

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž  
Keskkonnakaitse õppetool

**ERINEVATE MIKROOBIKOOSLUSTE EFEKTIIVSUS  
LUHAHEINA LAGUNDAMISEL**

**Bakalaureusetöö tööstusökoloogia erialal**

**Kaisi Kalma**

Juhendaja: Mart Meriste, MSc

Tartu 2014

## **Autorideklaratsioon**

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....  
Kuupäev

.....  
Allkiri

# Sisukord

Sissejuhatus .....	3
1 Kirjanduse ülevaade .....	4
1.1 Orgaanilise aine lagunemine looduses .....	4
1.1.1 Mullaelustik .....	6
1.2 Looduslik lagunemine vs kompostimine .....	8
1.3 Luhtade majandamine .....	10
1.3.1 Võimalikud komposteerimistehnoloogiad ja probleemid luhaheina käitlemisel ....	11
2 Materjal ja metoodika .....	12
3 Tulemused .....	15
3.1 Massikadu erinevate töötlustega karpides ja keskmine massi vähenemine kaalumistel	15
3.2 Kuivmassid katse lõpus ja nende varieeruvus .....	16
3.3 Niiskussisaldus .....	17
3.4 Kalorsus .....	17
4 Arutelu .....	18
Kokkuvõte .....	20
Summary .....	22
Tänuõnad .....	24
Kasutatud kirjandus .....	25
Lisad .....	28

## Sissejuhatus

Luhad ehk lamminiidud on reeglina tekkinud inimtegevuse tulemusena, mis seisnes puude ja põõsaste raiumises, heinategemises ja loomade karjatamises. Sadu aastaid kestnud inimõju ja looduslike tingimuste (üleujutustega kaasnev toitainete ja muda juurdekanne ning liigniiskus) toimel on luhtadel kujunenud välja omapärased taime- ja loomakooslused. Tänapäeval aga puudub suurem huvi luhtade majandamise vastu, kuna loomi peetakse vähe ja heina transportimine ei ole majanduslikult otstarbekas. Lisaks on luhahaheina kvaliteet loomasöödana madalam kui kultuurheinamaade heinal. Loodusliku elustiku säilitamiseks on seetõttu vajalik luhtade hooldamine, et vältida luhaniitude kulustumist, roostumist ja võsastumist. Luhaniitude peamine hooldusviis on nende iga-aastane niitmine koos heina koristamisega. Hein ladustatakse aunadesse ja kuna sellele ei ole veel märkimisväärset kasutust leitud, toob see omakorda kaasa jäätmeprobleemi.

Luhaheina kogused, mis tekivad luhtade hooldamisel on väga suured ja iga aastaga tuleb niidetud heina aina juurde. Mingil määral küll luhahaheina hulk väheneb loodusliku lagunemise tõttu, kuid võrreldes juurde tuleva kogusega on see protsess siiski väga aeglane. Loodusliku orgaanilise aine lagunemisprotsessi kiirust ja efektiivsust mõjutavateks teguriteks on temperatuur, niiskus- ja hapnikusisaldus. Kõik tegurid aga sõltuvad omakorda sellest, millised on kliimatingimused. Lisaks keskkonnateguritele mõjutavad lagunemisprotsessi veel mikroobikooslus ja orgaanilise aine koostis.

Vältimaks suurte koguste luhahaheina kuhjumist, tuleks leida keskkonnasõbralik lahendus selle kiiremaks lagundamiseks. Üks võimalus võiks olla nakatamine teistest allikatest pärinevate lagundajakooslustega.

Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata, erinevate mikroobikoosluste efektiivsust luhahaheina lagundamisel. Töö eesmärgi saavutamiseks püstitas autor järgnevad uurimisküsimused:

- Kas mõni mikroobikooslus tarbib katseperioodi jooksul teistega võrreldes rohkem vett?
- Millisel töötlusel on suurim massikadu katseperioodi jooksul?
- Millisel töötlusel on väikseim kalorsus peale katseperioodi?

# 1 Kirjanduse ülevaade

## 1.1 Orgaanilise aine lagunemine looduses

Orgaanilise aine lagunemine on üks põhilisi protsesse ökosüsteemi toimimises, kuna see moodustab peamise osa toitaineringluses [1]. Lagunemisel toimuvad füüsikalised, keemilised ja bioloogilised protsessid, mis põhjustavad lagunevas orgaanilises aines järjestikuseid muutuseid. [2].

Orgaanilise aine lagunemise käigus leiavad aset üheaegselt nii mineraliseerumine kui ka humifitseerumine – protsessid, mis täiendavad teineteist [3]. Mineraliseerumine on kataboolne protsess, mille käigus orgaaniline aine lagundatakse mineraalaineteks. Humifitseerumiseks nimetatakse protsessi, mille tulemusena taimsed ja loomsed ainevahetussaadused ja jäänused muunduvad biokeemiliselt keeruliseks orgaanilis-mineraalseks kompleksühendiks ehk huumuseks. Mineraliseerumine ja humifitseerumine tekitavad pideva toiteelementide ringe taimede ja mulla vahel. Täielikult mineraliseeruvad ained kasutatakse enamasti kohe uuesti taimede poolt ära, huumusained aga moodustavad aeglaselt vabaneva toitainete varu, mis omakorda mõjutavad mulla viljakust. [4]

Lagunemisprotsessile avaldab suurt mõju lagundatava orgaanilise aine koostis. Taimede organilised komponendid jagunevad kuute laia rühma. [5] Järgnevalt kirjeldab autor neid põgusalt.

**Tselluloos** moodustab peamise osa looduslikest polüsahhariididest. Taimedes on ta põhiliselt rakukestade ehitusmaterjaliks, mis muudab taime tugevaks. Tselluloos moodustab 15-50% taime kuivkaalust. Aeroobsetes tingimustes lagundatakse tselluloos seente, aeroobsete ja fakultatiivselt anaeroobsete bakterite poolt. Tselluloosi lagundamine toimub eksoensüümide - tsellulaaside abil. [5]

**Hemitselluloos** on biopolümeer, mis koosneb kuuhest süsinikust ja viiest süsinikusuhkrust ning uroonhapest. Taime kuivkaalust moodustab see 10-30%. Hemitselluloos esineb kõrvuti tselluloosiga aga ta on amorfsem. Hemitselluloos laguneb kiiremini kui tselluloos, kuna see koosneb lühematest ning nõrgematest ahelatest. Hemitselluloosi on võimelised lagundama nii seened kui ka bakterid aga peamiseks lagundajaks on siiski seened. Lagunemine toimub hemitsellulaas ensüümidega. [5]

**Ligniin** on varieeruva struktuuriga polümeer, milles domineerivad aromaatsed tsükliid. Taime kuivkaalust moodustab see 5-30%. Ligniin sisaldab võrreldes tselluloosiga 50% rohkem süsinikku. Ligniini lagundamise protsess on aeglasem kui tselluloosil ja hemitselluloosil, kuna tal on pikemad ja tugevamad aheldad. Peamised ligniini lagundajad on erinevad kandseened, protsessis osalevad ka mõningad kottseened ja mitmed bakterid. [5]

**Valgud** moodustavad taime kuivkaalust 2-15% ja on oluliseks lämmastikuallikaks lagundajatele. Mikroobid lagundavad neid ühendeid edukalt. Valgud lagundatakse rakuväliste ensüümide proteinaaside ja peptidaaside poolt. Valkude lagundamine toimub nii aeroobselt kui ka anaeroobselt. [5]

**Pektiin** on taimne polüsahhariid, mis kuulub lahustumatu liitpolüsahhariidi peктоosi koostisosa. Puit sisaldab 1-5% pektiini. Pektiini lagundamine toimub anaeroobses keskkonnas. Lagundavad suuresti samad mikroobid, kes lagundavad ka tselluloosi. [5]

Taimejäänused sisaldavad ka **vees lahustuvaid komponente** - aminohappeid, orgaanilisi happeid ja suhkruid. Need ühendid kasutatakse kiiresti ära mikroobide poolt energiaallikana. [5]

Abiootilised tegurid nagu temperatuur, niiskus, substraadi happesusparameeter, hapniku juurdepääs ja substraadi kvaliteet mõjutavad biootilisi tegureid, mis mõjutavad omakorda orgaanilise aine lagunemise kiirust. [6]

Aeroobse lagunemisprotsessi tähtsaim tegur on hapnik, mida lagundajad vajavad hingamiseks, aktiivseks mikroorganismide kasvuks ja lagunemisreaktsioonide läbiviimiseks. [6]

Bioloogilise aktiivsuse üks olulisemaid tegureid on temperatuur, millest sõltub mikroobikoosluste arvukus ja biomassi kasv ning see, kui kiiresti toimub orgaanilise aine mineralisatsioon. Mida madalam on temperatuur, seda aeglasemalt toimub mikroobikoosluste juurdekasv. Temperatuurini +20°C on mikroorganismide elutegevus loid. Vahemik +20°C - +65°C on kõige sobilikum temperatuur seente ja bakterite kasvuks, olenevalt liigile omasest temperatuuri optimumist. [6,7] Enamasti ei talu selliseid temperatuure mesofauna, kes alati osaleb looduslikul lagunemisel. Olukordi, millal aga temperatuur nii kõrgele tõuseb tekib looduses harva. Peaaegu alati on sealjuures tegemist inimtegevuse käigus tekkinud suure koguse orgaanilise aine ladustamisega (kompostimine, luhahaina ladustamine). [4]

Üheks tähtsamaks lagunemisprotsessi reguleerivaks teguriks on niiskusesisaldus, kuna mikroorganismid vajavad oma elutegevuseks vett. Niiskus on vajalik mikroobide metabolismi toimimiseks ja füsioloogilisteks tegevusteks. Niiskusesisalduse 40-60% juures on mikroobide aktiivsus kõige suurem. Niiskusesisaldus alla 30% seab piirid toiteainete kättesaadavusele ja pidurdab mikroobide kasvu. Kui materjal on liiga kuiv, väheneb lagunemise kiirus. Kui niiskuse sisaldus tõuseb üle 65%, hakkab vesi asendama õhku laguneva materjali poorides, mis piirab õhu liikumist. Kõrge niiskusesisaldus (üle 80%) aeglustab lagunemisprotsessi, kuna hapniku sisaldus muutub aeroobse lagunemise jaoks liiga väikeseks. [7,8]

Materjali happesusparameeter mõjutab oluliselt lagunemisprotsessi. Bakterite biomass on suurim, kui pH on neutraalne. Kui pH on madalam kui kuus või kõrgem kui kaheksa, aeglustub biolagunemise kiirus. [7]

Lagunemisprotsessi seisukohast on tähtis ka süsiniku/lämmastiku suhe. C:N on suhtarv, mis tagab vajalike toitainete kogused orgaanilise aine lagunemisel. Õige C/N vahekord viitab üldjuhul ka teiste toitainete olemasolule õigetes kogustes. Sobivaks süsiniku lämmastiku suhteks lagunemisprotsessil loetakse 25 kuni 30:1. [5]

### **1.1.1 Mullaelustik**

Mikroorganismid osalevad peaaegu kõikides keemilistes protsessides, mis toimuvad orgaanilise aine lagundamise käigus. Nad vastutavad orgaanilise aine lagundamise ja toitainete uuesti ringlusesse võtmise eest. [5]

Lagundajad on organismid, kes kasutavad oma toiduks surnud organisme ja viivad läbi lagundamist. Mullaelustik koosneb mitmesugustest organismidest: bakteritest, seentest, vetikatest, samuti vihmaussidest ja putukatest. [5]

Mullaelustikku liigitatakse organismide mõõtmete alusel. Mikrofaunasse kuuluvad organismid, kelle suurus on kuni 0,1 millimeetrit ja sellesse gruppi kuuluvad ümarussid (*Nematoda*) ja ripsloomad (*Ciliata*). Mesofauna moodustavad organismid, kes on väiksemad kui kaks millimeetrit. Need on hooghännalised (*Collembola*), lestalised (*Acarina*) ja valgeliimuklased (*Enchytraeidae*). Makrofaunasse kuuluvad organismid on suuremad kui kaks millimeetrit, kuid väiksemad kui 20 millimeetrit. Sellesse gruppi kuuluvad näiteks kakandilised (*Isopoda*), ämblikulised (*Araneae*), mardikalised (*Coleoptera*). Megafaunasse

kuuluvad organismid, kes on suuremad kui 20 millimeetrit. Need on näiteks vihmauslased (*Lumbricidae*). [4]

Mullaelustikku saab jagada funktsionaalseteks gruppideks nagu risosfääri organismid, lagundajad ja „ökosüsteemi insenerid“. Risosfääri organismid mõjutavad otseselt taime talitlust. Lagundajad lagundavad risosfääris ja varises taimejäänuseid, mis mõjutavad kaudselt taime, sest toitained vabanevad teatud aja jooksul. Mullaliigutajad, keda tuntakse ka ökosüsteemi inseneridena, kujundavad teistele organismidele elupaiku. [4,5]

Kaks suuremat gruppi lagundajaid on bakterid ja seened. Mõlemal grupil on teatud füsioloogilised sarnasused, kui lagundatakse värskeid orgaanilise aine polümeere. Siiski on bakterid vähemolulisemad surnud orgaanilise aine lagundajad, vähemalt lagunemisprotsessi alfaasis [9, 10]. Seened ja bakterid on võimalik jagada funktsionaalseteks alarühmadeks, millel on erinevad omadused ja erinev võime lagundada orgaanilises aines sisalduvaid peamisi keemilisi elemente. [11]

Laiemas tähenduses on bakterid prokarüootid – nii pärisbakterid (*Eubacteria*) kui arhebakterid (*Archaeobacteria*). Nad suudavad iseseisvalt paljuneda ja kasvada. Bakterite suurus on vahemikus 0,3 kuni 3 µm. Kitsamas mõttes käsitletakse bakteritena vaid pärisbaktereid. Enamik mullas elavaid ja lagundavaid baktereid kuulub pärisbakterite hulka. [4]

Seened on eukarüootid ehk päristuumsed organismid. Seente alla kuuluvad mikroorganismid alates üherakulistest organismidest kuni hallitus-, pärm- ja pärisseenteni. Hallitused ja pärisseened on mitmerakulised seened, mis moodustavad peenikesi kõrre-laadseid struktuure – hüüfe. Nad ammutavad toitained keskkonnast [12]. Seened suudavad paremini lagundada raskesti lagundatavat orgaanilist ainet ka keskkonnas, kus on vähe toitained ning suur C/N vahekord. [7]

Mikroorganismid ei lagunda orgaanilist ainet kui üht tervikut, vaid taimekudede orgaaniliste ühendite gruppe lagundatakse selektiivselt. Mõlemate nii bakterite kui ka seente hulgas on organisme, kes suudavad lagundada põhilisi orgaanilise aine polümeere nagu ligniin, tselluloos ja hemitselluloos. [11]



## 1.2 Looduslik lagunemine vs kompostimine

Looduslik lagunemine on loomulik protsess, mis toimub meie ümber iga päev. Sellega väheneb oluliselt orgaanilise aine maht ja toimub toitaineringlus [1]. Kompostimine on inimese poolt juhitud orgaanilise aine lagundamisprotsess [13].

Nii loodusliku lagundamise kui ka kompostimise käigus toimub orgaanilise aine lagundamine ja stabiliseerimine [5,13]. Lagundamise ajal tarbivad mikroorganismid hapniku ja toituvad orgaanilisest ainest, mille tulemusena vabaneb süsinikdioksiid, vesi, soojusenergiat ja toitaineid ning samal ajal tekib huumus [5,14]. Süsinikdioksiidi- ja veekaod moodustavad umbes poole algse materjali kaalust, mille tõttu on lõppmaterjali ruumala ja mass väiksemad algse materjali omast, samal ajal aga muud ained (näiteks lämmastik ja fosfor) kontsentreeruvad [7].

Lagunemisprotsessi viivad läbi lagundajad, kes vajavad kindlaid keskkonnatingimusi (sobiv niiskus, temperatuur, õhustatus), et kiirelt orgaanilist ainet lagundada. Kompostimisel saab erinevate vahenditega neid muuta ning sellega lagunemist oluliselt kiirendada. [15] Loodusliku lagunemist seevastu mõjutab loodus ise ja seega võib looduslik lagunemine olla aeglasem. [2]

Kompostimine läbib optimaalsetel tingimustel (piisav niiskustase, kompostitava materjali piisav maht, sobiv temperatuur jne) neli faasi [7]:

- Mesofiilne faas (kestab paar päeva);
- Termofiilne faas (võib kesta paarist päevast paari kuuni);
- Jahutusfaas;
- Küpsemisfaas (kestab mitu kuud).

Erinevate faaside ajal domineerivad erinevad mikroorganismid. Esimeses faasis lagundavad mesofiilsed bakterid kiiresti lahustuvaid ja kergelt lagundatavaid ühendeid (vees lahustuvad suhkrud, aminohapped) ning bakterite toodetud soojus tõstab kiiresti kompostmaterjali temperatuuri. Alates 40°C hakkavad domineerima termofiilsed mikroorganismid ja mesofiilsete bakterite konkurentsivõime väheneb. Alates 55°C hakkavad hävinema paljud inim- ja taimepatogeenid. Temperatuuril üle 65°C hukuvad paljud mikroorganismid ja väheneb kompostimiskiirus. Termofiilse faasi käigus kiireneb valkude, rasvade, süsivesinike

(tselluloos ja hemitselluloos) lagunemine. Kui need ühendid ammenduvad, hakkab komposti temperatuur langema ning taas hakkavad domineerima mesofiilsed bakterid. Viimases faasis toimub järele jäänud orgaanika lagundamine ning stabiilsemaks muutumine. Temperatuur langeb väliskeskkonna tasemele, suureneb teiste troofiliste tasemete organismide (algloomad, nematoodid, lestad) arvukus. [7]

Seevastu orgaaniline aine looduses üldjuhul ei kuhju, vaid ladestub õhukese kihina. Õhukeses kihis aga ei saa temperatuurid tõusta kõrgele ja seega puudub termofiilne faas. Samuti mõjutab loodusliku lagunemist välistemperatuur, eriti hilissügisel, talvel ja varakevadel, mil lagunemine praktiliselt puudub. Kompostimisel saab aga temperatuuri erinevate vahenditega reguleerida. Näiteks tööstuslikul kompostimisel toimub lagunemisprotsess ka talvel. [7]

Kompostimisel ja looduslikul lagunemisel on hapnik väga oluline. Normaalsel aeroobset lagunemist võimaldab hapniku kontsentratsioon üle 10%. Hapniku juurdepääsu tagamiseks saab kompostimisel materjali aegajalt õhutada, see tähendab segada. Segamise tulemusena kasvab nii mikroorganismide hulk kui ka komposti temperatuur kiiresti. Edukaks kompostimiseks peab kompostitava materjali maht olema vähemalt üks kuupmeeter, et kompost läbiks kõik faasid [16]. Looduslikul lagunemise on orgaaniline aine ladestunud õhukesse kihti, milles on hapniku juurdepääs hea. Kui komposteerimisel on hapniku kontsentratsioon liiga väike võib protsess muutuda anaeroobseks, mis on palju aeglasem. Anaeroobse protsessi tulemusena tekivad gaasid (nt väävelvesinik), mis lõhnavad ebameeldivalt ning on mürgised mikroorganismidele ja inimestele. [7] Looduslikul lagunemisel võib protsess muutuda anaeroobseks kui materjali on veega üle ujutatud, mis võib juhtuda näiteks suure sademete hulga korral või luhtadel üleujutuste ajal. [6]

Samas aga vajavad mikroorganismid oma elutegevuseks niiskust. Ideaalis peaks olema kompostimisel ja looduslikul lagunemisel materjali niiskusesisaldus umbes 40-60%. Lagunemine aeglustub, kui niiskuse osakaal kahaneb alla 40%. Kompostimisel niiskuse osakaal tavaliselt väheneb protsessi kulgemisel, seega tuleb komposti protsessi käigus niisutada. Looduslikul lagunemisel määravad niiskusesisalduse looduslikud tegurid (sademed, temperatuur, pinnase niiskus, varjulisus, kaitstus tuule eest). Kui looduslikul lagunemisel ja ka kompostimisel niiskuse sisaldus materjalis kasvab üle 65%, hakkab see piirama õhu liikumist ja võib tekkida anaeroobne protsess. [5,7]

Looduslikul lagunemisel ja kompostimisel on esmatähtsad toitained, mida vajavad lagunemisprotsessis osalevad mikroorganismid. Need on süsinik (C), lämmastik (N), fosfor (P) ja kaalium (K). Tähtsaim on laguneva materjali süsiniku ja lämmastiku suhe, mille vahemik on sama nii looduslikul lagunemisel kui ka kompostimisel. Lagunemismaterjalide segud, mille C:N suhe on 25:1 kuni 30:1 on ideaalsed aktiivseks lagunemisprotsessiks. Kompostimiseks kasutatakse enamasti erinevaid jäätmeid, mida on võimalik kokku segada nii, et saavutatakse optimaalne C:N suhe, mis tagab vajalike toitainete olemasolu õigetes kogustes. Looduses laguneb orgaaniline aine seal, kuhu see parasjagu ladestub, keegi ei sega erinevatest kohtadest pärit orgaanikat. [2,7]

Lisaks mõjutab nii kompostimist kui ka loodusliku lagunemist materjali pH. Optimaalne pH vahemik on kuus kuni kaheksa. Tavaliselt on kompostimisprotsessis pH vahemikuks viis kuni üheksa. Kui pH asub väljaspool toodud vahemikku, aeglustub biolagunemise kiirus. [5,7]

Loodusliku lagunemist mõjutab pinnase tüüp, millel lagunemine toimub [17]. Looduslikul lagunemisel aitab kaasa ka mullafauna, mis kompostimisel võib osaliselt puududa, kuna puudub ligipääs või on temperatuur nende elukeskkonnaks liiga kõrge. [18] Samas aga võib mesofauna mõjuda ka lagunemisele negatiivselt. Näiteks ämblikud, kes on ühed põhilised kõdikihi kiskjad võivad vähendada hooghännaliste tihedust nii, et see mõjub ka orgaanilise aine lagunemise kiirust. [19]

### **1.3 Luhtade majandamine**

Luhad ehk lamminiidud paiknevad jõgede ja ojade, harvem ka järvede üleujutatavatel lammidel [20]. Luhahein on maha niidetud ja kuivanud rohtne biomass, mis koosneb erinevatest taimeliikidest [21]. Üleujutuste tagajärjel kanduvad luhale setted, milles sisalduvad ained muudavad sealse mulla viljakaks [20]. Taimestik on jõe läheduses lopsakas ent liigivaene, jõest eemaldudes muutub taimestik madalamaks ning ka liigirikkamaks [22]. Luhtadel kasvab puid ja põõsaid vähe, kuna neid niidetakse peale suurvee taandumist ja maapinna tahendamaks muutumist [22]. Luhahein tuleb pärast niitmist ka koristada, et vältida kulustumist, mis takistab taimede idanemist, samuti muutub kulustunud kiht mullaelustikule sobimatuks. Heina koristamine on ka vajalik, et vältida toitainete kuhjumist. Heina kokku kogumiseks tehakse heinarullid, mis kogutakse luha äärealadele aunadesse. [20]

Peale suurvee taandumist on luhtadel maapind veel kaua pehme ja seetõttu on enne suve keskpaika tehnikaga sinna pääsemine keeruline [23]. Niitmise ajaks on aga luhahaina kvaliteet juba niipalju langenud, looma toiduna kasutamiseks ei ole see enam efektiivne ja nii jääb igal aastal suur kogus luhahaina kasutuna aunadesse seisma [20]. Luhtasid ei ole lubatud niita ka enne 1.juulit, et vähendada kahju seal paiknevale niiduelustikule [24].

### **1.3.1 Võimalikud komposteerimistehnoloogiad ja probleemid luhahaina käitlemisel**

Looduslik lagunemisprotsess on aeglane ning igal aastal tekib uus kogus niidetud luhahaina peale. Niidetud kogused on väga suured (kuni 5,7 t/ha kuivaines ühe niite kohta) [25] ning neid ei ole hetkel majanduslikult otstarbekas tööstuslikult käidelda, kuid luhahainale on tarvis leida praktiline rakendus. [20]

Kompostimine on üks võimalus, mida saab kasutada seisma jäänud luhahaina puhul. Meetod on üsna lihtne ja ei eelda väga suuri investeeringuid. Üks võimalus on aunades, mis asuvad luhtade äärealadel ja koosnevad heinapallidest, komposteerimine. Seal aga puuduvad enamasti optimaalsed tingimused, seetõttu toimub lagunemine väga aeglaselt. [26] Lisaks on luhtade äärealadel aunades komposteerimisel probleemiks see, et nad võtavad palju ruumi ja sellel alal ei saa hein kasvada. Aunades komposteerimine ei ole ka visuaalselt eriti ilus. [20]

Luhahaina võiks komposteerida tööstuslikult aunas või vaalus. Siinjuures saab takistuseks asjaolu, et luhahaina niiskussisaldus on liiga väike. [27]. Samuti on probleemiks luhahaina transportimine. Komposteerida tuleks võimalikult tekkekoha lähedal, et vältida kulusid transpordile ja kahju keskkonnale. Luhahaina oleks otstarbekas kasutada pigem struktuurmaterjalina nagu kasutatakse põhku reoveemuda kompostimisel. [28].

## 2 Materjal ja metoodika

Käesolevas töös kasutatud mõõtmistulemused on kogutud töö autori ja juhendaja Mart Meriste poolt. Materjali kogumine toimus 2. oktoobril 2013 välitöödel Matsalus. Materjali puhul oli tegemist maha niidetud luhaheinaga. Proovikoha koordinaadid on 58°47' E 23°50' N, kuid hein võis pärineda ka kaugemalt (niiduki küljest pudenenud). Proovikoht kuulub Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsiooni järgi lamminiitude klassi [21]. Proovikoht paiknes niidu äärealal. Proovikoha taimestiku kõrgus oli enne niitmist keskmiselt 32 cm. Keskmiselt 28% oli maapind paljas, 32% katsid graminoidid (rohttaimed, mis kuuluvad kas kõrreliste, lõikheinaliste või loaliste sugukonda) ja ülejäänud 40% katsid teised taimeliigid. Levinumad taimeliigid olid arujumikas (*Centaurea jacea*), harilik angervaks (*Filipendula ulmaria*), valge ristik (*Trifolium repens*), mets-hiirehernes (*Vicia crassa*), aas-kurereha (*Geranium pratense*). Taimkatte kirjeldus on koostatud 28-29.06.2013 botaanik Anneli Palo poolt Grant 9145 raames.

Välitööde käigus kogutud luhahein viidi Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži mullabioloogia laborisse. Autor, kes teostas laboritöid, lõikas heina umbes viie sentimeetri pikkusteks tükkideks, et seda oleks parem katsekarpidesse paigutada. Seejärel uuriti luhaheina niiskussisaldust kuivaine määramiseks. Laboris kaaluti 20 g luhaheina, mis asetati paberile ja pandi seejärel 24 tunniks kuivatuskappi (Mettler Cooled Incubator with Peltier Technology IPP 200-500) 70°C juurde. Pärast 24 tunni möödumist võeti kuiv proov kapist välja ning kaaluti uuesti. Seejärel saadi vajalikud andmed niiskuse arvutamiseks (niiske proovi mass ja kuiva proovi mass). Kaasa võetud proovide niiskust  $H$  arvutatakse massiprotsentides järgmiselt (valem 1):

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100$$

**Valem 1.** Niiskuse leidmine (massiprotsentides)

Kus

- $m_1$  on proovi algmass (grammides)
- $m_2$  on proovi mass pärast kuivatamist (grammides)

Lisaks kuivatati veel osa luhaheina, et hävitada sellelt looduslik lagundajakooslus. Luhahein asetati 20,5x17x9,6 cm (maht kaks liitrit) kaanega plastikkarpi (vaata lisa 1), iga kaane sisse

oli puuritud kümme auku (läbimõõduga 1,5 mm, kogupindala 0,5 cm<sup>2</sup>) õhu juurdepääsuks. Katses kasutati kolme erinevat luhaheina töötlemisviisi (igast viisist viis kordust). Erinevate töötlemisviiside kirjeldust on näha tabelis 1.

**Tabel 1.** Töötlemisviiside kirjeldus.

Nimetus	Töötlemisviis	Kordused	Kuivmass	Algse materjali niiskus	Niisutamine
Töötlus 1	Kuivatuskapis kuivatamata luhahein	Kõigil 5	Kõigil 20 g	59- 77,86%	200 ml destilleeritud vett
Töötlus 2	Kuivatuskapis kuivatatud luhahein			77,86%	100 ml vermiteed ja 100 ml destilleeritud vett
Töötlus 3	Kuivatuskapis kuivatatud luhahein			77,86%	200 ml destilleeritud vett

Igasse karpi kaaluti heina kuivaaine sisalduse järgi, mille autor oli juba eelnevalt välja arvutanud. Kõigile töötlustele lisati destilleeritud vett, et vältida lisanduvaid kraanivees olevaid mineraale. Töötlusele 2 lisati ka vermiteed, mida saadi kasutades Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledžis olevat vermikomposti. Autor kallas vermikompostrisse ühe liitri vett ja ootas pool tundi ja seejärel lasti vesi komposti alumises ääres olevast kraanist välja. Sellisel teel saadud lahus ongi vermitee.

Karbis oleva materjali niiskust katse algul autor ei tea, kuna see oli kohev ja suurem osa veest oli vedelal kujul 10 mm paksuse kihina karbi põhjas. Kaantel olnud kondensvesi aga näitas, et karbi sisemus oli pidevalt veeauruga küllastunud. Karbis olev hein imes vett kapillaarselt karbi põhjast.

Karbid asetati mullabioloogia labori põrandale maja siseseina äärde ning võimalikult kaugele radiaatoritest, et vältida liigset aurustumist ja võimalikke temperatuurierinevusi. Antud laboris oli õhutemperatuur 20 kuni 22 °C. Katse algas 30.10.2013. Autor kaalus karpe kord nädalas. Kasutades kaalu METTLER PC440, mille täpsus on 1/1000 g.

Kuna luhaheina töödeldi kolmel erineval viisil, siis olid ka kõigis kolme töötlusel algselt erinevad lagundajakooslused. Töötlusel 1 oli looduslik lagundajakooslus, töötlusel 2 oli vermitsee lagundajakooslus ning töötlusel 3 TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit lagundajakooslus. Kõik töötlused olid avatud õhust sadenevatele mikroobidele.

Viimane kaalumine toimus 30.04.2014 ja seega kestis katse kokku 25 nädalat. Katse lõppedes pani autor jääkmaterjali koos karbiga kuivatuskappi (Memmert Cooled Incubator with Peltier Technology IPP 200-500) 70°C juurde 24 tunniks. Seejärel kaaluti karbid koos jääkmaterjaliga üle ja hiljem ka tühjad karbid eraldi, et teada saada kõikide karpide täpset kaalu. Seejärel arvutati välja niiskussisaldus. Selleks kasutati sama valemit (vaata valem 1), mida kasutati ka katse alguses niiskussisalduse leidmiseks.

Järgmiseks tehti kalorimeetrilised mõõtmised. Kõigepealt pidi autor proovimaterjali purustama peenemateks osakesteks (veski MF10), seejärel valmistati tabletipressiga tabletid kaalus ~0,5 grammi. Kalorimeetrilised mõõtmised viidi läbi pomm-kalorimeetriga e2k. Seadme komplekti kuulusid kalorimeeter, jahuti, kalorimeetiline pomm ning seade, mis kalorimeetrilise pommi rõhu alla paneb (gaasina kasutati hapnikku, rõhk 2600 kPa). Kogu protsess on juhitud arvutiga, mis automaatselt tulemused ka salvestab. Kokku tehti 15 mõõtmist, kõigist kordustest üks. Kõiki läbiviidud laboritöid aitasid teha laborant Jane Peda ning insener Sander Kutti.

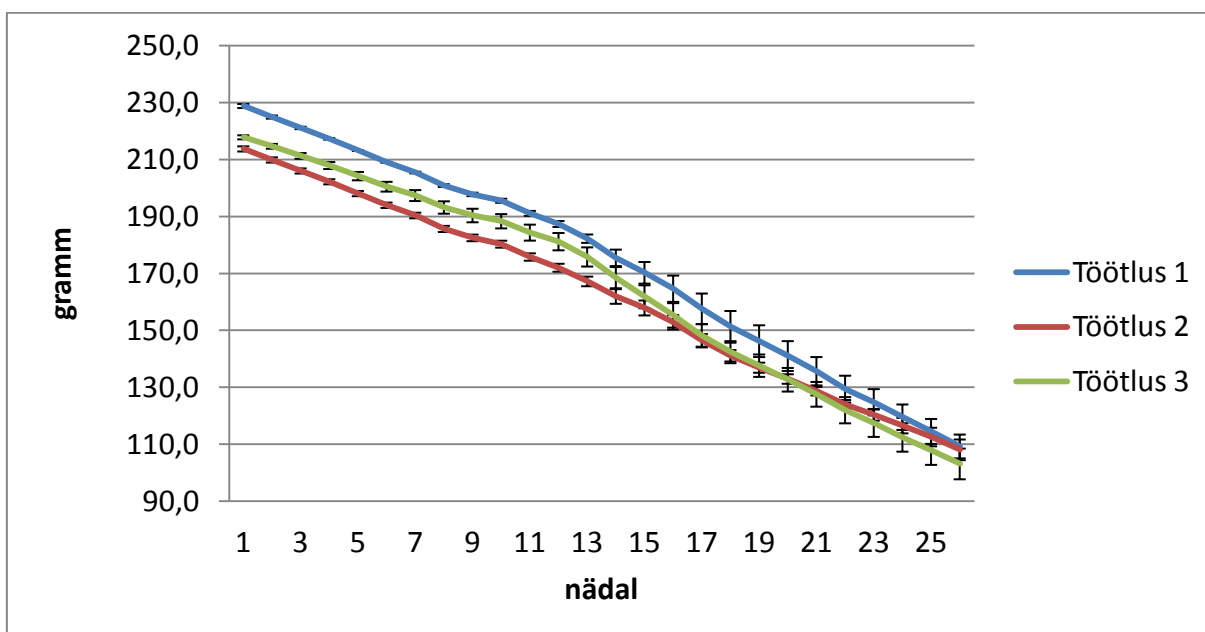
Kogutud andmeid analüüsis autor programmidega Microsoft Excel 2007 ja Statistica 12.0.

### 3 Tulemused

Lagunemisprotsess on oluline aineringete seisukohast ning protsessi kiirust mõjutavad mitmed erinevad tegurid alates keskkonnatingimustest (temperatuur, niiskus, pH, hapniku kättesaadavus jpt) kuni lagundavate organismideni. Erinevad mikroobikooslused mõjutavad luhaheina lagunemise efektiivsust erinevalt, mida on lähemalt uuritud käesolevas töös. Uurimuse tulemused on ära toodud järgmistes alapeatükkides.

#### 3.1 Massikadu erinevate töötlustega karpides ja keskmine massi vähenemine kaalumistel

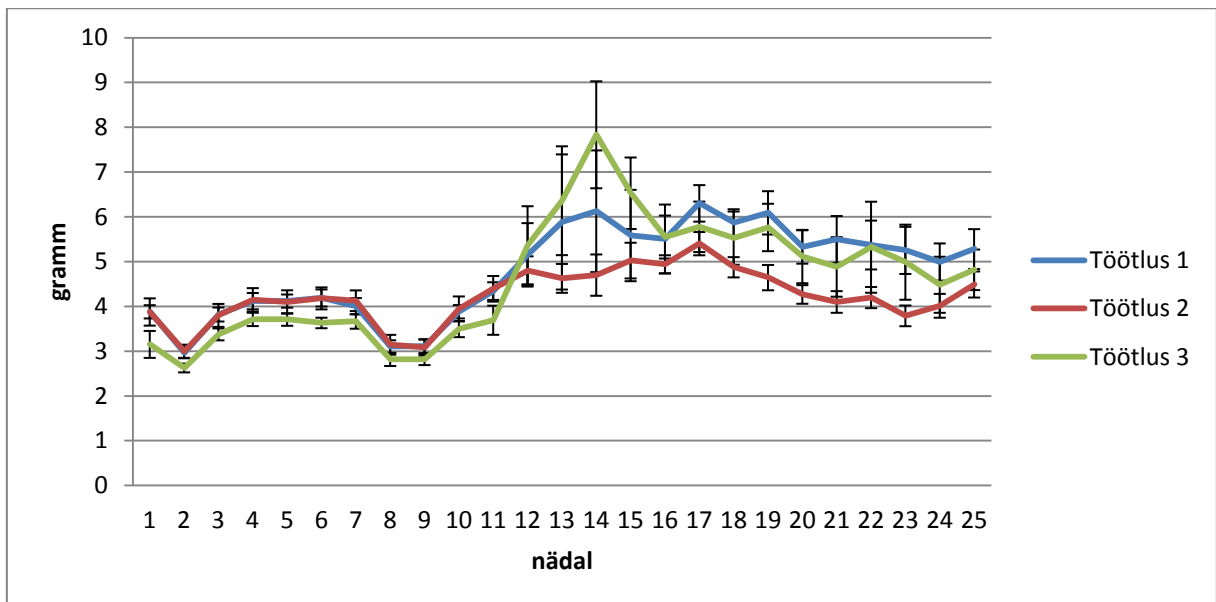
Katse käigus ei mõõdetud jooksvalt eraldi veekadu ja orgaanilise aine kadu. Osa joonisel olevast massikaost on tingitud veekaost. Joonisel 1 on näha keskmine massikadu erinevate töötlustega karpides kogu katse vältel. Töötlus 1 keskmine lõppmass oli 109,27 g, töötlus 2 lõppmass oli 108,09 g ja töötlus 3 oli 103,13 g.



*Joonis 1. Keskmine massikadu erinevate töötlustega karpides kogu katse vältel koos keskmise veaga ( $\pm SE$ ).*

Massi keskmine vähenemine kaalumistel erinevate töötlustega karpides on välja toodud joonisel 2. Töötlusel 1 oli massi vähenemine keskmiselt nädala ajaga 4,79 g, töötlusel 2 keskmiselt 4,23 g ja töötlusel 3 keskmiselt 4,60 g.

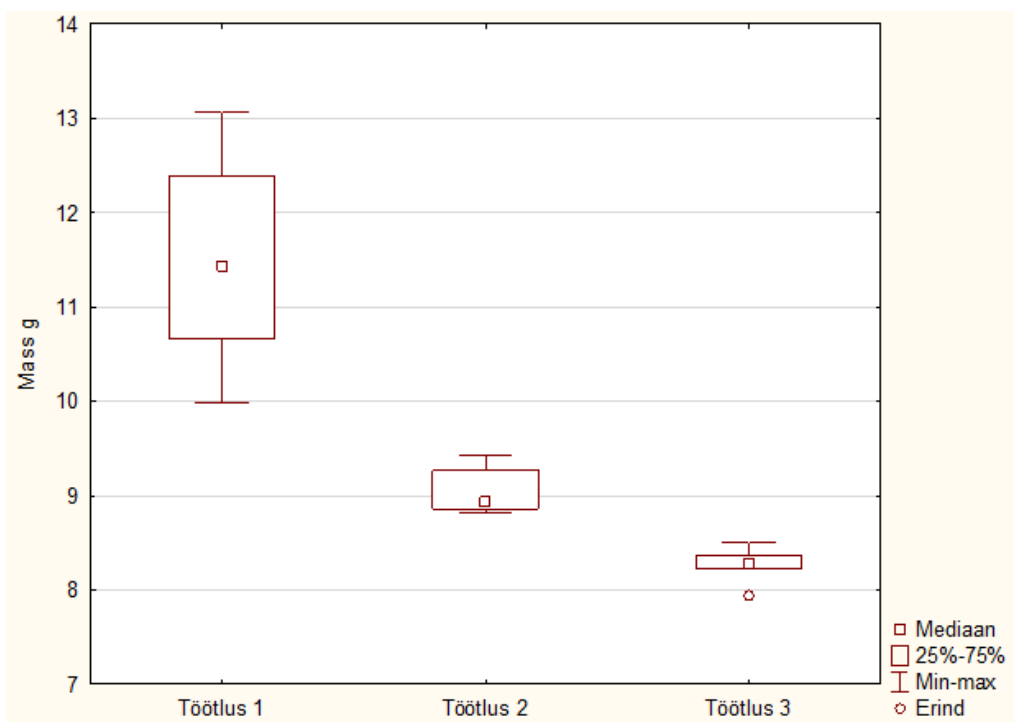




*Joonis 2. Massi keskmine vähenemine erineva töötlusega karpides kaalumistel ( $\pm SE$ ).*

### 3.2 Kuivmassid katse lõpus ja nende varieeruvus

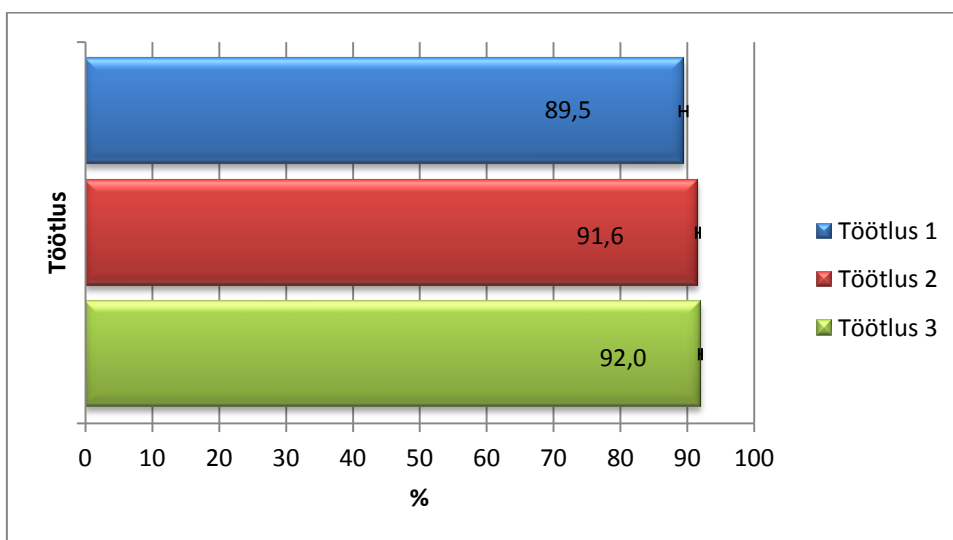
Joonisel 3 on esitatud erinevate töötluste kuivmassid katse lõpus ja nende varieeruvus. Kõige suurem kuivmass katse lõpus oli töötlusel 1, mille viie korduse mediaan oli 11,44 g. Kõige väiksema kuivmassiga oli töötlus 3, mille viie korduse mediaan oli 8,29 g. Ühegi korduse lõppmassid ei kattu.



*Joonis 3. Erinevate töötluste kuivmassid katselõpus ja nende varieeruvus.*

### 3.3 Niiskussisaldus

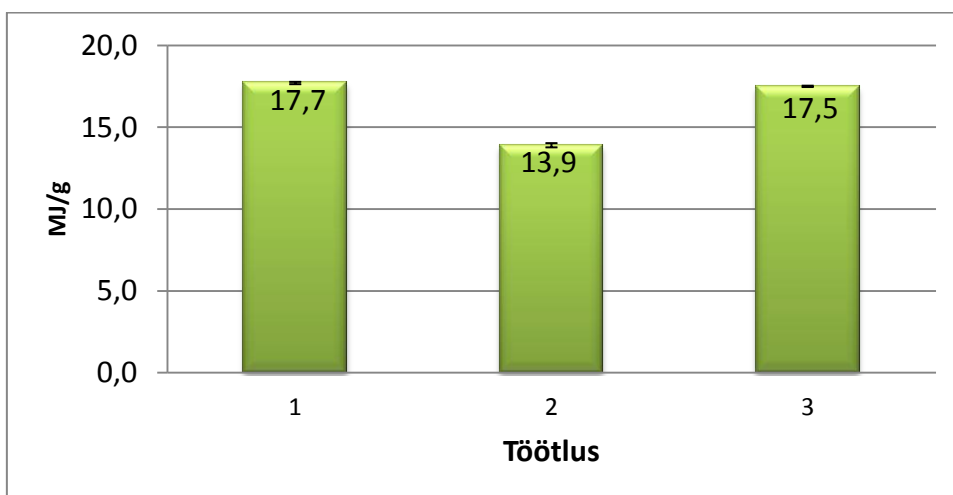
Joonisel 4 on näha erinevate töötluste jääkmaterjalide keskmised niiskussisaldused protsentides. Niiskussisaldused olid kõikidel töötlustel üsna sarnased. Kõige väiksema niiskussisaldusega oli töötlus 1, mille keskmine niiskussisaldus oli 89,5% ja kõige kõrgeim keskmine niiskussisaldus oli töötlusel 3, mis oli 92%.



Joonis 4. Erinevate töötluste jääkmaterjalide keskmised niiskussisaldused ( $\pm SE$ ).

### 3.4 Kalorsus

Erinevate töötluste jääkmaterjalide keskmine kalorsus on välja toodud joonisel 5. Kõrgeim energiasisaldus oli töötlusel 1, mis oli 17,7 MJ/g. Töötlusel 2 oli energiasisaldus 13,9 MJ/g, mis oli madalaim.



Joonis 5. Erinevate töötluste jääkmaterjalide keskmine kalorsus (MJ/g) ( $\pm SE$ ).

## 4 Arutelu

Töö autoril ei õnnestunud leida taolisi uuringuid, mis hõlmaksid luhaheina lagundamist väikestes kogustes. Lisaks ei leidnud autor ka uurimusi, mis kirjeldaks erinevate mikroobikoosluste efektiivsust luhaheina lagundamisele.

Iganädalase kaalumise tulemusena oli näha, et kõigi töötluste mass vähenes suhteliselt ühtlases tempos (joonis 1). Samas aga oli massi keskmine vähenemine kaalumistel erinev (joonis 2). Erinevused on tõenäoliselt põhjustatud lagunemisprotsessi faasidest [29] - teisel kaalumisel oli massikadu väike, kuna lagunemisprotsess alles käivitus. Kaheksandal ja üheksandal kaalumisel oli labori õhutemperatuur reguleeritud jõulupuhkuse ajaks madalamaks ja kuna lagunemine toimus väikestes karpides, oli see mõjutatud välise õhutemperatuuri poolt. Minimaalne kogus orgaanilise aine kompostimisel peaks olema vähemalt üks kuupmeeter [16].

Kõigil töötlustel oli katse lõppedes erinev kuivkaal. Kõige väiksem kuivmass katse lõpus oli töötlusel, milles oli lagundajaks TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit mikroobikooslus. Keskmise kuivmassiga oli töötlus, milles oli lagundajaks vermikompostist pärit mikroobikooslus ja kõige suurema kuivmassiga oli töötlus, milles oli lagundajaks looduslik mikroobikooslus. Massikadu näitab mineraliseerumise kiirust. Mida suurem on lagunemisprotsessil massikadu, seda kiiremini laguneb orgaaniline materjal tagasi anorgaaniliseks [2]. Suurim massikadu oli töötlusel, mille lagundajaks oli TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit kooslus. Loogiline tunduks, et kõige efektiivsem on looduslik kooslus, aga autorile üllatuseks selgus, et massikadu arvestades lagunes kõige kiiremini TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit kooslusega töötlus. Selle põhjuseks võib olla, et kõigil töötlustel oli erinev stardiplatvorm. Töötlusel, mille lagundajaks oli ainult õhust pärit mikroobikooslus puudus mikroobikoosluste vahel konkurents ja seetõttu said mikroobid luhaheina kiiremini lagundama hakata [30].

Katse käigus ei kastetud töötlusi kordagi, kuna puudus vajadus. Optimaalne niiskussisaldus lagunemisprotsessi käigus, mille jooksul toimub aeroobne lagunemine on 30 kuni 80% [8]. Katse lõpus olid töötluste niiskussisaldused keskmiselt 89,5 kuni 92% (joonis 4), mis on kõrgem kui aeroobseks lagunemiseks sobiv. Katse lõpuks oli materjali 15 mm paksuse kihina karbi põhjas ja vähemalt selle ( $348,5 \text{ cm}^2$ ) pind oli kindlalt aeroobne. Enamuse katse ajast oli küll vett palju, aga see oli karbi põhjas ja suurem osa kuivmassist oli õhkkeskkonnas.

Keskmise niiskussisalduse varieeruvus erinevatel töötlustel oli väga väike (maksimum 2,5%), seega võib öelda, et ükski töötlus ei tarbinud teistega võrreldes rohkem vett.

Lisaks määras autor erinevate töötluste energiasisalduse. Mida väiksem on materjali energiasisaldus, seda lagunenum on materjal [17]. Kõige suurem energiasisaldus oli töötlusel, mille lagundajaks oli looduslik mikroobikooslus (17.7 MJ/g), seejärel töötlus, mille lagundajaks oli TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit mikroobikooslus (17,5MJ/g) ja kõige väiksema energiasisaldusega oli töötlus, mille lagundajaks oli vermikompostist pärit mikroobikooslus (13,9 MJ/g). Erinevate töötluste korduste kalorsuse varieeruvus oli väga väike (maksimum standardhälve 0,15 MJ/g). Selle tulemuse järgi võib öelda, et kõige rohkem oli lagunenum töötlus, mille lagundajaks oli vermikompostist pärit mikroobikooslus. Põhjuseks võib olla, et vermikompostist pärit kooslus lagundab efektiivsemalt kõrgema energiasisaldusega koostisosi (ligniini), mistõttu massikao ja energiasisalduse tulemused ei kattu. Vermikompostist pärinev mikroobikooslus saadi kasutades vermiteed, mis sisaldab erinevaid mineraale, ensüüme, vitamiine ja aminohappeid [31]. Tuhasisaldust, mis näitab mineraalainet, autor ei mõõtnud, kuna luhahain on homogeenne materjali, mille lagunemisel tuleb massikadu orgaanilise aine kaost (lahkub süsihappegaas ja vesi), mineraalainet jääb samaks.

Katse ajal oleks võinud mõõta ka ruumi õhutemperatuuri, et teada kui palju sõltus massi vähenemine temperatuurist, kuid ülikoolil puudus termomeeter, mis salvestaks temperatuure. Käesoleva töö eesmärgideni jõudmiseks piisas sellest, et kõik töötlused olid samal temperatuuril. Lisaks oleks võinud mõõta gaasivahetust, uurida seente ja bakterite vahekorda ja erinevate ainete osakaalude muutusi protsessi vältel, saamaks teada, miks vermikompostist pärineva kooslusega töötluse kuivmass vähenes aeglasemalt kui tema energiasisaldus. Neid parameetreid võiks uurida edaspidistes töödes.

Käesoleva töö eesmärgiks oli hinnata erinevate mikroobikoosluste efektiivsust luhahaina lagundamisel. Kokkuvõtvalt võib öelda, et erinevad mikroobikooslused mõjutavad luhahaina lagunemist erineva efektiivsusega, kuna katse lõppedes olid töötluste kuivaainesisaldused ja kalorsused erinevad. Samas ei saa teha järeldusi pikema katseperioodi, suurema kogus jms kohta.

## Kokkuvõte

Pärast iga-aastast niitmist ja koristamist jäävad luhtade äärealadele suured heinapallidest koosnevad aunad, kuna luhahainale pole märkimisväärset kasutust leitud. Aunades toimub looduslikult passiivne lagunemine. Lagunemisprotsessi mõjutavad looduse poolt reguleeritud keskkonnategurid (välisõhu temperatuur, niiskus pH jpt) ja lagundavate mikroobikoosluste koosseis. Vältimaks suurte koguste luhahaina kuhjumist, tuleks leida keskkonnasõbralik lahendus selle kiiremaks lagundamiseks. Töö autor uuris, kas luhahaina lagunemisprotsessi oleks võimalik kiirendada nakatades heina muude lagundajakooslustega.

Käesolevas töös uuriti katseperioodil erinevate töötuste vee tarbimist ja massikadu ning katseperioodi lõpus jääkmaterjali kalorsust. Katses kasutati kolme erinevat luhahaina lagundamise töötlust: loodusliku mikroobikooslusega, vermikompostist pärit mikroobikooslusega ja TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit mikroobikooslusega. Keskmine niiskussisaldus varieeruvus erinevatel töötlustel oli väga väike, võib öelda, et ükski töötlus ei tarbinud teistega võrreldes rohkem vett. Iganädalase kaalumise tulemusena oli näha, et kõigi töötluste mass vähenes suhteliselt ühtlases tempos. Samas aga oli massi keskmine vähenemine kaalumistel erinev, mis on põhjustatud lagunemisprotsessi faasidest ja kõikuvast õhutemperatuurist. Kõigil töötlustel oli katse lõppedes erinev kuivkaal. Kõige suurem massikadu oli töötlusel, milles oli lagundajaks TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit mikroobikooslus. Mida suurem on lagunemisprotsessil massikadu, seda kiiremini laguneb orgaaniline materjal tagasi anorgaaniliseks. Kõige väiksem energiasisaldus oli töötlusel, mille lagundamise kasutati vermikompostist pärinevat mikroobikooslust. Mida väiksem on materjali energiasisaldus, seda lagunenum on materjal.

Käesoleva töö eesmärgiks oli hinnata erinevate mikroobikoosluste efektiivsust luhahaina lagundamisel. Kõigi katsete tulemusena võib öelda, et erinevad mikroobikooslused mõjutavad luhahaina lagunemist erineva efektiivsusega, kuna katse lõppedes olid töötluste kuivaainesisaldused ja kalorsused erinevad. Niiskusesisalduse põhjal võib öelda, et kõik töötlustel lagunesid erinevate mikroobikooslustega ühtemoodi. Massikao põhjal saab järeldada, et kõige efektiivsemalt mõjutas luhahaina lagunemist TTÜ mullabiloogia labori õhust pärit mikroobikooslus. Kalorsuse põhjal oli kõige efektiivsem vermikompostist pärit mikroobikooslus.

Tuginedes töö käigus läbiviidud katsete tulemusele leiab autor, et kõik püstitatud uurimisülesanded said täidetud. Täiendavat uurimist vajaks veel seente ja bakterite vahekord, et saada rohkem informatsiooni, mis võimaldaks teha täpsemaid järeldusi erinevate mikroobikoosluste efektiivsuse kohta lagunemisprotsessis.

## Summary

This paper is written by Kaisi Kalma and is entitled "The efficiency of different microbial communities on decomposition of hay from flooded meadows".

After annual hay mowing and gathering big haypiles are standing on the side of the meadow, because there is no considerable use for it. Natural decomposing is taking place in the haypiles. The process of decomposing is affected by environmental factors regulated by nature (temperature, moisture, pH etc.) and decomposing microbial community. To avoid piling up huge amounts of hay, environment friendly solution for faster decomposition of hay has to be found. The author of this study studied if it is possible to accelerate the process of decomposition of hay by infecting it with other decomposer communities.

In the present study the author examined water consumption and weight loss of different treatments on the test period and the calorific value of residual material in the end of the test period. Three different decomposition treatments for the hay from flooded meadows were used in this study: natural microbial community, microbial community from vermicompost and airborne microbial community from the TUT Soil Biology Laboratory. Variation of average moisture content of different treatments was insignificant, which means that any treatment did not consume more water compared to other treatments. A result of weekly weighing showed that the weight of all treatments decreased in relatively steady pace. While the average decrease of weight was different, which was caused by the phases of the decomposition process and unstable temperature. In the end of the test all treatments had different dry weight. Treatment that included airborne microbial community as a decomposer had the biggest weight loss. The greater the weight loss is during the composition process, the faster is the decomposition of organic material back to anorganic. The treatment in which microbial community from vermicompost was used for decomposing, had the smallest energy content. The smaller the energy content of the material is, the more it is decomposed.

The aim of the present study was to assess the efficiency of different microbial communities on decomposition of hay from flooded meadows. Results of all tests show that different microbial communities affect decomposition of hay with different efficiency since in the end of the test dry matter contents and the calorific values were different. On the basis of moisture content all treatments with different microbial communities decomposed in the same way. Weight loss showed that airborne microbial community was decomposing hay most

efficiently. On the basis of the calorific value the most efficient was microbial community from vermicompost.

Based on the results of the tests carried out, the author finds that all set research tasks were filled. Further research of the relation of fungus and bacteria is needed to get more information for making more accurate conclusions about the efficiency of different microbial communities in decomposition process.



## Tänuõnad

Töö autor soovib avaldada tänu Tallinna Tehnikaülikooli lektorile Mart Meristele hea ning oskusliku juhendamise eest. Lisaks suured tänud Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži Keskkonnakaitse õppetooli insener Sander Kuttile ja laborant Jane Pedale, kes aitasid läbi viia laboritöid ning ühiste diskussioonide eest, mis aitasid kaasa töö valmimisele. Autor tänab ka Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledžit, botaanik Anneli Palo, oma perekonda, kursusekaaslast ja sõpru.

## Kasutatud kirjandus

1. **Moretto, A.S., Distel R.A., Didoné, N.G.** 2001. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. *Applied Soil Ecology*. 18. p. 31–37
2. **Berg, B., McLaugherty, C.** 2004. *Plant litter – Decomposition, Humus Formation and Carbon Sequestration*. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K. Germany. 352. p.
3. **Aneja, M.K., Sharma, S., Fleischmann, F., Stich, S., Heller, W., Bahnweg, G., Munch, J.C., Schloter, M.** 2006. Microbial Colonization of Beech and Spruce Litter—Influence of Decomposition Site and Plant Litter Species on the Diversity of Microbial Community. *Microbial Ecology*. 52. p. 127-135
4. **Lavelle, P., Spain, A. V.** 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London. 654. p.
5. **Alexander, M.** 1991. *Introduction to Soil Microbiology*. Krieger Publishing Company, Malabar/Florida. 467. p.
6. **Summers, M.D., Blunk, S.L., Jenkins, M.J.** 2003. How Straw Decomposes. [http://naturalbuildingcoalition.ca/Resources/Documents/Technical/how\\_straw\\_decomposes.pdf](http://naturalbuildingcoalition.ca/Resources/Documents/Technical/how_straw_decomposes.pdf) (28.04.2014)
7. **Keskkonnaministeerium.** 2005. Biolagunevate jäätmete käitlemine II-etapp
8. **Lewandowski, G.A., DeFilippi, L.J.** 1998. *Biological treatment of hazardous waste*. John Wiley & Sons, USA. 416. P.
9. **Newelle, S.Y.** 1993 Decomposition of shoots of a saltmarsh grass: methodology and dynamics of microbial assemblages. *Advances in Microbial Ecology*. 13. p. 301-326
10. **Kominkova, D., Kuehn, K.A., Busing, N., Stein, D., Gessner, M.O.** 2000. Microbial biomass, growth, and respiration associate with submerge with litter of *Phragmites australis* decomposing in a littoral reed stand of a large lake. *Aquatic Microbial Ecology*. 22. p. 271-282

- 11. Berg, B. Laskowski, R.** 2006. Decomposers: soil microorganisms and animals. *Advances in Ecological Research*. 38. p. 73–100.
- 12. Willey, J. M., Sherwood, L., Woolverton, C. J., & Prescott, L. M.** (2009). *Prescott's principles of microbiology*. Boston: McGraw-Hill Higher Education. p. 845
- 13. Epstein, E.** 1997. *The Science of composting*. CRC Press. USA. p. 19-77
- 14. Trautmann, N., Olyneiw, E.** *Compost Microorganisms*.  
<http://compost.css.cornell.edu/microorg.html> (28.04.2014)
- 15. Haynes, R. J.** 1986. *The decomposition process: Mineralization, immobilisation, humus formation and degradation. Mineral nitrogen in the plant – soil system*. Orlando Academic Press. USA. p. 52-126.
- 16. Kriipsalu, M.** 2001. *Jäätmeraamat. „Ehitame“ kirjastus*. Tallinn. 101 lk.
- 17. Koukoura, Z., Mamolosb, A.P, Kalburtjib, K.L.** 2003. *Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland*. *Applied Soil Ecology*. 23.p.13-23
- 18. Smith, V.C., Bradford, M.A.** 2003 *Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time*. *Applied Soil Ecology*. 24.p.197-203
- 19. Lawrence, K.L., Wise, D.H.** 2000. *Spider predation on forest-floor Collembola and evidence for indirect effects on decomposition*. *Pedobiologia*. 44. p. 33–39
- 20. Kuk, T.** 2004. *Pärandkooslused. Käsiraamat. Pärandkoosluste kaitse ühing*. Tartu. 256 lk.
- 21. Paal, J.** 2004 . *Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon (1997 järg, täiendatud ja parandatud)*. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn. 297 lk.
- 22. Metsoja, J-A.** 2011. *Luhtade Hoolduskava*. 35 lk.
- 23. Tobias W.D., Hölzel, N., Bissels, S., Otte, A.** 2004. *Perspectives for incorporating biomass from non-intensively managed temperate flood-meadows into farming systems*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 104. p. 439–451.

- 24. Loodushoiutoetuse taotlemise, taotluse läbivaatamise ja toetuse maksmise kord, nõuded toetuse maksmiseks ja toetuse määrad.** Keskkonnaministri määrus. 14.06.2004. RTL 2004, 75, 1228.
- 25. Eesti Konjunkturiinstituut.** Ülevaade Eesti bioenergia turust 2010. aastal. [http://www.ki.ee/publikatsioonid/valmis/Ylevaade\\_Eesti\\_bioenergia\\_turust\\_2010.\\_aastal.pdf](http://www.ki.ee/publikatsioonid/valmis/Ylevaade_Eesti_bioenergia_turust_2010._aastal.pdf) (28.05.2014)
- 26. Kärmas, L.** 2012. Välistingimustes ladustatud lühaheina bioloogilise lagunemisprotsessi ruumiline heterogeensus. Magistritöö
- 27. Källe, M.** Kohalikud biokütused ja Lihula katlamaja. [http://www.mv.hiiumaa.ee/uploads/energia/kohalikud\\_biokutused\\_ja\\_lihula\\_katlamaja.pdf](http://www.mv.hiiumaa.ee/uploads/energia/kohalikud_biokutused_ja_lihula_katlamaja.pdf) (28.05.2014)
- 28. AS J.J.T.** Tahemuda komposteerimine <http://www.jit.ee/index.php/et/tooted-ja-teenused/backhus-komposteerimisseadmed/komposteerimise-tehnoloogiad> (28.05.2014)
- 29. Dewiyanti, I.** 2010. Litter decomposition of *Rhizophora stylosa* in Sabang-Weh Island, Aceh, Indonesia; evidence from mass loss and nutrients. *Bioversitas*. 11(3). p. 139-144
- 30. Olsson, J.** 2008. Colonization Patterns of Wood-inhabiting Fungi in Boreal Forest. Doctoral Dissertation.
- 31. Dominguez, J.** 2004. State- of- the- Art and New Perspectives on Vermicomposting Research. CRC Press. USA. 456 p.



*Joonis 6. Foto katsekarbist*