



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tartu Kolledž

Keskkonnakaitse õppetool

**MAAVILJELUSVIISI MÕJU MULLAELUSTIKU
ARVUKUSELE JA MITMEKESISUSELE**

Magistritöö tööstusökoloogia erialal

Ellen Hiie

Juhendaja: Prof. Mari Ivask

Kaasjuhendaja: Priit Penu,

Põllumajandusuuringute Keskus

Tartu 2016

Autorideklaratsioon

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

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

.....

Kuupäev

.....

Allkiri

Sisukord

SISSEJUHATUS	4
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1. Muld agroökosüsteemides	6
1.2. Mullaelustiku tähtsus	6
1.3. Mullaelustiku grupid.....	8
1.3.1. Mikroobikooslus	8
1.3.2. Hooghännalised.....	9
1.3.3. Vihmaussid	10
1.4. Mullaelustik bioindikaatorina.....	11
1.5. Mullaharimisviisid.....	12
1.6. Agrotehnoloogia mõju mullaelustikule	14
1.6.1. Mikroobikooslus	14
1.6.2. Hooghännalised.....	15
1.6.3. Vihmaussid	17
1.6.4. Bioloogiline mitmekesisus	19
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	21
2.1. Proovialade valik.....	21
2.2. Mullaparameetrite kogumine.....	21
2.3. Mikroobikoosluse proovide kogumine ja analüüs.....	22
2.4. Hooghännaliste kogumine ja analüüs.....	23
2.5. Vihmausside kogumine ja analüüs	23
2.6. Liigilise mitmekesisuse arvutamine	24
2.7. Andmetöötlus.....	25
2.8. Erinevate mullaelustiku gruppide kokkuvõttev hindamine	25
3. TULEMUSED.....	26
3.1. Muldade agrokeemilise analüüsi tulemused.....	26
3.2. Muldade mikrobioloogilise analüüsi tulemused.....	28
3.4. Hooghännaliste arvukus ja liigiline koosseis.....	30
4. ARUTELU	51
KOKKUVÕTE.....	57
SUMMARY	58
Tänuõnad	59
Kasutatud kirjandus.....	60

SISSEJUHATUS

Põllumajanduses on muld tähtsaim taimekasvatuse tootmisvahend ja selle seisund määrab kasvatatavate kultuuride saagikuse ja kvaliteedi. Muld on ainus tootmisvahend, mis võib õige kasutamise korral paremaks (st. viljakamaks) muutuda. Biomassi saagikus sõltub peamiselt mulla- ja kliimatingimustest ning rakendatavast agrotehnoloogiast. (Astover *et al.*, 2012)

„Mulla kvaliteet on mulla võime funktsioneerida ökosüsteemi ja maakasutusviisi piirides, säilitades bioloogilist produktiivsust, hoida õhu- ja veekeskonna kvaliteeti ning toetada taimede, loomade ja inimeste tervist“ (Ivask ja Kuu, 2011).

Kohalikul tasandil on oluline suuta hinnata, kuidas mõjub agrotehnoloogia mulla tervisele, seega ka viljakusele. Mulla kvaliteedi hindamise indikaatorina kasutatakse mulla füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi omadusi. (Pankhurst *et al.*, 1998)

Tänini on põhirõhk olnud mulla tervise hindamisel pigem füüsikalistel ja keemilistel omadustel, kui bioloogilistel omadustel, mida peetakse raskemini mõõdetavaks, prognoositavaks ja koguseliselt määratavaks. Samas on mullaelustik märksa tundlikum mullas toimuvatele muutustele, kui füüsikalised ja keemilised omadused. Seega võivad andmed mullaelustiku seisundist olla esimesteks „hoiatajateks“ mullas toimuvatest muutustest ja võimaldavad reageerida enne mulla tuntava degradatsiooni teket. (Pankhurst *et al.*, 1998)

Mulla jätkusuutlikku talitlemist tagav (ökoloogiliselt õige) kasutamine on parim viis muldade kaitseks, kuna tagab mulla liigispetsiifilise bioloogilise aktiivsuse hoidmise mullale vastava huumusseisundi kaudu (Kõlli *et al.*, 2005).

Eestis alustas põllumuldade seiret Põllumajandusuuringute Keskus aastal 2001, sealhulgas võeti eesmärgiks uurida ka põllumuldade bioloogilist aktiivsust. 2009. aastal alustas Põllumajandusuuringute Keskus koostöös TTÜ Tartu Kolledžiga vastavalt ENVASSO (*The ENVironmental ASsessment of Soil for mOnitoring*) projekti soovitusel pilootuuringuga hooghännaliste uurimiseks kohalikes muldades. Kuna sellesuunalisi uuringuid Eestis varem tehtud ei olnud, leiti uurimisalad, mis kajastaksid maakasutuse võimalikult erinevaid viise tekitamaks loogiline muldade kasutamise intensiivsuse rida. (Keskkonnaamet, 2010)

Otsekülvi ja minimeeritud harimise ning tavaharimise võrdlev uuring viidi Eestis läbi esmakordselt 2010. aastal.

Käesoleva magistritöö uuringud viidi läbi 2015. aastal ja admed koguti koostöös Mullaseire bürooga. Uuritavateks põldudeks valiti mullauuringute koostööpartnerite andmebaasist kokku kuus põldu (kolm otsekülvi ja kolm künnipõhist) Tartumaalt, Valgamaalt ja Põlvamaalt.

Mullaelustiku uuring viidi läbi kaks korda – kevadel ja sügisel. Põllumuldades uuriti mikroobikooslust ning hooghännaliste ja vihmausside populatsioone.

Eesmärgid:

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli võrrelda künni ja otsekülvi mõju mullaelustikukoosluste arvukusele, struktuurile ja liigilisele mitmekesisusele.

Alameesmärgid:

1. hinnata erineva mullaharimisviisiga põldudel mulla kui agroökosüsteemi jätkusuutlikkust ehk kvaliteeti läbi mullaelustiku parameetrite
2. võrrelda künni ja otsekülvi mõju mullaelustikule erinevatel aastaaegadel (kevad – sügis)
3. koguda andmeid otsekülvipõldude ja küntud põldude mullaelustiku kohta, et täiendada eelnevate mullakaitse programmi uuringute andmebaasi ja võrrelda erinevate aastate tulemusi

Hüpotees:

Uuringu läbiviimise hüpoteesiks on, et otsekülvi tehnoloogia võrreldes künnipõhise tehnoloogiaga loob mullaelustikule soodsamad elamistingimused, suurendab edafoni arvukust ja liigilist mitmekesisust juhul, kui minimeeritakse otsekülvi kaasnevat muldade tihendamist ja kasutatakse taimekaitsevahendite kasutamist vähendavat agrotehnoloogiat.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Muld agroökosüsteemides

Agroökosüsteemide mullad ehk põllumullad on toidutootmise põhivahenditeks ja nende kvaliteet omab otsustavat tähtsust toiduainete piisava koguse ja kvaliteedi saavutamisel.

Mulla kvaliteedi hindamise indikaatorid on:

1. füüsikalised omadused (lõimis, huumuskihi tusedus, lasuvustihedus jne.)
2. keemilised omadused (orgaanilise süsiniku sisaldus, happesus, kaltsiumi-, kaaliumi-, magneesiumi-, fosforisisaldus jne.)
3. bioloogilised omadused (mikroobse biomassi süsiniku sisaldus, mulla hingamine, vihmausside arvukus, mullaelustiku liigiline mitmekesisus jne.) (Astover *et al.*, 2012)

Intensiivse harimisega kaasneb orgaanilise aine kiire mineralisatsioon, erosioon ja mullastruktuuri hävinemise risk, mis on otsekülvi rakendamisel minimeeritud (Rossner *et al.*, 2012). Maaviljeluse intensiivistamine vähendab mullaelustiku toitumisahela kompleksust, samuti mullafauna taksonite keskmist massi. Kõikides Euroopa regioonides on maaviljeluse intensiivistamine vähendanud põllumuldades vihmausside ja hooghännaliste liigilist mitmekesisust. (Tsiafouli *et al.*, 2015)

Mulla degradatsioon võib olla seotud muuhulgas bioloogilise mitmekesisuse vähenemisega mullakihtide läbisegamisel kui ka muldade tihenemisega. Mullakaitsevõteteks on muuhulgas bioloogilise aktiivsuse hoidmine ning hoidumine mulla tihendamisest. (Kõlli, 2004)

1.2. Mullaelustiku tähtsus

„Mullaelustiku tähtsus seisneb selle keskses rollis mulla talitluses ja ökosüsteemi kui terviku toimimises. Mulla bioloogilised omadused väljenduvad mullaelustiku koostises, hulgas ja aktiivsuses.“ (Astover *et al.*, 2012)

Orgaanilise aine lagunemis- ja muundumisprotsessid toimuvad mullafauna vahendusel (Astover *et al.*, 2012), kuna mullaelustik võimaldab vee ja õhu liikumist mullastruktuuris, reguleerib toitainete ringlust ning ehitab mulda (Mc Neely ja Scherr, 2003).

Mullaelustiku ehk edafoni grupid on:

1. mikrofloora ja -fauna (bakterid, seened, algloomad)
2. mesofauna (hooghännalised, valgehiimuklased, ämblikulaadsed)
3. makrofauna (hulkjalgsed, molluskid, vihmaussid)
4. megafauna (mutid) (Coleman *et al.*, 2004)

Mullaelustiku mikro-, meso- ja makrofaunaks jaotamine organismide suuruse järgi kõigub mõnel määral, kuid enamasti jääb samadesse piiridesse nagu Swift *et al.* 1979. aasta käsitluses (Coleman *et al.*, 2004):

1. mikrofauna – umbes üks kuni sada mikromeetrit (näiteks: viburloomad, amööbid, ripsloomad)
2. mesofauna – umbes sada mikromeetrit kuni kaks millimeetrit (näiteks: keriloomad, nematoodid, loimurid, hooghännalised, lestad)
3. makrofauna – alates kahest millimeetrist (näiteks: kakandilised, mardikalised, sipelgalased, vihmaussid, mullaussid)

Mesofauna mõju seisneb taimsete jäänuste peenestamises ja segamises mulla mineraalosaga, mis kiirendab nende lagunemist (van Capelle *et al.*, 2012).

Vihmaussid pakuvad agroökosüsteemide uurijatele suurt huvi seetõttu, et nad on üks tähtsamaid makrofauna gruppe mullas, kes on mullastruktuuri säilitajad ning ökosüsteemi olulised „insenerid“ (van Capelle *et al.*, 2012).

Vihmaussid liigutavad osaliselt lagunenuid taimejäänused maapinnalt ära, seedivad need läbi, tükeldavad ja transpordivad mullakihtidesse. Kui vihmaussid on lagundatava materjali eelnevalt läbi seedinud, toimub ka mikroobne lagunemine tunduvalt kiiremini. Mikroobid on vihmaussidele ka tähtsaks toiduresursiks. (Capowiez *et al.*, 2012)

USA teadlaste katse orgaanilise süsiniku liikumise kohta mullas 2002. aastal näitas, et aneetsiliste vihmaussiliikide olemasolu suurendas sügavamate mullakihtide orgaanilise süsiniku sisaldust. Samas suurem osa vee ja toitainete liikumisest mullas sõltub siiski endogeilistest ja epigeilistest liikidest. (Shuster *et al.*, 2002)

Lisaks töötlevad mullaloomad taimseid jäänuseid biokeemiliselt oma seedetraktis, rikastades neid mikroflooraga. Mullaloomastiku ekskrementid sisaldavad ka taimedele kättesaadavat lämmastikku ja mineraalaineid ning biogeenset kaltsiiti, mis vähendab mulla happesust ja parandab selle struktuuri. Eriti suur osatähtsus neis protsessides on vihmaussidel. Peale

orgaanilise aine lagundamise osaleb mullaelustik ökosüsteemi aineringes ja energiavoos. (Astover *et al.*, 2012)

Määrav tähtsus muundumisprotsessides on mikroorganismidel, kes osalevad mulla aineringe kõikides etappides. Mullaelustiku koosluse määrab üldjoontes mullatüüp. Kultuuristatud muldades on rohkem vihmausse kui lüljalgseid, agroökosüsteemides on ülekaalus fütofaagid. (Astover *et al.*, 2012)

1.3. Mullaelustiku grupid

1.3.1. Mikroobikooslus

Mulla mikroobikooslus koosneb bakteritest, seentest, aktinomütsetidest, vetikatest, algloomadest ja viirustest (Coleman *et al.*, 2004; Collins ja Qualset, 1999).

Bakterid ja seened on tähtsaimad toitainete lagundajad mulla aineringluses. Kogu aineringlusest mullas läbib neid kahte gruppi 90-95% toitainetest, liikudes edasi kõrgematele troofilistele tasanditele. Seega võib pidada nende funktsioneerimise aktiivsust mulla kvaliteedi üheks tähtsaimaks näitajaks. (Collins ja Qualset, 1999) Mikroorganismidel on peamine roll ka erinevate saasteainete degradatsioonis (herbitsiidid, pestitsiidid, fenoolid jne.) (Truu *et al.*, 2007). Mulla mikrofloora absorbeerub mullaosakestele ja toimib seni, kuni jätkub talitlemise aluseks olevat materjali ehk toitu ja püsivad eluks vajalikud keskkonnatingimused (Astover *et al.*, 2012).

Mikroobikoosluse funktsioonideks mullas on:

1. taimejäänuste lagundamine ja toitainete vabastamine nendest
2. mullahuumuse moodustamine läbi taimse materjali lagundamise ja uute koostisainete moodustamise
3. taimedele toitainete omastatavaks muutmine lahustumatutest anorgaanilistest vormidest
4. taimedele toitainete kättesaadavuse parandamine läbi sümbioosi seente ja taimejuurte vahel (mükoriisa)
5. õhu lämmastikdioksiidi (NO_2) muundamine taimedele kättesaadavasse vormi (NO_3^-)
6. mulla koostise, õhustatuse ja vee sidumisvõime parandamine mullas
7. „bioloogiline kontroll“, s.o. kahjurputukate, taimehaiguste ja umbrohu levimist pidurdav toime (Collins ja Qualset, 1999)
8. toksiliste jääkide mõju vähendamine (Sparling, 1998)

1.3.2. Hooghännalised

Hooghännalised ehk Collembola (*spring-tails* – ing.k.) on üks arvukamaid ja mitmekesisemaid lüljalgsete gruppe mullas. Hooghännalised on väikesed ja harva üle mõne millimeetri pikad selgrootud, kelle taksonoomia ja liigid on hästi kirjeldatud Gisini (1960) ja Maynardi (1951) poolt. (Wallwork, 1970)

Hooghännalised (Collembola) kuuluvad Lüljalgsete (Arthropoda) hõimkonda Siselõugsete (Entognatha) klassi. Mullas esineb Collembola klassist liike kahest seltsist ja nendesse kuuluvatest järgmitest sugukondadest:

1. Selts Poduromorpha:

- Hypogastruridae (tavalised ja arvukad muldades)
- Onychiuridae (risosfääris elavad, head seenhaiguste piirajad)
- Poduridae;

2. Selts Entomobryomorpha:

- Entomobryidae (pinnalähedases mullakihis)
- Isotomidae
- Sminthuridae (maapinnal multšikihis) (Coleman *et al.*, 2004)

Hooghännalised on tiivutud putukad, kes tegutsevad sapro-, müko- ja/või fütöfaagidena (Ivask ja Kuu, 2011), toitudes mikrofloorast ja/või taimejäänustest (Brennan *et al.*, 2005). Hooghännalised omavad mõju mikrofloora koosseisule ja aktiivsusele (Collins ja Qualset, 1999), olles seega agroökosüsteemides äärmiselt olulised, sest piiravad bakterite ja seente arvukuse kontrollimise läbi ka taimede patogeene (van Capelle, 2012). Samuti on nad oluliseks toiduressursiks polüfaagilistele röövliikidele (Brennan *et al.*, 2005). Mesofauna, kuhu kuuluvad ka hooghännalised, elab mullapinnal, mullapoorides, õõnsustes ja uuretes (Collins ja Qualset, 1999).

Hooghännaliste arvukus kõigub tavaliselt sajast mõne tuhande isendini ruutmeetri kohta. Hooghännalised on mullas väga arvukad ka liikide hulga poolest. Eestis on teada 87 hooghännaliste liiki, kuid neid arvatakse olevat Luigi (2003) andmetel kuni 180 liiki (Ivask ja Kuu, 2011).

1.3.3. Vihmaussid

Vihmaussid on suured mulla orgaanilise aine (MOA) lagundajad – nad võivad seedetraktist läbi lasta umbes 25-40 tonni mulda hektari kohta aastas.

Eestis esineb 13 vihmausside liiki. Vihmausside arvukus ühel ruutmeetril on madalaim haritavates muldades (0...100 isendit), kõrgem rohumaade ja metsade muldades (200...400 isendit). Eriti halbades või eriti soodsates tingimustes on need arvud palju madalamad või palju kõrgemad. (Ivask, 2005)

Vihmaussid kuuluvad Rõngusside (Annelida) hõimkonda, Väheharjasusside (Oligochaeta) klassi Vihmausslaste (Lumbricidae) sugukonda (Coleman *et al.*, 2004).

Erinevate ökoloogiliste tingimuste hindamisel klassifitseeritakse vihmausse peamiselt eluviisi ja elamise sügavuse, urgude kaevamise võime ja toitumisviisi järgi järmselt:

1. epigeilised: on aktiivsed mulla pinnal ja kõdukihis ning enamasti mulla sisse ei kaevu ja toiduks on taimejäänused

tume vihmauss *Lumbricus castaneus*, punane vihmauss *Lumbricus rubellus*

2. aneetsilised: on suured, sügavale urge kaevavad liigid, tavaliselt tulevad mullapinnale, kui muld on niiske ja rohkem öösiti

harilik vihmauss *Lumbricus terrestris*, suur mullauss *Aporrectodea longa*

3. endogeilised: elavad mullapinna lähedal orgaanilise aine läheduses ning moodustavad enamasti horisontaalseid kaevekäike, aga ka vertikaalseid käike; (Paoletti, 1999) kobestavad ja õhustavad mulda ning soodustavad mullamikroobide paljunemist (Ivask 2005)

harilik mullauss *Aporrectodea caliginosa*, roosa mullauss *Aporrectodea rosea*

Kõige vähem annavad järglasi (3-8 aastas) aneetsilised liigid, seega väheneb nende arvukus häritud keskkonnas kõige kiiremini. Paljudest intensiivse maaviljelusviisiga agroökosüsteemidest on aneetsilised liigid täiesti kadunud. (Paoletti, 1999)

1.4. Mullaelustik bioindikaatorina

Mikroobide rolliks on mullas toimuvate protsesside vahendamine ja nende suur osakaal aineringes on põhjuseks pidada seda osa mullaelustikust mullas toimuvate muutuste varajaseks ja tundlikuks indikaatoriks. Mulla mikroobide massil on tihe positiivne korrelatsioon mulla orgaanilise süsiniku sisaldusega ja on seetõttu heaks mulla tervise näitajaks, sest mikroobide kiire elutsükli tõttu on muutused palju kiiremad, kui mulla üldsüsiniku sisalduse muutused. (Sparling, 1998)

Üks enimlevinud mulla aineringluse aktiivsuse näitajaid on mulla mikroobne hingamine (Truu *et al.*, 2007).

Hooghännaliste populatsioon koosneb väga erinevatest liikidest ja selle seosed mulla seisundiga on komplitseeritud. Nii reageerivad ühele mulla omaduse muutusele (näiteks pH) mõned liigid positiivselt, teised negatiivselt. (van Straalen, 1998)

Hooghännalised on paiksed ja väheliikuvad, seega sobiv takson lüljalgsete hulgas mulla lokaalse seisundi indikaatoriks. Lüljalgsete arvukuse ja liigilise mitmekesisuse uuringud annavad stabiilsemaid tulemusid mitmeaastaste uuringute puhul. Ühekordselt teostatavate uuringute puhul mõjutavad tulemusi tuntavalt fluktuatsioonid arvukuses ühe aasta jooksul tingituna lühiajalistest mõjuritest (soojus, niiskus). Mida rohkem koosluses liike on, seda väiksemad on arvukuse fluktuatsioonid ja seda stabiilsem koguarvukus. (van Straalen, 1998)

Hooghännaliste bioindikaatorina kasutamise eelis seisneb selles, et nad reageerivad otseselt mullaelustiku bioloogilise mitmekesisuse langusele ja on tundlikud maakasutusviisi suhtes (Kuu ja Ivask, 2011).

Hooghännaliste kui bioindikaatorite eelised on nimetatud ka Keskkonnaameti mullaseire aruandes (2010):

1. hooghännaliste mitmekesisuse mõõde on otseselt seotud mulla kogu bioloogilise mitmekesisuse vähenemisega
2. hooghännalised on kõige tähtsamad tegurid mulla orgaanilise aine lagunemisprotsessis, olles levinud agendiks seeneeostele ja bakteritele ning aidates kaasa seente arenemisele lagunemisprotsessi ajal

3. hooghännalised on ühed kõige sagedamini kasutatavaid ökoloogilisi grupe mulla ökoloogilise hindamise läbiviimisel, kuna nad on väga tundlikud muutuste suhtes maakasutuse praktikates
4. osades riikides eksisteerivad andmed, kuna osades seirevõrgustikes neid juba on uuritud
5. on tõendeid, et võib osutada võimalikuks hooghännaliste määramise lihtsustumine, kuna liikide tasandil ja perekondade vahel eksisteerib selge korrelatsioon

Vihmaussikoosluse omaduste põhjal saab teha järeldusi mulla seisundi kohta, kusjuures olulisimateks indikaatoritunnusteks on liikide arv, koosluse ökoloogiline struktuur ja arvukus (Ivask *et al.*, 2007). Vihmaussid on seotud süsiniku ja lämmastiku ringega, mille funktsioonide kõikumisele on vihmausside biomass heaks indikaatoriks (Tsiafouli *et al.*, 2015).

Enamasti on vihmausside biomass ja arvukus väärtuslikuks tööriistaks ökosüsteemi selliste mõjutajate hindamiseks, nagu maaviljelusviis, mulla saastatus, erinevad põllumajanduslikud sisendid, mulla tallamine jne. Bioindikaatorina on vihmaussid hästi kasutatavad, sest on lihtsalt kogutavad, määratavad ja mõõdetavad. (Paoletti, 1999)

Rühm teadlasi (Pankhurst *et al.*) andis 1998 aastal hinnangu, missugused mullaelustiku parameetrid sobivad potentsiaalselt bioindikaatoriteks:

- mikroobide biomass: väga hea sobivus
- mikroobide hingamisaktiivsus: väga hea sobivus
- hooghännaliste arvukus: keskmine sobivus
- hooghännaliste liigiline mitmekesisus: keskmine sobivus
- vihmausside arvukus: keskmine sobivus (Pankhurst *et al.*, 1998)

1.5. Mullaharimisviisid

Mullaharimisviisid jaotatakse mullakihi segamise sügavuse järgi kolmeks põhiviisiks:

1. künd (*conventional tillage* – ing.k.) – mulla pealmise kihi (umbes 20-30 cm) ümberpööramine adraga
2. vähendatud mullaharimine (*conservation tillage, reduced tillage* – ing.k.) – mulla pealmist kihti (umbes 5-10 cm) segatakse randaaliga
3. otsekülv (*non-inverting tillage* – ing.k.) – mulda ei segata enne külvi

Teadlikkuse kasvust tulenevalt on tehnoloogia valikul hakatud üha enam tähelepanu pöörama keskkonnasäästlikule majandamisele ja kulude kokkuhoiule. Mullaharimisviiside seoseid keskkonnasäästlikkuse, kulude minimeerimise ja saagikuse suurendamise vahel on uurinud paljud autorid. Eesti Maaviljeluse Instituut korraldas pikaajalise uurimistöö (odra näitel), millest selgus, et mullaharimisviis ei mõjuta saagikust, kuid mõjutab suurel määral kulusid: künnipõhisel mullaharimisel on tootmiskulud hektari kohta ligi kaks korda kõrgemad kui minimeeritud harimisel, kuid saagikus on sama, seega ei ole künnipõhine mullaharimine majanduslikult otstarbekas (Viil ja Tamm, 2011). Samas USA-s tehtud katsetes osutus tavakünni põldude teravilja saagikus oluliselt kõrgemaks, kuna otsekülvi põldudel pole umbrohutõrje sama efektiivne (Doube ja Schmidt, 1998).

Eesti Statistikaameti (2015) andmetel on Eestis kõige enam levinud traditsiooniline ehk künnil põhinev maaharimine (maad haritakse traditsiooniliste meetoditega, st. maad küntakse), sellele järgneb kaitsev maaharimine ehk madalküünd (maad haritakse madalkünniga, kolmandik taimejääkidest jääb mullale) ning kõige väiksema osatähtsusega on kündmiseta maaharimine ehk otsekülv ehk tüükülv (maad koristuse ja külvi vahel ei harita). Ehkki otsekülvitehnoloogia vähendab mullaerosiooni ja tõstab mullaviljakust (Kunz *et al.*, 2013), hariti maaharimisstatistika andmetel (Eesti Statistikaamet, 2015) 2010. aastal 92%-s majapidamistest maad künnipõhiselt, 6% majapidamistest kasutas madalküündi ja 2% kasutas otsekülvi. Otsekülvitehnoloogia suurim väljakutse on lahendada umbrohutõrje küsimus ilma agrokeemiliste preparaatideta ning leida lahendus kevadisele lämmastiku limiteeritud kättesaadavusele (Kunz *et al.*, 2013).

„Otsekülv on põlluharimismeetod, mis võimaldab maakamarat eraldi adraga pööramata külviks ette valmistada, seeme mulda külvata ja ka väetada. Seda kõike ühe riistaga ja ühe läbisõiduga“ (Alvela, 2015).

Otsekülvisüsteeme hakati arendama Ameerika Ühendriikides 1970-tel aastatel kütusekriisist tingitud vajaduse tõttu kulutada vähem kütust põllutöödele. Kuna küünd on tõhus moodus võidelda umbrohtudega, siis otsekülvi kasutamine tõi enamasti kaasa suurema herbitsiidide kasutuse. 1980-tel hakati Brasiilias arendama säästlikumaid otsekülvitehnoloogiaid, kus umbrohutõrjeks hakati kasutama viljavaheldust ja pinnakattekuultuure (allakülvi). Nii saavutati Parana osariigis tulemus, kus otsekülvi põldudel oli teravilja saagikus 13-34% kõrgem, kui küntud põldudel ja mulla erosiooni suudeti alandada kuini 90%. (McNeely ja Scherr, 2003)

Eestis moodustab põllumajandus kogu kasvuhoonegaaside emissioonist 6% (Keskkonnaministeerium 2009). Taimikasvatases tarbitud energia pärineb enamasti fossiilsetest kütustest ning energiasendis on kaaluvam osa väetistel ja kütusekulul harimistöodel ja saagi kuivatamisel. Otsekülviga loodetakse saavutada majanduslikku kasu kütuste kokkuhoiult ja vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni. (Rossner *et al.*, 2012)

2010. aastal Eesti teadlaste poolt Eesti-Soome koostööprojekti *Energy Positive Farm* raames läbi viidud uuringu põhjal, mis võrdles otsekülvi ja traditsioonilise künnipõhise harimisega talude energiakasutust ja efektiivsust taimikasvatases, moodustasid harimiskulud energiale kogusisendist minimeeritud harimisviisi puhul 16% ja künnipõhise harimise puhul 19%. Lisaks energeetilisele kokkuhoiule motiveerib talunikke otsekülvi eelistama majanduslik kokkuhoid kütusehinna arvelt (Rossner *et al.*, 2012).

1.6. Agrotehnoloogia mõju mullaelustikule

Kui võrrelda erinevaid mõjureid agroökosüsteemide muldadele, siis leiti, et paljud mõjurid, nagu näiteks pestitsiidid, omavad mõju kindlatele mullaelustiku gruppidele, aga mullaharimissüsteem, nagu näiteks künd, mõjutab komplekselt kogu mullaelustikku (Collins ja Qualset, 1999). Künd segab taimsed jäänused mullaga ühtlaseks kihiks, mis soosib baktereid, algloomi ja bakteritoidulisi nematoode. Otsekülv jätab rikkaliku taimse toidu kihi maapinnale, mis kasvatab seente ja vihmausside arvukust. (McNeely ja Scherr, 2003)

1.6.1. Mikroobikooslus

Agroökosüsteemides mõjutavad mikroobikooslust taimkatte liigilise mitmekesisuse vähenemine, kündmine, ülekarjatamine ja saasteained (taimekaitsevahendid) (Collins ja Qualset, 1999).

Mullatüübil on mikroobide elule palju tugevam mõju kui mullaharimisviisil. Mikroobide biomassi suurendab kõige rohkem kevadine lämmastikväetise andmine, ülejäänud ajal lisandunud lämmastikul nii suurt mõju pole. Mikroobide biomassi suurendab ka liblikõieliste kasvatamine. (Truu *et al.*, 2007)

Truu *et al.* 2007 aastal avaldatud Eesti põllumuldade uuringus saadi näivleetunud (kahkjate) muldade (LP – muld) keskmiseks mikroobseks hingamisaktiivsuseks (SIR) sõltumata

harimisviisist $0,439 \pm 0,139 \text{ mg C / g}^{-1}$ KA. Mulla mikroobne biomass oli korrelatsioonis mulla happesusega. (Truu *et al.*, 2007)

Mikroobikoosluse koostis ja liigiline mitmekesisus erineb märgatavalt otsekülvi ja tavakünniga põldude vahel. Otsekülvi põldudel väheneb mikroobikoosluse aktiivsus drastiliselt sügavuse suurenedes mullas, olles kõige aktiivsem mulla pinnalähedases osas. Küntud põldudel on mikroobikoosluse aktiivsus jaotunud ühtlasemalt kogu künnikihi ulatuses (ca 30 cm). (Collins ja Qualset, 1999) Mikroobide kogumassi märkimisväärset erinevust sõltuvalt mulla-harimisviisist ei ole täheldatud (van Capelle *et al.*, 2012).

Paljudel juhtudel on muutused mulla mikroobide arvukuses ja liigilises koosseisus varajaseks märgiks kas mullaviljakuse paranemisest või siis hoiatus selle halvenemisest (Edesi ja Järvan, 2013).

Mikroobikoosluse hingamisaktiivsusel on leitud positiivne korrelatsioon harimisintensiivsuse vähenemisega. Samas on leitud ka hingamisaktiivsuse suur seotus kasvatatava kultuuriga, mis mõjutab tugevalt tulemusi. Probleemsematel muldadel soovitatakse kasutada vähendatud künniga meetodit pideva otsekülvi asemel. (van Capelle *et al.*, 2012)

1.6.2. Hooghännalised

Mullaharimise viisi mõju hooghännalistele on tihti kaudne ehk toimib läbi teise mõjuri (näiteks herbitsiidide jäägid) (Pankhurst *et al.*, 1998). Mikro- ja mesofauna aktiivsus on sõltuvuses mulla niiskuse- ja õhusisalduse tasakaalust (Collins ja Qualset, 1999).

Enamus mesofaunast elab mulla ülemises 20-sentimeetrises kihis, mis on sarnane kündmise sügavusega. Kündmata mullas on suurim aktiivsus mulla ülemises viie sentimeetri sügavuses kihis (Collins ja Qualset, 1999). House (*et al.*, 1984) eeldab, et kuna mulla ülemises kihis on rohkelt orgaanilist materjali mesofaunale toiduks, siis kündmata mullas on mesofauna liigiline mitmekesisus suurem.

Hooghännaliste arvukusele mõjub maaharimisviis erinevalt, sõltuvalt liigi elupaigast (maa peal, ülemises mullakihis või sügavamal), mis on seletatud mullapooride ehk hooghännaliste elupaikade vähenemisega kündmata jätmisel. (van Capelle *et al.*, 2012)

Künd kahandab hooghännaliste arvukust tugevalt ülemises nelja sentimeetri paksuses kihis, aga samas kasvatab arvukust alumises kihis. Seega mõjutab maaharimisviis hooghännalisi liigiti erinevalt sõltuvalt sellest, kui sügavas kihis liik elab. Enim häiritud on epidaafilised ehk

mullapinnal elavad liigid. Kõige rohkem alandas Taanis 2001. aastal läbi viidud katses külv *Protaphorura armata* populatsiooni. Statistiliselt oli oluline mõju populatsiooni vähenemisele künnil muuhulgas liikidele *Folsomia fimetaria* ja *Isotoma notabilis*. (Petersen, 2001)

Ka Hiinas leiti olevat künnile kõige tundlikumad hooghännalised *Folsomia* perekonnast, samuti *Protaphorura armata* liik (Chang *et al.*, 2012).

Nii küntud kui otsekülvi põldudel on liigiline mitmekesisus kevadel kõrgem kui sügisel. Iirimaa katses 2005. aastal leiti, et liikide arv oluliselt ei erine kahe maaharimisviisi vahel. Ainus liik, kelle arvukusele mõjus positiivselt kündmine, oli *Folsomia candida*. Enamus liike oli kevadel arvukam, samas oli liike, mille arvukus on suurem sügisel (*Isotomiella minor* jt.). Katses leiti hooghännaliste arvukus olevat positiivses korrelatsioonis mulla seente arvukusega. Tehti järeldus, et kuna kündmata mulla mikroorganismidest on ülekaalus seened, siis on see maaharimisviis enamasti soodne hooghännalistele, kes on küll omnivoorid, kuid eelistavad tihti toituda just mikroseentest. Samas kahanes hooghännaliste arvukus sügavuse suurenemisega kündmata põllul. (Brennan *et al.*, 2005)

Väetamise mõju hooghännalistele pole seni täpselt teada. Mineraalväetiste kasutamisel on täheldatud nii positiivset, negatiivset, kui ka neutraalset mõju mesofaunale, pealegi mõjub see erinevatele hooghännaliste liikidele erinevalt sõltuvalt sellest, missugusest orgaanilise aine osast nad toituvad (Collins ja Qualset, 1999). Kõrged mineraalväetise kogused võivad ka kahjustada mesofaunat, olles neile toksilised (Kuu ja Ivask, 2011).

Näiteks Kuu ja Ivaski (2011) uurimus näitas, et fosfori hulk mullas mõjutab tugevalt liigilist koosseisu, kusjuures suur hulk liike on positiivses korrelatsioonis, aga fosforisisalduse suurenemine oli negatiivses korrelatsioonis *Protaphorura armata* ja veel mõne liigi arvukusega.

Samuti pole täheldatud pestitsiidide üheselt negatiivset mõju hooghännaliste populatsioonile. Pestitsiidide mõju suurus sõltub nii hooghännaliste liigist, maaharimisviisist, kui ka pestitsiidide kogusest ja kontsentratsioonist. (Collins ja Qualset, 1999) Otsekülvil võib olla hooghännalistele samuti negatiivne mõju, kui kasutatakse taimekaitsevahendeid, mille jäägid mullas võivad olla hooghännalistele toksilised (Petersen, 2001).

Ka kasvatataval kultuuril on mõju hooghännaliste arvukusele. Hiina teadlaste katse (Chang *et al.*, 2012) riisi- ja sojaoa põldudel näitas, et liblikõielistel on hooghännaliste arvukusele tugev positiivne mõju. Künni kasutamisel langes riisipõllul hooghännaliste arvukus märgatavalt,

samas kui soja põllul kündmine arvukust ei vähendanud. Kui Petersen (2001) märkis ära taimekaitsevahendite võimaliku toksilise mõju hooghännaliste otsekülvi põldudel, siis hiina teadlaste katse (Chang *et al.*, 2012) näitas hooghännaliste arvukuse kasvu herbitsiidide ja mineraalväetiste kasutamisel soja põllul. Sellise mõju põhjuseks arvasid Hiina teadlased olevat taimede kasvu soodustamisest tingitud suurema taimse biomassi (juured ja võrsed) ehk toiduhulga olemasolu hooghännalistele. Riisipõllul sellist mõju ei täheldatud.

1.6.3. Vihmaussid

Mullas ja mullapinnal toimuv põllumajanduslik tegevus avaldab negatiivset või positiivset mõju vihmaussikoosluse arvukusele ja mitmekesisusele, kusjuures enamasti on tegemist mullatemperatuuri, -niiskuse, orgaanilise aine hulga ja kvaliteedi muutuste tagajärjega. Vihmaussikoosluste struktuuri ja mitmekesisuse põhjal saab teha järeldusi inimõhu kohta mullale, olulisteks näitajateks on koosluse arvukus, liigiline mitmekesisus, ökoloogiline ja vanuseline koosseis. Ökoloogiliselt vähenõudlikud ja põllumajandustegevusega hästi kohastunud on harilik ja roosa mullauss ning punane vihmauss, harilik vihmauss ning suur mullauss on tingimuste suhtes nõudlikumad. Aneetsilisi usse kahjustab kündmine püsiurgude lõhkumise läbi. (Ivask *et al.*, 2007)

Maaviljelusviisi mõju sõltub tugevalt konkreetse mulla omadustest. Nimelt mida suurem on mulla liivasisaldus, seda väiksem on maaviljelusviisi mõju mullaelustikule. Samas on vihmausside arvukus negatiivses korrelatsioonis mulla liivasisaldusega. Saksamaal tehtud uuringutes oli liivasemates muldades vihmausside keskmine arvukus ruutmeetri küntud põldudel 50 isendit, mitteküntavatel 80 isendit. Vihmausside arvukus kui ka biomass kasvas oluliselt künni ärajätmisel. Endogeilistele liikidele mõjub hästi künd sellega, et toitained viiakse sügavamale. (van Capelle *et al.*, 2012)

Vihmausside arvukust mõjutab ka põllul kasvatatav kultuur - suviteravilja ja kartuli monokultuurina kasvatamine vähendab vihmausside arvukust, samas liblikõieliste kasvatamine loob neile paremad elutingimused (Ivask *et al.*, 2007). Samuti on paljud herbitsiidid vihmaussidele toksilised: näiteks on kindlaks tehtud, et glüfosaat on tugeva negatiivse mõjuga *Aporrectodea caliginosa*-le isegi nõrgas kontsentratsioonis (Paoletti, 1999).

Põllumajandustegevus, eriti kündmine, on vihmausside populatsioonile tugev limiteeriv tegur (Ivask *et al.*, 2006). Kõige rohkem väheneb iga-aastase künniga mullaelustiku keskmine mass,

kuna isendid on keskmiselt väiksemad selle tõttu, et on palju juveniile ja noorisendeid (Tsiafouli *et al.*, 2015).

Otsekülvi tehnoloogiaga käib kaasas suurem muldade tihenemine kui kündmisega, samas vihmaussid leevendavad käikude kaevamisega mullas otsekülvist põhjustatud mulla tihenemist. Prantsusmaal tehtud katsete tulemustes (Capowiez *et al.*, 2012) avaldati, et mulla tihenemine harimismasinade surve all omas mõju vihmausside populatsioonile esimese kolme kuu jooksul, pärast kolmekuust perioodi suutis vihmausside populatsioon oma arvukuse taastada. Seega on võimalik otsekülvitehnoloogia kasutamisel, kus pakutakse vihmaussidele paremaid toitumis-, elamis- ja paljunemistingimusi, korvata mulla tihenemisest tulenevaid negatiivseid mõjusid. (Capowiez *et al.*, 2012)

Katses oli tallatud katsealal keskmine mullatihedus 0-25cm sügavusel $1,57 \text{ g/cm}^3$, kahe aasta möödudes tallamisest $1,53 \text{ g/cm}^3$ ja oli tingitud vihmausside uute käikude tekkest ja mulla kobestamisest vihmausside elutegevuse käigus. Alates kolmest kuust kuni kahe aastani leiti suurem vihmausside biomass ruutmeetri kohta hoopis tihendatud mullaga proovilappidel võrreldes tihendamata kontroll-lappidega. Seda tingis asjaolu, et tihenenud muld hoiab ka paremini kinni niiskust (kuivab aeglasemalt) ja on vihmaussidele soodne. Ühele liigile, *Aporrectodea caliginosa*-le, ei leitud mulla tihenemisel olevat mingit mõju tema resistentsuse tõttu füüsilisele stressile. Teiste liikide arvukuse vähenemine peale tihendamist on seletatav peamiselt mitte nende füüsilise hävimisega, vaid lihtsalt põgenemisega sobivamatesse elupaikadesse. Samas rekoloniseerivad vihmaussid mulla üllatavalt kiiresti. (Capowiez *et al.*, 2012)

Eesti põllumullas võib kohata kuni kaheksa, ühes põllukoosluses tavaliselt kolm kuni viis erinevat liiki, vihmaussikoosluse arvukus Eestis on keskmiselt 50-150 (varieerub piirides 0-600) isendit ruutmeetril (Ivask *et al.*, 2006).

Eesti põldudel 2003.-2005. aastatel saadud keskmine vihmausside arvukus oli $81,4 \pm 7,6$ isendit ruutmeetril ja varieerus 7 ning 292 isendi vahel ruutmeetril. Keskmine liikide arv oli $3,7 \pm 0,2$ põllu kohta ja varieerus 1-8 liigi vahel. (Ivask *et al.*, 2007)

Leiti, et endogeiiline liik *Aporrectodea caliginosa* ei ole tundlik põllumuldades toimuvatele tingimuste muutustele ja see on ka kõige arvukam liik. Epigeiline liik *Lumbricus rubellus* on suhteliselt tolerantne häiringutele, samas endogeiilistest liikidest rohkem mõjutatav maaharimisviisi poolt. Aneetsilisi liike *Aporrectodea longa* ja *Lumbricus terrestris* leidis aga vähem kui pooltel uuritud põldudest. Kõige vähem esines liiki *Lumbricus castaneus* – kõigest

5% põldudest, sest see liik eelistab võrreldes teistega kõrgemat mullaniiskust. (Ivask *et al.*, 2007)

Seega on ainult häiringutele tolerantsete liikide (*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Lumbricus rubellus*) esinemine põllul näitajaks, et intensiivne harimine ja muud agrokeemilised võtted on põhjustanud mullas vihmaussikooslust limiteerivad ökoloogilised tingimused. Põldudel, mille vihmaussikoosluses on tundlikumaid liike nagu *Lumbricus terrestris* ja *Aporrectodea longa* või ebasoodsatele tingimustele kõige tundlikumat *Lumbricus castaneust*, on paremad ökoloogilised tingimused, mis viitab säästlikumale agrotehnoloogiale. (Ivask *et al.*, 2007) Epigeilistele vihmaussi liikidele mõjub soodsalt otsekülvi puhul mullapinnale jääv paksem taimejäänuste/multši kiht. Samuti kaitseb selline kiht vihmausse paremini kuival perioodil, sest hoiab mullapinnal paremini niiskust. (Paoletti, 1999)

1.6.4. Bioloogiline mitmekesisus

Enamus uuringuid keskendub mullaelustiku üksikutele gruppidele või nende piiratud kogumile, uurides nende arvukust, liigilist mitmekesisust ja rühma struktuuri. Kuid tuleb võtta arvesse, et liigilise mitmekesisuse vähenemine ühe elustiku rühma piires mõjutab läbi toitumisahela teisi grupe. (Tsiafouli *et al.*, 2015) Bioloogiline mitmekesisus on tõenäoliselt maaviljeluse suhtes kõige tundlikum ökosüsteemiteenus (Mc Neely ja Scherr, 2003) ja mullaelustiku biodiversiteedi vähenemine võib viia kõigi ökosüsteemi funktsioonide kahanemiseni (Tsiafouli *et al.*, 2015).

Intensiivne mullaharimine kahjustab mullastruktuurile lisaks ka mullaelustiku liigilist mitmekesisust võrreldes otsekülviga, kus jäävad mullapinnale taimejäänuste kihti ja ülemisse mullalihti paljude mullaorganismide elupaigad, sest neid ei keerata künniga mulla alla (Mc Neely ja Scherr, 2003).

Elustiku koosseisu ja arvukust saab reguleerida orgaanilise aine lisamisega, mulla lupjamisega ja mulla kaitsmisega (minimaalne harimine, optimaalse tüsedusega kõdu- või multšikihi ja pideva taimkatte olemasolu). Substraadi happesuse suurenedes suureneb hooghännaliste osakaal ning väheneb bakterite hulk ja vihmausside aktiivsus. (Astover *et al.*, 2012)

2015. (Tsiafouli *et al.*) aastal tehti mitmest vihmaussi- ja hooghännaliste koosluste mullauuringust kokkuvõtte, kus leiti märkimisväärne vahe liigilises mitmekesisuses igaaastaselt küntavate põldude ja rohumaade vahel. Ekstensiivse harimisega põldude (külvikorras on rohumaad vähemalt kord 5 aasta jooksul ja küntakse mitte rohkem kui kaheaastase vahega)

erinevus intensiivselt haritavatest põldudest varieerus tugevalt sõltuvalt regioonist, ilmastikust ja mullatüübist. Taksonoomiliste rühmade siseselt ei leitud liigilises mitmekesisuses olulist vahet erinevate maaharimisviiside vahel, seda mõjutas pigem regioon. Samas leiti positiivne korrelatsioon vihmausside ja hooghännaliste liigilise mitmekesisuse ja kogu mullaelustiku liigilise mitmekesisuse vahel, mis näitab toitumisahela lülide suurt seotust omavahel. Seega võib künnipõhise maaviljelusega põldudel näha pigem kogu mullaelustiku liigilise mitmekesisuse vähenemist, mis ei pruugi kehtida ühe liigi või liikide rühma kohta. (Tsiafouli *et al.*, 2015)

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Proovialade valik

Proovialad valiti välja Põllumajandusuuringute Keskuse koostööpartnerite andmebaasist selliste põldude hulgast, kus on üks mullatüüp – näivleetunud (kahkjas) muld ehk LP-muld, lõimiseks saviliiv ja on teostatud ka mulla agrokeemilisi uuringuid. Valitud põllud paiknevad Põlvamaal, Valgamaal ja Tartumaal (Tabel 1). Põldude asukohad on toodud ära lisades 5 ja 6. Proovialade valimisel võeti aluseks erinev mullaharimisviis – otsekülv ja künnipõhine harimine ehk tavaharimine. Proovid võeti 2015. aasta maikuu ja septembris võimalikult lühikese aja jooksul, et vältida ilmastiku suuri erinevusi.

Tabel 1. Proovialade iseloomustus

Põld	Tehnoloogia	Kultuur	Proovivõtu aeg		Maakond	Põllumassiivi nr. Kontakt
			Kevad	Sügis		
O10	otsekülv	oder aruheina allakülv	9.05.2015	1.09.2015	Põlvamaa	67843897753 FIE T. Tobreluts
K10	künd	põldhein 3. aasta	9.05.2015	1.09.2015	Põlvamaa	67843848834 Põlva Agro
O3	otsekülv	ristik	11.05.2015	4.09.2005	Valgamaa	62742431066 Joka maa OÜ
K3	künd	suvioder	11.05.2015	4.09.2015	Valgamaa	62742481776 Laatre piim
O6	otsekülv	põlduba	8.05.2015	7.09.2015	Tartumaa	64546285939 Soone farm
K6	künd	suvioder	6.05.2015	7.09.2015	Tartumaa	64646334167 Tartu Agro

2.2. Mullaparameetrite kogumine

Andmed põldude mullastiku agrokeemiliste ja füüsikaliste näitajate kohta võeti Mullakaitse büroo andmebaasist. Põldude O10 ja K10 andmed pärinevad 2015. aastast, ülejäänud põldude omad 2013. aastast.

Mullaniiskus määrati laboris kaalukao meetodil. Proovid kaaluti enne kuivatamist, seejärel kuivatati 72 tunni jooksul temperatuuri juures 105°C ning kaaluti proovid uuesti kaalukao leidmiseks.

2.3. Mikroobikoosluse proovide kogumine ja analüüs

Proovid mikroobikoosluse parameetrite määramiseks koguti mullapuuriga (\varnothing 5 cm) 0-10 cm mullakihist ühe üldproovina põllu kohta. Mikroobikoosluse biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil ja mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel määrati TTÜ Tartu Kolledži laboris.

Mulla mikroobikoosluse biomass hinnati substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR, *substrate induced respiration* - ing.k.) alusel (Öhlinger, 1996). Selle meetodi puhul eeldatakse, et maksimaalne hapniku tarbimine mikroobide poolt glükoosi lisamisel on proportsionaalne mikroobide biomassiga.

Mikroobide biomassi süsiniku sisaldus leiti milligrammides ühe grammi kuivaine kohta (mg biomass C/ g KA) ja arvutati lähtuvalt järgmisest seosest:

$$1 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1} = 28 \text{ mg biomass C g}^{-1}$$

Mikroobikoosluse hingamisaktiivsus (BA, *basal respiration* - ing.k.) määrati OxiTop süsteemiga (WTW, Saksamaa), mis põhineb hingamise manomeetrilisel mõõtmisel CO₂ eraldumise või O₂ neeldumise kaudu ja mille sisuks on suletud süsteemis rõhumuutuste registreerimine. Hapniku manomeetrilise mõõtmise korral toimub samaaegselt hapniku tarbimine ja CO₂ eraldumine organismide poolt. Kui eralduv CO₂ absorbeeritakse (seotakse), siis vastab rõhu langemine ainult hapniku tarbimisele. Mõõtesüsteem on hermeetiliselt suletav, et rõhu muutumist saaks täpselt mõõta (Platen, 1999).

OxiTop süsteemi puhul tarbivad mikroorganismid oma elutegevuseks vajalikku hapnikku hermeetiliselt suletud mõõtanumas olevast õhust. Hapniku hulk väheneb, aga vabaneva süsihappegaasi hulk seotakse absorbendi abil ja rõhu vähenemist fikseeritakse spetsiaalsete tundlike mõõtepeade poolt (Reuschenbach, 2003). OxiTop süsteemi mõõtetäpsus on 1mbar, valitud mõõtmisperioodi jooksul tehakse 360 mõõtmist. OxiTop mõõtmisüsteem ja katsetingimused vastavad rahvusvahelistele standardmeetoditele (Reuschenbach, 2003).

Rõhumuutuse andmetest arvutatakse uuritava süsteemi hapnikutarve milligrammides ühe kilogrammi kuivaine kohta kindla aja jooksul (mg O₂/kg KA*h) valemite 1 ja 2 abil (Platen ja Wirtz, 1999).

Hapnikutarve arvuatati järgmise valemi järgi:

$$BA = \frac{M_R(O_2)}{R \times T} \times \frac{V_{\text{õhk}}}{m_{Bt}} \times \Delta p, \quad (1)$$

BA – hapnikutarve, mg O₂/kg KA (kuivaine)

M_R (O₂) – hapniku molaarmass, 32 000 mg/mol

V_{õhk} – õhu ruumala mõõtmisanumas, liitrites (L)

R – universaalne gaasikonstant, 83,14 L*mbar/mol*K T

– mõõtmistemperatuur, K m_{Bt} – kuivaine mass

mõõtmisüsteemis, kg KA

Δp – rõhu langus mõõtmisüsteemis, mbar (1 mbar = 1 hPa)

Mõõtmisüsteemis oleva õhu ruumala arvutati järgmise valemi järgi:

$$V_{\text{õhk}} = V_{\text{üld}} - V_{\text{pinnas}}, \quad (2)$$

V_{õhk} – õhu ruumala mõõtmisanumas, L

V_{üld} – mõõtmisanuma üldruumala, L

V_{pinnas} – pinnaseproovi ruumala, L

2.4. Hooghännaliste kogumine ja analüüs

Hooghännaliste kogumiseks võeti mullaproovid iga prooviala keskelt, 10 proovi transektina, proovide vahekaugus oli kümme meetrit. Mullaproovid võeti kahelt sügavuselt: 0-5 cm ja 5-10 cm, mullapuuriga (Ø 5 cm). Proovide ekstraheerimisel kasutati Tullgreni lehrtrite süsteemi (Tullgren funnels) (Coleman *et al*, 2004). Mullaproovid asetati 48 tunniks valgustuse alla metallsõela peale ning mullast välja liikunud hooghännalised koguti proovipudelitesse, mis olid täidetud etanooliga. Hooghännalised määrati liigini, kasutades Tšernova (1988) ja Fjellerbergi (1980) määrajaid. Liikide nimekiri koos lühenditega on toodud lisas 1.

Arvukus ja liikide arv arvutati ühe transekti ühelt sügavuselt võetud kümne proovi keskmistena (lisad 2 ja 3).

2.5. Vihmausside kogumine ja analüüs

Vihmaussid koguti põldudel kolmelt uurimisalalt rahvusvaheliselt tunnustatud metoodika järgi (Meyer, 1996; Gunn 1992). Igal põllul valiti kolm prooviala (piki transekti, vahekaugus 3 meetrit), mille pinda (50x50 cm) töödeldi vermifuugiga, milleks oli sinepipulbri 15%-line

lahus. Töötlust korraldati, kõik mullapinnale liikunud isendid koguti. Kogutud vihmaussid loendati, pesti ja pärast 48 tunni jooksul hoidmist külmkapis (väljutavad sooltorus oleva mulla) loendati, kaaluti ning määrati liigini (liikide nimekiri lisas 1), kasutades Graff (1953) ja Timm (1999) määrataid.

Arvukus ja vihmausside biomass arvutati ühe transekti proovilappide keskmisena ühe ruutmeetri mullapinna kohta, samuti arvutati erinevate eluvormide (epi-, endogeiline, aneetsiline) ning dominantliigi (harilik mullauss *Aporrectodea caliginosa*) osatähtsus koosluses.

2.6. Liigilise mitmekesisuse arvutamine

Liigiline mitmekesisus arvutati vihmaussidele iga prooviala keskmisena ja hooghännaliste iga prooviala keskmisena sügavusele 0-5 cm ja sügavusele 5-10 cm. Arvutati Simpson'i mitmekesisuse indeks (D) ja Shannon-Wiener'i indeks (H).

Simpson'i mitmekesisuse indeks mõeldab tõenäosust, et kaks kooslusest juhuslikult valitud isendit kuuluvad erinevatesse liikidesse. Selle arvutamiseks leitakse kõigepealt Simpson'i indeks (Λ), mis mõeldab tõenäosust, et kaks kooslusest juhuslikult valitud isendit kuuluvad samasse liiki, valemi 3 järgi:

$$\Lambda = \sum_{i=1} p_i^2, (3)$$

$i=1$

p_i - i-nda liigi proportsioon

Kui koosluses on 1 liik, siis $\Lambda=1$.

Simpson'i mitmekesisuse indeks arvutatakse valemi 4 järgi:

$$D = 1/\Lambda, (4)$$

Shannon-Wiener'i indeksi väärtus jääb vahemikku ühest kümneni, kusjuures 10 on maksimaalne tulemus. See indeks on seda kõrgem, mida suurem on uuritava ala (proovi) liikide hulk (ja vastupidi), kusjuures mingi liigi tuntav domineerimine teiste liikide üle aga langetab indeksit.

Shannon-Wiener'i indeks arvutatakse valemi 5 järgi:

$$H' = -\sum_{i=1} p_i \ln p_i, (5)$$

$i=1$

p_i - i -nda liigi proportsioon

Indeksi väärtus suureneb koos liikide arvu suurenemisega koosluses.

2.7. Andmetöötlus

Andmete töötlemisel arvutati rühmade keskmised väärtused ning keskmiste aritmeetilised vead (\pm SE), keskmiste võrdlemiseks kasutati programmi STATISTICA 10.0 (Kruskall-Wallise dispersioonanalüüs, Mann-Whitney U-test, Spearmani korrelatsioonanalüüs). Kanooniline vastavusanalüüs tehti programmi CANOCO 4.52 abil.

2.8. Erinevate mullaelustiku gruppide kokkuvõttev hindamine

Eraldi mullaelustiku gruppide tulemusi hinnati Eestis välja töötatud Seirepõldude hindamiskaala (Ivask *et al.*, 2006) alusel (lisa 4). Erinevad mullaelustiku mõõdetud parameetrid said hindamiskaala alusel hinded ühest kolmeni, mille liitmisel saadi proovialade koondhinded mullaelustiku seisundile. Kui prooviala saab punkte alla 18, tuleb koondhinnanguks „halb“, punktid 18-26 annavad hinde „rahuldav“ ja üle 27 punkti annab hinde „hea“.

3. TULEMUSED

3.1. Muldade agrokeemilise analüüsi tulemused

Muldade parameetrid kolmel erineval sügavusel on esitatud Tabelis 2 ning proovikohtade lasuvustihedus, poorsus ja õhuga täidetud pooride osatähtsus on esitatud Tabelis 3.

Analüüsi põhjal võib väita, et erinev mullaharimisviis pole statistiliselt usaldusväärset seotud ühegi mulla agrokeemilise näitajaga. Mulla agrokeemiline koostis on enam seotud mulla tüübi ja -lõimisega: mulla pH ning elementide sisaldused (va. kaalium) on statistiliselt usaldusväärset seotud LP-tüüpi näivleetunud saviliivmuldades suhteliselt nõrgalt.

Tabel 2. Proovialade muldade parameetrid. O10 ja K10 2015.a. andmed; O3, K3, O6 ja K6 2013.a. andmed. Corg – orgaanilise süsiniku sisaldus

Prooviala	Mulla-tüüp	Lõimis	sügavus cm	pH	mg/kg							Corg %
					P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	B	
O10	LP	sl	0-10	4,2	197,3	129,3	440,7	87,3				1,67
			10-20	5,0	175,0	134,3	721,0	76,0				1,30
			20-30	5,6	179,3	136,3	897,7	67,3				1,30
K10	LP	sl	0-10	6,1	110,0	104,7	1399,7	75,3				1,53
			10-20	6,2	115,7	70,3	1568,0	72,7				1,40
			20-30	6,5	108,3	71,0	1455,3	67,0				1,07
O3	LP	sl	0-5	5,1	114,8	200,0	878,8	38,2	0,38	76,0	0,35	1,69
			5-15	5,9	96,8	99,7	1230,8	36,8	0,43	79,8	0,33	1,35
			15-25	6,2	93,2	63,8	1438,3	30,5	0,47	75,7	0,33	1,23
K3	LP, LPg	sl	0-5	5,1	165,8	209,5	726,2	49,0	0,50	52,5	0,24	1,48
			5-15	5,7	145,0	141,3	1047,0	54,8	0,47	47,2	0,28	1,40
			15-25	5,6	186,8	182,8	1004,3	63,7	0,65	52,3	0,34	1,61
O6	LP	sl	0-5	5,9	89,7	510,8	1177,0	163,5	2,80	143,5	1,92	2,01
			5-15	5,8	68,0	209,7	1183,7	152,8	1,88	138,8	0,95	1,69
			15-25	5,7	53,7	77,7	1066,5	123,3	0,87	122,7	0,40	1,22
K6	LP	sl	0-5	5,9	83,8	286,3	1278,8	140,0	0,75	111,2	0,66	1,88
			5-15	5,6	83,7	145,2	1257,3	135,0	0,77	108,0	0,64	1,91
			15-25	5,7	82,7	140,2	1288,7	145,2	0,80	106,5	0,64	1,87

Õhuga täidetud pooride osatähtsus (%) on madalam O10 ja K10 proovialadel, suurimad väärtused esinesid O3 ja K3 proovialadel (Tabel 3).

Antud proovialadel on lasuvustihedus sarnane otsekülviga ja küntud põldudel (paiguti otsekülvi puhul isegi madalam), seega siin töös ei arvestatud muldade tihenemist, mida on mujal sageli täheldatud otsekülvi rakendamisel olulise mullaelustikku mõjutava tegurina.

Tabel 3. Proovialade muldade lasuvustiheduse, pooride ja õhuga täidetud pooride osatähtsuse näitajad. O10 ja K10 2015.a. andmed; O3, K3, O6 ja K6 2013.a. andmed

Prooviala	Kihi sügavus cm	Lasuvustihedus g/cm ³	Poorsus %	Õhuga täidetud pooride osatähtsus %
O10	0-5	1,55	39,9	7,2
	5-15	1,5	42,3	10,1
	15-25	1,49	42,7	10,7
K10	0-5	1,44	44,4	11,4
	5-15	1,48	43,1	10,3
	15-25	1,48	43,5	11,7
O3	0-10	1,15	55,3	27,7
	10-20	1,37	47	19,2
	20-30	1,35	48,3	22,1
K3	0-10	1,24	52,5	27,2
	10-20	1,33	49,2	23,2
	20-30	1,41	45,8	18,4
O6	0-10	1,28	50,1	16,04
	10-20	1,44	44,32	14,43
	20-30	1,44	44,83	15,93
K6	0-10	1,29	49,73	18,38
	10-20	1,32	48,61	16,26
	20-30	1,35	47,53	14,27

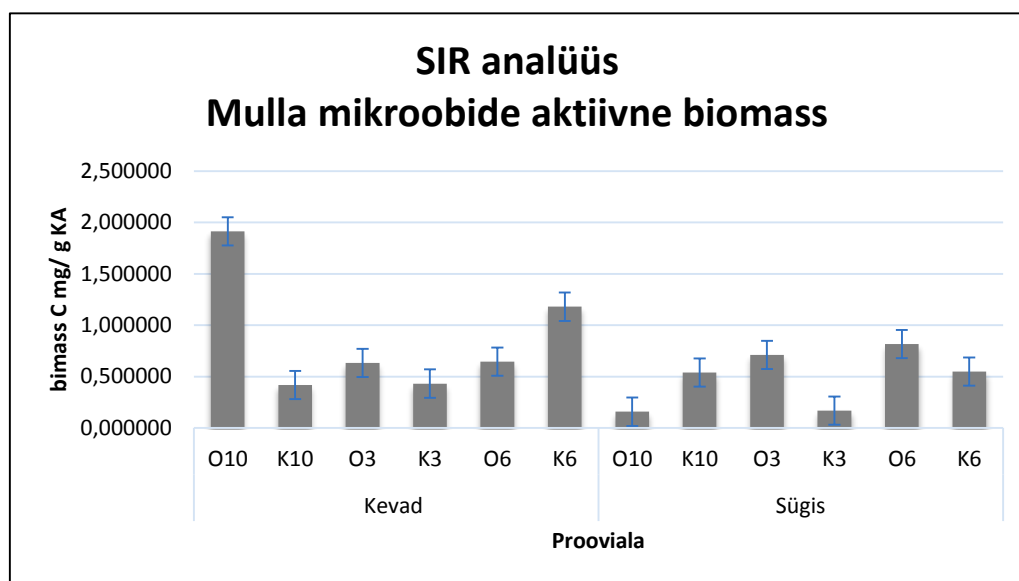
Mullaproovide keskmine niiskusesisaldus on esitatud Tabelis 4. Kõrgem niiskusesisaldus oli kevadel O6 põllul (19,3%); kõigi uuritud põldude niiskusesisaldus oli sarnane, välja arvatud põllu K3 väga madal tulemus (10,9%). Sügisel oli niiskusesisaldus madal (ebasoodne vihmaussidele), vaid Tartumaa põldude mullas (O6, K6) oli niiskusesisaldus kõrgem. Tegemist oli 2015. aastal ka väga kuiva augustiga, kui sademete hulk oli alla poole Eesti keskmisest augustikuu sademete hulgast.

Tabel 4. Muldade keskmine niiskusesisaldus protsentides (%) 0-10 cm sügavusel

Prooviala	Kevadine niiskus	Sügisene niiskus
O10	18,7	9,8
K10	18,2	15,3
O3	18,0	16,7
K3	10,9	13,9
O6	19,3	19,8
K6	17,5	19,8
Keskmine	17,1 ± 1,3	15,9 ± 1,6

3.2. Muldade mikrobioloogilise analüüsi tulemused

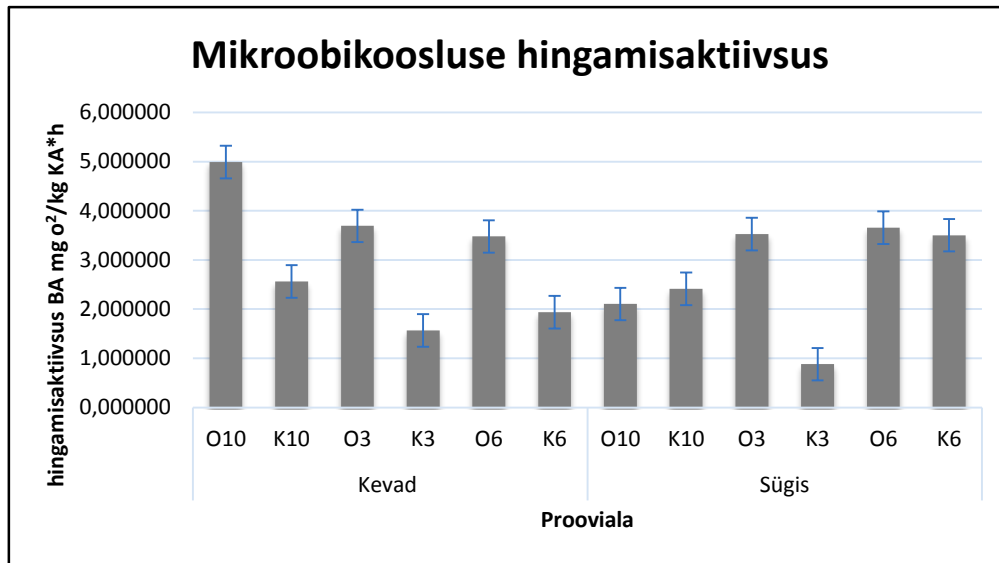
Mullaproovide mikrobioloogiliste analüüside tulemused on esitatud joonistel 1 ja 2, arvnäitajatenas lisas 3. Mikroobide biomass (joonis 1) on arvatatud süsiniku (C) massina ühe grammi kuivaine kohta (g KA). Kõrgeim mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil (Joonis 1) oli kevadel O10 proovialal (1,912 mg biomass C/g KA) ning sügisel O6 proovialal (0,817mg biomass C/g KA). Madalaimad näitajad olid kevadel K10 proovialal (0,419 mg biomass C/g KA) ja sügisel O10 alal (0,158 mg biomass C/g KA).



Joonis 1. Mulla mikroobide aktiivne biomass mg biomassi C/g KA substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil. C/g KA – süsinikku grammi kuivaine kohta

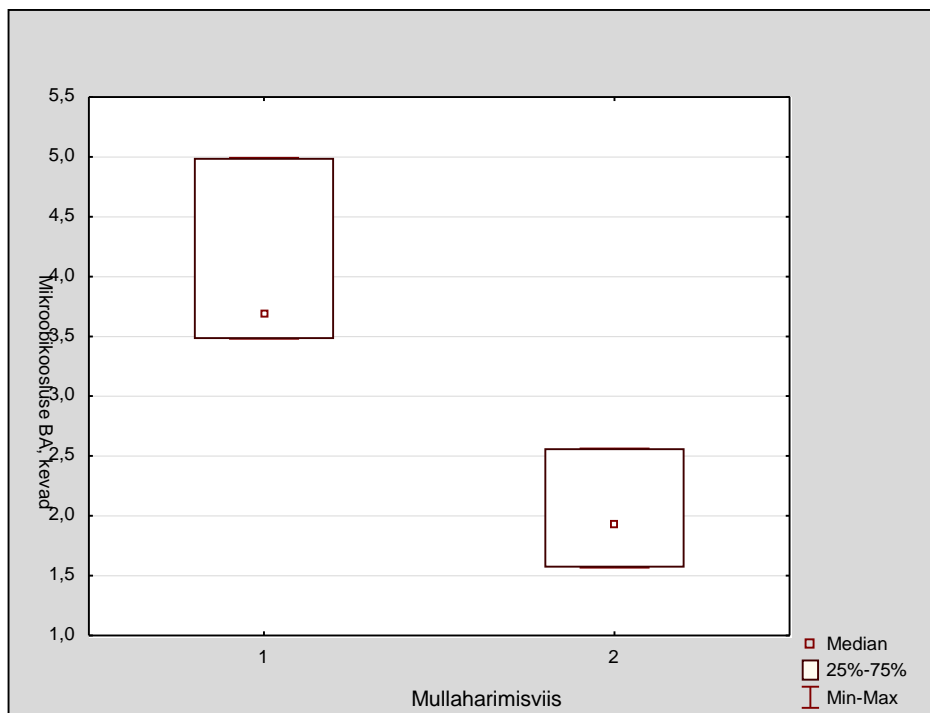
Mikroobikoosluse üldine aktiivsus BA (*basal respiration*) määrati kasutatud hapniku (O₂) massina milligrammides (mg) kilogrammi kuivaine kohta kindla aja kohta (kg KA*h) ja on esitatud joonisel 2.

Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel oli kevadel kõrgeim O10 proovialal (4,991 mg O₂/kg KA*h) ja madalaim K3 proovialal (1,566 mg O₂/kg KA*h). Sügisel oli suurim üldine hingamisaktiivsus O6 proovialal (3,657 mg O₂/kg KA*h) ja väikseim K3 alal (0,881 mg O₂/kg KA*h).



Joonis 2. Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel. BA (basal respiration) – hingamisaktiivsus, kg KA*h – kilogrammi kuivaine kohta kindla aja jooksul

Vastavalt statistilisele analüüsile oli üldine hingamisaktiivsus (BA) olulises negatiivses korrelatsioonis ($R=-0,878310$) mullaharimistehnoloogiaga kevadel (joonis 3). Sügisene hingamisaktiivsus (BA) on negatiivses korrelatsioonis fosforisisaldusega ($R=-0,885714$). Mulla mikroobide biomass oli samuti sügisestes proovides negatiivses korrelatsioonis fosforisisaldusega ($R=-0,942857$).



Joonis 3. Erinevate mullaharimisviisidega põldude mikroobikoosluse keskmine hingamisaktiivsus BA kevadel. 1 – otsekülv, 2 – küünd

3.4. Hooghännaliste arvukus ja liigiline koosseis

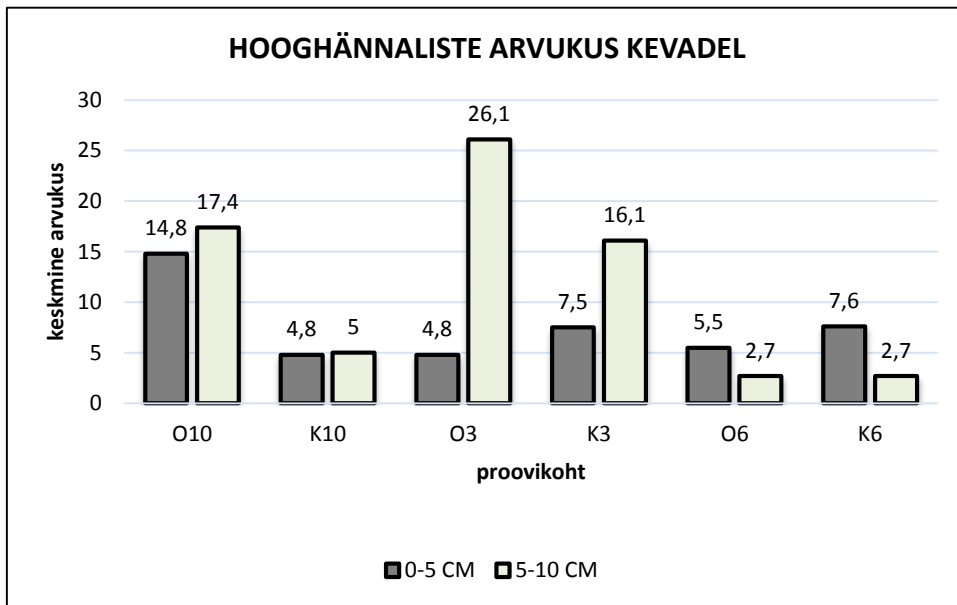
Kokku leiti põldude mullas 20 liiki hooghännalisi (Lisa 1). Tabelis 5 on esitatud proovialade liikide arv kahel erineval sügavusel (0-5 cm ja 5-10 cm). Mullakihis 0-5 sentimeetrit oli liikide arv 4 – 14, mullakihis 5 – 10 sentimeetrit 3 – 12. Põldude keskmine liikide arv oli ülemises mullakihis veidi suurem kui alumises.

Hooghännaliste keskmine arvukus (\pm SE) kahel sügavusel, 0-5 sentimeetrit, 5-10 sentimeetrit ja 0-10 cm kokku on esitatud tabelis 10. Arvukus oli suurem ülemises mullakihis (0-5 cm) sügisel, samas kevadel oli arvukus suurem alumises kihis (5-10 cm). Kevadel oli hooghännaliste suurem arvukus enamasti alumises uurimiskihis, kuid Tartumaa põldudel oli arvukus suurem ülemises kihis, kuna Tartumaa põllud erinevad teistest märgatavalt kõrgema orgaanilise süsiniku sisalduse poolest. Kevadel oli kõige rohkem hooghännalisi O10 põllul, sügisel põllul K6. Kõige vähem oli hooghännalisi kevadel põllu O3 mullas ja sügisel K3 mullas.

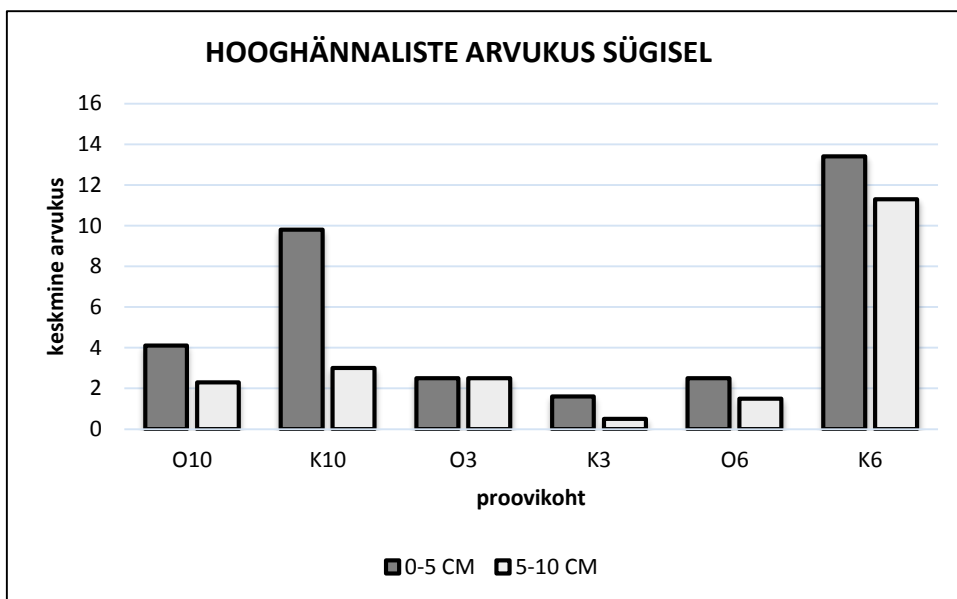
Tabel 5. Hooghännaliste liikide arv ja keskmine arvukus proovis sõltuvalt mullaproovi sügavusest

KEVAD					
prooviala	liikide arv		arvukus proovis		
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 CM	5-10 cm	summa
O10	8	9	14,8	17,4	32,2
K10	8	9	4,8	5,0	9,8
O3	6	10	4,8	26,1	30,9
K3	4	5	7,5	16,1	23,6
O6	13	8	5,5	2,7	8,2
K6	8	6	7,6	2,7	10,3
Keskmine	7,8 ± 1,22	7,8 ± 0,79	7,5 ± 1,55	11,7 ± 3,94	19,2 ± 4,52
SÜGIS					
prooviala	liikide arv		arvukus proovis		
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 CM	5-10 cm	summa
O10	14	5	4,1	6,4	6,4
K10	10	7	9,8	12,8	12,8
O3	6	5	2,5	5,0	5,0
K3	4	3	1,6	2,1	2,1
O6	9	7	2,5	4,0	4,0
K6	9	12	13,4	24,7	24,7
Keskmine	8,7 ± 1,4	6,5 ± 1,3	5,6 ± 2,0	3,5 ± 1,6	9,2 ± 3,4

Hooghännaliste keskmine arvukus kevadel on esitatud samuti joonisel 4 ning sügisene arvukus joonisel 5.

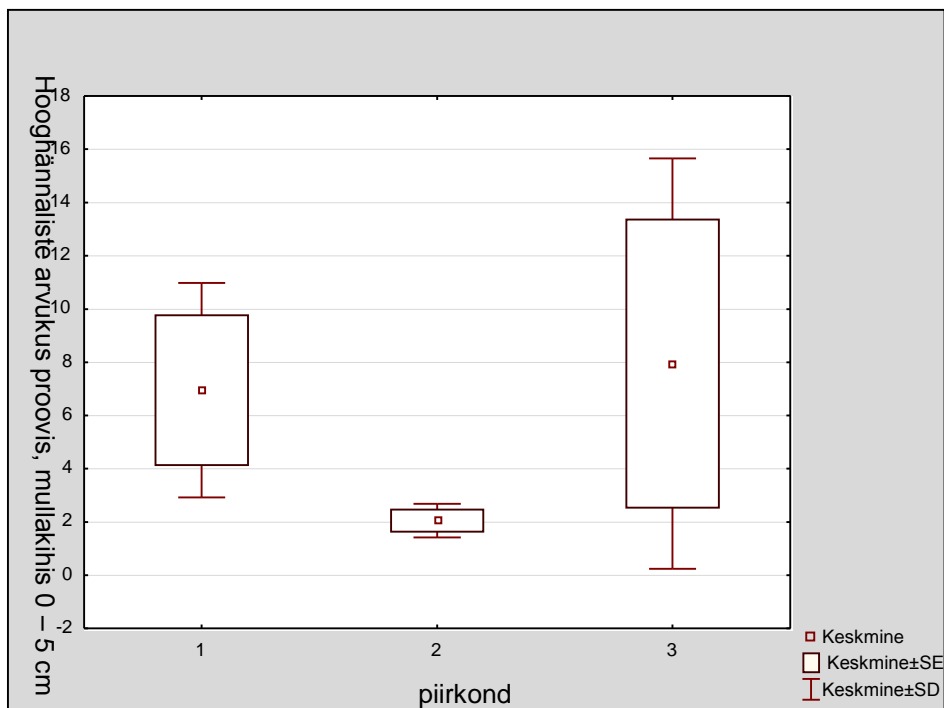


Joonis 4. Hooghännaliste keskmine arvukus kevadel 2015 0-5 cm ja 5-10 cm sügavusel

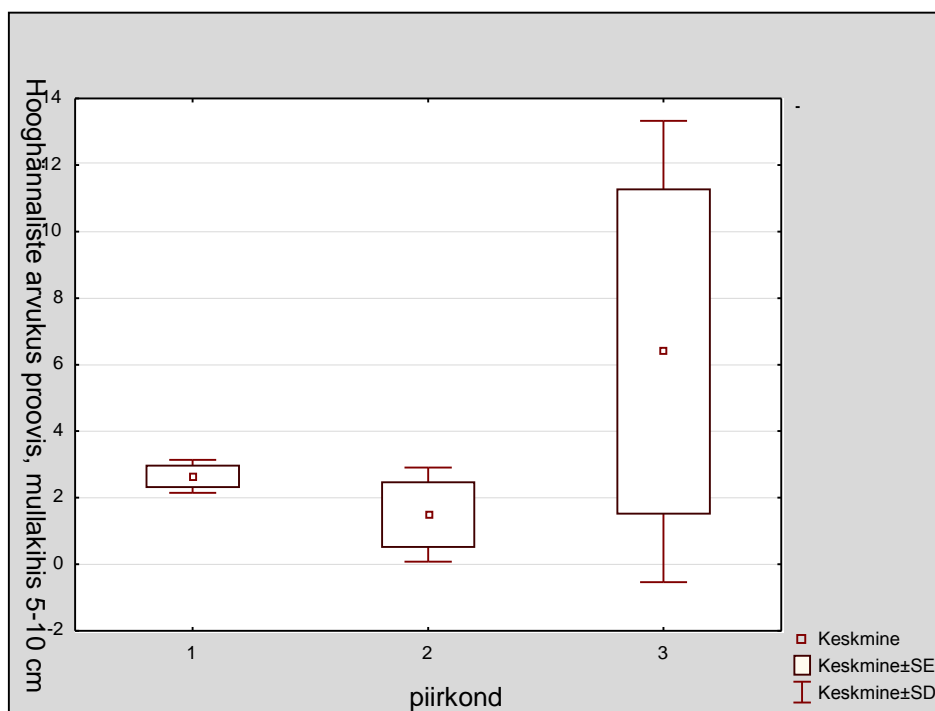


Joonis 5. Hooghännaliste keskmine arvukus sügisel 2015 0-5 cm ja 5-10 cm sügavusel

Hooghännaliste arvukust ja liigirohkust võrreldi erinevate piirkondade põldude vahel. Tartumaa põldudel oli hooghännalisi oluliselt rohkem kui Põlva- ja Valgemaal, ka liikide arv oli Tartumaal suurem (Joonised 6 ja 7).



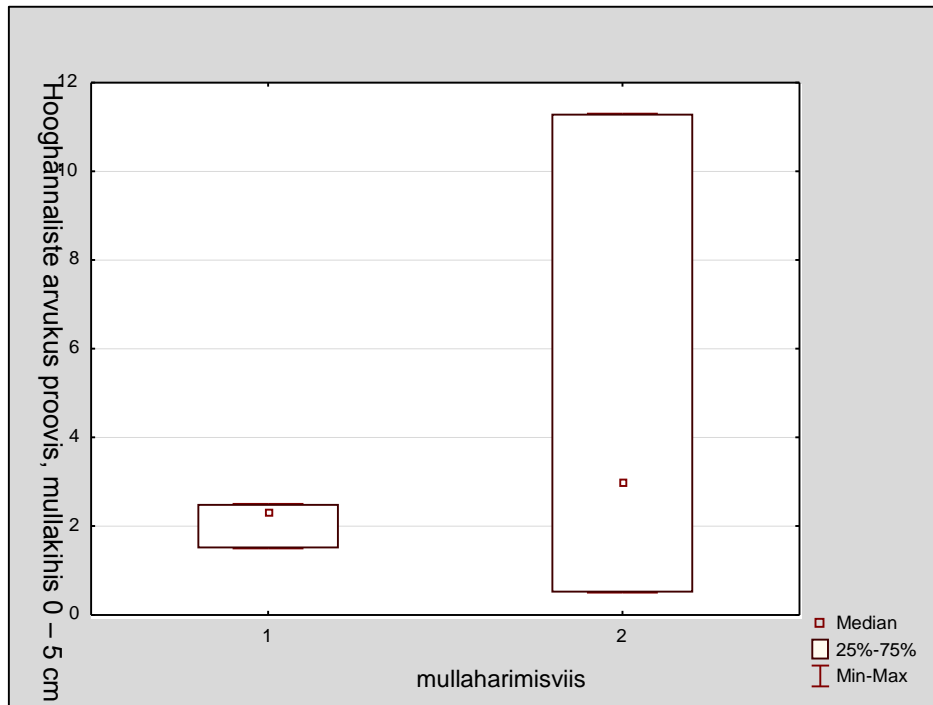
Joonis 6. Hooghännaliste keskmised arvukused proovis, mullakihis 0 – 5 cm, erinevates piirkondades (1 – Põlvamaa, 2 – Valgamaa, 3 – Tartumaa)



Joonis 7. Hooghännaliste keskmised arvukused proovis, mullakihis 5-10 cm, erinevates piirkondades (1 – Põlvamaa, 2 – Valgamaa, 3 – Tartumaa)

Hooghännaliste liikide arv mõlemas mullakihis oli kõrgeim Tartumaa põldude mullas, madalaim Valgamaa põldude mullas.

Tulemuste põhjal selgus, et hooghännaliste arvukus ülemises mullakihis on kõrgem tavaharimisega põldude mullas (joonis 8), alumises mullakihis ei leitud olulist erinevust. Liikide arv on mõlema mullaharimisviisi puhul mõlemas mullakihis sarnane.



Joonis 8. Hooghännaliste keskmised arvukused proovis, mullakihis 0 - 5 cm erinevate mullaharimistehnoloogiate juures. 1 – otsekülv, 2 – küünd

Tabelis 6 on esitatud andmed proovides enam levinud hooghännaliste osakaalust (%) sõltuvalt proovikihi sügavusest: 0-5 cm ja 5-10 cm ning kokku kogu proovi kohta (0-10 cm) kevadel ja tabelis 12 samad näitajad sügisel. Kokku leiti proovialadelt 17 liiki hooghännalisi, kelle nimekiri ja kasutatud lühendid on toodud lisas 1. Hooghännaliste liigiline koosseis ja liikide arv on väga varieeruv ja seos mullaharimisviisi, mulla agrookeemiliste ja füüsikaliste näitajatega on palju vähemas sõltuvuses kui vihmaussidel.

Kevadel esines maksimaalselt (86,5%) liiki *Parisotoma notabilis* (Par_not) O10 proovialal proovikihis, mis oli 0-5 sentimeetri sügavuseni ning sama liik puudus täiesti 5-10 sentimeetri sügavusel proovialadel K3 ja K6.

Sügisel oli kõige rohkem liiki *Ceratophysella denticulata* (Cer Den) põllul K3 sügavusel 0-5 sentimeetrit (tabel 7), samas puudus see täielikult 0-10 cm sügavusel O3 ja O6 aladel.

Tabel 6. Enamlevinud hooghännaliste liikide osakaalud (%) proovikoha hooghännaliste keskmisest arvukusest kevadel.

Proovikoht	Par not	Tul qua	Met aff	Cer den	Iso min	Fol can	Smi aur
0-5 cm							
O10	86,5	0,7	1,4	0,7	0	6,8	2,0
K10	6,3	2,1	22,9	31,3	12,5	16,7	0
O3	20,8	29,2	39,6	2,1	0	2,1	6,3
K3	1,3	0	2,7	58,7	0	0	37,3
O6	36,4	0	3,6	1,8	3,6	3,6	14,5
K6	8,3	2,8	22,2	0	0	0	19,4
5-10 cm							
O10	70,1	0,6	7,5	0	2,9	8,6	1,1
K10	2,0	52,0	14,0	8,0	2,0	14,0	2,0
O3	52,9	0,8	19,2	0	0	1,5	4,2
K3	0	0,6	11,2	62,7	0	0,6	24,8
O6	11,1	0	3,7	0	7,4	33,3	22,2
K6	0	0	70,4	0	0	0	11,1
0-10 cm							
O10	82,5	0,7	5,0	0,3	1,7	8,3	1,7
K10	4,4	29,7	19,8	20,9	7,7	16,5	1,1
O3	58,5	6,3	27,3	0,4	0	2,0	5,5
K3	0,4	0,4	8,5	61,4	0	0,4	28,8
O6	41,1	0	5,4	1,8	7,1	19,6	25,0
K6	7,3	2,4	65,9	0	0	0,0	24,4

Tabel 7. Enam levinud hooghännaliste osakaalud (%) proovikoha hooghännaliste keskmisest arvukusest sügisel

Proovikoht	Par not	Tul qua	Met aff	Cer den	Iso min	Fol can	Smi aur
0-5 cm							
O10	41,5	9,8	9,8	2,4	4,9	2,4	0
K10	7,1	2,0	10,2	55,1	8,2	5,1	0
O3	48,0	0	8,0	0	0	0	16,0
K3	0	0	0	68,8	0	12,5	12,5
O6	12,0	4,0	12,0	0	12,0	12,0	4,0
K6	3,0	2,2	9,7	9,7	63,4	6,0	0
5 – 10 cm							
O10	34,8	4,3	17,4	0	26,1	0	0
K10	0	26,7	10,0	46,7	6,7	3,3	0
O3	16,0	16,0	44,0	0	0	4,0	0
K3	20,0	0	0	60,0	0	0	0
O6	6,7	13,3	33,3	0	6,7	13,3	0
K6	6,2	5,3	42,5	6,2	14,2	12,4	0,9
0 – 10 cm							
O10	39,1	7,8	12,5	1,6	12,5	1,6	0
K10	5,5	7,8	10,2	53,1	7,8	4,7	0
O3	32,0	8,0	26,0	0	0	2,0	8,0
K3	4,8	0	0	66,7	0	9,5	9,5
O6	10,0	7,5	20,0	0	10,0	12,5	2,5
K6	4,5	3,6	24,7	8,1	40,9	8,9	0,4

Tabelis 8 on toodud andmed proovialade hooghännaliste liigilise mitmekesisuse kohta. Üldine tendents on, et kõrvuti asetsevatest proovialadest on kõrgem liigiline mitmekesisus otsekülviga põldudel. Sellest eristub märgatav põllu O10 kevadine näitaja, mis on seletatav nädal enne provide võttu teostatud taimekaitsega (glüfosaat).

Tabel 8. Hooghännaliste liikide arv (S), Shannon-Wiener'i (H) ja Simpsoni mitmekesisuse (D) indeksid sõltuvalt mullaproovi sügavusest. Sinine – kõrgeimad näitajad, punane – madalaimad näitajad

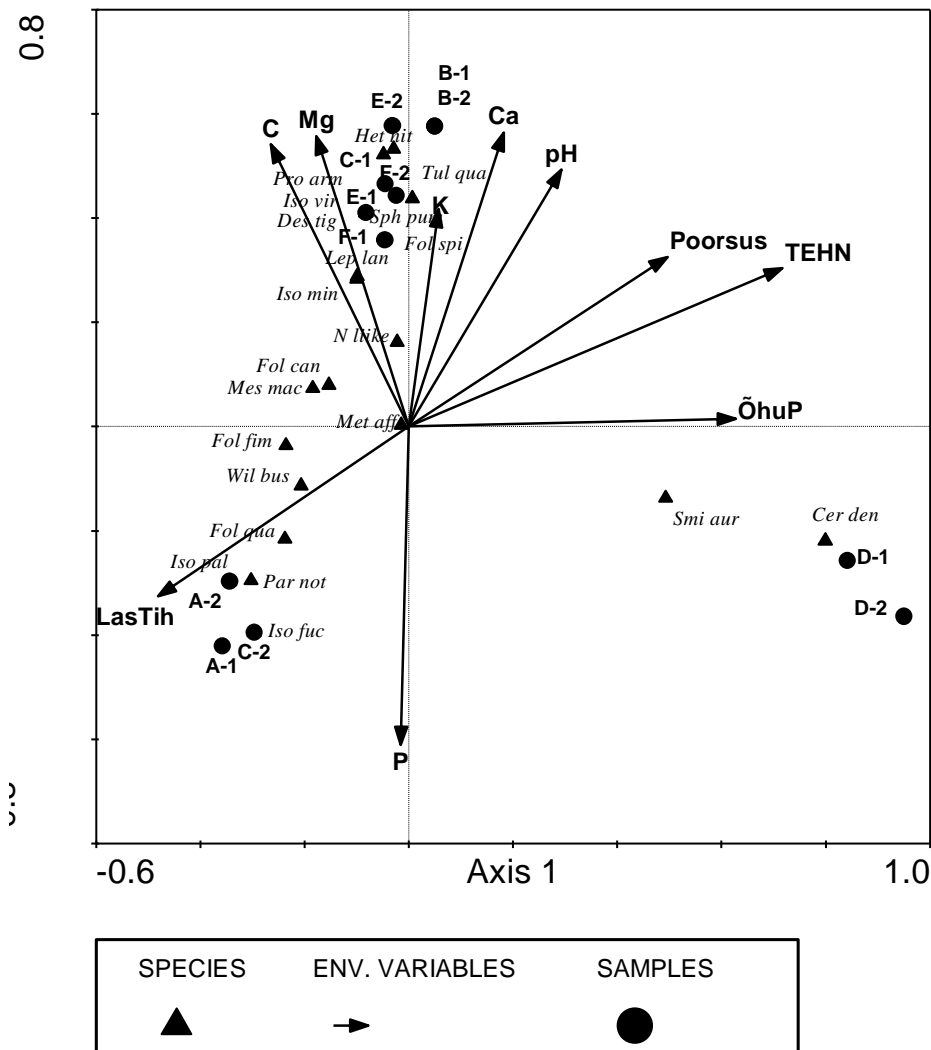
KEVAD 2015						
Koht	0-5 cm			5-10 cm		
	S	H	D	S	H	D
O10	8	0,6043	0,2465	9	1,0991	0,4878
K10	8	1,7675	0,7977	9	1,5343	0,6808
O3	6	1,3087	0,6881	10	1,0337	0,6500
K3	4	0,8349	0,5156	5	0,9466	0,5322
O6	13	2,0168	0,8066	8	1,8378	0,8038
K6	8	1,7316	0,7855	6	1,0504	0,4829
Keskmine	7,8333 ±1,22	1,3773 ±0,22	0,6400 ±0,09	7,8333 ±0,79	1,2503 ±0,15	0,6063 ±0,05
SÜGIS 2015						
Koht	0-5 cm			5-10 cm		
	S	H	D	S	H	D
O10	14	2,0865	0,7924	5	1,4626	0,7486
K10	10	1,5631	0,6639	7	1,4590	0,6933
O3	6	1,4716	0,7040	5	1,3983	0,7136
K3	4	0,9507	0,4922	3	0,9503	0,5600
O6	9	2,1060	0,8704	7	1,7670	0,8000
K6	9	1,3215	0,5722	12	1,8824	0,8071
Keskmine	8,6667 ±1,41	1,5832 ±0,18	0,6825 ±0,06	6,5000 ±1,26	1,4866 ±0,13	0,7204 ±0,04

Kevadine liikide ja proovialade kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (CCA - *Canonical Correspondence Analysis*) sõltuvalt keskkonnatingimustest ja mullaproovi sügavusest (0-10 cm) on esitatud joonisel 9.

Keskkonnatingimustega korreleerus positiivselt kevadel liikide arvukus järgmiselt: *Lep lan* (tegur pH, $R=0,617063$, $p<0,05$), *Het nit* (tegur Mg, $R=0,639693$, $p<0,05$), *Wil bus* (tegur pH, $R=0,613580$, $p<0,05$), *Fol can* (tegur lasuvustihedus, $R=0,843066$, $p<0,05$), *Smi aur* (tegur ÕhuP, $R=0,654946$, $p<0,05$) ja *Par not* (tegur liikide arv, $R=0,64624$, $p<0,05$).

Negatiivseid korrelatsioone esines kõige rohkem suhtes õhuga täidetud pooride ruumala suurusega. Negatiivselt korreleerusid sellega (ÕhuP) liigid *Iso min* ($R=-0,597848$, $p<0,05$) ja *Fol can* ($R=-0,790154$, $p<0,05$).

Mullaharimise tehnoloogia järjestustunnusega (1 – otsekülv, 2 – künd) oli tugevas negatiivses korrelatsioonis *Par not* ($R=-0,829515$, $p<0,05$) ja *Fol can* oli negatiivses korrelatsioonis poorsusega ($R=-0,853649$, $p<0,05$).



Joonis 9. Kevad 2015. 0-10 cm mullaproovi hooghännaliste kanooniline vastavusanalüüs (CCA), kus kolmnurkadena on tähistatud liigid, nooltena keskkonnatingimused ja ringidena on tähistatud proovialad. I ja II telg kaetud vastavalt 43,2% ja 21,6%, koguväärtus 1,085.

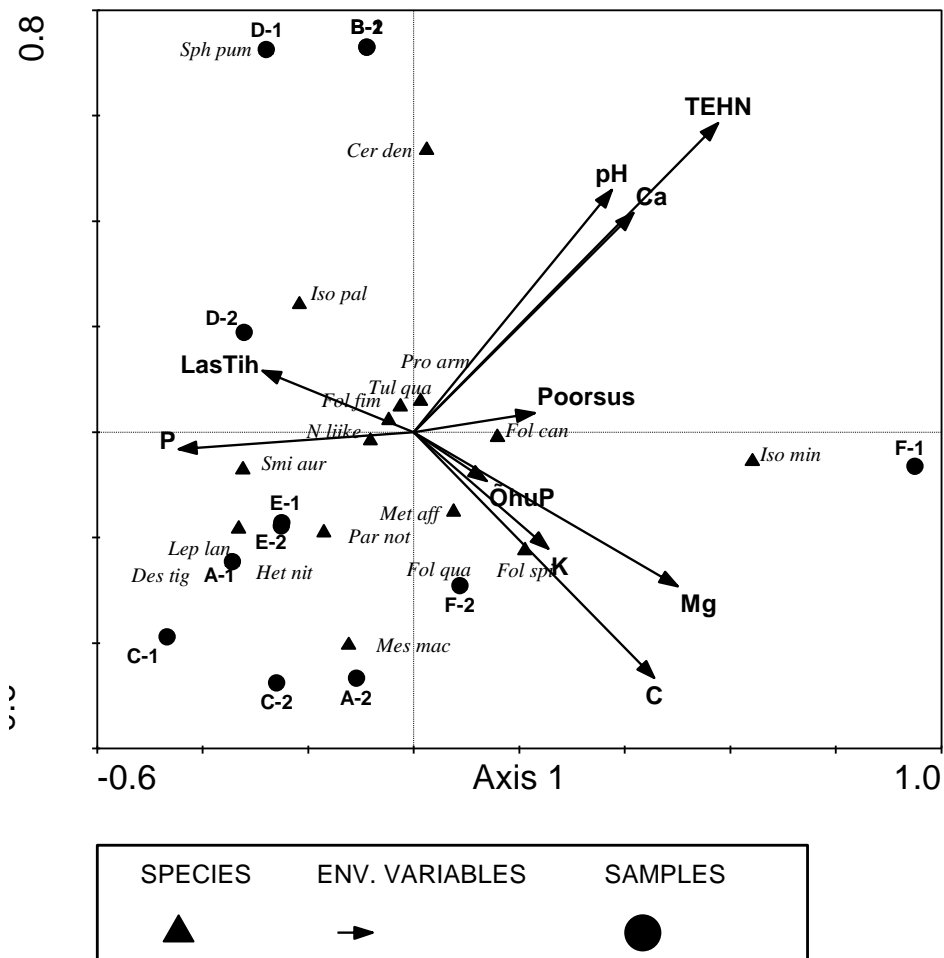
Keskkonnategurid: LasTih – lasuvustihedus, P – fosforisisaldus, K – kaaliumisisaldus, Mg – magneesiumisisaldus, C – orgaaniline süsinik, Ca – kaltsiumisisaldus, pH – mulla pH, Öhu P – õhuga täidetud pooride ruumala, Poorsus – poorsus, TEHN – mullaharimisviis. Proovialad: A – O10, B – K10, C – O3, D – K3, E – O6, F – K6. Prooviala tähistel järel -1 tähistab mullakihti 0 – 5 cm ja -2 tähistab mullakihti 5-10 cm.

Sügisene liikide ja proovialade kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (*Canonical Correspondence Analysis*) sõltuvalt keskkonnatingimustest ja mullaproovi sügavusest (0-10 cm) on esitatud joonisel 10.

Tehnoloogiaga korreleerus positiivselt tugevalt liigi *Cer den* arvukus ($R=0,901127$, $p<0,05$).

Positiivne korrelatsioon oli liikide arvukusel keskkonnateguritega liigil *Pro arm* (tegur Mg, $R=0,660922$, $p<0,05$; tegur C, $R=0,689658$, $p<0,05$ ja liigil *Iso min* (tegur Mg, $R=0,681058$, $p<0,05$; tegur C $R=0,627572$, $p<0,05$). Üldine liikide arv korreleerus positiivselt magneesiumiga (Mg) ($R=0,611608$, $p<0,05$) ja süsinikuga (C) ($R=0,587003$, $p<0,05$).

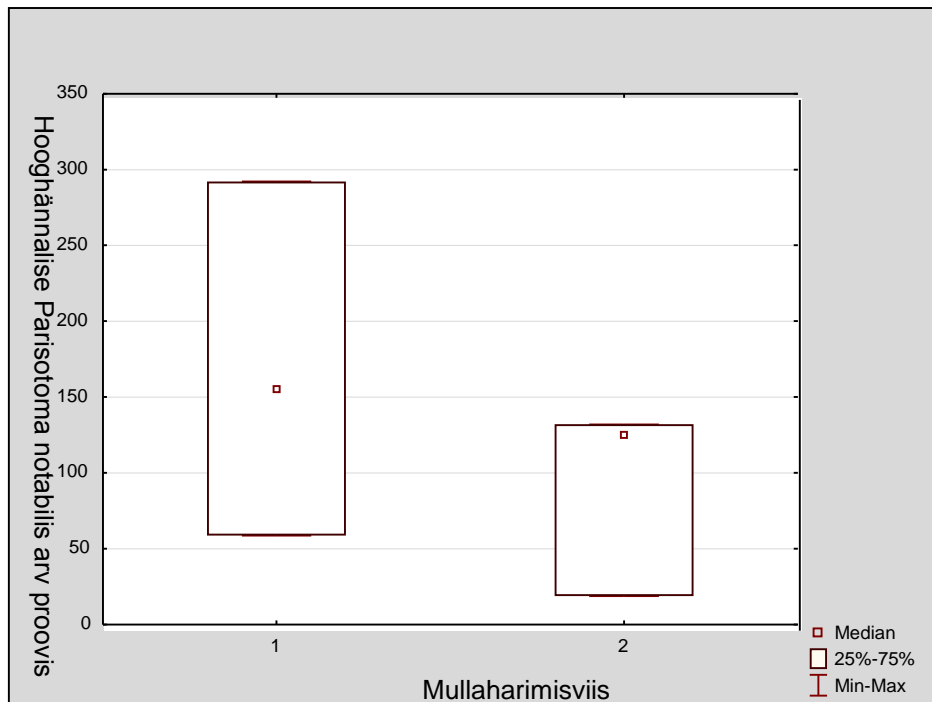
Negatiivsed korrelatsioonid olid liikide arvukusel liigil *Met aff* (tegur P, $R=-0,593314$, $p<0,05$), liigil *Fol can* (tegur P, $R=-0,661989$, $p<0,05$) ja *Smi aur* (tegur lasuvustihedus, $R=-0,796622$, $p<0,05$).



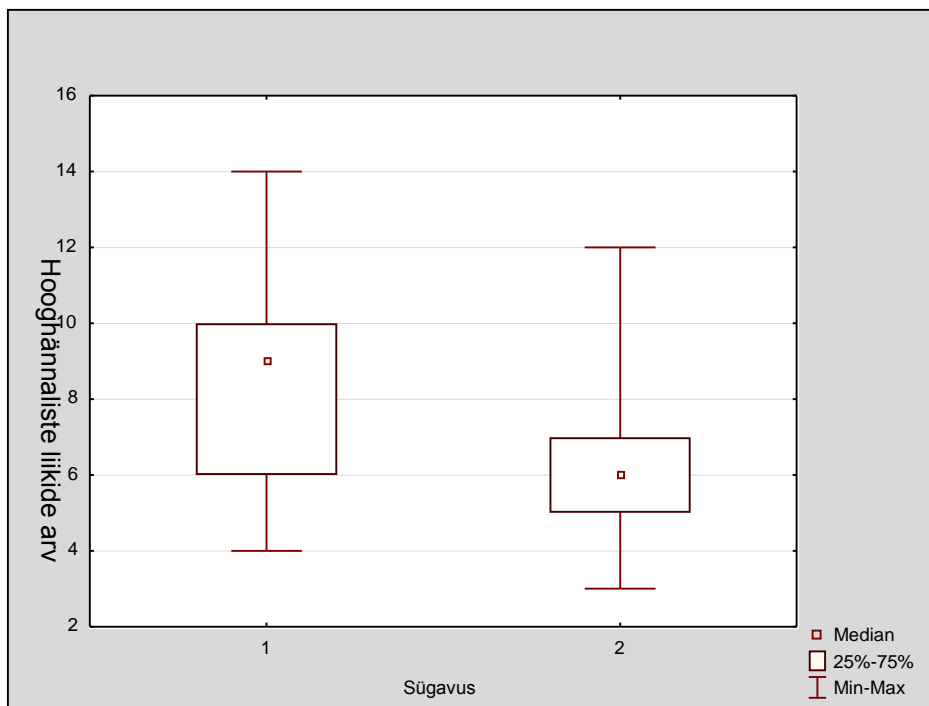
Joonis 10. Sügis 2015. 0-10 cm mullaproovi hooghännaliste kanooniline vastavusanalüüs (CCA), kus kolmnurkadena on tähistatud liigid, nooltena keskkonnatingimused ja ringidena on tähistatud proovialad. I ja II telg kaetud vastavalt 37,1% ja 22,7%, koguväärtus 0,595. Keskkonnategurid: LasTih – lasuvustihedus, P – fosforisisaldus, K – kaaliumisisaldus, Mg – magneesiumisisaldus, C – orgaaniline süsinik, Ca – kaltsiumisisaldus, pH – mulla pH, Öhu P – õhuga täidetud pooride ruumala, Poorsus – poorsus, TEHN – mullaharimisviis. Proovialad: A – O10, B – K10, C – O3, D – K3, E – O6, F – K6. Prooviala tähistate järel -1 tähistab mullakihti 0 – 5 cm ja -2 tähistab mullakihti 5-10 cm

Hooghännalise *Parisotoma notabilis* keskmine arvukus proovis sügisel oli otsekülvitehnoloogiaga põldudel märgatavalt suurem kui küntud põldudel (joonis 11). Ühtlasi on tegu ka kõige arvukama hooghännaliste liigiga (dominantliik).

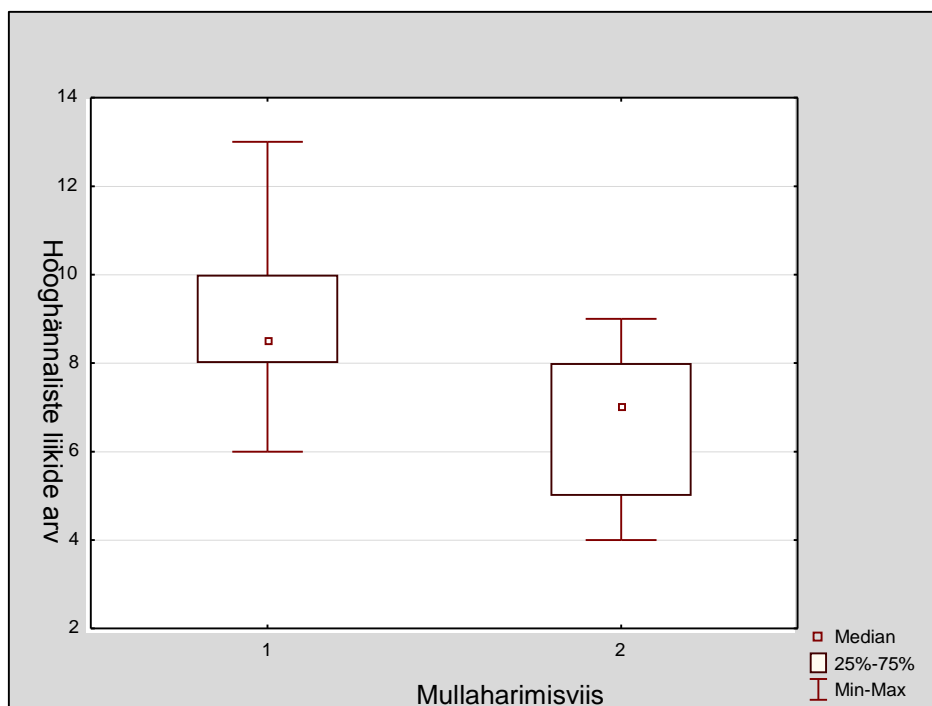
Sügisel oli ülemises mullakihis 0-5cm ka tunduvalt suurem hooghännaliste liikide arv (joonis 12). Kevadel oli 0-10 cm sügavusel aga rohkem liike küntud põldudel (joonis 13).



Joonis 11 . Hooghännalise *Parisotoma notabilis* keskmine arvukus proovis sügisel, sõltuvalt mullaharimisviisist. 1 – otsekülv, 2 – künd



Joonis 12 . Hooghännaliste keskmine liikide arv sügisel erineval sügavusel. 1 – mullakiht 0-5 cm, 2 – mullakiht 5-10cm



Joonis 13 . Hooghännaliste keskmine liikide arv kevadel erineva mullaharimisviisi juures. 1 - otsekülv, 2 – künd

3.3. Vihmaussikoosluse arvukus ning liigiline ja ökoloogiline struktuur

Tabelis 9 on esitatud vihmaussiliikide arvukuse kevadised andmed ja tabelis 10 sügisesed andmed proovialade kaupa. Suurim arvukus leiti nii kevadel kui sügisel O6 otsekülvipõllul, (vastavalt 294 ja 292 isendit ruutmeetril), see on kõrge näitaja põllumuldade kohta. Kõige liigirikkamad põllud olid O3 ning mõlemad Tartumaa põllud (O6 ja K6). Madalaim arvukus leiti kevadel K3 põllul ning sügisel K10 põllul, vastavalt 13,3 ja 18,7 isendit ruutmeetril. Väikseim liikide arv oli samuti K3 põllul (2 liiki).

Tabel 9. Vihmaussiliikide ja koosluste arvukus ning liikide arv (*N* – isendit ruutmeetri kohta) sügisel. Lühendid: ACAL – *Aporrectodea caliginosa*, AROS – *A. rosea*, ALON – *A. longa*, ACHL – *Allolobophora chlorotica*, LRUB – *Lumbricus rubellus*, LCAS – *L. castaneus*, LTER – *L. terrestris*

Prooviala	ACAL	AROS	ALON	LRUB	LCAS	LTER	N is/m ²	S (liike)
O10	72,0	0	0	13,3	62,7	2,7	150,7	4
K1	74,7	0	2,7	24,0	2,7	1,3	105,4	5
O3	141,3	1,3	9,3	6,7	22,7	6,7	213,3	6
K3	12,0	0	0	1,3	0	0	13,3	2
O6	200,0	2,7	17,3	6,7	57,3	2,7	294,7	6
K6	156,0	1,3	5,3	17,3	2,7	1,3	183,9	6

Tabel 10. Vihmaussiliikide ja koosluste arvukus ning liikide arv (*N* – isendit ruutmeetri kohta) kevadel. Lühendid: ACAL – *Aporrectodea caliginosa*, AROS – *A. rosea*, ALON – *A. longa*, ACHL – *Allolobophora chlorotica*, LRUB – *Lumbricus rubellus*, LCAS – *L. castaneus*, LTER – *L. terrestris*

Prooviala	ACAL	AROS	ALON	LRUB	LCAS	LTER	N is/m ²	S (liike)
O10	89,3	0	0	12,0	34,7	20,0	156,0	4
K10	10,7	0	1,3	6,7	0	0	18,7	3
O3	28,0	0	4,0	6,7	9,3	10,7	58,7	5
K3	129,3	0	0	2,7	0	0	132,0	2
O6	221,3	0	30,7	10,7	22,7	6,7	292,1	5
K6	114,7	0	2,7	4,0	2,7	1,3	125,4	5

Tabelites 11 ja 12 on esitatud uuritavate põldude vihmaussikooslusi iseloomustavad näitajad nagu epigeiliste-, endogeiliste- ja aneetsiliste liikide osatähtsus populatsioonist protsentides, dominantliigi osakaal, vihmausside kogumass ühel ruutmeetril, ühe isendi keskmine mass grammides ja juveniilide osakaal. Piirkond mõjutab vihmaussikoosluste parameetreid, ehkki seosed ei ole statistiliselt usaldusväärsed. Kevadel oli kõrgeim vihmausside mass O3 proovialal (130 grammi ruutmeetril), mis oli suures kontrastis kõrval asuva K3 madalaima tulemusega

(1,5 g/m²). Ühe isendi mass on suurem kõikidel juhtudel otsekülviga põldudel, välja arvatud O10 tulemus. Ühe isendi mass oli suurim O3 põllul sügisel, mis on loogilises seoses samal põllul oleva suurima aneetsiliste vihmausside osakaaluga.

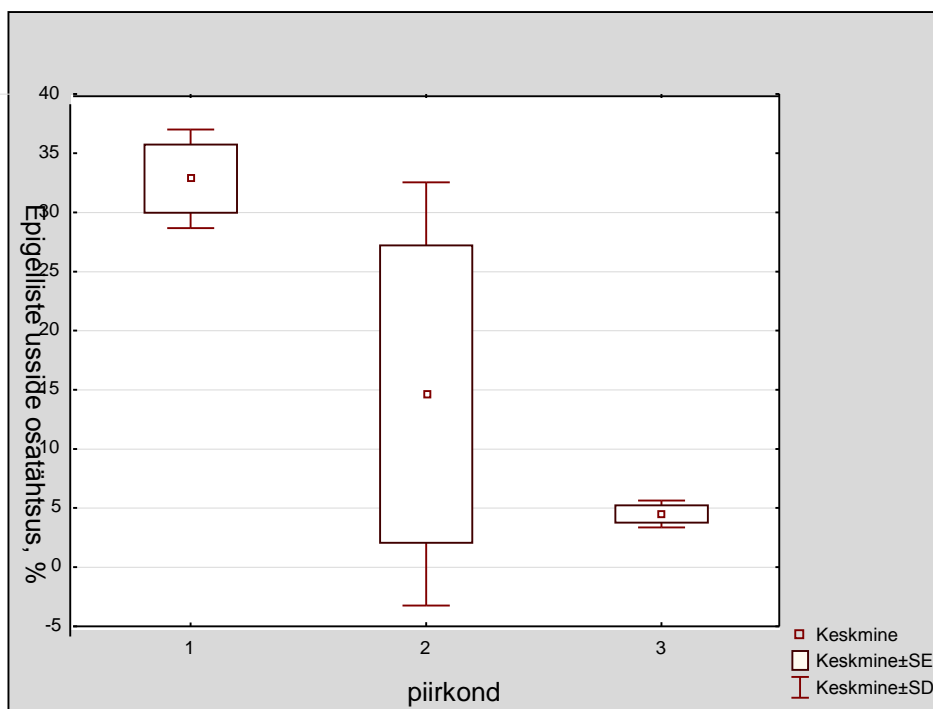
Tabel 11. Vihmaussikoosluste parameetrid kevadel 2015. Lühendid: *epi* – epigeilise eluvormi osa (%) koosluses, *endo* – endogeilise eluvormi osa (%) koosluses, *an* – aneetsilise eluvormi osa (%) koosluses, *dom* – dominantliigi osa (%) koosluses, *M* – mass, *juv %* - noorisendite osa koosluses

Prooviala	epi	endo	an	dom	1 is M keskm, g	M g/ m ²	juv %
O10	50,4	47,8	1,8	47,8	0,26	39,6	52,2
K10	25,3	70,9	3,8	70,9	0,4	41,8	36,7
O3	13,8	66,9	7,5	66,2	0,61	130,0	25,6
K3	9,8	90,2	0	90,2	0,11	1,5	30,1
O6	21,7	68,8	6,8	67,9	0,39	114,6	34,4
K6	10,9	85,5	3,6	84,8	0,19	34,8	76,1

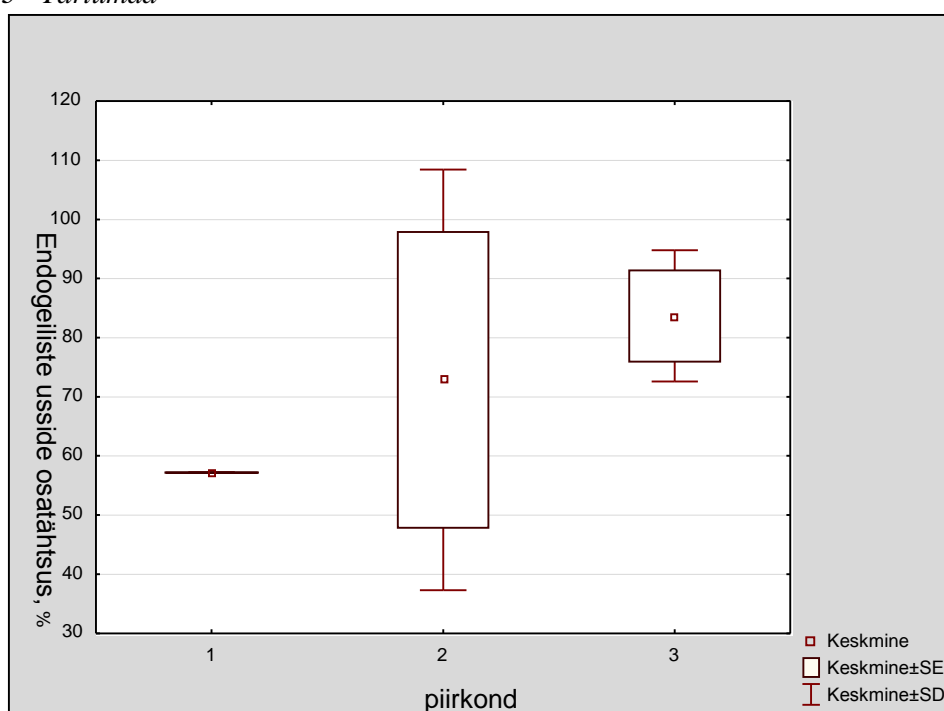
Tabel 12. Vihmaussikoosluste parameetrid sügisel 2015

Prooviala	epi	endo	an	dom	1 is M keskm, g	M g/ m ²	juv %
O10	29,9	57,2	12,8	57,2	0,36	56,5	70,9
K10	35,8	57,2	7,0	57,2	0,57	10,7	21,3
O3	27,3	47,7	25,0	47,7	0,67	39,1	40,7
K3	2,0	98,0	0	98,0	0,17	23,1	72,7
O6	11,4	75,8	12,8	75,8	0,38	112,1	39,7
K6	5,3	91,5	3,2	91,5	0,17	20,7	85,1

Sügisestes proovides epigeiliste usside arvukus (joonis 14) ja endogeiliste usside arvukus (joonis 15) erinevad piirkondade vahel, aneetsiliste usside arvukus erineb piirkondade vahel vähem. Dominantliigi osa dünaamika langeb kokku endogeilise eluvormi dünaamikaga, kuna ainult dominantliik harilik mullauss esindas seda eluvormi (kaks roosat vihmaussi tulemusi ei mõjutanud). Ülejäänud parameetrite (usside mass ruutmeetril, ühe isendi keskmine mass, noorisendite osa koosluses) erinesid vähem.



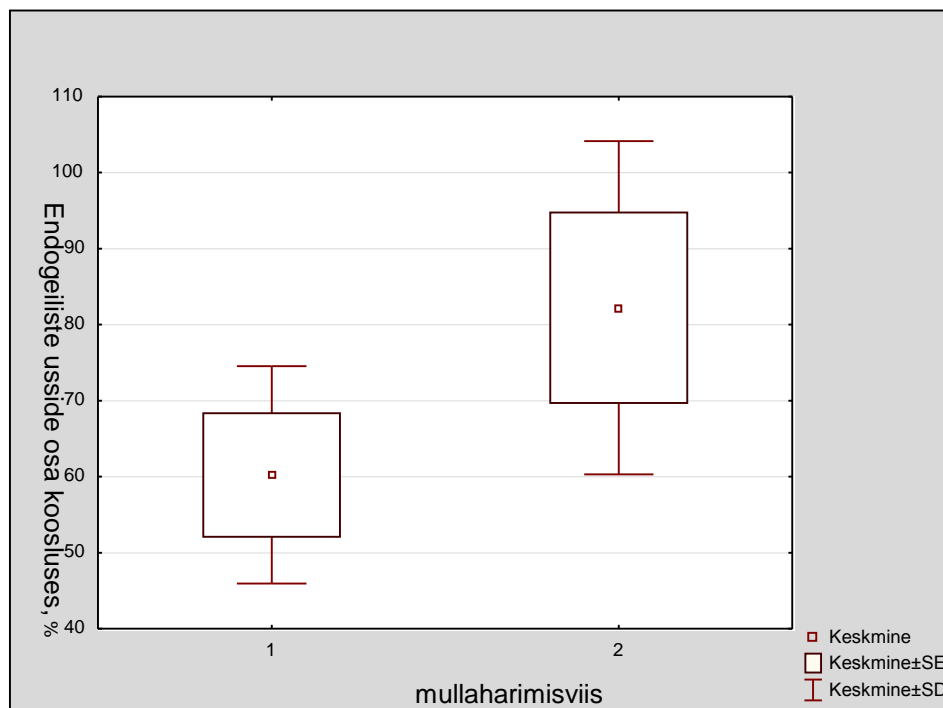
Joonis 14. Epigeiliste usside keskmine arvukus piirkondades: 1 – Põlvamaa, 2 – Valgamaa, 3 – Tartumaa



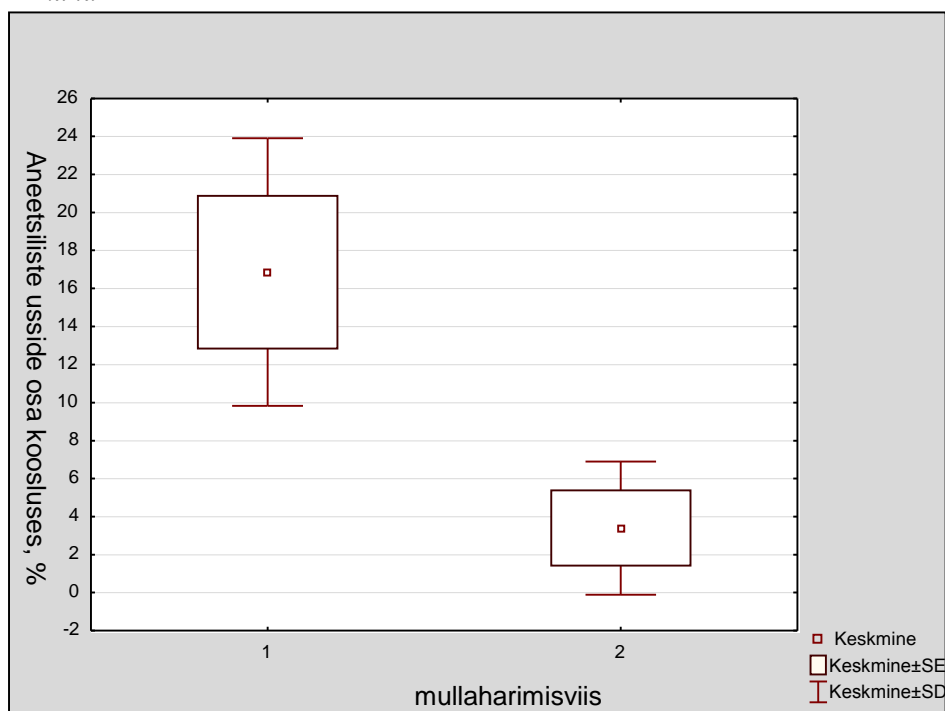
Joonis 15. Endogeiliste usside keskmine arvukus piirkondades: 1 – Põlvamaa, 2 – Valgamaa, 3 – Tartumaa

Otsekülviga ja küntud põldude vahel esinesid erinevused vihmaussikoosluste parameetrites. Epigeilise eluvormi osa koosluses oli otsekülvipõldude mullas veidi kõrgem kui avaharimistehnoloogia puhul (vastavalt 20,37 ja 14,6%). Erinevused olid suuremad endogeilise

eluviisiga usside osakaaludes (joonis 16), samuti dominantliigi osakaalude protsendis. Samuti on otsekülvi põldudel tunduvalt suurem aneetsiliste usside osakaal koosluses (joonis 17). Juveniilide osa koosluses oluliselt ei erinenud kahe mullaharimisviisi puhul.

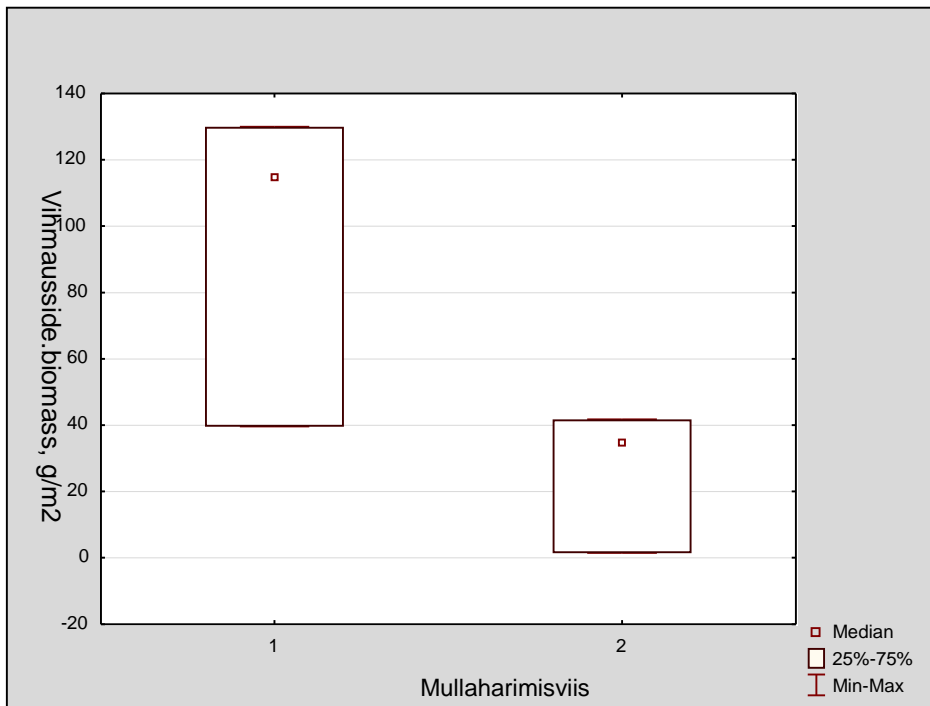


Joonis 16. Endogeeiliste usside osakaal koosluses erineva mullaharimisviisiga põldudel: 1 – otsekülv, 2 – künd

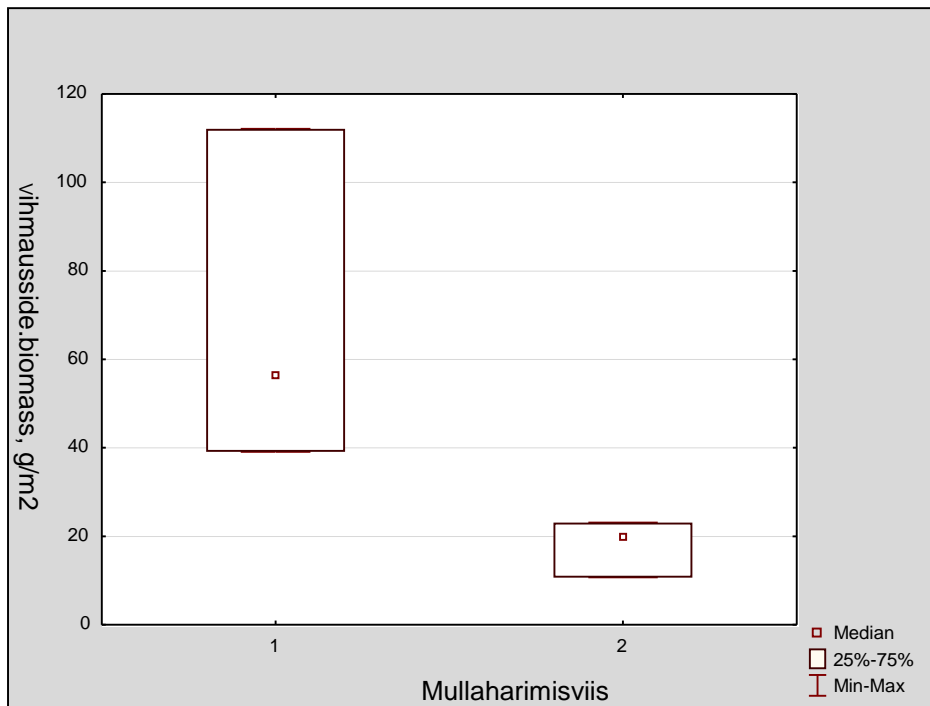


Joonis 17. Aneetsiliste usside osakaal koosluses erinevate tehnoloogiatega haritud mullas: 1 – otsekülv, 2 – künd

Vihmaussikoosluse mass ühel ruutmeetril oli kevadel tunduvalt suurem otsekülvipõldudel (joonis 18), sügisel oli see vahe veelgi suurem (joonis 19).

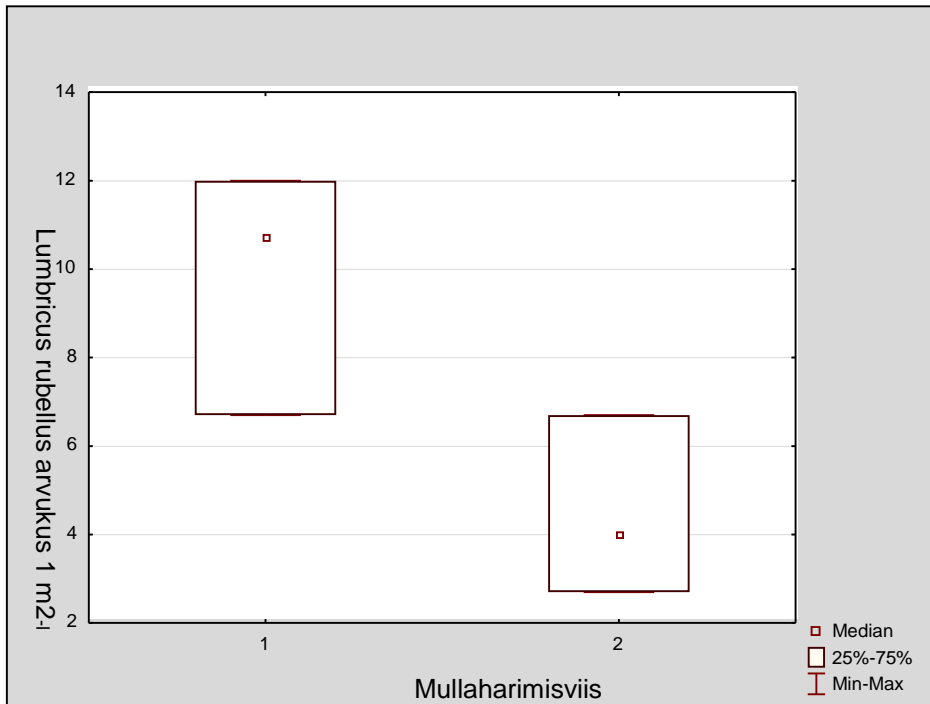


Joonis 18. Vihmaussikoosluse mass 1 m²-l kevadel: 1 – otsekülv, 2 – küünd

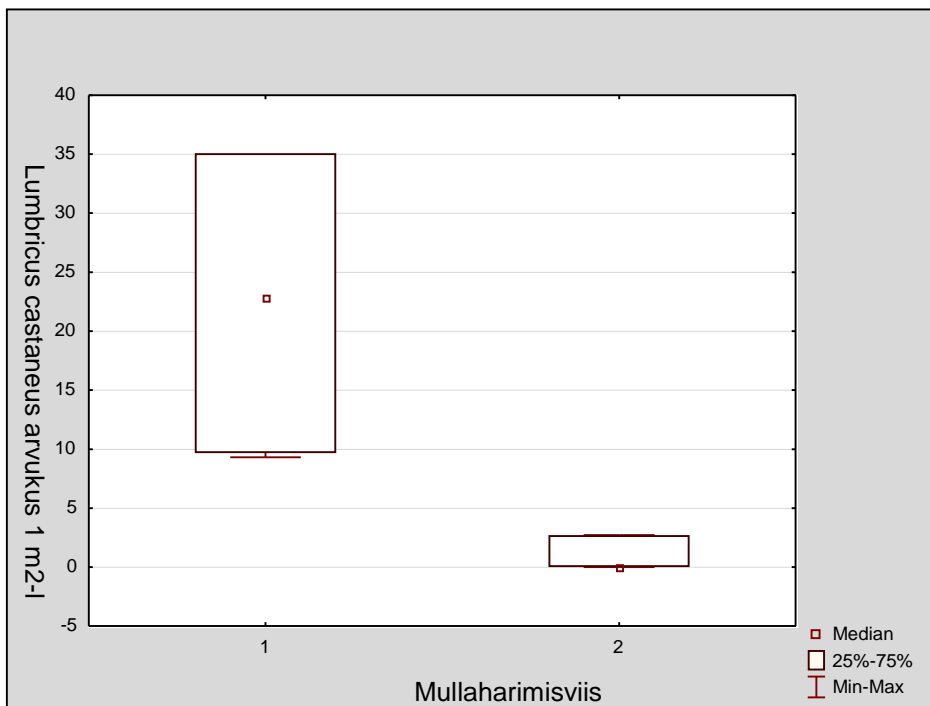


Joonis 19. Vihmaussikoosluse mass 1 m²-l sügisel: 1 – otsekülv, 2 – küünd

Sügisel oli otsekülvipõldudel tunduvalt suurem vihmausside arvukus sellistel liikidel nagu *Lumbricus rubellus* (joonis 20) ja *Lumbricus castaneus* (joonis 21).

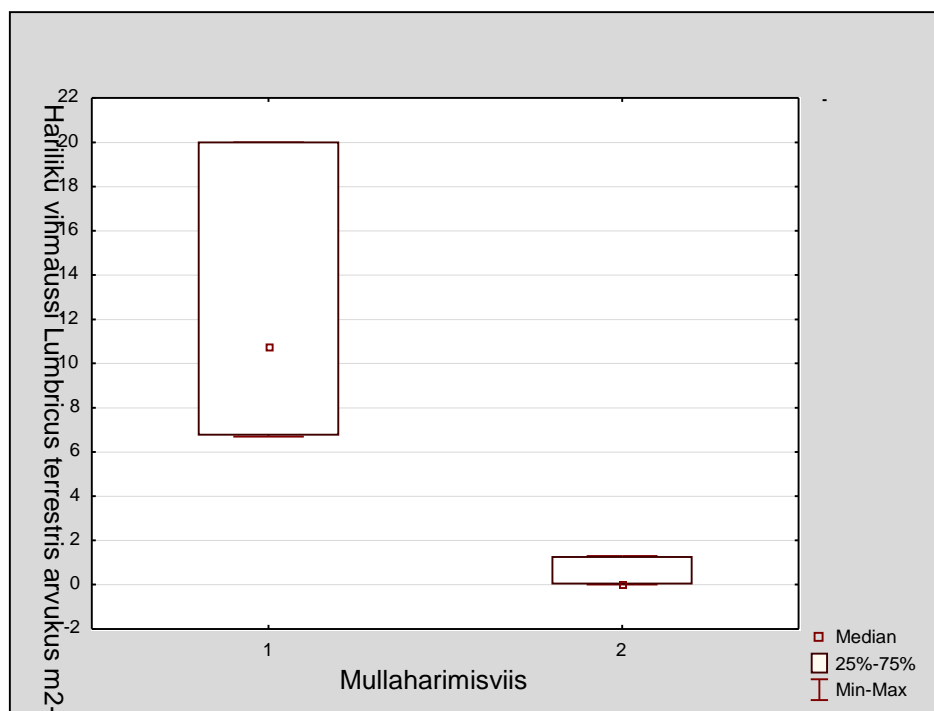


Joonis 20. Punase vihmaussi *Lumbricus rubellus* keskmine arvukus m^2 -l erineva mullaharimisviisiga põldudel sügisel: 1 – otsekülv, 2 – künd



Joonis 21. Tumeda vihmaussi *Lumbricus castaneus* keskmine arvukus m^2 -l erineva mullaharimisviisiga põldudel sügisel: 1 – otsekülv, 2 – künd

Kõige suurem erinevus vihmausside arvukuses oli liigil *Lumbricus terrestris* sügisestes proovides (joonis 22), kus otsekülvipõldudel oli arvukus oluliselt suurem tavakünnipõldudest.



Joonis 22. Hariliku vihmaussi *Lumbricus terrestris* keskmine arvukus m^2 -l erineva mullaharimisviisiga põldudel sügisel: 1 – otsekülv, 2 – künd

Tabelis 13 on toodud andmed proovialade vihmausside populatsioonide liigilise mitmekesisuse kohta. Kõikide põldude paaride puhul on otsekülvi aladel liigilise mitmekesisuse näitajad kõrgemad kui küntud põldudel. Kui otsekülvipõldudest on kõrgeimate näitajatega kevadel O10 ja sügisel O3, siis K3 on kõikidest põldudest läbivalt madalaimate näitajatega.

Tabel 13. Vihmausside liikide arv, Shannon-Wiener'i (H) ja Simpsoni mitmekesisuse indeksid (D) kevadel ja sügisel. Sinine – grupi kõrgeimad näitajad, punane – grupi madalaimad näitajad

Prooviala	Kevad			Sügis		
	S	H	D	S	H	D
O10	4	1,0040	2,4421	4	1,1143	2,5030
K10	5	0,8229	1,7998	3	0,8725	2,1710
O3	6	0,8907	1,7108	5	1,3860	3,2946
K3	2	0,3201	1,2142	2	0,0998	1,0417
O6	6	0,9181	1,8834	5	0,8533	1,6865
K6	6	0,5961	1,3706	5	0,4041	1,1924
Keskmine	4,8	0,7586 ± 0,10	1,7368 ± 0,18	4,0	0,7883 ± 0,19	1,9815 ± 0,35

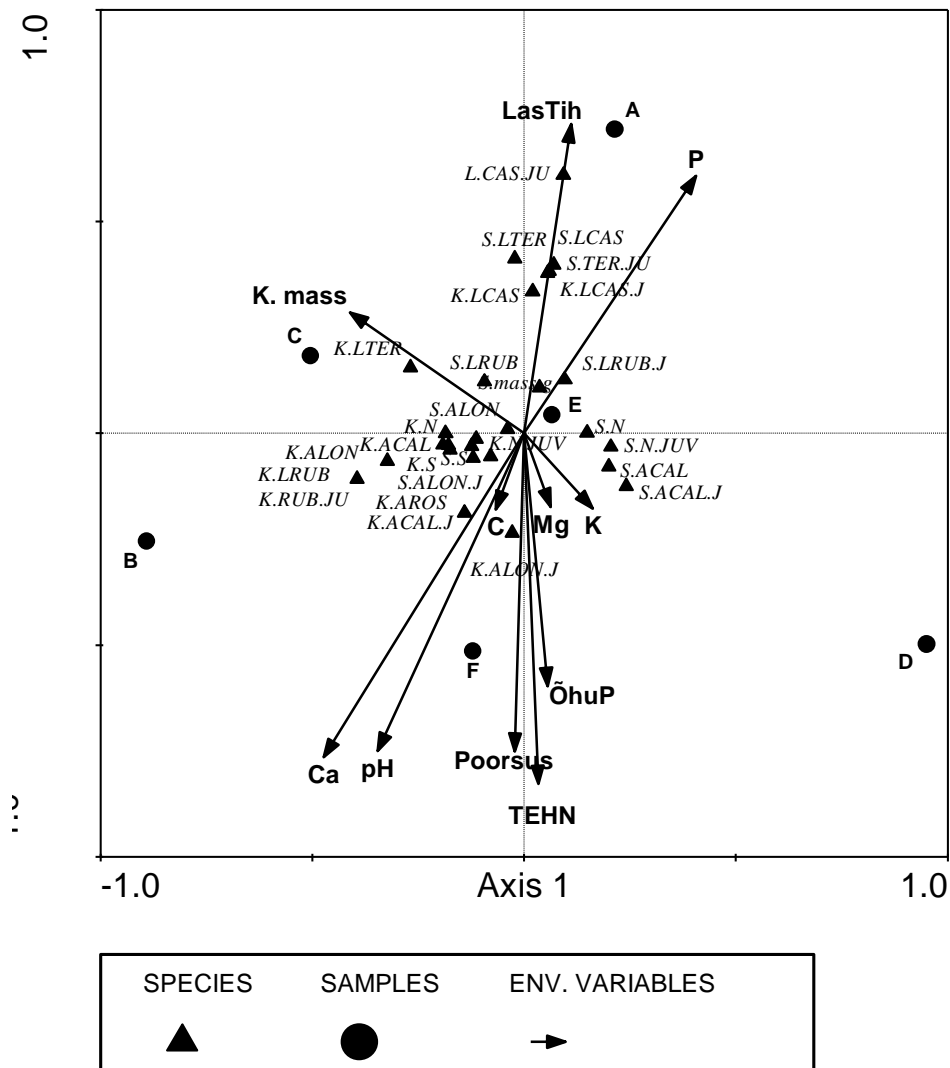
Joonisel 23 on esitatud vihmaussiliikide ja koosluse parameetrite kanoonilise vastavusanalüüsi ordinatsioon (CCA – *Canonical Correspondence Analysis*) keskkonnateguritega. Selgesti eristuvad proovialad K10 (B) ja K3 (D) proovialad, mille vihmaussikooslus oli keskkonnateguritest märgatavalt enam mõjutatud.

Kevadel on liikide arvukustest keskkonnateguritega seotud positiivselt hariliku mullaussi juveniilide (ACAL.JUV) arvukus (tegur C: $R=0,828571$, $p>0,05$); suure mullaussi juveniilide (ALON.JUV) arvukus (tegur K: $R=0,828079$, $p>0,05$; tegur Mg, $R=0,82807$, $p>0,05$; tegur C, $R=0,828079$, $p>0,05$) ja juveniilide üldine arvukus ruutmeetril (tegur C: $R=0,942857$, $p<0,05$).

Kevadel on keskkonnateguritest negatiivselt seotud fosfori hulga (P) mitu liiki: harilik mullauss (ACAL) ($R=-0,942857$, $p<0,05$), roosa mullauss (AROS) ($R=-0,828079$, $p<0,05$), suur mullauss (ALON) ($R=-0,927634$, $p<0,05$) ja suure mullaussi juveniilid (ALON.JUV) ($R=-0,828079$, $p>0,05$). Samuti on fosforiga negatiivses korrelatsioonis vihmausside isendite arv ruutmeetril ($R=-0,840668$, $p>0,05$) ja kogumass ($R=-0,880406$, $p>0,05$).

Mullaharimistehnoloogiaga on kevadel negatiivses korrelatsioonis selliste liikide arvukus nagu tume vihmauss (LCAS) ($R=-0,891133$, $p<0,05$) ja harilik vihmauss (LTER) ($R=-0,904534$, $p<0,05$).

Sügisel korreleerub negatiivselt mullaharimisviisiga vihmausside mass ruutmeetril ($R=-0,878310$, $p<0,05$) ning selliste liikide arvukus nagu tume vihmauss (LCAS) ($R=-0,891133$, $p<0,05$) ja harilik vihmauss (LTER) ($R=-0,891133$, $p<0,05$). Sügisel on fosforiga (P) negatiivses korrelatsioonis arvukus suurel mullaussil (ALON) ($R=-0,927634$, $p<0,05$) ja suure mullaussi juveniilidel (ALON.JUV) ($R=-0,971008$, $p<0,05$). Sügisel on positiivne korrelatsioon kaaliumiga hariliku mullaussi (ACAL) arvukusel ($R=0,885714$, $p<0,05$).



Joonis 23. Vihmaussikoosluste näitajate kanooniline vastavusanaliüs (CCA), kus kolmnurkadena on tähistatud liigid, nooltena keskkonnatingimused ja ringidena on tähistatud proovialad. I ja II telg kaetud vastavalt 49,2% ja 26,8%, koguväärtus 0,339. K ja S nime ees tähistavad vastavalt kevadisi ja sügisei proove. J liiginime järel – juveniilid. Keskkonnategurid: LasTih – lasuvustihedus, P – fosforisisaldus, K – kaaliumisisaldus, Mg – magneesiumisisaldus, C – orgaaniline süsinik, Ca – kaltsiumisisaldus, pH – mulla pH, ÖhuP – õhuga täidetud pooride ruumala, Poorsus – poorsus, TEHN – mullaharimisviis. Proovialad: A – O10, B – k10, C – O3, D – K3, E – O6, F – K6.

3.5. Mullaelustikukoosluste omavahelised seosed

Mullaelustikukoosluste parameetrite alusel arvutasime välja mõned olulised seosed. Sügisene mullaniiskus on positiivses korrelatsioonis piirkondade järjestusega (1 – Põlvamaa, 2 – Valgamaa, 3 – Tartumaa). Vastavalt Spearmani korrelatsioonanalüüsi tulemustele korreleerub endogeilise eluvormi osa koosluses negatiivselt usside biomassiga ruutmeetril ($r = -0,882$, $p < 0,05$), juveniilide osa koosluses on negatiivses korrelatsioonis ühe isendi

keskmise kehamassiga ($r = -0,812$, $p < 0,05$). Hooghännaliste arvukused korreleerusid omavahel ühe põllu kahes erinevas mullakihis ($r = 0,899$, $p < 0,05$).

3.6. Põldude hindamine mullaelustiku parameetrite alusel

Tabelid 14 ja 15 on täidetud seirepõldudel kogutud mullaelustiku andmetega hindamiskaala põhjal (Lisa 2) ja annavad kompleksse hinnangu kogu mullaelustiku kooslusele.

Kõik proovialad said sama hinde nii kevadel kui sügisel – „keskmine“, ainult K3 seisund hinnati halvaks. Kui võrrelda saadud punktide alusel proovialade paare, siis K10 seisund kevadel oli nelja punkti võrra parem, kui O10 tulemus. Sügisel oli selle põldude paari punktisumma võrdne. O3 punktisumma oli nii kevadel kui sügisel kaks korda suurem kui K3 tulemus. O6 tulemus oli nii kevadel kui sügisel ühe punkti võrra suurem kui K6 tulemus.

Tabel 14. Seirepõldude hindamiskaalad, kevad 2015

	O10	K10	O3	K3	O6	K6
Vihmaussid						
Arvukus	3	3	3	1	3	3
Liigiline koosseis	3	3	3	1	3	3
Liikide arv	2	3	3	1	3	3
Dom.liigi osatähtsus	3	2	2	1	2	2
Ökoloogiline struktuur	2	2	2	2	2	2
Mikroobikooslus						
SIR	1	3	3	1	3	3
Hingamine	1	2	2	2	2	2
Hooghännalised						
Arvukus 0-5 cm	1	1	1	1	1	1
Arvukus 5-10 cm	2	1	2	2	1	1
Liikide arv	2	2	2	1	2	2
Dom.liigi osatähtsus	1	3	1	1	2	1
KOKKU	21	25	24	14	24	23
<18 halb						
18...26 keskmine	keskmine	keskmine	keskmine	halb	keskmine	keskmine
>27 hea						

Tabel 15. Seirepõldude hindamiskaalad, sügis 2015

	O10	K10	O3	K3	O6	K6
Vihmaussid						
Arvukus	3	3	2	1	3	3
Liigiline koosseis	3	2	3	1	3	3
Liikide arv	2	2	3	1	3	3
Dom.liigi osatähtsus	3	3	3	1	2	1
Ökoloogiline struktuur	2	2	2	2	2	2
Mikroobikooslus						
SIR	1	3	3	1	3	3
Hingamine	3	3	2	1	2	2
Hooghännalised						
Arvukus 0-5 cm	1	1	1	1	1	1
Arvukus 5-10 cm	1	1	1	1	1	2
Liikide arv	2	2	1	1	2	2
Dom.liigi osatähtsus	3	2	3	1	3	2
KOKKU	24	24	24	12	25	24
<18 halb						
18...26 keskmine	keskmine	keskmine	keskmine	halb	keskmine	keskmine
>27 hea						

4. ARUTELU

Aasta 2015 oli mullaelustikule suhteliselt ebasoodne: Riigi Ilmateenistuse (2015) andmetel oli suvi keskmisest jahedam – suve keskmine õhutemperatuur oli 15,7°C (norm on 16,0°C), samas ka kuivem – keskmine sademete hulk oli 161 mm (norm on 224 mm). Eriti sademetevaene oli august, kui tuli vaid 43% keskmisest sademete normist. Sellistel tingimustel oli tugev limiteeriv mõju mullaelustikule septembri alguses, eriti vihmausside populatsioonidele.

Kevadine mullaniiskus näitab selgelt ära, et otsekülviga põldudel säilib niiskus paremini kui küntud põldudel, sest vee aurustumist mulla pinnalt takistab taimkate (eelmise aasta kõrretüü, alustaimestik ja taimejäänustest multš). Eriti madala niiskusesisaldusega (10,9%) oli prooviaala K3, millel puudus veel taimestik täielikult, kuna oder oli varajases võrsumise faasis. Visuaalsel hindamisel oli K3 muld ka suurema liivasisaldusega: kuna kõikide põldude lõimiseks on saviliiv, mis tähendab savi sisaldust 10-20%, siis sellel põllul võib savisisaldus olla lähemal 10 protsendile. Sügisel oli mullaniiskus ühtlasem, sest kõikidel põldudel oli välja kujunenud taimkate. Sügisel paistis silma madala tulemusega O10, sest Põlvamaal oli eriti sademetevaene periood, aga oder oli juba augustis koristatud. Tartumaa põldudel oli sügisel mullaniiskus tunduvalt kõrgem, sest enne proovide võtmist oli tulnud vihma, mis polnud samas piisav, et mõjutada mullaelustiku, mis kujunes kogu suve jooksul, tulemusi.

Andmetöötuse tulemusena võib väita, et piirkonniti on tulemused erinevad, mis võib olla põhjustatud ka mulla omaduste (poorsus, happesus ning toitainete sisaldused jne.) poolt, mis on mullaelustikule väga suure mõjuga elupaigategurid. Siinkohal tuleb märkida, et prooviaala K10 mullatingimused olid rohkem vastavad vähendatud mullaharimise tehnoloogia tingimustele, sest pikalt künnipõhise harimisega olnud põllul kasvas kolmanda aasta põldhein (kevadele planeeritud künd jäi ära omandisuhete segaduse tõttu). Mullaharimistehnoloogiale lisaks on mullaelustikule oluline mõju ka agrotehnika teistel aspektidel. Seetõttu on põllu O10 kevadine hooghännaliste populatsioon vaene ilmselt seetõttu, et nädal enne proovide võtmist pritsiti põldu glüfosaadiga.

Mulla mikroobikooslus on vastastikusel seoses mullaviljakust määravate omaduste ja protsesside põhilise osaga ning seetõttu on heaks bioindikaatoriks. Mulla huumuse teke on mikrobioloogiline ja biokeemiline protsess. Otsekülvi üheks oluliseks plussiks on paremate tingimuste loomine huumuse tekkeks, kuna orgaanilist ainet ei pöörata mulla alumistesse kihtidesse. Mulla orgaaniline aine koosneb kergesti ja raskesti lagundatavast osast.

Põllumajanduslikust seisukohast on oluline kergesti lagundatava orgaanilise aine kogus mullas, millest kujuneb taimedele kättesaadavate toitainete kogus. Kõikide kõrvuti asuvate põldude puhul oli antud uuringus orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus mulla ülemises kihis (0-10cm) otsekülvil kõrgem kui künnil (tabel 2).

Kuna otsekülvi puhul on mikroobne biomass koondunud mulla ülemisse kümnesentimeetrisesse kihti ja küntud põllul jaotub ühtlaselt künnikihi sügavusel (Collins ja Qualset, 1999), siis on loomulik, et otsekülvipõldude mikroobikoosluse biomassi ja hingamisaktiivsuse näitajad on kõrgemad, sest proovid võeti 0-10 cm sügavuselt. Kevadel oli mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel selgelt kõrgem otsekülvi põldudel (O10, O3 ja O6), sügisel on andmed ühtlasemad. Hindamisskaalalt (Tabelid 14 ja 15) on näha, et kevadised mikroobikoosluse näitajad on madalaimate punktidega hinnatud proovialadel O10 (sügisese väga madala mikroobse biomassi näitaja tõttu) ja K3, sügisel on madalaim hinne põllul K3. Mikroobikooslus saab olla aktiivne, kui on toitaineid ehk kui mullas on väga palju orgaanilist materjali või on mulda rikastatud mineraalväetistega. Kui põllumuldades on mikroobikoosluse aktiivsuse näitajad $>0,600$ mg biomass C/g KA (SIR) ja $>4,500$ mg O²/kg KA*h (hingamine), on põhjust teatud määral häireks – mullas on põllumulla kohta liiga palju toitaineid. Orgaanilise aine lisamine agroökosüsteemi suurendab mikroobide biomassi (Haynes *et al*, 1995). Põllu K3 puhul võib arvata, et pole kasutatud sobivat agrotehnooloogiat: puudus võis olla orgaanilistest toitainetest (sõnnik, taimejäänused), on valitud liiga suur künnisügavus või lausa eksitud pestitsiidide ja mineraalväetiste normidega, sest põllul on mullaelustiku näitajad läbivalt halvimal antud uuringus. Huvitav on märkida, et samal põllul 2013. aastal tehtud uuringus sai see põld seirepõldude hindamisskaala järgi hinde „hea“. Samal aastal saadi aktiivse biomassi tulemuseks põllul O3 0,588 mg biomass C/g KA ja põllul K3 0,579 mg biomass C/g KA (Keskkonnainfo, 2013). 2015. aasta sügisel olid tulemused vastavalt 0,710 mg biomass C/g KA ja 0,168 mg biomass C/g KA, seega K3 seisund on järsult halvenenud, O3 põllul paranenud. Kuna mikroobikooslust mõjutab ka kasvatatav kultuur, oli O3-l kasvanud ristik mikroobikoosluse elutegevust soodustavaks teguriks.

Truu *et al*. 2007 aastal avaldatud Eesti põllumuldade uuringus saadi näivleetunud (kahkjate) muldade (LP – muld) keskmiseks aktiivseks biomassiks sõltumata harimisviisist $0,439 \pm 0,139$ mg C / g KA. Antud uuringus on sellele lähedased küntud põldude näitajad, samas otsekülvi aladel on näitajad märgatavalt kõrgemad (erandiks O10 sügisel), jäädes vahemikku 0,634 – 1,912 mg biomass C/g KA, samas tuleb arvesse võtta, et andmed on kuni kümnesentimeetrise sügavuse kohta.

Hooghännalisi mõjutab maaharimisviis liigiti erinevalt ja tulemusi mõjutab terve tegurite kompleks. Peterseni (2002) Taani uuringus on võrreldud tavaharimist ja minimeeritud harimist, kus ilmnes, et sõltumata harimisviisist oli peale esimest harimist hooghännaliste arvukuses väga kiire vähenemine ülemises 4 cm kihis, kuid sügavamal kui 32 cm ei ilmnenu mingit erinevust kahe harimisviisi vahel. Sellist nähtust seletatakse mulla füüsilise struktuuriga. Samas artiklis on ka viited teistele töödele, kus minimeeritud harimisel (*no-tillage* - ing.k.) on samasugune negatiivne mõju kui tavaharimisel.

Samas mõjutab künd negatiivselt kõige rohkem epiedaafilisi ehk mullapinnal elavaid liike, nagu *Folsomia fimetaria* ja *Isotoma notabilis* (Petersen, 2001), samuti *Protaphorura armata* liiki (Chang *et al.*, 2012). Käesoleva uuringu sügiseste andmete kanooniline analüüs hooghännaliste kohta (joonis 10) kinnitab seda samuti.

Hooghännaliste arvukus ja liikide arv oli 2015. aasta kevadel kõrgem otsekülvipõldudel (O10, O3) (tabel 5), aga sügisel on see kõrgem tavakünni põldudel (K10, K6). Samas põldu K10 ei saa käsitleda tüüpilise tavakünnialana, tavakünnipõllu K3 tulemused on aga tunduvalt väiksemad, kui sama tehnoloogiaga teistel põldudel. Samas liigilise mitmekesisuse näitajad (tabel 8) on nii kevadel kui sügisel kõrgeimad O6 põllul, millel kasvanud põlduba oli kindlasti soodustavaks teguriks (liblikõieline, samas kasutati minimaalselt pestitsiide). Kui võrrelda kõrvuti asuvaid otsekülvi ja küntud põldude paare, siis valdavas enamuses oli liigiline mitmekesisus suurem otsekülvi põldudel ja seda nii 0-5 cm kui 5-10 cm sügavusel. Seega võib arvata, et hooghännalistele on tehnoloogial väiksem ja komplitseeritum mõju kui vihmaussidele. Positiivsed korrelatsioonid mulla harimise tehnoloogiaga on pigem juhuslikku laadi ja esinevad üksikutel liikidel. Hooghännalistele on suurem mõju mullakeskkonna enda omadustel (toitainete sisaldus, pH, lasuvustihedus jm.), samuti agrotehnika aspektidel. Põllu O10 kevadine hooghännaliste populatsioon on vaene ilmselt seetõttu, et nädal enne proovide võtmist teostati põllul glüfosaadiga pritsimist. Agrotehnilistel põhjustel võivad ka K10 tulemused olla eeldatavast kõrgemad, kuna proovialal pole kolm aastat küntud ja tingimused sarnanevad pigem otsekülviga.

Mullaseire 2010. aasta tulemused näitavad, et otsekülv vähendab märgatavalt nii hooghännaliste arvukust kui ka mitmekesisust. Samas tavaviljelus (künnipõhine) võib suurendada hooghännaliste arvukust, kuid mitte mitmekesisust, tõenäoliselt on see tingitud toitainete ja orgaanilise aine olemasolust. (Keskkonnainfo, 2010) Antud uuringu tulemused näitavad, et see ei pruugi nii olla, kui mõjutajateks on ka mullaniiskus, kasvatatav kultuur, väetiste hulk ja taimekaitse režiim.

Kui 2012. aastal, mis oli sademeterohke, võrreldi hooghännaliste keskmist liikide arvu sõltuvalt tootmisviisist ja mullaproovi sügavusest, ilmnes, et otsekülviga proovialadel oli keskmine liikide arv proovikihis 0-5 cm $14,0 \pm 1,0$ ning 5-10 cm proovikihis $11,7 \pm 0,3$ (Keskkonnainfo, 2013). 2015. aasta sügise vastavad tulemused on $9,7 \pm 1,4$ ja $5,7 \pm 1,3$, mis on tunduvalt madalamad ja mille üheks põhjuseks saab pidada väga sademetevaest augustit, mis oli hooghännalistele ebasoodne. Tavapõldudel, kus toimub kündmine, oli keskmine liikide arv sõltuvalt proovikihi sügavusest 2012. aastal järgmine: 0-5 cm proovikihi keskmine liikide arv oli $13,3 \pm 0,7$ ja 5-10 cm proovikihis keskmine liikide arv $13,7 \pm 0,9$ (Keskkonnainfo, 2013). 2015.aastal olid vastavad näitajad $7,7 \pm 1,4$ ja $7,3 \pm 1,3$, mis kinnitab ilmastikust tingitud ebasoodsate tingimuste mõju. Kahe aasta võrdluses jääb samaks asjaolu, et otsekülvi põldudel on hooghännalistele soodsam 0-5 cm sügavune mullakiht, küntud põllul jaotuvad nad aga ühtlaselt kogu kümnesentimeetrise sügavuse ulatuses.

2015. aasta oli sademetevaene, mis vihmausside kasvuks ja paljunemiseks oli ebasoodne. Vihmaussikooslusi iseloomustavad näitajad on esitatud tabelites 9, 10, 11 ja 12. Keskmine arvukus, vihmausside kogumass ja liikide arv oli ilmselgelt parem otsekülviga põldudel. Eriti silmapaistvad olid O6 näitajad, sellel põllul kasvas põlduba, mis on soodne kultuur mullaelustikule ja vajab ka agrokeemiat vähe (või üldse mitte).

Põld K3 eristus kevadel väga väikese vihmausside arvukuse poolest (13,3 isendit ruutmeetril), samas oli sellel põllul ka mullaniiskus, millele vihmaussid on väga tundlikud, märgatavalt madalam, kui teistel proovialadel. Samas oli sügisel palju madalam mullaniiskus võrreldes teiste põldudega O10 põllul, aga vaatamata sellel oli vihmausside arvukus kõrge (156 isendit ruutmeetril) tänu kõrretüü ja alustaimestiku olemasolule. Kevadise vihmausside vähesuse põhjuseks K3 põllul võib pidada veel seda, et polnud moodustunud taimkate, liiva sisaldus on suurem kui ülejäänud põldudel (väga suur mõju vihmaussidele) ja mikroobikoosluse ning hooghännaliste näitajad olid samuti madalad (toiduahelas on vähem lülisid, on häiritud toitainete ringlus). Aastal 2012 (van Capelle *et al.*) tehtud kokkuvõttes Saksamaa uuringute andmebaasidest leiti, et maaviljelusviisi mõju sõltus tugevalt konkreetse mulla omadustest. Nimelt mida suurem oli mulla liivasisaldus, seda väiksem oli maaviljelusviisi mõju mullaelustikule. Liivasemates muldades oli vihmausside keskmine arvukus ruutmeetril küntud põldudel 50 isendit (siin uuringus sügisel 92,0 isendit), mitteküntavatel 80 isendit (siin uuringus sügisel 169 isendit). Euroopa uuringutes esineb tihti madalaid vihmausside arvukusi põllumuldades ilmselt seetõttu, et seal on intensiivsete agrokeemiliste ja muude võtetega muld

kui süsteem tihti rohkem degradeerunud ja liigiliselt vaesunud, Eesti mullad on veel „puhtamad“.

Mullaharimistehnoloogia mõjutab mullaelustikust kõige enam vihmaussikooslust, seejuures on otsekülvi mõju positiivne kõikidele liikidele, aga eriti aneetsilistele (mulla struktuuri ei häirita kündmisega). Vihmaussid, eeskätt *Lumbricus rubellus* ja *Aporrectodea caliginosa*, on otsekülvi põldudel kuni viis korda arvukamad kui küntud põldudel (Doube ja Schmidt, 1998).

Vihmausside biomass oli suurem otsekülvipõldudel. Erinevus tuleneb isendi keskmiselt suuremast kehamassist otsekülvipõldudel ja ka suuremast arvukusest. Otsekülvipõllu kohta on põllul O3 sügisel väike vihmausside arv (58,7 is/m²), kuid samas on kõrgeim ühe isendi mass. Nimelt oli sellel põllul väga suur aneetsiliste liikide osakaal, kelle isendid on märgatavalt suuremad. On loomulik, et aneetsilisi liike on otsekülviga põldudel rohkem, sest ei lõhuta nende urge künniga. Samas 2012. aastal saadi samal põllul vihmausside arvukuseks 150 is/m² ja tegemist oli vihmase ning vihmaussidele väga soodsa aastaga (Keskkonnainfo, 2013). Väga arvuka vihmaussipopulatsiooniga paistab silma põld O6, millel kasvanud põlduba oli soodne kompleksse mullaelustiku kujunemisele. Kõrgem taimestik hoiab ka paremini mullaniiskust.

Eestis on arvatud põllumuldade keskmiseks endogeiliste liikide osakaaluks kogu vihmausside populatsioonist kevadel 88% ja sügisel 89% ja aneetsilistel liikidel kevadel 0%, sügisel 11% (Ivask *et al.*, 2007). Antud uuringus oli küntud põldude endogeiliste liikide osakaalu keskmine suhteliselt lähedane 2007. aasta andmetele, otsekülvi põldude vastav arv oli märgatavalt väiksem, kuna suurem osakaal oli epigeilistel ja aneetsilistel liikidel. Aneetsiliste liikide osatähtsus oli 2007. aasta keskmisest kõrgem otsekülviga põldudel ja märgatavalt madalam küntud põldudel.

Saksamaal kümne aasta andmete kokkuvõttena leiti küntavatel põldudel suur *Aporrectodea caliginosa* osakaal ning oluliselt vähenenud epigeiliste ning aneetsiliste liikide arvukus. Endogeilistele liikidele mõjub hästi künd sellega, et toitained viiakse sügavamale (van Capelle *et al.*, 2012). Märgiti ära epigeiliste liikide vähenenud arvukus mõlema maaharimisviisi puhul. Küntud põldude vihmausside biomass oli tunduvalt väiksem, kui otsekülvi põldudel. (Ernst ja Emmerling, 2009) Samas antud uuringus on epigeilistel liikidel tuntav osakaal otsekülvipõldudel (11,4-50,4%). Kuna epigeiliste liikide hulka kuuluv tume vihmauss on väga tundlik häiringutele, võib arvata, et selle liigi sage esinemine näitab, et kasutatakse mullaelustikku säästvat agrotehnoloogiat. Otsekülvipõldudel on ka epigeilistele liikidele soodne taimkatte/multši olemasolu mullapinnal.

Mullaelustik kompleksse süsteemina oli antud uuringus otsekülvitehnoloogiaga proovialadel kokkuvõttes vähesel määral arvukam ja mitmekesisem ning mikroobikooslus aktiivsem. Vihmaussikooslusi mõjutab maaviljelusviis rohkem, kui hooghännalisi või mikroobikooslust. Siiski on maaviljelusviis võrreldes paljude muude keskkonnatingimustega suhteliselt väikese mõjuga mullaelustikule.

KOKKUVÕTE

Mullaelustiku uuring 2015. aastal antud magistritöö raames kinnitas varasemate maaviljelusviisi mõju uuringute järel dust, et otsekülvi kasutamine tõstab põllumulla kui ökosüsteemi kvaliteeti.

Mikroobikoosluse kogumass ja hingamisaktiivsus sõltub maaviljelusviisist kõige vähem. Kevadel on aktiivsus siiski keskmisena otsekülviga põldudel kõrgem kui küntud aladel, sügiseks kujunevad näitajad rohkem mullas leiduvate (või antavate) toitainete hulga, kasvatatava kultuuri ja teiste keskkonnategurite mõjul.

Otsekülvi rakendamine mõjutab soodsalt kõige enam vihmaussikooslusi, sest kasvab nii vihmausside arvukus kui populatsiooni kogumass ja liigiline mitmekesisus. Otsekülv võimaldab põllumullas elada ka häiringutele tundlikumatel vihmaussiliikidel.

Kõige komplitseeritum mõju on maaviljelusviisil hooghännaliste – mõju on liigiti erinev sõltuvalt liigi elupaigast ja toidu kättesaadavusest, samuti mulla füüsikalistest ja agrokeemilistest omadustest. Otsekülv võib mõjutada hooghännalisi nii positiivselt kui negatiivselt, kuid kevadel on otsekülviga põldude mullas hooghännaliste arvukus kõrgem.

Hooghännaliste ja vihmausside liigiline mitmekesisus on otsekülvi rakendamisel selgelt kõrgem kui küntud põldude mullas.

Esimeseks soovitusena on kindlasti põllumuldade elustiku uurimise jätkamine ja andmebaasi laiendamine, sest erinevate ilmastikutingimustega aastate ja erinevate mullatüüpidega põldude andmestik võimaldab oluliselt täpsemalt analüüsida mulla kui ökosüsteemi seisundit.

Samuti võib soovitada otsekülvi kui mulla ökosüsteemi säästvat ja kaitsvat tehnoloogiat, kui seejuures kasutatakse viljavaheldust, allakülvi teraviljade kasvatamisel ja taimekaitsevahendite kasutamise vähendamist.

Võttes kokku kõik mõõdetud mullaelustiku andmed, leidis kinnitust hüpotees, et otsekülvi tehnoloogia võrreldes künnipõhise tehnoloogiaga loob mullaelustikule soodsamad elamistingimused, suurendab edafoni arvukust ja liigilist mitmekesisust juhul, kui minimeeritakse otsekülviga kaasnevat muldade tihendamist ja kasutatakse taimekaitsevahendite kasutamist vähendavat agrotehnoloogiat.

SUMMARY

Impact of tillage system on abundance and diversity of soil biota

A study of the impact of tillage system on the arable soils health through the condition of soil biota has been carried in Estonia in 2015. Two tillage practices was compared: conventional tillage and non-inverting tillage and was carried out twice – in the spring and in the autumn.

The influence of tillage system has small effect on microbial biomass and activity, but in most of plots, especially in the spring, was observed higher average microbial biomass and activity in the soils of non-tilled fields.

Abundances and species diversity of lumbricids increased significantly in samples from ploughless plots, especially on the legume fields.

Higher mean numbers of Collembola were present in the spring in plots with non-inverting tillage system. Conventional ploughing reduced the collembolan population according to specifics of species and living depth. The species diversity of collembolan populations was observed always higher on ploughless fields.

Was confirmed hypothesis, that non-inverting tillage system has positive effect on arable soils quality by increasing the abundance and the species richness of soil biota, if used to sustainable agricultural practices.

Tänuõnad

Täna oma juhendajaid Mari Ivaskit ja Priit Penu olulise panuse eest minu magistr töö valmimise. Samuti tänan Sander Kuttit, Annely Kuud ja Jane Pedat hindamatu abi eest laboris ja teadmiste jagamisel. Täna oma pereliikmeid toetuse eest magistr töö valmimisprotsessi jooksul.

Kasutatud kirjandus

- Alvela, A.** 2015. Otsekülv levib üha enam. Maaleht 23.04.2015. <http://maaleht.delfi.ee/news/maamajandus/uudised/otsekulv-levib-uha-enam?id=71285435>: 22.03.2016.
- Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E.** 2012. Mullateadus. Õpik kõrgkoolidele. Eesti Maaülikool. Tartu.
- Brennan, A., Fortune, T., Bolger, T.** 2005. Collembola abundances and assemblage structures in conventionally tilled and conservation tillage arable systems. *Pedobiologia* 50 (2006) 135-145. www.sciencedirect.com.
- Capowiez, Y., Samartino, S., Cadoux, S., Bouchant, P., Richard, G., Boizard, H.** 2012. Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biology & Biochemistry*. www.elsevier.com/locate/soilbio.com. 20.03.2016.
- Chang, L., Wu, H., Wu, D., Sun, X.** 2012. Effect of tillage and farming management on Collembola in marsh soils. *Applied Soil Ecology*. www.elsevier.com/locate/apsoil. 20.03.2016.
- Coleman, D.C., Crossley, Jr. D.A., Hendrix, P.F.** 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. Elsevier Academic Press. Athens, Georgia. 386 p.
- Collins, W. W., Qualset, C.O.** 1999. *Biodiversity in Agroecosystems*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 334 p.
- Doube, B.M., Schmidt, O.** 1998. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils? In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. *Biological indicators of soil health*. väljaandja CAB International. UK. 451 p.
- Edesi, L., Järvan, M.** 2013. Mulla mikroobikooslus mahe- ja tavapõllumajanduslikus viljeluses. *Agronoomia* 2013. Jõgeva Sordiaretuse Instituut. Jõgeva. lk. 34-41.
- Eesti Statistikaamet.** 2015. PMS602: Maaharimine. Eesti Statistikaameti andmebaas. http://pub.stat.ee/px-web.2001/Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike_majapidamiste_struktuur/045Tootmismeetodid/045Tootmismeetodid.asp. 20.03.2016.
- Fjellerberg A.** 1980. Identification keys to Norwegian Collembola. *Norsk Entomologisk Forening*. pp.158.
- Gisin, H.** 1960. Collembolenfauna Europas. Hauptkonservator am Naturhistorischen Museum Genf mit 554 Textabbildungen. *Museum D`histoire Naturelle, Geneve*. S 301.
- Graff, O.** 1953. *Die Regenwürmer Deutschland*. Institut für Geologie und Bodenlehre der Landaw. Hochschule Stuttgart-Hohenheim. Verlag M.u.H. Shaper-Hannover. 79 S.
- Gunn, A.** 1992. The use of mustard to estimate earthworm population. *Pedobiologia*. 36: p. 65-67.
- Haynes, R. J., Fraser, P. M., Williams, P. H.** 1995. Earthworm population size and composition, and microbial biomass: Effect — of pastoral and arable management in Canterbury, New Zealand. In: *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity*, Vol 63, p. 279-285.

- House, G.J., Stinner, B.R., Crossley, D.A., Odum, E.P., Longdale, G.W.** 1984. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agrosystems in the southern Piedmont. *J. Soil Water Conserv.* 39: p. 194-200.
- Ivask, M.** 2005. Vihmaussid looduses ja inimese teenistuses – koostöö ja keskkonnasäästlikkus. Rmt: Vissak, P. (koost.) Harmoonia võimalikkus süsteemis inimene-keskkond-ühiskond. AS Ülo Siinmaa Grupp. Tallinn. 304 lk.
- Ivask, M., Koorberg, P., Kuu, A., Truu, J.** 2006. Vihmaussikoosluste parameetrite kasutamine indikaatorina põllumajandusliku keskkonnatoetuse hindamisel. - Rmt.: Kaasaegse ökoloogia probleemid. Loodushoiu majandushoovad. Eesti X Ökoloogiakonverentsi lühiartiklid. Toim. T.Frey. Tartu, lk.51-56.
- Ivask, M., Kuu, A., Sizov, E.** 2007. Abundance of earthworms species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology* 43 (2007) S39-S42. www.elsevier.com/locate/ejsobi. 12.04.2016
- Ivask, M., Kuu, A., Truu, M., Truu, J.** 2006. Mullatüübi ja niiskuse tingimuste mõju põllumuldade vihmaussikooslustele. The effect of soil type and soil moisture on earthworm communities. – *Agraarteadus* 17 (1), lk. 3-11.
- Ivask, M., Sepp, K., Kanger, J.** 2007. Vihmaussikoosluse muutustest mahe- ja tavakülvikorakatsetes. *Agronoomia* 2007. Eesti Maaviljeluse Instituut. Saku. lk. 13-16.
- Keskkonnainfo.** Mullaseire aruanne 2010. http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=1629%3A2010-a. 22.04.2016.
- Keskkonnainfo.** Mullaseire aruanne 2012. http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=3120%3Amullaseire-2013-ii-etapi-vahearuanne. 22.04.2016.
- Keskkonnainfo.** Mullaseire aruanne 2013. http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2895%3Apollumuldade-seire-2012. 22.04.2016.
- Keskkonnaministeerium.** 2009. Kasvuhoonegaaside emissioonid. <http://www.envir.ee/et/kasvuhooneefekt-ja-kasvuhoonegaasid-mis-need>. 22.02.2016.
- Kunz, M., Berner, A., Gattinger, A., Scholberg, J.M., Mäder, P., Pfiffner, L.** 2013. Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. *Pedobiologia – International Journal of Soil Biology*. www.elsevier.de/pedobi. 30.02.2016.
- Kuu, A., Ivask, M.** 2011. Impact of soil phosphorus content on collembola communities. In: International Conference: Protection of agricultural soil against joint stress of natural and anthropogenic factors. Pulawy, Poland.
- Kõlli, R.** 2004. Maakasutustehnoloogia ja mullakaitse ühtsus. *Agronoomia* 2004. Teadustööde kogumik 29. Eesti Põllumajandusülikool. Eesti Maaviljeluse Instituut. Jõgeva Sordiaretuse Instituut. Tartu. Lk. 38-49.
- Kõlli, R., Kauer, K., Köster, T., Noormets, M.** 2005. Looduslikku mulda kaitseb taimkate, põllumulda- ökoloogiliselt otstarbekas tehnoloogia. Teadustööde kogumik 220: *Agronoomia* 2005. EPMÜ põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu. lk. 25-28.
- Luig, J.** 2003. Ülevaade Lahemaa rahvusparki putukate (Insecta) uuringutest ja soovitused edasiseks tegevuseks nende kaitsel ja uurimisel. Aruanne. 65 lk.

- McNeely, J.A., Scherr, S.J.** 2003. Ecoagriculture. Strategies to feed the world and save biodiversity. Island Press. Washington. 324 p.
- Meyer E.** 1996. Methods in soil zoology. Schinner F., Öhlinger R., Kandeler E., Margesin R., (Eds.). Methods in soil Biology, part II. Springer LAB Manual, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, p.313-382.
- Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R.** 1998. Biological indicators of soil health. väljaandja CAB International. UK.
- Paoletti, M. G.** 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. Agriculture, Ecosystems and Environment 74 (1999) p. 137-155.
- Petersen, H.** 2001. Effects of non-inverting deep tillage vs. conventional ploughing on collembolan populations in an organic wheat field. European Journal of Soil Biology 38 (2002) 177-180. www.elsevier.com/locate/ejsobi. 22.03.2016.
- Platen, H., Wirtz, A.** 1999. Application of analysis no 1: Measurement of the respiration activity of soils using the OxiTop® Control measuring system. Basic principles and process characteristic quantities. Wissenschaftlich- Technische Werkstätten GmbH & Co. Germany.
- Reuschenbach, P., Pagga, U., Strotmann, U.** 2003. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. Water Research. 37; 15711582.
- Riigi Ilmateenistus. 2016. eesti ilmastiku andmed. <http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2015/09/suvi2015.png>. 12.05.2015. 22.04.2016.
- Rossner, H, Hännilane, B., Astover, A.** 2012. Erineva maaharimisviisiga taimekasvatustalude energeetiline efektiivsus. Agronoomia 2012. Eesti Maaülikool. Tartu. lk 23-28.
- Shuster, W.D., Subler, S., McCoy, E.L.** 2002. The influence of earthworm community structure on the distribution and movement of solutes in a chisel-tilled soil. Applied Soil Ecology 21 (2002) 159-167. www.elsevier.com/locate/apsoil. 30.03.2016.
- Sparling, G.P.** 1998. Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling as Indicators of Soil Health. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. Biological indicators of soil health. CAB International. UK.
- Timm T.** 1999. Eesti rõngusside (Annelida) määraja. A Guide to the Estonian Annelida. Looduseurija käsiraamatud 1. Eesti Looduseurijate Seltsi väljaanne. Teaduste Akadeemia Kirjastus. Tartu-Tallinn. 208 lk.
- Truu, M., Truu, J., Ivask, M.** 2007. Soil microbiological and biochemical properties for assessing the effect of agricultural management practices in Estonian cultivated soils. Soil Biology. www.elsevier.com/locate/ejsobi: 22.03.2016.
- Tsiafouli, M.A., Thebault, E., Sgardelis, S.P., Rüter, P.C., van der Putten, W.H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F.T., Bardgett, R.D., Brady, M.C., Björnlund, L., Jørgensen H.B., Christensen, S., d'Hertefeldt, T., Hotes, S., Hol, W.H.G., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S.R., Setälä, H., Tzanopoulos, J., Uteseny, K., Pižl, V., Stary, J., Wolters, V., Hedlund, K.** 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. Global Change Biology (2015) 21. p 973-985.
- Чернова Н.М., Стричанова Б.Р.** 1988. Определитель коллембол фауны СССР. Академия наук СССР. Москва. 214 с.

Van Capelle, C., Schrader, S., Brunotte, J. 2012. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil boita – a review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*. www.elsevier.com/locate/ejsobi. 20.03.2016.

Van Straalen, N.M. 1998. Community Structure of Soil Arthropods as a Bioindicator of Soil Health. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. *Biological indicators of soil health*. CAB International. UK. 451 p.

Viil, P., Tamm, K. 2011. Otsekülvi ja künnipõhise teraviljakülvi kulude võrdlus. Teraviljafoorum 2011 (19-22). Eesti Põllumajandus- ja Kaubanduskoda. <http://www.pikk.ee/upload/files/Taimekasvatus/Teraviljafoorum%202011.pdf>. 20.03.2016.

Wallwork, J.A. 1970. *Ecology of Soil Animals*. McGRAW-HILL Publishing Company Limited. Maidenhead, England. 283 p.

Öhlinger, R. 1996. Soil Respiration by titration. In: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., Margesin, R. (Eds.), *Methods in soil biology*; 95-98. Springer-Verlag, Berlin.

Tabel 1. Hooghännaliste nimekiri koos lühenditega

LIIK	LÜHEND
<i>Isotomielle minor</i>	Iso_min
<i>Desoria tigrina</i>	Des_tig
<i>Mesaphorura macrochaeta</i>	Mes mac
<i>Folsomia fimetaria</i>	Fol fim
<i>Parisotoma notabilis</i>	Par_not
<i>Sphaeridia pumilis</i>	Sph pum
<i>Isotomurus palustris</i>	Iso pal
<i>Folsomia spinosa</i>	Fol_spi
<i>Folsomia quadriculata</i>	Fol_qua
<i>Folsomia candida</i>	Fol_can
<i>Metaphorura affinis</i>	Met_aff
<i>Protaphorura armatus</i>	Pro_arm
<i>Tullbergia quadrispina</i>	Tul_qua
<i>Ceratophysella denticulata</i>	Cer_den
<i>Heteromurus nitidus</i>	Het_nit
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	Lep_lan
<i>Sminthurinus aureus</i>	Smi_aur
<i>Willowsia buski</i>	Wil_bus
<i>Isotomurus fucicolus</i>	Iso_fuc
<i>Isotoma viridis</i>	Iso_vir

Tabel 2. Vihmausside liikide nimekiri

Liik	Ladinakeelne nimi
Harilik mullauss	<i>Aporrectodea caliginosa</i>
Roosa mullauss	<i>Aporrectodea rosea</i>
Suur mullauss	<i>Aporrectodea longa</i>
Punane vihmauss	<i>Lumbricus rubellus</i>
Tume vihmauss	<i>Lumbricus castaneus</i>
Harilik vihmauss	<i>Lumbricus terrestris</i>

Tabel 4. Hooghännaliste arvukus proovides liigiti, liikide arv ja koguarvukus kevadel 2015

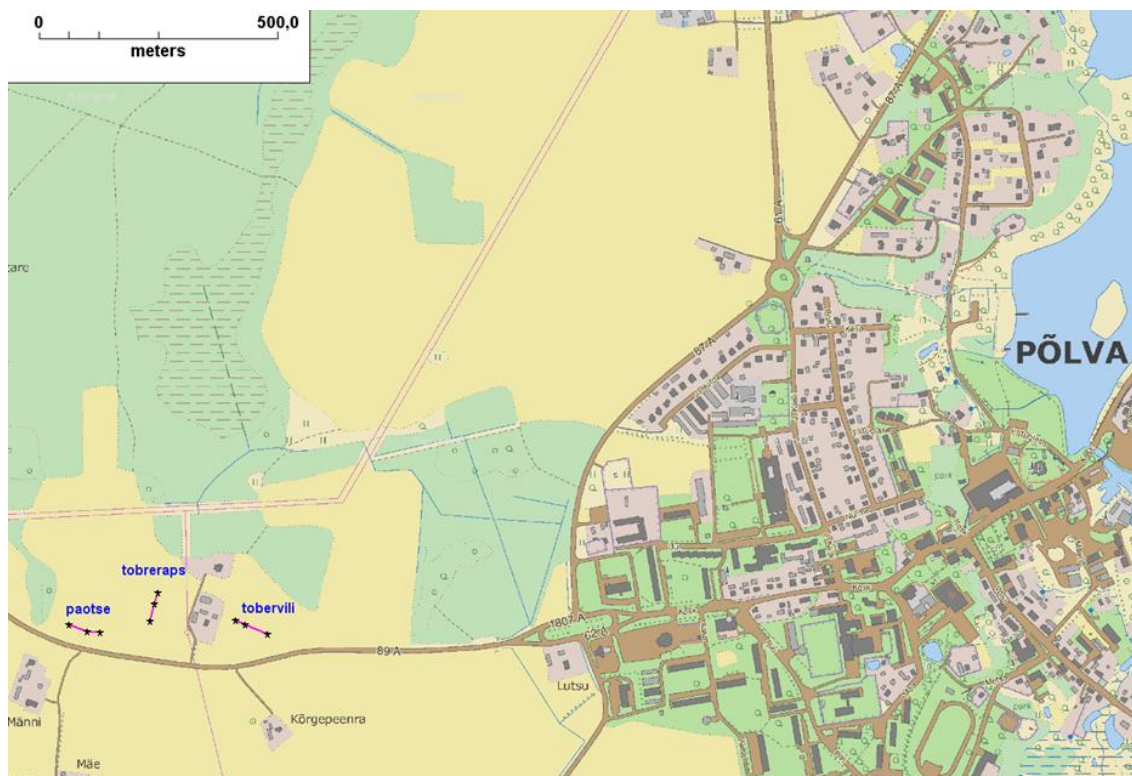
Süg avu s 0 - 5 cm																						
Pro ovi ala	Par not	Tul qua	Pro arm	Me t aff	Cer den	Iso min	Fol can	Lep lan	Me s ma c	Het nit	Fol spi	Iso pal	Fol fim	Des tig	Smi aur	Wil bus	Fol qua	Iso fuc	Sph pu m	Iso vir	N liik e	Arv uku s
O10	12, 8	0,1	0	0,2	0,1	0	1	0,2	0	0	0	0	0,1	0	0,3	0	0	0	0	0	8	14, 8
K10	0,3	0,1	0	1,1	1,5	0,6	0,8	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	8	4,8
O3	1	1,4	0	1,9	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	6	4,8
K3	0,1	0	0	0,2	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	4	7,5
O6	2	0	0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,8	0	0,1	0	0	0,6	0,1	0,8	0,1	0	0	0,1	0,2	13	5,5
K6	16, 2	1,6	0	3,6	6,2	0,8	2,1	1,3	0	0,1	0	0	0,7	0,1	4,2	0,2	0	0	0,1	0,2		
Süg avu s 5- 10 cm																						
Pro ovi ala	Par not	Tul qua	Pro arm	Me t aff	Cer den	Iso min	Fol can	Lep lan	Me s ma c	Het nit	Fol spi	Iso pal	Fol fim	Des tig	Smi aur	Wil bus	Fol qua	Iso fuc	Sph pu m	Iso vir	N liik e	Arv uku s
O10	12, 2	0,1	0	1,3	0	0,5	1,5	0	0,1	0	0	0,1	1,4	0	0,2	0	0	0	0	0	9	17, 4
K10	0,1	2,6	0	0,7	0,4	0,1	0,7	0,1	0	0	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	0	0	9	5
O3	13, 8	0,2	0	5	0	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0,1	0	1,1	0,6	4,6	0,1	0	0	10	26, 1
K3	0	0,1	0	1,8	10, 1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	5	16, 1
O6	0,3	0	0,2	0,1	0	0,2	0,9	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	8	2,7
K6	0	0	0,1	1,9	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0,3	0	0,2	0	0	0	6	2,7

Tabel 5. Hooghännaliste arvukus proovides liigiti, liikide arv ja koguarvukus sügisel 2015

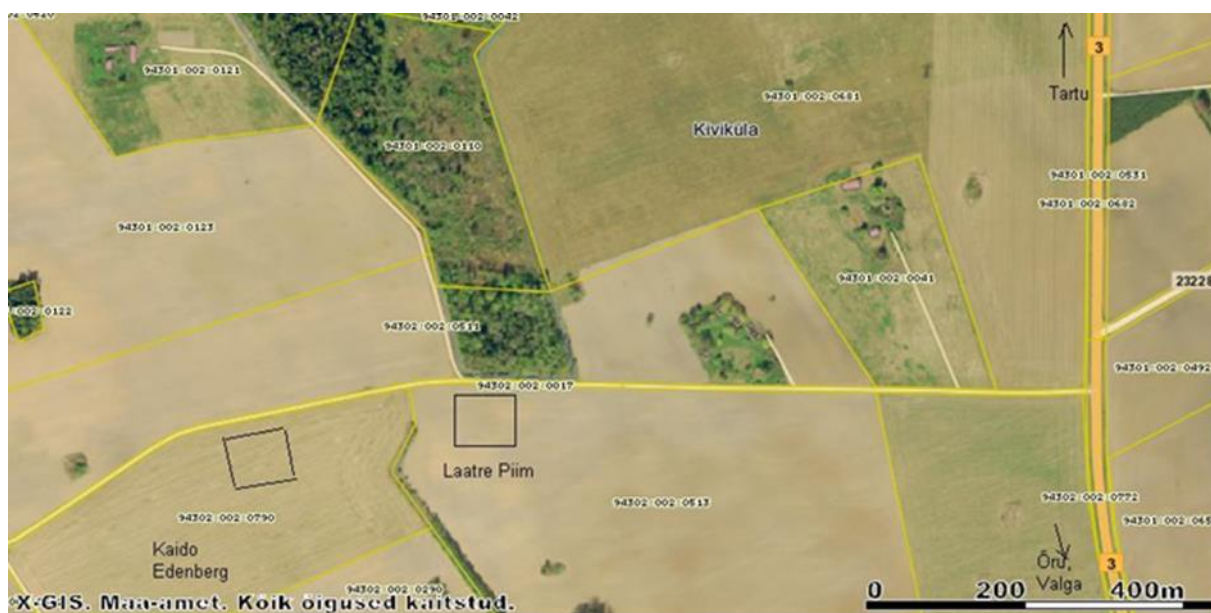
Süga vus 0 - 5 cm																			
Proo viala	Par not	Tul qua	Pro arm	Met aff	Cer den	Iso min	Fol can	Lep lan	Mes mac	Het nit	Fol spi	Iso pal	Fol fim	Des tig	Fol qua	Smi aur	Sph pum	N liike	Arvu kus
O10	1,7	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0	0	14	4,1
K10	0,7	0,2	0,8	1	5,4	0,8	0,5	0,1	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	10	9,8
O3	1,2	0	0,2	0,2	0	0	0	0,4	0	0	0,1	0	0	0	0	0,4	0	6	2,5
K3	0	0	0	0	1,1	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	4	1,6
O6	0,3	0,1	0,5	0,3	0	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0,3	0	0	0,1	0	9	2,5
K6	0,4	0,3	0,5	1,3	1,3	8,5	0,8	0	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	0	9	13,4
Süga vus 5 - 10 cm																			
Proo viala	Par not	Tul qua	Pro arm	Met aff	Cer den	Iso min	Fol can	Lep lan	Mes mac	Het nit	Fol spi	Iso pal	Fol fim	Des tig	Fol qua	Smi aur	Sph pum	N liike	Arvu kus
O10	0,8	0,1	0	0,4	0	0,6	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2,3
K10	0	0,8	0,1	0,3	1,4	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	7	3
O3	0,4	0,4	0	1,1	0	0	0,1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2,5
K3	0,1	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	3	0,5
O6	0,1	0,2	0,3	0,5	0	0,1	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1,5
K6	0,7	0,6	0,5	4,8	0,7	1,6	1,4	0	0,4	0	0,2	0	0,2	0	0,1	0,1	0	12	11,3

Tabel 3. Seirepõldude hindamiskaala

Parameeter	Hindepallid		
	1	2	3
Vihmaussid			
Vihmausside arvukus, isendit m ⁻²	<30	30...100	>100
Vihmaussikoosluse liigiline koosseis	Koosluses vaid liigid <i>Aporrectodea caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> , <i>Lumbricus rubellus</i>	Lisaks eelmistele esinevad koosluses liigid <i>Allolobophora chlorotica</i> , <i>Lumbricus terrestris</i> , <i>Aporrectodea longa</i>	Lisaks eelmistele esineb koosluses liik <i>Lumbricus castaneus</i>
Vihmaussiliikide arv	1...2	3...4	>5
Dominantliigi osatähtsus	>0.86	0.66...0.85	<0.65
Vihmaussikoosluse ökoloogiline struktuur	Ainult endogeilised liigid	Epigeilised ja aneetsilised liigid esindatud	
Mikroorganismid			
SIR – mulla mikroobide aktiivne biomass kaudsel määramisel	<0,200 >0,600	0,200...0,400	0,400...0,600
Mikroorganismide üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel	<1,100 >4,500	1,100...2,000 2,500...4,500	2,000...2,500
Hooghännalised			
Hooghännaliste arvukus 0-5 cm kihis, keskmine isendite arv 10 proovi kohta	<30	30...60	>60
Hooghännaliste arvukus 5-10 cm kihis, keskmine isendite arv 10 proovi kohta	<10	10...30	>30
Liikide arv	<9	10...14	>15
Dominantliigi osatähtsus	>0.55	0.40...0.55	<0.40



Joonis 1. Põlvamaa põldude asukoht. Tobrevili – O10, Paotse – K10



Joonis 2. Valgamaa põldude asukoht. Kaide Edenberg – O3, Laatre Piim – K3



Joonis 3. Tartumaa põldude asukoht. Soone farm – O6, Tartu Agro – K6