



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Patricia Pintsaar

**MULLAELUSTIKU ARVUKUS JA MITMEKESISUS EMÜ POLLI
AIANDUSUURINGUTE KESKUSE MAHE- JA TAVAAIAS**
ABUNDANCE AND DIVERSITY OF SOIL ORGANISMS IN THE ORGANIC
AND CONVENTIONAL GARDENS OF THE EMÜ HORTICULTURAL
RESEARCH CENTER POLLI

Bakalaureusetöö
Aianduse õppekava

Juhendajad: dotsent Annely Kuu, *PhD*

Kersti Kahu, *M.Sc.*

Tartu 2024

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö	
Autor: Patricia Pintsaar		Õppekava: Aiandus	
Pealkiri: Mullaelustiku arvukus ja mitmekesisus EMÜ Polli Aiandusuuringute keskuse mahe- ja tavaaias			
Lehekülgi: 51	Jooniseid: 10	Tabeleid: 6	Lisaid: 2
Osakond / Õppetool: Aianduse osakond Juhendaja(d): Annely Kuu <i>PhD</i> , Kersti Kahu <i>M.Sc.</i> Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2024			
<p>Mullaelustiku uurimine mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaias annab võimaluse analüüsida, kuidas on elusorganismid mõjutatud viljeluseviisist ning keskkonnatingimustest. Antud töö eesmärgiks oli välja selgitada vihmausside ja hooghännaliste arvukus ning mitmekesisus EMÜ Polli Aiandusuuringute keskuse mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaias. Katsed tehti 2022. ja 2023. aasta sügisel, mullakeemia ja mikroobikoosluse analüüsiks võeti mullastiku koondproovid, vihmausside kogumisel kasutati vermifuugi meetodit ja määrati arvukus laboris (isendit/m² kohta), hooghännaliste puhul võeti mullaproovid aedadest transektina ning proovide ekstraheerimise teel määrati arvukus (isendeid/10 proovi kohta). Tulemused näitasid, et vihmausside arvukus ei sõltunud viljelusviisist õunapuuaias, kuna 2022. aasta arvukus oli suurem maheaias ning 2023. aastal aga tavaaias, hooghännaliste arvukus see eest tõusis ühe aasta võrdlusena mõlemas aias. Kuna mõlemad aastad oli keskkonnatingimuste poolest erinevad ning ka väetamisel ja taimekaitsel olid mõlemal aastal erinevused, siis selgeid seoseid mullanäitajate ja elustiku vahel ei ilmnunud, kuid siiski nii mullaniiskus kui ka mulla happesus omasid positiivset mõju eluvormide osatähtsusele. Mullaelustiku arvukuse ja mitmekesisuse uurimisel peab arvestama paljude faktoritega ning pikaajalisemad uurimised on vajalikud, et mõista kindlaid mõjusid vihmausside ja hooghännaliste arvukuse ja mitmekesisuse osas.</p>			
Märksõnad: Vihmaussid, hooghännalised, mikroobikooslus, õunapuuaed			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Patricia Pintsaar		Curriculum: Horticulture	
Title: Abundance and diversity of soil organisms in the organic and conventional gardens of the EMÜ horticultural research center Polli			
Pages: 51	Figures: 10	Tables: 6	Appendixes: 2
Department / Chair: Department of Horticulture Supervisors: Annely Kuu PhD, Kersti Kahu M.Sc. Place and date: Tartu, 2024			
<p>Investigation of soil biota in organic and conventional apple orchards provides insight into the impact of cultivation practices and environmental condition on living organisms. This study aimed to determine the abundance and diversity of earthworms and springtails in the organic and conventional apple orchards at the Estonian University of Life Sciences Polli Horticultural Research Centre. Experiments were conducted in the autumns of 2022 and 2023. Composite soil samples were taken for soil chemistry and microbial community analysis. Earthworms were collected using the vermifuge method, and their abundance was determined in the laboratory (individuals per m²). For springtails, soil samples were taken from transects in the orchards, and their abundance was determined through sample extraction (individuals per 10 samples). Results showed that earthworm abundance did not depend on the cultivation method in the apple orchard; the abundance was higher in the organic orchard in 2022, but higher in the conventional orchard in 2023. However, the abundance of springtails increased in both orchards when comparing the two years. Since environmental conditions and differences in fertilization and plant protection varied between the years, clear correlations between soil parameters and biota were not evident. Nevertheless, both soil moisture and soil acidity had a positive effect on the proportion of life forms. When studying the abundance and diversity of soil biota, many factors must be considered, and long-term studies are necessary to understand the specific effects on the abundance and diversity of earthworms and springtails.</p>			
Keywords: Earthworms, springtails, microbial community, apple orchard			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1. Muld ja selle keemilised ühendid	7
1.2. Mullaelustik	8
1.2.1. Vihmausside roll mullas	10
1.2.2. Hooghännaliste roll mullas.....	12
1.3. Mahe- ja tavaviljelus õunapuuaias.....	14
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	16
2.1. Proovialade valik	16
2.2. Muldade keemiline ja mikrobioloogiline analüüs	18
2.3. Vihmausside kogumine ja analüüs.....	18
2.4. Hooghännaliste kogumine ja analüüs	19
2.5. Ilmastiku andmed.....	20
2.6. Andmeanalüüs.....	20
3. TULEMUSED	21
3.1 Mulla keemiline ja mikrobioloogiline analüüs	21
3.2 Vihmausside arvukus ja mitmekesisus.....	24
3.3 Hooghännaliste arvukus ja mitmekesisus	28
4. ARUTELU.....	32
4.1. Vihmaussikoosluse arvukus ja ökoloogiline mitmekesisus	32
4.2. Hooghännaliste arvukus ja ökoloogiline mitmekesisus.....	35
KOKKUVÕTE	37
KASUTATUD KIRJANDUS	39
LISAD	44
Lisa 1. Hooghännaliste liikide loend	45
Lisa 2. Korrelatsiooni maatriksid.....	47

SISSEJUHATUS

Muld on maakoore pealmine kobe kiht, mis on elusa ja eluta looduse vahelüli ning nende omavahelise koosluse tulemus (Astover *et al.* 2017). Muld koosneb mineraalsest ja orgaanilisest osast ning nende vahele jäävatest pooridest, mis on täidetud kas õhu või veega (Lavelle & Spain, 2001). Orgaaniline osa mullas omab määravat rolli mullastiku füüsilises, keemilises ja bioloogilises viljakuses (Sofa *et al.* 2020). Orgaaniline osa koosneb suuremas osas huumusest (85-95%), taimejäänustest ning elusorganismidest (Astover *et al.* 2017). Elusorganismid mullas jagunevad suuruse alusel erinevatesse rühmadesse: mikrofloora ning makro-, meso- ja mikrofauna (Briones, 2014). Hooghännalisi saab morfoloogiliste, füsioloogiliste ja ökoloogiliste omaduste põhjal jagada erinevatesse eluvormi gruppidesse: epiedaafsed, euedaafsed, hemiedaafsed (Gisin, 1943). Peamiselt tegutsevad nad mullaprofiili ülemises osas ning kõdus (Christiansen *et al.* 2009). Vihmausse saab sõltuvalt nende kaevamisvõime ja toitumisharjumuste alusel jaotada kolme erinevasse ökoloogilisse rühma: epigeilised, endogeilised ja aneetsilised (Paoletti, 1999). Hooghännaliste roll mullas seisneb peamiselt orgaanilise aine lagundamises (Coleman *et al.* 2004) ja vihmausside peamine roll lisaks orgaanilise aine lagundamisele on ka mullaõhustamine ning sellega mullastruktuuri parandamine (Lee, 1985).

Eesti puuviljakasvatuses on õunapuu suurima tootmispotentsiaaliga kultuur ning see on kasvupinnalt ja saagi poolest esirinnas puuviljakultuuride seas (Põllumajandusministeerium, 2015). Tavaviljeluse õunapuuaedasid on Eestis 2022. aasta andmete kohaselt 710 ha (FAOSTAT, n.d.), maheviljeluses on õunapuuaedasid 428,39 ha (Eesti Põllumajandusamet, 2023). Erinevus tava- ja maheviljeluse vahel seisneb selles, et mahetaimekasvatuses ei kasutata sünteetilisi mineraalväetiseid ega pestitsiide ning mullaviljakuse säilitamiseks ja parandamiseks kasutatakse orgaanilisi väetisi (Luik *et al.* 2008).

Mullaelustiku uuring viidi läbi 2022. ja 2023. aasta sügisel. EMÜ Polli Aiandusuuringute keskuse õunapuuaedades uuriti mikroobikoosluse aktiivsust ning hooghännaliste ja

vihmausside arvukust ning mitmekesisust. Andmed koguti nii mahe- kui ka tavaviljeluse õunapuuaiast.

Bakalaureusetöö eesmärkideks on:

- Selgitada välja hooghännaliste ja vihmausside arvukus ja mitmekesisus
- Võrrelda mahe- ja tavaviljeluse mullaelustiku arvukust ja mitmekesisust

Hüpotees: Maheviljeluse õunapuuaias on vihmausside ja hooghännaliste arvukus ja ökoloogiline mitmekesisus suurem kui tavaviljeluse õunapuuaias.

TÄNUAVALDUSED

Töö autor soovib tänada oma juhendajaid. Annely Kuu'd, kes oli kogu töö valmimise käigus toeks nii materjalide leidmisel kui ka tulemuste tõlgendamisel. Kersti Kahu't, kes aitas õunapuuaedade kirjelduse osas materjalidega. Lisaks soovin tänada professor Mari Ivask'it, kes määras vihmaussid liigini.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Muld ja selle keemilised ühendid

Muld koosneb mineraalsetest ja orgaanilistest osakestest ning nende vahele jäävatest pooridest, mis on täidetud kas õhu või veega (Thies & Grossman, 2006). Mineraalse ja orgaanilise osa koostisest ning osakaalust sõltub suuresti mullarežiim ja selle omadused. Mineraalsed osakesed mullas omavad suurt tähtsust taimede toitainete omastamisel, eriti murenemisel tekkinud sekundaarsed mineraalid nt. silikaadid, raudoksiidid, mangaan (Killham, 1994). Orgaaniline osa soodustab mullas mineraalide lagunemist ning ainete migratsiooni, lisaks on see toitainete- ja energiaallikaks paljudele mikroorganismidele (Kalmet *et al.* 1996).

Mullas leiduvad keemilised elemendid on vajalikud taime kasvuks ja arenguks ning igal taimetoiteelemendil on talle omane funktsioon, mida ei ole võimalik asendada mõne teise keemilise elemendiga (Astover *et al.* 2012). Lämmastik, süsinik, fosfor, kaalium, kaltsium ja magneesium on makroelemendid, mida taime vajab suures koguses. Lämmastiku puudusel taime kasv aeglustub ja väheneb klorofüllide arv, mis omakorda mõjutab õite arvukust ja seemnesaaki. Lämmastikuvaegsust saab taimel ära tunda, kui on märgata vanemate lehtede enneaegset kolletumist (toimub lämmastiku reutiliseerumine). Lämmastiku omastamine taime poolt sõltub ka ilmastiku tingimustest, nt. sademeterikkal suvel omastavad taimed lämmastikku paremini kui põuasel suvel (Kalmet *et al.* 1996). Õhus olevat süsinikdioksiidi omastavad taimed lehtedes olevate õhulõhede kaudu, kuid taimed on võimelised CO₂ omastama ka mullaõhust juurte kaudu (Haller & Karmin, 1984). Fosfor kuulub asendamatu elemendina taimede valkude, nukleinhapete, fosfaatide, fütiinide ja kasvuregulaatorite koostisesse ning omab olulist rolli taimekasvuks (Astover *et al.* 2012). Fosforivaeguse puhul pidurdub taimede kasv, mille tõttu pikeneb kasvuperiood ja viljad ei valmi. Tunnusmärgid, et taimel on fosforipuudus: lehed muutuvad sinakasrohelisteks või violetjaks, leheservad

keeruvad üles ja leheroodude juurde tekivad tumedad laigud. Kaalium reguleerib transpiratsiooni ning selle kaudu suurendab taimede põuakindlust, samuti reguleerib redoksprotsesse, hingamist ja fotosünteesi. Lisaks parandab saagi kvaliteeti suurendades puu- ja köögiviljade suhkrusisaldust. Kaaliumi puuduse korral taime kasv pidurdub, väheneb põua-, külma- ja haiguskindlus, tunnuseks on alumiste lehtede kolletumine ja varisemine (Kalmet *et al.* 1996). Kaltsium esineb taimes tema protoplasmas, rakumahlas ja kloroplastides, selle puuduse korral pidurdub taime juurestiku kasv ning on häiritud süsivesikute ja valkude ainevahetus. Magneesium kuulub klorofüllü koostisesse ning seal hõlbustab see fosforhappe assimilatsiooni ja taimede juurte kasvu (Loide, 2008). Taimede magneesiumipuudus pidurdab kasvu ja arengut, saak väheneb ning selle kvaliteet langeb. Selle omapäraseks tunnuseks on kloroos, mis väljendub esmalt vanematel lehtedel.

Mulla üks olulisemaid omadusi on selle reaktsioon, milleks nimetatakse vesinik- ja hüdrosiidioonide teatud kontsentratsiooni mullas (Kalmet *et al.* 1996). Mulla reaktsiooni iseloomustatakse pH-ga ning selle väärtus jääb vahemikku 0 kuni 14, neutraalne reaktsioon on 7, happeline alla 7 ja leeliseline üle 7 (Astover *et al.* 2019). Mikroorganismid reageerivad oluliselt mullareaktsioonile, sest see mõjutab otseselt nende toitumiskeskkonda (Kalmet *et al.* 1996).

1.2. Mullaelustik

Muld, kui elukeskkond, on üks keerukaim ja kiiremini muutuv keskkond maakeral (Thies & Grossman, 2006). Mullas tegutsevad organismid on kohastunud elama vesi- ja õhkkeskkonnas, mille tulemusena on mullaelustik märkimisväärselt mitmekesine (Ivask, 2019). Võttes arvesse mullaelustiku liigirikkust, jaotatakse organismid suuruse alusel mikroflooraks ning makro-, meso- ja mikrofaunaks (Breure, 2004). Makrofaunasse liigitatakse keha suuruse alusel (2 mm-20 mm) vihmaussid (*Lumbricidae*), kakandilised (*Isopoda*), hulkjalgsed (*Myriapoda*) ja väiksemad putukad (*Insecta*), nende roll mullas on struktuuri ja viljakuse parandamine ning orgaanilise aine lagundamine (Sofa *et al.* 2020). Mesofauna alla kuuluvad lestalised (*Acari*), hooghännalised (*Collembola*), harkhännalised (*Diplura*), harusabased (*Symphyla*) ja

valgeliimuklased (*Enchytraeidae*), kelle keha suurus jääb 100 µm ja 2 mm vahele (Briones, 2014). Mesofauna ülesanne on tükeldada taime- ja loomajäänuseid ning nad tekitavad mullas poorsust millega mõjutavad otseselt mullaprotsesside kulgemist (Thies & Grossman, 2006). Mikrofaunasse kuuluvad algloomad (*Protozoa*), nematoodid (*Nematoda*), keriloomad (*Rotifera*) ja loimurid (*Tardigrada*), kelle keha läbimõõt jääb alla 0,2 mm (Ivask, 2019). Oma elutegevusega mõjutab mikrofauna mulla struktuursust ja toitainete ringlust. Mikrofloorasse kuuluvad bakterid (*Bacteria*), seened (*Fungi*), arhed (*Archaea*), vetikad (*Algae*) ja viirused (*Vira*). Need organismide riigid omavad olulist rolli mullaviljakuse tõstmisel orgaanilise aine lagundamise kaudu (Prashar & Shah, 2016).

Toiduvõrgustik mullastikus koosneb paljudest biotilistest faktoritest, mis mõjutavad mullaprotsesse ja omakorda ökosüsteemi funktsioneerimist (Sofa *et al.* 2020). Mida mitmekesisem on toitumisvõrkude osakaal, seda suurem on mulla ökosüsteemi stabiilsus ja häiringutejärgne taastumine. Mullaelustiku tegevuse tulemusena kujuneb toiduvõrgustik, mis tagab põhiliste elementide ringluse surnud orgaanilisest ainest elusorganismideni (Ivask, 2019). Kuid elusorganismide toitumisharjumused mullas on väga erinevad, mõnedel juhtudel on lausa keeruline määrata liike mingile kindlale troofilisele tasemele (Scheu, 2002). Toiduvõrgustikus orgaanilise materjali lagundamisel osalevad paljud mullaorganismid, kuid viimase taseme lagundamist mõjutavad mikroobid. Mikroobid kasutavad süsinikurikast orgaanilist ainet energia ja toitainete allikana (Microbial respiration.. 25.05.24). Mikroobide aktiivsus ja biomass on tugevalt mõjutatud niiskuse tasemest mullas, Serna-Chavez *et al.* (2013) katse tulemus näitas, et vihmametsades oli mikroobide biomass märkimisväärselt suurem kui parasvöötme okasmetsas (Serna-Chavez *et al.* 2013 viidatud DeLuca *et al.* 2019 vahendusel).

Agroökosüsteemides on mullaelustik tugevas mõjutuses sellel alal praktiseerivate majandamisvõtetega: mullaharimine, niisutamine, väetiste ja pestitsiidide kasutamine (Bileva *et al.* 2022).

1.2.1. Vihmausside roll mullas

Vihmausside sugukond (*Lumbricidae*) kuulub väheharjasusside (*Oligochaeta*) alamklassi, rõngusside (*Annelida*) hõimkonda. Vihmaussid paiknevad üle maailma erinevates kohtades, kuid harvemini kõrbes, mägedes ning arktilises kliimas. (Edwards & Bohlen, 1996)

Vihmausside arvukust mõjutab mullatüüp, pH, poorsus ja orgaanilise aine maht mullas (Edwards & Bohlen, 1996). Kuna nende keha koosneb 75-90% ulatuses veest, siis ka niiskuse tase mullas mõjutab nende arvukust. Nad on suutelised vältima ebasoodsates tingimustes olemist, liikudes niiskemale alale või minnes suveunne ehk diapausi (Brown, 1978). Temperatuuripiirid varieeruvad liigiti ning mõndadel liikidel võib esineda ka individuaalset kohastumist, kuid üldiselt on optimaalne temperatuur vihmausside elutegevuseks 0-35 °C vahel (Lee, 1985). Vihmaussid on mullahappesuse osas tundlikud, sobiv pH enamuse vihmausside jaoks on neutraalne (Paoletti, 1999) ja nad on väga tundlikud pestitsiidide suhtes (Edwards & Bohlen, 1996). Gunstone *et al.* (2021) uurimus näitas, et pestitsiidide kasutamine mõjutab vihmausse negatiivselt 78,6% ulatuses kogu testitud parameetritest (Gunstone *et al.* 2021). Vihmaussid toimivad mullas bioindikaatoritena, nende abil saame hinnata mullakvaliteeti, kuna nad on oluline osa mullasüsteemist ja on laialdaselt levinud ning kergesti kogutavad (Fründ *et al.* 2010). Samuti on nad kohanemisvõimelised viljelusviisidele ja seetõttu saab neid kasutada mulla tervise bioindikaatoritena (Ahmed & Al-Mutairi, 2022).

Vihmaussid on jagatud kolme erinevasse ökoloogilisse rühma sõltuvalt nende kaevamisvõime, toitumisharjumuste ning keha värvi, suuruse ja kuju põhjal (Paoletti, 1999).

1. Epigeilised liigid on tugevalt pigmenteerunud kehavärvusega (Briones, 2014) ning nende kehapikkus jääb 1-5 cm vahele (Jeffery *et al.* 2010). Pindaktiivsed, st. nad tegutsevad ainult mulla ülemises mineraalses kihis (Edwards & Bohlen, 1996) ja toituvad seal asuvatest taimejäänustest, mille nad tükeldavad ning väljehedete näol mullaga segavad (Ivask, 2019). Nad on tundlikud taimekaitsevahenditele ning väetistele (Chatelain & Mathieu, 2017). Epigeilised vihmaussid on põllumajandusetegevuse suhtes kõike tundlikumad liigid (Ivask *et al.* 2008). Sellese gruppi kuuluvad kaheksakant-kõduuss (*Dendrobaena octaedra*), tume vihmauss (*Lumbricus castaneus*), harilik sõnnikuuss (*Eisenia foetida*) (Jeffery *et al.* 2010) ja punane vihmauss (*Lumbricus rubellus*) (Paoletti, 1999).

2. Endogeilised liigid on keskmise pikkusega (1-20 cm), enamasti kahvatu kehavärvusega (Briones, 2014). Tegutsevad mulla ülemises osas, kus leidub piisavalt orgaanilist ainet elutegevuseks (Ivask, 2019). Nad tekitavad mulla mineraalsesse osasse ajutisi horisontaalseid käike (Blouin *et al.* 2013), mille nad täidavad enda väljaheidete ehk koproliitidega (Jeffery *et al.* 2010). Nende väljaheidetel on oluliseks substraadiks mullabakteritele ning sobivaks keskkonnaks taimejuurtele (Ivask, 2019). Endogeiliste liikide hulka kuuluvad roheline mullauss (*Allolobophora chlorotica*), harilik mullauss (*Allolobophora caliginosa*), roosa mullauss (*Allolobophora rosea*) (Paoletti, 1999).

3. Aneetsilised liigid on vihmaussidest tavaliselt kõige pikemad (kehapikkus vahemikus 10-110 cm) (Jeffery *et al.* 2010) ja tugevalt pigmenteerunud kehavärvusega (Briones, 2014). Aneetsilised liigid moodustavad mullas suuri, püsivaid vertikaalseid urge. Kui mullas on kõrgem niiskuse tase (Paoletti, 1999), tavaliselt öösel, siis liiguvad aneetsilised vihmaussid mulla ülemisse kihti, et taimejäänuseid kätte saada (Jeffery *et al.* 2010). Sellise käitumise kaudu viivad nad mulla alumistesse kihtidesse väärtuslikku orgaanilist ainet (Paoletti, 1999). Aneetsilised liigid on näiteks suur mullauss (*Aporrectodea longa*) ja harilik vihmauss (*Lumbricus terrestris*) (Jeffery *et al.* 2010).

Eestis on Timmi (1999) määraja alusel leitud 13 vihmaussiliiki (Ivask, 2010):

- Harilik mullauss (*Aporrectodea caliginosa*) (Savigny, 1826)
- Roosa mullauss (*Aporrectodea rosea*) (Savigny, 1826)
- Roheline mullauss (*Allolobophora chlorotica*) (Savigny, 1826)
- Sinakas soouss (*Octolasion cyaneum*) (Savigny, 1826)
- Piimjas soouss (*Octolasion lacteum*) (Örley, 1881)
- Punane vihmauss (*Lumbricus rubellus*) (Hoffmeister, 1843)
- Nelikant-kaldauss (*Eiseniella tetraedra*) (Savigny, 1826)
- Tume vihmauss (*Lumbricus castaneus*) (Savigny, 1826)
- Harilik sõnniku-uss (*Eisenia foetida*) (Savigny, 1826)
- Kaheksakant-kõduuss (*Dendrobaena octaedra*) (Savigny, 1826)
- Peen kõduuss (*Dendrodrilus rubidus*) (Savigny, 1826)
- Harilik vihmauss (*Lumbricus terrestris*) (Linnaeus, 1758)
- Suur mullauss (*Aporrectodea longa*) (Ude, 1885)

Hole *et al.* (2005) uurisid mahepõllumajanduse mõju vihmausside arvukusele mullas. Tulemused näitasid, et maheviljeluse korral on vihmausside arvukus ja biomass suurem, võrreldes tavaviljelusega. Seda katse tulemust toetavad ka Curry *et al.* (2002) uurimised, mis näitasid, et vihmausside arvukus langes intensiivse maaharimise tõttu. Khalaf El-Duweini ja Ghabbour (1965) ning Ghabbour ja Shakir (1982) katsed Egiptuse põllumajandusmuldades näitasid tugevat positiivset korrelatsiooni ($P > 0,01$) vihmausside arvukuse, biomassi ning mulla orgaanilise aine sisalduse vahel. Vihmausside mitmekesisust, arvukust ja biomassi õunapuuaias võivad parandada erinevad multšimismeetodid (rohukamara lõikus, hakkepuidu lisamine), võrreldes tavalise mullapinnasega (Kuhle 1983 viidatud: Paoletti, 1999 vahendusel).

Eesti kontekstis on vihmausside arvukust ja mitmekesisust uurinud Ivask *et al.* (2006). Uuriti vihmausside arvukust ja mitmekesisust kolmes erinevas põllumuldade tüübis: näivleeturud muld, rähkmuld ja pruunmuld. Tulemused näitasid, et mullaniiskus mõjutab vihmausside arvukust rohkem kui mullatüüp; ökoloogiline ja liigiline struktuur ei ole mulla niiskusest nii tugevalt mõjutatud.

1.2.2. Hooghännaliste roll mullas

Hooghännalised (*Collembola*) on lüljalgsete hõimkonda (*Arthropoda*), kuusjalgsete alamhõimkonda (*Hexapoda*) kuuluvad loomad (Hopkin, 1997). Hooghännalised on jaotatud suguluse alusel nelja erinevasse seltsi: *Entomobryomorpha*, *Poduromorpha*, *Symphyleona* ja *Neelipleona* (Checklist of the Collembola: Collembola, *n.d.*). Järgides Gisini (1943) juhiseid, võib hooghännalisi jagada eluvormi gruppidesse, mis põhinevad morfoloogilistel ning erinevatel füsioloogilistel ja ökoloogilistel omadustel. Nendeks gruppideks on:

- epiedaafsed, leitavad mulla pinnal ja lehekatte kihis, see eluvorm on vastupanuvõimeline niiskuse kõikumise osas
- euedaafsed, mullaprofiili sees kus on stabiilsemad elutingimused, kuid leidub ka vähem orgaanilist ainet, millest toituda

- hemiedaafsetel hooghännalistel on morfoloogilised ja füsioloogilised omadused, mis on seotud eelpoolmainitud kahe grupiga, eelistatult elavad varises (Lavelle & Spain, 2001).

Hooghännalised on levinud suures osas üle maailma, ainukesed kohad, kus neid ei leidu, on ookeanid ning suurte järvede sügavustes (Christiansen *et al.* 2009). Hooghännalised on muldades väga arvukad ning keskkonnatingimuste suhtes on liigiti erinevad nõuded (Brown, 1978). Enamasti elavad nad mulla pealmises pinnases ning kõdus. Kuid on ka liike, kes tegutsevad kuni 1,5 m sügavusel mullas (Hopkin, 1997). Hooghännalised toituvad bakteritest, seentest ja lagunevast taimestikust ning oma mitmekesise toidulaua valiku tõttu reguleerivad nad mullas mikrobioomi populatsiooni dünaamikat (Rusek, 1998). Seenehüüfidest toituvatel liikidel on tähtis panus orgaanilise materjali lagundamise protsessis, mis omakorda mõjutab toitainete ringlust ja kättesaadavust taimedele (Coleman *et al.* 2004). Nende esinemine mullas aitab kaasa lämmastiku mineraliseerumisele, mullahingamisele, lahustunud orgaanilise süsiniku leostumisele ning taimekasvule. Arvukus mullas sõltub peamiselt abiootilistest teguritest (Christiansen *et al.* 2009) nagu näiteks mullatüüp, niiskusesisaldus ja pooride suurus mullas (Brown, 1978). Islam *et al.* (2018) katse tulemus näitas positiivset korrelatsiooni ($R=0,622$) hooghännaliste arvukuse ja temperatuuri suhtes. Hooghännaliste arvukus mullas sõltub ka väetamisviisist, Pommeresche *et al.* (2017) katsest selgus, et 40 t ha⁻¹ sõnnikuga väetamisel oli negatiivne tagajärg hooghännaliste arvukusele. Katse tulemus näitas ka, et seitse nädalat pärast väetamist oli hooghännaliste arvukusest alles vaid 54%. Väetamata katselapil püsis arvukus stabiilne kogu katseperioodil (Pommeresche *et al.* 2017). Seda katset kinnitab ka Gunstone *et al.* (2021) uurimus, mis näitas, et pestitsiididega väetamine mõjutas hooghännalisi negatiivselt 72% ulatuses kogu testitud parameetridest (Gunstone *et al.* 2021). Hooghännaliste arvukuse tõstmiseks on sobilik multšimine - 2023. aastal tehtud uuringust Boklova *et al.* poolt leiti, et multši kasutamine aitab suurendada hooghännaliste arvukust. Katses kasutati ≥ 8 t/ha multši ning selline kogus muudab ka hemiedaafilise eluviisiga hooghännaliste struktuuri ja arvukust mullas (Boklova *et al.* 2023). Hooghännalised on head indikaatorid, kuna nende arvukus mullas on suur ja nad on vahetus kontaktis mullaga, mida inditseerivad (Ivask & Kuu, 2010).

1.3. Mahe- ja tavaviljelus õunapuuaias

Õunapuud on Eesti puuviljakasvatuses kasvupinnalt ja saagikuselt suurima tootmispotentsiaaliga kultuur (Põllumajandusministeerium, 2015). Viljapuude kasvu ja saagikust mõjutavad paljud tegurid: kliima, muld, kastmine, sordid, võrahooldus, väetamine, taimehaigused ja kahjurid (Herrera, 2001).

Mahe- ja tavaviljelus on kaks erinevat põllumajanduse valdkonda (Drinkwater *et al.* 1995). Mahe- ehk ökoloogiline põllumajandus on tootmisviis, kus käitatakse kooskõlas loodusega, mitte looduse arvelt (Luik *et al.* 2008). Maheviljeluses ei kasutata sünteetilisi mineraalväetisi ega pestitsiide. Tavaviljeluses on aga kasutusel sünteetilised väetised ja pestitsiidid, mis on seadusega kooskõlastatud ning Põllumajandusameti registrisse kantud. Kuna sünteetiliste herbitsiidide ja pestitsiidide kasutamine tavaviljeluses on lubatud, siis on oluline mainida, et mullaelustik on otseselt mõjutatud sellest (Wall & Bardgett, 2012). Gunstone *et al.* (2021) artikkel andis ülevaate, et pestitsiidide kasutamine mõjutas negatiivselt mullaorganisme 70,5% ulatuses kogu 394-st läbi viidud katsest, mida analüüsi (Gunstone *et al.* 2021).

Maheviljeluses on fookus peamiselt ennetamisel - sobivad külvikorrad, haiguskindlamad sordid ja biotõrje (Kahu, 2012). Mahetaimekasvatuses kasutatakse toitaine lisamiseks mulda orgaanilisi ning mahetootmisse sobivaid väetisi (Luik *et al.* 2008). Õunapuud on pikaajalised kultuurid (kuni 20 aastat) ning nende puhul klassikalisi külvikordi rakendada ei saa, küll aga saab ökoloogilise tasakaalu säilitamiseks kasutada lisaks orgaanilistele väetistele haljasväetiseid ja multše (Kahu, 2012). Chung & Lee (2008) poolt tehtud katsest selgus, et maheviljeluse mullastikus väetamisel kompostiga suudeti säilitada kõrgemaid orgaanilise aine ja lämmastiku tasemeid võrreldes tavaviljeluse õunapuuaedades. Positiivseid tulemusi maheviljelusest näitas ka Cen *et al.* (2020) katse tulemus, kus maheviljeluse korral tõusis mullas orgaanilise süsiniku, lämmastiku, fosfori ja kaaliumi sisaldus ning saagikus maheaias oli 30% suurem kui tavaaias. Tulenevalt saagikusest ja kulutustest õunapuuaedades oli maheviljeluse õunapuuaia kasum 504% suurem kui tavaviljeluse aiast (Cen *et al.* 2020).

Õunapuud ei ole mullastiku reaktsiooni osas eriti nõudlikud, kuid optimaalne pH jääb vahemikku 6,0 kuni 7,0 (Kalmet *et al.* 1996). Toiteelementide vajadus sõltub istandiku

vanusest (Tabel 1), Pollis jäävad katsesse võetud mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaiad 12...20 vanuse vahele, seega nende nõuded NPK-le on 8:3:7.

Tabel 1. Toiteelementide vajadus kandeealises viljapuuaias, g/m² (Kalmet *et al.* 1996)

Viljapuu vanus, a	Seemneviljalised		
	N	P	K
8..12	6	2	5
12..20	8	3	7
> 20	12	4	10

Õunapuude saagikus sõltub suuresti aiandi majandamisest, seega on oluline analüüsida kõiki faktoreid, mis võivad parandada saagikust ja nende faktoritega tuleb arvestada juba enne aia rajamist (Warren & Shaw, 1991). Õunapuud on pikaalised (kuni 20 aastat) ning sobivad tingimused kasvukohas on määravaks saagikusele ja viljapuude vastupidavusele (Kahu & Luik, 2019). Maa ettevalmistamine hõlmab mulla juurumbrohtudest puhastamist maa harimise ja sobivate eelkultuuride kasvatamisega. Enne istandiku rajamist on vajalik teostada ka mullaanalüüsid, et hinnata taimetoitainete sisaldust mullas. Aia rajamisel tuleb arvestada ka erinevate biotiliste faktoritega (Avdiu *et al.* 2023). Haiguskindlamate sortide valik aitab ennetada erinevate taimehaiguste levimist (Kahu & Luik, 2019). Kärntõvele ja puuviljamädanikule vähem vastuvõtlikumad sordid maandavad vajadust teostada pidevat taimekaitset. Biotiliste faktoritena on õunapuuaias ka saagi kahjustajatena taimekahjurid. Õunasaagi üheks ohtlikumaks kahjuriks on õunamähkuri röövikud (õunauss), kelle kahjustuse tagajärjel muutuvad viljad vastuvõtlikumaks seenhaigustele (Kahu & Luik, 2019).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Proovialade valik

Proovialad valiti välja koostöös Eesti Maaülikooli Polli aiandusuuringute keskusega, mis asub Viljandi maakonnas. Mullaproovid ja mullaelustiku proovid koguti 13.09.2022 ja 04.10.2023. Proovialadeks valiti maheaed (kaardil tähistatud B- XY: 6444774.89, 590762.87) ja tavaaed (kaardil tähistatud A- XY: 6444391.67, 591000.91). Mõlemas õunapuuaias on mullastikuliik kahkjäs leetunud muld (LP).



Kaart 1. Mahe- ja tavaõunapuu aed Pollis (Maa-amet) Lühendite seletused: A- tavaaed (XY: 6444391.67, 591000.91), B- maheaed (XY: 6444774.89, 590762.87)

Eesti Maaülikooli aiandusuuringute keskus asuv Polli maheviljeluse õunapuuaias rajati 2008. aastal ja tavaviljeluse aed 2010. aastal (istutuskeem mõlemas aias 3x4 m).

Sordid, mida kasvatatakse tava- ja maheviljeluse õunapuuaias Polli Aiandusuuringute keskus: 'Krista', 'Liivika', 'Katre', 'Alesja'. Kõik sordid peale 'Alesja' on aretatud Eesti Maaülikooli Pollis.

Viljapuuadade hooldustööde alla kuulub reavahede niitmine vegetatsiooniperioodil vastavalt vajadusele 3-4 korda ja võraaluste trimmerdamine 2 korda. Võraaluseid ka freesitakse 3-5 cm sügavuselt kevadel ja sügisel, et juuri õhustada. Igal kevadel toimub võrade hoolduslõikus, oksad reavahedes purustatakse tasandusniidukiga ja saadud hake jääb reavahedesse.

Väetamise ja taimekaitse info on saadaval Tabelis 2. Siinkohal tuleb märkida, et 2023. aastal väetist ja taimekaitset tavaviljeluse õunapuuaias ei antud, kuna need aiad on isemajandamise all ning saagist saadud tulu peab katma kõik kulutused. Aga kuna 2023. aasta kevadel olid külmakahjustused ja õied hävisid mille tõttu ka saak puudus, siis ei tehtud lisakulutusi õunapuuaeda ning keskenduti ainult kõige vajalikumatele hooldustöödele. Samuti ei kasutatud 2023. aastal leheväetisi (Tabel 2) nii mahe- kui tavaaias, kuna kevadiste öökülmade tõttu saak puudus ning sellest tulenevalt polnud mõistlik kulutusi õunapuuadades teha.

Tabel 2. Väetamine ja taimekaitse EMÜ Polli Aiandusuuringute keskuse õunapuuadades

Prooviala	2022	2023
Maheaed	Väetamine: FERTIPLUS NPK 4-2-10 +1 MgO Taimekaitse: Neemazal, VitaLaSol Gold, Amalgerol Essente, Roheline seep	Ökoväetis MONTERRA 10-7-1 Neemazal
Tavaaed	Väetamine: mineraalväetis N34 Taimekaitse: Decis Mega, Teppeki, Chorus 50 WG, Difcor 250 EC	Ei antud Ei tehtud

2.2. Muldade keemiline ja mikrobioloogiline analüüs

Maheaiast ja tavaaiast võeti mullapuoriga (\emptyset 5 cm) koondproov, millest määrati mikroobikoosluse hingamisaktiivsus ja biomass TTÜ Tartu Kolledžis. Hingamisaktiivsuse määramiseks kasutati WTW OxiTop® manomeetrilist mõõtmisüsteemi ning mikroobide biomass määrati substraadi poolt indutseeritud hingamise alusel (Platen, Wirtz, 1999; Reuschenbach *et al.* 2003). Mulla koondproovist määrati EMÜ Mullateaduse õppetooli keemialaboris üldlämmastik Kjeldahli meetodil (Procedures for soil analysis 2002) ning liikuvad fosfor, kaalium, kaltsium ja magneesium Mehlich-3 meetodil (Mehlich-3 extraction protocol 2016). Orgaaniline süsinik määrati kuivpõletusmeetodil elementanalüsaatoril varioMAX CNS (Dumas meetod) ja mulla pH määrati 1M KCl lahusest (1:2,5) pH-meetriga.

2.3. Vihmausside kogumine ja analüüs

Vihmausside kogumiseks kasutati sinepipulbri lahuse meetodit (Gunn, 1992). Vermifuugina kasutati sinepipulbri 15%-lahust (toimeaine allüülsotiotsüanaat AITC). Maheaias ja tavaaias tehti kolm prooviruutu, suurustega 50x50 cm. Prooviruudult eemaldati suurem taimestik ja mullapinda töödeldi sinepipulbri lahusega (Joonis 1). Maapinnale väljunud vihmaussid koguti plastmasskarpi, EMÜ Mullateaduse laboris pesti, loendati, kaaluti ning seejärel määrati liigini professor Mari Ivaski (EMÜ, TTÜ Tartu Kolledž) poolt, kasutades Timm (1999) määrajat.

Vihmausside arvukus ja biomass arvatati ühe transekti proovilappide keskmisena 1m² maapinna kohta.



Joonis 1. Vihmausside kogumine sinepipulbri lahuse meetodil (Allikas: Erakogu)

2.4. Hooghännaliste kogumine ja analüüs

Hooghännaliste mullaproovid võeti transektina maheaiast ja tavaaiast. Proovide võtmisel jälgiti, et transekt kataks kogu prooviala, kulgedes risti läbi maheaia ja tavaaia. Mullaproov võeti mullapuuriga (\varnothing 5 cm) sügavuselt 0-10 cm, kokku võeti ühest proovikohast 10 mullaproovi. Proovide ekstraheerimisel kasutati Tullgreni lehtrit (Tullgren funnels) (Coleman *et al.* 2004). Mullaproovid pandi valgustuse alla metallsõela peale ning hooghännalised koguti proovipudelis, mis oli täidetud etanooliga. Mullaproove hoiti valgustuse all 48 h. Liikide määramiseks kasutati määrajaid Fjellerberg (1980), Fjellerberg (1998) ja Hopkin (2007).

2.5. Ilmastiku andmed

Mõlema aasta sademete ja temperatuuride andmed (Tabel 3) pärinevad keskkonnaagentuuri kodulehelt, Viljandi meteoroloogia mõõtejaamast, mis asub Polli Aiandusuuringute keskusest ca 35 km kaugusel.

Tabel 3. Kahe aasta ilmastiku andmed (Keskkonnaagentuur)

	Sademete summa, mm	Suhteline õhuniiskus, %	Õhutemperatuur, °C
2022	585	79,1±15,02	6,9±7,52
2023	745	79,2±15,63	7,0±8,00

2.6. Andmeanalüüs

Andmete töötlemisel arvutati rühmade keskmised väärtused ning keskmiste aritmeetilised vead (\pm SE), lisaks töödeldi andmed programmide Excel, PC-ORD, CANOCO 4.52 ja STATISTICA 8.0 abil, kasutati parameetrilist korrelatsioonanalüüsi meetodit.

3. TULEMUSED

3.1 Mulla keemiline ja mikrobioloogiline analüüs

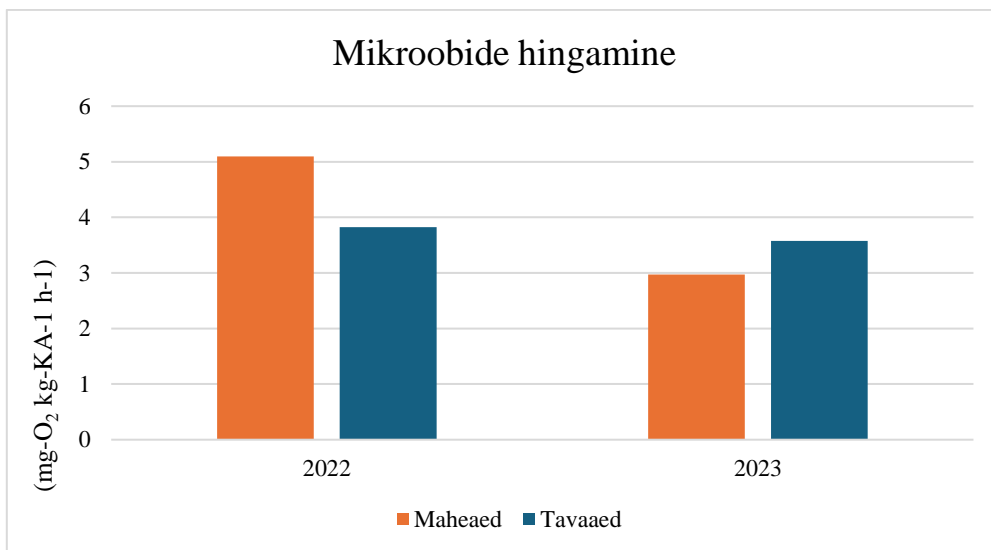
Tabelis 4 on toodud Polli mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaia 2022. ja 2023. aasta mullastiku happesus (pH), lämmastiku (N) ja süsiniku (C) sisaldus (%). Tabelis on toodud ka fosfori (P), kaaliumi (K), kaltsiumi (Ca) ja magneesiumi (Mg) sisaldus mullas (mg/kg).

Kahe aasta võrdlusena on märkimisväärne muutus toimunud tavaaias kaaliumi ja kaltsiumi sisalduses. Ühe aasta võrdlusena langes kaaliumi tase 53 mg/kg võrra. Kaltsiumi tase tõusis 2023. aastal 78 mg/kg võrra. Mullastiku pH_{KCL} reaktsioon on mõlema aasta katsete tulemusena tavaaias nõrgalt happeline. Maheaias suurenes kaltsiumi sisaldus 2023. aastal 270 mg/kg võrra ning kaaliumi sisaldus langes 54 mg/kg võrra. Mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaedade mullastiku keemilise analüüside võrdlusena saab välja tuua erinevuse mulla reaktsioonis. Maheaias on pH mõõdukalt happeline ja tavaaias on pH nõrgalt happeline. Fosfori ja kaltsiumi sisaldus on mõlemal aastal olnud suurem maheaias. Kaaliumi ja magneesiumi tase on mahe- ja tavaaias olnud võrdlusena samal tasemel (Tabel 4).

Tabel 4. Mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaedade mullastiku keemilise analüüsi tulemused.

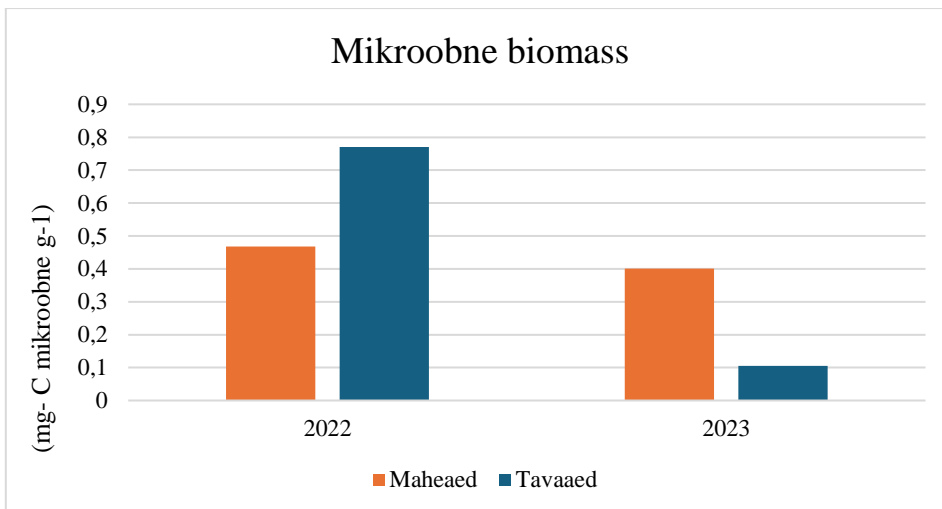
	pH(KCl)	N%	C%	P	K	Ca	Mg
Polli mahe 2022	5,84	0,13	1,50	157	178	1080	90
Polli mahe 2023	6,27	0,11	1,36	162	124	1350	88
Polli tava 2022	4,94	0,12	1,42	105	179	807	80
Polli tava 2023	5,24	0,11	1,37	95	1226	885	83

Joonis 2. iseloomustab mikroobikoosluse üldist aktiivsust hingamisaktiivsuse alusel (BA). Suurim hingamisaktiivsus (5,095) oli 2022. aastal maheaias ning madalaim (2,970) 2023. aastal maheaias. Tavaaias on kahe aasta võrdlusena püsinud mikroobide hingamine samal tasemel, olles 2022. aastal 3,824 mg-O₂ kg-KA-1 h-1 ja 2023. aastal 3,578 mg-O₂ kg-KA-1 h-1 (Joonis 1).



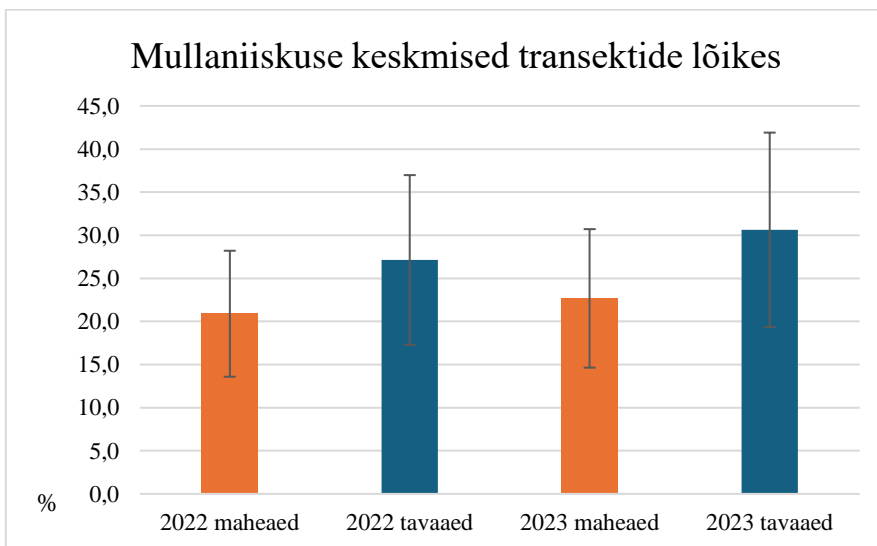
Joonis 2. Mikroobikoosluse üldine hingamisaktiivsus

Mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil on esitatud joonisel 3. Kahe aasta võrdlusena on langenud märkimisväärselt mikroobne biomass tavaaias 2023. aastal (0,106 mg-Cmikroobne g-1). Maheviljeluse õunapuuaias on biomass püsinud stabiilne, 2022. aastal 0,468 mg-Cmikroobne g-1 ja 2023. aastal 0,401 mg-Cmikroobne g-1.



Joonis 3. Mulla mikroobide aktiivne biomass (mg-Cmikroobne g-1) substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil

Mullaniiskuse (%) aritmeetilised keskmised koos keskmiste näitajatega (\pm SE) on välja toodud Joonisel 4. Maheaias on mõlemal aastal olnud mullaniiskus 20-22% juures, samal ajal on aga tavaaias mullaniiskus olnud 27-30% vahel.



Joonis 4. Mullaniiskuse keskmised transektide lõikes 2022. ja 2023. aastal mahe- ja tavaaias

3.2 Vihmausside arvukus ja mitmekesisus

Pollis tehtud katsete tulemusena leiti mahe- ja tavaaias kokku kuus erinevat liiki vihmausse;

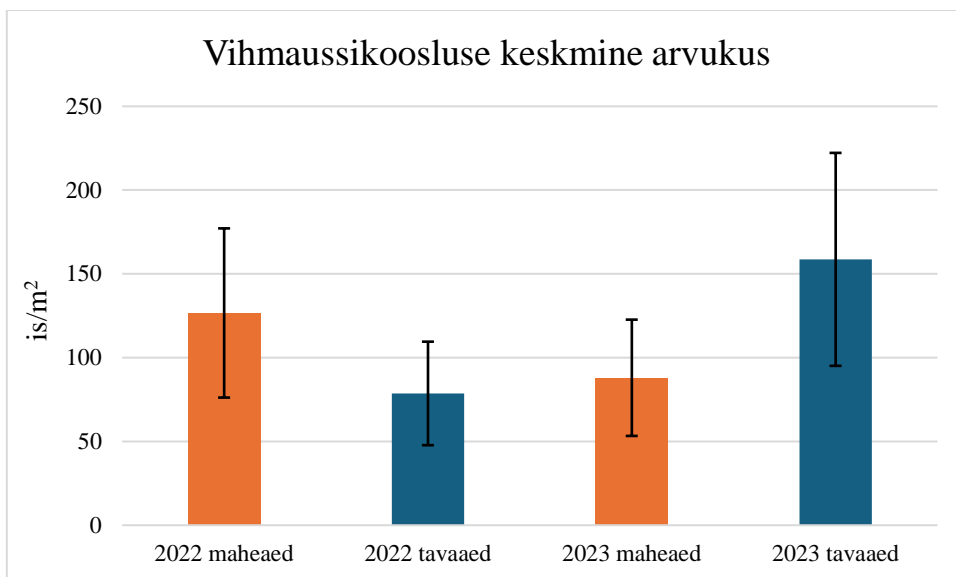
- harilik mullauss (*Aporrectodea caliginosa*)
- roosa mullauss (*Aporrectodea rosea*)
- suur mullauss (*Aporrectodea longa*)
- punane vihmauss (*Lumbricus rubellus*)
- harilik vihmauss (*Lumbricus terrestris*)
- tume vihmauss (*Lumbricus castaneus*)

Vihmausside Shannon-Wiener'i mitmekesisuse indeksid on esitatud tabelis 5. Suurim indeks oli tava 2023 (1,51) ja väiksem mitmekesisuse indeks oli mahe 2022 (1,08).

Tabel 5. Vihmausside Shannon-Wiener'i mitmekesisuse indeksid. S- liikide arv; H- Shannon-Wiener'i indeks

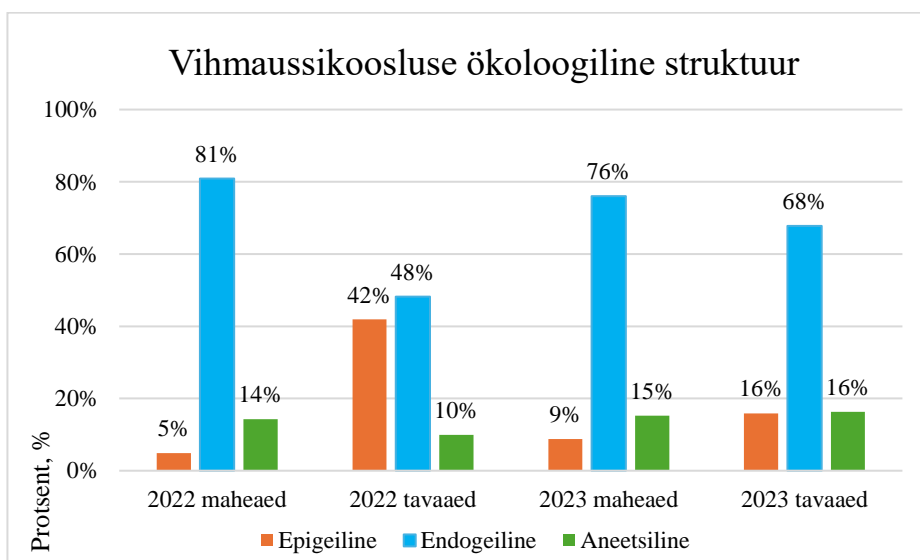
	S	H
Mahe 2022	6	1,08
Mahe 2023	6	1,11
Tava 2022	6	1,41
Tava 2023	6	1,51

Vihmaussikoosluse keskmine arvukus isendit/m² kohta on välja toodud joonisel 5. Suurim vihmausside keskmine arvukus oli 2023 aastal tavaaias (158,7±63,5), madalaim arvukus oli 2022. aastal tavaaias (78,7±30,9).



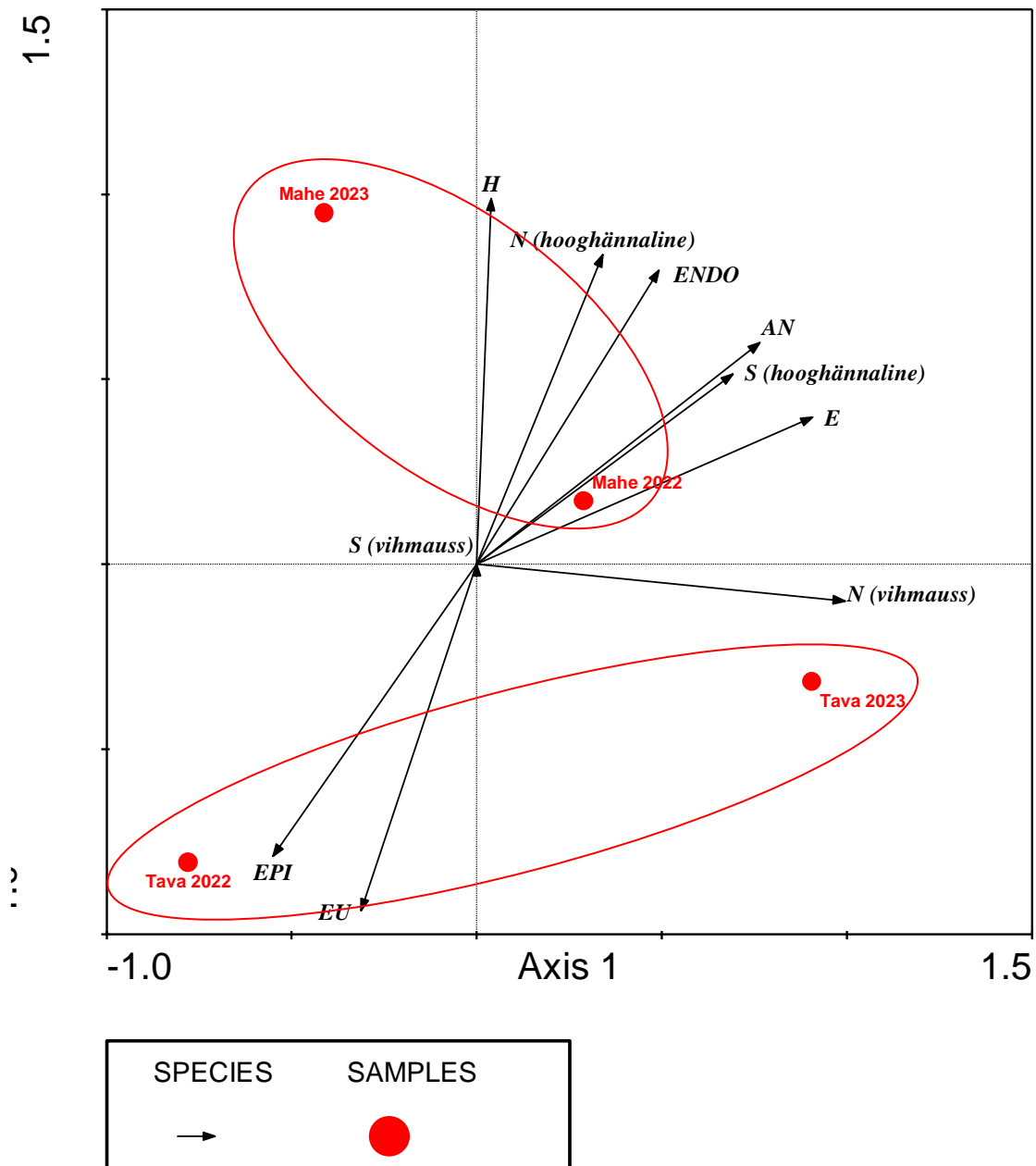
Joonis 5. Vihmausside keskmine arvukus isendeid/m² kohta koos keskmiste (\pm SE) näitajatega

Vihmaussikoosluse ökoloogilise struktuuri osatähtsused kahe aasta proovialade transektide lõikes välja toodud Joonisel 6. Kõige rohkem esines proovialadel endogeilise eluviisiga liike, olles enam esindatud 2022. aastal maheaias (81%). Kõige vähem leidus proovialadel aneetsilisi vihmausse. Märkimisväärne on 2022. aasta tavaaias epigeiliste vihmausside protsent (42%), samal aastal maheaias oli osakaal kõigest 5%.



Joonis 6. Vihmaussikoosluse ökoloogiline struktuur mahe- ja tavaaia transektide lõikes

Joonisel 7 on esitatud hooghännaliste ja vihmausside eluvormide peakomponentanalüüs (PCA). Vihmausside epigeiline ökoloogiline eluvorm (EPI) korreleerus positiivselt hooghännaliste euedaafilise ökoloogilise eluvormiga (EU) ($R=0,954$). Vihmausside endogeiline ökoloogiline eluvorm (ENDO) korreleerus negatiivselt vihmausside epigeilise (EPI) ökoloogilise grupiga ($R=-0,995$) ja hooghännaliste euedaafilise eluvormiga (EU) ($R=-0,955$). Hooghännaliste hemiedaafiline eluvorm (H) korreleerus negatiivselt hooghännaliste euedaafilise eluvormiga (EU) ($R=-0,961$). Epigeilised vihmaussid olid enam esindatud (42%) proovikohas tavaaed 2022.aastal ning hooghännaliste euedaafiline eluvorm oli samuti enam esindatud (66,7%) samas proovikohas ja samal aastal (Tava 2022). Vihmausside arvukus oli suurim ($158,7 \pm 63,5$) tavaaias ja 2023. aastal (Tava 2023).



Joonis 7. Peakomponentanalüüs (PCA). Hooghännaliste ökoloogilise grupi tähised: H-hemiedaafiline, EU-euedaafiline, E-edaafiline. Vihmausside ökoloogilised grupid: EPI-epigeiline, ENDO- endogeiline, AN- aneetsiline. N- arvukus (vihmaussid, hooghännalised), S-liikide arv (vihmaussid, hooghännalised).

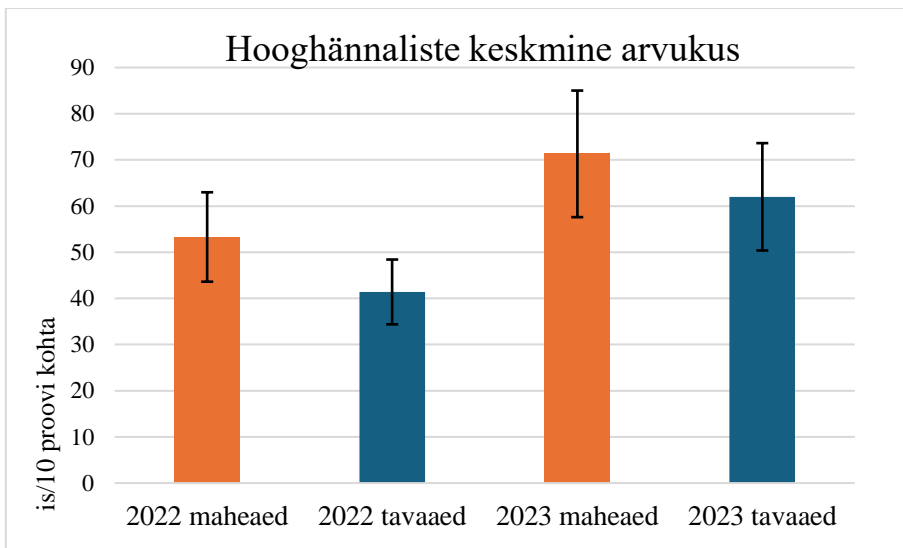
3.3 Hooghännaliste arvukus ja mitmekesisus

20. september 2022 võetud proovidest määrati kokku 25 erinevat liiki (Lisa 1) hooghännalisi. Suurim esindatud selts oli *Entomobryomorpha* (14 liiki). 4.10.2023 võetud proovidest määrati 27 erinevat liiki (Lisa 2) hooghännalisi, kus samuti suurim esindatud selts oli *Entomobryomorpha* (16 liiki). Hooghännaliste Shannon-Wiener'i mitmekesisuse indeksid on esitatud tabelis 6. Suurim indeks oli tavaaias 2023 (2,38) ja väiksem mitmekesisuse indeks oli maheaias 2023 (2,21).

Tabel 6. Hooghännaliste Shannon-Wiener'i mitmekesisuse indeksid. S- liikide arv; H- Shannon-Wiener'i indeks

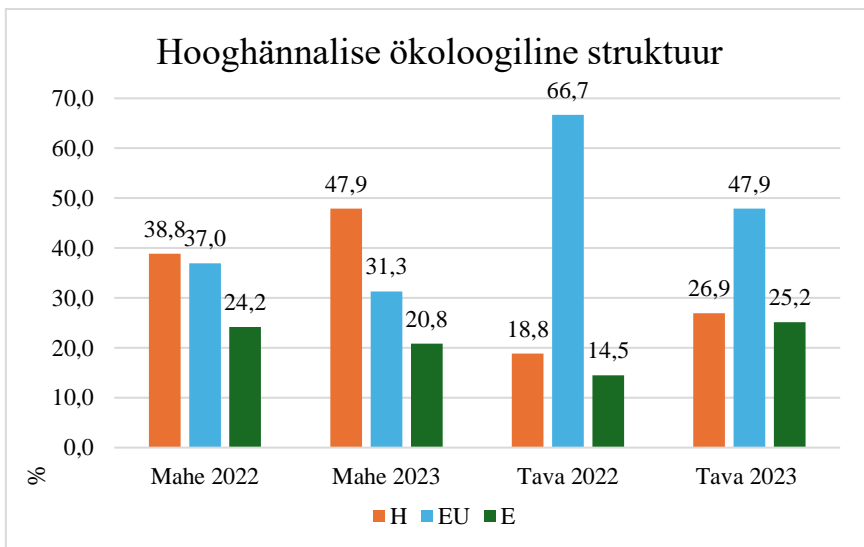
	S	H
Mahe 2022	20	2,37
Mahe 2023	21	2,21
Tava 2022	18	2,38
Tava 2023	23	2,50

Keskmine arvukus hooghännaliste proovide aritmeetilise keskmisena (Joonis 8) oli suurim 2023. aastal maheaias $71,3 \pm 13,7$ isendit/10 proovi kohta, samal aastal oli tavaaias hooghännaliste arvukus $62,0 \pm 11,6$ is/10 proovi kohta. Väikseim arvukus oli 2022. aastal tavaaias $41,4 \pm 7,0$ is/10 proovi kohta, samal aastal oli maheaias hooghännaliste arvukus $53,3 \pm 9,7$ is/10 proovi kohta.



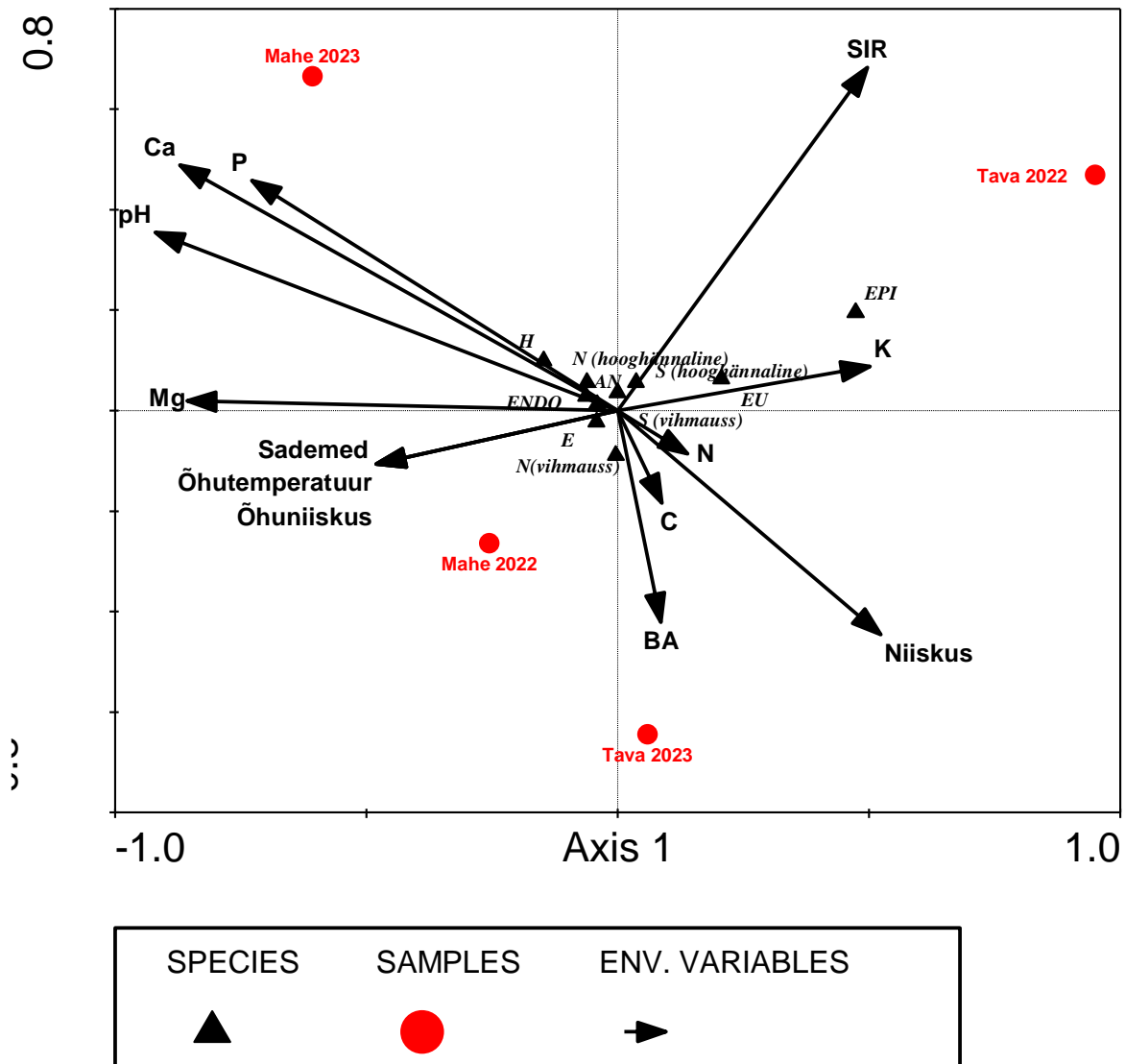
Joonis 8. Hooghännaliste keskmine arvukus isendeid/10 proovi kohta koos keskmiste (\pm SE) näitajatega

Hooghännaliste eluvormide osatähtsuse (%) jaotus on esitatud joonisel 9. Maheaias oli enam esindatud hemiedaafiline eluvorm (liigid, kes elavad nii ülemises mullakihis kui ka alumises mullakihis), samas tavaaias oli enam esindatud euedaafiline eluvorm (mullaprofiilis elavad liigid).



Joonis 9. Hooghännaliste ökoloogiline struktuur. H- hemiedaafiline, EU- euedaafiline, E- epiedaafiline

Joonisel 10 on esitatud hooghännaliste ja vihmausside eluvormide ning liikide arvu ja arvukuse kanooniline vastavusanalüüs (CCA) koos mulla ja kliima näitajatega. Hooghännaliste hemiedaafilise ökoloogiline eluvorm (H) korreleerus positiivselt mulla reaktsiooni (pH_{KCl}) ($R=0,998$) ja kaltsiumi (Ca) ($R=0,977$) sisaldusega mullas, kuid negatiivselt hooghännaliste euedaafilise (EU) eluvormiga ($R=-0,961$). Hooghännaliste liikide arv oli negatiivses seoses mikroobse biomassiga ($R=0,953$). Mullaniiskus oli negatiivses seoses fosfori (P) ($R=-0,950$) sisaldusega mullas. Mullareaktsioon (pH_{KCl}) ($R=0,982$) oli positiivses seoses kaltsiumi (Ca) sisaldusega mullas. Lämmastiku sisaldus (%) ja süsiniku sisaldus (%) mullas korreleerusid omavahel positiivselt ($R=0,993$). Süsiniku sisaldus mullas korreleerus positiivselt mikroobide hingamisega (SIR) mullas ($R=0,970$). Epigeilise eluvormiga vihmaussid korreleerusid positiivselt hooghännaliste euedaafilise (EU) ökoloogilise eluvormiga ($R=0,954$), kuid endogeiliste vihmausside ja euedaafiliste hooghännaliste seos oli negatiivne ($R=-0,954$). Kaaliumi sisaldusega mullas oli negatiivne korrelatsioon ($R=-0,999$) sademete, õhuniiskuse ja õhutemperatuuriga.



Joonis 10. Kanooniline vastavusanalüüs (CCA). Kolmnurkadena on joonisel tähistatud liigid, joontena keskkonnatingimused ning ringidena on tähistatud proovialad. Tähisted joonistel: EPI- epigeilise vihmaussi eluvormi kooslus, ENDO- endogeilise vihmaussi eluvormi kooslus, AN- aneetsilise vihmaussi eluvormi kooslus, pH- mullahappesus (pH_{KCl}), Ca- mulla kaltsiumisisaldus (mg kg^{-1}), P- mulla fosforisisaldus (mg kg^{-1}), Mg- mulla magneesiumisisaldus (mg kg^{-1}), K- mulla kaaliumisisaldus (mg kg^{-1}), C- mulla süsinikisisaldus (mg kg^{-1}), N- mulla lämmastikisisaldus (mg kg^{-1}), BA- mikroobikoosluse üldine hingamisaktiivsus, SIR- mulla mikroobide aktiivne biomass ($\text{mg-Cmikroobne g}^{-1}$)

4. ARUTELU

Muld, kui süsteemne keskkond, hõlmab paljusid vastastikmõjusid taimejuurte ja -jääkide, erinevate organismide ning mulla füüsilise struktuuri ja keemilise koostise vahel (Thies & Grossman, 2006). Et mõista ja arendada mullatervist, tuleb uurida ja analüüsida tegureid, mis mõjutavad mulda ja seal elavaid elusorganisme. Mullaelustiku roll seisneb orgaanilise aine lagundamises, mille tulemusena vabanevad mulda toitained taimedele kättesaadavas vormis (Sofa *et al.* 2020; Prashar & Shah, 2016; Lee, 1985). Samuti parandavad nad oma elutegevusega mullastruktuuri ning õhustatust (Thies & Grossman, 2006).

Järelduste tegemine mullaelustiku arvukuse ja mitmekesisuse osas nõuab erinevate tegurite (kliima, väetamine, viljelusviis jne) analüüsimist ning siinkohal tuleb ka välja tuua, et nende tegurite jälgimine nõuab pikaajalist uurimist. Siiski on võimalik välja tuua mõningad selged mõjud mullaelustiku arvukuse ning ökoloogilise mitmekesisuse kohta.

4.1. Vihmaussikoosluse arvukus ja ökoloogiline mitmekesisus

Vihmausside arvukus ja ökoloogilise mitmekesisuse näitajad on mulla viljakuse, tervise ja saastumise hindamiseks head indikaatorid (Ivask *et al.* 2006). Arvukus sõltub mullatüübist, pH-st, orgaanilise aine sisaldusest mullas, niiskusest ja temperatuurist (Edwards & Bohlen, 1996; Lee, 1985; Paoletti, 1999). Õunapuuaiataaviljeluse katsealal esines suur tõus vihmausside arvukuses (2022. a- $78,6 \pm 30,8$; 2023. a- $158,6 \pm 63,5$ isendit/m²), mil maheaias see langes (2022.a- $126,7 \pm 50,4$; 2023.a- $88 \pm 34,7$ isendit/m²). Paoletti (1999) koostatud artikkel 350-ne katse põhjal näitas, et keskmine vihmausside arvukus viljapuu aedades oli 210 isendit/m² kohta. Võrreldes seda tulemust EMÜ Polli õunapuuaedade arvukusega, on Pollis vihmausside arvukus pigem madal. Sobilik pH vihmaussidele on neutraalne (pH=7) (Edwards

& Bohlen, 1996). Pollis tehtud katses jäi pH tavaaias 4,9...5,2 vahele. Maheaias aga 5,8...6,2 vahele, seega kirjanduse põhjal peaks vihmausside arvukus ja liigiline koosseis, lähtudes pH-st, olema suurem maheaias. Kuid tulemused seda ei kinnita, sest suurim arvukus oli 2023. aastal tavaaias. See ebakõla teooria ja katsetulemuste vahel on võib olla seletatav erinevate abiootiliste faktorite tõttu. Vihmausside keha koosneb 75-90% ulatusest veest, seega on ka sademete ja niiskuse tase mullas oluline osa nende arvukuse ja liigirikkuse seisukohast (Lee, 1985). 2023. aasta arvukuse tõusu põhjenduseks saab tuua aasta keskmise sademete arvu, mis 2022. aastal oli 585 mm ning 2023. aastal 745 mm ning ka mullaniiskus (Joonis 3) oli tavaaias suurem kui maheaias. Vihmaussid on mullas olulised, kuna nad parandavad mulla füüsikalisi omadusi, luues mulda käikude süsteemi, mis hõlbustavad mullas õhu ja vee liikumist ning viies orgaanilist ainet sügavamatesse mullakihtidesse. Niimoodi aitavad vihmaussid parandada mulla keemilisi omadusi, suurendades toitainete kättesaadavust taimedele. Samas need käigusüsteemid on olulised ka mikroorganismidele (Castro *et al.* 2019). Mulla mikroorganismidel on mullas väga oluline roll biokeemilistes protsessides, sealhulgas toitainete ringluses ja orgaanilise materjali lagundamises. Seetõttu on mikroobikooslus oluline komponent terve mulla struktuuris (Geisseler, Linnquist & Lazicki, 2017). Vihmaussid võivad mõjutada ökosüsteemide mikroobide arvukust ja mitmekesisust neutraalselt, kahjulikult või positiivselt, sõltuvalt vihmaussi liigist ja mikroelupaigast (Ahmed, Al-Mutairi, 2022). Vihmausside keha ümbritsev energiarikas lima stimuleerib mikroorganisme ning eksisteerib selline nähtus nagu "Uinuva kaunitari paradoks", kus vihmaussi "suudlus" aktiveerib uinuvad mikroorganismid, kes ootavad sobivaid keskkonnatingimusi (Ahmed, Al-Mutairi, 2022). Vaadates antud töös mikroobikoosluse näitajaid (Joonis 1 ja Joonis 2) on näha, et 2023. aastal mikroobikoosluse biomass ja hingamisaktiivsus langes. Kuigi mullaproovid sai võetud 2022. ja 2023. aastal enam-vähem samal ajal ning samades keskkonnatingimustes, võiks oletada, et võib-olla mikroobikoosluste näitajate langus oli tingitud vihmaussi arvukuse langusest maheaias ja vajaliku "suudluse" puudusest ning mikroorganismide jaoks ei olnud veel tegemist sobilike keskkonnatingimustega.

Ökoloogilist vihmaussikooslust hinnati kolme erineva eluvormi alusel: epigeiline, endogeiline ja aneetsiline. Epigeilised vihmaussid on pindaktiivsed (Edwards & Bohle, 1996) ja selle tõttu on nad ka väga tundlikud taimekaitsevahenditele ning väetistele (Chatelain & Mathieu, 2017). Endogeilised vihmaussid tegutsevad ülemises künnikihis, kus on piisavalt orgaanilist ainet

(Ivask, 2019) ning aneetsilised liigid tegutsevad kolmest vormist kõige sügavamal mullas, tehes mullaprofiili püsivaid käike (Lee, 1985). Õunapuuaedades esines mahe- ja tavaaias mõlemal aastal enim endogeilise eluvormiga liike (Joonis 7). Maheaias 2022. aastal oli kogu kooslusest 81% endogeilised, 2023. aastal oli maheaias endogeilise eluvormi arvukus 76%, madalaim endogeiliste osakaal oli 2022. aastal tavaaias (48%), kuid 2023. aastal endogeiliste vihmausside ökoloogilise koosluse arv tõusis (68%). 2022. aastal oli tavaaias märkimisväärselt kõrge osakaal (42%) epigeilistel vihmaussidel, kuid 2023. aastal langes see 16%-ni. Kuna epigeilised vihmaussid on enim mõjutatud kemikaalidest siis võiks eeldada, et selle eluvormi arvukus on langenud pärast väetamist, kuid tulemused seda ei kinnita. Väetamine toimus 2022. aasta kevadel tavaaias ning sügisel võetud proovide põhjal oli just väga suur arvukus sellel aastal. Võrreldes seda 2023. aasta tulemustega (mil ei toimunud tavaaias väetamist) on epigeiliste osakaal just langenud, mis võib olla epigeilise eluvormi reaktsioon väetise järelmõjule. Samas suurenes vihmausside üldine arvukus 2023. aastal, mis võib olla tingitud sellest, et 2023. aastal väetamist ei toimunud. Aneetsiliste vihmausside koosluste osakaal jäi nii mahe- kui tavaaias 10-16 protsendi vahele, see püsivus aneetsiliste vihmausside kohta võib tuleneda sellest, et see eluvorm on kõige vähem mõjutatud kemikaalidest, kuna nad tegutsevad niivõrd sügaval mullas (Paoletti, 1999).

Vihmausside mitmekesisuse indeksid (Shannon-Wiener) on 2023. aastal tõusnud nii mahe- kui tavaviljeluse aias (Tabel 5), mis näitab, et ühe aastaga on mullas ökoloogilise mitmekesisuse arvukus tõusnud. Vihmausside mitmekesisuse indeksi tõus 2023. aastal võib olla tingitud mitmetest asjaoludest, kuid tõenäoliselt mullaniiskusest. Teada on kirjanduse põhjal, et pestitsiidide kasutamine vähendab vihmausside populatsiooni ja seda eriti kuivades muldades (Castro *et al.* 2019). Arvestades, et 2023. aastal suurenes mullaniiskus nii mahe- kui ka tavaaias (Joonis 4) ning arvestades, et 2023. aasta jäeti tegemata taimekaitse tegevused tavaaias, siis tõenäoliselt sellest oli tingitud vihmausside bioloogilise mitmekesisuse tõus.

4.2. Hooghännaliste arvukus ja ökoloogiline mitmekesisus

Hooghännaliste roll mullas seisneb orgaanilise materjali lagundamises, mullahingamise parandamises, lämmastiku mineraliseerumisel ning orgaanilise süsiniku leostumisel (Coleman, *et al.* 2004). Nende arvukus mullas sõltub peamiselt abiootilistest teguritest: niiskus, temperatuur, pH ja mullatüüp (Christiansen *et al.*, 2009). Mahe- ja tavaaias hooghännaliste arvukus tõusis, kui võrrelda 2022. aasta ja 2023. aasta tulemusi. Suurim arvukus kogu katsealade suhtes oli 2023. aastal maheaias ($71,3 \pm 13,7$ isendeid/10 proovi kohta), mil oli ka kõige kõrgem mullaniiskus ning sademete summa. Seda seost kinnitab ka korrelatsioon (Lisa 2), kus oli positiivne seos ($R= 0,879$) hooghännaliste arvukuse ning sademete ja õhuniiskuse vahel. Seega saab väita, et hooghännaliste arvukus sõltub mullaniiskusest.

Hooghännaliste jaoks sobiv mulla pH on 6.0...7.5 (Hopkin, 1997). Maheaias oli pH 5.8...6.2 ja tavaaias 4,9...-5,2 vahemikus, seega kirjanduse kohaselt on tavaaias pH hooghännaliste jaoks liiga happeline. Kuna mõlemas aias aastaga $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ sisaldus tõusis, siis võib öelda, et neutraalne mullahappesus mõjutab hooghännaliste arvukust positiivselt. Seda kinnitab ka korrelatsioon, kus mulla aktiivne happesus oli positiivses korrelatsioonis ($R=0,754$) hooghännaliste arvukusega.

Hooghännalisi jaotatakse morfoloogiliste ning erinevate füsioloogiliste ja ökoloogiliste omaduste poolest eluvormi gruppidesse: epiedaafsed, euedaafsed ja hemiedaafsed (Lavelle & Spain, 2001). Hooghännaliste eluvormide osatähtsuse (%) jaotuses (Joonis 5) on näha tavaaias suuremat euedaafilise ehk mullas elava eluvormi osatähtsust, maheaias aga on enam esindatud hemiedaafiline eluvorm (varis). Pestitsiidid võivad otseselt või kaudselt mõjutada hooghännaliste euedaafilise eluvormi populatsiooni ning mitmesuguste mehaaniliste häiringute suhtes on tundlikumad just euedaafilised liigid kui epiedaafilised liigid. Mõned autorid on väitnud, et herbitsiididel puudub otsene mõju hooghännaliste populatsiooni suurenemisele või vähenemisele, pigem on tegu kaudse mõjuga, mis on enamasti põhjustatud taimestiku muutustest (Fiera *et al.* 2020). Eluvormide jaotuses on näha, et maheaias on enam-vähem ühtlaselt hooghännalised jaotunud kolme eluvormi vahel, samas tavaaias, kus toimub nii väetamist kui ka taimekaitset, on enam esindatud euedaafiline eluvorm ehk liigid, kes elavad mullas. Samas, kui 2023. aastal ei tehtud saagi puudumisest tulenevalt ei väetamist ega

taimekaitset, siis 2023. aastal on näha, et hooghännaliste erinevad ökoloogilised eluvormid on hakanud ühtlustuma. Seda kinnitab ka hooghännaliste mitmekesisuse indeksi (Shannon-Wiener) tõus 2023. aastal tavaaias (Tabel 6). Kirjandusest on teada, et hooghännalised sõltuvad väga mikrokliimast ja mulla tingimustest nagu orgaanilise aine sisaldus, mulla happesus, fosfori ja kaltsiumisisaldusest ning mulla kaaliumisisaldusest (Fiera *et al.* 2020). Hooghännaliste mitmekesisuse tõus tavaaias võib olla samuti seletatav mullaniiskuse suurenemisega (Joonis 4) 2023. aastal, mis võis soodustada taimse biomassi intensiivsemat kasvu (muru). Taimne biomass loog hooghännalistele sobiliku mikrokliima ja soodsates tingimustes loob seehead võimalused hemiedaafiliste liikide ehk kõdus elavate liikide arvukuse suurenemise (Buchholz *et al.* 2017) (Joonis 9). Kuigi maheaias suurenes 2023. aastal liikide arv, siis bioloogiline indeks vähenes mõnevõrra, mis võis samuti olla tingitud mullaniiskuse suurenemisest. Kui 2022. aastal oli hooghännaliste eluvormide jaotus enam-vähem ühtlane (Joonis 9), luues suurema bioloogilise varieeruvuse ehk suurema bioloogilise mitmekesisuse siis niiskuse suurenedes 2023. aastal suurenes märgatavalt hemiedaafilise eluvormi (kõdu) osatähtsus tõenäoliselt kõrgema rohukasvu tõttu ning sellest tulenevalt vähenes ka bioloogilise mitmekesisuse indeks.

Hemiedaafilise eluvormi suurem osakaal maheaias võib olla ka reaktsioon neutraalsemale mulla happesusele ($R=0,998$) kui ka mulla suuremale kaaliumisisaldusele ($R=0,977$).

Hooghännalised kiirendavad lagunemisprotsessi, toitudes mitmesugustest toiduainetest ja mõjutades seeläbi mikroobide aktiivsuse ja toitainete ringlust ökosüsteemis. Lähtuvalt kirjandusest võivad hooghännalised koos vihmaussidega suurendada lämmastiku, fosfori, kaaliumi ja kaltsiumi sisaldust mullas, stimuleerides mullaseente kasvu, ja seeläbi suurendades koostoimes antud elementide suurenemist mullas (Rangel, 2022). Vihmausside ja hooghännaliste koosluste muutusi peetakse ökosüsteemiteenuste hindamisel kui ka mullatervise olulisteks indikaatoriteks. Mesofauna, kuhu kuuluvad ka hooghännalised, nende panus lehevarise lagundamisse on otseselt seotud materjali lagundamisega ja kaudselt mikroorganismide söömisega (Buchholz *et al.* 2017). Mullas elavad organismid on tundlikud mullaharimisvõtete, taimekaitsevahendite kui ka väetiste suhtes, mis mõjutab nii nende arvukust, mitmekesisust kui ka elutegevuse aktiivsust ja sellest tulenevalt taimede tervist ja kvaliteeti.

KOKKUVÕTE

Muld on maakoore pealne kiht, mis on elusa ja eluta looduse vahelüli ning nende omavahelise koosluse tulemus. Seal tegutsevatel elusorganismidel on oluline roll orgaanilise aine lagundamisel, mullastruktuuri parandamisel ning bioloogilise mitmekesisuse hoidmisel.

Käesoleva töö eesmärk oli välja selgitada mullaelustiku mitmekesisus EMÜ Polli Aiandusuuringute keskuse mahe- ja tavaviljeluse õunapuuaias. Uuriti, millised on erinevused vihmausside ja hooghännaliste arvukuses ning ökoloogiliste eluvormide jaotumus kahe erineva viljelusviisiga õunapuuaedades kahe aasta lõikes. Mahe- ja tavaaiast võeti mullastiku koondproov, millest määrati pH, üldlämmastik, orgaaniline süsinik ning liikuva P, K, Ca ja Mg sisaldus. Vihmausside kogumiseks kasutati vermifuugi (sinepipulbri lahuse) meetodit. Hooghännaliste puhul võeti mullaproovid transektina aedadest ning proovide ekstraheerimise teel määrati arvukus. Lisaks määrati TTÜ Tartu Kolledžis mikroobikoosluse näitajad.

2022. ja 2023. aasta olid omapärased aastad. Mõlemal aastal oli kuum suvi, samas 2023. aasta kevade lõpus esines hiline öökülm. Sellest tulenevalt toimusid ka väetamised ja taimekaitse kahel erineval aastal erinevalt, millel oli tõenäoliselt suur mõju mullaelustikule. 2022. aastal oli vihmausside arvukus tavaaias madalam kui maheaias ning 2023. aastal oli arvukus jälle suurem tavaaias. Hooghännaliste arvukus seevastu oli mõlemal aastal suurem maheaias. Eluvormiliselt oli mõlemal aastal mõlemas aias esindatud endogeiline vihmaussi eluvorm ehk need liigid, kes eelistavad elada künnikihis. Hooghännaliste eluvormide osas oli märgata, et maheaias olid eluvormid enam-vähem ühtlaselt jaotunud, samas tavaaias oli enam esindatud euedaafiline eluvorm ehk samuti liigid, kes eelistavad elada mullakihis. Mikroobikoosluse näitajate vähenemine 2023. aastal võib olla tingitud "Uinuva kaunitari paradoksist". Kuna mõlemad aastad olid erinevad, siis sellest tulenevalt ei ilmnunud mullanäitajate ja elustiku vahel väga selgeid seoseid, kuid siiski nii mullaniiskus ja mulla happesus omasid positiivset mõju ja mulla kaltsiumisisaldus mõjutas hooghännaliste hemiedaafilise eluvormi osatähtsust positiivselt.

Muld ja mullaelustik on koostoimiv süsteem. Hooghännalised koos vihmaussidega kiirendavad lagunemisprotsesse, toitudes mitmesugustest toiduainetest ja mõjutades seeläbi mikroobide aktiivsust ja toitainete ringlust ökosüsteemis ning võivad suurendada lämmastiku, fosfori, kaaliumi ja kaltsiumi sisaldust mullas.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Ahmed, N. & Al-Mutairi, K.A.** (2022). Earthworms Effect on Microbial Population and Soil Fertility as Well as Their Interaction with Agriculture Practises. *Sustainability* 2022, 14, 7803.
- Astover, A. Leedu E., Reintam. E.,** (2017). Mulla ABC I osa. Mulla mehaaniline koostis, Mullastikukaardid. Eesti Maaülikool. 7 lk.
- Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E.** (2012). Mullateadus. Tartu: Eesti Maaülikool. 486 lk.
- Astover, A., Leedu, E.** (2019). Mulla ABC III Osa. Mulla happesus ja lupjamine. Eesti Maaülikool. 12 lk.
- Avdiu, V., Hodolli, G., Dragusha, B., & Bunjaku, K.** (2023). The Impact of Abiotic and Biotic Factors on the Productivity of the Apple Cultivars (*Malus domestica*). *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(4), 3025–3031.
- Bileva, T., Valcheva, E., Popova, R., Dobrevska, G., Dallev, M. & Petrova, S.** (2022). Effect of management practices on soil fauna in organic orchard in Plovdiv region. *Bulg. J. Agri. Sci.*, 28 (4), 732–737
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Pérès, G., Tondoh, J. E., Cluzeau, D., & Brun, J.** (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64(2), 161–182.
- Breure, A.M.** 2004. Soil Biodiversity: Measurements, Indicators, Threats and Soil Functions. RIVM, National Institute for Public Health and the Environment. The Netherlands. p. 83-96.
- Briones, M. J. I.** (2014). Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 2.
- Brown, A.L.** 1978. Ecology of Soil Organisms. Heinemann Educational Books. pp. 141.
- Buchholz, J., Querner, P., Paredes, D., Bauer, T., Strauss, P., Guernion, M., Scimia, J., Cluzeau, D., Burel, F., Kratschmer, S., Winter, S., Potthoff, M., & Zaller, J. G.** (2017). Soil biota in vineyards are more influenced by plants and soil quality than by tillage intensity or the surrounding landscape. *Scientific Reports*, 7(1).

- Castro, J., Barreal, M. E., Briones, M. J., & Gallego, P. P.** (2019). Earthworm communities in conventional and organic fruit orchards under two different climates. *Applied Soil Ecology*, 144, 83–91.
- Cen, Y., Li, L., Guo, L., Li, C., & Jiang, G.** (2020). Organic management enhances both ecological and economic profitability of apple orchard: A case study in Shandong Peninsula. *Scientia Horticulturae*, 265, 109201.
- Chatelain, M., & Mathieu, J.** (2017). How good are epigeic earthworms at dispersing? An investigation to compare epigeic to endogeic and anecic groups. *Soil Biology & Biochemistry*, 111, 115–123.
- Checklist of the Collembola: Collembola.** (n.d.). <https://www.collembola.org/taxa/collembo.htm> (29.03.2024)
- Christiansen, K., Bellinger, P., & Janssens, F.** (2009). Collembola. In *Elsevier eBooks* (pp. 206–210).
- Chung, J., & Lee, Y.** (2008). Comparison of soil nutrient status in conventional and organic apple farm. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(1), 26–33.
- Coleman D.C., Crossley D.A. Jr., Hendrix P.F.** 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. 2nd Edition. Elsevier Academic Press. 386 pp.
- Curry, J., Byrne, D., & Schmidt, O.** (2002). Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology*, 38(2), 127–130.
- DeLuca, T., Pingree, M., & Gao, S.** (2019). Assessing soil biological health in forest soils. In *Developments in psychiatry* (pp. 397–426).
- Drinkwater, L. E., Letourneau, D. K., Workneh, F., Van Bruggen, A., & Shennan, C.** (1995). Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications*, 5(4), 1098–1112.
- Edwards, C A, and P J Bohlen.** (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*. 3rd ed., London, Chapman & Hall.
- FAOSTAT.** (n.d.). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (27.05.2024)
- Fiera, C., Ulrich, W., Popescu, D., Buchholz, J., Querner, P., Bunea, C., Strauss, P., Bauer, T., Kratschmer, S., Winter, S., & Zaller, J. G.** (2020). Tillage intensity and herbicide application influence surface-active springtail (Collembola) communities in Romanian vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300, 107006.
- Fjellberg, A.** (1980). Identification Keys to Norwegian Collembola Norsk Entomologisk Forening, pp. 158.

- Fjellberg, A.** (1998). The collembola of fennoscandia and Denmark. part I: poduromorpha. Fauna Entomologica Scandinavica, Vol. 35, Köln: Brill, Leiden, Boston, p. 183.
- Fründ, H., Graefe, U., & Tischer, S.** (2010). Earthworms as bioindicators of soil quality. In Soil biology (pp. 261–278).
- Geisseler, D., Linqvist, B. A., & Lazicki, P. A.** (2017). Effect of fertilization on soil microorganisms in paddy rice systems – A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, 452-460.
- Gisin, H.** 1943. Ökologie und Lebengemeinschaften der Collembolen im schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. *Rev. Suisse Zool.* 50: 131-224.
- Gunn, A.** 1992. The use of mustard to estimate earthworm population. *Pedobiologia* 36: 65-67.
- Gunstone, T., Cornelisse, T. M., Klein, K., Dubey, A., & Donley, N.** (2021). Pesticides and Soil Invertebrates: A hazard assessment. *Frontiers in Environmental Science*, 9.
- Haller, E., Karmin, M.** (1984). Maaviljelus. Tallinn: Valgus. 280 lk.
- Herrera, E.** (2001). Fertilization Programs for Apple Orchards. College of Agriculture, Consumer and Environmental Sciences New Mexico State University.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I., Grice, P. V., & Evans, A. D.** (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122(1), 113–130.
- Hopkin, S. P.** (1997). Biology of the springtails. In *Oxford University Press eBooks*.
- Hopkin, S.P.** (2007). A Key to the Collembola (Springtails) of Britain and Ireland. Bringing Environmental Understanding to All. AIDGAP, p245.
- Islam, M. S., Hossain, M., Hossain, M., & Yasmin, M.** (2018). Impact of climatic factors and soil quality on the abundance and population density of Collembola in the Rajshahi University Campus, Bangladesh. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(1), 1119–1125.
- Ivask, M.** (2010). Vihmaussid ja mullaelustik mullatervise kujundamisel, TTÜ Tartu Kolledž.
- Ivask, M.** (2019). Mulla ABC IV osa. Mullaelustik. Eesti Maaülikool. 20 lk.
- Ivask, M., Kuu, A.** (2008). MAK põllumajandusliku keskkonnatoetuse bioloogilise mitmekesisuse hindamise raames 2008. aastal teostatud vihmaussikoosluste ja mulla biomassi aktiivsuse seire aruanne. Eesti Maaelu Arengukava 2007-2013 II telje püsihindamine, Põllumajandusuuringute Keskus: 3-44
- Ivask, M., Kuu, A.** (2010). Muldade bioloogiline mitmekesisuse seiremetoodika täiendamine. Indikaator: Hooghännalised (*Collembola*)- arvukus ja liigiline koostis mullas. Tallinna Tehnikaülikool: Tartu Kolledž.
- Ivask, M., Kuu, A., Truu, M., Truu, J.,** (2006). The effect of soil type and soil moisture on earthworm communities. *Agricultural Science* 17, 7–11.

- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Pérès, G., Römbke, J., & Van Der Putten, W.** (2010). *European Atlas of Soil Biodiversity*. European Commission, Publication Office of the European Union.
- Kahu, K.** (2012). Mahepõllumajanduslik marja- ja puuviljakasvatus. Eesti Põllumajanduse Sihtasutus. 27 lk.
- Kahu, K., Luik, A.** (2019). Mahepõllumajanduslik puuviljakasvatus. Eesti Mahepõllumajanduse Sihtasutus.
- Keskonnaagentuur.** (n.d.). Ajaloolised ilmaandmed: Viljandi 2004-2023 [veebileht] <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajaloolised-ilmaandmed/> (25.04.2024)
- Killham, K.** (1994). *Soil Ecology*. Cambridge University Press.
- Lavelle, P., Spain, A.** (2001). *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. 677 lk.
- Lee, K. E.** (1985). *Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use*. Sydney; Orlando: Academic Press. 418 lk.
- Loide, V.** (2008) Magneesium taimed, mullas, dolokivis. Tartu: Eesti Maaülikool. 62 lk.
- Mehlich 3 extraction protocol.** 2016. University of Maryland: Agroecology Lab. <http://www.agroecologylab.com/uploads/2/7/2/8/27281831/mehlich3extraction.pdf>.
- Microbial respiration.** <https://biosisplatform.eu/services/soil-biota-and-functions/process/microbial-respiration> (23.05.2024)
- Paoletti, M. G.** (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 137–155.
- 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.
- Põllumajandusministeerium.** (2015). Eesti aiandussektori arengukava aastateks 2015–2020.
- Pommeresche, R., Løes, A.K., Torp, T.** (2017) Effects of animal manure application on springtails (Collembola) in perennial ley. *Applied Soil Ecology* 110. lk 137–145.
- Prashar, P., & Shah, S.** (2016). Impact of fertilizers and pesticides on soil microflora in agriculture. In *Sustainable agriculture reviews* (pp. 331–361).
- Procedures for soil analysis.** (2002). Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. http://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf
- R. Kalmet., J. Kanger., L. Kevvai., T. Kevvai., P. Kuldkepp., H. Kärblane., E. Raudväli., E. Turbas.** Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. 1996. Tallinn: Eesti Vabariigi Põllumajandusministeerium. 283 lk.

- Rangel, A. M.** (2022). Impact of environmental factors on edaphic springtail populations. *Studies in Environmental and Animal Sciences*, 3(4), 992–1002.
- 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. p. 1571-1582
- Rusek, J.** (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7(9), 1207–1219.
- Scheu, S.** (2002). The soil food web: structure and perspectives. *European Journal of Soil Biology*, 38(1), 11–20.
- Sofo, A., Mininni, A. N., & Ricciuti, P.** (2020). Soil Macrofauna: A key Factor for Increasing Soil Fertility and Promoting Sustainable Soil Use in Fruit Orchard Agrosystems. *Agronomy*, 10(4), 456.
- Thies, J. E., & Grossman, J.** (2006). The soil habitat and soil ecology. In *Books in soils, plants, and the environment* (pp. 59–78).
- Timm T.** (1999). Eesti rõngusside (Annelida) määraja. A Guide to the Estonian Annelida. Looduseuurija käsiraamatud 1. Eesti Loodusuurijate Seltsi väljaanne. TeadusteAkadeemia Kirjastus, Tartu-Tallinn, 208 lk.
- Wall, D. H., & Bardgett, R. D.** (2012). *Soil Ecology and Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford.
- Warren C., W. Shaw.** (1991) Orchard Nutrition Management. Cornell Cooperative Extension.

LISAD

Lisa 1. Hooghännaliste liikide loend

Tabel 1. Hooghännaliste liikide 2022 katse tulemused.

<i>PODUROMORPHA</i>	<i>ENTOMOBRYOMORPHA</i>	<i>NEELIPLEONA</i>	<i>SYMPHYPLEONA</i>
<i>Ceratophysella denticulata</i>	<i>Entomobrya lanuginosa</i>	<i>Neelus mininus</i>	<i>Deuterosminthurus pallipes</i>
<i>Brachystomella parvula</i>	<i>Lepidocyrtus lignorum</i>		<i>Sphaeridia pumilis</i>
<i>Protaphorura armata</i>	<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>		
<i>Metaphorura affinis</i>	<i>Folsomia candida</i>		
<i>Willemia anophthalma</i>	<i>Folsomia fimetaria</i>		
<i>Stenaphorura densi</i>	<i>Folsomia spinosa</i>		
<i>Friesea truncata</i>	<i>Desoria tigrina</i>		
<i>Friesea mirabilis</i>	<i>Isotomodes productus</i>		
	<i>Parisotoma notabilis</i>		
	<i>Willowsia buski</i>		
	<i>Paratullbergia callipygos</i>		
	<i>Entomobrya nivalis</i>		
	<i>Pseudisotoma sensibilis</i>		
	<i>Pseudosinella alba</i>		

Tabel 2. Hooghännaliste liikide 2023 aasta tulemused

PODUROMORPHA	ENTOMOBRYOMORPHA	NEELIPLEONA	SYMPHYPLEONA
<i>Ceratophysella denticulata</i>	<i>Entomobrya lanuginosa</i>	<i>Neelus mininus</i>	<i>Deuterosminthurus pallipes</i>
<i>Brachystomella parvula</i>	<i>Lepidocyrtus lignorum</i>		<i>Sphaeridia pumilis</i>
<i>Protaphorura armata</i>	<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>		
<i>Metaphorura affinis</i>	<i>Folsomia candida</i>		
<i>Willemia anophthalma</i>	<i>Folsomia parvulus</i>		
<i>Stenaphorura densi</i>	<i>Folsomia spinosa</i>		
<i>Xenylla boernerii</i>	<i>Folsomia fimetaria</i>		
<i>Stenaphorura quadrispina</i>	<i>Desoria tigrina</i>		
	<i>Isotoma viridis</i>		
	<i>Isotomodes productus</i>		
	<i>Pseudisotoma sensibilis</i>		
	<i>Isotomurus fucicolus</i>		
	<i>Parisotoma notabilis</i>		
	<i>Willowsia buski</i>		
	<i>Paratullbergia callipygos</i>		
	<i>Pseudosinella alba</i>		

Lisa 2. Korrelatsiooni matriksid

Variable	Correlations (korrelatsiooniks (1)) Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=4 (Casewise deletion of missing data)					
	Means	Std.Dev.	h	eu	e	Mullaniiskus
h	33,126	12,8188	1,000000	-0,960826	0,446023	-0,725175
eu	45,706	15,5812	-0,960826	1,000000	-0,676609	0,612672
e	21,168	4,8249	0,446023	-0,676609	1,000000	-0,051877
Mullaniiskus	25,325	4,3760	-0,725175	0,612672	-0,051877	1,000000
pH(KCl)	5,572	0,5968	0,998536	-0,945524	0,400498	-0,751881
N%	0,117	0,0096	-0,077746	0,077499	-0,043717	-0,562891
C%	1,413	0,0640	-0,048550	0,018446	0,069421	-0,548084
P(AL)	129,750	34,6542	0,900759	-0,801413	0,194891	-0,950623
K(AL)	151,750	30,9017	-0,412033	0,474174	-0,436575	-0,322363
Ca(AL)	1030,500	241,9731	0,977182	-0,887784	0,270770	-0,699473
Mg(AL)	85,250	4,5735	0,890681	-0,917561	0,596745	-0,823198
Mikroobne biomass	0,436	0,2726	-0,291697	0,509906	-0,871678	-0,335278
Mikroobide hingamine	3,867	0,8940	-0,111316	0,015550	0,245530	-0,398663
sademed	665,000	92,3760	0,386156	-0,452591	0,435628	0,349631
õhuniiskus	79,150	0,0577	0,386156	-0,452591	0,435628	0,349631
õhutemperatuur	6,950	0,0577	0,386156	-0,452591	0,435628	0,349631
N-vih	113,000	36,8601	-0,058745	-0,219717	0,865615	0,382520
S-vih	6,000	0,0000				
N-hoogh	57,000	12,7350	0,779770	-0,822660	0,584948	-0,134463
S-hoogh	20,750	2,2174	0,463547	-0,618947	0,767235	0,241332
EPI	0,180	0,1663	-0,840418	0,954400	-0,849250	0,518408
ENDO	0,683	0,1452	0,855961	-0,954824	0,809324	-0,598065
AN	0,138	0,0263	0,588534	-0,763487	0,901935	0,023895

Variable	Correlations (korrelatsiooniks (1))					
	Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=4 (Casewise deletion of missing data)					
	pH(KCl)	N%	C%	P(AL)	K(AL)	Ca(AL)
h	<i>0,998536</i>	-0,077746	-0,048550	0,900759	-0,412033	<i>0,977182</i>
eu	-0,945524	0,077499	0,018446	-0,801413	0,474174	-0,887784
e	0,400498	-0,043717	0,069421	0,194891	-0,436575	0,270770
Mullaniiskus	-0,751881	-0,562891	-0,548084	<i>-0,950623</i>	-0,322363	-0,699473
pH(KCl)	1,000000	-0,056874	-0,033396	0,918497	-0,379672	<i>0,982858</i>
N%	-0,056874	1,000000	<i>0,993312</i>	0,298885	0,898506	-0,179133
C%	-0,033396	<i>0,993312</i>	1,000000	0,298116	0,852025	-0,170887
P(AL)	0,918497	0,298885	0,298116	1,000000	0,012684	0,884097
K(AL)	-0,379672	0,898506	0,852025	0,012684	1,000000	-0,441799
Ca(AL)	<i>0,982858</i>	-0,179133	-0,170887	0,884097	-0,441799	1,000000
Mg(AL)	0,886252	0,323531	0,373159	0,896480	-0,086678	0,787506
Mikroobne biomass	-0,240022	0,507499	0,404726	0,104495	0,768232	-0,182572
Mikroobide hingamine	-0,108644	0,939902	<i>0,970451</i>	0,168221	0,764826	-0,268364
sademed	0,353077	-0,904534	-0,857458	-0,041651	<i>-0,999564</i>	0,415166
õhuniiskus	0,353077	-0,904534	-0,857458	-0,041651	<i>-0,999564</i>	0,415166
õhutemperatuur	0,353077	-0,904534	-0,857458	-0,041651	<i>-0,999564</i>	0,415166
N-vih	-0,109850	-0,066117	0,043826	-0,305578	-0,309910	-0,234776
S-vih						
N-hoogh	0,753821	-0,628785	-0,574509	0,432564	-0,887515	0,772864
S-hoogh	0,418738	-0,667308	-0,581659	0,042295	-0,910925	0,403511
EPI	-0,814907	-0,041862	-0,125317	-0,676018	0,398186	-0,711586
ENDO	0,834778	0,125857	0,203629	0,733352	-0,316224	0,727484
AN	0,544167	-0,430237	-0,331891	0,225845	-0,772116	0,483203

Variable	Correlations (korrelatsiooniks (1)) Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=4 (Casewise deletion of missing data)					
	Mg(AL)	Mikroobne biomass	Mikroobide hingamine	sademed	õhuniiskus	õhutemperatuur
h	0,890681	-0,291697	-0,111316	0,386156	0,386156	0,386156
eu	-0,917561	0,509906	0,015550	-0,452591	-0,452591	-0,452591
e	0,596745	-0,871678	0,245530	0,435628	0,435628	0,435628
Mullaniiskus	-0,823198	-0,335278	-0,398663	0,349631	0,349631	0,349631
pH(KCl)	0,886252	-0,240022	-0,108644	0,353077	0,353077	0,353077
N%	0,323531	0,507499	0,939902	-0,904534	-0,904534	-0,904534
C%	0,373159	0,404726	<i>0,970451</i>	-0,857458	-0,857458	-0,857458
P(AL)	0,896480	0,104495	0,168221	-0,041651	-0,041651	-0,041651
K(AL)	-0,086678	0,768232	0,764826	<i>-0,999564</i>	<i>-0,999564</i>	<i>-0,999564</i>
Ca(AL)	0,787506	-0,182572	-0,268364	0,415166	0,415166	0,415166
Mg(AL)	1,000000	-0,255099	0,345827	0,063119	0,063119	0,063119
Mikroobne biomass	-0,255099	1,000000	0,207248	-0,774288	-0,774288	-0,774288
Mikroobide hingamine	0,345827	0,207248	1,000000	-0,765489	-0,765489	-0,765489
sademed	0,063119	-0,774288	-0,765489	1,000000	<i>1,000000</i>	<i>1,000000</i>
õhuniiskus	0,063119	-0,774288	-0,765489	<i>1,000000</i>	1,000000	<i>1,000000</i>
õhutemperatuur	0,063119	-0,774288	-0,765489	<i>1,000000</i>	<i>1,000000</i>	1,000000
N-vih	0,145662	-0,837513	0,278155	0,323708	0,323708	0,323708
S-vih						
N-hoogh	0,528818	-0,718089	-0,531173	0,874980	0,874980	0,874980
S-hoogh	0,304046	<i>-0,953671</i>	-0,432743	0,911322	0,911322	0,911322
EPI	-0,911418	0,630362	-0,187101	-0,381816	-0,381816	-0,381816
ENDO	0,947249	-0,550924	0,247728	0,298157	0,298157	0,298157
AN	0,533476	-0,944483	-0,184656	0,768350	0,768350	0,768350

Variable	Correlations (korrelatsiooniks (1))						
	Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=4 (Casewise deletion of missing data)						
	N-vih	S-vih	N-hoogh	S-hoogh	EPI	ENDO	AN
h	-0,058745		0,779770	0,463547	-0,840418	0,855961	0,588534
eu	-0,219717		-0,822660	-0,618947	<i>0,954400</i>	<i>-0,954824</i>	-0,763487
e	0,865615		0,584948	0,767235	-0,849250	0,809324	0,901935
Mullaniiskus	0,382520		-0,134463	0,241332	0,518408	-0,598065	0,023895
pH(KCl)	-0,109850		0,753821	0,418738	-0,814907	0,834778	0,544167
N%	-0,066117		-0,628785	-0,667308	-0,041862	0,125857	-0,430237
C%	0,043826		-0,574509	-0,581659	-0,125317	0,203629	-0,331891
P(AL)	-0,305578		0,432564	0,042295	-0,676018	0,733352	0,225845
K(AL)	-0,309910		-0,887515	-0,910925	0,398186	-0,316224	-0,772116
Ca(AL)	-0,234776		0,772864	0,403511	-0,711586	0,727484	0,483203
Mg(AL)	0,145662		0,528818	0,304046	-0,911418	0,947249	0,533476
Mikroobne biomass	-0,837513		-0,718089	<i>-0,953671</i>	0,630362	-0,550924	-0,944483
Mikroobide hingamine	0,278155		-0,531173	-0,432743	-0,187101	0,247728	-0,184656
sademed	0,323708		0,874980	0,911322	-0,381816	0,298157	0,768350
õhuniiskus	0,323708		0,874980	0,911322	-0,381816	0,298157	0,768350
õhutemperatuur	0,323708		0,874980	0,911322	-0,381816	0,298157	0,768350
N-vih	1,000000		0,252703	0,634867	-0,471915	0,413669	0,700316
S-vih		1,000000					
N-hoogh	0,252703		1,000000	0,882971	-0,731736	0,681806	0,862881
S-hoogh	0,634867		0,882971	1,000000	-0,650725	0,571900	<i>0,957436</i>
EPI	-0,471915		-0,731736	-0,650725	1,000000	<i>-0,994902</i>	-0,830574
ENDO	0,413669		0,681806	0,571900	<i>-0,994902</i>	1,000000	0,770175
AN	0,700316		0,862881	<i>0,957436</i>	-0,830574	0,770175	1,000000

**Lihlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Patricia Pintsaar,
(sünnipäev 03.11.1999)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud lõputöö Mullaelustiku arvukus ja mitmekesisus EMÜ Polli Aiandusuuringute Keskuse mahe- ja tavaaias

mille juhendajad on Annely Kuu ja Kesti Kahu

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

Allkiri

Tartu, 29.05.2024

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)