

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž
Keskkonnakaitse õppetool

**REKULTIVEERITUD NARVA JA AIDU PÕLEVKIVIKARJÄÄRIDE VARISE
KOOSTISE JA HULGA MÕJU MULLAELUSTIKU ARVUKUSELE JA
MITMEKESISULE**
Magistritöö tööstusökoloogia erialal

Inga Maršalok

Juhendaja: Annely Kuu

Tartu 2015

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

Mõisted	5
Sissejuhatus.....	7
1. Ida-Virumaa põlevkivikarjääride areng ja ajalugu	9
1.1. Narva karjäär	11
1.2. Aidu karjäär	11
2. Põlevkivikarjääride rekultiveerimise tähtsus ja mõju mullatekke protsessidele	13
2.1. Rekultiveerimise etapid	15
2.1.1. Puude valik	17
2.1.2. Narva ja Aidu ja karjääride rekultiveerimine	19
3. Mullaelustik ja bioindikatsioon	21
3.1. Mullaelustiku roll mullatekke protsessidel.....	21
3.1.1. Vihmaussid- <i>Lumbricidae</i>	27
3.1.2. Valgeliimuklased- <i>Enchytraeidae</i>	28
3.1.3. Hooghännalised- <i>Collembola</i>	28
3.1.4. Mullalestad- <i>Acari</i>	29
3.2. Bioindikatsioon mullaelustiku abil.....	31
4. Materjal ja metoodika	33
4.1. Proovikohtade iseloomustus	33
4.2. Muldade keemiline ja mikrobioloogiline analüüs	34
4.3. Variseproovide sorteerimine.....	35
4.4. Andmetöötlus.....	35
5. Tulemused.....	36
5.1. Mulla keemiline ja mikrobioloogiline analüüs	36
5.2. Variseproovide tulemused	37
Arutelu	48
Kokkuvõte.....	52
Summary.....	53
Tänuavaldus	55
Kasutatud kirjandus.....	56
Lisa 1	61
Lisa 2	62
Lisa 3	63

Lisa 4	64
Lisa 5	65
Lisa 6	65
Lisa 7	66
Lisa 8	67
Lisa 9	68

Mõisted

Bioindikaator- on liik, mis väljendab keskkonnatingimiste muutusi selgeltloetavate bioloogiliste reaktsioonidega, kusjuures olulist informatsiooni annab siinjuures indikaatorliigi esinemine või mitte-esinemine uuritavas piirkonnas (Vuorisalo, 1993).

Bioindikatsioon- keskkonnaseisundi ja –olude muutumise iseloomustamine organismide-bioindikaatorite- ja nende tunnuste (vitaalsuse, ohtruse, katvuse, sageduse, käitumise) põhjal (Masing, 1992).

Detriitne toiteahel (laguahel) - toiduahel, mis algab eluta orgaanilise aine esmaseist tarbijaist ja lagundajaist ning lõpeb mikroobidega, kes lagundavad orgaanilise aine mineraliseerumiseni (Masing, 1992).

Detritofaagid (detrivoorid)- pudemesööjad, detriidist toituvad veeloomad. Detritofaagide hulka kuulub enamik zoobentose liike, eriti vähke, limuseid, hulkharjasusse, okasnahkseid, putukate vastseid, ka osa planktilisi vähke ja keriloomi. Ühed detritofaagid ammutavad detriiti põhjasetete seest, teised korjavad seda põhjasetete pinnalt, kolmandad kurnavad detriiti (koos planktoniga) põhjalähedasest veest (Masing, 1992).

Fütoaprofaagid- loomad, toituvad taimse päritoluga orgaanilisest ainest (Masing, 1992).

Huumus- pruun või must amorfne keeruka koostisega orgaaniliste ühendite kompleks, mis moodustab mulla orgaanilise aine põhiosa ja on keemilises seoses mulla mineraalosa. Huumus tekib taimejäänuste muundumisega ja mulla mikroobide lagusaadustest, kui need hapenduvad, liituvad ja tihkestuvad (Masing, 1992).

Koprofaagid- loomad, kes toituvad väljaheidete kõdunevast orgaanilisest ainest ning neis arenevaist putukavastseist, bakteerist ja seentest (Masing, 1992).

Metsakõdu- metsavarisest mulla pinnale moodustunud orgaanilise aine kiht, milles taimejäänused on mitmesuguses lagunemisjärgus (Etverk, 1980).

Rekultiveerimine- keskkonnatingimuste parandamine inimtegevusega kasutuskõlbmatuks muudetud (karjääridega, puistangutega) aladel, et neid kasutada metsa-, puhke-, jahi- ja põllumajanduses või linnaehituses. Eristatakse tehnilist (maapinna tasandamine, muldkatte taastamine), bioloogilist (metsastamine, põllustamine) ja ehituslikku rekultiveerimist (hoonete, teede rajamine) (Masing, 1992).

Saprofaagid- kõdu- ehk lagutoidulised loomad, toituvad taimse või loomse päritoluga orgaanilisest ainest (Masing, 1992).

Suktessioon- koosluste vahetus. Autogeense suktessiooni puhul põhjustavad muutusi ökosüsteemi sisetegurid. Autogeene suktessioon algab esimeste organismide saabumisega asustamata elupaika ja kestab mitme järgkoosluse vahetudes suhteliselt püsiva olekukliimaksi- kujunemiseni (Masing, 1992).

Sissejuhatus

Põlevkivi on Eesti tähtsaim maavara. Tänu temale võime rääkida Eestist kui mäetööstusriigist (Varb ja Tambet, 2008). Põlevkivielekter moodustab umbes 95% Eestis toodetavast elektrienergiast. Põlevkivi või põlevkiviõli kütusena kasutavad elektrijaamad ja katlamajad varustavad soojusenergiaga sadu tööstusettevõtteid ja kümneid tuhandeid kodusid Eestimaa eri paikades (Roks, 2004).

Kirde-Eesti on maavaradelt rikkaim piirkond Eestis (Kattai jt, 2000), kus põlevkivi on toodetud nii ava- kui allmaakaevandamisega. Kuid igasugune kaevandamine ja tööstustegevus muudab looduslikku tasakaalu (Varb ja Tambet, 2008). Avakaevandamisel on üheks oluliseks küsimuseks maakasutus ja sellega seonduvad probleemid. Mäeettevõtte vajab maad oma rajatiste ja kommunikatsioonide jaoks kui ka maa-ala, kus toimub põlevkivi kaevandamine. See toob kaasa loodusliku maastiku, geoloogilise keskkonna, hüdrogeoloogilise režiimi, teedevõrgu ja asulate arendamise tingimuste muutmise, maakasutamise katkestamise, atmosfääri saastumise lõhketöödel tekkiva tolmuga. Keskkonnatingimuste muutustega on kaasnenud ka mõningaid muutused taimkatte koosluses ja metsade seisundis (Kattai jt, 2000). Seepärast on teravalt kerkinud päevakorda loodusrikkuste ratsionaalse kasutamise, taastamise ja kaitse küsimused, mis paljudes maades on juba kujunenud teravaks ökoloogiliseks, teaduslik-tehniliseks ja sotsiaalmajanduslikuks probleemiks (Randmaa, 1980).

Leiukohtade karjääriviisilise kaevandamise ja ammendatud alade kord on määratletud Eesti Riikliku seadusega- maavarade kui rahvusliku rikkuse kasutamist reguleerib maapõueseadus (MPS). Vastavalt seadusele on maavara kaevandaja kui keskkonnakasutuse eesõigustatud isik kohustatud „täielikult hüvitama kõik maavara kaevandamisega tekitatud kahjud (Reinsalu, 2000). Selle seaduse § 48 öeldakse „Kaevandamisloa omanik on kohustatud maavaravaru kaevandamisega rikutud maa korrastama korrastamisprojekti alusel“ (Maapõueseadus).

Koos tööstuse poolt nõutud alade pindala kasvuga väheneb pidevalt põllumaade, looduslike rohumaa ja metsamaade pindala. See protsess teeb aga aktuaalseks maade rekultiveerimise probleemi, s.o. rikutud maade produktiivsuse ning maastike esteetiliste ja sanitaarhügieeniliste taastamise probleemi (Randmaa, 1980).

01. jaanuari 2002. a. seisuga ulatus põlevkivi karjääriviisilise kaevandamisega rikutud maade pindala AS Eesti Põlevkivi andmetel 12319 hektarini (Kaar, 2002). Sellest on tasandatud (tehniliselt rekultiveeritud) 01. mai 2003. a. seisuga 11141 hektarit (Narva karjääri aladel 8883 ha ja Aidu karjääri aladel 2258 ha) (Hallik, 2003).

Käesoleva töö eesmärgiks on:

- uurida rekultiveeritud Narva ja Aidu karjääride variseproovide koostist ja hulka;
- analüüsida rekultiveeritud Narva ja Aidu karjääride variseproovide mullaelustiku arvukust ja mitmekesisust sõltuvalt varise koostisest ja hulgast.

1. Ida-Virumaa põlevkivikarjääride areng ja ajalugu

Eesti põlevkivi kasutamise ajalugu on algpäevist peale seotud põlevkivi lahtise kaevandamisega. Täpsemalt öeldes - esimesed kogused põlevkivi kaevandati karjäärist lahtiste töödega (Allik, 1968).

Esimene põlevkivikarjäär avati 1916. a. tuntud vene geoloogi N. Pogrebovi poolt läbiuuritud piirkonnas Türpsali küla lähedal Petrogradi Kütuste Peakomitee põlevkiviosakonna juhataja prof. A.Lomštšakovi initsiatiivil (Allik, 1968). Kolme aastaga kujunes Virumaal välja kaks mäetööstuspiirkonda- Kohtla ja Ubja. Kohtla regioon kujunes põlevkivitööstuse keskuseks. Täna võib kokku lugeda kokku 20 kaevandamiskohta- karjääri ja (allmaa) kaevandust, kus põlevkivi on kaevandatud või kaevandatakse tänaseni (Varb ja Tambet, 2008). Pidev põlevkivi kaevandamine algas 1918.a., niipea kui Eesti iseseisvus (Kattai jt, 2000).

1919-1931. a. perioodi iseloomustab põlevkivi lahtine kaevandamine (allmaakaevandamine toimus ainult Kukrusel). Nimelt sel perioodil rajati Pavandu, Vanamõisa, Käva, Kiviõli, Küttejõu, Ubja, Kohtla ja Viivikonna karjäärid. Lahtiselt kaevandatud põlevkivi moodustas 1930. a. üldtoodangust 30% (Allik, 1968).

Esimestel aastatel toimusid paljandustööd eranditult käsitsi. Kattekivimid veeti kaevandatud alasse pukkidele ehitatud kitsastel purretel üherattaliste kärudega, seejuures kaeti puistangus lubjakivid alati mullakihiga. Lõhketöid peaaegu ei kasutatud, puuraugud tehti käsipuuridega või raiuti kangidega, aga talveperioodil sulatati maa üles lõketega. Põlevkivi kaevandati kihiti ülalt alla kiilude ja kirkade abil. Kaevandatud põlevkivi veeti pärast eelnevat käsitsisortimist kitsarööpmelisel raudteel vagonettides auruvedurite või hobustega laadimisplatvormile. Seal see laaditi käsitsi raudteevagunitesse ja saadeti tarbijatele (Allik, 1968).

Mehhaniseerimise puudumise ja talviste halbade töötingimuste tõttu peeti kattekivimite maksimaalseks lubatavaks paksuseks 6 m. Seetõttu oli lahtisteks töödeks kõlblike põlevkivivarude hulk piiratud ja algas üleminek allmaakaevandamisele. 1931. a. alates vähenes lahtiste tööde erikaal ja moodustas 1939. a. ainult 20% üldtoodangust (Allik, 1968).

Uus etapp lahtiste tööde arengus algas viiekümnendate aastate teisel poolel. Selleks ajaks määrati põlevkivi põhilise tarbimisalana kindlaks selle kasutamine energeetilise kütusena

elektrijaamades, mida tingis Nõukogude Liidu looderajoonide elektrienergiaga varustamise vajadus. Ehitatud olid juba Ahtme ja Kohtla-Järve soojuselektrijaamad, siis ehitati Balti soojuselektrijaam - ja projekteeriti Eesti soojuselektrijaam ning nähti ette veel teiste põlevkiviküttel töötavate elektrijaamade ehitamine (Allik, 1968).

Tänapäeval 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. Selleks kasutatakse suure kopamahuga (kuni 20-30 m³) ekskavaatoreid. Paljandusastangule järgneb põlevkiviastang, kus kaevandamine toimub 4 m³ kopamahuga koristusekskavaatori abil, mis tõstab põlevkivi otse kalluritele (Kattai, 2000).

Praegused kaevandamistehnoloogiad sõltuvad nende kasutuskoha traditsioonidest ja sõltuvad kapitalimahutustest. Pidevalt otsitakse ja katsetakse uusi tehnoloogiaid. Kui mäendustingimused muutuvad, siis on otsatarbeks uute avatavate kaevanduste puhul kaaluda ka teiste, võimalike kaevandamistehnoloogiate kasutamist. Peamised muudatused on seotud paksema katendi, ebapüsivate kattekivimite ja tehnoloogia arenguga, näiteks kombainkaevandamise puhul. Avakaevandamisel eristatakse katendi eemaldamise ja kihindi väljamise tehnoloogiat, mida võib muuta üksteisest oluliselt mõjutamata (Adamson, 2005).

Põlevkivikarjäärides saaks kasutada katendi eemaldamist (Adamson, 2005):

- kühveldamise ga (ekskaveerimisega),
- veoga,
- kombineeritult, s.h puistangusildadega.

1.1. Narva karjäär

Narva karjäär on Eesti Energia tütarettevõttele Eesti Energia Kaevandused AS kuuluv ettevõtte, mis asub Ida-Virumaal Vaivara vallas Mustajõest lõuna pool (vaata lisa 5). Narva karjäär hõlmab kogu Eesti põlevkivimaardla idaosa ja see on moodustatud 1999. aastal kolme endise karjääri (Narva, Sirgala, Viivikonna) liitmise teel (Varb ja Tambet, 2008). Narva karjääri tippaastaks jäi 1974, mil väljastati napilt alla 4 miljoni tonni põlevkivi. Edasistel aastatel toodang langes, kuna kaevuritel tuli tegelema hakata ootamatult paksu ja mitmekesise katendikihiga. Narva karjääri toodang jäi püsima 2,5–3 miljoni tonni tasemele. Alates aastast 2000, kui Narva alla ühendati Sirgala ja Viivikonna, on kogutoodang taas tõusnud 4–5 miljoni tonnini. Praegu on aga Narva karjäär otsaga kas jõudmas või juba jõudnud mitmete endiste omanike järeltulijatele tagastatud maade ja Puhatu looduskaitseala piirideni (Sepp ja Pensa, 2009).

Põlevkivi ehk kukersiit moodustus keskordoviitsiumis, põlevkivikihti katavad ordoviitsiumi ja devoni karbonaatsed kivimid (lubjakivid, dolomiidid, merglid) ning kvaternaari setted (turvas, moreenid, liivad, savid). Kihi lasumissügavus on maardla põhjapiiril mõni meeter, lõuna poole kasvab keskmiselt 3 m 1 km kohta. Karjääriviisiliselt kaevandatakse põlevkivi kuni 30 m sügavuselt (Karu, 2005).

1.2. Aidu karjäär

Aidu karjäär on Eesti Energia tütarettevõttele Eesti Energia Kaevandused AS kuuluv pealmaakaevandus, mis asub Ida-Virumaal Maidla vallas, Aidu külas (vaata lisa 6). Karjäär piirneb idas suletud Kohtla ja Sompka kaevandusega ning läänes endise Kiviõli kaevandusega. Karjäärivälja lõunapiiril asub Ojamaa jõgi (Aidu karjääris kavandatava kaevandamise sulgemise keskkonnamõju hindamise aruanne, 2011).

Aidu karjääri rajamine algas 1965. aastal (Varb ja Tambet, 2008), aga tegevust alustas karjäär 1973. aastast. Sarnaselt kaevandustele ja erinevalt teistest karjääridest oli Aidu karjääri rajatud põlevkivi rikastusvabrik, milles toimus mäemassist nn. aheraine eraldamine ja põlevkivi jagamine erineva kvaliteediga klassideks. Suurem osa põlevkivist tarniti AS-i Narva Elektriijaamad ning Balti elektriijaama sooja tootmiseks ja osa läks AS-le VKG põlevkiviõli tootmiseks (Valgma, 2008).

1974. aasta 30. septembri aktiga võttis riiklik komisjon eksploatatsiooni Aidu karjäär i I järgu (jaoskonna) ning kasutusvõimsus oli 297 000 tonni kaubapõlevkivi ja katenditööde maht oli 559 000 m³ aastas. Karjääri pindala oli umbes 34 km², millest suurema osa moodustasid metsad ja sood, karjääri lääneosa ulatus tollase V.Kingissepa nim. kolhoosi põldudeni (Varb ja Tambet, 2008).

Aidu karjääris kaevandatava põlevkivikihi keskmine paksus oli 2,8 m. Tootluskihi lasumissügavus oli karjäärivälja põhjaosas 5 m kuni 28 m kaguosas. Karjääriväli oli jaotatud neljaks tootmisjaoskonnaks – 1, 2, 3A, 3B. Jaoskonnad olid avatud külgmiste väljasõidu- ja lõiketranšeedega, samuti oli läbindatud tootmisjaoskondi poolitavad kesktranšeed. Mäetööde läbiviimise suund oli põhjast lõunasse kihindi languse suunas. Aidu karjääri katenditöödel kasutati lihtkaevandamisviisi. Selle kaevandamisviisi puhul paigutati kattekivimid tühjaks kaevandatud ala sisepuistangusse otse paljandusekskavaatoriga ning muid transpordivahendeid kasutamata. Geoloogilise struktuuri ja tehnoloogilise teostatavuse tõttu kaevandati kogu katend kahe astmega (Aidu karjääris kavandatava kaevandamise sulgemise keskkonnamõju hindamise aruanne, 2011):

1. aste – setted;
2. aste – kõvad kivimid, mis vajavad puur- lõhketöödega eelnevat kobestamist.

Aidu karjäär on olnud oma eksisteerimise esimestest päevadest alates uue tehnika ja tehnoloogia katsetamise ning juurutamise baasettevõtteks. On ehitatud esimene ja ainus rikastusvabrik karjääriviisilise tootmise puhul, on omandatud kaevandatud maade rekultiveerimise tehnoloogia nende maade põllumajanduslikuks tootmiseks kasutamiseks (Varb ja Tambet, 2008).

Praegu on juba teatud, et varude ammendumise tõttu suleti Aidu karjäär 2012. aasta lõpus. Suletud Aidu karjääri on juba planeeritud mitmeid tegevusi - Olulise ruumilise mõjuga Aidu tuulepargi, seda toetava infrastruktuuri ja rekreatsioonialade ning lasketiiru asukohavaliku teemaplaneeringuga. See tähendab näiteks Aidu karjääri aladele rahvusvahelistele nõuetele vastava veealade spordikeskuse väljaarendamist (Aidu karjääris kavandatava kaevandamise sulgemise keskkonnamõju hindamise aruanne, 2011).

2. Põlevkivikarjäärade rekultiveerimise tähtsus ja mõju mullatekke protsessidele

Mistahes inimtegevus, mis kasutab loodusvara, muudab keskkonda. Ka maavarade kaevandamisel on keskkonnamõju vältimatu. Põlevkivi kaevandamisele kaasneb looduskeskkonna muutus, endise maakasutuse katkestamine, maapinna deformeerumine ja veerežiimi muutus, tekivad tehnogeensed rajatised jms (Reinsalu, 2000).

Karjääriviisilisel kaevandamisel hävitatakse taimkate ning viljakandev mullakiht (Karu, 2005). Peale selle tekitab maavarade kaevandamine ulatuslikul alal uusi pinnavorme, muudab kaevandatud ala geoloogilist ehitust, veerežiimi ja maakasutuse tingimusi (Viil, 2011). Kuna karjääridega rikutud alade pindala üha kasvab (Karu, 2005) ja põlevkivi kaevandamine jätab endast keskkonda arvestatava jälje (Viil, 2011), on nende alade taastamine muutunud oluliseks looduskaitsealaseks küsimuseks. Eestis on hea võimalus uurida erinevate rikutud alade taastamiseks kasutatavate meetodite pikaajalisi mõjusid, kuna ammendatud põlevkivikarjäärade rekultiveerimist alustati siin juba 40 aastat tagasi. 1. jaanuari 2002 seisuga oli põlevkivi karjääriviisilise kaevandamisega rikutud 12319 ha maad, millele igal aastal tänase põlevkivitoodangu aastamahu juures lisandub 140 hektarit (Karu, 2005).

Kuna looduslikult arenevad karjääripuistangutel taimkate ja muld aeglaselt (Karu, 2005), on üheks võimaluseks rekultiveerimine. Peale kaevandustööde lõppu kaevandatud alad rekultiveeritakse ehk taastatakse maakasutus (Tilk, 2005). NSV Liidus saavutas lahtise kaevanduse tulemusel rikutud territooriumide rekultiveerimine tööstusliku ulatuse 1960-ndate aastate alguses (Randmaa, 1980). Rekultiveerimine kätkeb endas maa tootlikkuse (boniteedi), ökoloogilise tasakaalu, majandusliku ja esteetilise väärtuse taastamist (Teetlok, 1995).

Saksa teadlase A. Krummsdorfi andmetel läheb enamikus arenenud tööstusmaades kõikidest investeeringulist umbes 14-17% kas otseselt või kaudselt maastiku funktsioonide säilitamiseks ja inimestele vajaliku elamiskeskkonna kujundamiseks. Mida suuremad investeeringud tootmises, seda enam peab tegema kulutusi maastiku kui inimesele tervisliku elamiskeskkonna säilitamiseks (Randmaa, 1980).

Maastikuhoolduse lahutamatuks osaks on saanud ka maavarade lahtise kaevandamisega rikutud maastike optimeerimine. Maavarade karjääriviisiline kaevandamine on kardinaalselt endist loodusliku keskkonna seisundit muutvaks inimtegevuse vormiks, mis rikub kõige teravamalt kogu maastikus seni valitsenud ökoloogilist tasakaalu (Randmaa, 1980). Kaasajal, kus kaevandamisel rakendatakse suure võimsusega tehnikat, tekivad kaevetööde tulemusel majanduslikult mittekasutatavad tehismaastikud aladele, mis varem olid kasutusel põllu-, metsamajanduses jm (Randmaa, 1980).

Maakasutuse seisukohalt on karjääriviisiline kaevandamine maa lühiajalik kasutamine. Seepärast ei saa jätta ammendatud territooriumi jäätmaaks, vaid tuleb võtta nad püsivalt kasutusele, s.o. maade bioloogilise produktiivsuse ja esteetilise väärtuse taastamine (Randmaa, 1980). „Siludes” kaevandamise jälgi, on kaevandajad püüdnud arvestada tulevaste kasutajate ja kohalike huvigruppide ettepanekutega, andes võimaluse kasutada uut maastiku majanduslikult otstarbekalt (Viil, 2011).

Praktiline kogemus on näidanud, et välismaal väljatöötatud meetodikat meil ilma muudatusteta kasutusele võtta ei saa, samuti nagu ei saa mehaaniliselt üle kanda bioloogilise rekultiveerimise meetodeid ühest piirkonnast teise. Rekultiveerimise meetodid ja abinõud valitakse igal konkreetsel juhul vastavalt rikutuse iseloomule, ala seisukorrale, ala majanduslikule tähtsusele antud regioonis, piirkonna arengu perspektiivplaanidele, rikutud territooriumi ümbritseva maastiku erijoonte. Seejuures peavad kõik rekultiveerimisviisid alluma ühele eesmärgile- territooriumi ratsionaalne ja efektiivne kasutamine, looduslike ressursside säilitamine ja taastootmine, harmoonilise maastiku loomine, mis vastaks võimalikult täielikult ühiskonna majanduslikele, esteetilistele ja sanitaar-hügieenilistele nõuetele (Randmaa, 1980). Eestis on maapõueseadus, mis sunnib kaevandamisloa omanikke maa korrastamist (Maapõueseadus).

2.1. Rekultiveerimise etapid

Kohalike maavarade karjäärade rekultiveerimistöodel saab eristada tööde erinevaid etappe ning meetodeid. Tavaliselt jaotatakse rekultiveerimisel tehtav kolmeks erineva ülesandega tegevuslõiguks (Randmaa, 1980):

1. ettevalmistav etapp;
2. mäetehniline rekultiveerimine;
3. bioloogiline rekultiveerimine.

Esimesel etapil toimub eelkõige territooriumi täiendav uurimine (Randmaa, 1980), rekultiveerimise suuna määratlus, tehnilis-majanduslik põhjendus ja rekultivatsiooni projekti koostamine (Еропова, 2009). Uuritava ala kohta koostatakse skeemkaart, kus eristatakse ühesuguse litoloogilise koostise ja hüdroloogilise tingimustega alad. Skeemile kantakse kartogramm, mis näitavad pinnases esinevaid toitelemente (NPK) ja kui pinnases on fütotoksilisi ühendeid, siis kajastatakse ka nende esinemine skeemil. Samuti peamiste kivimite kirjelduse ning väli- ja laboratoorsete analüüside tulemused kajastatakse skeemil (Randmaa, 1980).

Tehnilisel rekultiveerimisel paigutatakse puistangu alumisse ossa kaljukatendi kivimid, mis kaetakse pudedate kvaternaarisetetega (Kattai, 2000). Selle etapi ülesandeks on pinnase ettevalmistamine edasiste kasutusviisidele (Randmaa, 1980). Esmane tasandamine teostatakse draglainidega, millele järgneb silumine buldooseritega. Rekultiveeritud maastik kujutab endast nõrgalt lainelist territooriumi, lõigustatud väljasõidutranšee süvenditega, mis peale pinnavee taseme taastumist jäävad vee alla, tekitades ulatuslikke tehisveekogusid (Reinsalu, 2000). Tehnilise rekultiveerimise käigus tasandatakse puistanguharjad nii, et nende nõlvade langus ei ületaks 8° ja pinnale moodustuks pinnasekiht. Korrastatud pinnasekiht peab olema vähemalt 0,5 m paksune ja sisaldama vähemalt 25% peenest (materjal terasuurusega kuni 1 mm) ja mitte rohkem kui 40% materjali, tükisuurusega üle 10 mm (Viil, 2011). Tasandatud puistangutele rajatakse teedevõrk, mis koosneb magistraal- ja ühendusteedest (Reinsalu, 2000).

Tehnilise rekultiveerimise tehnoloogia valik sõltub (Еропова, 2009):

- rekultiveeritavate pindade edasise kasutamise liigist;
- viljakandva pinnakihi võimsusest, mahust ja transportimise vahemaast;

- karjääride väljatöötamise ja puistangute kujundamise rakendavatest viisidest;
- põhiseadmestiku tüübist ja iseloomustikust, väljatöötamise järjekorrast ja tööfrondi ümberpaigutamise kiirusest;
- seadmestiku ühtlasest pealelaadimisest karjääri kogu eksploatatsiooniaja vältel;
- pinna viljakandva kihi ja paljandavate kivimite omadustest, mida kasutatakse pinnase rekultiveerimiseks;
- rekultiveeritava territooriumi reljefist, kliimast, hüdrooloogilistest tingimustest, nimetatud rajoonis valitsevatest geokeemilistest protsessidest enne ja pärast väljatöötlust.

Ala tasandatakse ning antakse üle metsamajandile bioloogiliseks rekultiveerimiseks ehk metsastamiseks (Kattai, 2000). Bioloogilise rekultiveerimise ülesandeks on ökosüsteemse aineriingi ning energiahanke taastamine, süsteemi produktiivsuse aluste kujundamine, muld- ja taimkatte, põllu- ja metsamajanduslike kõlvikute loomine jne (Randmaa, 1980). Puistangute loodusliku taimestumist mõjutavad paljud tegurid (Viil, 2011):

- puistangusse sattuva katendi koostis ja selle asetus puistangus;
- toitainesisaldus puistangu materjalis;
- niiskusrežiim;
- kaugus taimkattega aladest;
- geograafiline asend;
- kliimat jne.

Tähtsamad ja laiemalt levinud bioloogilise rekultiveerimise suundadeks on ammandatud karjääride muutmine metsamaaks ja põllumajanduslikeks kõlvikuteks. Vaadeldes Eestis rekultiveeritud ja tootmisse tagastatud maid, selgub, et suurem osa nendest (60-70%) on rekultiveeritud metsamaks, rekultiveerimine põllumajandusmaaks on seni olnud tagasihoidlik (Randmaa, 1980).

Bioloogiline rekultiveerimine teostatakse vastavate ettevõtete (nt Riigimetsa Majandamise Keskus) poolt. Bioloogilist rekultiveerimist ei alusta enne ühe aasta möödumist planeerimisest (Varb ja Tambet, 2008). Töödega soovitatakse alustada aasta peale tasandamist, selleks ajaks on lõppenud pinnase vajumine ja vajaliku niiskusevaru

kogunemine. Kasulikum on istutada varakevadel, kohe peale lume ja pinnase sulamist. Mai lõpuks peaksid tööd tehtud olema (Reinsalu, 2000).

Mis puudutab Aidu ja Narva karjääri, siis nende karjääride rekultiveerimise põhisuunad on metsastamine koos vee- ja puhkemajanduslike eesmärkide ning rajatistega s.t sise- ja välispuistangud metsastada või kasutada rekreatsiooniobjektide rajamiseks ning transpordi- ja tootmistranšeedest moodustada peale mäetööde lõppu veekogud. Osaliselt on Vanaküla ja Aidu kaeveväljadel maid rekultiveeritud ka edasiseks põllumajanduslikuks kasutamiseks (Viil, 2011).

2.1.1. Puude valik

Põlevkivikarjääride tasandatud puistangute metsanduslikul rekultiveerimisel on katsekultuurides katsetatud üle 50 puu- ja põõsaliigi, peale selle veel 30 erinevast geograafilisest kohast pärit euroopa lehise (*Larix decidua*), musta männi (*Pinus nigra*) ja keerdmänniga (*Pinus contorta*). Peamisteks puuliikideks tasandatud puistangutel on seni kujunenud harilik mänd (*Pinus sylvestris*) (moodustab 84% rekultiveeritud pinnast), arukask (*Betula pendula*) (10%), harilik kuusk (*Picea abies*) (3%) ja lehised (*Larix*) (2%) (Valgma, 2006).

Hariliku männi ulatuslik kasutamine metsastamisel on tingitud tema heast kasvamaminekust ja kohanemisest tasandatud põlevkivikarjääride puistangute ekstreemsete kasvutingimustega (Viil, 2011). Isegi väga kivisel puistangumullal on hariliku männi istutuskultuuride kasvamaminek olnud 85-90% (Valgma, 2006). Tootlikkuselt kuuluvad need puistud II boniteediklassi ning suurem osa fütomassist paikneb elusates puude- rohurindes- ning põõsarinne puudub, maad katab üsna paks metsavaris. Metsavaris koosneb peamiselt männiokastest ja tema tagavara võib ulatuda 48t ha⁻¹, sisaldades umbes 30% orgaanilist süsinikku (Reinsalu, 2000).

Suured okaspuu metsamassiivid on väga tundlikud tuule leviku suhtes. Seepärast on nende vahele rajatud lehtpuukultuure (Viil, 2011). Nendest kasvab põlevkivikarjääride tasandatud puistangutel nii katse- kui tootmiskultuurides väga hästi arukask. Näiteks Aidu karjääris kasvas 37- aastases arukase ja hariliku männi katsekultuuris on arukaskede keskmine kõrgus

19,6 m, mändidel 13,6 m; rinnakõrguse diameeter on kaskedel 14,2 cm ning mändidel 13,7 m (Valgma, 2006).

Väga kivistele puistangutele on osutunud sobivamaks puuliigiks sanglepp (*Alnus glutinosa*). Sanglepad kasvavad hästi nii Aidu kui Narva karjääris. Leppade head kasvu soodustavad nende juurtel asuvad mügarbakterid, mis seovad õhulämmastikku. Varisenud leppalehed lagunevad kiiresti, moodustades lämmastikurikka kõdu. Lepad on noores eas (kuni 20-25 a) kiirekasvulised, hiljem jäävad nad kõrguskasvus lehistele ja arukaskedele alla. Näiteks Narva karjääris, väga kivisel puistangul, kasvas 12-aastases kultuuris harilik määnd keskmiseks kõrguseks 2 m, arukasel ja euroopa lehisel 4 m aga sanglepal 6 m (Valgma, 2006).

Looduslikes ökosüsteemis arenevad muld ja taimestik tihedas seoses. Muutused mullas kutsuvad esile muutusi puistu koosseisus, selle kasvukiiruses, varise hulgas, mis mullapinnale langeb, ja mikrokliimas (Pihelgas, 1983). Muld on väga keeruline, mitmekomponendiline keskkond (Сизова, 2006), mida aktiivselt kasutavad ja muundavad taimed, mikroorganismid ja paljud selgrootute fauna esindajad (Nei ja Koorits 2005).

Peale rekultiveerimist muutub oluliselt pinnase koosseis ning taimed, muuhulgas ka puud, võtavad endale pearolli. Nad osalevad enamike keemiliste elementide (eelkõige H, O, C, N, P, S ja paljude biometallide) migratsioonis. Metsataimestik avaldab mullale mõju peamiselt (Pihelgas, 1983):

1. varisega;
2. juurtega;
3. mikrokliima muutmisega.

Just taimed alustavad toiteahela, absorbeerides pinnasubstraadist elementide mineraalvorme, mis enamuses ei ole võimelised omandama organismide teisi gruppe. Puud moodustavad metsa, kus nagu igas teiseski ökosüsteemis toimub uue aine moodustudes energia kuhjumine ja muundumine (Pihelgas, 1983).

2.1.2. Narva ja Aidu ja karjääride rekultiveerimine

Sisepuistangute tasandamine toimus Narva ja Aidu karjäärides kahes etapis. Esmase tasandamise tegi väiksemat kätt sammuv ekskavaator EŠ 6/45, mis tasandas sisepuistangu teravatipulised harjad. Hiljem tegi täpsema tasandamise buldooser. Tasandatav pind peabki jääma pisut lainjas, et ei oleks liiga tehislik (Lüüde, suulised andmed).

Karjäärides teostatakse suurem osa tehnilist rekultiveerimisest draglainidega (vaata lisa 8). Transporditranšeede nõlvad tasandatakse kaldnurgani 30°, selle tingimuse täitmine ongi võimalik ainult nendes kohtades, kus tehnilist rekultiveerimist tehakse draglainiga. Puistangunõlvade tasandamine toimub "alt üles" meetodil kopa täitmisega, kus selle vedamisel kaldu mööda nõlva toimub materjali puistamine kompensatsioonijaoskonna taha. Nõlva ei tasandata mitte kogu nõlva kõrguses, vaid ainult ülevalpool prognoositavat veepiiri karjääri veega täitumisel. Selle kõrguse annab ja kontrollib karjääri markšeideriteenistus (Viil, 2011).

Narva ja Aidu karjäärides istutas metsa Riigimetsa Majandamise Keskus (RMK) oma tööjõuga, sealjuures mingit täiendavat kasvupinnast ning huumust karjääridesse ei toodud. Hiljem tegi ja teeb RMK ka valgusraiet ja hooldab metsastatud alasid (Lüüde, suulised andmed). Metsamassiivide taastamise pikaajaline kogemus on näidanud, et parimaks puuliigiks on harilik mänd (Varb ja Tambet, 2008). RMK istutas 1-aastaseid männiistikuid vahetult peale lume sulamist - siis on pinnases küllaldaselt niiskust ja istikud lähevad kenasti kasvama. Sisepuistangu nõlvasid ei tasandata- need jäävad loomuliku varisemisenurgaga. Samuti ei metsastata sisepuistangu nõlvasid, kuna peale karjääri sulgemist ja vee väljapumpamise lõppemist täituvad väljaveotranšeed põhjaveega ja need nõlvad jäävad vee alla (Lüüde, suulised andmed).

Kuna Narva karjäär toimetab sooalal, siis mingit viljakat pinnast ega mulda seal ei ole. Sisepuistangute moodustamisel püütakse lõhatud lubjakivi ladustada rohkem sisepuistangu keskmesse ja saviliivad, turbaollus rohkem puistangu harjadesse. Peale tasandamist on pinnas küll toitainete-vaene, ent harilik männile sobilik. Narva karjääris on kõik alad rekultiveerimise käigus metsastatud. Ühel osal toimetab viimastel aastatel Kaitsevägi, seda loetakse Sirgala polügooniks (Lüüde, suulised andmed).

Aidu karjäär rajati suhteliselt loodust laastaval nõukogude perioodil viljakale põllumaale. Seal oli mingi aeg kohustus koorida sreeperitega ära viljakas kasvupinnas ja kui mäetööd olid edasi nihkunud, siis rekultiveeriti alad tagasi põllumajanduslikuks maaks. Kuna sellise tegevuse maksumus oli võrreldes lihtsalt metsastamisega palju kallim, mindi hiljem ka üle karjäärialade metsastamisele. Kuna Aidu karjäär hiljuti suleti, siis oli seal lisaks rekultiveerimise (korrastamise) projektile ka karjääri sulgemisprojekt, milles nähti ette kohaliku omavalitsuse nõudmisest tulenevalt sõudekanali süvendi rajamist, mitmete autoteede rajamist, täiendavate puude istutamist müra tõkkeks, hoonete ja rajatiste lammutamist jne (Lüüde, suulised andmed).

Karjäärides kasvavad lisaks harilikule männile veel remmelgad (*Salix spp.*), arukask (*Betula pendula*) ja harilik haab (*Populus tremula*), alusmetsas esineb pajud (*Salix spp.*), arukask, harilik kuusk (*Picea abies*), hall lepp (*Alnus incana*), harilik haab, harilik vaarikas (*Rubus idaeus*) ja harilik paakspuu (*Frangula alnus*). Rohurindes domineerivad nooremates puistutes paiseleht (*Tussilago farfara*), jäneskastik (*Calamagrostis epigeios*), võilill (*Taraxacum officinale*), luht-kastevars (*Deschampsia caespitosa*), kasteheinad (*Agrostis spp.*), nurmikad (*Poa spp.*), harilik raudrohi (*Achillea millefolium*), harilik kuldvits (*Solidago virgaurea*) ja hunditubakad (*Hieracium spp.*), vanematel aladel metsastik (*Calamagrostis arundinacea*), metsamaasikas (*Fragaria vesca*), harilik lakkleht (*Orthilia secunda*), lillakas (*Rubus saxatilis*) ning ümaralehine uibuleht (*Pyrola rotundifolia*) (Tabel 1) (Karu, 2005).

3. Mullaelustik ja bioindikatsioon

3.1. Mullaelustiku roll mullatekke protsessidel

Muld on mitmefaasiline heterogeenne süsteem (Еропов, 2009), mis seob omavahel atmosfääri, hüdroosfääri, litoosfääri ja elusorganismid (Кuu, 2012). Muld koosneb mitmest osast (Еропов, 2009):

- tahkest osast-50-60%;
- orgaanilisest ja biokomponendist-10%;
- vedelikust-15-25%;
- gaasist-25-35%.

Mullakvaliteet sõltub taimkattest (Круглов, 1991), kuid samatähtsat osa mängivad selles mullaorganismid. Mullaelustiku biomass, mis lisaks mikroorganismidele (bakterid, vetikad, seened, üherakulised organismid) sisaldab ka vihmausse, putukaid ja lüljalgseid, on mulla tähtsaks komponendiks, mis soodustab selle füüsilis-keemiliste omaduste muutumist (Шатский, 2011). Selle abil toimub mullas orgaaniliste ainete lagunemine, mineraliseerumine ja humifikatsioon (Сизова, 2006).

Looma- ja taimejäänuste lagunemine, langenud lehtede ja taimejuurte kõdunemine, avardab liikide toiteressursside spektrit ja loob samaaegselt võimaluse eksisteerida mullas erinevate toidueelistustega loomad (Сизова, 2006). Muld on elukeskkonnaks paljudele mullaloomadele ja mullaomadused määravad nende leviku ja arvukuse (Kilham, 1994). Mullaorganismide klassifikatsioon põhineb nende keha pikkusel, mille tulemusel jaotatakse organismid järgmisteks rühmadeks (König jt, 2007):

- mikrofauna (<0,2 mm);
- mesofauna (0,2-4 mm);
- makrofauna (4-80 mm).

Bioloogiliselt aktiivne on ülemine 30 cm mullakiht, mis koosneb umbes 5-15% taimede juurtest ja 85-95% mullaelustikust. Mullaelustikust 15-30% moodustab mesofauna ehk organismid, kes asustavad mulla õhuruume (hooghännalised, mullalestad jt) ja makrofauna ehk organismid, kes uuristavad käike mulla tahkete osade vahel (vihmaussid, hulkjalgsed jt)

ning 60-80% koosneb mikroorganismidest (bakterid, seened, viirused, ainuraksed, vetikad, nematoodid ehk ümarussid), kes asustavad mullavett (Pankhurst, 1997).

Mikroskoopilised taimed ja loomad kujundavad mulla toiduvõrgustiku. Enamus neist mõjutavad otseselt mulla huumuse tekkimist ja vabastavad toitained orgaanilisest ainest. Jahedamas ja niiskes kliimas on olulised huumuse tekkele kaasa aitajad seened. Bakterid-mulla arvukamad mullaorganismid- omavad kontrolli mullas toimuvate protsesside üle, mis on elutähtsad kõrgematele taimedele (nitrifikatsioon, väevli oksüdatsioon, lämmastiku fikseerimine, jt) (Timusk, 2012). Mikro- ja mesofauna üheks ülesandeks on reguleerida seente ja bakterite aktiivsust (Timusk, 2012). Mikroorganismid (bakterid, üherakulised, vetikad, viirused) lagundavad mistahes looduslikke, orgaanilisi ja mineraalaineid lihtsamateks ühenditeks, mida saavad kasutada muud mikroorganismid ja kõrgemad taimed (Soil biodiversity portal, 2004). Mulla mikroobidel on keskne osa süsiniku, lämmastiku, fosfori ja väevli biokeemilistes transformatsiooniprotsessides. Sõltuvalt mulla orgaanilise aine kogusest ja koostisest, kujuneb biokeemiliste protsesside kiirus ja taimedele kättesaadavate toitainete kogus mullas. Lisaks mulla orgaanilise aine tekkeprotsessis osalemisele, omavad mulla mikroobid olulist osa mulla agregaatide struktuuri stabiliseerimisel (Ivask jt, 2000).

Mesofauna osaleb aktiivselt mullatekke moodustamisel. Hooghännalistel on tähtis roll lagunemisprotsessidel ning oma elutegevusega mõjutavad need lüljalgsed toitainete ringet, lämmastiku mineralisatsiooni, mulla agregatsiooni, taimede kasvu, seente biomassi, seente suktessiooni ja levikut mullas (Anslan, 2013). Mullalestad on samuti aktiivsed orgaanilise aine lagundajad (Behan-Pelletier, 1999). Peale selle, okaspuumetsades mullalestad muudavad mahalangenud okkaid neid peenestades või vigastades nende terviklikkust, mida pärast kasutavad toiduks teised mullaorganismid (Романенко, 2013).

Makrofauna (vihmaussid, hulkjalgsed jt) peamiseks rolliks on töödelda mullas asuvat orgaanilist ainet (Timusk, 2012). Vihmaussid on tihedalt seotud kogu ökosüsteemis toimuvate protsessidega (Ivask, 1966), nende elutegevuse tagajärjel paraneb orgaanilise aine mineralisatsioon ja lagunemine (Sulp, 2014). Koos mulla mikroobikooslusega kujundavad nad suures osas mullaviljakuse (Ivask, 1996).

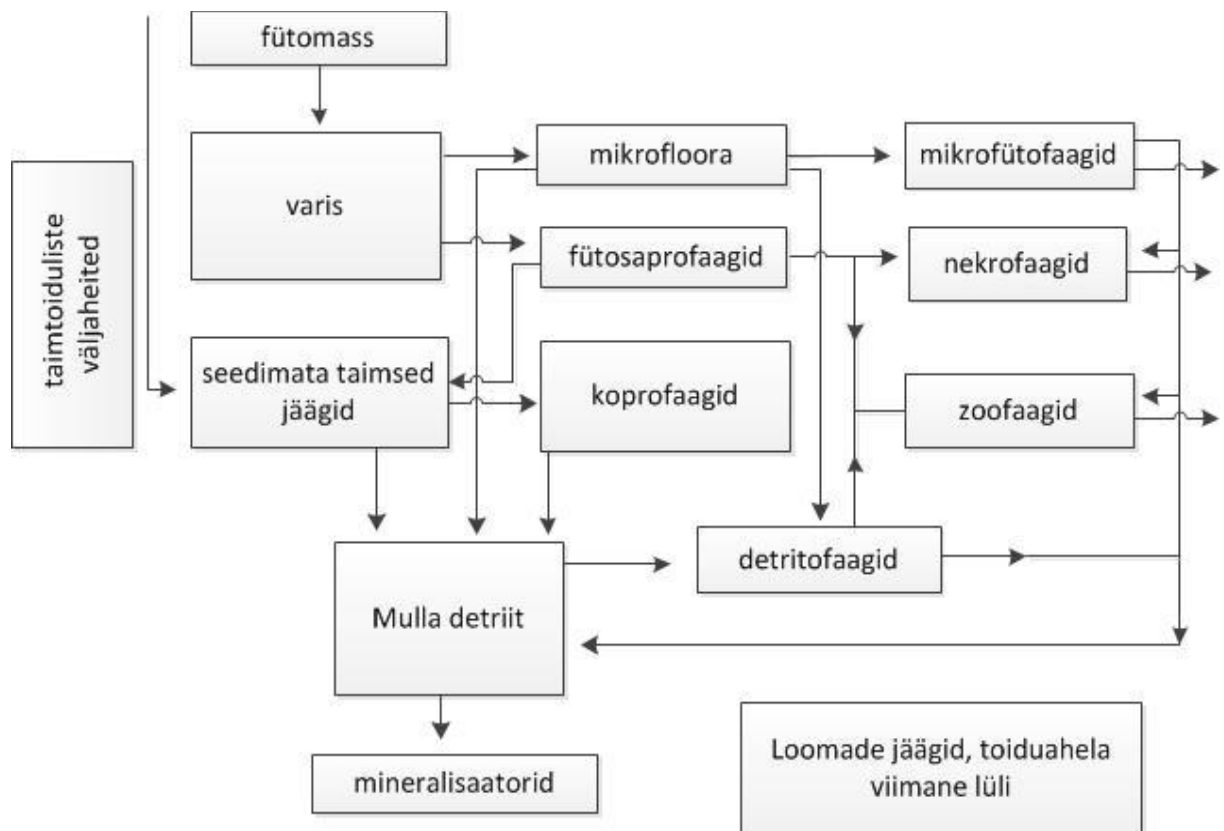
Mullaelustiku mitmekesisus erineb sõltuvalt ökosüsteemidest. Võrreldes metsamuldade karjamaade muldadega, on mullaelustiku mitmekesisus suurem üldjuhul metsamuldades. Kui

võrrelda kahjustamata looduslikku mulda ja põllumulda, on mullaelustiku bioloogiline mitmekesisus suurem esimeses valikus (Soil Biodiversity Portal, 2004).

Mullaorganismid täidavad terve rida mullaviljakuseks vajalikke protsesse (Benites jt, 2005), mõjuvad taimkatte suksessioonsetele muutustele, toiteainete olemasolule ja mullatekke moodustumisele (Frouz jt, 2007).

Vastastikuste suhete aluse elusas looduses moodustavad troofilised ahelad (Голов jt, 2007). Toiduahela põhifunktsiooniks on surnud biomassi töötlemine ja ümbertöötlemine, mis igal aastal lisandub mulda (König jt, 2007). Kui energiavoog algab surnud taime- ja loomajääkidest, ekskrementidest (väljaheidetest) ja suundub esmastele detritofaagidele (pudemesööjatele) redutsentidele (lagundajatele), kes osaliselt lagundavad orgaanilisi aineid, nimetatakse sellist troofilist võrku detritiiniks ehk laguvõrguks (Голов jt, 2007). Tasub märkida, et ei eksisteeri vahetorka mullaorganismi suuruse ja selle troofilise asendi vahel toiduahelas (König jt, 2007).

Mullaökosüsteemi mängib detriitne toiduahel ehk laguahel suurt rolli energiavoos. Mullaökosüsteemi toiduahela eripära seisneb selles, et mullaorganismide poolt ümbertöödeldud orgaaniliste jäätmete saadused on kasulikud kui toiduna teistele mullaorganismide rühmadele (Сизова, 2006). Joonisel 1 on esitatud mullaorganismide detriitne toiduahel.



Joonis 1. Mullaorganismide detriitne toiduahel (Сизова, 2006)

Vasakus vertikaalses reas on orgaanilised jäätmel mullas erinevatel lagunemise staadiumites (langenud lehed, seedimata jäätmel), mis on läbinud fermentse ja mikrobiaalse töötuse mullaorganismide soolestikus (Сизова, 2006).

Keskmise vertikaalse rea moodustavad saprofaagiliste ehk lagutoiduliste organismide troofilised rühmad: saprofüütne mikrofloora, fütosaprofaagid, koprofaagid ehk roojatoidulised ning detritofaagid. Mullas elavate saprofaagide kompleks on heterogeenne selle koosseisu kuuluvate loomade toitumise iseloomu poolest. Saprofiilse kompleksi biogeotsönootiline roll seisneb nii orgaaniliste jäätmel biokeemilises ja füüsilises mõjutuses, kui ka saprofiilse kompleksi tegevuse stimuleerimises (Сизова, 2006).

Parema vertikaalse rea moodustavad sellised organismid kui zoofaagid, kes toituvad teistes loomadest; mikrofütofaagid, kes tarvitavad saprofüütseid mikroorganisme (seeni ja baktereid) ning nekrofaagid, kes toituvad teiste loomadel korjustest (Дьлис, 1978).

Mullaorganismide iseloomulikumaks osaks on saprofaagid- loomad, kes toituvad lagunevast orgaanilisest aineist. Mullas elavate saprofaagide arvukus ja mitmekesisus on ebahütlane selle koosseisu kuuluvate loomade toitumisviisi poolest. Saprofaagid jagunevad alljärgnevalt (Сизова, 2006):

- Fütosaprofaagid utiliseerivad vahetult soontaimede surnud kudesid. Kõige aktiivsemateks langenud lehtede lagundajateks on tuhatjalgsed (*Diplopoda*), lüljalgsed (*Arthropoda*), maapealsed molluskid (*Mollusca*), vihmaussid (*Lumbricus*) jne.
- Mikrofütofaagide- nendeks on bakterite, mikromütsetide, eoste ja pinnavetikate tarbijad. Nende hulka kuuluvad näiteks valgeliimuklased (*Enchytraeidae*) ja hooghännalised (*Collembola*).
- Detritofaagid tarbivad taimseid ja loomseid jääke, mis on kaotanud lähtestruktuuri ja segatud pinnasega. See rühm sisaldab vihmausse, valgeliimuklasi, mullalestasid (*Acari*) ja mõndasid putukaliike (*Insecta*) ning kahetiivaliste (*Diptera*) vastseid.
- Koprofaagid- toituvad enda ekskrementidest või teiste loomade ekskrementidest (sõnnikumardikad) (*Geotrupidae*).
- Nekrofaagid- toituvad surnud looma korjustest (raisamardikad) (*Silphidae*).
- Pinnase detriit- peenestatud, tugevalt lagunenu ja humifitseeritud loomsed ja taimsed jäägid nendes olevate mikroorganismidega, sageli segatud pinnase osakestega.

Laguhelad on levinud kõikjal, kuid metsades, kus taimetoidulised organismid ei tarbi vahetult suuremat osa taimede elumassi juurdekasvust, vaid need moodustavad mahalangenud jäätmed, ning mis seejärel lagundatakse saprotroofsete organismide poolt läbi mineraliseerumise protsesside poolt (Маврищев, 2007).

Mullaelustik on seotud mullas toimuvate protsessidega (Kukk, 2004). Metsas toimub mikroorganismide elutegevuse tagajärjel varise lagundamine ja moodustub kõdu, millest tekkib huumus (Pihelgas, 1983), mis on viljaka ehk tootmisvõimelise mulla oluline komponent (Penu, 2006). Mida mitmekesisem ja aktiivsem on mullaelustik, seda kiiremini ja intensiivsemalt moodustuvad orgaanilistest jääkidest huumusained ja hoogustuvad protsessid mineraalosa ja huumusainete vahel. Viimane teeb võimalikuks taimede vajalike toitelementide (N, P, K ja mikroelemendid) olemasolu just taimedele kättesaadavas olekus (Penu, 2006). Huumus suurendab mulla sõmerust, soodustades vee-, õhu-, soojus- ja toitumistingimuste paranemist mullas (Penu, 2006).

Huumuse omadused on alljärgnevad (Astover, 2006):

- värvus-tumepruun kuni must,
- happeline,
- C-sisaldus 40...70%,
- N-sisaldus 2,5...5%.

Mullaelustiku kaasabil viiakse taimejäänused sügavatesse mullakihtidesse, kus need segunevad ülejäänud orgaanilise ja mineraalainega. Mullaorganismide elutegevuse tulemusena suureneb mulla aereeritavus, mis omakorda parandab orgaaniliste ainete lagunemise aeroobseid protsesse (Сизова, 2006).

Suurt rolli selgrootute toitumises mängivad lämmastik ja selle ühendid. Loomad kasutavad toiduks mitte lämmastiku mineraalvorme, vaid selle orgaanilisi ühendeid- valke, vitamiine. Valkude toiteväärtus sõltub nende lämmastikhappe koostisest. Loomad on võimelised sünteesima asendamatuid aminohappeid, kuid neid on piisavalt vaid loomses valgus ja mikroorganismide valgus (Сизова, 2006). Lämmastiku vabanemine ammoniaagina (ammonifikatsioon) toimub nii aeroobsel kui ka anaeroobsel lagunemisel (Astover, 2006).

3.1.1. Vihmaussid- *Lumbricidae*

Vihmaussid on olulisimad orgaanilise aine lagundajad mullas, olles ühtlasi seotud ökosüsteemis toimivate protsessidega (Ivask jt, 2000). Eestis leidub 13 liiki vihmausse, kellest suurim on harilik vihmauss (*Lumbricus terrestris*), kes võib olla pikem kui 30 cm ja kaaluda 3 grammi. Eesti väikseim vihmauss on nelikant kaldauss (*Eiseniella tetraedra*), kes on kuni 1,5 cm pikk ja kaalub umbes 0,05 grammi (Kuu, 2012).

Vihmaussid töötlevad ümber taimejäänuseid (Pihelgas, 1983), soodustades sellega nende mineraliseerumist ja humifikatsiooni. Vihmaussid vajavad suurel hulgal lämmastikku. Oletatakse, et lämmastiku varude piiratus mulla mineraalhorisontides sai põhjuseks, miks vihmaussid läksid üle vähelagunenud taimejääkidest toitumisele (Сизова, 2006).

Vihmausside soolestikus elavate mikroobide kaasabil toimub orgaanilise materjali lagunemine kiireneni. Vihmausside väljaheidetes kiireneb orgaanilise materjali mineraliseerumine ning kasvab järsult mikroorganismide arv, sealjuures vihmausside väljaheidetes sisaldavad selliseid toitaineid kõrgel kontsentratsioonis nagu NH^{+4} ja P (Бутовский, 2010). Vihmaussid soodustavad lihtsaimate organismide (lüljalgsete, ripsloomade jne) arengut pinnases ja nende mitmekesisuse suurendamist (Сизова, 2006).

Vihmaussid, uuristades mulda ja seda oma seedetraktist läbi lastes, parendavad mulla struktuuri (Pihelgas, 1983), ning tõstavad lämmastiku, kaaliumi, fosfori, magneesiumi, kaltsiumi liikumist. Vihmaussid rikastavad pinnast B, PP rühma vitamiinidega, valkudega: need sisalduvad loomade organismides ning peale nende hukkumist erituvad ümbritsevasse keskkonda (Сизова, 2006).

Nende elutegevuse tulemusena kiireneb taimejäänuste mullaks saamine, samuti kiirenevad orgaanilise lämmastiku mineraliseerumine ja nitrifikatsioon (Kuu, 2012). Mida enam on mullas vihmausse, seda parem ja viljakam muld (Pihelgas, 1983).

3.1.2. Valgeliimuklased-*Enchytraeidae*

Enchytraeidae- see on väikeste, pigmenteerumata usside rühm, mida veel tuntakse “potworms” nimetuse all, kes kuuluvad rõngasusside tüüpi, Oligochaetes klassi, mis kokkuvõttes sisaldavad endas 600 liiki (Тишлер, 1971). Valgeliimuklaste arvukus mullas sõltub tugevasti kohast ja ajast. Arvatakse, et valgeliimuklased elutsevad mõõduka kliima jahedates tingimustes, kus neid võib sageli leida orgaaniliste ainete poolest rikastes metsapindades (Coleman jt, 2004), kuna madalaid temperatuure, isegi nullist oluliselt madalamaid temperatuure kannatavad valgeliimuklased paremini kui kõrgeid temperatuure (Тишлер, 1971). Eriti palju on neid happelistes orgaanilistes muldades – 85 kuni 250 tuhat ühe ruutmeetri kohta (Гиляров, 1985).

Valgeliimuklased on reeglina 10-20 mm pikad ning on anotoomiliselt sarnased vihmaussiga, väljaarvatud miniatuursuse ja mõningate eripärade poolest. Valgeliimuklased on hermafrodiidid ehk mõlemasoolised. Nende kookonid võivad sisaldada ühte või enam mune, millede küpsemine ja lahtikoorumine kestab 65 kuni 120 päeva, sõltuvalt keskkonna liigist ja temperatuurist (Coleman jt, 2004).

Valgeliimuklased toituvad mullas nii mineraalainete kui ka orgaaniliste ainete osakekest. Hulgalsed uuringud näitavad, et taimsed materjalid, mis on sageli küllastatud seeneniitidega ja bakteritega, on valgeliimuklaste peamiseks toiduks (Coleman jt, 2004). Omapärane on see, et valgeliimuklased toituvad meeleldi vihmausside väljaheidetest, kes omakorda toituvad valgeliimuklaste väljaheidetest (Гиляров, 1985).

Valgeliimuklastel on oluline mõju mullas oleva orgaanilise aine dünaamikale ja selle füüsilisele struktuurile (Coleman jt, 2004), sest nad töötlevad orgaanilist ainet ning soodustavad huumuse teket mullas (Гиляров, 1985).

3.1.3. Hooghännalised- *Collembola*

Hooghännalised – lüljalgsete arvukas liik, kus võib leida kuni 10 000 liiki ja alaliiki (Овчинникова, 2007) ning on levinud maailma kõikides mullatüüpides (Чимитова, 2010). Nende suurus ei ületa 5-6 mm, sealjuures on ka väga väiksed liike – umbes 0,5...1 mm. Hooghännalistel on kõhu all hüppehark, mida nad kasutavad hüppamiseks ühelt

mullaosakeselt teisele (Романенко, 2010). Hooghännalised elavad praktiliselt kõikides maapealsetes biotoopides. Nende peamiseks elunemiskohaks on mulla pealne kiht ja lagunev orgaaniline materjal (Овчинникова, 2007).

Hooghännaliste toitumine on mitmekülgne. Liigid, kellel on näriv suuaparaat, võivad läbi närida lagunevate taimede väiksemaid osi. Mahalangenud lehtedest toituvad nad palju paremini, kui need on osaliselt töödeldud mikroflooraga. Nõelava-imeva aparaadiga hooghännalised toituvad vedelast, ka loomsest päritolust surnud orgaanikast. Samuti võivad nad välja imeda miksomütseete, seeneniite, elusate taimede mahlasid (Романенко, 2010).

Hooghännaliste otsene mõju ökosüsteemi protsessidele, nagu energiavoog, tunduvad tühistena, kuna nende biomass on võrdlemisi imetilluke. Sellegi poolest näitasid katsetused hooghännaliste elutegevuse olulist mõju lämmastiku mineraliseerimisele, mullahingamisele, lahustunud orgaanilise süsivesiku leostamisele ja taimede kasvule (Coleman jt, 2004). Samuti annavad nad suure panuse erinevate ökosüsteemide funktsioneerimisse ning on mulla seisukorra headeks indikaatoriteks (Чимитова, 2010). Hooghännalised mängivad tähtsat rolli biogeotsünoosides, osutades olulist mõju huumust tekitavatele protsessidele (Овчинникова, 2007). Hooghännaliste ekskremendid säilivad hästi ja moodustavad humifitseeritud orgaanilise materjali olulise osa. Eriti suur huumuse moodustamise roll on hooghännalistel nt kõrgmägedes või vulkaanilisel maastikul, kuna hooghännalised on ühed esimesed organismid, kes asuvad elama kaljusamblikutele ning nende mikroflooraga töödeldud väljaheited moodustavad sageli selle minimaalse koguse huumust, mis on vajalik esimeste taimede ilmunemiseks (Романенко, 2010).

3.1.4. Mullalestad- *Acari*

Mullalestad on lüljalgsete alamklass ämblikutaoliste klassist – on üheks kõige levinumaks pinnase mikroselgrootute rühmaks paljudes mullatüüpides (Coleman jt, 2004). Neid leidub sügavates mullakihtides, kõdukihis, nii murukamaras kui ka põõsastel, puukoore peal ja all, lehtedel ja okastel, aga samuti ka pool-veelistes, veelistes ja rannaäärsetes elupaikades (Behan-Pelletier, 1999).

Nende arvukus metsamuldades võib ulatuda mitmesaja isendini 1 m² kohta. Teada on umbes 50 000 lestaliiki, kuid arvestuslik hulk võib ulatuda 1 miljoni liigini (Бутовский, 2010).

Kõige sagedamini võib kohata nelja alaliiki lestasid: *Oribatei*, *Prostigmata*, *Mesostigmata*, *Astigmata* (Coleman jt, 2004).

Nad osalevad aktiivselt orgaanilise aine lagundamises, toitainete ringes ja mulla tekkes. Kõik lestade aktiivsed kasvujärgud toituvad väga mitmesugustest elavast ja surnust orgaanilisest materjalist: taimedest ja seentest, sammaldest ja samblikest, korjustest. Läbi orgaanilise aine jahvatamise ja väljaheidete graanulite mõjutavad lestad lagundamist ja mulla struktuuri. Nad on kõige tähtsam ämblikulaadsete grupp, kellel on otsene ja kaudne mõju mullastruktuuride moodustamisel kui ka säilitamisel (Behan-Pelletier, 1999).

Okaspuumetsades on nende roll väga tähtis, kuna nad muudavad mahalangenud okkaid neid peenestades või vigastades nende terviklikkust. See annab teistele loomaliikidele ja mikroorganismidele võimaluse kasutada toiduks mahalangenud okkaid, niiviisi neid lagundades (Романенко, 2013).

3.2. Bioindikatsioon mullaelustiku abil

Bioindikatsioon on keskkonnaseisundi ja -olude muutumise iseloomustamine organismide– bioindikaatorite ja nende tunnuste põhjal (Kabral, 2013). Muld on küllastunud erinevate elusorganismidega (Звягинцев, 1987), kes on väga head bioindikaatorid, kuna neil on oluline osa mullaökosüsteemi talitluses. Bioindikaatorid on organismid, kes sisaldavad informatsiooni keskkonnakvaliteedi paljudest aspektidest (Markert jt, 2003). Bioindikatsioonil peab arvestama nelja põhilise reeglga (Schubert, 1985, Kuu, 2003):

1. suhteliselt kiiresti läbiviidav;
2. peab olema piisavalt täpne ja andma reprodutseeritava tulemuse;
3. kasutatavad objektid peavad olema võimalikult suures arvus ja ühtlase kvaliteediga;
4. vea piirid peavad olema võrreldavad, mitte üle 10%.

Mullaelustik ja mullaviljakus on otseselt omavahel seotud (Ivask, 2004). Mullaorganismid on mullaga vahetuskontaktis oma kehapinnaga ja seetõttu reageerivad kiiresti temperatuuri muutustele, reostusele ja teistele keskkonnamuutustele. Mulla mikroorganismide biomassis ja arvukuses peegeldub mulla seisund ja sõltub toitainete regeneratsiooni kiirus (Ivask jt, 2000). Ressursside kättesaadavus, mikrokliimaatilised tingimused, mulla keemiline koosseis ja struktuur võivad oluliselt mõjutada elusorganismide levikut, koosseisu ja suurust (Timusk, 2012). Mullaorganismide reaktsioone võib kasutada keskkonna muutuste avastamisel ja jälgimisel. Sellised organismid ehk indikaatorid võivad väljendada keskkonnas toimuvaid muutusi ning aidata selgitada füüsikaliste ja keemiliste keskkonnamuutuste tähendust ökosüsteemidele (Vuorisalo, 1993).

Indikaatorliigid võivad olla kõik mullaselgrootud, vastse- ja täiskasvanustaadiumid, neid kasutatakse nii looduses kui ka laborioludes, mitmesugustes testides. Sageli saab mullakoosluste omaduste põhjal teha järeldusi kogu ökosüsteemi kohta (Ivask, 2004). Vihmaussid (*Lumbricus*), sipelgad (*Formicidae*), lülijalgsed (*Arthropoda*), ämblikulised (*Araneae*), mardikalised (*Coleoptera*) sobivad paremini maastiku mosaiiki kirjeldavate indikaatoritena, kuna neid on kergem korjata, sorteerida ja määratleda võrreldes mikro- ja mesofaunaga (Paoletti, 1991).

Muldade erinevat tüüpi orgaaniline aine on asustatud erineva mullaelustikuga. Happelised toitainevaesed mullad, mis on toorhuumuslikud ja kihilised, sobivad väikestele

mullaorganismidele: lestad, valgehiimuklased, hooghännalised jne. Neutraalses mullas, mis on paremini lagundatud, kergemini tükkideks lagunev ja toitainerikas, on mullaelustik rikkam suuremate selgrootute poolest nagu vihmaussid, nälkjad ja tuhatjalgsed, kes on seotud mulla mikroobikooslusega (Timusk, 2012).

4. Materjal ja meetodika

Käesoleva magistritöö on jätk tööstusökoloogia tudengi Lorens Timuski magistritööle (2012) „Mullaelustiku arvukus ja mitmekesisus rekultiveeritud Narva ja Aidu põlevkivikarjäärides“, olles oma olemuselt piloottöö hindamaks Aidu ja Narva karjääride mullaelustiku mitmekesisust ja arvukust variseproovides. Antud piloottööst tulenes tööstusökoloogia tudengi Karen Siltsi magistritöö (2014) teemal „Metsavarise omaduste mõju mulleelustiku koosluste arengule rekultiveeritud Narva põlevkivikarjääris“. Käesolevas töös on kasutatud Lorens Timuski poolt kogutud mullaproove ja taimestiku katvuse andmeid, lisaks tema poolt võetud, kuid mitte analüüsitud variseproove.

4.1. Proovikohtade iseloomustus

Tabelis 1 on välja toodud andmed uuritavate proovialade kohta (Timusk, 2012).

Tabel 1. Andmed proovialade kohta. 1-prooviala nimi ja asukoht; 2-transekti koordinaadid; 3-rekultiveerimise aeg, 4-domineerivad taimeliigid; 5-lühiseloomustus (Timusk, 2012)

1	2	3	4	5
Narva 1, Ida-Virumaa	59°13'57'' 27°50'17''	2005	Katvus~40% A,B,F,G,H,I,J	Väikest kasvu kased ja pajud, taimestik
Narva 2, Ida-Virumaa	59°14'03'' 27°50'15''	2003	Katvus~30% C,H,J,F,G,I	Männid kõrgusega 0,7-1,2 m, kased, paiseleht igal pool
Narva 3, Ida-Virumaa	59°14'48'' 27°50'22''	1986	Katvus~30% A,B,C,G,H,J,K,L,N	Kase- ja männimets
Narva 4, Ida-Virumaa	59°15'46'' 27°50'22''	1985	Katvus~100% A,B,C,D,E,H,J,O,Ü	Männid kõrgusega 10m
Aidu 1, Ida-Virumaa	59°18'35'' 27°07'49''	1999	Katvus~5% A,B,C,F,G,H,J,P	Männid väikest kasvu
Aidu 2, Ida-Virumaa	59°18'37'' 27°07'53''	1998	Katvus~95% B,C,F,G,H,I,R,S,T	Mänd hea kasvuga, paju 3-4m kõrgusega
Aidu 3, Ida-Virumaa	59°18'57'' 27°07'32''	1988	Katvus~75% A,B,C,F,H,I,J,M,N,R	Tihe kask ja paju kõrgus 3-4 m, mänd kõrgusega~15m
Aidu 4, Ida-Virumaa	59°19'52'' 27°07'30''	1982	Katvus~95% A,B,C,D,F,G,I,U, V,Õ,Ä,Ö	Suur mets

Selgitused:

A-arukask *Betula pendula* Roth; B-paju *Salix sp* L; C-mänd *Pinus sylvestris* L; D-kuusk *Picea abies* (L.) H.Karst; E-harilik haab *Populus tremula* L; F-metskastik *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth; G-harilik raudrohi *Achillea millefolium* L.; H-paiseleht *Tussilago* L; I-ahtalehine põdrakanep *Epilobium angustifolium* L.; J-valge mesikas *Melilotus alba* Medik.; K-sammal (määramata); L-harilik härjasilm *Leucanthemum vulgare* Lam.; M-harilik võilill *Taraxacum officinale* F.G.Wigg. (coll.); N-hunditubakas *Hieracium* L.; O- mägiristik *Trifolium montanum* (L.); P-harilik kastehein *Agrostis capillaris* L.; R-põldohakas *Cirsium arvense* (L.) Scop. Var *mite* Wimm. Et Grab.; S-tedrebaran-*Potentilla erecta* (L.) Räusch.; T-metsosi *Equisetum sylvaticum* L; U-harilik kellukas *Campanula patula* L.; V-põldtimut *Phleum pratense* L; Õ-harilik metsvits *Lysimachia vulgaris* L.; Ä- harilik ussikeel *Echium vulgare* L.; Ö-metsmaasikas *Fragaria vesca* L.; Ü-ümaralehine uibuleht *Pyrola rotundifolia* L.

4.2. Muldade keemiline ja mikrobioloogiline analüüs

Tulemustes kajastatud keskkonnatingimused on kogutud Timusk Lorensi poolt. Niiskuse mõõtmiseks kasutati aparati Fieldscout TDR 300, mõõtmise sügavus oli kuni 10 cm. Mulla happesus mõõdeti TTÜ Tartu Kolledži laboris pH-meetri WTW Multi 340i abil. Muldade orgaanilise aine sisaldus ja üldlämmastiksisaldus määrati Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboris standartmeetoditel (Timusk, 2012).

Selleks, et määrata mikroobikoosluse hingamisaktiivsus ja biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil kasutati WTW manomeetrilist mõõtmisüsteemi OxiTop®. SIR meetod kujutab endast mulla mikroobide biomassi kaudset määramist mikroobide hingamisaktiivsuse kaudu. Biomassi leidmiseks lisati mullaproovile glükoosi, inkubeeriti õhukindlalt pimedas 24 tundi temperatuuril 22°C, ning mõõdeti neeldud hapnikukogus ja arvutati välja mikroobide biomassi süsinikusisaldus (Timusk, 2012).

Mullaproovid võeti 18.07.2011.a ja 12.09.2011 a. Aidu ja Narva karjääri igalt neljalt transektilt (Tabel 1). Mullaproovid võeti mullapuuriga, Ø 2 cm, proovid võeti ülemisest 15 cm mullakihist (Timusk, 2012).

4.3. Varisproovide sorteerimine

Kõikidelt transektidelt (Narva karjäärist neli transekti, Aidu karjäärist neli transekti) võeti varisproovid mõõtmetega 50x50 cm, mille järgselt varis sorteeriti TTÜ Tartu Kolledži Mullabioloogia laboris käsitsi. Varisproovide kogused on esitatud Lisa 2.

Mesofauna kättesaamiseks kasutati varisproovide ekstraheerimist Tullgreni lehtrite süsteemis (Coleman jt, 2004). Varisproovid pandi 48 h valgustuse alla metallsõela peale ning mesofauna koguti proovipudelisse, mis oli täidetud etanooliga.

4.4. Andmetöötlus

Andmete töötlemisel leitud organismid kanti tabelisse (Lisa 1) ning arvutati rühmade keskmised väärtused ning keskmiste aritmeetilised vead (\pm SE), lisaks töödeldi andmed programmide Excel, CANOCO 4.52, PC-Ord ja STATISTICA 10.0 abil, kasutati mitteparameetrilist (Spearmani korrelatsioonanalüüs) meetodit. Varisproovide sorteerimisel saadud liikide nimekiri koos lühenditega on esitatud Lisa 1.

5. Tulemused

5.1. Mulla keemiline ja mikrobioloogiline analüüs

Lisa 3 ja Lisa 4 on esitatud vastavalt mikroobikoosluse näitajad (SIR ja mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel ning mullakeemia näitajad (N, K, P, pH, KA, OA, niiskus).

Mikroobikoosluste üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel kui ka mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamine (SIR) olid kõrgeimad Aidu karjääri proovialadel ja madalaimad Narva karjääri proovialadel. Mikroobide tegevuse aktiivsust vaadates selgus, et kõrgeim keskmine mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil (Lisa 3), mis oli tehtud 18.07.2011.a., oli Aidu karjääri proovialadel ($0,794 \pm 0,262$ mg biomass C/g KA) ja madalaim keskmine näitaja oli Narva proovialadel ($0,428 \pm 0,188$ mg biomass C/g KA). Kui analüüsida SIR näitajaid transektide lõikes, siis kõrgeimad näitajad olid neljandal transektil, vastavalt Narva 4 oli $0,960$ mg biomass C/g KA ja Aidu 4 oli $1,524$ mg biomass C/g KA. Samasugune tendents esines ka mikroobikoosluse üldises aktiivsuses hingamisaktiivsuse alusel, kus kõrgeimad näitajad olid neljandal transektil, vastavalt Narva 4 oli $4,192$ mg O₂/kg KA*h ja Aidu 4 oli $10,784$ mg O₂/kg KA*h (Lisa 3).

Korduanalüüs 12.09.2011.a. näitas, et kõrgeim keskmine mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil oli samuti Aidu karjääri proovialadel ($0,694 \pm 0,299$ mg biomass C/g KA) ja madalaim keskmine näitaja oli Narva proovialadel ($0,276 \pm 0,068$ mg biomass C/g KA). Transektide lõikes oli korduanalüüsil SIR näitajad suurimad Narva 3 ja Aidu 4 transektil, vastavalt $0,419$ mg biomass C/g KA ja $1,538$ mg biomass C/g KA. Samadel transektidel olis suurimad väärtused ka mikroobikoosluse üldise aktiivsuse hingamisaktiivsuse alusel näitajad, vastavalt Narva 3 oli $2,770$ mg O₂/kg KA*h ja Aidu 4 oli $8,987$ mg O₂/kg KA*h (Lisa 3).

Narva ja Aidu karjääri rekultiveeritud proovia la iseloomustas (vähe) leeliseline muld (pH 6,91...7,91), mulla happesus varieerus vähe (Lisa 4). Mulla niiskusesisaldus oli Narva karjääris kõrgem kui Aidu karjääris. 18.07.2011.a. oli keskmine Narva karjääri niiskussisaldus $17,17 \pm 1,80$ ja Aidu karjääris oli keskmine niiskussisaldus $13,40 \pm 2,47$. Ka kordusanalüüside ajal 12.09.2011 oli Narva karjääri mulla niiskussisaldus kõrgem kui Aidu

karjääri oma, vastavalt $6,00 \pm 0,30$ ja $5,60 \pm 1,29$. Kui võrrelda transekte omavahel, siis 18.07.2011 proovivõtu ajal oli suurim niiskussisaldus Narva 3 (22,2) ja Aidu 2 (20,5). Proovid, mis koguti 12.09.2011.a. näitavad, et Narva karjääris oli kõrgeim niiskusesisaldus Narva 1 (6,9) transektil ja Aidu 2 (7,8) ning Ajdu 4 (7,6) transektidel (Lisa 4).

Proovid, mis koguti 18.07.2011.a. näitavad, et kõrgeim keskmine kuivaine (KA) sisaldus oli Narva karjääris ($95,14 \pm 1,6\%$) ja madalaim keskmine Aidu karjääris ($81,16 \pm 8,6\%$). Orgaanilise aine (OA) sisaldus oli vastupidi, kõrgeim Aidu karjääris ($16,47 \pm 7,5\%$) ja madalaim Narva karjääris ($2,97 \pm 0,35\%$). Korduvanalüüs 12.09.2011.a. näitas, et Narva karjääri keskmine KA sisaldus oli $89,31 \pm 0,7\%$ ja Aidu karjääris- $77,1 \pm 9,36\%$ ning Aidu karjääri OA sisaldus oli $15,04 \pm 5,8\%$ ja Narva karjääris $2,70 \pm 1,05\%$ (Lisa 4).

Mullakeemia näitajatest olid mulla fosfori (P)- ja kaaliumisisaldused (K) suuremad Narva karjääris, mulla lämmastiksisaldused (N) olid suuremad Aidu karjääris. 18.07.2011 võetud mullakeemiast olid Narva karjääris suurimad fosfori- kaaliumi- ja lämmastiksisaldused Narva 4 transektil. Väikese erandiga sarnast tendentsi näitas ka Aidu 4, kus samad näitajad olid üldjuhul suurimad. Seevastu 12.09.2011 võetud mullakeemia proovide sisaldused kõikusid märgatavamalt (Lisa 4).

5.2. Variseproovide tulemused

Tabelis 2 on esitatud Narva ja Aidu karjäärade transektide keskmine variseproovide kaal ning mullaelustiku isendite summaarne arv. Suurim summaarne isendite arv oli Narva 3 transektil, kus loendati kokku 20 329 isendit. Väikseim isendite arv esines Aidu 1 transektil, kus kogutud variseproovidest ei loendatud ühtegi isendit.

Tabel 2. Narva ja Aidu karjäärade transektide keskmine variseproovide kaal ning mullaelustiku isendite summaarne arv

Koht	Prooviaala keskmine materjali kaal (gr)	Isendite summaarne arv	Koht	Prooviaala keskmine materjali kaal (gr)	Liikide summaarne arv
Narva 1	$403,4 \pm 241,1$	178	Aidu 1	$50,5 \pm 0,0$	0
Narva 2	$177,9 \pm 129,8$	44	Aidu 2	$47,3 \pm 0,0$	14
Narva 3	$332,5 \pm 100,6$	20329	Aidu 3	$53,1 \pm 23,9$	11
Narva 4	$118,6 \pm 36,6$	14087	Aidu 4	$127,3 \pm 37,5$	7534

Tabelis 3 ja tabelis 4 on esitatud Narva ja Aidu karjääri proovikoha keskmine varisest käsitsi kogutud ja ekstraheeritud liikide arvukus. Tulemustes selgub, et enamasti oli laguproovides lestalisi (*Acarina sp*), valgeliimuklasi (*Enchytraeidae sp*) ja hooghännalistest *Parisotoma notabilis* aga väikese arvukusega olid hulkjalgsed (*Myriapoda sp*), tirdilised (*Cicadinea sp*), ämblikulised (*Aranei sp*), ja hooghännalistest *Folsomia candida* ja *Isotoma viridis* liigid. Suurim keskmine lestade arvukus oli Narva 3 ja Narva 4 transektidel (vastavalt $3784,5 \pm 1317,9$ ja $3933,7 \pm 1786,2$). Hooghännalise *Parisotoma notabilis* keskmine arvukus oli suurim Narva 3 ja Narva 4 transektil, vastavalt $689,8 \pm 432,0$ ja $644,0 \pm 418,8$ isendit. Kaheteistkümnest määratud hooghännalise liigist oli Narva karjääris esindatud 8 liiki, sealjuures kaks liiki (*Parisotoma notabilis* ja *Metaphorura affinis*) oli esindatud kõikidel transektidel (Tabel 3).

Tabel 3. Narva karjääri proovikoha keskmine liikide arvukus

Liikide nimekiri	Narva 1	Narva 2	Narva 3	Narva 4
Harkhännalised	-	-	$1,8 \pm 1,2$	-
Ämblikulised	-	-	$0,3 \pm 0,3$	-
Lestalsed	$9,0 \pm 3,8$	$3,5 \pm 1,5$	$3784,5 \pm 1317,9$	$3933,7 \pm 1786,2$
Sääselised	$0,5 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,3$	$3,5 \pm 2,8$	-
Limused	-	$0,3 \pm 0,3$	$18,3 \pm 7,2$	$8,0 \pm 6,6$
Valgeliimuklased	-	$0,3 \pm 0,3$	$193,3 \pm 117,5$	$74,7 \pm 65,7$
Tirdilised	-	-	-	-
Hulkjalgsed	-	-	-	-
Vihmauslased	-	-	$6,5 \pm 2,2$	-
Vastsed	-	-	$0,8 \pm 0,8$	-
<i>Parisotoma notabilis</i>	$1,3 \pm 0,8$	$0,8 \pm 0,5$	$689,8 \pm 432,0$	$644,0 \pm 418,8$
<i>Metaphorura affinis</i>	$30,5 \pm 27,3$	$6,3 \pm 6,3$	$13,3 \pm 7,6$	$1,0 \pm 0,6$
<i>Heteromurus nitidus</i>	$0,3 \pm 0,3$	-	$360,8 \pm 189,4$	$24,0 \pm 12,0$
<i>Folsomia candida</i>	-	-	-	-
<i>Stenaphorura quadrispina</i>	$3,8 \pm 2,8$	-	$5,5 \pm 3,9$	-
<i>Ceratophysella denticulat</i>	-	$0,3 \pm 0,3$	-	-

Liikide nimekiri	Narva 1	Narva 2	Narva 3	Narva 4
<i>Willowsia buskii</i>	-	-	-	13,0±418,8
<i>Neelus murinus</i>	-	-	2,3±2,3	-
<i>Willemia anophthalma</i>	-	-	-	-
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	-	-	-	-
<i>Isotoma viridis</i>	-	-	-	-
<i>Protaphorura armata</i>	-	-	2,0±1,2	-

Variseproovides puudus elustik Aidu 1 transektil. Suurim lestade arvukus esines Aidu 4 transektil, vastavalt 2020,3±726,3 isendit. Samuti neljandal transektil Aidu 4 oli suurim hooghännalise liigi *Parisotoma notabilis* arvukus, vastavalt 252,3±251,3 isendit. Kaheteistkümnest määratud hooghännalise liigist oli Aidu karjääris esindatud 9 liiki (Tabel 4).

Tabel 4. Aidu karjääri proovikoha keskmine liikide arvukus

Liikide nimekiri	Aidu 1	Aidu 2	Aidu 3	Aidu 4
Harkhännalised	-	-	-	2,3±1,9
Ämblikulised	-	-	-	0,3±0,3
Lestased	-	13,0±0,0	0,7±0,3	2020,3±726,3
Sääselised	-	-	0,3±0,3	0,3±0,3
Limused	-	-	2,7±2,7	7,0±2,7
Valgeliimuklased	-	-	-	60,3±26,0
Tirdilised	-	-	-	0,7±0,3
Hulkjalgsed	-	-	-	0,3±0,3
Vihmauslased	-	-	-	-
Vastsed	-	1,0±0,0	-	2,3±0,9
<i>Parisotoma notabilis</i>	-	-	-	252,3±251,3
<i>Metaphorura affinis</i>	-	-	-	32,7±12,7
<i>Heteromurus nitidus</i>	-	-	-	66,3±63,9
<i>Folsomia candida</i>	-	-	-	0,7±0,7

Liikide nimekiri	Aidu 1	Aidu 2	Aidu 3	Aidu 4
<i>Stenaphorura quadrispina</i>	-	-	-	-
<i>Ceratophysella denticulat</i>	-	-	-	4,0±0,6
<i>Willowsia buskii</i>	-	-	-	-
<i>Neelus murinus</i>	-	-	-	56,3±40,9
<i>Willemia anophthalma</i>	-	-	-	2,7±2,7
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	-	-	-	2,0±0,6
<i>Isotoma viridis</i>	-	-	-	0,3±0,3
<i>Protaphorura armata</i>	-	-	-	-

Tabelis 5 on esitatud hooghännaliste Shannon-Wieneri mitmekesisuse indeksid. Narva karjääris oli suurim mitmekesisuse indeks Narva 3 (0,757) ja madalaim Narva 4 (0,257).

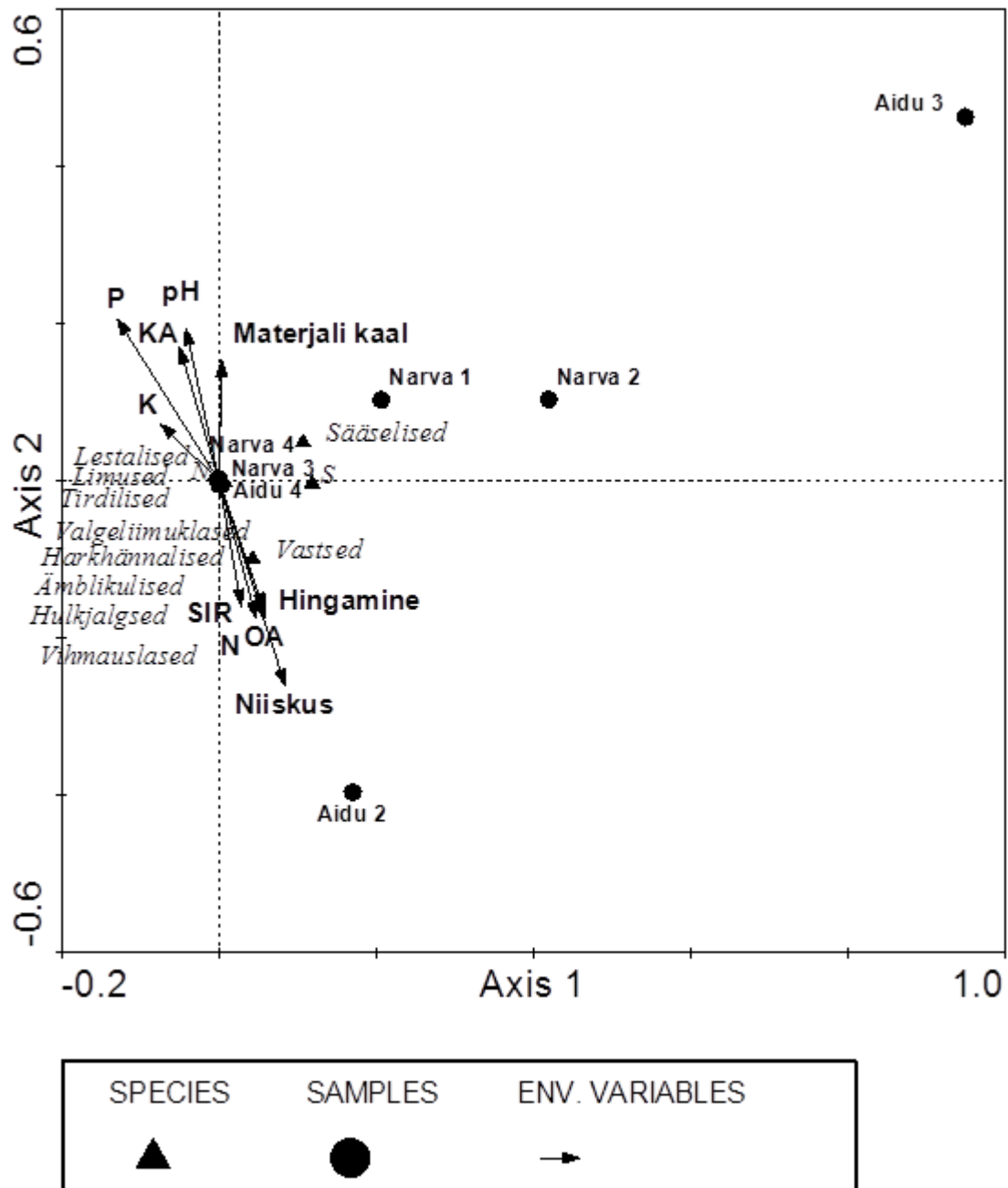
Tabel 5. Hooghännaliste Shannon-Wieneri mitmekesisuse indeksid

Koht	Indeks	Koht	Indeks
Narva 1	0,524	Aidu 1	-
Narva 2	0,479	Aidu 2	-
Narva 3	0,757	Aidu 3	-
Narva 4	0,257	Aidu 4	1,184

Narva ja Aidu karjääri keskmised näitajad variseproovidest käsitsi sorteeritud elustiku ja keskkonnategurite omavahelistest seostest on esitatud joonisel 2 kanoonilise vastavusanalüüsina (Canonical Correspondence Analysis (CCA)). Andmete analüüsil selgus, et keskkonnatingimustest korreleerus statistiliselt usaldusväärselt ($p < 0,05$) positiivselt mulla lämmastikusisaldus (N) mulla orgaanilise aine sisaldusega (OA) ja mikroobikoosluse üldise aktiivsusega hingamisaktiivsuse alusel ($R = 0,810$) ning negatiivselt mulla kuivaine sisaldusega (KA) ($R = -0,881$) ja fosforisisaldusega (P) ($R = -0,857$). Mulla happesus (pH) oli positiivses korrelatsioonis mulla kuivaine sisaldusega (KA) ($R = 0,731$) ning negatiivses korrelatsioonis mulla lämmastikusisaldusega (N) ($R = -0,778$) ja mikroobikoosluse üldise aktiivsusega

hingamisaktiivsuse alusel ($R=-0,755$). Mulla fosforisisaldus oli negatiivses korrelatsioonis mulla lämmastikussisaldusega (N) ja orgaanilise aine sisaldusega (OA) (vastavalt $R=-0,857$ ja $R=-0,738$). Kuivaine sisaldus (KA) oli negatiivses korrelatsioonis mikroobikoosluse üldise aktiivsusega hingamisaktiivsuse alusel ($R=-0,952$).

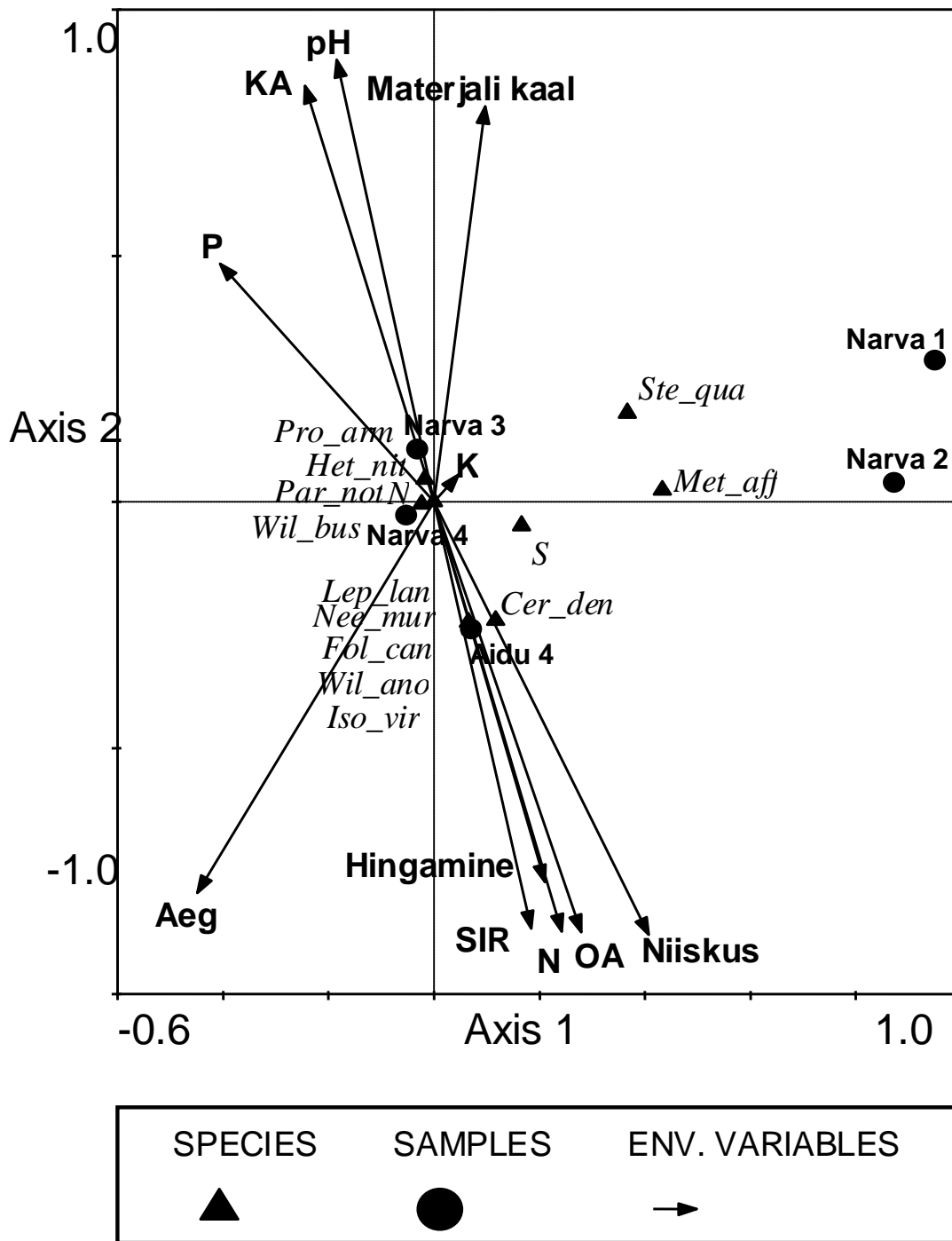
Varisest sorteeritud elustikust korreleerusid sääselised statistiliselt usaldusväärselt ($p<0,05$) keskkonnatingimustest materjali kaaluga ($R=0,786$) ning vastsed negatiivselt mullahappesusega ($R=-0,713$). Limused- *Molluska sp* ja valgeliimuklased- *Enchytraeidae sp* korreleerusid positiivselt rekultiveerimise ajaga, vastavalt $R=0,727$ ja $0,754$. Ämblikulised- *Aranei sp* korreleerusid positiivselt valgeliimuklastega- *Enchytraeidae sp* ($R=0,814$), tirdilistega- *Cicadinea sp* ja hulkjalgssetega- *Myriapoda sp* ($R=0,756$) ning vastsetega- *Larvae sp* ($R=0,750$). Lestalistes *Acarina sp* olid positiivses seoses limustega- *Molluska sp* ja valgeliimuklastega- *Enchytraeidae sp* (vastavalt $R=0,846$ ja $R=0,710$). Hulkjalgsed olid positiivses seoses harkhännalistega- *Diplura sp* ja ämblikulistega- *Aranei sp* ($R=0,756$) (Joonis 2). Liikide arv oli seotud positiivselt harkhännalistega- *Diplura sp* ja ämblikulistega- *Aranei sp* ($R=0,768$), lestalistega- *Acarina sp* ($R=0,874$), limustega- *Molluska sp* ($R=0,741$), valgeliimuklastega- *Enchytraeidae sp* ($R=0,772$) ja vastsetega- *Larvae sp* ($R=0,796$).



Joonis 2. Varises oleva mulleehustiku kanooniline vastavusanaliüs (CCA) Narva ja Aidu proovialadel sõltuvalt keskkonnatingimustest. I ja II telg on kaetud vastavalt 82,5% ja 13,8%. Kanooniline koguväärtus on 0,065. pH – happelisus, KA – kuivaine sisaldus (%), K – kaaliumi sisaldus (mg/kg), P – fosfori sisaldus (mg/kg), OA – orgaanilise aine sisaldus (%), N – lämmastiku sisaldus (%). hingamine – mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel, SIR – mikroobide substraadi poolt indutseeritud hingamine.

Narva ja Aidu karjääri keskmised hooghännaliste näitajad sõltuvalt keskkonnatingimustest on esitatud kanoonilise vastavusanalüüsina (CCA) joonisel 3. Keskkonnatingimustest korreleerus statistiliselt usaldusväärset (p<0,05) mulla happesus (pH) negatiivselt mulla lämmastikusisaldusega (N) ja mikroobikoosluse üldise aktiivsusega hingamisaktiivsuse alusel (vastavalt R=-0,778 ja R=-0,755). Mulla lämmastikusisaldus (N) oli positiivses seoses mulla orgaanilise aine sisaldusega (OA) ja mikroobikoosluse üldise aktiivsusega hingamisaktiivsuse alusel (R=0,810) ning negatiivses seoses mulla happesusega (pH) (R=-0,778), kuivainesisaldusega (KA) (R=-0,881) ja mulla fosforisisaldusega (P) (R=-0,857). Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel oli positiivses korrelatsioonis mulla lämmastikusisaldusega (N) (R=0,810), kuid negatiivses korrelatsioonis mulla happesusega (pH) (R=-0,754) ja kuivainesisaldusega (KA) (R=-0,952). Fosforisisaldus oli negatiivses korrelatsioonis mulla lämmastikusisaldusega (N) kui ka orgaanilise aine sisaldusega (OA), vastavalt R=-0,857 ja R=-0,738.

Hooghännaliste liikidest oli keskkonnatingimustest materjali kaaluga positiivses korrelatsioonis *Metaphorura affinis* (Met_aff) ja *Stenaphorura quadripina* (Ste_qua), vastavalt R=0,830 ja R=0,733. Rekultiveerimisest möödunud ajaga oli positiivses korrelatsioonis järgnevad liigid: *Parisotoma notabilis* (Par_not) (R=0,430), *Heteromurus nitidus* (Het_nit) (R=0,451), *Neelus murinus* (Nee_mur) (R=0,494) ja *Willowsia buskii* (Wil_bus) ning *Lepidocyrtus lanuginosus* (Lep_lan) (R=0,512). Hooghännaliste keskmine arvukus (N) oli positiivselt seotud liikidega nagu *Metaphorura affinis* (Met_aff) ja *Heteromurus nitidus* (Het_nit), vastavalt R=0,725 ja R=0,936. Liikide arv (S) oli positiivses korrelatsioonis liikidega *Parisotoma notabilis* (Par_not) (R=0,925), *Metaphorura affinis* (Met_aff) (R=0,875) ja *Heteromurus nitidus* (Het_nit) (R=0,936) ja *Neelus murinus* (Nee_mur) (R=0,925). Liikidest omavahel olid positiivses korrelatsioonis liik *Metaphorura affinis* (Met_aff) liikidega nagu *Parisotoma notabilis* (Par_not) (R=0,725) ja *Heteromurus nitidus* (Het_nit) (R=0,741). *Folsomia candida* (Fol_can) oli positiivses korrelatsioonis liikidega nagu *Ceratophysella denticulata* (Cer_den) ja *Neelus murinus* (Nee_mur), vastavalt R=0,756.



Joonis 3. Varises leiduvate hooghännaliste kanooniline vastavusanalüüs Narva ja Aidu proovialadel. I ja II telg kaetud vastavalt 62,5% ja 18,5%. Kogu kanooniline väärtus on 0,341. pH – happelisus, KA – kuivaine sisaldus (%), K – kaaliumi sisaldus (mg/kg), P – fosfori sisaldus (mg/kg), OA – orgaanilise aine sisaldus (%), N – lämmastiku sisaldus (%). hingamine – mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel, SIR – mikroobide substraadi poolt indutseeritud hingamine. Materjali kaal – varise kaal. Liikide lühendid on esitatud Lisa 1.

Joonisel 4 on esitatud kanooniline vastavusanalüüs (CCA) nii varisest käsitsi sorteeritud elustik kui ka ekstraheeritud hooghännalised sõltuvalt keskkonnatingimustest ning kogutud variseproovide kaalust ja varise iseloomust (okkad, hein, lehed jne). Erinevatel transektil sai analüüsi jaoks võetud erinev arv varist, sellest tuleneb nt Narva1.1/Narva 1.2/Narva 1.3/Narva 1.4. Variseproovi kaalud ja varise iseloom on esitatud Lisa2. Variseproovi materjal oli statistiliselt usaldusväärsetel ($p < 0,05$) negatiivses korrelatsioonis mulla kaaliumisisaldusega ($R = -0,550$) ja hooghännalise liigiga *Willowsia buskii* (Wil_bus) ($R = -0,415$). Seevastu varisematerjali kaal oli positiivses korrelatsioonis lestalistega- *Acarina sp* ($R = 0,549$), valgeliimuklastega- *Enchytraeidae sp* ($R = 0,584$) ning kolme hooghännalise liigiga: *Metaphorura affinis* (Met_aff), *Heteromurus nitidus* (Het_nit) ja *Stenaphorura quadrispina* (Ste_qua) (vastavalt $R = 0,837$; $R = 0,570$ ja $R = 0,660$).

Analüüs näitas, et rekultiveerimise aeg oli negatiivses seoses mulla happesusega (pH) ($R = -0,733$), kuid positiivses seoses substraadi poolt indutseeritud hingamisega (SIR) ($R = 0,655$) ja mulla hingamisega ($R = 0,423$). Samuti rekultiveerimise aeg korreleerus positiivselt valgeliimuklastega ($R = 0,535$), limustega ($R = 0,568$) ning viie hooghännalise liigiga: *Parisotoma notabilis* (Par_not) ($R = 0,430$), *Heteromurus nitidus* (Het_nit) ($R = 0,451$), *Willowsia buskii* (Wil_bus) ($R = 0,512$), *Neelus murinus* (Nee_mur) ($R = 0,494$) ja *Lepidocyrtus lanuginosus* (Lep_lan) ($R = 0,512$).

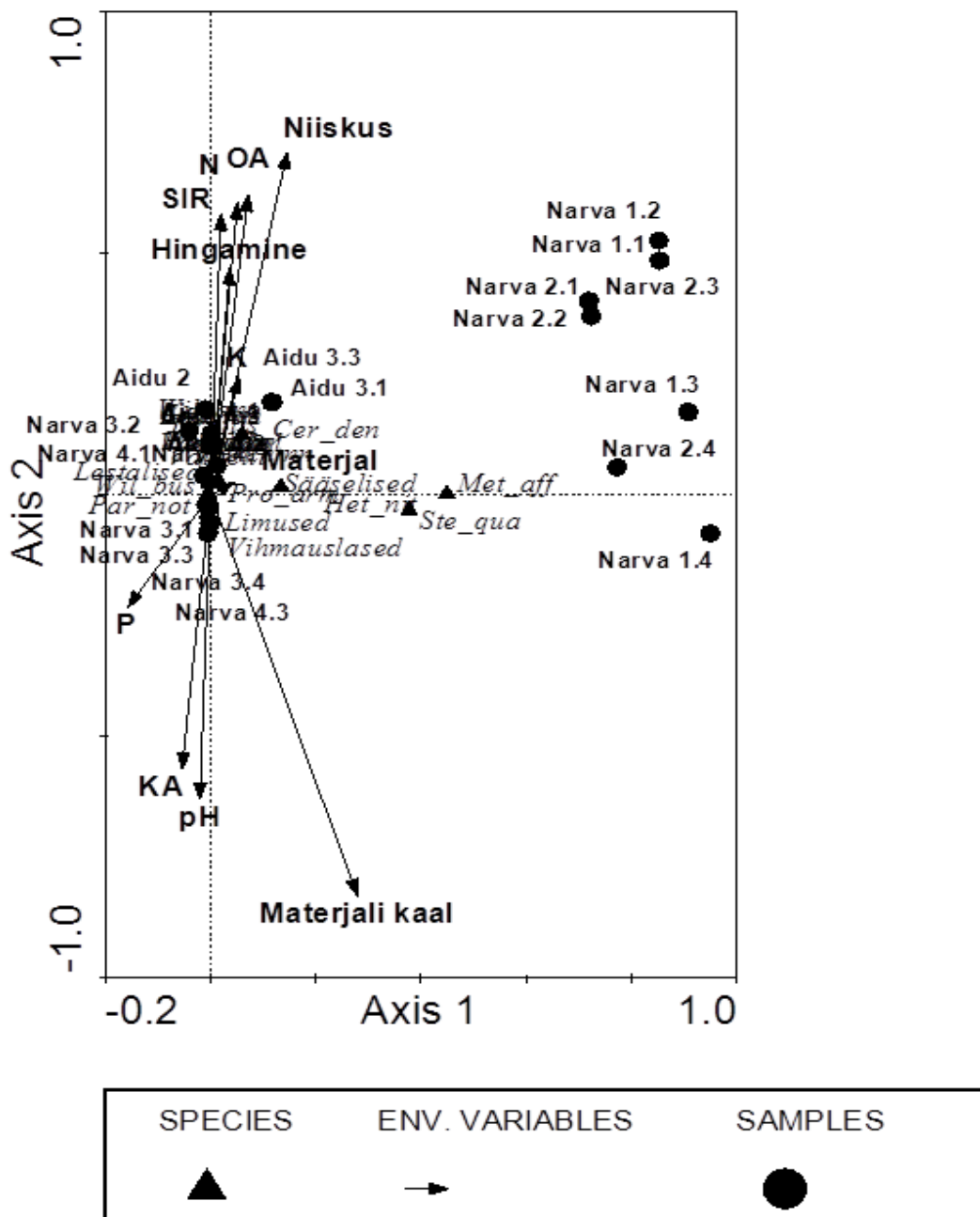
Joonis 4 keskkonnatingimuste analüüs näitas, et mulla pH korreleerus positiivselt ($p < 0,05$) mulla kuivainete (KA) ($R = 0,676$) ja fosforisisaldusega (P) ($R = 0,506$). Mulla hingamine korreleerus positiivselt lämmastikuga (N) ($R = 0,861$), orgaanilise aine sisaldusega (OA) ($R = 0,800$) ning mikroobide biomassi substraadi poolt indutseeritud hingamisega (SIR) ($R = 0,739$). Mulla niiskussisaldus oli positiivselt seotud kaaliumisisaldusega (K) ($R = 0,541$). Positiivne korrelatsioon oli mulla kuivaine (KA) ja fosforisisalduse (P) vahel ($R = 0,837$) ning orgaanilise aine sisalduse (OA) ja substraadi poolt indutseeritud hingamise vahel ($R = 0,427$). Samuti mulla lämmastik (N) korreleerus positiivselt substraadi poolt indutseeritud hingamisega (SIR) ($R = 0,532$), mikroobikoosluse üldise aktiivsusega hingamisaktiivsuse alusel ($R = 0,861$) ning orgaanilise aine sisaldusega (OA) ($R = 0,915$).

Mullaproovide pH korreleerus negatiivselt ($p < 0,05$) lämmastikusisaldusega (N) ($R = -0,743$), orgaanilise aine sisaldusega (OA) ($R = -0,486$), substraadi poolt indutseeritud hingamisega (SIR) ($R = -0,704$) ning mikroobikoosluse üldise aktiivsusega hingamisaktiivsuse alusel

($R=-0,793$). Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel omakorda korreleerus negatiivselt variseproovide kuivaine sisaldusega (KA) ($R=-0,948$) ja fosforisisaldusega (P) ($R=-0,739$). Negatiivne korrelatsioon oli mulla lämmastiku (N) ja mulla kuivaine sisalduse (KA) vahel ($R=-0,861$) ning lämmastiku- (N) ja fosforisisalduse (P) vahel ($R=-0,927$). Orgaanilise aine sisaldus (OA) korreleerus negatiivselt kuivaine sisaldusega (KA) mullas ($R=-0,853$) ja fosforiga (P) ($R=-0,927$).

Liikidest korreleerusid positiivselt ($p<0,05$) omavahel vihmaussid ja ämblikud ($R=0,428$). Selgus, et mida rohkem oli variseproovides vihmausse, seda rohkem oli seal ämblikuid. Samuti vihmaussid korreleerusid positiivselt *Parisotoma notabilis* (Par_not) ($R=0,414$), *Heteromurus nitidus* (Het_nit) ($R=0,489$) ja *Stenaphorurella quadrispina* (Ste_qua) ($R=0,647$) liikidega. Hulkjalgsed korreleerusid positiivselt valgeliiimuklastega ($R=0,416$), tirdilistega ($R=0,691$), *Lepidocyrtus lanuginosus* (Lep_lan) ($R=0,494$), *Ceratophysella denticulata* (Cer_den) ja *Neelus murinus* (Nee_mur) liikidega (kõigi puhul $R=0,486$). Tugev positiivne korrelatsioon oli ämblikuliste ja harkännaliste vahel ($R=0,703$). Suhteliselt nõrgalt, kuid positiivselt korreleerusid ämblikud tirdilistega ($R=0,452$), vihmausside ja *Protaphorura armata* (Pro_arm) liigiga (mõlemate puhul $R=0,428$). Lestalist korreleerusid positiivselt harkhännalistega ($R=0,505$), limustega ($R=0,591$), valgeliiimuklastega ($R=0,607$), *Parisotoma notabilis* (Par_not) ($R=0,747$), *Heteromurus nitidus* (Het_nit) ($R=0,715$) ja *Metaphorura affinis* (Met_aff) ($R=0,632$) liikidega. Harkhännalistel kõige tugevamad positiivsed seosed olid ämblikulistega ($R=0,704$), limustega ($R=0,605$), valgeliiimuklastega ($R=0,619$), tirdilistega ($R=0,669$), vastsetega ($R=0,622$), *Neelus murinus* (Nee_mur) ($R=0,744$) ja *Protaphorura armata* (Pro_arm) ($R=0,669$) liikidega. Säaselised korreleerusid positiivselt ämblikulistega ($R=0,502$), *Stenaphorurella quadrispina* (Ste_qua) liigiga ($R=0,510$) ja suhteliselt nõrgalt, kuid ka positiivselt vihmausside ja *Protaphorura armata* (Pro_arm) liigiga (mõlemate puhul $R=0,497$). Limuste kohta saab öelda, et need organismid lisaks positiivsete seoste harkhännalistega ja limustega, korreleerusid tugevalt tirdilistega, vastsetega (mõlemate puhul $R=0,532$), *Neelus murinus* (Nee_mur) liigiga ($R=0,625$) ja valgeliiimuklastega ($R=0,528$). Viimased omakorda korreleerusid positiivselt paljude selgrootude liikidega, kui ka vastsetega ($R=0,596$), *Metaphorura affinis* (Met_aff) ($R=0,452$), *Folsomia candida* (Fol_can), *Willemia anophthalma* (Wil_ano) (mõlemate puhul $R=0,691$), *Ceratophysella denticulata* (Cer_den), *Neelus murinus* (Nee_mur) (mõlemate puhul $R=0,739$) ja *Lepidocyrtus lanuginosus* (Lep_lan) ($R=0,795$) liikidega. Samuti vastsed olid positiivses seoses ülaltoodud liikidega.

Teiste liikide vahel tugev positiivne korrelatsioon oli *Ceratophysella denticulata* (Cer_den) ja *Lepidocyrtus lanuginosus* (Lep_lan) liikidel ($R=0,883$) ning ka *Lepidocyrtus lanuginosus* (Lep_lan) ja *Neelus murinus* (Nee_mur) liikide vahel ($R=0,854$).



Joonis 4. Narva ja Aidu karjääride keskkonnatingimuste kanooniline vastavusanaliüs (CCA). I ja II telg on kaetud vastavalt 45,3% ja 5,2%. Kanooniline koguväärtus on 0,467
 pH – happelisus, KA – kuivaine sisaldus (%), K – kaaliumi sisaldus (mg/kg), P – fosfori sisaldus (mg/kg), OA – orgaanilise aine sisaldus (%), N – lämmastiku sisaldus (%).
 hingamine – mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel, SIR – mikroobide substraadi poolt indutseeritud hingamine. Materjali kaal – variseproovi kaal. Materjal – varis.

Arutelu

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida rekultiveeritud Narva ja Aidu karjäärade variseproovide koostist ja hulka ning analüüsida nende karjäärade variseproovide mullaelustiku arvukust ja mitmekesisust sõltuvalt varise koostisest, hulgast ning rekultiveerimise ajast.

Tulemustest on näha, et mullaelustikukoosluste mitmekesisuse, arvukuse ja aktiivsuse määravad mulla happesus; niiskusesisaldus; orgaanilise aine sisaldus; mulla pH tase; Ca, Ka, P ja Na sisaldus, substraadi kättesaadavus ja kvaliteet, ja muud teised parameetrid ja tingimused (Joonis 2, Joonis 3, Joonis 4). Paljud mullaorganismid korreleerusid positiivselt ülaltoodud parameetritega, kuid mõned ka negatiivselt.

Väga raske on teha järeldusi konkreetsete mullaorganismide ja mullatekke efektiivsuse ning kiiruse kohta, kuna nendele mõjuvad väga paljud erinevad tegurid. Enamik tegureid muutub kogu aeg, seetõttu on oluline arvestada üht või teist tegurit mitte ainult teatud hetkel, vaid kogu aasta või mitu aastate jooksul. See võimaldab paremini teada mulla toimuvate muutuste kohta. Siiski võib välja tuua mõned selgemad mõjud mullaelustiku ja biomassi aktiivsuse kohta. Ning ka võib kindlalt öelda, et kõik mullaelustik on tihedalt seostud mullas toimuvate protsessidega.

Töö tulemused näitavad, et mulla niiskusesisaldus Narva ja Aidu karjäärides varieerus sõltuvalt aastaajast. Septembrikuu proovide madala niiskusesisaldus võib olla tingitud sademetevaesest perioodist. Teatavasti väga kõrge või madal mulla niiskussisaldus võib limiteerida mullahingamist (Kukumägi jt, 2011).

Käesoleva töö tulemused näitavad, et kõige rohkem oli mullaelustikku Narva 3 ja Narva 4 proovialade kogutud materjalis, mis koosnes lehtedest ja okastest. Need alad on olnud rekultiveerituna kauemat aega ja praegu kasvab seal kase- ja männimets. Proovide niiskus antud aladel varieerub vahemikus 5,5%...22,2% (vaata lisa 4).

Mullaelustik oli väiksemaarvuline Aidu 4 transekti materjali proovides, mis oli rekultiveeritud 1982.a. Hetkel seal kasvab suur mets katvusega 95%. Kogutud materjal koosneb lehtedest ja heinast, aga proovide niiskus varieerus vahemikus 7,6%...11,5%.

Oluliselt vähem oli mullaorganisme Narva 1 prooviala kogutud materjalis, kus kasvavad väikest kasvu kased, pajud ja muud taimestik. Peamiseks kogutud materjaliks olid lehed, hein ja muld, ning niiskussisaldus oli vahemikus 6,9%...14%. Väga vähe mullaelustiku oli leitud Narva 2, Aidu 1, Aidu 2 ja Aidu 3 proovialadel. Nende transektide kogutud materjaliks olid hein, okkad ja (natuke) lehed. Rekultiveerimise tööd Narva 2, Aidu 1 ja Aidu 2 transektidel toimusid veidi hiljem, kui teistel aladel - 1998- 2003.aastatel. Erandiks on Aidu 3 transekt, kus taastustööd toimusid 1988.aastal. Hetkel Aidu 3 transektil kasvavad tihedad kased, pajud ja männid, aga proovide niiskus varieerus vahemikus 4,6%...12,5%.

Mullaelustik paistab silma mulla selgrootute külluse ja mitmekülgusega sõltuvalt elamistingimustest (Kuu, 2008). Mullaorganismide kogus on tihedalt seotud mulla orgaanilise aine sisaldusega ja nende väike kogus, näiteks, Aidu 3 maa-ala proovides võib olla tingitud suure koguse heina sisaldusega, mis annab väikese koguse orgaanilist ainet. Prooviala mulla materjal on väga erinev aga mullaorganismid on tavaliselt jaotatud väikeste gruppidega kogu suurel alal, seetõttu antud juhul ei saa järeldada, et mullaelustik ei eksisteeri kogu Aidu 3 territooriumil.

Teadu on, et mida suurem on mullas orgaanilise aine hulk ja mida kvaliteetsem on muld, seda suurem on mikroobikoosluse biomass. Samuti erinevate uurimisalade keskkonnategurite ja hooghännaliste liikide omavaheliste seoste analüüsil selgus, et olulist rolli hooghännaliste koosluse iseloomustamisel omavad mullatüüp ja mulla mikroobide biomassi hingamine (SIR) (Eesti maaelu arengukava 2007-2013 II telje püsihindamine).

Analüüsi abil selgus, et enamasti oli variseproovides lestalised, valgeliimuklased ja hooghännalistest *Parisotoma notabilis*. Kuna mullalestad ja valgeliimuklased elavad laguneva orgaanilise materjali sees ja nad on olulised aineringetes ja energiavoos (Kuu, 2012), võib kindlalt öelda, et proovialadel, kus nende organismide arv on suur, lagunemisprotsess on piisavalt kiire.

Valgeliimuklased on sisemise ja välise maapinnaga kontaktis ja need on väga tundlikud keskkonna indikaatorid (Ratsep, 1991). Valgeliimuklaste arvukus on rekultiveeritud aladel suurem, kuna need on liigid, kes asustavad esimesena jäätmaid ja mida ekstreemsemad on keskkonnatingimused, seda suurem on valgeliimuklaste arvukus. Teada on, et valgeliimuklased on organismid, keda kasutatakse bioindikaatorina just stressipiirkondade

analüüsimiseks, et kui keskkonnatingimused lähevad sobilikumaks, siis nende arvukus hakkab vähenema ja asendub teiste liikidega (Kuu, suulised andmed). Samuti on mardikalised *Coleoptera* tähtsad, kuna mängivad bioloogilise kontrolli agendi rolli (Melnychuk jt, 2003).

Hooghännalised- *Collembola* klassi on keeruline kasutada indikaatoritena, kuna on identifitseerimiseks üsna keerulised, samuti võivad olla seotud teatud taimeliikidega (Babenko, 2013). Hooghännalisi on väga palju liike ja igaüks neist näitab erineva tasemega tolerantsust erinevatesse keskkonna faktoritesse, sellistesse nagu mulla struktuur ja selle tüüp, mikrofloora olemasolu, niiskus jne (Kuu, 2008). Kuid hooghännaliste liikide valik ja põhirühmade arvukuse suhe on iseloomulikud igale mullatüübile ning järsud muutused keskkonnas tekitavad üsna kiire reaktsiooni, mistõttu on need mugavad indikatsioonitöödel liikide kompleksi tasemel (Babenko, 2013).

Kui analüüsida proovialade muldade parameetrid ja organismide arvukust, ei ilmne selgeid seoseid. Võib eeldada, et mullaorganismide keskmise arvukuse erinevus Narva ja Aidu proovialadel on tingitud mulla maapealsest koostisest, mulla niiskusesisaldusest ning hingamisest. Kõik mulla parameetrid muutuvad sõltuvalt aastaajast ja teistest erinevatest teguritest.

Mulla parameetrite pidevalt muutus põhjustab organismide migratsiooni. Näiteks võib tuua mulla niiskusesisalduse- liigimärgades muldades liigub mullaelustik sügavamatesse mullakihtidesse, kuivades muldades vastupidi (Ivask, 1996). Seetõttu erinevatel aegadel samas kohas mullad sisaldavad mullaelustiku erinevas koguses. Peale selle, mulla orgaaniline aine, K, Na ja Ca sisaldused näitavad muutuse tendentsi.

Põhjalikumaks analüüsiks oleks soovitatav teha lisauurimistööd. Väga oluline tegur, mis mõjutab mullaorganismide arvukust ja migratsioonist on mulla temperatuur. See mõjutab otseselt mullastruktuuri, orgaanilise aine kiirust, taimede kasvu, niiskusesisaldust, mullahingamist jne. Mullahingamine suureneb koos temperatuuri tõusuga (Kukumägi jt, 2011). See uurimine oleks abiks pikaajaliste muutuste jälgimisel Narva ja Aidu proovialadel. Mullahingamise, mullatemperatuuri ja mullaniiskuse puhul on oluline lisaks ka uurida puistu vanust ja nende koosmõju. Mullahingamine võib sõltuda puistu vanusest, mistõttu on oluline analüüsida metsamajandamise mõju mullahingamisele erineva vanusega puistutes (Kukumägi jt, 2011).

Analüüside põhjal võib teha järgmised põhilised järeldused:

- Aidu ja Narva karjäärade rekultiveeritud alade mullaelustik on väga mitmekesine, kuid ebaühtlane kogu Aidu ja Narva karjäärade territooriumidel. Enamasti oli esindatud lestalised, valgeliimuklased ja hooghännalistest *Parisotoma notabilis*.
- Mullaorganismide mitmekesisust mõjutas varisematerjal ja selle koostis. Kõige rohkem mullaorganisme oli leitud materjalis, mis koosnes lehtedest, okastest ja mullast, kõige vähem heinas.
- Mullaorganismide mitmekesisust mõjutas varisematerjali kaal. Selgus, mida suurem oli varisematerjali kaal, seda suurem oli mullaelustiku isendite summaarne arv.

Kokkuvõte

Karjääride rekultiveerimine on kahtlemata põlevkivitöötuse töödega rikutud alade taastamise efektiivne meetod. Selle meetodi efektiivsusest kõnelevad paljud faktorid, muuhulgas andmed mullasorganismide arvukuse tasemest, mis elutsevad Narva ja Aidu rekultiveeritud karjäärides. Käesoleva magistritöö eesmärkideks oli uurida rekultiveeritud Narva ja Aidu karjääride variseproovide koostist ja hulka ning analüüsida rekultiveeritud Narva ja Aidu karjääride variseproovide mullaelustiku arvukust ja mitmekesisust sõltuvalt varise koostisest ja hulgast.

Mullaselgrootute liigikoosseisu analüüsil märgiti liikide mitmekesisust uuritavatel aladel, samuti domineerivaid ja harvaesinevaid liike. Mullas elutsevad organismid osalevad aktiivselt mullatekkes ja mõjuvad positiivselt mulla struktuurimuutusele. Liikide mitmekesisus tunnistab kõrget orgaanilise aine sisaldusest mullas, millest need organismid toituvad.

Uurimuse tulemus näitas, et mesofauna on parim indikaator, kuna osutab kaasmõju oma ökosüsteemi paljude komponentidega ning on mullatekke ja kiiruse peamiseks näitajaks. See mullaorganismide rühm, erinevalt mikroorganismidest, on palju sõltuvam mulla kui ühtse spetsiifilise looduskeha omaduste kogumist. Seetõttu seos selliste mullaomadustega kui niiskus, pH, orgaanilise aine sisaldus on nende mullaorganismide rühma jaoks selgemalt eristatavad. Samuti selgus, et erinevused elusorganismide jaotuses on seotud mullas- ja ilmastikutingimuste eripäradega.

Kokkuvõttes näitasid uuringud, et Aidu ja Narva karjääride mullal (niiskus, keemiline koostis, taimkatte iseloom) on soodsad tingimused organismide elutegevuseks. Mullaorganismide mitmekesisust mõjutas varisematerjal ja selle koostis. Kõige rohkem mullaorganisme oli leitud materjalis, mis koosnes lehtedest, okastest ja mullast, kõige vähem heinas. Mullaorganismide mitmekesisust mõjutas varisematerjali kaal. Selgus, mida suurem oli varisematerjali kaal, seda suurem oli mullaelustiku isendite summaarne arv.

Kultiveerimise ajast on möödunud palju aastaid ning praegu võib kindlusega rääkida selle efektiivsusest. Käesoleval ajal kasvab Aidu ja Narva karjääride aladel täisväärtuslik mets - keeruline ökosüsteem erinevate puude ja elusorganismide rikkaliku liigilise mitmekülgusega, mis on omavahel tugevalt seotud ja sõltuvad üksteisest oma katkematus arengus.

Summary

The recultivation of quarries is undoubtedly the effective method for recovery of areas damaged by oil shale processing works. The efficiency of this method is supported by many factors, among others the data on the abundance rate of soil organisms living in Narva and Aidu recultivated quarries. The aims of this Master's thesis were to examine the composition and quantity of the litter samples of recultivated Narva and Aidu quarries and analyze the abundance and diversity of soil biota of litter samples of recultivated Narva and Aidu quarries depending on the composition and quantity of litter.

The analysis of species composition of soil invertebrata indicated the diversity of species, also dominant and rare species, on the fields under study. The organisms living in the soil participate actively in the formation of soil and have positive impact on the structural changes of soil. Such diversity of species attests high content of organic substances in soil which provide food for these organisms.

The result of the study indicated that the Mesolithic fauna is the best indicator, as it provides co-impact with several components of its ecosystem and is the main indicator of soil formation and speed. This group of soil organisms, differently from the micro-organisms, is much more dependent on the set of properties of soil as one integral specific natural body. Therefore the relation with such characteristics of soil as humidity, pH, content of organic substance is more clearly differentiable for the group of these soil organisms. It also occurred that differences in the division of live organisms are connected with peculiarities of soil and weather conditions.

To sum up, the studies indicated that the soil of Aidu and Narva quarries (humidity, chemical composition, nature of vegetation) has favourable conditions for living conditions of organisms. The diversity of soil organisms was influenced by litter material and its composition. Most soil organisms were found in the material consisting of leaves, thorns and soil, least in the hay. The diversity of soil organisms was also influenced by the weight of litter material. It occurred that the heavier the weight of litter material, the higher the total number of individuals of soil biota.

Many years have passed from the cultivation period and now its efficiency can be talked about with certainty. Today full-value forest is growing on the areas of Aidu and Narva quarries – complicated ecosystem with abundant species versatility of different trees and living organisms which are strongly connected and depend on each other in their continuous development.

Tänuavaldus

Täna südamest Annely Kuu'd, kes oli minu uurimustöö juhendaja. Tema arvamused, ettepanekud, professionaalne suunamine ja toetus aitasid kaasa magistritöö valmimisele. Olen tänulik ka Narva karjääri mäetööde tehnoloogile Andre Lüüdele, kes leidis oma kiire töö kõrvalt aega, et vastata minu kirjadele ja tutvustada põlevkivikarjääride rekultiveerimist. Keeleliste paranduste eest soovin tänada Svetlana Marjapuu'd.

Täna samuti oma perekonda, kes toetasid mind igal hetkel ning suhtusid mõistvalt minu õpingutesse.

Kasutatud kirjandus

Kasutatud eestikeelne kirjandus:

- Adamson, A.** 2005. Teema 547L: Eesti põlevkiviressursi kasutamissuundade riikliku strateegia aastani 2020 alusuuringud. Etapp 57L.1.1: Põlevkivi kaevandamise tehnoloogilise struktuuri optimeerimine. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 47 lk.
- Astover, A.** 2006. Mullateaduse alused. Eesti Maaülikool. Tartu. 38 lk.
- Etverk, I.** 1980. Metsamajanduse teatmik. Valgus. Tallinn. 376 lk.
- Hallik, M.** 2003. Rekultiveerimisest karjäärides. – Ettekande teesid AS Eesti Põlevkivi keskkonnapäeval mais 2003. a. Jõhvis.
- Ivask, M.** 1996. Vihmausside arvukuse ja biomassi dünaamika kultuurrohumaa mullas. Agraarteadus, VII, 4, lk.375-381, (in Estonian).
- Ivask, M.** 2004. Muld on vaese mehe vihmamets. Intervjuu.
- Ivask, M., Truu, J., Truu, M.** 2000. Maakasutuse mõju mullaelustikule. Kogumikus: Frey, T., (Toim.). Kaasaegse ökoloogia probleemid VIII: Looduslikud ülevaated Eesti Maa Päeval. Tartu. Lk. 49-55.
- Kabral, N.** 2013. Kompleksseire Vilsandil. Eesti Keskkonnauuringute Keskus. Tallinn. 46 lk.
- Karu, H.** 2005. Süsiniku akumulatsioon Narva karjääri männikultuuride aegreas. Magistritöö. Tartu. 62 lk.
- Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L.** 2000. Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused. Akadeemia trükk. Tallinn. 226 lk.
- Kukumägi, M., Kull, O., Uri, V.** 2011. Mullahingamise sesoonne dünaamika kuusikute aegreas. Metsanduslikud uurimused. 17 lk.
- Kuu, A.** 2003. Põllumuldade elustik ja seda mõjutavad tegurid. Magistritöö keskkonnakaitse erialal. EMÜ. Tartu. 84 lk.
- Masing, V.** 1992. Ökoloogialeksikon. Loodusteaduslik oskussõnastik. Eesti entsüklopeediakirjastus. 320 lk.
- Nei, L., Koorits, A.** 2005. Sissejuhatus keskkonnakeemiasse. Tartu Ülikooli Kirjastus. Tartu. 143 lk.
- Peni, P.** 2006. Eesti muldadest põllumehel. Ökoloogiliste Tehnoloogiate Keskus. Tartu. 32 lk.
- Pihelgas, E.** 1983. Metsabioloogia. Õpik. Valgus. Tallinn. 224 lk.
- Reinsalu, E.** 2000. Põlevkivi talutav kaevandamine. Konverentsi ettekannete teesid ja artiklid. Jõhvi. 46 lk.

- Sulp, K.** 2014. Muutused vihmaussikoosluses väetamisest maheviljeluslikus külvikorras. Magistritöö põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise erialal. Tartu. 43 lk.
- Teetlok, K.** 1995. Maavarade kaevandamisega rikutud maade rekultiveerimine ja maavarade kaevandamise mõju looduskeskkonnale Eestis. Bakalaureusetöö geograafias. Tartu Ülikool, geograafia instituut. Tartu. 58 lk.
- Tiimusk, L.** 2012. Mullaelustiku arvukus ja mitmekesisus rekultiveeritud Narva ja Aidu põlevkivikarjäärides. Magistritöö. Tartu.
- Valgma, I.** 2006. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Eesti Mäekonverents 2006. Tallinn. 169 lk.
- Valgma, I.** 2008. Killustiku kaevandamine ja kasutamine. TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 103 lk.
- Varb, N., Tambet, Ü.** 2008. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Tehnoloogia ja inimesed. OÜ GeoTrail KS. Tallinna Raamatutrükikoda. Tallinn. 761 lk.
- Viiil, A.** 2011. Põlevkivikarjääride (kaevandatud alade) rekultiveerimine. Valgma, I (Toim.). Kaevandamine ja vesi. Eesti Energia Kaevandused AS, TTÜ Mäeinstituut. Tallinn. 121 lk.
- Vuorisalo, T.** 1993. Keskkonnakaitse ökoloogilised alused. Turku.

Kasutatud ingliskeelne kirjandus:

- Babenko, A.S.** 2013. Soil invertebrates as indicator of territory pollution. National Research Tomsk State University. Tomsk, Russia.
- Behan-Pelletier, V.M.** 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystem and Environmental* 74, p.411-423.
- Bot, A., Benites, J.** 2005. The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production. Rome.
- Coleman, D.C., Crossley, Jr. D.A., Hendrix, P.F.** 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. Second edition. Elsevier Academic Press. 386 p.
- Frouz, J., Prach, K., Pižl, V., Hanel, L., Stary, J., Tajovsky, K., Materna, J., Balik, V., Kalcik, J., Rehoukova, K.** 2007. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European journal of soil biology*. Elsevier Masson SAS.
- Kuu, A.** 2008. Biological diversity of agricultural soils in Estonia. Tallinn. 64 p.
- König, H., Varma, A.** 2006. *Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates*. Soil Biology. Printed in Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006. 483 p.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G.** 2003. *Bioindicators and Biomonitors. Principles, concepts and applications*. Elsevier Science Ltd. 941 p.

Melnychuk, N.A., Olfert, O., Youngs, B., Gillot, C. 2003. Abundance and diversity of Carabidae (Coleoptera) in different farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Elsevier Science B.V., Vol.95. 69-72 p.

Pankhurst, C.E. 1997. Biodiversity of Soil Organisms as an Indicator of Soil Health. In: Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R (eds). *Biological Indicators of Soil Health*. p.297- 324.

Paoletti, M.G., Favretto, M.R., Stinner, B.R., Purrington, F.F., Bater, J.E. 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. *Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam*. p.341-362.

Ratsep, R. 1991. Biological variables for monitoring the effects of pollution in small catchment areas. A literature survey. *Nord*. 62 p.

Schubert, R. 1985. Bioindikation in terrestrischen ökosystemen. Jena.

Kasutatud venekeelne kirjandus:

Бутовский, Р.О. 2010. Почвенные организмы в экосистемах. Фонд «Устойчивое развитие». Москва. 26 l с.

Гиляров, М.С. 1985. Жизнь в почве. Москва: Молодая гвардия. 191 с.

Голов, В.П., Сивоглазов, В.И., Петросова, Р.А., Страут Е.К. 2007. Естествознание и основы экологии. Учебное пособие для средних педагогических учебных заведений. Издательство "Дрофа". Москва. 303 с.

Дылис, Н.В. 1978. Основы биогеоценологии. Издательство Московского университета. 152 с.

Егоров, В.В. 2009. Экологическая химия. Санкт-Петербург. 192 с.

Егорова, С.В. 2009. Рекультивация земель. Курс лекций для студентов, обучающихся по направлению 560700 «Природообустройство». Брянск. 86 с.

Звягинцев, Д.Г. 1987. Почва и микроорганизмы. Издательство МГУ. Москва. 256 с.

Круглов, Ю.В. 1991. Микрофлора почвы и пестициды. Москва ВО "Агропромиздат". 128 с.

Маврищев, В.В. 2007. Основы экологии. 3-е изд., испр. и доп. - Минск: Выш. шк.

Овчинникова, Ю.Ю., Старостенко, Е.В., Штирц, А.Д. 2007. Структура и динамика сообществ коллембол искусственных ценозов г. Донецка // Межвед. сб. науч. работ "Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона". – Донецк: ДонНУ, Вып. 7. – С. 112–120.

Романенко, В.Н. 2013. Почвенная зоология. Учебное пособие. Томск: Томский государственный университет, 196 с.

Сизова, М.Г. 2006. Реферат. Экология животных. Животные как компонент почвенной экосистемы. Ростов на Дону. 35 с.

Тишлер, В. 1971. Сельскохозяйственная экология: перевод с немецкого. Москва: Колос. 455 с.

Чимитова, А.Б. 2010. Население коллембол криоаридных котловин витимского плоскогорья (Забайкалье). Москва. 18 с.

Шатский, Е.Д. 2011. Реферат. Проблемы плодородия и рекультивация земель. Тамбовский Государственный Технический Университет. Тамбов. 17 с.

Kasutatud normatiivaktid:

Maapõueseadus. Riigikogu seadus. 23.11.2004. RT I 2004, 84, 572

Kasutatud arengukavad:

Eesti maaelu arengukava 2007-2013 II telje püsihindamine. Põllumuldade bioloogilise mitmekesisuse uurimine ja sobiva meetodika välja töötamine (Indikaator: *Collembolate* arvukus, liigiline koosseis). TTÜ Tartu Kõlledž, Põllumajandusuuringute Keskus, Mullaseire büroo. 8 lk. (12.12.2014)

Elektroonilise teabeallikad:

Evox Invest OÜ. 2011. karjääris kavandatava kaevandamise sulgemise keskkonnamõju hindamise aruanne.

<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1175185/Aidu+karj%E4%E4ri+sulgemise+keskkonnam%F5ju+hindamise+aruanne.pdf> (27.08.2013)

Kukk, T. 2004. Muld on vaese mehe vihmamets.

http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel839_818.html (06.07.2013)

Kuu, A. 2012. Mullaelustik on väga habras.

<http://www.maaleht.ee/news/maamajandus/maamajandus uudised/mullaelustik-on-va-ga-habras.d?id=64363231> (06.07.2013)

Sepp, M., Pensa, M. 2009. Põlevkivisaaga Narva karjääri maadel.

<http://www.eestiloodus.ee/index.php?artikkel=2815> (06.07.2013)

Tilk, T. 2005. Põlevkivi Eesti Energeetikas. Ainetöö õppeaines Eesti maavarad.
http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/seminar/Tilk_polevkivi_eesti_energeetikas.pdf
(20.07.2013)

Buyantueva, L.B., Zhapova, D.N., Namsaraev B.B. A year dynamics of microbial destruction of leaf litter in forest ecosystems of the suburb of Ulan-Ude.
<http://www.bsu.ru/content/pages2/1069/2010/ByantyevalB.pdf> (25.09.2013)

Soil Biodiversity Portal. 2004. www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/afl/ (25.09.2013)

Suulised andmed:

Lüüde A. Narva karjäär. Mäetööde tehnoloog. 03.04.2014

Kuu A. TTÜ Tartu Kolledž. Vanemteadur/Dotsent. 22.12.2014

Lisa 1

Tabel 1. Liikide nimekiri eesti ja ladina keeles

Nimi	Ladina keeles	Liik ladina keeles	Lühend
Hooghännalised	<i>Collembola sp</i>	<i>Folsomia candida</i>	<i>Fol_can</i>
-	-	<i>Parisotoma notabilis</i>	<i>Par_not</i>
-	-	<i>Metaphorura affinis</i>	<i>Met_aff</i>
-	-	<i>Heteromurus nitidus</i>	<i>Het_nit</i>
-	-	<i>Folsomia candida</i>	<i>Fol_can</i>
-	-	<i>Stenaphorura quadrispina</i>	<i>Ste_qua</i>
-	-	<i>Ceratophysella denticulata</i>	<i>Cer_den</i>
-	-	<i>Willowsia buskii</i>	<i>Wil_bus</i>
-	-	<i>Neelus murinus</i>	<i>Nee_mur</i>
-	-	<i>Willemia anophthalma</i>	<i>Wil_ano</i>
-	-	<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	<i>Lep_lan</i>
-	-	<i>Isotoma viridis</i>	<i>Iso_vir</i>
-	-	<i>Protaphorura armata</i>	<i>Pro_arm</i>
Harkhännalised	<i>Diplura sp</i>	-	-
Ämblikulised	<i>Aranei sp</i>	-	-
Lestälised	<i>Acarina sp</i>	-	-
Sääselised	<i>Nematocera sp</i>	-	-
Limused	<i>Mollusca sp</i>	-	-
Valgeliimuklased	<i>Enchytraeidae sp</i>	-	-
Tirdilised	<i>Cicadinea sp</i>	-	-
Hulkjalgsed	<i>Myriapoda sp</i>	-	-
Vihmauslased	<i>Lumbricidae sp</i>	-	-
Vastsed	<i>Coleoptera sp</i>	-	-

Lisa 2

Tabel 2. Proovialade materjal ja kaal

Koht	Materjal	Kaal
Narva 1.1	Lehed	8,06 gr
Narva 1.2	Hein+lehed	19,90 gr
Narva 1.3	Muld	580,19 gr
Narva 1.4	Muld	1005,62 gr
Narva 2.1	Hein+lehed	25,08 gr
Narva 2.2	Hein+lehed	76,70 gr
Narva 2.3	Okkad+hein	43,90 gr
Narva 2.4	Muld	566,00 gr
Narva 3.1	Lehed+okkad	417,31 gr
Narva 3.2	Lehed	35,69 gr
Narva 3.3	Okkad+lehed	481,62 gr
Narva 3.4	Lehed	395,38 gr
Narva 4.1	Okkad	82,16 gr
Narva 4.2	Okkad	81,77 gr
Narva 4.3	Okkad	191,71 gr
Aidu 1	Hein+lehed	50,54 gr
Aidu 2	Hein	47,29 gr
Aidu 3.1	Hein+lehed	65,32 gr
Aidu 3.2	Okkad+hein	6,96 gr
Aidu 3.3	Okkad+hein	86,87 gr
Aidu 4.1	Hein+lehed	90,97 gr
Aidu 4.2	Hein+lehed	202,40 gr
Aidu 4.3	Hein	88,64 gr

Lisa 3

Tabel 3. Proovialade mikroobikoosluse üldise aktiivsuse keskmised (\pm SE) näitajad ja mikroobide biomassi substraadi poolt indutseeritud hingamine (SIR) (Timusk, 2012)

Parameeter	SIR (mg biomass C/g KA)	Hingamine (mg O ₂ /kg KA*h)
<i>Koht ja aeg</i>	<i>18.07.2011</i>	
Narva 1	0,150	0,854
Narva 2	0,171	2,074
Narva 3	0,430	2,346
Narva 4	0,960	4,192
Prooviala keskmine	0,428±0,188	2,367±0,689
Aidu 1	0,468	0,630
Aidu 2	0,365	2,208
Aidu 3	0,818	4,993
Aidu 4	1,524	10,784
Prooviala keskmine	0,794±0,262	4,655±2,232
Parameeter	SIR (mg biomass C/g KA)	Hingamine (mg O ₂ /kg KA*h)
<i>Koht ja aeg</i>	<i>12.09.2011</i>	
Narva 1	0,215	1,593
Narva 2	0,116	0,699
Narva 3	0,419	2,770
Narva 4	0,353	1,316
Prooviala keskmine	0,276±0,068	1,595±0,434
Aidu 1	0,692	2,043
Aidu 2	0,217	2,613
Aidu 3	0,329	5,391
Aidu 4	1,538	8,987
Prooviala Keskmine	0,694±0,299	4,758±1,587

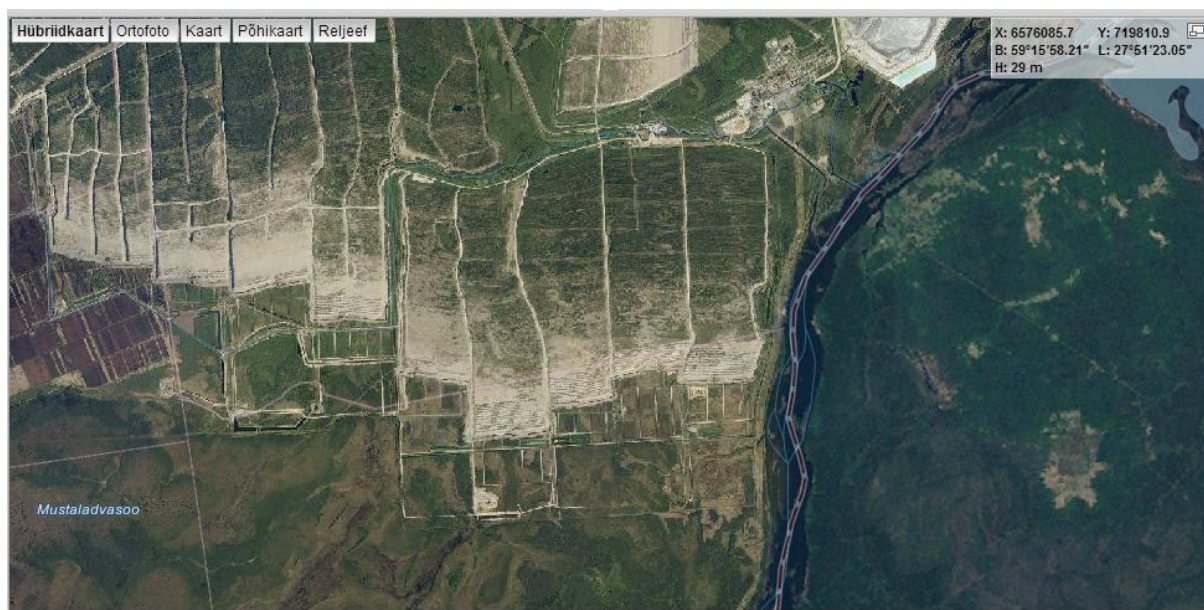
Lisa 4

Tabel 4. Keskkonnaparameetrite keskmised (\pm SE) näitajad proovialade ja transektide lõikes (Timusk, 2012)

Parameeter	Niiskus (%)	pH _{kcl}	N (%)	OA (%)	KA (%)	P mg/kg	K mg/kg
Koht ja aeg	18.07.2011						
Narva 1	14,00	7,75	0,066	3,83	95,76	23,51	88,01
Narva 2	15,20	7,69	0,072	2,95	98,96	38,62	81,93
Narva 3	22,20	7,54	0,120	2,11	94,67	49,73	102,69
Narva 4	17,30	7,47	0,128	3,01	91,18	50,89	151,38
Prooviala keskmine	17,17± 1,80	7,61± 0,06	0,096± 0,010	2,97± 0,35	95,14± 1,60	40,68± 6,35	106,00± 15,74
Aidu 1	9,10	7,60	0,110	10,59	93,81	11,71	41,37
Aidu 2	20,50	7,42	0,149	5,35	89,47	4,14	95,84
Aidu 3	12,50	7,43	0,193	11,29	85,52	16,54	79,03
Aidu 4	11,50	6,97	1,211	38,64	55,85	15,91	104,20
Prooviala keskmine	13,40± 2,47	7,35± 0,13	0,415± 0,260	16,47± 7,50	81,16± 8,60	12,07± 2,85	80,11± 13,93
Parameeter	Niiskus (%)	pH _{kcl}	N (%)	OA (%)	KA (%)	P mg/kg	K mg/kg
Koht ja aeg	12.09.2011						
Narva 1	6,90	7,73	0,090	5,86	88,66	19,58	111,69
Narva 2	5,80	7,91	0,049	1,64	89,92	58,70	71,53
Narva 3	5,50	7,65	0,088	1,70	87,71	39,71	76,92
Narva 4	5,80	7,64	0,064	1,60	90,95	59,21	101,90
Prooviala keskmine	6,00± 0,30	7,73± 0,06	0,073± 0,010	2,70± 1,05	89,31± 0,70	44,3± 9,40	90,51± 9,67
Aidu 1	2,40	7,73	0,100	11,98	87,79	10,25	37,89
Aidu 2	7,80	7,46	0,144	5,54	87,20	4,00	84,35
Aidu 3	4,60	7,49	0,139	10,67	84,32	13,85	64,50
Aidu 4	7,60	6,91	0,988	31,96	49,12	11,42	74,17
Prooviala keskmine	5,60± 1,29	7,40± 0,17	0,343± 0,210	15,04± 5,80	77,10± 9,36	9,88± 2,09	65,23± 9,97

Lisa 5

Narva karjääri paiknemine



Lisa 6

Aidu karjääri paiknemine



Lisa 7

Mäetöödele eelnev kraavitatud soola



Lisa 8

Tehnilise rekultiveerimise I etapp – sisepuistangute tasandamine draglainiga



Lisa 9

Metsa istutamine Narva karjääris

