteritele (Kriipsalu et al., 2016). Lämmastikku on vaja valkude moodustamiseks. Oluline on jälgida süsiniku ja lämmastiku suhet kompostisegus. Ideaalne vahekord segus on 20–30 osa süsinikku 1 osa lämmastiku kohta. Lämmastikuliia korral kompostisegus tekib liigselt ammoniaaki, mis pärsib lagunemisprotsessi. Lämmastiku nappuse korral ei tõuse temperatuur piisavale tasemele (Kriipsalu et al., 2016).

Kompostis elavad aeroobsed mullaorganismid vajavad oma elutegevuseks hapnikku. Kui mikroorganismidel tekib hapnikunälg, siis nad hukuvad ja protsess muutub anaeroobseks (Nguyen et al., 2023). Hapnikku saab kompostimisel lisada komposti segades ja õhutades, segamine on oluline ka lagugaaside eemaldamiseks kompostisegust (Kriipsalu et al., 2016). Kompostikastis peaks niiskustase olema tasakaalus, selle kontrollimiseks tuleks komposti kätega pigistada ja eralduma peaks paar tilka vett. (Kompostiljon, n.d.-a). Kompostimassi suhteline niiskus peab olema vähemalt 30%, parem 45–65% (Kriipsalu et al., 2016). Kui kompostikasti sisu on liiga kuiv, siis komposti temperatuur ei tõuse piisavalt kõrgele ja kompostimise protsessid ei käivitu, kuid liigne niiskus võib vajalikud mikroorganismid hävitada ja kompost hakkab mädanema (Kompostiljon, n.d.-a).

Näiteks sõnniku kompostimiseks on vaja kompostimissegule lisada tugiaineid, mis aitavad suurendada kompostitava massi poorsust ja struktuuri, vähendada niiskust ja tagada süsiniku ja lämmastiku õiget vahekorda, õhustatust ja pH reguleerimist (Kriipsalu et al., 2016; Zhang & Sun, 2017). Tugiaineteks on näiteks puukoor ja -lehed (Kriipsalu et al., 2016), aga ka paberi taaskäitlemise käigus tekkinud trükivärvita pabermass (Zhang & Sun, 2018). Põllumajandusliku taaskasutuse seisukohalt on tähtis komposteerida ilma trükivärvita paberit, nii ei satu kompostisegusse raskmetalle. Kui komposteerida haljastusjäätmeid, mis sisaldavad arvestataval hulgal tselluloosi, ligniini ja muid polümeere, siis peab nende kompostimisel kasutama just tugiaineid, et

kompostimisprotsess toimuks efektiivselt ja valmiks kvaliteetne kompost (Zhang & Sun, 2017). Kui komposteerida haljastusjätmeid koos pabermassi või paberjätmetega, siis peaksid kõik jätmed olema kompostis väiksemate tükkidena, et täiteaine ja haljastusjätmed puutuksid omavahel kokku (Zhang & Sun, 2018).

2.3 Paberi kompostimine

Varasemalt on paberi kompostimise valdkonnas uuritud peamiselt paberi ja papi kompostimist, pehmepaberi kompostimist on uuritud vähe.

Madridi tehnikaülikooli teadlaste 2009. aastal avaldatud artiklis uuriti erinevate pabermaterjalide aeroobset lagunemist tööstusliku kompostimise teel. Töö eesmärgiks oli välja selgitada, kas paberi biolagunemine pärsib tahkete olmejätmete seas olevate orgaaniliste jäätmete lagundamist (Alvarez, 2009). Katse tulemusena selgus, et pehmepaber (majapidamisepaber, taskurätikud) pärssis orgaaniliste jäätmete lagunemist tööstuslikus kompostis mitme eri teguri tõttu (suur ligniinisaldus, madal biolagunemise protsent) (Alvarez, 2009). Pabermaterjali madalama biolagunemise protsent tulenes orgaanilistest lisanditest, mida oli lisatud tootmis- või viimistlusprotsessis (Alvarez, 2009). Samuti toodi artiklis välja, et pehmepaber imas niiskust ja paberikiud paisusid, mistõttu moodustusid katse käigus katsenõudesse pallikujulised paberitombud (Alvarez, 2009). Sel põhjusel aeglustus biolagunemine ja tööstusliku kompostimisprotsessi lõpus oli pehmepaberist moodustunud tainalaadne mass (Alvarez, 2009).

Rasvakindla paberi (kasutatakse näiteks hamburgerite või friikartulite pakendamiseks) taaskäitlemine pole toidujätmetega kokkupuutumise tõttu võimalik ja peamiselt jõuab see paberitüüp olmejätmena prügimäele või põletusse (Hanc & Hrebeckova, 2023). Hanc ja Hrebeckova leidsid, et rasvakindlat paberit vermikompostides saab toota kvaliteetset mullaparandajat, vältida paberi jõudmist prügilasse ja tagada sellise paberitüübi parem bioloogiline taaskasutamine (Hanc & Hrebeckova, 2023). Selline käitlusviis on kooskõlas ka ringmajanduse eesmärkidega (Ringmajandus, n.d.). Selgus, et eelistada tuleks just vermikompostimist, sest elektrikompostris töötlemise järel valmis kompost, mis mullaparandajana kasutamiseks ei sobinud ja vajab lisakompostimist (Hanc & Hrebeckova, 2023). Kõige kiiremini lagunes rasvakindel paber vermikompostis kui substraadi hulka oli lisatud hobusesõnnikut (Hanc, 2023).

2.4 Kompostimine erinevates tingimustes

2.4.1 Kompostimine tööstuslikes tingimustes

Biojätmeid saab komposteerida nii suuremas kui ka väiksemas mahus. Suuremamahuliselt kompostitakse tööstuslikes kompostimisjaamades. Suurkompostimiseks peab jätmed eelkäitlema, kompostima ja järelkäitlema (Kriipsalu et al., 2016). Eelkäitluse protsessis eemaldatakse segust võõrised, peenestatakse jätmed ja valmistatakse ette sobilik kompostisegu. Seejärel toimub kompostiprotsess ja valminud kompost jäetakse järelvalmima (Kriipsalu et al., 2016).

Levinuim tööstuslik kompostimisviis on aunkompostimine, millega saab kompostida aiandus-, toidu-, paberi- ja olmejätmeid ning reoveesetteid (AS Enprima Estivo, 2005). Kasutatakse ka reaktorkompostimist, mis vajab vähem ruumi kui aunkompostimine ja võimaldab kompostiprotsessi paremini kontrollida, kuid nõuab kalleid alginvesteeringuid (Cunha & Campos, 2023; AS Enprima Estivo, 2005).

2.4.2 Kompostimine kodustes tingimustes

Kodustes tingimustes saab kompostida. Biojätmete kompostimise nõuded kehtestab kohalik omavalitsus, seega võivad nõuded ka omavalitsuseti erineda (Keskkonnaministeerium, s.a.-b). Eestis on tiheasustusega aladel üldiselt kehtestatud, et toidujätmeid võib kompostida ainult kinnises kompostris, aia- ja haljastusjätmeid ka lahtiselt kompostiaunas (Tallinna linn, s.a.). Tartu linnas peavad kompostrid ja kompostiaunad asuma naaberkinnistu elamust vähemalt 5 meetri kaugusel (Tartu linnavalitsus, 2021), Tallinna linnas vähemalt 4 meetri kaugusel (Tallinna linn, s.a.). Komposter võib olla nii ise ehitatud kui poest ostetud, soojustatud või soojustamata (Keskkonnaministeerium, s.a.-b). Kui kodumajapidamises kompostitakse, siis tuleb tekkiv kompostmuld ka omal kinnistul ise ära kasutada (Keskkonnaministeerium, s.a.-b).

Lahtises kompostris ja kompostiaunas võib kompostida aia- ja haljastusjätmeid. Lahtine komposter võiks olla vähemalt 1,2 m suurune igast küljest (Tartu linnavalitsus, 2021), kompostri võib ka ise ehitada olemasolevatest materjalidest (Kompostiljon, n.d.-b). Lahtises kompostris ega kompostiaunas ei ole lubatud köögijätmete kompostimine, seda eelkõige halva lõhna leviku vältimiseks ning näriliste ja lindude eemalhoidmiseks (Kompostiljon, n.d.-b). Kompostiaun on kompostimiseks kõige lihtsam meetod ja võimaldab kompostida korraga suuri koguseid jätmeid (Tartu linnavalitsus, 2021). Kompostihunniku miinuseks on selle võimalik laiali vajumine aja möödumisel (Kompostiljon, n.d.-b).

Linnas kompostimiseks sobivad kõige paremini kinnised kompostrid ja kiirkompostrid. Kinnise kompostri võib sarnaselt lahtisele kompostriks ise käepärastest vahenditest ehitada, sel juhul peab kompostriks olema kaas ja põhjas voodriks metallvõrk (Kompostiljon, n.d.-b). Kinnised ja kiirkompostrid on saadaval kaubandusvõrgus (Kompostiljon, n.d.-b). Kiirkompostriks käivitub kompostiprotsess kõige lihtsamini ja toimub aastaringselt, sest kastid on valmistatud lisasoojustusega, nii valmib kompost vaid mõne kuuga (Kompostiljon, n.d.-b). Näiteks Hotbin kiirkompostriks tõuseb kompostriks temperatuur +60 °C juurde ja multšilaadne kompost valmib 30 päevaga, rikkalikum kompost 90 päevaga (Carenail, n.d.).

Tubastesse tingimustesse sobib hästi vermikomposter, mis ei võta palju ruumi ega tekita ebameeldivat lõhna (Kompostiljon, n.d.-b). Vermikompostri peaks asetama ruumi, kus temperatuur jääb vahemikku +10...+35 °C, ideaalne temperatuur on vahemikus +15...+25 °C (Appelhof & Olszewski, 2017). Lisaks kompostimisele on võimalik orgaanilisi jäätmeid toatingimustes lagundada ka *bokashi*-nõus (Olasesan et al., 2022).

2.4.2.1 Vermikompostimine

Vermikompostimine on biojätmete lagundamisprotsess, kuhu on kaasatud vihmaussid, kes töötlevad orgaanilist materjali intensiivselt mikroorganismide ja mullas elutsevate selgrootutega, kiirendades selle materjali stabiliseerimist ning füüsikaliste ja biokeemiliste omaduste muutmist (Edwards & Bohlen, 1996; Dominguez, 2004; Edwards et al. 2004).

Eestis on seni teadaolevalt 13 liiki vihmausse (Timm & Ivask, 2006), levinuim liik on harilik mullauss (*Aporrectodea caliginosa*). Vihmaussid jagunevad elupaiga ja -viisi põhjal kolme erinevasse ökoloogilisse gruppi:

- 1) aneetilised liigid, kes teevad mulda vertikaalseid urgusid ja toituvad mullapinnal olevatest lehtedest, mille nad viivad omale urgu;
- 2) endogeilised liigid, kes elavad pealmises taimejuurtega mullakihis, kes ebasoodsaid perioode elavad üle inaktiivses olekus;
- 3) epigeilised liigid, kes asustavad vaid mulla kõige ülemist (kõdu)kihti ja kes ei tee urge mineraalmulda (Edwards & Bohlen, 1996).

Vermikompostriks peaks kasutama epigeilisi vihmausse, kes elavad mulla pinnakihis, tarbivad orgaaniliste ainete rikast toitu ja on võimelised tihedalt koos elama (Dominguez & Edwards, 2011). Vermikompostimisel kasutatakse enamasti sõnniku-ussi *Eisenia*

fetida, kuid sobivad ka mõned teised liigid, näiteks *Eisenia andrei* ja *Dendrobaena veneta* liiki vihmaussid (Dominguez & Edwards, 2011).

Dendrobaena veneta (sünonüüm *Eisenia hortensis*) on vihmaussiliik, kes pärineb ilmselt Vahemere maade idaosast, Eestis looduslikult ei esine (Eek & Kukk, 2013). Täiskasvanud uss on 30–110 mm pikkune ja läbimõõduga 4–8 mm (Eek & Kukk, 2013). *Dendrobaena veneta* liik kannatab rohkem niiskusetaseme kõikumist kui teised vihmaussiliigid ja eelistab madalamaid temperatuure, +15...25 °C (Dominguez & Edwards, 2011). *Dendrobaena veneta* on sobiv liik orgaanilise materjali lagundamiseks ja see vihmaussiliik aitab parandada ka mullaviljakust, näiteks põllumuldadel (Edwards, 2004). Mitmed tööstusliku vermikompostimisega tegelevad ettevõtted kasutavad *Dendrobaena veneta* vihmaussiliiki (Dominguez & Edwards, 2011).

Vermikompostris peab lisaks muude kompostimise parameetritele jälgima, et kompostisegu oleks kergelt happeline. Vihmaussid taluvad pinnast, mille pH jääb vahemikku 5 kuni 9, kuid nad eelistavad happelisemat keskkonda, mille pH on 5 (Dominguez & Edwards, 2011).

2.4.2.2 Bokashi-meetod

Bokashi-meetod on orgaaniliste jäätmete lagundamine anaeroobsel viisil, mille järel valmib *bokashi*, jaapani keelest tõlgituna tähendab see fermenteeritud orgaanilist materjali (Footer, 2013). Orgaanilisi jäätmeid fermenteeritakse suletud *bokashi*-nõus (joonis 2.1) spetsiaalsete kliidega (joonis 2.2) (Footer, 2013). *Bokashi*-kliid koosnevad kasulikest mikroorganismidest nagu piimhappebakterid, pärmid, fotosünteesivad organismid, aktinomütseedid ja ensümaatilised aktiivsed seemned, samuti on segus suhkrut ja vett (Higa & Parr, 1994; Koduärk, n.d-b). Kliide abil algab *bokashi*-nõus käärimisprotsess ja pärsitakse jäätmete kõdunemisprotsessi (Footer, 2013).



Joonis 2.1 *Bokashi*-nõud

Bokashi-nõu kasutamiseks asetatakse *bokashi*-nõu põhja sõel, mis eraldab biojätmed ja *bokashi*-vedeliku (Footer, 2013). Sõela peale lisatakse kühvlitäis *bokashi*-kliisid ja kiht biojätmeid, mille peale lisatakse samuti kühvlitäis kliisid, nii iga kord biojätmete lisamisel (Koduvärk, n.d.-b). Pärast biojätmete lisamist surutakse jätmed pressiga kokku, et üleliigne õhk välja pigistada, seejärel suletakse nõu hermeetilise kaanega (Footer, 2013). Iga 3–5 päeva järel tuleb kraanist välja lasta tekkinud *bokashi*-vedelik, mis tekib käärimisprotsessi käigus (Koduvärk, n.d.-b). Seda vedelikku saab lahjendatuna kasutada näiteks taimede kastmiseks ja väetamiseks (Olle, 2020).



Joonis 2.2 *Bokashi*-kliid

Kui *bokashi*-nõu on täitunud, siis tuleb see kaheks nädalaks hermeetiliselt sulgeda, et fermentatsiooniprotsess saaks täielikult toimuda (Footer, 2013). Orgaanilised jäätmed käärivad happeliseks ja kahepäädalase perioodi lõppedes on orgaanilised jäätmed *bokashi*-nõus jõudnud komposteerimise-eelsesesse faasi või *bokashi*-komposti faasi (Footer, 2013). Seejärel saab fermenteeritud orgaanilised jäätmed panna kompostihunnikusse, sellistest jäätmetest kompost valmib poole kiiremini kui orgaaniliste jäätmete komposteerimisel tavakomposteerimisega (Koduwärk, n.d.-b). Peale fermentatsiooniprotsessi on biojäätmetel säilinud kõik taimede kasvuks vajalikud toitained võrrelduna tavaekompostimise meetodiga, mil nende toitainete kontsentratsioon oluliselt väheneb (Olle & Williams, 2013). *Bokashi*-meetod sobib orgaaniliste jäätmete lagundamiseks toatingimustes.

2.5 Kompostimine Eestis

Ühe aasta jooksul tekib Eestis inimese kohta keskmiselt 383 kilogrammi olmejäätmeid, millest 71 kg on köögi- ja sööklajajäätmed ja 30 kg aia- ja haljastusjäätmed. Nii köögi- ja sööklajajäätmed kui ka aia- ja haljastusjäätmed loetakse biojäätmete hulka, seega tekib Eestis aastas keskmiselt 101 kg biojäätmeid inimese kohta (Keskkonnaministeerium, s.a.-b). Keskkonnaministeeriumi andmetel kogutakse liigiti vaid veerand tekkivatest biojäätmetest (Keskkonnaministeerium, s.a.-b).

2.6 Kompostimise eelised ja väljakutsed

2.6.1 Eelised

Kompostimisel on mitmeid hüvesid ja eeliseid. Komposti lisamine mullale aitab parandada mullaomadusi ja rikastada mulda orgaanilise ainega ning taimetoite- ja mikroelementidega (Kriipsalu et al., 2016). Samuti aitab kompostimine vähendada taimahaiguste levikut, sest haigustekitajad ei suuda võistelda mikroorganismidega kompostis toitainete tarbimise kiiruses, jäädes nälga ja hukkudes. (Kriipsalu et al., 2016; Kompostiljon, n.d.-c). Samuti toodavad mikroorganismid antibiootilisi aineid (Kriipsalu et al., 2016).

Kompostimine vähendab vajadust sünteetiliste väetiste järele (EPA, 2023), sest toitainerikas kompost toetab taimede arengut. Samuti suureneb kompostiga toidetud taimedel vastupidavus kahjurite rünnakutele (Kriipsalu et al., 2016).

2.6.2 Väljakutsed

Tavakompostimisel on oma miinused: kompostimisprotsess kestab pikka aega ja selle käigus kaob suur hulk lämmastikku, mis vähendab nii kompostiprotsessi tõhusust kui ka toitainete olemasolu kompostis (Rich et al., 2018). Selleks, et lühendada kompostimisprotsessi pikkust, saab kompostida ka kaheastmelise kompostimise meetodiga, mis koosneb primaarsest ja sekundaarsest kompostimisest. (Zhang et al., 2013). Protsessi käigus tõuseb temperatuur kaks korda (+50...60 °C), mis vähendab kompostimise perioodi pikkust ning valmib kvaliteetsem lõpptoode. Kaheetapilise kompostiprotsessiga võtab komposti valmimine tavapärase 90–270 päeva asemel aega 30 päeva (Zhang et al., 2013).

Kompostimisprotsess võib tekitada ebameeldivaid aroome, see tuleneb tööstuslikul kompostimisel peamiselt vaalude või aunade vähesest segamisest, mille tagajärel tekib ammoniaak lämmastiku laguproduktina (AS Enprima Estivo, 2005).

Tavakompostimisega ei saa kompostida lihajäätmeid ja konte, sest kompostris ei tõuse temperatuur piisavalt kõrgele tasemele ja jäätmed lähevad roiskuma (Kompostiljon, n.d.-e). Talvisel ajal, kui temperatuurid on madalad, siis kompostimisprotsess peatub. Sel perioodil, kui õhutemperatuur langeb alla +5 °C, tuleks kompostihunnik katta koormakattega, see aitab vältida lumesulamisest tingitud liigniiskust (Kompostiljon, n.d.-d). Miinuskraadidega saab kodustes tingimustes kompostida kiirkompostriiga ja tubastes tingimustes näiteks vermikompostriiga (Kompostiljon, n.d.-b).

3. MATERJAL JA METOODIKA

Magistritöö katsed toimusid ajavahemikul 28. veebruarist 11. aprillini 2023, vältides kokku 6 nädalat. Katsed viidi läbi TalTech Tartu kolledži laboris, tulemusi mõõdeti lisaks Tartu kolledži laborile ka Eesti Maaülikooli mullateaduse osakonna laboris.

3.1 Katsevahendid

Katses kasutati polüpropüleenist kaste mõõtmetega 38x25x13 cm, mis osteti kauplusest Jysk. Kokku tehti kompostikatseid kolmes korduses, seega oli kaste kokku üheksa. Kastide põhja tehti üheksa auku, et vajadusel saaks liigne vesi kastist välja voolata, kastide alla paigutati kasti kaaned, mis püüdsid üleliigse vee kinni. Üks katse viidi läbi *bokashi*-nõuga.

Katsetes kasutati kolme erinevat pehmet paberit – tselluloosi primaarkiududest paberit, ringlussevõetud tselluloosist paberit ja bambusest valmistatud paberit (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Uurimistöös kasutatavad pehmapaberi liigid ja katsekehade suurused

Nr	Paber	Paberi kirjeldus	Katsekeha suurus (cm)
1	Bambuskiust valmistatud paber	The Cheeky Panda bambuspaber, 2-kihiline. 100% bambus	21,5x22,5 cm
2	Primaarsest tselluloosikiust paber	Nordclean valge majapidamispaber, 3-kihiline. 100% tselluloos	24x21,5 cm
3	Ringlussevõetud tselluloosikiust paber	Rimi majapidamispaber, 3-kihiline. 100% ringlussevõetud tselluloos	19x2 cm

Vermikompostimisel kasutati *Dendrobaena veneta* liigi nr 2 ja 3 suuruses vihmausse (joonis 3.1), mis osteti Salmo ja Kalastusspordi kauplustest. Substraadisegus kasutati Biolani Aiamaa Musta Mulda (60 liitrit), mis sisaldab lämmastikku, fosforit ja kaaliumi sisaldavat väetist (1 kg/m³) ja magneesiumi sisaldavat lubjakivipulbrit (4 kg/m³).

Mullasegu pH on 6,0 ja elektrijuhtivus 25 mS/m (Biolan, n.d.). Drenaažiks kasutati 4–10 fraktsioonilist BBR firma kergkruusa.



Joonis 3.1 Katses kasutatud *Dendrobaena veneta* vihmaussid suuruses nr 2 ja 3

Katsekehade ümber kasutati Nortene 5x5 mm suuruse võrgusilmaga polüetüleenist aiavõrku. Võrk valiti selline, et vihmauss mahuks võrgusilmast läbi, võrk ei biolaguneks ja oleks kergesti painutatav.

Substraadisegudes kasutati espressomasinast kogutud kohvipaksu ja TalTech Tartu kolledži õuel sügisel kilekottidesse kogutud puulehti, mis toodi õuest külmununa ja lisati substraadisegule pärast toatemperatuuril sulatamist.

Bokashi-nõuna kasutati Skaza firma *Bokashi* Organko 16 liitrilist kompostrit, kliidena kasutati Biogeni firma kliisid, mille koostises on erinevad biogeensed materjalid, suhkruisrup, tõhusad mikroorganismid ja mineraalid (Koduwärk, n.d.-a)

3.2 Meetod

Pehmepaberi lagunemise uurimiseks viidi läbi kompostikatsed ja lagunemiskatse. Kompostikatsete läbiviimisel kasutati kolme erinevat meetodit – tavakompostimine, vermikompostimine ja tavakompostimine koos sõnnikuleotisega. Lagunemiskatses kasutati *bokashi*-meetodit.

Pehmepaberi lagunemise efektiivsuse hindamiseks mõõdeti katsekehade kuivkaal ja tuhasisaldus. Kompostimeetodite mõju substraadi parameetritele analüüsiti substraadi kuivkaalu, niiskusesisaldus, basaalsel hingamisaktiivsuse (BA), substraat-indutseeritud hingamisaktiivsuse (SIR), pH ja elektrijuhtivuse mõõtmise kaudu. Tulemuste analüüsimiseks kasutati statistilist analüüsi.

3.3 Katse kirjeldus

Igast paberisordist tehti nelja paberlehe suurused katsekehad, katsekehade suurused on määratletud tabelis 3.1. Kokku valmistati ühe katse jaoks igast paberisordist 18 katsekeha, kokku oli katsekehasid ühes katses 54. Selleks, et paber ei komposteeruks substraadisegus ebaühtlaselt ja saaks mõõta paberist katsekehade lagunemist, lõigati aiavõrgust 54 võrgutükki suurusega 20x20 cm, need painutati pooleks ja paberlehed asetati võrgu vahele. Võrk klammerdati metallklambritega.

Esimeses katses koosnes substraat puulehtedest ja mullast, mahu järgi 1 osa puulehti, 3 osa mulda. Teises katses koosnes substraat kohvipaksust ja mullast, mahu järgi 1 osa kuivatatud kohvipaksu ja 5 osa mulda. Kolmandas katses koosnes substraat ainult mullast. Kasti põhja pandi ühtlane kiht kergkruusa.

Katsekehad asetati kergkruusale ning katsekehade vahele lisati substraati (joonis 3.2). Seejärel kasteti veega katsenõusid 4–9, sõnnikuleotisega kasteti katsenõusid 1–3. Pooled katsekehad võeti kastist välja nädala möödudes, ülejäänud jäeti veel nädalaks kasti ning võeti kastist välja kahe nädala möödudes. Katse alguses, nädala möödudes ja katse lõpus mõõdeti katsenõude temperatuuri elavhõbeda termomeetriga.

Väljavõetud katsekehad puhastati pintsliga, et eemaldada lahtine muld, vermikompostis olnud katsekehade küljest eemaldati vihmaussid, mis asetati katsenõudesse tagasi ja nende arv loendati kokku pärast katse lõppu.

Katse alguses võeti substraadist ligikaudu 600 g proov, mis pandi õhukindlasse kilekotti ja asetati +4 °C külmkappi. Samamoodi võeti substraadiproovid katsete lõpus erineva lagundamismetoodikaga katsenõudest (tavakompostimine, vermikompostimine ja tavakompostimine koos sõnnikuleotisega), kokku üheksast kastist kolm proovi.



Joonis 3.2 TalTech Tartu kolledži laborisse ülespandud katse

Lisaks kompostikatsetele viidi läbi ka anaeroobse fermentatsiooniga lagunemiskatse *Bokashi*-meetodil. *Bokashi*-nõu põhja pandi ühtlane kiht kergkruusa, mille peale puistati üks mõõtenõu *bokashi*-kliisid. Seejärel asetati peale kaks võrkudes katsekeha tselluloosi primaarkiududest paberist, puistati peale mõõtenõu täis *bokashi*-kliisid ja korrati protsessi ka bambusest ja ringlussevõetud tselluloosist paberitega. *Bokashi*-nõu suleti hermeetilise kaanega ja hoiti suletuna 14 päeva, pärast seda võeti katsekehad nõust välja.

3.4 Analüüsid

3.4.1 Kuivkaalu mõõtmine

Katsekehade kuivkaalu mõõtmiseks kuivatati võrgu sees katsekehasid kuivatuskapis +40 °C juures 24 tundi (joonis 3.3). 24 tunni möödudes võeti katsekehad kuivatuskapist välja ja kaaluti ilma võrguta, et teada saada katsekehade kuivkaal.



Joonis 3.3 Katsekehad pärast kuivatamist kuivatuskapis +40 °C juures.

3.4.2 Kuivaine määramine

Substraatide niiskusesisalduse mõõtmiseks kasutati massikao meetodit. Segudest kaalutud 10 g proove inkubeeriti kuivatuskapis +105 °C juures 24 tundi. Proovide kaalu mõõdeti enne ja pärast kuivatamist, et arvutada kuivainesisaldus ja sellest omakorda niiskusesisaldus. Kuivaine sisaldus proovis leiti vastavalt valemile:

$$Kuivaine [\%] = \frac{\text{kuivatatud proovi mass [g]}}{\text{proovi algmass [g]}} \times 100\%$$

Niiskusesisaldus leiti kuivaine väärtusest:

$$Niiskus [\%] = 100\% - Kuivaine [\%]$$

3.4.3 Mikrobioloogilised analüüsid

Substraadi mikrobioloogiliste analüüside seoti kasutati manomeetrilist seadet WTW OxiTop-C (Xylem Analytics, Weilheim, Saksamaa), mis mõõdab rõhu muutumist hermeetiliselt suletud proovianumas (joonis 3.4).

Basaalse hingamisaktiivsuse mõõtmiseks seoti süsihappegaas tahkele kandjale natroonlubjale. Proove inkubeeriti pimedas +25 °C juures 96 tundi. Mõõtmine toimus automaatselt, mõõtepea salvestas näidu iga 16 minuti tagant ning tulemused selgusid 4 päeva pärast. Mulla basaalne hingamisaktiivsus arvutati rõhulanguse alusel (Platen & Wirtz, 1999). Proove inkubeeriti pimedas, et pärssida fotosünteesivate organismide elutegevust ja piirata purgis hapniku juurde tootmist. Konstantne temperatuur oli väga oluline selleks, et vältida temperatuurimuutusest tulenevaid rõhumuutuseid. (Reuschenbach et al., 2003)

Mõõtmiseks kaaluti 100 g substraadiproovi, mis valati klaaspurki ning proovi pind tasandati. Väiksesse plasttopsi pandi pool teelusikatäit natroonlubja pelletteid ja tops asetati manomeetrilise seadme kandurile. Purgid suleti klambritega ja purkide külge kinnitati mõõtepead. Seejärel purgid soojenesid tund aega +25 °C juures. Kontrolleriga määrati mõõtepeadele 4-päevane mõõteperiood ja proovipurgid asetati kuivatuskappi +25 °C juurde 96 tunniks. Tulemused mõõdeti ja arvutati hingamisaktiivsuse väärtused.



Joonis 3.4 Substraatide basaalse hingamisaktiivsuse mõõtmine WTW OxiTop-C manomeetriliste seadmetega.

Mikroobset biomassi hinnati substraat-indutseeritud hingamisaktiivsuse (SIR) kaudu. Mullale lisati glükoosi, mida mikroobikooslus hakkas kiirelt tarbima ja hingamine aktiveerus. Hingamise tagajärjel tekkivaid muutusi proovi kohal olevas õhus mõõdeti manomeetrilise seadmega. Mõõtmiseks kaaluti 110 g substraadiproovi, mis segati 0,55 g glükoosiga. Purki kaaluti 50 g substraadiproovi, proovi pind tasandati. Väiksesse plasttopsi pandi 0,5 teelusikatäit natroonlubja pelletteid ja tops asetati manomeetrilise seadme kandurile. Purgid suleti klambritega ja purkide külge kinnitati mõõtepead. Proove inkubeeriti pimedas +22 °C juures 24 tundi. Mõõtmine toimus automaatselt,

mõõtepea salvestas näidu iga 4 minuti tagant ning 24 tunni pärast selgusid lõplikud tulemused.

3.4.4 pH mõõtmine

Substraadisegu pH taseme mõõtmiseks kasutati pH-meetrit WTW Multi 340i elektroodiga SenTix 41. Substraatide pH taseme mõõtmiseks kaaluti kolbi 10 g substraadisegu ja lisati sellele 50 ml destilleeritud vett. Kolb kaeti fooliumkattega ja jäeti 24 tunniks toatemperatuurile seisma. Enne igat mõõtmist puhastati pH-meeter destilleeritud vees.

3.4.5 Elektrijuhtivuse mõõtmine

Elektrijuhtivuse mõõtmiseks kasutati seadet Hanna Primo 5. Substraatide elektrijuhtivus mõõdeti samadest proovidest, mida kasutati pH mõõtmiseks, enne igat mõõtmist puhastati mõõtmisseade destilleeritud vees.

3.4.6 Tuhasisalduse määramine

Katsekehade massikao mõõtmiseks kasutati tuhasisalduse määramist, katsed viidi läbi Eesti Maaülikooli mullateaduse osakonna laboris. Kolmest katsekehast mõõdeti välja proov kaaluga 3 g, mis asetati tiiglitesse. Analüütilise kaaluga mõõdeti tiigli kaal koos prooviga ja asetati muhvelahju, kus proovid tuhastati 4 tunni jooksul +525 °C juures (Tappi, 2007). Pärast tuhastamist asetati tiiglid esmalt eksikaatorisse, millega tiiglid jahutati ja seejärel kaaluti analüütilise kaaluga kõik tiiglid koos tuhaga. Katsekehade tuhasisaldus arvutati järgmise valemi järgi (Tappi, 2007):

$$\text{Tuhasisaldus [\%]} = \frac{\text{Tuha kaal [g]} * 100}{\text{Algmaterjali kaal [g]}}$$

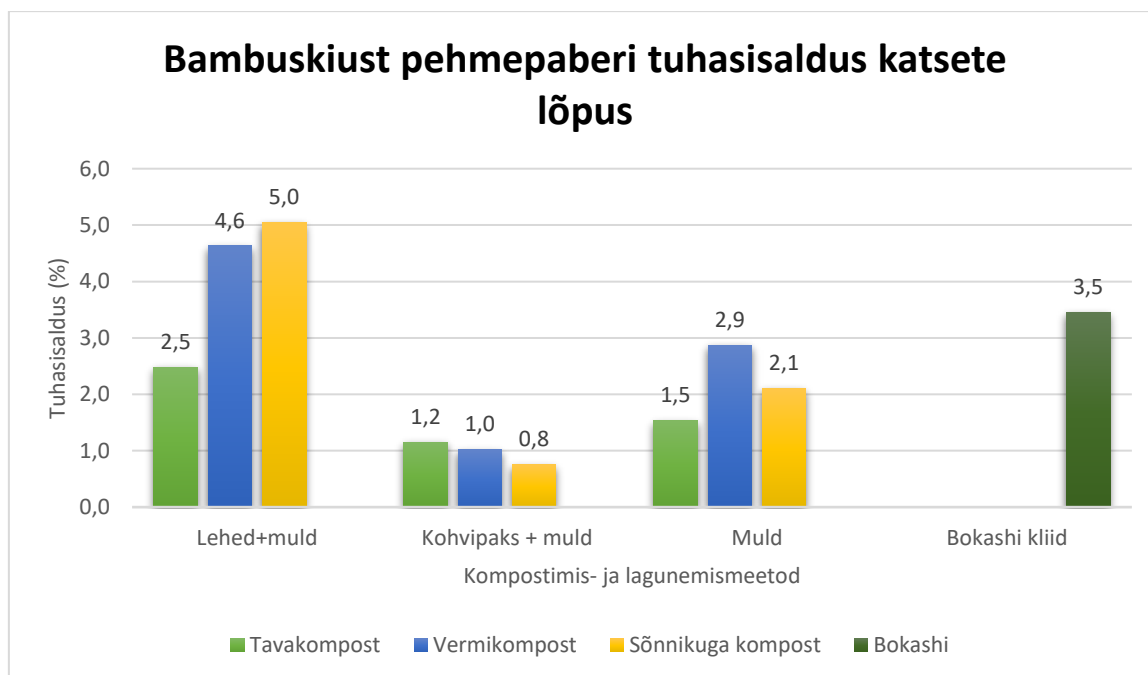
3.5 Statistiline analüüs

Töö statistiline analüüs tehti StatSoft programmiga Statistica 10. Statilistest analüüsimeetoditest kasutati Spearmani korrelatsioonikordajat, millega saab mõõta seost kahe arvulise või pikema skaalaga järjestustunnuse vahel (Rootalu, 2014), ja Kruskal-Wallise mitteparameetrilist testi, millega saab võrrelda üksteisest sõltumatuid kogumeid keskmiste astakute kaudu (Kruskal & Wallis, 1952). Kanoonilise vastavusanalüüsi (CCA) arvutamiseks kasutati programmi CANOCO 4.52, millega analüüsiti vihmaussikoosluse ja keskkonna parameetreid Monte Carlo testiga (999 permutatsiooni) (ter Braak, 1994).

4. TULEMUSED

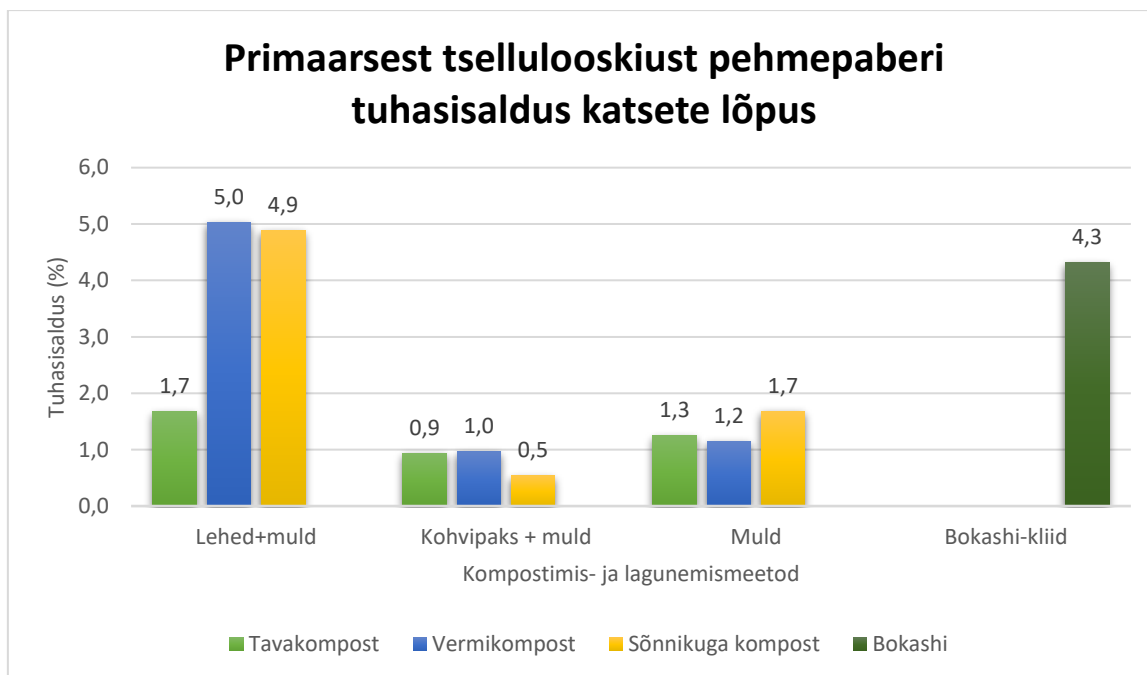
4.1 Pehmepaberi tuhasisaldus

Kõige suurema tuhasisaldusega oli taaskasutatud tselluloosist pehmepaber, mille tuhasisaldus oli 13,3%. Bambuskiust pehmepaberi tuhasisaldus oli 0,4% ja primaarsest tselluloosist pehmepaberi tuhasisaldus oli 0,3%.



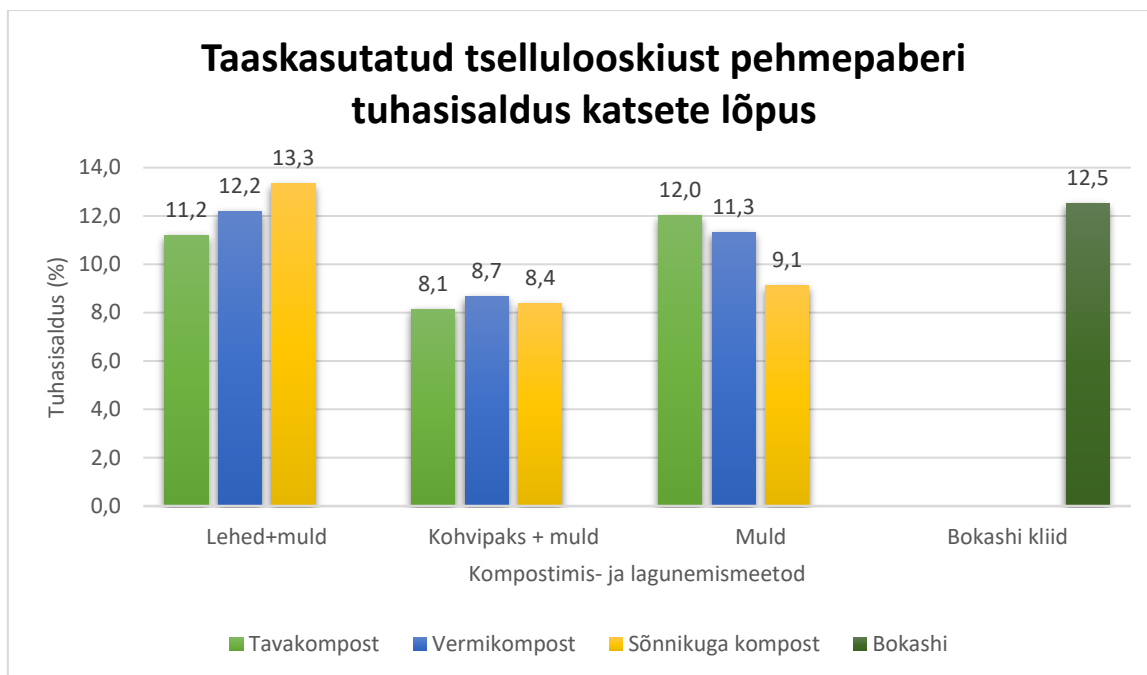
Joonis 4.1 Bambuskiust pehmepaberi tuhasisaldus katsete lõpus.

Pärast kaht nädalat oli bambuskiust pehmepaberi tuhasisaldus tõusnud kõikide katsete puhul (joonis 4.1). Kõige suurem tuhasisaldus, 5%, oli pehmepaberil, mis komposteerus lehtede ja mullaga substraadisegus, mida oli niisutatud sõnnikuleotisega. Kõige suurem erinevus paberite lagunemisel oli lehtede ja mullaga substraadisegus, kus tavakompostimise meetodil lagunenuid pehmepaberi tuhasisaldus oli 2,5%, vermikompostis lagunenuid pehmepaberi puhul 4,6% ja sõnnikuleotisega komposti puhul 5,0%. Seega oli sõnnikuleotisega komposti lagunenuid paberi tuhasisaldus poole kõrgem kui tavakompostis lagunenuid paberi tuhasisaldus.



Joonis 4.2 Primaarsest tsellulooskiust pehmepaberi tuhasisalduse katsete lõpus.

Primaarsest tsellulooskiust pehmepaberi tuhasisaldus tõusis samuti kahe nädalase katse jooksul (joonis 4.2). Kõige vähem tõusis tuhasisaldus kohvipaksu ja mullaga katse puhul, sõnnikuleotisega kompostikatse puhul oli tuhasisalduse tõus vaid 0,2%. Kõige suurem tuhasisaldus oli pehmepaberil, mis komposteerus lehtede ja mullaga substraadis, kuid seda vaid vermikompostimise ja sõnnikuleotisega kompostimise puhul, tulemused olid vastavalt 5,0% ja 4,9%. Tavakompostis jäi lehtede ja mulla substraadiga kompostisegus lagunenu pehmepaberi tuhasisaldus 1,7% juurde, sarnaselt bambuskiust paberiga oli erinevus teiste kompostimismeetoditega lagundatud paberite tuhasisalduste vahel suur. Võrreldes kohvipaksu ja mulla ning mulla substraatides lagunenu paberitega, oli ka *bokashi*-meetodil lagunenu paberi tuhasisaldus suurem, 4,3%.

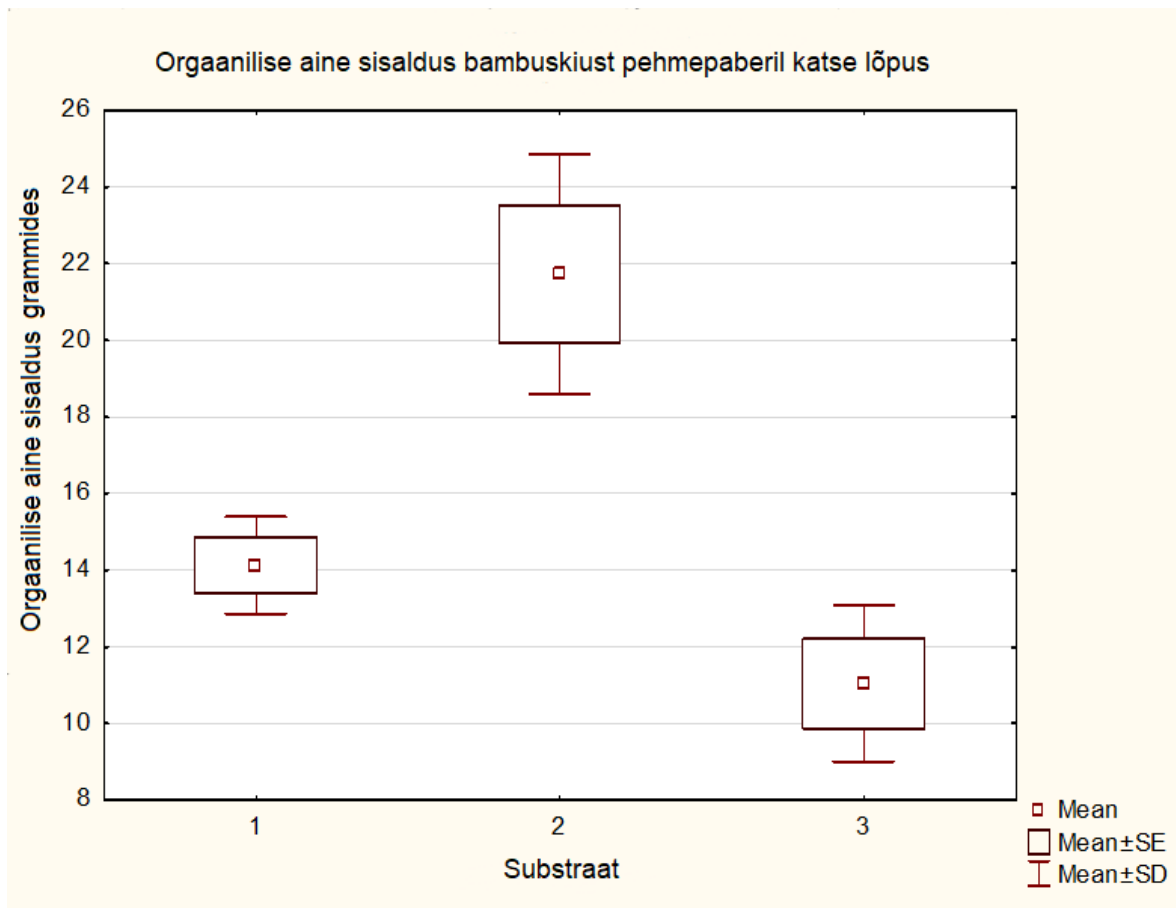


Joonis 4.3 Taaskasutatud tsellulooskiust pehmepaberi tuhasisaldus katsete lõpus.

Taaskasutatud tsellulooskiust pehmepaberi tuhasisaldus langes kõikide katsete jooksul, vaid lehtede ja mullaga substraadisegus sõnnikuleotisega kompostis jäi tuhasisaldus algse tasemega samaks, vastavalt 13,3% (joonis 4.3). Kõige rohkem langes tuhasisaldus kohvipaksu ja mullaga substraadisegus kompostimisel. *Bokashi*-meetodil lagunenuid pehmepaberi tuhasisalduse tulemus oli kõige sarnasem lehtede ja mulla substraadisegus lagunenuid pehmepaberi tuhasisaldustele.

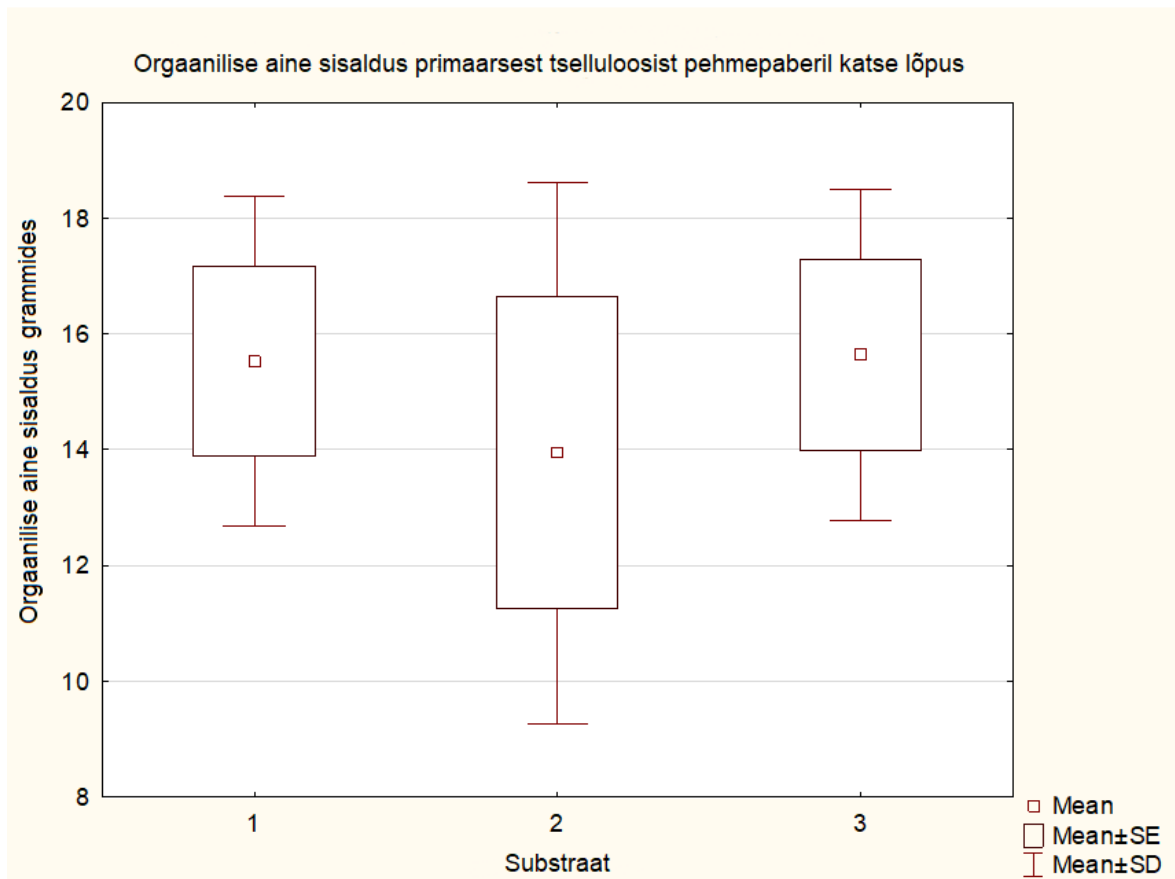
4.2 Orgaanilise aine muutus

Kõige suurema orgaanilise aine sisaldusega oli primaarsest tselluloosist pehmepaber, mille orgaanilise aine sisaldus oli 99,7%. Bambuskiust pehmepaberi orgaanilise aine sisaldus oli 99,6% ja taaskasutatud tselluloosist pehmepaberi orgaanilise aine sisaldus oli 86,7%. Orgaanilise aine sisaldus langes nii bambuskiust kui ka primaarsest tselluloosist pehmepaberi puhul ja tõsis peaaegu kõikide katsete puhul taaskasutatud tselluloosist paberi puhul.



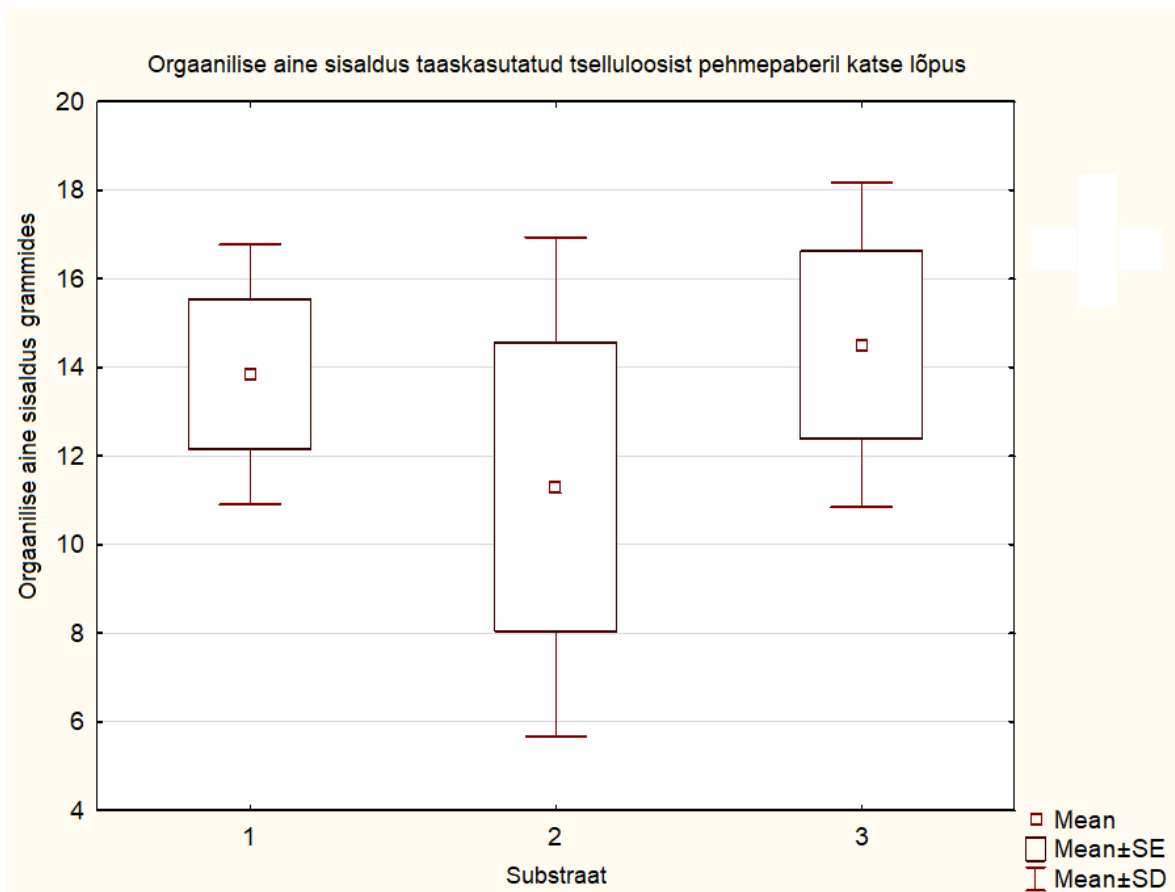
Joonis 4.4 Orgaanilise aine sisaldus bambuskiust pehmepaberil katse lõpus. 1 – lehtede ja mullaga substraat, 2 – kohvipaksu ja mullaga substraat, 3 – mullaga substraat.

Pärast kaht nädalat oli bambuskiust pehmepaberi orgaanilise aine sisaldus langenud kõikide katsete puhul. Kõige rohkem erines teistest substraatidest kohvipaksu ja mullaga substraat, lehtede ja mulla substraat ja mullasubstraat omavahel nii palju ei erinenud (joonis 4.4).



Joonis 4.5 Orgaanilise aine sisaldus primaarsest tselluloosist pehmepaberil katse lõpus. 1 – lehtede ja mullaga substraat, 2 – kohvipaksu ja mullaga substraat, 3 – mullaga substraat.

Pärast kaht nädalat oli primaarsest tselluloosist pehmepaberi orgaanilise aine sisaldus langenud kõikide katsete puhul. Primaarsest tselluloosist pehmepaberi orgaanilise aine sisalduse määramisel ei olnud märgata, et eri substraadisegudes lagunenuid paberid oleks märgatavalt erineva tulemusega (joonis 4.5).



Joonis 4.6 Orgaanilise aine sisaldus taaskasutatud tselluloosist pehmepaberil katse lõpus. 1 – lehtede ja mullaga substraat, 2 – kohvipaksu ja mullaga substraat, 3 – mullaga substraat.

Taaskasutatud tselluloosist pehmepaberi puhul orgaanilise aine sisaldus tõusis kõikide katsete puhul. Taaskasutatud tselluloosist paberi orgaanilise aine sisalduse määramisel ei olnud märgata, et eri substraadisegudes lagunenuid paberid oleks märgatavalt erineva tulemusega (joonis 4.6).

4.3 Substraadi niiskusesisaldus

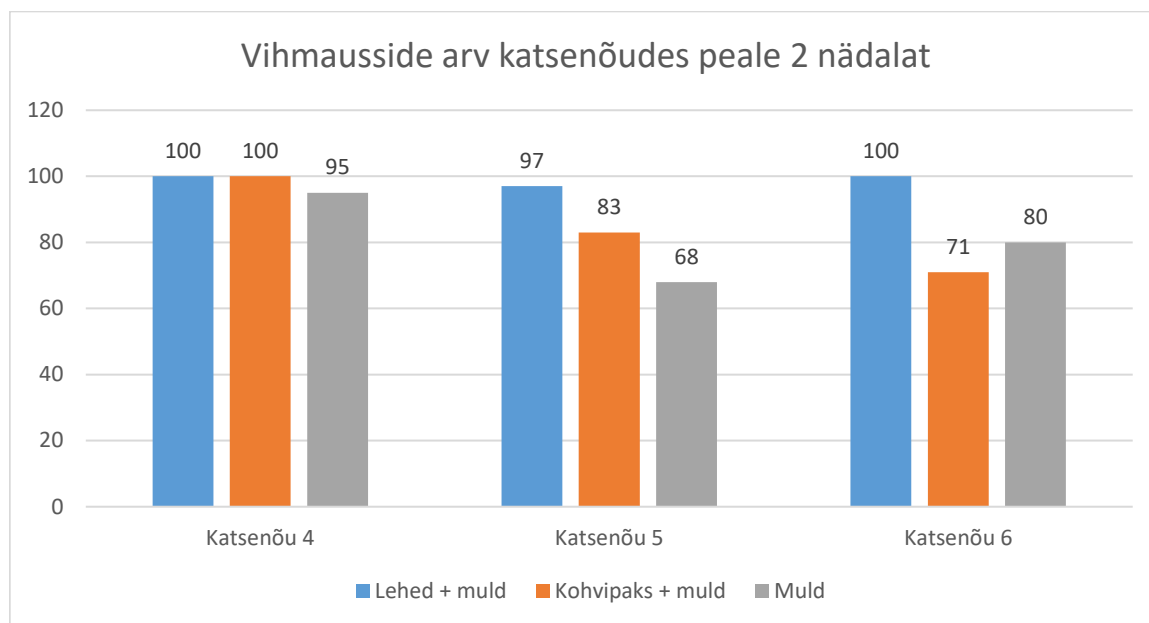
Substraatide niiskusesisaldused jäid kolme katse puhul vahemikku 60,82%–78,28%. Kõige madalam niiskusesisaldus kõikide katsete jooksul oli 60,82%, mis oli kohvipaksu ja mullaga substraadisegul katse alguses. Kõige kõrgem niiskuse tase kõikidest katsetest oli kohvipaksu ja mullaga substraadil vermikompostimisel katse lõpus, 78,28%.

4.4 Mikroobikoosluse hingamisaktiivsus ja mikroobne biomass

Mikroobikoosluse hingamisaktiivsus jäi kolme katse puhul vahemikku 0,008–0,978 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹. Hingamisaktiivsus oli kõrgeim kohvipaksu ja mulla substraadil pärast kahte nädalat kompostiprotsessi, 0,978 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja madalaim mulla substraadil. Kohvipaksu ja mulla substraadi puhul oli katsete lõpus kõrgeim hingamisaktiivsus sõnnikuleotisega kompostimise puhul, järgnes vermikompostimine 0,845 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja tavakompostimine 0,781 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹. Lehtede ja mulla substraadi puhul oli katsete lõpus kõrgeim hingamisaktiivsus tavakompostimisel, 0,510 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹, sõnnikuleotisega kompostimise ja vermiga kompostimise tulemused erinesid omavahel vähe, vastavalt 0,348 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja 0,328 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹. Mullasubstraadiga kompostimisel olid tulemused kõikide substraatide puhul katse lõpus madalad, kõrgeim hingamisaktiivsus oli vermikompostimisel 0,122 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹, seejärel tavakompostimisel 0,100 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja sõnnikuleotisega kompostimisel 0,008 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹.

Mikroobne biomass jäi kolme katse puhul vahemikku 18,32–56,99 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹. Kõrgeim tulemus oli sarnaselt mikroobikoosluse hingamisaktiivsusega kohvipaksu ja mulla substraadil, kõrgeim mikroobne biomass oli vermikompostimisel 56,99 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹, seejärel tavakompostimisel 36,95 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja viimaseks sõnnikuleotisega kompostimisel 32,27 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹. Lehtede ja mulla substraadis oli kõrgeim mikroobne biomass vermikompostimisel 29,42 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹, seejärel sõnnikuleotisega kompostimisel 24,50 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja viimaseks tavakompostimisel 18,32 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹. Mullasubstraadiga olid tulemused vastavalt vermikompostimisel 24,86 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹, sõnnikuleotisega kompostimisel 20,15 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹ ja tavakompostimisel 23,14 mg-O₂ g-KA⁻¹h⁻¹.

4.5 Vihmausside arvu muutus



Joonis 4.2. Vihmausside arv katsenõudes peale 2 nädalat. 1. katse - lehtede ja mullaga substraadisegu, 2. katse - kohvipaksu ja mullaga substraadisegu, 3. katse - mullaga substraadisegu

Iga katse alguses asetati kõikidesse katsenõudesse 100 ussi, kokku kolme kasti peale 300 ussi. Kõigil katsenõudel olid samad tingimused ning ka kompostisegu oli kastide sees sama. Kõikide katsete jooksul püsis vihmausside arv stabiilseim katsenõus 4 (joonis 4.2). Teistes katsenõudes langes vihmausside arv 2. ja 3. katse ajal märgatavalt. 1. katse puhul võib öelda, et vihmausside arv kastides püsis sama võrreldes katse algusega, vaid katsenõus 5 langes vihmausside arv 3 ussi võrra. Teise katse puhul langes katsenõus 5 vihmausside arv 17 ussi võrra ja katsenõus 6 vastavalt 29 ussi võrra. Kolmanda katse puhul langes vihmausside arv 5 ussi võrra katsenõus 4 ja 32 ussi võrra katsenõus 5 ning 20 ussi võrra katsenõus 6.

4.6 Temperatuurimuutus

Katsenõude temperatuurid jäid katsete käigus vahemikku +16...23 °C. Kõige madalam temperatuur mõõdeti kõigis kastides kui esimese katse algusest oli möödas üks nädal. Seejärel tõsteti labori temperatuuri, et tagada kompostiprotsessi toimumine. Kahe nädala möödudes oli kõikide katsenõude järel temperatuur ühtlasel tasemel, lehtede ja mulla substraadiga katse puhul vastavalt +19 °C, kohvipaksu ja mulla substraadiga katse puhul +20 °C ja mullasubstraadiga katse puhul +18 °C.

4.6 Happelisuse muutus

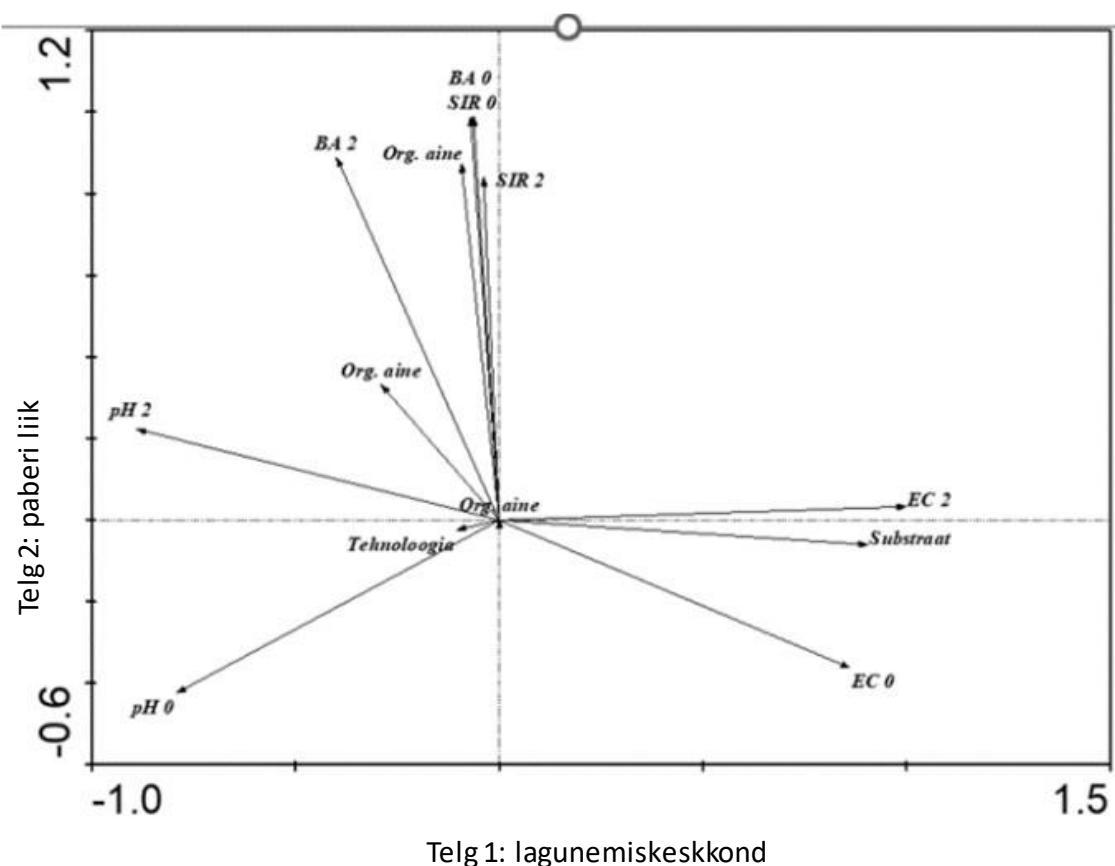
Substraadisegude pH jäi katsete käigus vahemikku 5,35–6,71. Kõige happelisem oli tavaline mullasubstraat katse alguses, pH 5,35. Kõige aluselisem oli sõnnikuleotisega kastetud lehtedest ja mullast koosnenud substraat pärast kahe nädalast katseperioodi. Kõige suurem muutus substraadi pHs toimus kahe nädalase perioodi jooksul kohvipaksu ja mulla substraadis, kus katse alguses oli substraadi pH 5,36 ja katse lõpus sõnnikuleotisega kastetud substraadis, mil pH oli 6,41.

4.7 Elektri juhtivuse muutus

Substraatide elektri juhtivus oli katsetes vahemikus 296–714 $\mu\text{s/cm}$. Kõikide meetoditega kompostimisel katse lõpuks elektri juhtivus langes. Kõige kõrgem oli elektri juhtivus mullasubstraadis, 714 $\mu\text{s/cm}$, kahe nädalase katse järel oli elektri juhtivus sõnnikuleotisega kompostimisel 591 $\mu\text{s/cm}$, tavakompostimisel 549 ja vermikompostimisel 450 $\mu\text{s/cm}$. Lehtede ja mullaga substraadisegu elektri juhtivus oli katse eel 650, kuid langes kõikide lagundamismeetodite puhul – kahe nädala möödudes oli vermikompostimisel elektri juhtivuse tase 329 $\mu\text{s/cm}$, tavakompostimisel 340 $\mu\text{s/cm}$ ja sõnnikuleotisega niisutatud kompostimisel 296 $\mu\text{s/cm}$. Kohvipaksu ja mulla substraadisegu elektri juhtivus oli katse eel 664 $\mu\text{s/cm}$, kahe nädala möödudes oli vermikompostimisel elektri juhtivuse tase 471 $\mu\text{s/cm}$, tavakompostimisel 449 $\mu\text{s/cm}$ ja sõnnikuleotisega kompostimisel 374 $\mu\text{s/cm}$.

4.8 Kompostimiskeskonna tegurite omavahelised mõjud ja seosed

Lagunemiskeskonna tegurite omavahelisi seoseid ja mõjusid uuriti kanoonilise vastavusanalüüsi meetodil (joonis 4.3).



Joonis 4.3. Katselisel kompostimisel mõõdetud tegurite omavahelised mõjud ja seosed.

Org. aine – orgaanilise aine sisalduse muutus katse jooksul, BA 0 – lagunemiskeskonna mikroobikoosluse respiratoorne aktiivsus katse alguses, BA 2 – lagunemiskeskonna mikroobikoosluse respiratoorne aktiivsus katse lõpus, SIR 0 – lagunemiskeskonna mikroobse süsiniku sisaldus katse alguses, SIR 2 – lagunemiskeskonna mikroobse süsiniku sisaldus katse lõpus, pH 0 – lagunemiskeskonna happesuse parameeter katse alguses, pH 2 – lagunemiskeskonna happesuse parameeter katse lõpus, EC 0 – lagunemiskeskonna elektrijuhtivus katse alguses, EC 2 – lagunemiskeskonna elektrijuhtivus katse lõpus, Tehnoloogia – lagunemisviisi mõju protsessile; Substraat – lagunemissubstraadi mõju kompostimise protsessile.

Telg 1 (vertikaaltelg) väljendab joonisel keskkonna mõju lagunemisprotsessile. Keskkonna määravad ära olulisemana substraadi omadused (Substraat), vähemal määral mõjutab protsessi lagunemise meetod (Tehnoloogia). Orgaanilise aine sisalduse muutus on keskkonnast vähe mõjutatud, samuti on vähe mõjutatud mikrobioloogilised

näitajad (BA ja SIR), mis paiknevad joonisel keskkonnatelje lähedal. Tehnoloogia mõjutab substraadi pH-d, substraadi omadused mõjutavad rohkem elektrijuhtivust. Substraadi pH ja EC on vastasmärgilised (paiknevad telje suhtes erinevates suundades), mis tähendab, et neist ühe väärtuse suurenemisel teise parameetri väärtus väheneb.

Telg 2 (horisontaaltelg) väljendab joonisel paberi liigi mõju lagunemisprotsessile. Paberi liik mõjutab kõige enam orgaanilise aine sisaldust komposteeritavas materjalis ja mikrobioloogilisi näitajaid substraadis. Positiivne seos on ka substraadi pH ja elektrijuhtivusega katse lõpus. Negatiivne seos paberi liigi ja samade parameetrite vahel katse alguses tundub pigem juhuslikku laadi ja on seotud erinevate substraatide omadustega.

4.9 Visuaalne muutus

Paberi lagunemist hinnati ka visuaalselt. Pärast teist nädalat vermikompostimist oli paberi lagunemist kõige paremini näha, paber oli pudejas ja pabermaterjali kogus oli vähenenud. Häid tulemusi andis ka komposti sõnnikuleotisega kastmine, vähem oli paberi lagunemist märgata tavalisel kompostimismeetodil ja kõige vähem oli lagunemist märgata *bokashi*-kastis paberi lagundamise puhul.

5. ARUTELU JA JÄRELDUSED

Magistritöös läbiviidud neli lagunemiskatset kestsid kõik kaks nädalat. Selles ajaperioodis toimus muutuseid nii paberi lagunemises kui ka substraadi parameetrites. Paberi lagunemist iseloomustab kõige paremini paberi massimuutus. Tulemuste leidmiseks määrati orgaanilise aine massimuutus, et vältida mulla mineraalosaga saastumise mõju. Selgus, et enamiku katsete puhul suurenes kahe nädala jooksul katsekehadel orgaanilise aine kogus. Põhjuseks võib olla paberile lisanduv orgaanilise aine kogus – paberile kinnitunud seemned ja bakterid. Vermikompostimisel orgaanilise aine mass vähenes, mis näitab, et see meetod on pehmepaberi lagundamiseks efektiivsem. Substraatide võrdlusel erines kohvipaksu ja mullaga substraat, kus orgaanilise aine sisalduse oli katse lõpus kõige suurem.

Vermikompostimise meetodi puhul sobis vihmaussidele kõige paremini lehtede ja mulla substraadisegu, kus oli neile piisavalt õhuhapnikku ja niiskust. Teistes substraatides vihmausside arv 2-nädalase perioodi jooksul vähenes. Substraadisegude niiskussisaldus oli katse vältel sobivas vahemikus kompostimiseks. Temperatuuri- ja pH-muutused substraadisegudes olid väikesed ja sõltusid rohkem temperatuurist ja lagundamismeetodist. Substraadi elektrijuhtivus vähenes katse jooksul oluliselt kõigis substraatides, mis oli seotud orgaanilise aine lagunemisega, seejuures soolaioonide võimaliku ladestumisega laguneva paberi pinnale ning leostumisega substraadist.

Paberisortide võrdluses selgus, et orgaanilise aine mass vähenes nii bambuspaberil kui ka primaarsest tselluloosist valmistatud paberil, kuid tõsiselt taaskasutatud tselluloosist valmistatud paberil. See näitab, et bambuskiust ja primaarsest tselluloosist pehmepaberid lagunesid kiiremini kui taaskasutatud tselluloosist paber.

Paberi lagunemiskiirust mõjutasid positiivselt nii vermikompostimine kui ka tavakompostimisel sõnnikuleotisega kastmine, mistõttu võiks edasistes pehmepaberi lagunemise uuringutes lisada hobusesõnnikut ka vermikompostile, mis osutus näiteks rasvakindla paberi kompostimisel kõige efektiivsemaks lagundamise viisiks (Hanc & Hrebeckova, 2023).

Käesoleva magistritöö tulemuste põhjal tuleks edasi uurida vermikompostimise võimalust suuremas koguses pehmepaberi lagundamiseks. Samuti tuleks uurida seda, et kuidas mõjutavad kompostisegule või *bokashi*-nõusse lisatud muud biojätmed (köögi- ja sööklajajätmed) pehmepaberi lagunemist. Nii toimuks katse võimalikult sarnaselt reaalsele lagunemisprotsessile kompostikastis või *bokashi*-nõus, kuhu

lisatakse ka muid biojätmeid peale pehmepaberi. Varasemate uurimuste põhjal tasuks uurida ka põhu või teepaksu lisamist kompostisegule (Hanc & Hrebeckova, 2023). Lisaks tuleks uurida, milline mõju on paberi lagunemisele ja substraadile siis, kui paber on eelnevalt kokku puutunud kemikaalidega, näiteks köögis üldpuhastusvahendiga.

Pehmepaberi kasutamise vähendamiseks võib kaaluda ka kätekuivatusrullide paigaldamist. Kätekuivatuspaberit ei tohiks asendada kätekuivatusmasinaga, mis võib võrreldes paberi kasutamisega suurendada haigestumise riski (Best et al., 2014).

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli leida kõige optimaalsem viis pehmepaberi lagundamiseks. Töös uuriti bambuskiust, primaarsest tselluloosist ja taaskasutatud tselluloosist pehmepaberi lagunemist erinevates substraadisegudes – puulehed mullaga, kohvipaks mullaga ja muld, kasutades nelja erinevat lagundamismeetodit – tavakompostimine, vermikompostimine, tavakompostimine koos sõnnikuleotisega ning *bokashi*-meetodil lagundamine. Tulemuste väljaselgitamiseks viidi läbi neli kaheädalast katset.

Nelja lagundamiskatse tulemusena selgus, et efektiivseim meetod pehmepaberi lagundamiseks on vermikompostimine. Seda seetõttu, et vermikompostimisel pehmepaberi orgaanilise aine mass vähenes. Ka visuaalsel vaatlusel oli kõige rohkem pehmepaberi lagunemist näha just vermikompostis lagunenuid paberite puhul. Vermikompostimise meetodi puhul sobis vihmaussidele kõige paremini lehtede ja mulla substraadisegu, kus oli neile piisavalt õhuhapnikku ja niiskust. Erinevate paberite võrdluses lagunesid kiiremini bambuskiust paber ja primaarsest tselluloosist paber, taaskasutatud tselluloosist paber lagunes aeglasemalt.

Töö annab ülevaate, milliseid lahendusi eelistada pehmepaberi lagundamisel. Tulemused aitavad leida alternatiivseid käitlusmeetodeid pehmepaberi lagundamiseks ja aitavad kaasa ringmajanduse eesmärkide saavutamisele ja jätkusuutliku jäätmekäitluse arengule.

SUMMARY

The aim of the master's thesis was to find out the optimal decomposition method for tissue paper. Three types of tissue paper – bamboo fiber paper, virgin cellulose paper, and recycled cellulose paper were decomposed in different substrates - tree leaves and soil, coffee grounds and soil and soil. Four decomposing methods were used to test the decomposition - traditional composting, vermicomposting, traditional composting with horse manure tea and the *bokashi*-method.

The results from four different tests showed that the most effective way to decompose tissue paper on a small scale would be vermicomposting, which was also proved by visual observation. While comparing different tissue papers, bamboo fiber paper and virgin cellulose paper broke down more quickly, while recycled cellulose paper broke down more slowly.

The findings from this thesis provide valuable insight for optimising tissue paper decomposition, while contributing to circular economy and sustainable waste management practices.

KASUTATUD KIRJANDUS

Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F. & Nuti, M. (2023). Microbial Community in the Composting Process and Its Positive Impact on the Soil Biota in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 13(2), 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>

Alvarez, J. V., Larrucea, M. A., Bermúdez P. A. & Chicote, B. L. (2009). Biodegradation of paper waste under controlled composting conditions. *Waste Management*, 29(5), 1514-1519. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.025>

Ansari, A. A. & Ismail, S. A. (2012). Role of Earthworms in Vermitechnology. *Journal of Agricultural Technology*, 8(2), 403-415. http://ijat-aatsea.com/pdf/v8_n2_12_March/1_IJAT_2012_8_2__A.A.pdf

Appelhof, M. & Olszewski, J. (2017). *Worms Eat My Garbage, 35th Anniversary Edition: How to Set Up and Maintain a Worm Composting System: Compost Food Waste, Produce Fertilizer for Houseplants and Garden, and Educate Your Kids and Family*. Storey Publishing.

AS Enprima Estivo. (2005). *Biolagunevate jäätmete käitlemine: II-etapp. Projekt 617539*. Keskkonnaministeerium. <https://envir.ee/media/5286/download>

Best, E. L., Parnell, P. & Wilcox M. H. (2014). Microbiological comparison of hand-drying methods: the potential for contamination of the environment, user, and bystander. *Journal of Hospital Infection*, 88(4), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.08.002>

Biolan. (n.d.). *Biolan Aiamaa Must Muld*. Loetud 23. mai 2023 aadressil <https://www.biolan.ee/tooted/biolan-aiamaa-must-muld.html>

Carenoil. (n.d) *Hotbin 200L kiirkomposter*. Loetud 20. mai 2023 aadressil <https://www.carenoil.ee/et/a/hotbin-mk2-200l-kiirkomposter>

- Calrecycle. (n.d.) *Compost Pile Microbes*. Loetud 24. mai 2023 aadressil
<https://calrecycle.ca.gov/organics/homecompost/microbes/>
- Costa Vieira, J., Fiadeiro, P. T., & Costa, A. P. (2023). Converting operations impact on tissue paper product properties – A review. *BioResources*, 18(1), 2303-2326.
<https://doi.org/10.15376/biores.18.1.Vieira>
- Costa Vieira, J., Mendes, A. O., Carta, A. M., Fiadeiro, P. T. & Costa A. P. (2020). Impact of 5-Ply Toilet Paper Configuration on Its Mechanical and Absorption Properties. *BioResources*, 15(4), 7475-7486.
<https://doi.org/10.15376/biores.15.4.7475-7486>
- COOP Haapsalu (s.a.) *Pehme paber*. Loetud 19. mai 2023 aadressil
<https://coophaapsalu.ee/tootekategooria/kodutarbed/pehme-paber/>
- Cudjoe, D. & Han, M. S. (2021). Economic feasibility and environmental impact analysis of landfill gas to energy technology in African urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 284, 125437.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125437>
- da Cunha, K. M. & de Campos, S. X. (2023). Composting in facultative reactors: a review. *Organic Agriculture*, 13, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00406-1>
- de Assis, T., Reisinger, L., Dasmohapatra, S., Pawlak, J., Jameel, H., Pal, L., Kavalew, D., & Gonzalez, R. (2018). Performance and sustainability vs. the shelf price of tissue paper kitchen towels. *BioResources*, 13(3), 6868-6892.
<https://doi.org/10.15376/biores.13.3.6868-6892>
- de Assis, T., Pawlak, J., Pal, L., Jameel, H., Venditti, R., Reisinger, L. W., Kavalew, D. & Gonzalez, R. W. (2019). Comparison of Wood and Non-Wood Market Pulps

for Tissue Paper Application. *BioResources*, 14(3), 6781-6810.

<https://doi.org/10.15376/biores.14.3.6781-6810>

Dominguez, J. & Edwards, C. A. (2011). Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting. In C.A Edwards, N. Q. Arancon & R. Sherman (Eds.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes and Environmental Management* (pp. 27-40). CRC Press.

Edwards, C. A. (2004). *Earthworm Ecology*. CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/9781420039719>

Edwards, C. A. & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms* (3rd ed.). Chapman and Hall.

Eek, L. & Kukk, T. (2013). *Maismaa võõrliikide käsiraamat*. Keskkonnaministeerium.

Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/9780203736005>

EPA United States Environmental Protection Agency. (2023). *Reducing the Impact of Wasted Food by Feeding the Soil and Composting*. Loetud 20. mai 2023 aadressil <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>

Footer, A. (2013). *Bokashi composting : scraps to soil in weeks*. New Society Publishers.

Gemechu, E. D., Butnar, I., Gomà-Camps, J., Pons, A. & Castells, F. (2013). A comparison of the GHG emissions caused by manufacturing tissue paper from virgin pulp or recycled waste paper. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 1618-1628. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0597-x>

- Hanc, A. & Hrebeckova, T. (2023). Compostability and vermicompostability of greaseproof wrapping paper. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32.
<https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101014>
- Higa, T. & Parr, J. F. (1994). *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. International Nature Farming Research Center.
- IEA (2022). *Pulp and Paper*. Loetud 17. mai 2023 aadressil
<https://www.iea.org/reports/pulp-and-paper>, License: CC BY 4.0
- Kruskal, W., & Wallis, W. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583-621.
<https://doi.org/10.2307/2280779>
- Keskkonnaamet (s.a.) *Biojäätmete abimaterjalid KOV keskkonnaspetsialistile*. Loetud 21. mai 2023 aadressil <https://keskkonnaamet.ee/biojaatmete-abimaterjalid-kov-keskkonnaspetsialistile>
- Keskkonnaministeerium (s.a.-a) *Jäätmete liigiti kogumine*. Loetud 16. veebruar 2023 aadressil <https://envir.ee/bio>
- Keskkonnaministeerium (s.a.-b) *Biojäätmed*. Loetud 10. aprill 2023 aadressil <https://envir.ee/biojaatmed>
- Keskkonnaministeerium (2023, 23. mai). *Ringmajandus*.
<https://ringmajandus.envir.ee/et/ringmajandus>
- Kriipsalu, M., Luik, A., Peetsmann, E. (2016). *Abiks väiketootjale: komposti valmistamine*. Eesti Maaülikool.
- Koduwark. (n.d.-a). Bokashi kliid Biogen 1 kg. Loetud 22. mai 2023 aadressil <https://koduwark.ee/products/bokashi-kliid>

- Koduwärk. (n.d.-b). *Bokashi Organko 1 komposter cappuccino / valge 16 L*. Loetud 20. mai 2023 aadressil <https://koduwark.ee/products/bokashi-komposter-cappuccino-valge-komplekt-16-l>
- Kompostiljon. (n.d.-a). *Kolm olulist põhimõtet*. Loetud 18. mai 2023 aadressil <https://www.kompostiljon.ee/kompostimine/3-olulist-pohimotet/>
- Kompostiljon. (n.d.-b). *Kompostimise liigid*. Loetud 19. mai 2023 aadressil <https://www.kompostiljon.ee/kompostimise-liigid/>
- Kompostiljon. (n.d.-c). *Mis on kompostimine?* Loetud 20. mai 2023 aadressil <https://www.kompostiljon.ee/kompostimine/>
- Kompostiljon. (n.d.-d). *Kasulikke nippe*. Loetud 22. mai 2023 aadressil <https://www.kompostiljon.ee/kompostimine/kasulikke-nippe/>
- Kompostiljon. (n.d.-e). *Mida kompostrisse mitte panna?* Loetud 21. mai 2023 aadressil <https://www.kompostiljon.ee/kompostimine/mida-kompostrisse-mitte-panna/>
- Masternak-Janus, A. & Rybaczewska-Błazejowska, M. (2015). Life Cycle Analysis of Tissue Paper Manufacturing From Virgin Pulp or Recycled Waste Paper. *Management and Production Engineering Review*, 6(3), 47–54. <https://doi.org/10.1515/mper-2015-0025>
- Moora, H., Väli, K & Staal, I. (2020). *Segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise ja koguste uuring*. SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2020/10/sortimisuuringu-lopparuanne.pdf>
- More, S. S. (2017). A Literature Review on Rapid Composting Techniques. *International Journal of Research in Engineering, Science and Technologies*, 3(2), 29-33.

- Naidu, R. & Geller, M. (2018). Pulp problems: Why shoppers may pay more for tissues, toilet paper. *Reuters*. Loetud 25. aprill 2023 aadressil <https://www.reuters.com/article/us-usa-trade-pulp-focus-idUSKBN1KL1I6>
- Nguyen, T.-P., Koyama, M. & Nakasaki, K. (2023). Effect of oxygen deficiency on organic matter decomposition during the early stage of composting. *Waste Management*, 160, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.01.034>
- Olasesan, I. P., Ajani, A. O., Atoyebi, A. I., Adekunmi, A. O., Odesanmi, A. A. & Latinwo, G. K. (2022). Anaerobic digestion of organic waste using the Bokashi method to produce organic fertilizer. *World Scientific News*, 172, 70-87. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30771.09766>
- Olle, M. (2020). Short communication: The improvement of the growth of tomato transplants by bokashi tea. *Journal of Agricultural Science*, 31(1), 70-73. <https://doi.org/10.15159/jas.20.10>
- Olle, M. & Williams, I. H. (2013). Effective microorganisms and their influence on vegetable production - A review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), 380-386. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11512979>
- Platen, H. & Wirtz, A. (1999). Application of analysis no 1: Measurement of the respiration activity of soils using the OxiTop® Control measuring system. Basic principles and process characteristic quantities. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH & Co. Germany.
- Reuschenbach, P., Pagga, U. & Strotmann, U. (2003). A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. *Water Research*, 37(7), 1571-1582. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00528-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00528-6)

- Rootalu, K. (2014). Korrelatsioonikordajad. K. Rootalu, V. Kalmus, A. Masso, ja T. Vihalemm (toim). *Sotsiaalse analüüsi meetodite ja metodoloogia õpibaas*.
<http://samm.ut.ee/korrelatsioonikordajad>
- SEI Tallinn. (2013). *Eestis tekkinud segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise uuring*.
<https://www.sei.org/wp-content/uploads/2018/02/4490.pdf>
- Zhang, L. & Sun, X. (2018). Influence of sugar beet pulp and paper waste as bulking agents on physical, chemical, and microbial properties during green waste composting. *Bioresource Technology*, 267, 182-191.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.040>
- Zhang, Y., Han, H. & Man, Y. (2021). Sustainability Evaluation of Tissue Paper under Different Production Paths. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(21), 7341-7351. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c01655>
- Tallinna linn (s.a.) *Biojäätmed*. Loetud 24. aprill 2023 aadressil
<https://www.tallinn.ee/et/keskkond/biojaatmed>
- TalTech (s.a.) *Ülikool arvudes*. Loetud 22. mai 2023 aadressil
<https://taltech.ee/ulikool-arvudes>
- Tappi (2007, 12. märts). *Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C*. <https://www.tappi.org/content/sarg/t211.pdf>
- Tartu linnavalitsus. (2021). Biolagunevad jäätmed – miks kompostida? Loetud 21. mai 2023 aadressil
https://www.tartu.ee/sites/default/files/uploads/Heakord_ja_keskkond/2021_Kompostimise_trukis.pdf

ter Braak, C. J. F. & Verdonschot, P. F. M. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Science* 57, 255–289. <https://doi.org/10.1007/BF00877430>

Timm, T. & Ivask, M. (2006). Kus ja kellele on vihmaussid ohtlikud? *Eesti Loodus*, 10. http://eestiloodus.horisont.ee/artikkel1689_1681.html

LISAD

Lisa 1 Spearmani korrelatsioonikordaja – Bambuskiust paber

Variable	Orgaaniline aine enne	1. nädal	2.nädal	BA alguses	BA 2. nädal
Orgaaniline aine enne	1.000000				
1. nädal		1.000000	0.416667	0.579751	0.483333
2.nädal		0.416667	1.000000	<i>0.895979</i>	<i>0.800000</i>
BA alguses		0.579751	<i>0.895979</i>	1.000000	<i>0.948683</i>
BA 2. nädal		0.483333	<i>0.800000</i>	<i>0.948683</i>	1.000000
SIR alguses		0.579751	<i>0.895979</i>	1.000000	<i>0.948683</i>
SIR 2.nädal		0.283333	<i>0.700000</i>	<i>0.737865</i>	0.633333
pH alguses		0.368932	0.368932	0.500000	0.474342
pH 2. nädal		0.350000	0.350000	0.474342	0.450000
Elektrijuhtivus alguses		-0.368932	-0.368932	-0.500000	-0.474342
Elektrijuhtivus 2. nädal		-0.350000	-0.116667	-0.368932	-0.400000
Lag.viis		0.316228	0.052705	0.000000	0.000000
substraat		-0.368932	-0.368932	-0.500000	-0.474342

Lisa 2 Spearmani korrelatsioonikordaja - Primaarsest tselluloosist paber

Variable	Orgaaniline aine enne	1. nädal	2.nädal	BA alguses	BA 2. nädal
Orgaaniline aine enne	1.000000				
1. nädal		1.000000	0.633333	0.579751	0.466667
2.nädal		0.633333	1.000000	<i>0.790569</i>	<i>0.733333</i>
BA alguses		0.579751	<i>0.790569</i>	1.000000	<i>0.948683</i>
BA 2. nädal		0.466667	<i>0.733333</i>	<i>0.948683</i>	1.000000
SIR alguses		0.579751	<i>0.790569</i>	1.000000	<i>0.948683</i>
SIR 2.nädal		0.300000	0.550000	<i>0.737865</i>	0.633333
pH alguses		0.368932	0.158114	0.500000	0.474342
pH 2. nädal		0.433333	0.233333	0.474342	0.450000
Elektrijuhtivus alguses		-0.368932	-0.158114	-0.500000	-0.474342
Elektrijuhtivus 2. nädal		-0.316667	0.016667	-0.368932	-0.400000
Lag.viis		0.421637	-0.052705	0.000000	0.000000
substraat		-0.368932	-0.158114	-0.500000	-0.474342

Lisa 3 Spearmani korrelatsioonikordaja - Taaskasutatud tselluloosist paber

Variable	Orgaaniline aine enne	1. nädal	2.nädal	BA alguses	BA 2. nädal
Orgaaniline aine enne	1.000000				
1. nädal		1.000000	<i>0.716667</i>	0.579751	0.500000
2.nädal		<i>0.716667</i>	1.000000	<i>0.843274</i>	<i>0.850000</i>
BA alguses		0.579751	<i>0.843274</i>	1.000000	<i>0.948683</i>
BA 2. nädal		0.500000	<i>0.850000</i>	<i>0.948683</i>	1.000000
SIR alguses		0.579751	<i>0.843274</i>	1.000000	<i>0.948683</i>
SIR 2.nädal		0.283333	0.483333	<i>0.737865</i>	0.633333
pH alguses		0.368932	0.263523	0.500000	0.474342
pH 2. nädal		0.466667	0.350000	0.474342	0.450000
Elektrijuhtivus alguses		-0.368932	-0.263523	-0.500000	-0.474342
Elektrijuhtivus 2. nädal		-0.333333	-0.133333	-0.368932	-0.400000
Lag.viis		0.527046	0.105409	0.000000	0.000000
substraat		-0.368932	-0.263523	-0.500000	-0.474342

Lisa 4 Tulemuste tabel

Proovi nr	Paber	Lagundamise viis	Substraat	Aeg (nädal)	Paberi kuivkaal (enne katset) (g)	Katsekeha kuivkaal	Tuhasisaldus (%)	Orgaanilise aine sisaldus (%)	Proovi orgaaniline aine pärast	BA (mg-O2 g-KA-1 h-1)	SIR (mg-O2 g-KA-1 h-1)	pH	Elektrijuhtivus	KA (%)
1	Bambus				9,572		0,37	99,63	9,54					
2	Valge				9,659		0,30	99,70	9,63					
3	Pruun				9,916		13,27	86,73	8,60					
4	Bambus	Kompost	Lehed+muld	1	9,572	11,5188	0,67	99,33	11,44	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
5	Valge	Kompost	Lehed+muld	1	9,659	11,2044	0,60	99,40	11,14	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
6	Pruun	Kompost	Lehed+muld	1	9,916	11,0975	8,69	91,31	10,13	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
7	Bambus	Verm	Lehed+muld	1	9,572	10,8972	1,51	98,49	10,73	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
8	Valge	Verm	Lehed+muld	1	9,659	11,0053	0,98	99,02	10,90	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
9	Pruun	Verm	Lehed+muld	1	9,916	10,4063	9,33	90,67	9,44	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
10	Bambus	Sõnnik	Lehed+muld	1	9,572	14,0233	1,03	98,97	13,88	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
11	Valge	Sõnnik	Lehed+muld	1	9,659	14,1584	1,11	98,89	14,00	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
12	Pruun	Sõnnik	Lehed+muld	1	9,916	13,9523	8,97	91,03	12,70	0,107206	8,230886	5,78	650	34,9
13	Bambus	Kompost	Lehed+muld	2	9,572	14,3246	2,48	97,52	13,97	0,510331	18,3253	6,61	340	23,14
14	Valge	Kompost	Lehed+muld	2	9,659	14,0965	1,67	98,33	13,86	0,510331	18,3253	6,61	340	23,14
15	Pruun	Kompost	Lehed+muld	2	9,916	14,0782	11,20	88,80	12,50	0,510331	18,3253	6,61	340	23,14
16	Bambus	Verm	Lehed+muld	2	9,572	16,2228	4,63	95,37	15,47	0,328558	29,42564	6,63	329	25,8
17	Valge	Verm	Lehed+muld	2	9,659	13,4738	5,03	94,97	12,80	0,328558	29,42564	6,63	329	25,8
18	Pruun	Verm	Lehed+muld	2	9,916	9,7163	12,20	87,80	8,53	0,328558	29,42564	6,63	329	25,8
19	Bambus	Sõnnik	Lehed+muld	2	9,572	13,6418	5,04	94,96	12,95	0,348316	24,50536	6,71	296	24,84
20	Valge	Sõnnik	Lehed+muld	2	9,659	15,7991	4,89	95,11	15,03	0,348316	24,50536	6,71	296	24,84
21	Pruun	Sõnnik	Lehed+muld	2	9,916	15,3169	13,33	86,67	13,27	0,348316	24,50536	6,71	296	24,84
22	Bambus	Kompost	Kohv+muld	1	9,572	15,4369	0,65	99,35	15,34	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
23	Valge	Kompost	Kohv+muld	1	9,659	12,7403	0,52	99,48	12,67	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
24	Pruun	Kompost	Kohv+muld	1	9,916	12,0766	8,34	91,66	11,07	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
25	Bambus	Verm	Kohv+muld	1	9,572	11,3070	0,56	99,44	11,24	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
26	Valge	Verm	Kohv+muld	1	9,659	11,3906	0,46	99,54	11,34	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
27	Pruun	Verm	Kohv+muld	1	9,916	11,3230	8,21	91,79	10,39	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
28	Bambus	Sõnnik	Kohv+muld	1	9,572	13,3346	0,52	99,48	13,27	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
29	Valge	Sõnnik	Kohv+muld	1	9,659	12,1745	0,53	99,47	12,11	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
30	Pruun	Sõnnik	Kohv+muld	1	9,916	12,2851	8,74	91,26	11,21	0,459568	71,2227	5,36	664	39,18
31	Bambus	Kompost	Kohv+muld	2	9,572	19,4845	1,15	98,85	19,26	0,781415	36,95699	6,12	449	28,13
32	Valge	Kompost	Kohv+muld	2	9,659	18,9918	0,94	99,06	18,81	0,781415	36,95699	6,12	449	28,13
33	Pruun	Kompost	Kohv+muld	2	9,916	18,7388	8,14	91,86	17,21	0,781415	36,95699	6,12	449	28,13
34	Bambus	Verm	Kohv+muld	2	9,572	25,4962	1,02	98,98	25,24	0,84515	56,99562	6,29	471	21,72
35	Valge	Verm	Kohv+muld	2	9,659	19,2743	0,96	99,04	19,09	0,84515	56,99562	6,29	471	21,72
36	Pruun	Verm	Kohv+muld	2	9,916	19,4744	8,65	91,35	17,79	0,84515	56,99562	6,29	471	21,72
37	Bambus	Sõnnik	Kohv+muld	2	9,572	20,8168	0,75	99,25	20,66	0,978107	32,27551	6,41	374	23,31
38	Valge	Sõnnik	Kohv+muld	2	9,659	18,8595	0,54	99,46	18,76	0,978107	32,27551	6,41	374	23,31
39	Pruun	Sõnnik	Kohv+muld	2	9,916	20,3319	8,37	91,63	18,63	0,978107	32,27551	6,41	374	23,31
40	Bambus	Kompost	Muld	1	9,572	8,8804	0,92	99,08	8,80	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
41	Valge	Kompost	Muld	1	9,659	10,8081	0,75	99,25	10,73	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
42	Pruun	Kompost	Muld	1	9,916	10,3100	11,98	88,02	9,08	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
43	Bambus	Verm	Muld	1	9,572	10,5143	0,99	99,01	10,41	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
44	Valge	Verm	Muld	1	9,659	10,4484	0,87	99,13	10,36	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
45	Pruun	Verm	Muld	1	9,916	9,8792	9,90	90,10	8,90	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
46	Bambus	Sõnnik	Muld	1	9,572	12,2910	1,60	98,40	12,09	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
47	Valge	Sõnnik	Muld	1	9,659	12,2124	1,11	98,89	12,08	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
48	Pruun	Sõnnik	Muld	1	9,916	11,9912	8,56	91,44	10,97	0,075065	3,161544	5,35	714	38,94
49	Bambus	Kompost	Muld	2	9,572	10,6020	1,53	98,47	10,44	0,100686	18,65088	5,65	549	27,87
50	Valge	Kompost	Muld	2	9,659	14,0824	1,25	98,75	13,91	0,100686	18,65088	5,65	549	27,87
51	Pruun	Kompost	Muld	2	9,916	13,4322	12,00	88,00	11,82	0,100686	18,65088	5,65	549	27,87
52	Bambus	Verm	Muld	2	9,572	9,6530	2,87	97,13	9,38	0,122602	24,86212	5,49	450	28,61
53	Valge	Verm	Muld	2	9,659	10,0787	1,15	98,85	9,96	0,122602	24,86212	5,49	450	28,61
54	Pruun	Verm	Muld	2	9,916	8,5619	11,33	88,67	7,59	0,122602	24,86212	5,49	450	28,61
55	Bambus	Sõnnik	Muld	2	9,572	13,6096	2,10	97,90	13,32	0,008014	20,15746	5,55	591	29,18
56	Valge	Sõnnik	Muld	2	9,659	13,3494	1,68	98,32	13,12	0,008014	20,15746	5,55	591	29,18
57	Pruun	Sõnnik	Muld	2	9,916	12,7822	9,11	90,89	11,62	0,008014	20,15746	5,55	591	29,18
58	Bambus	Bokashi		2	9,572	11,3220	3,45	96,55	10,93					
59	Valge	Bokashi		2	9,659	13,1653	4,32	95,68	12,60					
60	Pruun	Bokashi		2	9,916	14,0376	12,51	87,49	12,28					

