

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž  
Keskkonnakaitse õppetool

**ERINEVATE SUBSTRAATIDE NING  
MULLAELUSTIKU MÕJU MÄNNI- JA KASEVARISE  
LAGUNEMISELE**

**Magistritöö tööstusökoloogia erialal**

**Kadi Siilik**

Juhendaja: Ph.D Annely Kuu

Kaasjuhendaja: M.Sc Jane Peda

Tartu 2014

## **Autorideklaratsioon**

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli magistrikraadi 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. Ida-Virumaa karjäärade rekultiveerimine .....	4
1.1 Põlevkivikaevandamist reguleeriv seadusandlus .....	4
1.2 Karjäärade rekultiveerimine .....	5
2. Aherainepuistangute muld ja mullaelustiku roll aherainepuistangute mullatekkele .....	8
3. Materjal ja meetodika .....	15
3.1 Lagunemiskatse ülesehitus .....	15
3.2 Andmetöötlus .....	18
4. Tulemused .....	19
4.1 Temperatuur .....	19
4.2 Männiokaste ja kaselehtede kaal .....	19
4.3 Substraatide niiskusesisaldus .....	21
4.4 Vihmausside ja valgeliimuklaste arvukus .....	23
4.5 Hooghännaliste arvukus .....	26
4.6 Kanooniline vastavusanalüüs .....	28
5. Arutelu .....	34
Kokkuvõte .....	40
Summary .....	42
Tänuõnad .....	43
Kirjandus .....	44
LISA 1 .....	48

## Sissejuhatus

Tänapäeva ühiskond on tugevas sõltuvuses majandusest ja tööstusest. Eestimaa tähtsaim tööstusharu – põlevkivitööstus – asub Ida-Virumaal. Esimest korda leiti Eestimaal põlevkivi juba 1788. aastal, teadlasteni jõudis see avastus aasta hiljem (Tammiksaar, 2013). Toona ei osanud veel keegi arvatagi, et kunagi kujuneb sellest Eesti tähtsaim maavara nn. „must kuld“, sest tõeliseks väärtuseks kujunes põlevkivi Eestis alles 1916. aastal (Tammiksaar, 2013).

Põlevkivi kaevandamine tõi kaasa palju erinevaid keskkonnaprobleeme, millega esialgu ei osatud arvestada. Põlevkivi avakaevandamisel hävitatakse kogu taimestik ja loomastik, rikutakse veerežiimi ning maapõue geoloogiline tasakaal. Seetõttu on rekultiveerimine kujunenud oluliseks osaks põlevkivitööstuses ning nõuab erilist tähelepanu.

Kuigi rekultiveerimine on reguleeritud mitmete Eesti Vabariigi seadustega, tuleks antud teemale kindlasti lisatähelepanu pöörata. Maa on omaette varandus ning kuna Eesti on oma pindalalt väike, siis tuleb meil hoolt kanda ning kasutada seda vähest maad säästlikult ja jätkusuutlikult. Käesolev magistr töö keskendub võimalikele uutele suundadele, kuidas edendada mullaelustiku teket ning arengut rekultiveeritavatel karjäärialadel.

Antud magistr töö eesmärgiks on uurida erinevate substraatide ning mullaelustiku mõju männiokaste ja kaselehtede varise lagunemisele. Eesmärgi saavutamiseks püstitas töö autor alljärgnevad uurimisülesanded:

- anda kirjanduse põhjal ülevaade karjäärade rekultiveerimisest ning aherainepuistangute mulla ja mullaelustiku mõju kohta aherainepuistangute mullatekkele;
- jälgida erinevate substraatide (Ida-Virumaa Narva karjäärist pärit aheraine, X ettevõtte komposteeritud reoveesette muda, X ettevõtte värskelt pressitud reoveesette muda, EcoCleaneri purustatud olmejäätmete mass, turvas) mõju männiokaste ja kaselehtede lagunemisele kuue katsekuu jooksul;
- analüüsida, kuidas mõjutavad erinevad substraadid sõnnikuusside (*Eisenia fetida*), valgeliimuklaste (*Enchytraeidae*) ja hooghännaliste (*Collembola*) arvukust katseandmetes;
- selgitada välja, milliseid substraate oleks kõige mõistlikum ja reaalsem kasutada Narva karjääri rekultiveerimisel.

# 1. Ida-Virumaa karjäärade rekultiveerimine

## 1.1 Põlevkivikaevandamist reguleeriv seadusandlus

Põlevkivi kaevandamist Eestis reguleerivad peamiselt siseriiklikud õigusaktid: Maapõueseadus, Kaevandamisseadus ja Jäätmeseadus ning nende juurde kuuluvad määrused.

Maapõueseadus sätestab maapõue uurimise, kaitsmise ja kasutamise korra, et tagada maapõue majanduslikult otstarbekas ja keskkonnasäästlik kasutamine. Maapõueseadus reguleerib järgmisi valdkondi: üldgeoloogilisi uurimistöid; geoloogilisi uuringuid; maavara kaevandamist (välja arvatud osas, mis on reguleeritud kaevandamisseadusega); kinnisasja omaniku õigusi tema kinnisasja piirides asuva maavara kasutamisel; üldgeoloogilise uurimistöö, geoloogilise uuringu ja kaevandamisega rikutud maa korrastamist; maapõue kasutamist, mis ei ole seotud maavara kaevandamisega (välja arvatud osas, mis on reguleeritud kaevandamisseaduse ja veeseadusega); maapõue kaitset; kaevandamisjäätmekava esitamist ja selle täitmise kontrolli, juhul kui üldgeoloogilise uurimistöö, geoloogilise uuringu või maavara kaevandamise käigus tekib kaevandamisjäätmeid ning jäätmete ladestamiskoht ei ole jäätmeoidla Jäätmeseaduse tähenduses. (Maapõueseadus §1, 2004)

Tulenevalt Maapõueseadusest on kaevandaja kohustatud prognoosima keskkonnakahjustusi ja võtma tarvitusele meetmed nende ennetamiseks. Kaevandaja peab likvideerima juba tekkinud keskkonnakahjustused ja tarvitama leevendavaid meetmeid ning korraldama kaevandusjärgset seiret avastamiseks võimalike kahjustuste tekkimist. (Maapõueseadus §48, 2004)

Maapõueseadus sätestab, et kaevandusloa omanik on kohustatud kaevandamisega rikutud maa korrastama korrastamisprojekti alusel, mille rakendamiseks annab nõusoleku Keskkonnaamet, arvestades Eesti Maavarade Komisjoni arvamust. Rikutud maa korrastamisel tuleb tagada, et kaevandamisala põhjavee režiim vastaks maa kasutamise sihtotstarbele, korrastatud ala sobiks ümbritsevasse maastikku, korrastatud ala reljeef ja pinnavormid oleksid võimalikult looduslähedased, korrastatud ala ei valmistaks ohtu seal liiklevatele inimestele. (Maapõueseadus §48, 2004)

Kaevandamisega rikutud maa korrastamise korra ja korrastamise projektile esitatavad nõuded kehtestab keskkonnaminister. Pärast korrastamistööde lõppemist hindab riigi poolt määratud komisjon korrastamistööde vastavust nõuetele ning vastavalt vajadusele teeb ettepaneku tunnistada rikutud maa korrastatuks või jätta rikutud maa korrastatuks kuulutamata. (Maapõueseadus §50, 2004)

Kaevandamiseseadus sätestab nõuded kaevandamisele, kaevandamise projektile, kaevandamist läbiviivale ettevõttele, vastutavale spetsialistile ja tema nõuetele vastavuse hindajale ja tõendajale, riiklikule järelevalvele, et tagada keskkonna ohutus ja maardlate säästlik kasutus. Kaevandamise peatamise ja lõpetamise korra kehtestab majandus- ja kommunikatsiooniminister. Kaevandamise projektis on peale kaevanduse plaani, geoloogiliste jooniste ja kasutatavate tehnoloogiate skeemide ära toodud ka seletuskiri, milles sisaldub kirjeldus inimeste, vara ja keskkonna kaitseks rakendatavate meetmete ja kaevandamise puhul kaevandatud alade rekultiveerimise ning mäendustingimuste ja kasutatava tehnoloogia kohta. (Kaevandamiseseadus §1, 2003)

Jäätmeseadus sätestab kaevandamisjäätmete tähenduse – jäätmed, mis on tekkinud maavarade uuringute, maavarade kaevandamise, rikastamise ja ladustamise ning kaevandamise töö tulemusena (Jäätmeseadus, 2004).

Euroopa Liidu tasandil on reguleeritud vaid kaevandusjäätmetega seonduv tegevus direktiivis 2006/21/EÜ, mis sätestab meetmed, korra ning juhised, et vähendada ja vältida võimalikult palju kaevandustööstuse jäätmete käitlemise tulemusel tekkivat kahjulikku mõju keskkonnale (Direktiiv 2006/21/EÜ, 2006).

## **1.2 Karjääride rekultiveerimine**

Ajavahemikul 1950-1969 ehitati Eesti kirdenurgas kolm uut elektriijaama. Kindlustamaks jõujaamu kütusega, tuli kiiresti laiendada põlevkivikaevandamist Eesti põlevkivimaardlas. Otsustati luua kolm iseseisvat karjääri - lääneosas Viivikonna karjäär, keskosas karjäär nr.1 (Sirgala) ja idaosas karjäär nr. 2 (Narva), mis ulatusid Vasavere ürgorust kuni Narva jõeni. (Tambet ja Varb, 2008)

1964. aastal rajatud Narva karjäärasub Ida-Virumaal Vaivara vallas Mustajõest lõuna pool ja piirneb: idaosas – Narva jõe barjäärtervikuga, läänes – Sirgala karjäärivälja eraldava barjäärtervikuga, põhjas – Mustajõe barjäärtervikuga põlevkivi tootuskihi avamusjoonel ja Eesti Elektriijaama maaeraldusega, lõunas – põlevkivi tootuskihi 27-30 m samasügavusjoonega, mis üldjoontes läheb kokku Vaivara ja Illuka valla piiriga. Osaliselt jääb karjäärivälja lõunaosa Puhatu looduskaitseala piiridesse. 2000. aastal jaanuaris liideti Narva karjäär Sirgala karjääriga, mis oli juba 1987. aastal ühendatud Viivikonna karjääriga – tekkis ühendkarjäär, mida nimetatakse Narva karjääriks. (Tambet ja Varb, 2008)

Sõjajärgse mäetööstuse taastamise ja edasise forsseerimise käigus, kui toodangu maht kasvas mitmekordselt, ilmnisid selgemalt ka keskkonnamõjud – põhjaveetaseme alanemine, aherainepuistangud ja nende sisemine põlemine, maapinna vajumine, metsamaade üleujutused ja hävimine. Kõige nähtavam ja mõjuvam oli see põlevkivikarjäärides, kus suured alad metsa- ja põllumaad muutusid pärast kaevandamist kivikõrbeks. (Tambet ja Varb, 2008)

Kuigi juba enne II maailmasõda rekultiveeriti Pavandu põlevkivikarjäär ja mitmed Lasnamäe paemurrud, loetakse teaduslik-tehniliselt põhjendatud rekultiveerimise alguseks mäeinseneride ja metsameeste koostööd Kohtla karjääris (Kattai jt, 2000). 1959. aastal tasandati Tudu Metsamajandi, Kohtla kaevanduse ja Kohtla metskonna ühisel ettevõtmisel katseliselt 4,58 ha kaevandatud ala, kus hakati kultiveerima mitmesuguseid puuliike. Tulemused olid head ning rekultiveerimine sai Kohtla kaevanduse ja Viivikonna karjääri plaaniliseks ülesandeks. Taastatud ja metsastatud pindala suurenes aasta-aastalt. Töid koordineeris Looduskaitse Valitsus. Pärast võimsate ekskavaatorite kasutusele võttu Sirgala karjääris lõpetati seinine tasandamine buldoosritega. Bioloogiline rekultiveerimine toimus kõikjal metsastamise teel ning kasutati mändi, kaske, mitmeid paplilike ning lehist. Kultiveerimine toimus põhiliselt käsitsi istutamise teel, mis pinnase kivisuse tõttu oli äärmiselt raske. Katsetati külvi ning mehhaniseeritud istutamist. Rekultiveerimistöde aluseks olid Eesti NSV Ministrite Nõukogu määrused (1959, 1963). Rekultiveerimise tehnilisi ja bioloogilisi probleeme asusid lahendama Põlevkivi Instituut ning Eesti Metsamajanduse ja Looduskaitse Teadusliku Uurimise Instituut. (Kaar jt, 1971)

Põlevkivi tasandatud puistangute metsastamiseks ei valmistatud maapinda enam ette, sest enamasti toimus istutamine tasandamisele järgneval kevadel, mil pinnas oli veel kobe. Puistanguid tasandas sama karjäär, kelle kaevetööde tulemusena puistangud tekkisid. Pärast tasandamist anti puistangud üle Kohtla-Järve Rohelise Vööndi Metsamajandile metsastamiseks. Algselt kasutati metsastamiseks enamasti mändi, sest lehtpuudega metsastamist takistas vastava istutusmaterjali vähesus. (Kaar jt, 1971)

Edasi laienes rekultiveerimine kõikidele tegutsevatele karjääridele ning sätestati vastava tegevusjuhendiga. Peagi kujunes rekultiveerimine karjääritööde loomulikuks lõppetapiks ja on seda tänaseni. (Tambet ja Varb, 2008)

Peamiseks tegijaks mäeteaduse poolelt on olnud Leopold Lainoja. Metsa- ja maaviljelejate poolt on tuntumad Elmar Kaar metsanduse ja Enn Leedu põllumajandusliku rekultiveerimise spetsialistid. Eesti Põlevkivi juhtivatest töötajatest oli algusest peale asja juures olnud mäeinsener Guido Paalme. Aherainemägede ja puistangute korrastamise tehnoloogia ja korra

koostas Eesti Põlevkivi keskkonnaosakonna juhataja Eduard Parahhonski. (Tambet ja Varb, 2008)

Põlevkivikaevandamisest rikutuid maid on kahte tüüpi: maapinna langatustega alad, mis tekivad maapinna vajumisel altkaevandatud aladel ja karjäärialad (avakaevandamine), kus põlevkivikihti kattev katend eemaldatakse ja pannakse puistangusse, enne kui põlevkivi kätte saab. Viimasega on tegu ka Narva karjääris. (Kukk, 2007)

Alates 2010. aastast on põlevkivi pealmaakaevandamine pidevalt vähenenud, kuid viimase viie aasta keskmine osakaal moodustab 48% kogu kaevandatud põlevkivist (Keskkonnaagentuur, 2014).

Karjääriviisilisel ehk avakaevandamisel tehakse paljandustöid kaheastanguliselt veovahendeid kasutamata. Ülemise astangu kvaternaarisetted eemaldatakse massiivi eelnevalt kobestamiseta. Kaljune lubjakivikatend kobestatakse lõhketöödega. Puistangusse paigutatakse enne kõvad kivimid, siis kvaternaarisetted. Puistangusse paigutamisel algab tehniline rekultiveerimine, mis lõppeb tasandamisega ning millele järgneb bioloogiline rekultiveerimine ehk metsastamine. 1998. aasta lõpuks oli karjääriviisilisel kaevandatud 118,3 km<sup>2</sup> suurusest alast metsastatud 92,8 km<sup>2</sup>. (Kattai jt, 2000)

Narva karjääris kasutatakse osalist selektiivset väljamist. Tootsa kihindi kaevandamine toimub kolmes astangus: ülemine ja alumine moodustavad põlevkiviastangu, keskmine on aheraine astang ja see ammutatakse otse puistangusse. Pärast buldooser-kobestite kasutuselevõttu toimus kihtide väljamine ilma lõhketöödeta. (Kattai jt, 2000)

Põlevkivi kaevandamisel sõltub mäetööde mõju keskkonnale kaevandamise viisist ja moodusest, läbilõike geoloogilisest ja hüdrogeoloogilistest parameetritest ning looduslikust olukorrast. Avamaakaevandamisel on üheks olulisemaks küsimuseks maakasutus ja sellega seonduvad probleemid. Mäeettevõtte vajab maad nii rajatiste ja kommunikatsioonide alla kui ka kogu kaevandatava ala piires. See toob kaasa loodusliku maastiku, geoloogilise keskkonna, hüdrogeoloogilise režiimi, teedevõrgu ja asulate arendamise tingimuste muutmise, maakasutamise katkestamise, atmosfääri saastumise lõhketöödel tekkiva tolmu. (Kattai jt, 2000)



## **2. Aherainepuistangute muld ja mullaelustiku roll**

### **aherainepuistangute mullatekkele**

Maakoor ehk litosfäär on jaotatud kolmeks kihiks: pindmiseks settekivimite kihiks, keskmiseks graniidiliseks kihiks ja sisemiseks basaldiliseks kihiks. Maakoore graniidilist kihti ja sellel lasuvaid vanaaegkonna settekivimeid nimetatakse mullastiku seisukohalt aluspõhjaks. Aluspõhi on kaetud jääaja järgsete setetega – pinnakattega. Mulla lähtekivimiks peetakse seda maakoore pindmist kihti, mis mullatekke protsessis on muutunud mullaks. Kirde-Eesti põlevkivikaevandamise aladel on tegemist tehnogeensete ehk tehismuldadega, kus mulla lähtekivimiks on karjäärist väljatõstetud tasandatud või tasandamata puistang, mis koosneb põhiliselt ordoviitsiumi karbonaatkivimite tehnogeensest murendist. Tasandatud puistangualal on tehnogeenne murend kohati üsna sarnane Põhja-Eesti moreenile. (Tõnisson ja Lepik, 1976; Kask, 1996)

Mulla teket mõjutavad viis faktorit: kliima, mullaelustik, reljeef, mulla lähtekivim ja aeg. Varise ja orgaanilise aine kogunemisel mulla pinnale ning hilisemal segunemisel pinnasega on samuti tähtis osa mullatekkest. Mulla orgaanilise aine kihi kogunemine mõjutab paljusid mullafunktsioone (veesiduvus, süsiniku ja lämmastiku sisaldus, mullaelustik jne.) ning sellele järgneb mulla orgaanilise aine muundumine. Mulla humifikatsioon koosneb mulda lagundavate organismide tööst, organomineraalsete ühendite (huumusained ja mulla mineraalosa kompleksühendite) ja mineraalosade moodustumisest, organomineraalsete ainete migratsioonist ja akumulatsioonist. Orgaanilise aine kvaliteet ja mullaelustik määravad mullatekke ning selle hulka mullas on orgaanilise aine tekkimise ja lagunemise vahekorra. Orgaaniline aine ladestub metsas peamiselt maapinnale. Igal aastal tekib okaspuumetsa alla umbes 2-3 cm paksune okka, oksa ja samblakõdukiht. Metsakõdu kogumass on okaspuumetsas tavaliselt 10-50 mg ha<sup>-1</sup> ja lehtpuumetsas 4-15 mg ha<sup>-1</sup>. (Tõnisson ja Lepik, 1976; Astover jt, 2012; Abakumov ja Frouz, 2013)

Aherainepuistangute substraadil on enamasti ekstreemne tekstuuri ja pH ning esinevad negatiivsed omadused: vähene orgaanilise aine sisaldus; võib sisaldada rohkesti fossiilset orgaanilist ainet; tundlikkus erosioonile; toksilisus; sobimatu veerežiim; toitainete (N, P, K, Ca, Mg jt.) vaegus jt. Sellised omadused vähendavad bioloogilist tootlikkust rekultiveeritud aladel, kuid neid on võimalik vähendada bioloogilise rekultiveerimisega. Taimestiku istutamine on üks võimalik lahendus, kuidas taastada rekultiveeritud alasid. Lisaks sellele on võimalik aherainepuistang katta eelnevalt eemaldatud ja päästetud mullakihi. Alternatiivina on võimalik aherainepuistang katta muude asendajatega (orgaaniliste jäätmetega, muudelt

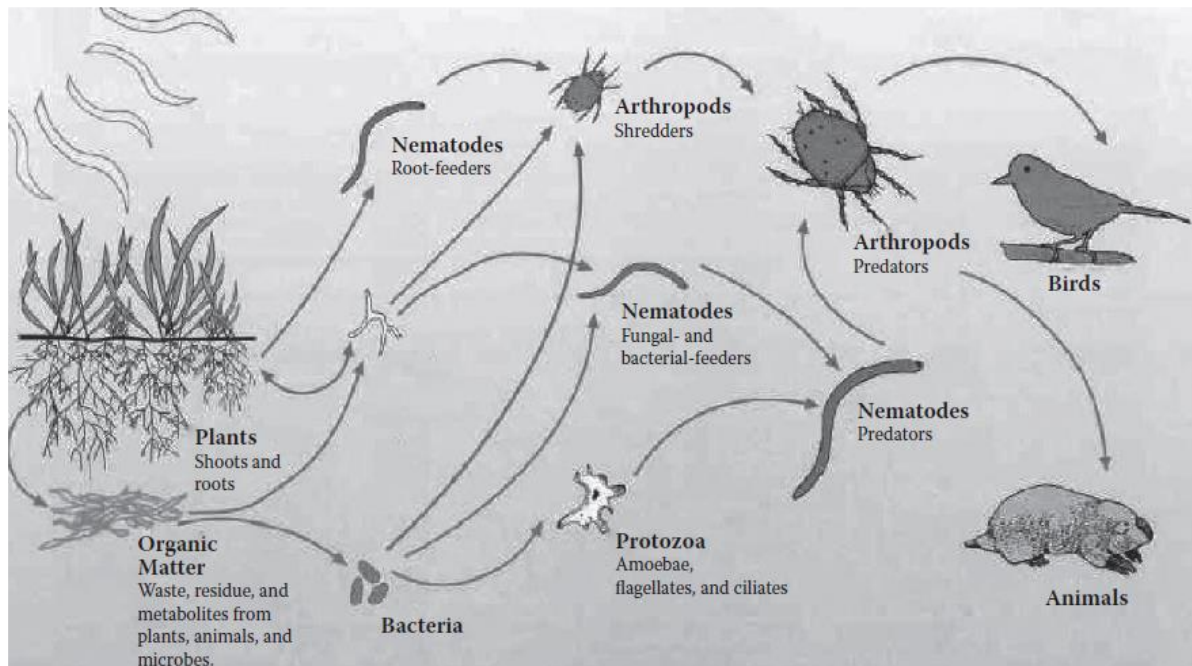
objektidelt päästetud materjaliga ja rohurinde mätastega jms.). Põhiliseks eesmärgiks on tagada loodusliku protsessi taastumine, et tagada loomulik taimestiku mitmekesisus ja varise teke, mis omakorda tõstab orgaanilise aine sisaldust aherainepuistangus ja mullastiku teket. Kõik need toimingud aitavad tõsta aherainepuistangu üldist väheaktiivsust. Esimesel tehismulla kujunemise etapil on tähtis asustada kasvukoht sellise taimekultuuriga, mis looks oma talitlusega järjest soodsamad tingimused püsiva ökosüsteemi kujunemiseks. Metsa arenguks ja kasvuks kulub aastakümneid, vastava koosluse kujunemiseks aastasadu. (Abakumov ja Frouz, 2013; Zhao jt, 2013; Helingerová jt, 2010; Astover jt, 2012)

Tšehhi ühe söekaevanduse aherainepuistangutes on läbiviidud uuring, kus võrreldi rekultiveeritud ja rekultiveerimata alasid. Antud uuring tõestas, et rekultiveeritud aladel on esimesed ja keskmised mullatekke faasid palju kiiremad, kui spontaanselt taimestikuga kattunud rekultiveerimata aladel, kuna mullakihi tekkimine on tihedalt seotud taimestiku ja mullaorganismide aktiivse tegevusega. Mulla makrofauna kõigi erinevate gruppide esindajate (vihmaussid, mardikad, sipelgad, putukate vastsed jne.) arvukus oli rekultiveeritud aladel suurem. Rekultiveeritud alade muldades võis juba algfaasis leida vihmausside fekaale, samas rekultiveerimata aladel need puudusid. Tänu makrofauna ja vihmausside aktiivsele tegevusele segunes mulla orgaaniline aine ja varis sügavamale mineraalsesse pinnasesse. Juhul kui soovitakse, et ökosüsteem taastuks kiiremini, tuleks kindlasti eelistada alade rekultiveerimist. (Frouz jt, 2007)

Eelpool mainitud ühe Tšehhi söekaevanduse aherainepuistangus viidi läbi veel teinegi uuring, kus võrreldi rekultiveeritud alasid ja rekultiveerimata alasid. Selles uuringus pöörati suuremat tähelepanu mulla hingamisele. Tulemused kinnitasid, et mullahingamine suureneb ala vanuse ja puistu suurenedes. Rekultiveeritud nooremate alade pealmistes kihtides (huumuskihis, 0-5 cm ning 5-10 cm pinnasekihis) oli kõigil kolmel juhul mulla hingamine suurem kui rekultiveerimata alade samades kihtides. Omavahelises võrdluses oli mõlemal juhul 0-5 cm (vastavalt rekultiveeritud alal  $240 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ; rekultiveerimata alal  $200 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ) pinnasekihi mulla hingamine suurem kui 5-10 cm (vastavalt rekultiveeritud alal  $100 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ; rekultiveerimata alal  $80 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ) pinnasekihis. See uuring tõestas mesofauna (hooghännalised, mullalestad) suuremat aktiivsust ja arvukust rekultiveeritud söekavanduse aherainepuistangus. (Helingerová, 2010)

Mullaorganismid on seotud kõigi mulla orgaanilise aine muundumise protsessidega (Joonis 1). Vihmaussid, sipelgad, termiidid ja teised suuremad loomad segavad orgaanilise varise pinnasesse. Seejärel mikroorganismid lagundavad orgaanilist ainet, mis pole veel teiste

loomade ja loomade seedetrakkide mikroobide poolt lagundatud. Tavaliselt on mullapinna organismide arvukus väiksem kui alumiste mullakihtide organismide arvukus. (Alexander, 2013)



Joonis 1. Toitumisahel, mis algab taimede poolt toodetud orgaanilise ainega, mida lagundavad bakterid ja mikroseeded, algloomad, nematoodid (ümarussid), lüljalgsed e artropoodid (hooghännalised, lestad, ämblikulaadsed), kuni lindude ja loomadeni välja (Alexander, 2013)

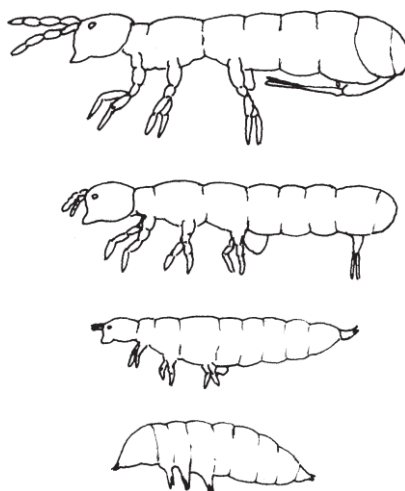
Mulla mikroobikooslused mängivad väga olulist rolli orgaanilise aine lagundamisel ja peamiste toiteainete biokeemilistes tsüklites, saades sel teel energiat oma elutegevuseks. Mikroorganismid eritavad fregmente, mille mõjul orgaaniline aine muutub vees lahustuvaks. Lisaks sellele on mulla mikroobikooslustel oluline mõju taimede toitumisele ja kasvule. Mikroorganismid on esimesed organismid, kes asustavad aherainepuistangu pinnase. Mikroobikooslust saab kasutada indikaatorina, et hinnata aherainepuistangute rekultiveerimise edukust, kuna nad on kergesti mõjutatavad erinevatest keskkonnaprobleemidest. (Frouz jt, 2013 a; Tõnisson ja Lepik, 1976; Helingerová jt, 2010)

Mikrofloora (bakterid ja seened) on osa mulla meso- ja makrofauna toidulauast. Makrofauna tarbib olulise osa aastasest varise massist lagundades orgaanilise aine väiksemateks osadeks, segades selle sügavamatesse mullakihtidesse ja muutes orgaanilise aine keemilise koostise pH (Frouz jt, 2013). Mikrofloora koos teiste mullaorganismidega asustab pinnase ning loob üha mitmekesisemaid kooslusi. Toiduahelad tekivad juba mõne päevaga. Esialgu tekivad lihtsad algloomade kooslused (põhiliselt üherakulistest organismidest) ning seejärel tulevad

keerulisemate toitumisvalikute ja elustrateegiatega organismid. Pärast ühte aastat saab lihtne hulkrakne organism liituda toiduahelaga, mis koosneb põhiliselt bakteritest toituvatest nematoodidest (bakteritest, seenehüüfidest, taimsest ja muust elusainest toituvad ümarussid), lüljalgsetest ehk mikrolüljalgsetest ja mikroobikooslustest. (Hänäl jt, 2013)

Mulla meso- ja makrofauna koosneb selgrootutest organismidest (vastavalt 0,02-2 mm ja suuremad kui 2 mm) ning esindab tähtsat ja mitmekesist mullaelustiku gruppi. Esindatud on väga varieeruva toitumisviisiga (vetikatest, taimedest, väiksematest organismidest, kõdust) väheharjasusside ja lüljalgsete (hooghännalised (*Collembola*), lestad (*Acari*), ämblikulaadsed (*Arachnida*), hulkjalgsed (*Myriapoda*), valgeliimuklased (*Enchytraeidae*), molluskid (*Mollusca*), vihmaussid (*Lumbricidae*), mardiklased (*Coleoptera*) ja putukad (*Insecta*)) liigid. Osad nendest liikidest elavad mulla pinnal, teised sügavamatest kihtides ning mõnel putukaliigil on etapp, kus nad saavad lennata ja asustada uusi elupaiku. Meso- ja makrofauna kujunemist ning kujunemise kiirust aherainepuistagu pinnases mõjutavad paljud erinevad faktorid. Esialgu on oluline rände kaugus ja rändekoridoride olemasolu ning seejärel mõjutab fauna arengut taimestiku areng ja varise kvaliteet. Paljud mesofauna liigid eelistavad kõrge C/N suhte sisaldusega kõdu, samas vihmaussid eelistavad väikese C/N suhte sisaldusega kõdu. Mulla huumuskihi kujunemine on veel üks oluline faktor mullafauna arengus. (Frouz jt, 2013 b; Alexander, 2013)

Hooghännalised (*Collembola*) (Joonis 2) on ühed arvukamad isendid, kes elavad erinevates mullakihtides ning varises. Suuruselt on nad väga väiksed (< 6 mm), aga arvukuselt on neid umbes 10 000 isendit ruutmeetri kohta. Hooghännalised toituvad bakteritest, mikrosetest ja taimsest varisest. (Alexander, 2013)



Joonis 2. Hooghännalised (Alexander, 2013)

Valgeliimuklased (*Enchytraeidae*) on väiksed vähetuntud ussid mullas, kelle arvukus on suur kõrge orgaanilise sisaldusega muldades, moodustades tihti üle 70% mullafauna biomassist. Nende elutegevus toimub mulla pealmistes kihtides, kus nad toituvad varise segust ja mikroobiorganismidest. Neid tuntakse ka ökosüsteemi arhitektidena, kuna nad tõstavad läbi käikude uuristamise mulla aeratsiooni (õhuga varustatust) ning neil on oluline mõju toitaineringlusele. (Briones, 2005)

Mullafauna seast on vihmaussid (*Lumbricidae*) ilmset ühed kõige tuntumad organismid mullas ning neil on oluline mõju mulla struktuurile ja protsessidele. Juhul kui elukeskkond on vihmausside jaoks sobilik, on nad lagundajate kogukonnas domineerivad isendid. Tänu sellele on neid põhjalikult uuritud seoses nende potentsiaalselt kasuliku mõjuga põllumajandusele, jäätmekäitlusele ja rekultiveerimisele.

Kirjandust vihmausside kohta hakati avaldama juba 200 aastat tagasi ja esimeseks mullabioloogiks võib nimetada Darwinit, kes 1881. aastal kirjeldas oma raamatus, kuidas vihmaussid toodavad taimset päritolu kõdu oma söömisprotsesside ning mulla orgaanilise ja mineraalse osa segamisega. Vihmausside kõige tähtsam roll ongi taimse varise, huumuse ja muu orgaanilise aine sügavamatesse pinnasekihtidesse kandmine. Vihmaussid parandavad mulla erinevaid omadusi: muudavad paremaks süsinikuringet ning suurendavad tootlikkust; mõjutavad lämmastiku mineralisatsiooni (orgaanilise aine lagunemist mineraalühenditeks) ning mulla bakteriaalset koosseisu; käikude rajamisega moodustavad makropoore, reguleerivad vee ja õhu liikumist; suurendavad mullaelustiku aktiivsust ja mikroobide arvukust; stabiliseerivad orgaanilist ainet ja muudavad mulla keemilisi ja füüsikalisi omadusi. Oluline on see, millised liigid on mullas esindatud, kuna liigid võivad konkureerida samale toidule ja elukohale. Üldiselt ei ole mullas esindatud rohkem kui viis vihmaussiliiki. Vihmausside kooslused on tavaliselt taastatud söekaevandustes väga väiksed ning see võib võtta 20 aastat, et arvukus suudaks tõusta. (Vilet jt, 2011; Emmerling ja Paulsch, 2001; Huhta, 2007; Postma-Blaauw jt, 2006; Scullion ja Malik, 2000; Tõnisson ja Lepik, 1976)

Bioloogilise mitmekesisuse, tootlikkuse ja stabiilsuse uuringud toitumisahelate võrgustikus on näidanud, et bioloogilise mitmekesisuse vähenemine ökosüsteemis tuleneb muutustest mullaelustiku stabiilsuses, tootlikkusest ning toitumisvõrgustiku vastastikustest mõjudest, mis on mõlemasuunalised. On andmeid, et liikide vähesus võib tuua endaga kaasa suured ümberkorraldused ökosüsteemides, samuti toitumisvoogude muutused ja väljasuremisvoolud. Teadlased on tõestanud, et liigirikkkuse positiivne mõju mullakogukonna stabiilsusele tuleneb vetikatest, mikroobidest, rohurindest, seentest ning selgrootutest organismidest. Taimset

biomassi ja tootlikust mõjutab oluliselt taimne koosseis ja mitmekesisus. Ilmnes, et tootlikumad olid mitmekesisemad kooslused, kuid stabiilsemad olid väiksema mitmekesisusega kooslused. (Worm ja Duffy, 2003)

Maailmas on läbi viidud palju erinevaid uuringuid eesmärgiga selgitada välja olulised faktorid mullatekke protsesside kiirendamiseks ning ökosüsteemi taastamiseks kaevandusjärgsetel aherainepuistangutel. Üks esimesi probleeme, mis ilmneb kaevandatud alade rekultiveerimisel, on pinnase väike hüdrofoobsus ehk veesiduvus, mis takistab taimestiku teket ning mullaarengut. Üldiselt põhjustab hüdrofoobsust põlevkivi ja muu fossiilse materjali olemasolu mullas. Seetõttu on aherainepuistangutes oluline pealmise mullakihi lisamine või muude sarnaste substraatide kasutamine. Saksamaal läbi viidud uuringus kasutati aherainepuistangute rekultiveerimisel erinevaid substraate (reoveesette muda, reoveesette muda segatud pruunsöe tuhaga, kompostitud muda, komposti). Kahe katseaasta jooksul ilmnemise suured erinevused vihmausside arvukuse, värske biomassi ja vihmausside kogukonna struktuuri võrdlustes. Katse tulemused näitasid, et reoveesette muda, reoveesette muda tuhaga, komposteeritud reoveesette muda ja kompost soodustavad rekultiveeritud kaevanduste kivisütt sisaldavas pinnases vihmausside arvukuse, biomassi ja aktiivsuse tõusu. Kõige parema tulemuse andis teise aasta lõpuks reoveesette komposti segu tuhaga (tõstis biomassi sisaldust  $26 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , ind.  $\text{m}^2$  võrra), millele järgnes kohe 500 tonni komposti kasutamine (tõstis biomassi sisaldust  $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , ind.  $\text{m}^2$  võrra) ja reoveesette kompost (tõstis biomassi sisaldust  $22 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , ind.  $\text{m}^2$  võrra). Eelnevad katsed on kinnitanud, et savi- ja mudaosakeste kiht tagab orgaanilise aine ja mikroobide füüsilise kaitse jämeda lõimise mullas (Hassink jt, 1997). (Frouz, 2013 c; Emmerling ja Paulsch, 2001)

Kreekas viidi plii ja hõbeda kaevandamisest kahjustunud pinnasel läbi uuring, kus katsetati, kas on võimalik reoveesette muda kasutada Pb, Zn ja Cd ühendite stabiliseerimiseks saastunud kaevanduste pinnases. Katse jooksul jälgiti reoveesette muda ja loodusliku muda mõju taimekasvule ning katses kasutati kääbusuba (*Phaseolus vulgaris strazagorski*). Selgus reoveesette muda (15% muda sisaldus kuivas substraadis) positiivne mõju taime kasvule. Taime kasv oli sarnane või isegi suurem kui võrdluseks tehtud kääbusoa kasvu katse looduslikus muda substraadis ning samas vähenes Pb ja Zn ühendite omastamine taimejuurte ja lehtede poolt. (Theodoratos, 2000)

Hiinas uuriti söe avamaakaevanduste aherainepuistangutes erinevate taimeliikide mõju mullaelustiku taastumisele ja selleks kuluvat aega üheksal katsealal. Selleks analüüsiti mulla keemilisi ja mikrobioloogilisi omadusi. Läbi viidud uuring näitas, et taimevalik mõjutab

oluliselt mulla teket ja mikrobioloogiat. Näiteks lutserniga (*Medicago*) rekultiveeritud 4-aastase ala mikroorganismide arvukus oli väiksem ( $202,37 \pm 6,20 \cdot 10^5 \cdot \text{g}^{-1}$  kuivas substraadist) kui astelpajuga (*Hippophaë*) rekultiveeritud 2-aastase ala mikroorganismide arvukus ( $324,43 \pm 4,76 \cdot 10^5 \cdot \text{g}^{-1}$  kuivas substraadis). Erinevad põõsad ja astelpaju parandasid märgatavalt mullaviljakust, mullateket, mikrobioloogilist koostist ja mikroorganismide arvukust ning tõid kaasa mullastruktuuri paranemise. Seda kinnitab ka Türgis läbi viidud uuring, kus võrreldi omavahel jaanileivapuu (*Robinia pseudoacacia L*) ja Itaalia männi (*Pinus pinea L*) mõju rekultiveeritud kaevanduses. Kaks puuliiki mõjutasid erinevalt mulla lasuvustihedust, mis on üks mulla viljakust iseloomustavatest näitajatest. (Zhao jt, 2013)

### 3. Materjal ja metoodika

#### 3.1 Lagunemiskatse ülesehitus

Uurimistöö materjal (aheraine, männiokaste ja kaselehtede varis) koguti 2012. aasta 24. mail välitööde käigus Ida-Virumaa Narva karjäärist (koordinaadid X:59.23577, Y:27.83770). Käesoleva magistr töö katse viidi läbi TTÜ Tartu Kolledži Mullabioloogia laboris perioodil 19.10.2012 - 13.04.2013 ning katse käigus uuriti, millised oleksid erinevate substraatide (Ida-Virumaa Narva karjäärist pärit aheraine, EcoCleaneri purustatud olmejäätmete mass, X ettevõtte komposteeritud reoveesette muda, X ettevõtte värskelt pressitud reoveesette muda, turvas) reaalsed kasutusvõimalused rekultiveeritavatel aladel. Kasutatud substraate ei kuumutatud ega puhastatud enne kasutamist võimalikest loomadest ja umbrohtudest.

Lagunemiskatses kasutati 60 katseanumat (läbimõõtudega 8 cm ja 10 cm), mis asetati kümnele alusele (Joonis 3), kokku igal alusel kuus katseanumat. Igasse katseanumasse asetati 2/3 ulatuses Ida-Virumaalt Narva karjäärist pärinev aheraine, mis tambiti tihedaks.



*Joonis 3. Katseanumad alustel*

Seejärel õmmeldi sünteetilisest võrkmaterjalist 60 kõdukotikest mõõtudega 5x5 cm, (võrgusilma 2x4 mm). 30 kõdukotikesse pandi ~50 g eelnevalt 30 minutit 60 °C kuivatatud männiokkaid ja 30 kõdukotikesse pandi ~50 g eelnevalt 30 minutit 60 °C kuivatatud kaselehti (Joonis 4). Täpsed männiokaste ja kaselehtede kaaluandmed on toodud Lisas 1.





Joonis 4. Kõdukotike kaselehtedega

30+30 kõdukotikesed (männiokkad + kaselehed) asetati 60 kasteanumasse põlevkivi aheraine peale. Igasse katseanumasse asetati kõdukotikese peale kaks sõnnikuussi (*Eisenia foetida*) ja viis valgeliimuklast (*Cognettia sphagnetorum*), mis pärinevad TTÜ Tartu Kolledži Mullabioloogia laborist. Kuna tõenäoliselt osa kasutatud substraatidest sisaldas vihmaussikookoneid ja valgeliimuklaste liike, mis ei ole *Cognettia sphagnetorum*, siis töö tulemuste ja arutelu osas kasutatakse sõnnikuusside asemel terminit vihmaussid ja konkreetse *Cognettia sphagnetorum* liigi asemel terminit valgeliimuklased.

Seejärel ehitati katse üles Tabel 1 põhjal, kus kõdukotikeste ja sõnnikuusside ja valgeliimuklaste peale pandi I alusel substraadiks Ida-Virumaa Narva karjäärast pärit aheraine, II alusel pandi peale EcoCleaneri purustatud olmejäätmete mass, III alusel X ettevõtte värskelt pressitud roovesette muda, IV alusel X ettevõtte komposteeritud roovesette muda ning V alusel lisandus aherainele turvas. Töö autoril on teada, kust veevärgist on toodud komposteeritud roovesette muda ja värskelt pressitud roovesette muda, kuid ettevõtte palus jääda anonüümseks. Turvast niisutati enne katses kasutamist veega.

Tabel 1. Katse skeem

Lagunemis- materjal	Substraat				
	I alus	II alus	III alus	IV alus	V alus
Kogused	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3
Mänd	Aheraine	Aheraine+ purustatud olmejäätmed	Aheraine+ värskelt pressitud roovesette muda	Aheraine+ kompost	Aheraine+ turvas

Lagunemis- materjal	Substraat				
	I alus	II alus	III alus	IV alus	V alus
Kogused	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3	2/3 + 1/3
Kask	Aheraine	Aheraine+ purustatud olmejäätmed	Aheraine+ värskelt pressitud reoveesette muda	Aheraine+ kompost	Aheraine+ turvas

Katseperioodi vältel niisutati iga nädal väikseid katseanumaid 95 ml veega ja suuri katseanumaid 145 ml veega. Pärast niisutamist eemaldati üleliigne vesi katseanuma alustelt. Veekogus, millega katseanumaid niisutati, leiti kasutades EMHI 2010. ja 2011. aasta sademete summa kuu kokkuvõtteid jagatuna pinnaühiku peale.

Lisaks niisutamisele mõõdeti iga nädal substraatide temperatuuri. Iga kuu (novembrist-aprillini) võeti igalt katsealuselt välja üks katseproov, alustades katseanumast number kuus. Proovidest eemaldati kõdukotikesed koos männiokaste ja kaselehtedega, mis puhastati mullast ning korjati välja elusorganismid. Loeti üle vihmaussid ja valgeliimuklased. Seejärel, saamaks kätte ülejäänud substraadis elavad organismid, substraadid ekstraheeriti eraldi 48 h Tullgreni lehtrite süsteemis (Coleman jt, 2004). Mullaproovid pandi valgustuse alla metallsõela peale ning organismid koguti proovipudelis, mis oli täidetud etanooliga. Hooghännalised määrati TTÜ Tartu Kolledži mullabioloogia laboris perekonna tasemele, kasutades Fjellberg (1980) määrajat, teised organismid loendati.

Proovidest saadud männiokkad ja kaselehed läksid ööpäevaks kuivatisse 70 °C juurde ning seejärel kaaluti. Substraatidest võeti 10 grammine proov ning mõõdeti substraatide niiskusesisaldust. Substraatide niiskusesisalduse leidmiseks kuivatati proovi 24 h 105 °C juures ja niiskusesisaldus leiti arvutuse teel. Niiskusesisalduse leidmiseks kasutati valemit:

$$W = (m_1 - m / m) * 100$$

- W on niiskusesisaldus %
- $m_1$  on mass enne kuivatamist
- m on mass pärast kuivatamist

Igast substraadist (aheraine, komposteeritud reoveesette muda, värskelt pressitud reoveesette muda, olmejäätmete purustatud mass, turvas) võeti mikroobide biomass substraadi poolt

indutseeritud hingamise (SIR) meetodil ja mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel, mis määrati TTÜ Tartu Kolledži mullabioloogia laboris (Öhlinger, 1996). Manomeetrilisteks mõõtmisteks kasutati OxiTop süsteemi (WTW, Saksamaa). OxiTop kasutab standardsuurusega klaasnõusid, kuhu paigutatakse proov, nõu suletakse hermeetiliselt. Mikroorganismid tarbivad oma elutegevuseks vajaliku hapniku hermeetiliselt suletud anumast olevast õhust, eralduv CO<sub>2</sub> seotakse absorbendi poolt ja ei põhjusta rõhu tõusu mõõteanumas. Hapniku tarbimisest tulenev rõhu langus fikseeritakse spetsiaalsete tundlike mõõtepeade abil. Rõhumuutuse andmetest arvutatakse uuritava süsteemi hapnikutarve (Platen ja Wirtz, 1999). Mulla mikroobikoosluse biomass hinnati substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) alusel, selle meetodi puhul eeldatakse, et maksimaalne hapniku tarbimine mikroobide poolt glükoosi lisamisel on proportsionaalne mikroobide biomassiga.

### **3.2 Andmetöötlus**

Andmete töötlemisel arvutati rühmade keskmised väärtused ning keskmiste aritmeetilised vead ( $\pm$ SE), lisaks töödeldi andmed programmide Excel, CANOCO 4.52 ja STATISTICA 8.0 abil, kasutati mitteparameetrilist (Spearmani korrelatsioonanalüüs) meetodit.

## 4. Tulemused

### 4.1 Temperatuur

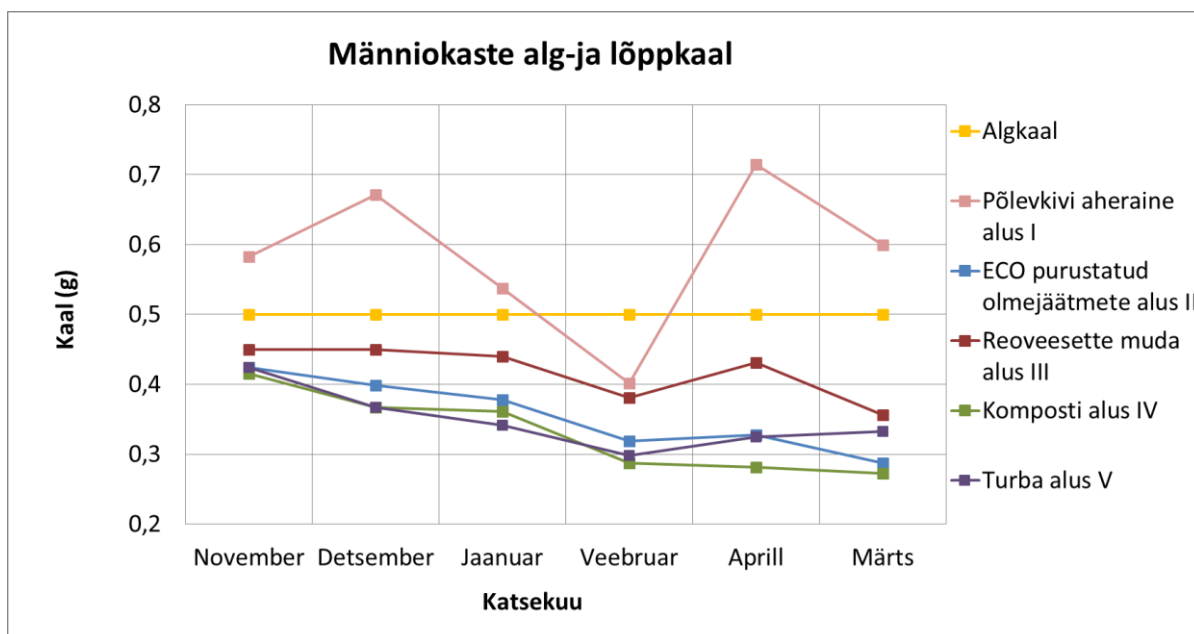
Iga nädal mõõdeti kõigi substraadikeskkondade temperatuuri. Kõigi aluste keskmine temperatuur oli  $19,0 \pm 0,1$  °C. Kõrgeim keskmine temperatuur oli nii männiokaste kui ka kaselehtede alustel 13. aprillil, kui männiokaste viie aluse keskmine temperatuur oli  $21,3 \pm 0,1$  °C ning kaselehtede viie aluse keskmine temperatuur oli  $21,0 \pm 0,0$  °C. Madalaim männiokaste viie aluse keskmine temperatuur oli 28. detsembril  $16,4 \pm 0,2$  °C ja madalaim kaselehtede viie aluse keskmine temperatuur oli 16. jaanuaril  $17,0 \pm 0,0$  °C.

### 4.2 Männiokaste ja kaselehtede kaal

Joonistel 5 ja 6 on toodud kõigisse katseanumatesse lisatud männiokaste ja kaselehtede kuivkaal ning nende kuivkaal katsest eemaldamisel. Keskmine männiokaste algkaal oli kõigil alustel 0,5 g. Täpsed algkaalu andmed on toodud lisas 1. Kõige rohkem erineb teistest alus I (substraadiga põlevkivi aheraine). Jooniselt 5 näeme, et alusel I on männiokaste kaal viiel juhul kuuest suurem. Proov number kuus on suurenenud 0,083 g, proov viis 0,165 g, proov number neli 0,034 g, proov number kaks 0,212 g ja proov number üks 0,096 g. Ainult proov number kolm on vähenenud 0,102 g, mis moodustab algkaalust 20%.

Esimesel katsekuul (november) vähenesid aluste II-V katseproovid võrdselt. Kõige rohkem vähenes aluse IV katseproovi algkaal (17%) ning kõige vähem kahanes aluse III algkaal (10%). Joonisel 5 on näha, et iga järgneva kuuga männiokaste kaal aluste II-V katseanumates väheneb. Kuuenda katsekuu lõpuks (aprill) on aluse II (purustatud olmejäätmed) algproov (0,503 g) vähenenud 0,216 g ning katse lõpuks jäi alles 0,288 g. II aluse algkaal on vähenenud 43%. Alus III (reoveesette muda) algkaalust 0,501 g on alles 0,356 g. Algkaalu ja lõppkaalu erinevus on 0,145 g ning algkaal on vähenenud 28%.

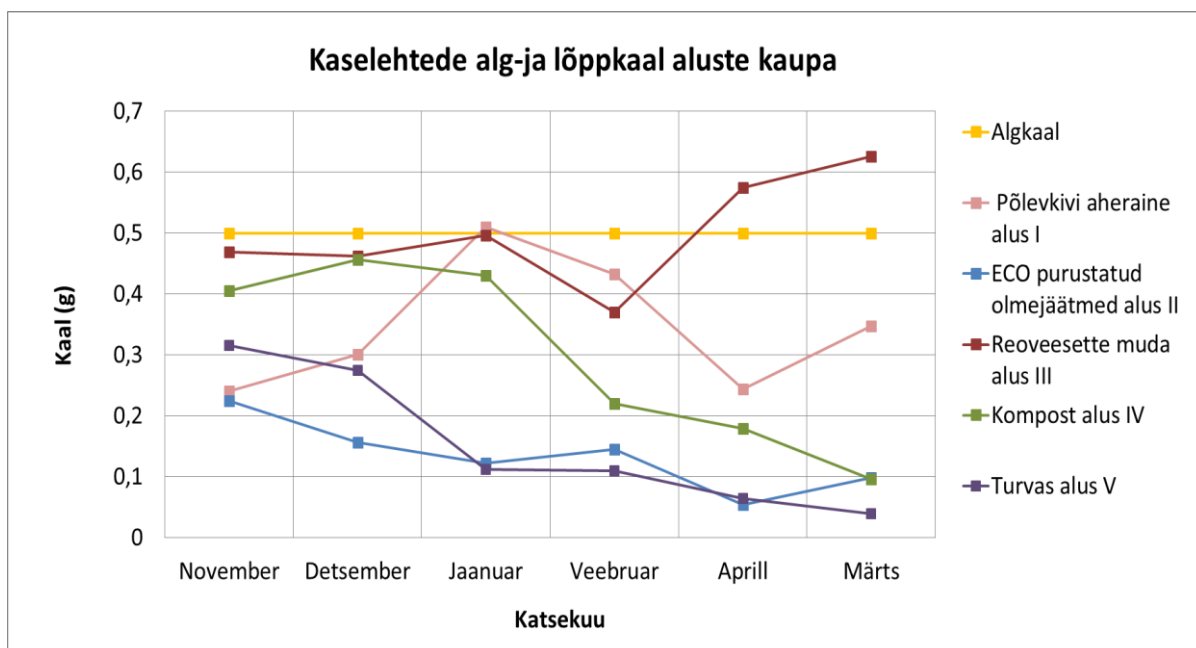
Alus IV (kompost) algkaal 0,505 g on vähenenud 0,232 g ning lõppkaal on 0,273 g. Algkaal on vähenenud 46%. Alus V (turvas) algkaal 0,506 g on vähenenud 0,174 g ning männiokaste lõppkaal on 0,332 g. Algkaal on vähenenud 34%. Kõige rohkem on kuuenda katsekuu lõpuks vähenenud alus IV (kompost) katseproov (46%) ning aluste II-IV võrdluses on kõige vähem kahanenud aluse III (reoveesette muda) katseproov (28%).



Joonis 5. Männiokaste keskmine algkaal ja lõppkaal aluste kaupa kuue katsekuu jooksul

Joonisel 6 on näha, et kaselehtede lõppkaal on muutunud kuue katsekuu jooksul hüppelisemalt kui männiokaste lõppkaal ning juba esimese katsekuu (november) proovide erinevused on suured. Kõige rohkem kahanes esimesel katsekuul aluse II (purustatud olmejäätmed) katseproov (55%). Algkaal 0,505 g on vähenenud 0,280 g ning lõppkaal on 0,225 g. Kõige vähem kahanes aluse III (reoveesette muda) katseproov (7%). Algkaal 0,506 g on vähenenud 0,037 g ning lõppkaal on 0,469 g.

Kuuenda katsekuu lõpuks (aprill) on võrdselt kahanenud aluste II (purustatud olmejäätmed), IV (kompost) ja V (turvas) kaselehtede proovid (81%, 81%, 92%). Kõige rohkem vähenes aluse V (turvas) katseproov (92%). Algkaal 0,506 g on vähenenud 0,039 g ning alg- ja lõppkaalu vahe on 0,467 g. Kõige vähem kahanes aluse I (põlevkivisubstraat) kaselehtede algkaal, kus algkaal 0,505 g on vähenenud 0,158 g ning alg- ja lõppproovi erinevus on 0,158 g. Kaselehtede algkaal on vähenenud 31%. Aluse III (reoveesette muda) kaselehtede algkaal 0,501 g on suurenenud 0,124 g ning lõppkaal on 0,625 g, mis tähendab, et algkaal on suurenenud 25%.

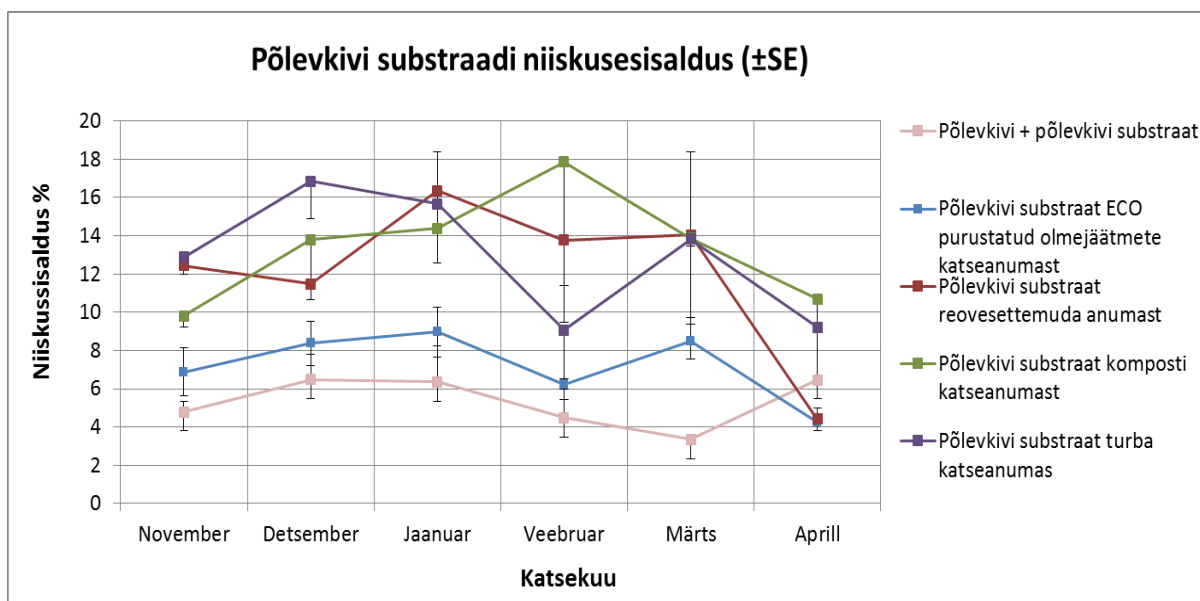


Joonis 6. Kaselehtede keskmine algkaal ja lõppkaal aluste kaupa kuue katsekuu jooksul

### 4.3 Substraatide niiskusesisaldus

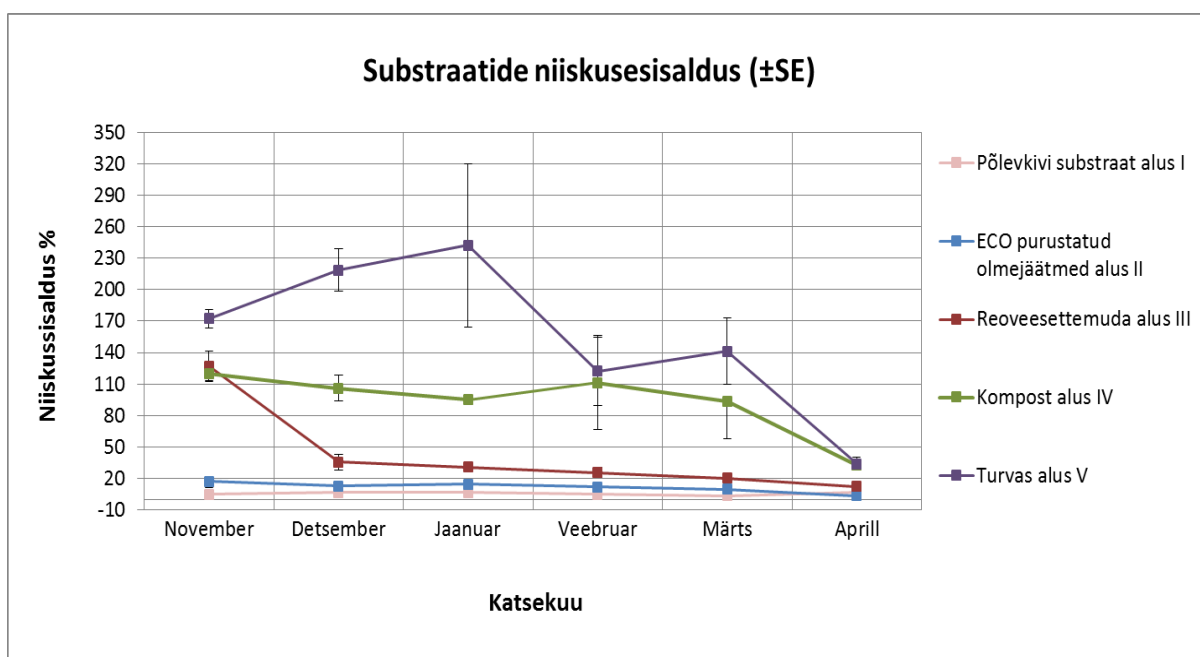
Joonisel 7 ja 8 on toodud kuue katsekuu keskmised substraatide niiskusesisaldused. Joonisel 7 toodul graafikul on toodud aluste I-V põlevkivi (katseanuma 2/3 ulatuses alumine kiht) substraadi keskmised niiskusesisaldused (ei ole arvestatud pealmist 1/3 ulatuses olevat substraati) ning joonisel 8 on eraldi toodud aluse I põlevkivi ning ülejäänud substraadialuste (purustatud olmejäätmed, reoveesettemuda, kompost ja turvas) keskmine männiokaste ja kaselehtede niiskusesisaldus.

Novembrikuu (Joonis 7) põlevkivi ehk kõigi aluste 2/3 ulatuses oleva põlevkivi substraadiproovide keskmine niiskusesisaldus oli kõige väiksem alusel I (põlevkivisubstraat, 5%) ja kõige suurem alusel III (reoveesette muda põlevkivisubstraat, 12%) ja V (komposti põlevkivisubstraat, 13%). Kõige madalam põlevkivisubstraadi niiskusesisaldus esines märtsikuus, kui niiskusesisaldus oli 3%. Kuue katsekuu kõige kõrgem niiskusesisaldus esines veebruarikuus, kui alusel IV (komposti põlevkivisubstraat) oli põlevkivisubstraadi niiskusesisaldus 18%. Kuuenda katsekuu lõpuks oli kõige madalam niiskusesisaldus alusel II (purustatud olmejäätmete põlevkivisubstraat, 4%) ja III (reoveesette muda põlevkivisubstraat, 4%). Kõige kõrgem niiskusesisaldus oli alusel IV (komposti põlevkivisubstraat, 11%).



Joonis 7. Põlevkivi substraadi keskmine niiskusesisaldus kuue katsekuu jooksul ( $\pm$ SE)

Männiokaste ja kaselehtede aluste keskmine niiskusesisaldus oli esimesel katsekuul (Joonis 8) kõige väiksem alusel I (põlevkivisubstraat, 5%) ja kõige suurem alusel V (turvas, 172%). Kuue katsekuu jooksul esines kõige madalam niiskusesisaldus märtsikuus põlevkivi substraadi alusel I (3%) ja kõige kõrgem niiskusesisaldus jaanuarikuus turba alusel V (242%). Kuuenda katsekuu lõpuks oli kõige madalam niiskusesisaldus purustatud olmejäätmete alusel II (4%) ja kõige kõrgem niiskusesisaldus turba alusel V (34%).

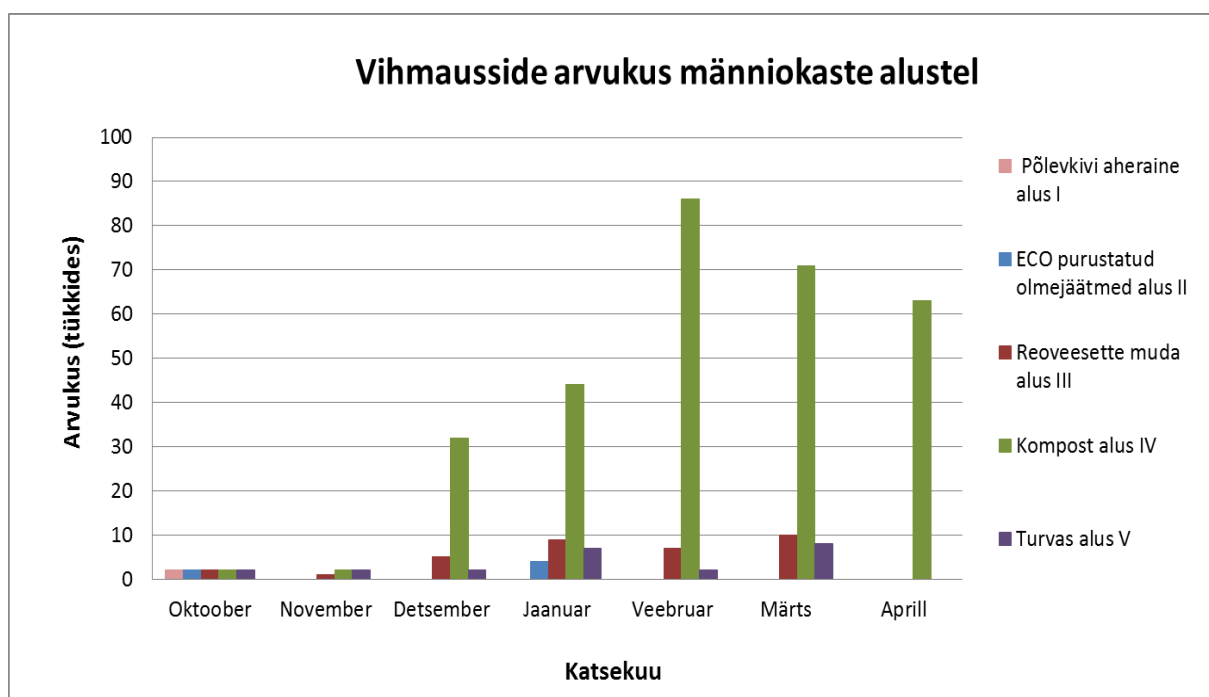


Joonis 8. Substraatide keskmine niiskusesisaldus kuue katsekuu jooksul ( $\pm$ SE)

#### 4.4 Vihmausside ja valgeliimuklaste arvukus

Joonisel 9 ja 10 on toodud vihmausside arvukus männiokaste ja kaselehtede alustel kuue katsekuu (november-aprill) jooksul ning joonisel 11 ja 12 on toodud valgeliimuklaste arvukus männiokaste ja kaselehtede alustel kuue katsekuu (november-aprill) jooksul. Andmete puhul on arvestatud ka substraatide ekstraheerimistulemusi ning joonisel on esimese kuuna (oktoober) esitatud katse algseis.

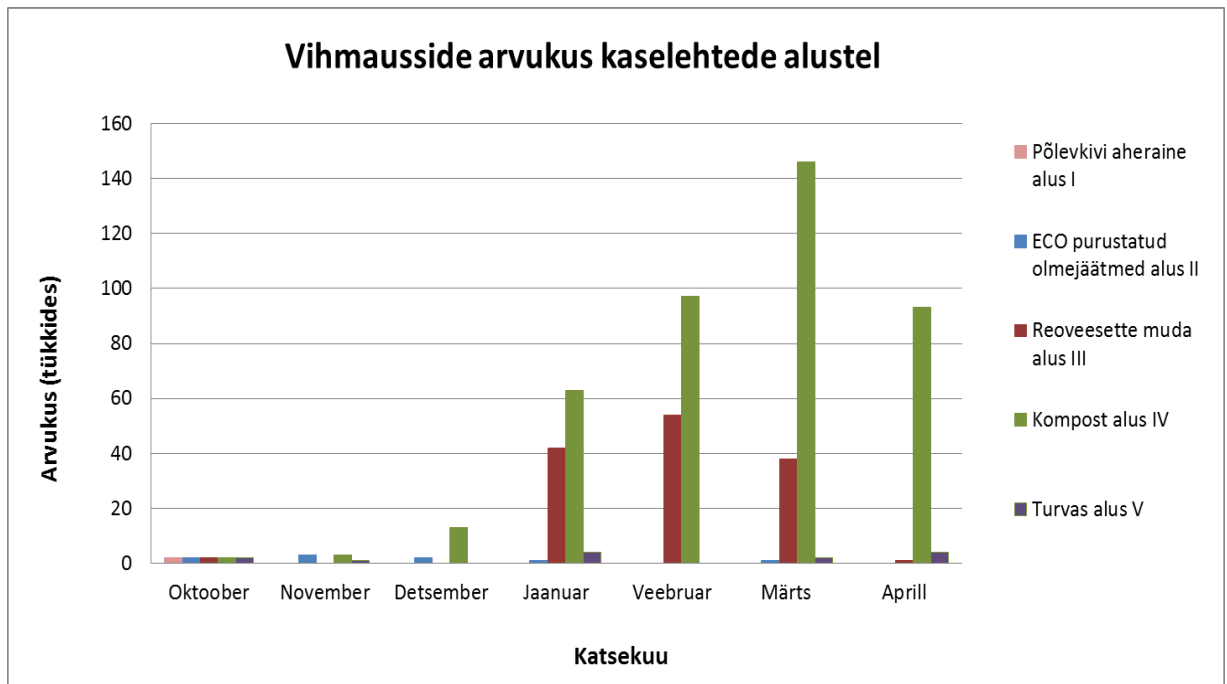
Oktoobris, kui katse algas, oli igas katseanumas kaks sõnnikuussi. Arvukuselt kõige rohkem oli vihmausse veebruarikuu proovis, alusel IV (põlevkivi aheraine + kompost), arvukusega 86 ussi. Vihmaussid puudusid teisel (detsember) katsekuul alustel I (põlevkiviaheraine) ja II (põlevkiviaheraine + purustatud olmejäätmed). Kuuenda katsekuu (aprill) lõpuks oli alusel IV (põlevkiviaheraine + kompost) 63 vihmaussi. Ülejäänutel alustel vihmaussid puudusid.



Joonis 9. Vihmausside arvukus männiokaste alustel kuue katsekuu jooksul koos ekstraheerimistulemustega, oktoober tähistab joonisel katse algseisu

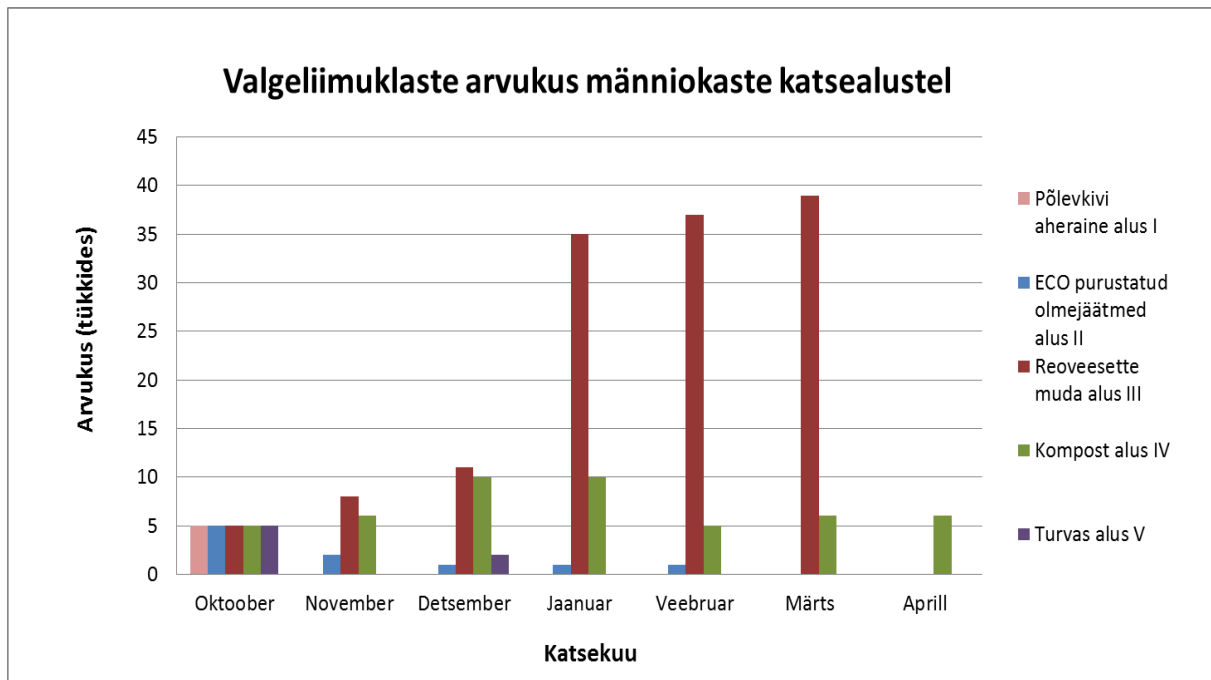
Joonisel 10 on toodud kaselehtede alustes vihmausside arvukus. Katse alguses (oktoober) oli igas katseanumas kaks sõnnikuussi. Arvukuselt kõige rohkem oli vihmausse märtsikuu proovis alusel IV (põlevkiviaheraine + kompost) 146 tükki. Novembrikuu proovidest puudusid vihmaussid alustel I (põlevkiviaheraine) ja III (põlevkiviaheraine + reoveesette muda). Kuuenda katsekuu (aprill) lõpuks oli vihmausside arvukus kõige suurem alusel IV (põlevkiviaheraine + kompost), kus neid oli 93 tükki. Alustel I (põlevkiviaheraine) ja II (põlevkiviaheraine + purustatud olmejäätmed) vihmaussid puudusid.





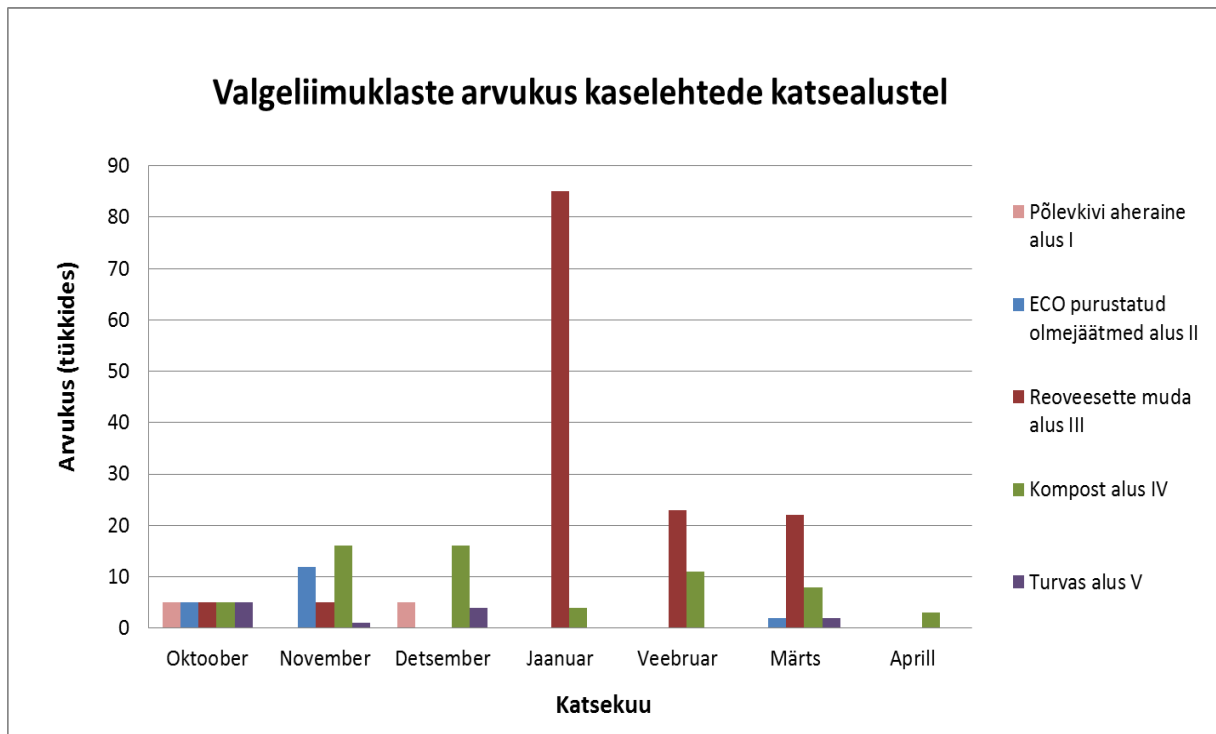
Joonis 10. Vihmausside arvukus kaselehtede alustel kuue katsekuu jooksul koos ekstraheerimistulemustega, oktoober tähistab joonisel katse algseisu

Joonisel 11 on esitatud valgeliimuklaste arvukus kuue katsekuu (november-aprill) jooksul männiokaste katsealustel, oktoober tähistab katse algseisu, kui igas katseanumas oli viis valgeliimuklast. Esimese katsekuu lõpuks puudusid valgeliimuklased alustel I (põlevkiviaheraine) ja V (põlevkiviaheraine + turvas). Kõige suurem oli valgeliimuklaste arvukus märtsikuus alusel III (põlevkiviaheraine + reoveesette muda), kus neid oli 44 tükki. Kuuenda katsekuu lõpuks (aprill) oli valgeliimuklaste arvukus kõige suurem alusel IV (põlevkiviaheraine + kompost), kus neid oli 29 tükki. Ülejäänud alustel valgeliimuklased puudusid.



Joonis 11. Valgeliimuklaste arvukus männiokaste katsealustel kuue katsekuu jooksul, oktoober tähistab joonisel katse algust

Joonisel 12 on esitatud valgeliimuklaste arvukus kuue katsekuu (november-aprill) jooksul kaselehtede katsealustel, oktoober tähistab katse algseisu, kui igas katseanumas oli viis valgeliimuklast. Esimese katsekuu lõpuks puudusid valgeliimuklased alusel I (põlevkiviaheraine). Kõige suurem oli valgeliimuklaste arvukus jaanuarikuus alusel III (põlevkiviaheraine + reoveesette muda), kus oli 88 valgeliimuklast. Kuuenda katsekuu lõpus (aprill) oli valgeliimuklaste arvukus kõige suurem alusel IV (põlevkiviaheraine + kompost), kus oli 50 valgeliimuklast. Ülejäänud alustel valgeliimuklased puudusid.

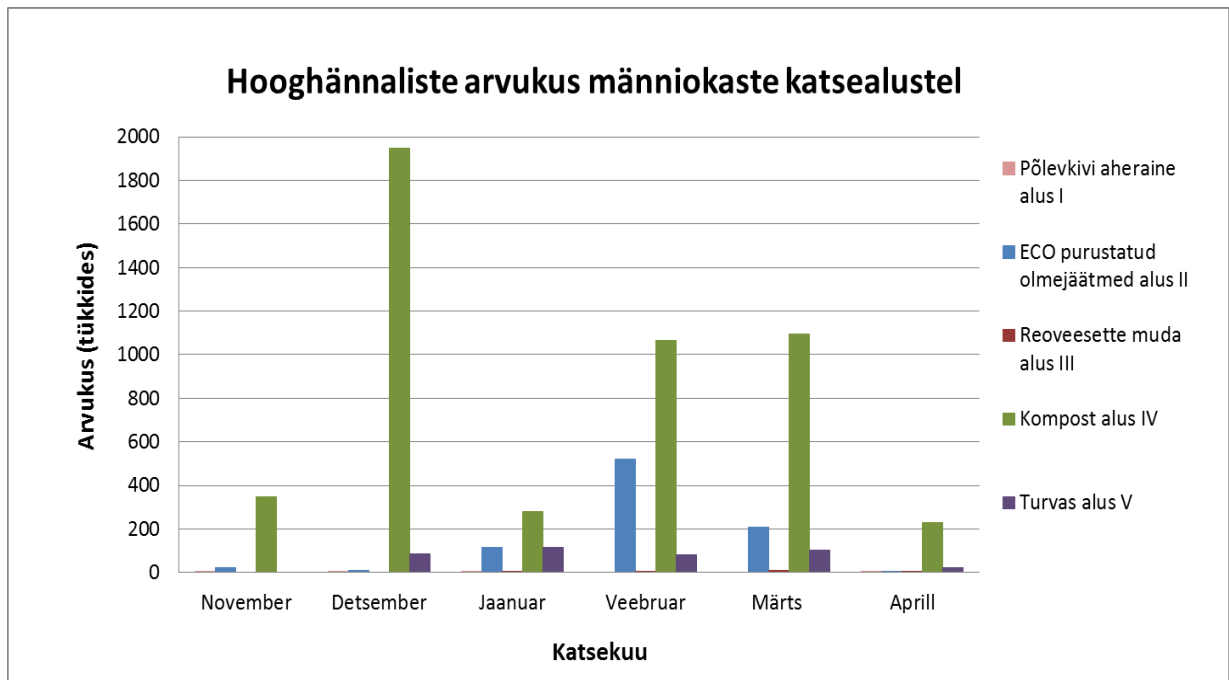


Joonis 12. Valgeliimuklaste arvukus kaselehtede katsealustel kuue katsekuu jooksul, oktoober tähistab joonisel katse algust

#### 4.5 Hooghännaliste arvukus

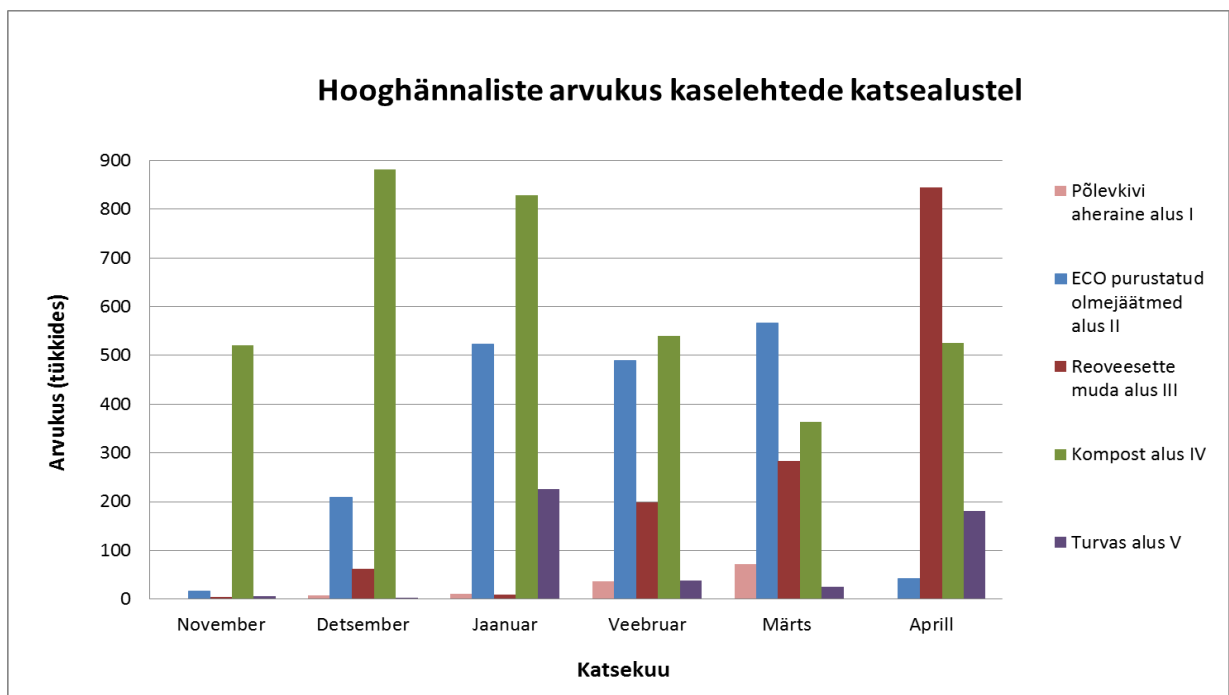
Kuue katsekuu ekstraheerimise tulemused näitasid nelja hooghännaliste perekonna arvukust katseanumates: (*Isotomidae*), (*Onychiuridae*), (*Poduridae*) ja (*Entomobryidae*). Joonisel 13 ja 14 on toodud hooghännaliste perekondade arvukus kokku männiokaste ja kaselehtede alustel kuuel katsekuul (november-aprill).

Kõige suurem hooghännaliste arvukus männiokaste alustel (Joonis 13) oli detsembris alusel IV (kompost, 1947 tükki) ning kõige väiksem oli arvukus alustel I (põlevkivisubstraat) ja III (reoveesette muda), kus hooghännalised enamikel kuudel puudusid või oli isendite arvukus väga väike (nt. märtsis alusel III, 6 tükki).



Joonis 13. Hooghännaliste arvukus männiokaste alustel kuue katsekuu jooksul

Võrdluseks hooghännaliste perekondade arvukus kaselehtedega alusel on näha jooniselt 14, et alusel IV (kompost) oli arvukus kõige suurem (detsember, 881 tükki). Lisaks alusele IV oli arvukus kõrge reoveesette muda alusel III (aprill, 844 tükki). Kõige madalam oli hooghännaliste arvukus alusel I (põlevkiviaherainesubstraat), kus arvukus oli aprillis null. Ülejäänud kuudel varieerus arvukus 2 isendist kuni 71 isendini.



Joonis 14. Hooghännaliste arvukus kaselehtede alustel kuue katsekuu jooksul

Joonisel 13 ja 14 võrdlusel selgub, et kaselehtede alustel on hooghännaliste maksimum arvukus väiksem (alus IV, 881 tükki), kui männiokaste aluste arvukuse maksimum (alus IV, 1947 tükki). Samas on arvukus teistel alustel suurem (nt. aprillis männiokaste alusel III üks isend, samas kaselehtede alusel aprillis 844 isendit) ja ühtlasem kõigi kuue kuu jooksul (nt. purustatud olmejäätmete alus II, kus jaanuarist märtsini oli arvukus vastavalt 523, 490, 567) kui männiokaste alustel (purustatud olmejäätmete alus II, kus jaanuarist märtsini oli arvukus vastavalt 116, 521, 207).

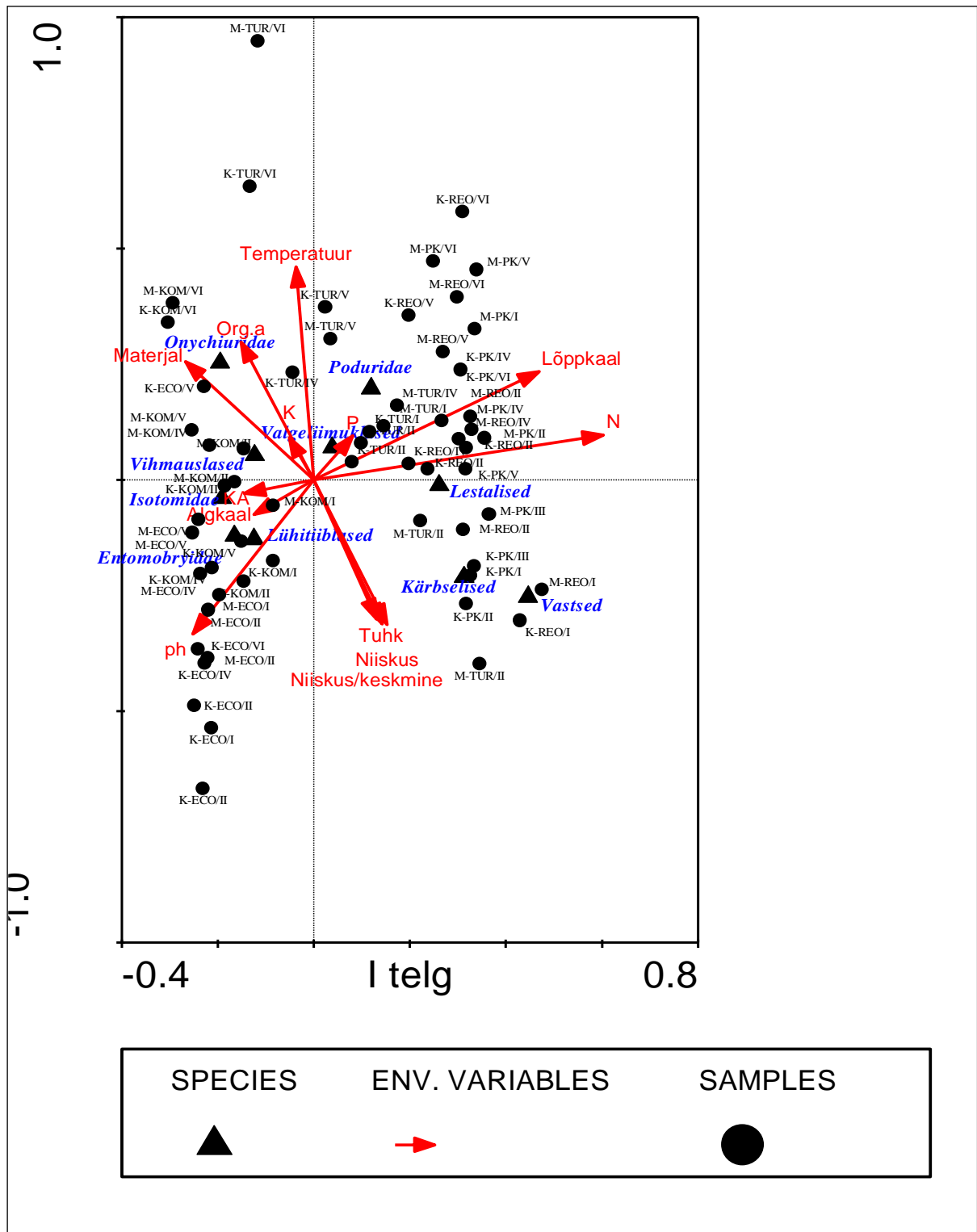
#### **4.6 Kanooniline vastavusanalüüs**

Joonistel 13, 14 ja 15 on esitatud CANOCO 4.52 programmis tehtud vihmausside ja valgeliimuklaste kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (Canonical Correspondence Analysis (CCA)) keskkonnateguritega, kasutades Spearmani astakorrelatsioonikoefitsienti (Spearman Rank Order Correlation).

Statistiliselt usaldusväärset ( $p < 0,05$ ) korreleerus omavahel tugevalt positiivselt vihmausside ja valgeliimuklaste arvukus ( $R = 0,757$ ) (Joonis 13). Vihmausside arvukus korreleerus positiivselt järgmiste keskkonnanäitajatega: lämmastiku sisaldusega (N) ( $R = 0,639$ ), fosforisisaldusega (P) ( $R = 0,545$ ), kaaliumisisaldusega (K) ( $R = 0,545$ ), orgaanilise ainega (org.a) ja substraadi materjaliga ( $R = 0,557$ ) ning niiskusesisaldusega ( $R = 0,568$ ). Vihmausside arvukus korreleerus negatiivselt ( $p < 0,05$ ) keskkonna happesusega (pH) ( $R = -0,422$ ), kuivaine sisaldusega (KA) ( $R = -0,560$ ) ja tuhaga ( $R = -0,557$ ).

Valgeliimuklaste arvukus korreleerus positiivselt järgmiste keskkonnanäitajatega: lämmastiku sisaldusega (N) ( $R = 0,637$ ), fosforisisaldusega (P) ( $R = 0,676$ ), kaaliumisisaldusega (K) ( $R = 0,676$ ), nõrgalt orgaanilise aine ja substraadi materjaliga ( $R = 0,296$ ) ning nõrgalt niiskusega ( $R = 0,371$ ). Valgeliimuklaste arvukus korreleerus negatiivselt kuivaine sisaldusega (KA) ( $R = -0,685$ ) ja nõrgalt tuhaga ( $R = -0,296$ ).

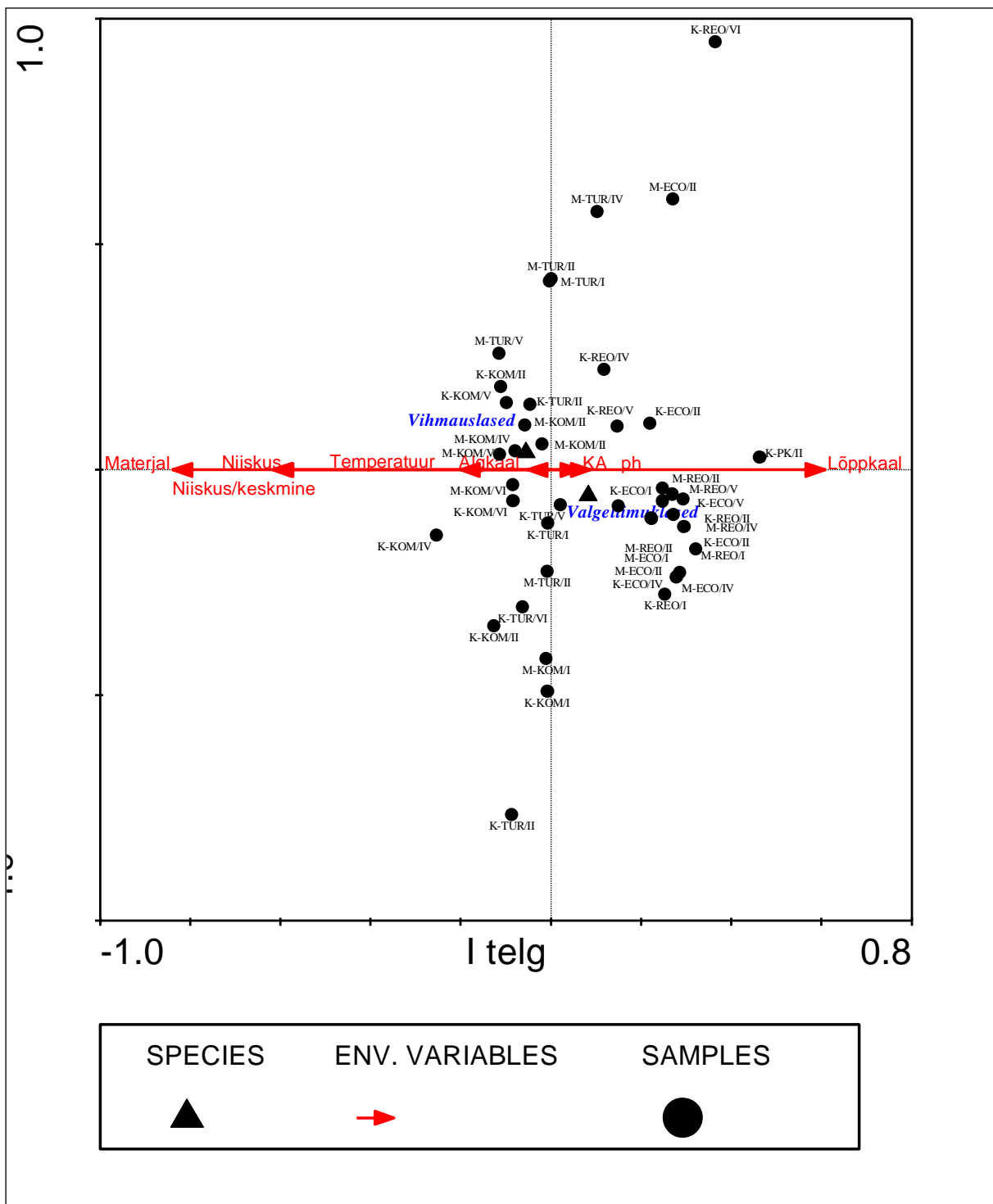
Lisaks vihmaussidele ja valgeliimuklastele korreleerusid keskkonnatingimustega positiivselt ning negatiivselt lestad ja lühitiiblasted. Lestad korreleerusid positiivselt lämmastiku sisaldusega (N) ( $R = 0,433$ ), fosfori sisaldusega (P) ( $R = 0,337$ ) ja kaaliumi sisaldusega (K) ( $R = 0,337$ ) ja negatiivselt kuivaine sisaldusega (KA) ( $R = -0,419$ ). Lühitiiblasted korreleerusid positiivselt fosfori sisaldusega (P) ( $R = 0,261$ ), kaaliumi sisaldusega (K) ( $R = 0,261$ ) ja niiskuse sisaldusega ( $R = 0,340$ ).



Joonis 13. Koosluste kanooniline vastavusanalüüs (CCA), kus kolmnurkadega on tähistatud liigid, nooltena keskkonnatingimused ja ringidega on tähistatud erinevate substraatide katseanumad. I ja II telg kaetud vastavalt 32,5% ja 7,5% ning kogu kanooniline koguväärtus 1,030. Tähisted joonisel: M- mänd, K- kask, PK- põlevkivi, ECO – purustatud olmejätmed, REO – reoveesette muda, KOM – kompost, TUR – turvas ning rooma numbrid tähistavad aluse numbrit

Nii käsitsi korjatud kui ka ekstraheeritud vihmausside ja valgeliimuklaste arvukuse proovitopside substraatide kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (Canonical Correspondence Analysis (CCA)) sõltuvalt keskkonnatingimustest on esitatud joonisel 14. Vihmaussid korreleerusid positiivselt järgmiste keskkonnateguritega: substraatide lämmastikusisaldusega (N) ( $R=0,639$ ), fosforisisaldusega (P) ( $R=0,545$ ), kaaliumisisaldusega (K) ( $R=0,545$ ), orgaanilise ainega (org.a) ja substraadi materjaliga ( $R=0,557$ ) ning niiskusesisaldusega ( $R=0,568$ ). Vihmausside arvukus korreleerus negatiivselt ( $p<0,05$ ) keskkonna happesusega (pH) ( $R=-0,422$ ), kuivaine sisaldusega (KA) ( $R=-0,560$ ) ja tuhaga ( $R=-0,557$ ).

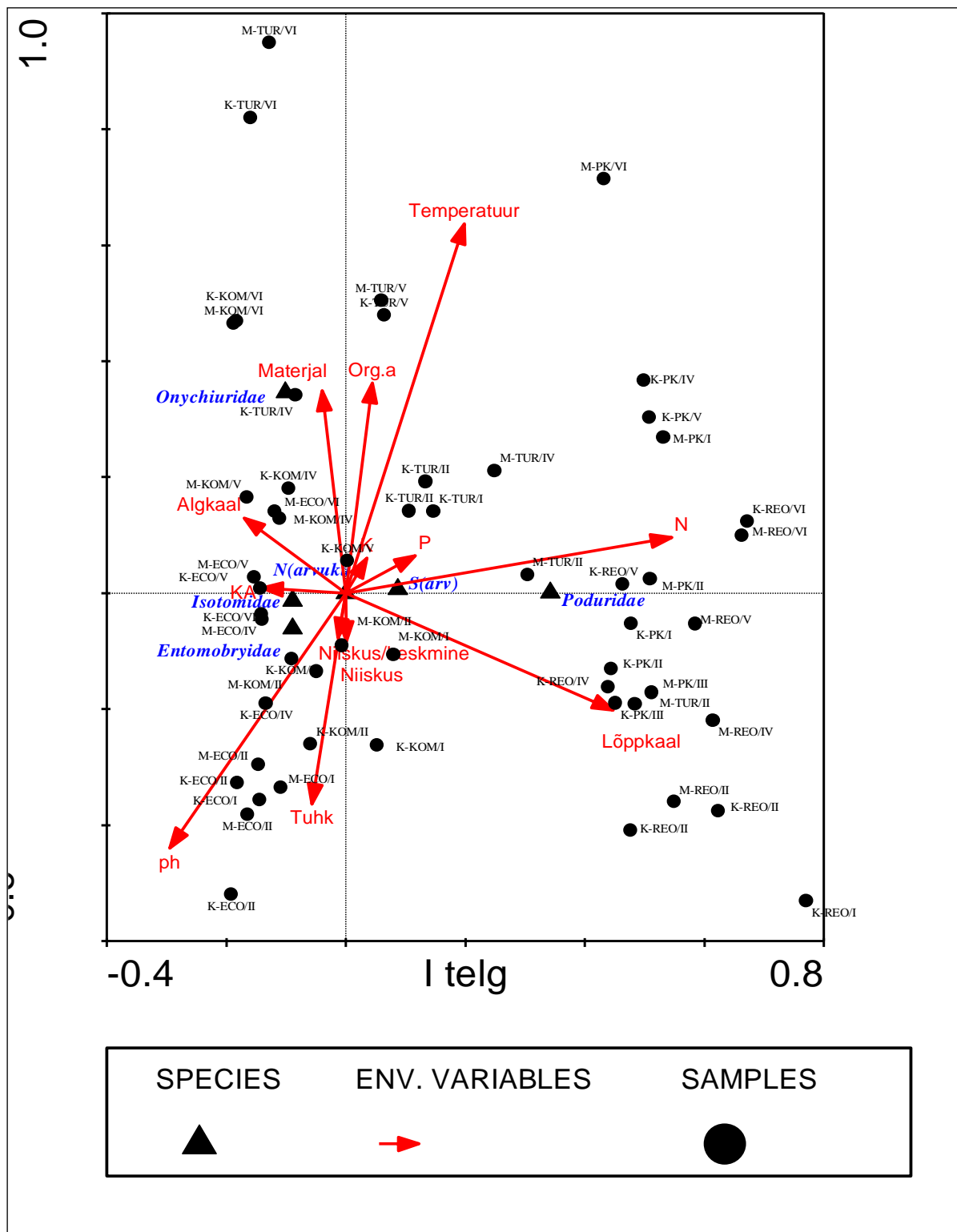
Keskkonnanäitajatest korreleerusid valgeliimuklased positiivselt ( $p<0,05$ ) järgmiste näitajatega: lämmastiku sisaldusega (N) ( $R=0,637$ ), fosforisisaldusega (P) ( $R=0,676$ ), kaaliumisisaldusega (K) ( $R=0,676$ ), nõrgalt orgaanilise aine ja substraadi materjaliga ( $R=0,296$ ) ning nõrgalt niiskusega ( $R=0,371$ ). Negatiivselt korreleerus ( $p<0,05$ ) valgeliimuklaste arvukus kuivaine sisaldusega (KA) ( $R=-0,685$ ) ja nõrgalt tuhaga ( $R=-0,296$ ).



Joonis 14. Vihmausslaste ja valgeliimuklaste koosluste kanooniline vastavusanaliüs (CCA), kus kolmnurkadega on tähistatud liigid, nooltena keskkonnatingimused ja ringidega on tähistatud erinevate substraatide katseanumad. I ja II telg kaetud vastavalt 67,5% ja 18,1% ning kanooniline koguväärtus 0,186. Tähisted joonisel: M- mänd, K- kask, PK- põlevkivi, ECO – purustatud olmejäätmed, REO – reoveesette muda, KOM – kompost, TUR – turvas ning rooma numbrid tähistavad aluse numbrit



Ekstraheeritud hooghännaliste perekondade ja proovitopside kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (Canonical Correspondence Analysis (CCA)) sõltuvalt keskkonnatingimustest on esitatud joonisel 15. Perekonnad *Isotomidae* ja *Onychiuridae* korreleerusid positiivselt ja statistiliselt usaldusväärset (p<0,05) järgnevate keskkonnatingimustega: substraatide fosforisisaldusega (P) ja kaaliumisisaldusega (K) (mõlemaga vastavalt R=0,515 ja R=0,354) ning negatiivselt materjali lõppkaaluga (vastavalt R=-0,315 ja R=-0,297). Perekonnad *Poduridae* ja *Entomobryidae* korreleerusid statistiliselt usaldusväärset järgnevate keskkonnatingimustega: orgaanilise aine sisaldusega (vastavalt R=0,358 ja R=0,273), niiskusega (vastavalt R= 0,366 ja R= 0,283), keskmise substraatide niiskusesisaldusega (vastavalt R= 0,370 ja R= 0,302) ning materjali päritoluga (vastavalt R= 0,358 ja R= 0,273). Perekond *Poduridae* korreleerus positiivselt substraatide lämmastiku sisaldusega (N) (R=0,325) ning negatiivselt mulla happesusega (pH) ja tuhasisaldusega (vastavalt R=-0,282 ja R=-0,358). Perekond *Entomobryidae* korreleerus negatiivselt substraatide temperatuuriga ja materjali lõppkaaluga (vastavalt R=-0,290 ja R=-0,342).



Joonis 15. Hooghännaliste koosluse kanooniline vastavusanalüüs (CCA), kus kolmnurkadega on tähistatud liigid, nooltena keskkonnatingimused ja ringidega on tähistatud erinevate substraatide katseanumad. I ja II telg kaetud vastavalt 45,8% ja 5,9%, kanooniline koguväärtus 0,341. Tähisted joonisel: M- mänd, K- kask, PK- põlevkivi, ECO – purustatud olmejäätmed, REO – reoveesette muda, KOM – kompost, TUR – turvas ning rooma numbrid tähistavad aluse numbrit

## 5. Arutelu

Antud magistritöös jälgiti laboritingimustes erinevate substraatide (X ettevõtte värskest pressitud reoveesette muda, komposteeritud reoveesette muda, EcoCleaneri purustatud olmejäätmete mass ja turvas) mõju mullaelustikule ja varise lagunemisele, et välja selgitada, milliseid substraate oleks võimalik tulevikus kasutada rekultiveeritud alade metsastamisel ja ökosüsteemi taastamisel. Katse jooksul jälgiti järgnevaid faktoreid: temperatuur, männiokaste alg- ja lõppkaal, substraatide niiskusesisaldus, vihmausside ja valgeliimuklaste arvukus ning hooghännaliste erinevate perekondade arvukus. Antud magistritöö imiteeris reaalselt võimalust kasutades rekultiveerimiseks erinevaid substraate, mis tähendab seda, et X ettevõttest saadud reoveesette muda ja komposteeritud reoveesette muda ning purustatud olmejäätmete massi kasutati nii, nagu need saadi, eelnevalt mitte kuumutades ja mitte puhastades taimeosadest ja mullaelustikust.

Katse läbiviimise jooksul oli substraatide temperatuur ühtlane ja ilma suuremate kõikumisteta. Kõigi aluste keskmine temperatuur oli  $19,0 \pm 0,1$  °C. Temperatuur ei langenud katse jooksul alla  $16,4 \pm 0,2$  °C ja ei tõusnud üle  $21,3 \pm 0,1$  °C. Reaalses olukorras ei kesta selline temperatuur nii pika perioodi jooksul ühtlasena, sest temperatuur looduses päeval ja öösel, kevad-, suve- ja sügiskuudel kõigub rohkem kui antud katseolukorras.

Männiokaste ja kaselehtede alg- ning lõppkaalu jälgimise eesmärgiks oli kontrollida, kuidas erinevad substraadid mõjutavad männiokaste ja kaselehtede lagunemist ning teada saada, millised substraadid mõjuvad lagunemisele positiivselt. Joonisel 5 näeme, et aluse I (põlevkivisubstraat) algkaal oli viiel juhul kuuest suurem algkaalust. Sellise ebaloogilise tulemuse põhjuseks on tõenäoliselt see, et antud aluse katsesubstraadiks oli nii all kui peal põlevkiviaheraine, mida oli äärmiselt keeruline männiokaste küljest eraldada. Männiokaste külge kuivades kivistunud aheraine muutis lõppkaalu algkaalust suuremaks. Kuna männiokkad olid kivistunud aherainega ümbritsetud ning sinna ei pääsenud ligi hapnik ega elusorganismid (puudusid antud katsealusel, vaata tulemuste peatükist Joonis 9 ja Joonis 11), siis võime eeldada, et aluse I (põlevkivisubstraat) katseanumates männiokaste algkaal oluliselt ei vähenenud. Kuigi Joonisel 6 võime näha, et kaselehtede kaal aluse I katseanumates vähenes märgatavalt, ei saa me ka siin neid andmeid usaldada. Kaselehed olid samuti kaetud kivistunud aherainega ning pudenesid tükkideks, mistõttu oli põlevkiviaheraine ja kaselehtede eristamine raske. Siingi võime eeldada, et kaselehtede algkaal oluliselt ei vähenenud.

Aluste II (purustatud olmejäätmed), III (reoveesette muda), IV (komposteeritud reoveesette muda) ja V (turvas) puhul võime märgata männiokaste pidevat lagunemisprotsessi kuue

katsekuu jooksul (joonis 5). Kõige edukam lagunemine toimus aluse IV katseanumates, kus kuuendaks katsekuuks oli männiokaste mass vähenenud 54%. Seega saame järeldada, et kõige sobilikum substraat männiokaste lagunemiseks on komposteeritud reoveesette muda. Esimestel katsekuudel oli komposteeritud reoveesette mudaga võrdselt edukas alusel V kasutatud turvas, kuid kuuenda katsekuu lõpuks jäi ta edukuselt kolmandaks. Edukuselt teiseks jäi alusel II kasutatud purustatud olmejäätmed, mis esimestel katsekuudel ei andud nii häid tulemusi. Aluste II, IV ja V tulemused olid üldiselt võrdväärased. Teistest oluliselt kehvema tulemuse andis alusel III kasutatud reoveesette muda.

Kui võrrelda kaselehtede lagunemist, siis Joonisel 6 näeme, et kuuenda katsekuu (aprill) lõpuks on lagunemisprotsess toimunud kõige edukamalt alustel II (purustatud olmejäätmed), IV (komposteeritud reoveesette muda) ja V (turvas). Kõige rohkem oli kaselehed lagunened alusel V, kus kasutati turvast. Kaselehtede algkaal vähenes 92%. Erinevalt männiokaste alustest, kus erinevate substraatide katseanumate tulemused algasid suhteliselt võrdväärset ja lõppesid samuti võrdselt, võime kaselehtede aluste puhul tuua välja esimestel katsekuudel oluliselt paremat tulemust andva substraadi. Esimestel katsekuudel oli kaselehtede algkaal vähenenud oluliselt purustatud olmejäätmete alusel II (45%) ning turba alusel V (37%). Kaselehtede puhul oleks seega kõige edukam kasutada kas purustatud olmejäätmeid või turvast.

Järgnevalt on analüüsitud erinevate substraatide niiskusesisaldust kuue katsekuu jooksul. Joonisel 7 näeme kõigi aluste põlevkivisubstraatide niiskusesisalduste erinevust. Tänu niiskusesisalduse järgimisele erinevate aluste põlevkivisubstraadis saame järeldada, milline alusetel II (purustatud olmejäätmed), III (reoveesette muda), IV (komposteeritud reoveesette muda) ja V (turvas) kasutatud substraat aitab kõige paremini hoida kogu katsekeskkonna niiskusesisaldust. Joonisel 7 nähtud esimese (november) ja kuuenda (aprill) kuu tulemuste põhjal saame järeldada, et kõige paremini tõstsid põlevkivisubstraadi niiskusesisaldust alusel V kasutatud turvas (vastavalt 13% ja 9%), alusel III kasutatud reoveesette muda (vastavalt 12% ja 4%) ning alusel IV kasutatud komposteeritud reoveesette muda (vastavalt 10% ja 11%), kuid samas ei hoidnud nad niiskust ühtlasena. Alusel II kasutatud purustatud olmejäätmed ei tõstnud põlevkivi niiskustaset nii palju kui teised substraadi (vastavalt 7% ja 4%), kuid samas hoidis ta niiskuse taseme ühtlasena, mis võis positiivselt mõjuda mullaelustikule. Katsetulemused ühtivad Emmerlingi ja Paulschi ning Hassinki läbiviidud uurimustega, mis kinnitavad reoveesette muda ja komposti positiivset mõju veesiduvusele ja mullaelustikule (Emmerling ja Paulsch, 2001; Hassink jt, 1997).

Joonisel 8 on toodud erinevate substraatide niiskusesisaldus kuue katsekuu jooksul. Võrdluseks on toodud uuesti ka põlevkivi aheraine niiskusesisaldus. Jooniselt 8 näeme, et kõige paremini hoidis niiskust esimesel (november) ja kuuendal kuul (aprill) alusel V kasutatud turvas (vastavalt 172% ja 34%), järgnes alusel III kasutatud reoveesette muda (vastavalt 127% ja 12%) ning kolmandale kohale jäi alusel IV kasutatud komposteeritud reoveesette muda (vastavalt 120% ja 11%). Alusel II kasutatud purustatud olmejäätmed (niiskusesisaldusega esimesel kuul 7% ja kuuendal 4%) hoidsid ainult vähesel määral paremini niiskust, kui alusel I kasutatud põlevkiviaheraine (niiskusesisaldusega esimesel kuul 5% ja kuuendal 6%). Joonis 8 toob välja reoveesette muda suure miinuse. Nimelt oli esimesel kuul reoveesette muda niiskusesisaldus sarnane kompostiga, aga pika aja jooksul ei suutnud see niiskusesisaldust säilitada. Põhjuseks võib olla väike reoveesette muda mass. Kui võrrelda omavahel turba ja komposteeritud reoveesette muda niiskusesisaldust, võime järeldada, et kompost oli isegi parem, kuna selle niiskusesisaldus ei kõikunud kuue katsekuu jooksul nii palju kui turba niiskusesisaldus. Seega hoidis kõige paremini ja järjepidevamalt niiskusesisaldust komposteeritud reoveesette muda. Ka siin ühtivad tulemused Emmerlingi ja Paulschi uurimusega, kus tõestati, et reoveesette muda, reoveesette muda tuhaga, komposteeritud reoveesette muda ja kompost soodustavad rekultiveeritud kaevanduste kivisütt sisaldavas pinnases vihmausside arvukuse, biomassi ja aktiivsuse tõusu ning Hassinki tulemustega, mis näitasid, et savi- ja mudaosakeste kiht tagab orgaanilist füüsilist kaitset jämeda lõimimisega mullas (Emmerling ja Paulsch, 2001; Hassink jt, 1997).

Joonise 9 põhjal saame tõenäoliselt väita, et kõige paremini mõjub vihmausside arvukusele alusel IV kasutatud komposteeritud reoveesette muda (veebruari 86 tükki). Selle põhjuseks võib olla ka eelnevalt niiskusesisalduse osas arutatud järjepidevuse faktor. Samas peab silmas pidama, et kasutatav kompost võis sisalda juba eelnevalt vihmausse või nende vastseid ning tingida sellega suure vihmausside arvukuse. Kompostile järgneb alusel III kasutatud reoveesette muda (märtsis 10 tükki) ning alusel V kasutatud turvas (märtsis 8 tükki). Alusel I, kus nii peal kui all oli kasutatud põlevkivi aherainet, hukkusid vihmaussid juba esimese kuu (november) jooksul. Alusel II kasutatud purustatud olmejäätmed ei tõstnud oluliselt vihmausside arvukust võrreldes põlevkivi aherainega. Katse tõestas, et turvas, komposteeritud reoveesette muda ning reoveesette muda aitavad kaasa vihmausside arvukuse tõusule ning ühtivad Emmerlingi ja Paulschi tulemustega, mis näitasid, et reoveesette muda, reoveesette muda tuhaga, komposteeritud reoveesette muda ja kompost soodustavad rekultiveeritud kaevanduste kivisütt sisaldavas pinnases vihmausside arvukuse, biomassi ja aktiivsuse tõusu (Emmerling ja Paulsch, 2001).

Võrreldes omavahel joonist 9, millel on toodud vihmausside arvukus männiokaste alustel, ning joonist 10, millel on toodud vihmausside arvukus kaselehtede alustel, saame väita, et kaselehed tõstavad oluliselt vihmausside arvukust. Endiselt kehtib tendents, et kõige suurem oli vihmausside arvukus komposteeritud reoveesette muda alusel IV (märtsis 146 tükki) ning reoveesette muda alusel III (veebruaries 54 tükki). Ülejäänud aluste vihmausside arvukus oluliselt ei tõusnud, kuid kaselehtede alustel oli arvukus erinevalt männiokaste alustest järjepidevam. Kokkuvõtteks saame järeldada, et mullaelustiku vaatepunktist oleks rekultiveerimisel kasepuude kasutamine edukam kui männipuude kasutamine. Antud tulemused kinnitavad, et taimevalik on väga oluline osa aherainepuistangute rekultiveerimisest ning mõjutavad oluliselt varise kvaliteeti ning mullaelustikku (Zhao jt, 2013).

Kui võrrelda valgeliimuklaste arvukust sõltuvalt männiokaste või kaselehtede alustest, siis väga suuri erinevusi ei ilmnenud. Männiokastega alusel mõjus valgeliimuklaste arvukusele oluliselt rohkem alusel III kasutatud reoveesette muda (märtsis 39 tükki). Kaselehtedega alusel oli suurim arvukus III alusel jaanuarikuu katsekuul (85 tükki). Peaaegu üldse ei mõjutanud valgeliimuklaste arvukust turvas, mis ei suuda ilmselt hoida valgeliimuklaste jaoks piisavalt ühtlast niiskusesisaldust.

Siit võib oletada, et juhul, kui kõik ülejäänud valgeliimuklaste arvukust mõjutavad keskkonnafaktorid olid positiivsed (Joonis 13 ja Joonis 14), võib nende arvukusele männiokaste esinemisest paremini mõjuda kaselehtede esinemine katseanumas. Autor kaldub seda arvama tuginedes oma kuuekuulise katse sooritamise ajal tehtud tähelepanekule, et katselehtede eraldamisel olid kaselehtede alustel valgeliimuklased kogunenud tihedalt kaselehtede vahele. Männiokaste alustel sellist kogunemist ei ilmnenud. Jooniselt 11 näeme, et kõige positiivsemalt mõjus valgeliimuklaste arvukusele alusel III kasutatud reoveesette muda (jaanuaris 85 tükki), kuid samas peab märkima, et alusel IV kasutatud komposteeritud reoveesette muda tõstis samuti valgeliimuklaste arvukust (novembris ja detsembris 16 tükki) ning seda kuue kuu jooksul järjepidevamalt kui reoveesette muda. Ülejäänud substraadid ei avaldunud märkimisväärset ning järjepidevat mõju valgeliimuklaste arvukusele. Alusel I põlevkivisubstraadis surid valgeliimuklased esimese katsekuu jooksul.

Joonise 13 ja 15 alusel saame järeldada, et kõige paremini sobib hooghännaliste elukeskkonnaks alusel IV kasutatud komposteeritud reoveesette muda (nt. isendite arvukus männiokaste alusel detsembris 1947 ja kaselehtede alustel 881). Samuti saab järeldada, et kõigi substraatide puhul tõstis hooghännaliste arvukust kasevarise olemasolu mullas.

Kanooniline vastavusanalüüs näitas, et vihmaussid ja valgeliimuklased on omavahel tugevas positiivses seoses ( $R=0,757$ ) ning ühe arvukuse suurenedes, suureneb ka teise arvukus. Vihmausside ja valgeliimuklaste arvukus korreleerus tugevalt positiivselt järgnevate keskkonnanäitajatega: lämmastikuisaldusega, fosforisisaldusega ja kaaliumisisaldusega. Isendite arvukus kasvas seda enam, mida rohkem oli keskkonnas lämmastikku, fosforit ja kaaliumit, mis on kõik olulised toitained mullas.

Kui N, P ja K kontsentratsioonile reageerisid vihmaussid ja valgeliimuklased sarnaselt, siis orgaanilise aine ja materjali niiskusesisalduse koefitsient oli neil erinev. Vihmaussid on rohkem mõjutatud orgaanilise aine sisaldusest ja materjalist ( $R=0,557$ ) ning niiskusest ( $R=0,568$ ) kui valgeliimuklased ( $R=0,296$ ;  $R=0,371$ ). Kanoonilise vastavusanalüüsi tulemused näitavad, et vihmaussidele ei sobi happeline keskkond ( $R=-0,421$ ) – mida väiksem on pH, seda väiksem on vihmausside arvukus. Ka substraatide kuivaine sisaldusel ja tuhal oli valgeliimuklastele ja vihmaussidele negatiivne mõju.

Kanoonilise vastavusanalüüsi tulemused kattuvad mitmete eelnevalt toodud erinevate artiklite ja uuringute andmetega ning kinnitavad mullaelustiku tugevat seost erinevate keskkonnafaktoritega (Abakumov ja Frouz, 2013; Zhao jt, 2013; Helingerova jt, 2010). Rekultiveerimisel tuleks tõsta toitainete sisaldust mullas, et parandada mullaelustiku arvukust ja taimede kasvu, mis omakorda toodavad uusi toitaineid. Kõige otstarbekam oleks selleks kasutada reoveesette muda, nagu kinnitavad erinevad uuringud maailmas (Emmerling ja Paulsch, 2001; Theodoratos, 2000). Antud katse tulemused näitavad, et turvas ja komposteeritud reoveesette muda mõjuvad mullaelustikule positiivsemalt, kuid nende kasutamine nõuab rohkem ressursse ja ettevalmistust kui reoveesette muda kasutus. Siiski tuleks antud substraate katsetada reaalselt aherainepuistangutes, et näha, kuidas koguste suurenemine ja ettearvamatud ilmastikutingimused katsetulemusi muudavad. Katsetada tuleks ka reoveesette muda ja turba ning purustatud olmejäätmete segusid, kuna turvas aitab tõsta põlevkiviaheraine niiskusesisaldust ning purustatud olmejäätmed hoiavad niiskust ühtlasena.

Põhilised uurimustöö järeldused:

- männiokaste ja kaselehtede varise lagunemisele mõjuvad kõige positiivsemalt turba, komposteeritud reoveesette muda ja purustatud olmejäätmete substraadid;
- vihmausside ja valgeliimuklaste arvukust tõstab kõige paremini komposteeritud reoveesette muda ja värskelt pressitud reoveesette muda substraat ning hooghännaliste arvukust tõstab komposteeritud reoveesette muda substraat;

- mullaelustiku arvukusele avaldab positiivset mõju kaselehe varise esinemine mullas;
- aherainepuistangu rekultiveerimisel oleks kõige parem kasutada komposteeritud reoveesette muda (tõstab mullaelustiku arvukust ja niiskusesisaldust), värskelt pressitud reoveesette muda (tõstab mullaelustiku arvukust ja niiskusesisaldust) või turvast (tõstab niiskusesisaldust);
- kõige kasulikum oleks reoveesette muda komposteerimisel tõenäoliselt kasutada turvast, millega tagatakse karjäärade rekultiveerimisel täiendav mullaelustiku fauna ja aherainekihi hüdrofoobsus ehk veesiduvus, mis on oluline varise lagundamiseks (oluline mullatekkele).



## Kokkuvõte

Eestimaal tähtsaimaks maavaraks kujunenud põlevkivi on endaga kaasa toonud mitmeid kaevandamisega seotuid keskkonnaprobleeme – taimestiku ja loomastiku hävimine, rikutud veerežiim ning häiritud maapõue geoloogiline tasakaal. Säästliku ja jätkusuutliku kaevandamise osaks on tänapäeval kaevandatud alade rekultiveerimine.

Antud magistritöö keskendub uute lahenduste leidmisele avamaakaevanduste rekultiveerimisel, et kiirendada mullaelustiku teket ning taimestiku kasvu. Uurimustöö eesmärkideks oli jälgida erinevate substraatide mõju männiokaste ja kaselehtede lagunemisele kuue katsekuu jooksul; analüüsida, kuidas mõjutavad erinevad substraadid sõnnikuusside (*Eisenia fetida*), valgeliimuklaste (*Enchytraeidae*) ja hooghännaliste (*Collembola*) arvukust katseanumates ning selgitada välja, milliseid substraate oleks kõige mõistlikum ja reaalsem kasutada Narva karjääri rekultiveerimisel.

Ülesseatud katse käigus jälgiti laborikeskkonnas 60 katseanumas kuue katsekuu jooksul põlevkiviaheraine, EcoCleaneri purustatud segaolmejäätmete, reoveesette muda, komposteeritud reoveesette muda ja turba mõju männiokaste ja kaselehtede varise lagunemisele ning substraatide niiskusesisaldust ja mõju põlevkiviaheraine niiskusesisaldusele. Igasse katseanumasse lisati kaks sõnnikuussi (*Eisenia foetida*) ja viis valgeliimuklast (*Cognettia sphagnetorum*), et jälgida nende arvukust katseperioodil. CANOCO 4.52 programmis tehti vihmausside ja valgeliimuklaste kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (Canonical Correspondence Analysis (CCA)) keskkonnateguritega, kasutades Spearmani astakorrelatsioonikoefitsienti (Spearman Rank Order Correlation).

Katse tulemused näitasid, et männiokaste ja kaselehtede varise lagunemisele mõjuvad kõige paremini turba, komposteeritud reoveesette muda ja purustatud segaolmejäätmete substraadid. Vihmausside ja valgeliimuklaste arvukust tõstavad kõige paremini komposteeritud reoveesette muda ja värskelt pressitud reoveesette muda substraadid. Hooghännaliste arvukusele avaldas positiivset mõju komposteeritud reoveesette muda. Ilmnes seaduspära, et mullaelustik oli arvukam kaselehtede varisega alustel. Aherainepuistangu rekultiveerimisel oleks tõenäoliselt kõige otstarbekam kasutada komposteeritud reoveesette muda (tõstab mullaelustiku arvukust ja niiskusesisaldust), värskelt pressitud reoveesette muda (tõstab mullaelustiku arvukust ja niiskusesisaldust) või turvast (tõstab niiskusesisaldust). Kõige kasulikum oleks tõenäoliselt reoveesette muda komposteerimisel kasutada turvast, millega

tagatakse karjääride rekultiveerimisel täiendav mullaelustiku fauna ja aherainekihi hüdrofoobsus ehk veesiduvus, mis on oluline varise lagundamiseks (oluline mullatekkele). Kanooniline vastavusanalüüs kinnitas mullaelustiku omavahelisi seoseid ja tugevaid seoseid erinevate keskkonnatingimustega.

## Summary

Oil shale has become the most important mineral in Estonian industry. Along which oil shale opencast mining has developed different environmental problems; destruction of flora and fauna, the water regime has been corrupted and the geological balance has been drifted. Reclamation of mined areas is an important part of economical and sustainable mining.

This thesis focuses on finding new solutions in reclamation of opencast mining processes, so it would be possible to increase the soil biota and plant growth. The goals of the research were: to monitor the effects of different substrates of pine needles and birch leaves litter during the disintegration of the six months study; to analyze the effect of different substrates to redworm (*Eisenia fetida*), potworm (*Enchytraeidae*) and springtale (*Collembola*) population; to find out what substrates would be the most reasonable and realistic to use at Narva (Estonia) career re-cultivation.

During the six months laboratory study in the 60 test vessels the effect of substrate of colliery spoil heaps, the crushed mixed municipal waste of Estonian company EcoCleaner, sewage sludge, compost and turf were monitored to see the impact of pine needles and birch leaf litter decay. The humidity of substrates and the impact of different substrates (the crushed mixed municipal waste of Estonian company Ecocleaner, sewage sludge, compost and turf) to the humidity of colliery spoil heaps substrate, also was monitored. Into each test vessel two redworms (*Eisenia foetida*) and five potworms (*Enchytraeidae*) were added, to see changes in the population during the six month study. The program CANOCO 4.52 was used to see earthworm and potworm Canonical Correspondence Analysis to different environmental factors, with Spearman Rank Order Correlation.

The results of laboratory study indicate that the pine needles and birch leaf litter decay best with turf, compost and crushed mixed municipal waste substrates. The population of redworms (*Eisenia foetida*) and potworms (*Enchytraeidae*) were increased by compost and sewage sludge substrates. The population of springtales (*Collembola*) was positively affected by compost. It was revealed that birch leaf litter increases the soil fauna population. During the reconstruction of functional ecosystems, usage of compost, sewage sludge or turf, would be the most efficient. Also it would be useful to compost sewage sludge and turf together in order to see most efficient impact to soil fauna population and humidity of the colliery spoil heaps. The Canonical Correspondence Analysis confirmed internal bi-directional effects in soil fauna, also strong relationship between different environmental conditions and soil fauna.

## **Tänuõnad**

Töö autor tänab siiralt oma juhendajat Annely Kuud, kes leidis alati vaba hetke, et vastata küsimustele ning lahendada tekkinud probleeme ning kaasjuhendajat Jane Peda investeeritud aja ja abi eest.

Magistritööd finantseeris Eesti Teadusfond Grant 9258 „Mesofauna mõju läbi lagunemisprotsesside mulla kvaliteedile, nende olulisus toiduahelas ja suksessioon inimese poolt mõjutatud piirkondades“ ja B02 „Mullaelustiku uuringud inimese poolt mõjutatud piirkondades: mudelid, mõjutused, toiduahelad“.

## Kirjandus

- Abakumov, E., Frouz, J. 2013. Humus Accumulation and Humification during Soil Development in Post-Mining Soil. In: Frouz, J. (eds.). Soil Boita and Ecosystem Development in Post Mining Sites. CRC Press. USA. p. 19-38.
- Alexander, E. B. 2013. Soils in Natural Landscapes. CRC Press. USA. p. 155–178
- Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E. 2012. Mullateadus. Eesti Maaülikool. Tartu. lk 486.
- Briones, M. J. I. 2005. Encyclopedia of Soil Science. In: Lal, R. (eds.). Enchytraeidae. CRC Press. USA. p. 514-518.
- Coleman D.C., Crossley D.A. Jr., Hendrix P.F. 2004. Fundamentals of Soil Ecology. 2nd Edition. Elsevier Academic Press. 386 pp.
- Emmerling, C., Paulsch, D. 2001. Improvement of earthworm (*Lumbricidae*) community and activity in mine soils from opencast coal mining by the application of different organic waste materials. *Pedobiologia*. 45 (2001). p. 396–407.
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2006/21/EÜ, 15.03.2006. ELT L 102, 11.4.2006, lk 15.
- Fjellberg, A. 1980. Identification keys to Norwegian Collembola. *Norsk Entomologisk Forening*. p. 158.
- Frouz, J.(c) 2013. Soil Boita and Ecosystem Development in Post-Mining Sites: Conclusion and Practical Implications. In: Frouz, J. (eds.). Soil Boita and Ecosystem Development in Post Mining Sites. CRC Press. USA. p. 291-302.
- Frouz, J., Elhottová, D., Baldrián, P., Chroňáková, A., Lukešová, A., Nováková, A., Krištůfek, V. (a) 2013. Soil Microflora Development in Post-Mining Sites. In: Frouz, J. (eds.). Soil Boita and Ecosystem Development in Post Mining Sites. CRC Press. USA. p. 104-132.
- Frouz, J., Pižl, V., Tajovský, K. 2007. The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. *European Journal of Soil Biology*. 43 (2007). p.184-189.

- Frouz, J., Pižl, V., Tajovský, K., Starý, J., Holec, M., Materna, J. (b) 2013. Soil Macro- and Mesofauna Succession in Post-Mining Sites and Other Disturbed Areas. In: Frouz, J. (eds.). Soil Boita and Ecosystem Development in Post Mining Sites. CRC Press. USA. p. 218-235.
- Háněl, L., Devetter, M., Adl, S.M. 2013. Recovery and Colonization at Post-Mining Sites by the Soil Microfauna. In: Frouz, J. (eds.). Soil Boita and Ecosystem Development in Post Mining Sites. CRC Press. USA. p. 172-216.
- Hassink, J., Matus, C., Chenu, C., Dalenberg, J. W. 1997. Interactions Between Soil Boita, Soil Organic Matter, and Soil Structure. Inc: Brussaard, L., Ferrera-Cerrato, R. Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. CRC Press. USA. p. 15-36.
- Helingerová, M., Frouz, J., Šantrůčková, H. 2010. Microbial activity in reclaimed and unreclaimed post-mining sites near Sokolov (Czech Republic). Ecological Engineering. 36 (2010). p. 768–776.
- Huhta, V. 2007. The role of soil faun in ecosystems: A historical review. Pedobiologia. 50 (2007). p. 489-495.
- Jäätmeseadus. Riigikogu seadus, 28.01.2004. RT I 2004, 9, 52.
- Kaar, E., Lainoja, L., Luik, H., Raid, L., Vaus, M. 1971. Põlevkivikarjäärade rekultiveerimine. Valgus. Tallinn. lk 116.
- Kaevandamiseseadus. Riigikogu seadus, 29.01.2003. RT I 2003, 20, 118.
- Kask, R. 1996. Eesti mullad. Mats. Tallinn. lk 239.
- Kattai, V., Saarde, T., Savistik, L. 2000. Eesti Põlevkivi: geoloogia, ressurs, kaevandamine. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn. lk 226.
- Keskkonnaagentuur, 2014. Keskkonnaülevaade 2013: loodusvarad ja nende kasutamine. [http://www.keskkonnainfo.ee/failid/ky\\_2013\\_pt2.pdf](http://www.keskkonnainfo.ee/failid/ky_2013_pt2.pdf) (14.02.2014).
- Kukk, T. 2007. Kirde-Eesti keskkonna hullud ajad on möödas. Eesti Loodus. 9/2007. lk 38-41.
- Maapõueseadus. Riigikogu seadus, 23.11.2004. RT I 2004, 84, 572.
- 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.

Postma-Blaauw, M. B., Bloem, J., Faber, J. H., Groenigen, J. W., Goede, R. G. M., Brussaard, L. 2006. Earthworm species composition affects the soil bacterial community and net nitrogen mineralization. *Pedobiologia*. 50 (2006). p. 243-256.

Scullion, J., Malik, A. 2000. Earthworm activity affecting organic matter, aggregation and microbial activity in soils restored after opencast mining for coal. *Soil Biology & Biochemistry*. 32 (2000). p. 119-126.

Zhao, Z., Shahrour, I., Bai, Z., Fan, W., Feng, W., Li, H. 2013. Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1-13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. *European Journal of Soil Biology*. 55 (2013). p. 40-46.

Tammiksaar, E. 2013. Põlevkivitööstuse algus Eestis. *Akadeemia*. 2/2013. lk. 278-309.

Theodoratos, P., Moirou, A., Xenidis, A., Paspaliaris, I. 2000. The use of municipal sewage sludge for the stabilization of soil contaminated by mining activities. Volume 77. Issues 1–3. p. 177–191.

Tõnisson, H., Lepik, Õ. 1976. Mullateaduse õpik. Valgus. Tallinn. lk 211.

Varb, N., Tambet, Ü. 2008. 90 aastat põlevkivi kaevandamisest Eestist: tehnoloogia ja inimesed. GeoTrail KS. Tallinn. lk 761.

Vilet, P.C.J., Hendrix, P.F., Callahan, Jr. M. A. 2011. Handbook of soil sciences: Properties and Processes. In: Huang, P. M., Li, Y., Sumner, M. E. (eds.). CRC Press. USA. p. 35-42.

Worm, B., Duffy, J. E. 2003. Biodiversity, productivity and stability in real food webs. *TRENDS in Ecology and Evolution*. Vol. 18. No. 12. p. 628-631.

Öhlinger, R., 1996. Soil Respiration by titration: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., Margesin, R. (Eds.), *Methods in soil biology*. Springer-Verlag, Berlin. p. 94-97.

**LISAD**



## LISA 1

**Männiokaste ja kaselehtede algaal**

Katseanumasse lisatud männiokaste algne kaal (g)					
Alus Katseanum	I	II	III	IV	V
1	0,504	0,503	0,501	0,505	0,506
2	0,503	0,501	0,503	0,506	0,504
3	0,504	0,503	0,504	0,506	0,506
4	0,504	0,504	0,499	0,501	0,500
5	0,506	0,502	0,506	0,499	0,503
6	0,499	0,500	0,500	0,502	0,504

Katseanumasse lisatud kaselehtede algne kaal (g)					
Alus Katseanum	I	II	III	IV	V
1	0,505	0,505	0,501	0,501	0,506
2	0,504	0,502	0,504	0,502	0,501
3	0,501	0,502	0,508	0,505	0,507
4	0,507	0,500	0,504	0,503	0,501
5	0,506	0,505	0,501	0,507	0,501
6	0,504	0,505	0,506	0,505	0,505