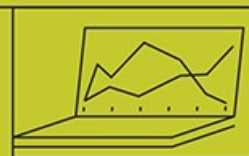
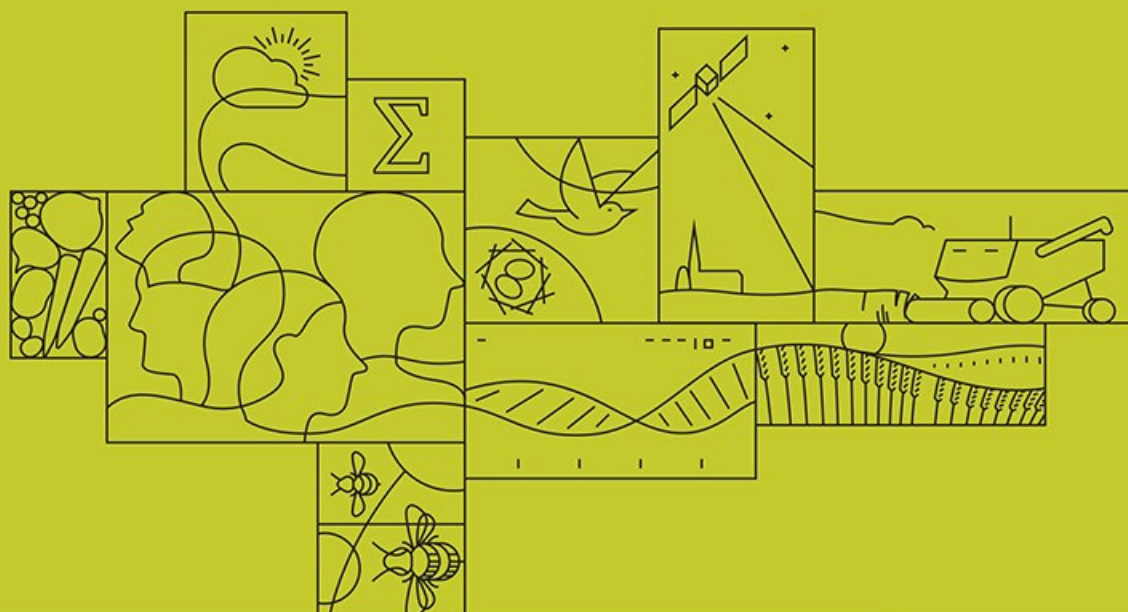


# Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile

Lõpparuanne



Tellija: Regionaal- ja põllumajandusministeerium

Uuringu teostaja: Maaelu Teadmuskeskus

Vastutav läbivija: Elsa Putku

Antud töö andmete kasutamisel või tsiteerimisel tuleb viidata allikale.

#### LISAINFO JA KONTAKT

Maaelu Teadmuskeskus

Põllumajandusuuringute osakond

Mullastiku valdkond

Kohtu tn 10, Kuressaare linn, Saaremaa vald, 93812 Saare maakond

E-post: elsa.putku@metk.agri.ee



Euroopa Maaelu Arengu  
Põllumajandusfond:  
Euroopa investeringud  
maapiirkondadesse

Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi hindamine

ÜPP Strateegiakava 2023-2027 hindamine

## Sisukord

---

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| Uuringu eesmärk.....                        | 4  |
| Uuringu alade kirjeldus.....                | 4  |
| Tulemused .....                             | 5  |
| Mulla näitajate muutused.....               | 5  |
| Mulla elustik .....                         | 15 |
| Taimekaitsevahendite jäägid.....            | 21 |
| Kokkuvõte .....                             | 23 |
| Kasutatud kirjandus .....                   | 24 |
| Lisad .....                                 | 25 |
| Lisa 1. Hooghännaliste nimekiri .....       | 25 |
| Lisa 2. Mulla elustiku hindamisskaala ..... | 26 |

## Uuringu eesmärk

Uuringu eesmärgiks on hinnata otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile – võimaliku erosiooni tõkestajana, orgaanilise süsiniku akumulatsioonina, mulla toite- ja veerežiimi ning mulla elustiku seisundi võimaliku muutjana. Tehnoloogiana on minimeeritud harimine järjest enam levinud, kuid harimisviisi mõju muldadele on Eesti kontekstis komplekselt vähe uuritud, arvestades nii mulla omadusi, mulla elustikku kui ka põldudel kasutatud taimekaitsevahendeid (TKV). Uuringu tulemusi kasutatakse põllumajanduslike keskkonnatoetuste hindamise ja seire taustinformatsioonina ning seireindikaatorite valiku täpsustamiseks. Samuti saab täpsustada põllumajandustoetuste abil toetatavate tegevuste valikut ja põhjendatust, selgitada erinevate agrotehnoloogiate (otsekülv ja künnipõhine tavaharimine) toimimist ning koolitada põllumajandustootjaid.

Töö teostaja on Maaelu Teadmuskeskuse mullastiku valdkond ja mulla elustiku osas Eesti Maaülikool (Mari Ivask, Anneli Kuu), kontaktisik Elsa Putku, [elsa.putku@metk.agri.ee](mailto:elsa.putku@metk.agri.ee)

## Uuringu alade kirjeldus

Minimeeritud harimise uuringu puhul on tegemist jätku-uuringuga. 2023. aastal võeti kordusproovid neljalt tootmispõllult: kolm otsekülvi põldu O6, O9 ja O10 ning üks künniharimisega põld K1 (Tabel 1). Kuna kordusproovid koguti erinevatel aastatel, tähistavad need joonistel esimese proovikogumisaasta algseisu, 4-5 a kui toimus esimene kordusmõõtmine ja >10 a kui teine kordusmõõtmine. Kõikidel põldudel määrati tähtsamad taime toiteelemendid, mulla happesus, orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg), lasuvustihedus (Dm) ning arvutati lisaks üld- ja aeratsioonipoorsus (Püld ja Paer). Kõiki näitajaid hinnati sügavuskihtide kaupa: 0-5, 5-15 ja 15-25 cm. Taimekaitsevahendite jääkide sisaldused määrati kõikidel uuritud põldudel.

**Tabel 1.** Uurimisalad 2023. aastal

| Põld | Mullašiffer <sup>1</sup> | Lõimis <sup>2</sup>              | Tehnoloogia | Proovivõtu aastad        | Ahor, cm               | Maakond  | Välitööd   | Elustiku välitööd |
|------|--------------------------|----------------------------------|-------------|--------------------------|------------------------|----------|------------|-------------------|
| O6   | LP                       | Is <sub>2</sub>                  | otsekülv    | 2013;<br>2017;<br>2023   | 31;<br>32,7            | Tartu    | 07.09.2023 | 12.09.2023        |
| O9   | LP                       | sl                               | otsekülv    | 2010*;<br>2015*;<br>2023 | 28,3;<br>28,7;<br>31,7 | Põlva    | 08.09.2023 | 12.09.2023        |
| O10  | Kog                      | Is <sub>1</sub>                  | otsekülv    | 2011;<br>2023            | 36,3                   | Viljandi | 06.09.2023 | 08.09.2023        |
| K1   | Ko(g)                    | Is <sub>2</sub> /Is <sub>1</sub> | künd        | 2012;<br>2016;<br>2023   | 25,3;<br>28            | Viljandi | 06.09.2023 | 08.09.2023        |

<sup>1</sup> Kog – gleistunud leostunud muld, Ko(g) – gleistumistunnustega leostunud muld, LP – näivleotunud muld (mullastiku kaardi alusel); <sup>2</sup> lõimised on O9 ja O10 põllul mullastiku kaardi alusel, teistel määratud laboratoorselt pipettmeetodil (ISO 11277:1998) 2012/2013 a. Is<sub>1</sub> – kerge liivsavi, Is<sub>2</sub> – keskmine liivsavi, sl – saviliiv

\* Proovid koguti 10 cm sügavuskihtide kaupa: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm

Info agrotehnoloogia, külvikorra, kasutatud väetiste ja taimekaitsevahendite osas on pärit tootjate põlluraamatutest (Tabel 2). Uurimisaladel ei kasutatud viie aasta jooksul orgaanilisi väetiseid, mineraalväetiseid kasutati aastate keskmisena sarnases koguses, va O6 kus lämmastikväetisi anti kaks korda rohkem. Mitmekesisema külvikorra olid otsekülvipõllud, kus teraviljad vaheldusid liblikõieliste

kultuuridega. Tavaharimisega põld K1 oli täielikult teravilja külvikorras. Viie aasta perioodi sisse jäävad ka mustkesa K1 põllul ja sööti jäetud maa O9 põllul. O6 põldu lubjati nii 2022 kui 2023 a. kevadel Enefixi põlevkivituhaga, keskmise kuluga 2,67 t/ha CaCO<sub>3</sub>. 2019-2023 külvikorras ei kasvatatud vahekultuure.

**Tabel 2.** Uurimisalade külvikord 2019-2023 aastatel

| Põld | Mineraalväetis                    | Põllukultuur |               |                                |                     |                                             |
|------|-----------------------------------|--------------|---------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|
|      | N-P-K, kg/ha<br>5 a<br>keskmisena | 2019         | 2020          | 2021                           | 2022                | 2023                                        |
| O6   | 117-8-24                          | taliraps     | talnisu       | talnisu                        | suviuder liblik ak* | Liblikõieliste ja kõrreliste segu (>30% lõ) |
| O9   | 77-4-8                            | aruhein      | söötis        | põldhemes                      | talnisu             | tritikale timuti ak                         |
| O10  | 54-19-15                          | rukis        | punane ristik | punane ristik                  | rukis               | talnisu                                     |
| K1   | 52-9-11                           | talnisu      | suviuder      | suviuder/taliuder <sup>K</sup> | mustkesa            | taliraps                                    |

K-külmimine; \*ak - allakülv

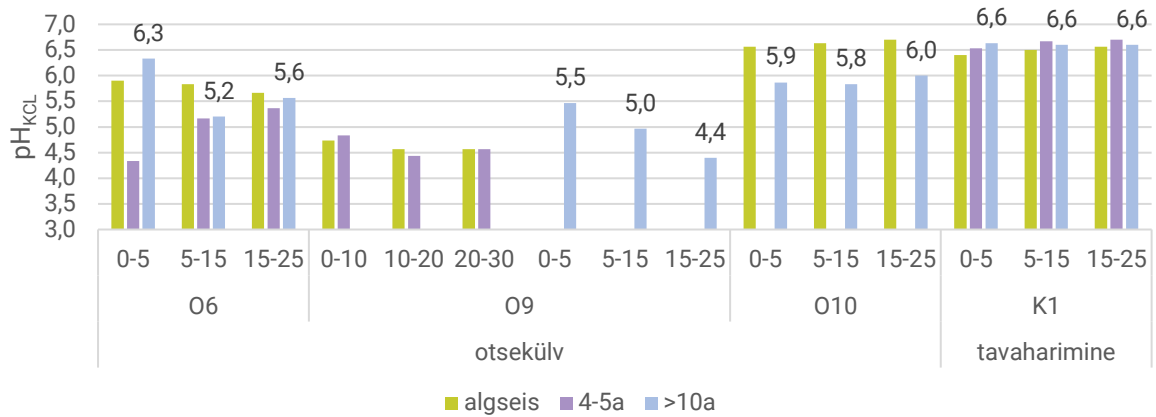
## Tulemused

### Mulla näitajate muutused

#### Mulla reaktsioon

Mulla pH ei ole palju muutunud aastate võrdluses K1 alal, ning on 6,6 kõikides kihtides 2023. aastal (Joonis 1). Üldine reaktsioon on K1 põllul neutraalne ehk mulla liigsest happesusest tingitud probleeme kindlasti ei ole. Samas otsekülvi põldudel on kõikidel mõõdukalt või nõrgalt happelised mullad. O10 alal on vähenenud pH 0,7-0,8 ühiku võrra kõikides kihtides 12 a jooksul ehk muld muutus happelisemaks. O6 põld oli eelmisel proovivõtmisel langenud tugevasti happelise mulla klassi ning sellest lähtuvalt tootja lupjas põldu, mida näitab 2023 a kõrgem pH pindmises kihis, paraku alumistesse kihtidesse ei ole lubiväetis mõjunud või on liikunud kiiresti meie uurimissügavusest allapoole. O6 ja O9 põllul on näha pH kihistumist: pindmises mullakihis on kõrgem pH kui alumistes.

Lisaks lähtekivimile mõjutab mulla reaktsiooni lämmastikväetiste kasutamine ja mullale jäävad taimejäänused, mis on oma olemuselt happelised. Nii taimejäänused kui lämmastikväetiste kasutamine mõjutavad oluliselt muldade hapestumist ja seda rohkem just otsekülvis võrreldes tavaharimisega (Zhao et al. 2022). Zhao et al (2022) järeldasid metanalüüsis 1059 vaatluspunkti põhjal, et kasutades N väetised normiga 0-200 kg/ha vähenes statistiliselt oluliselt mulla pH ning soovitud hapestumise puhverdamiseks mitte kasutada otsekülvi raskel liivsavi, keskmisel liivsavi, tolmal liivsavi ning happelistel muldadel pikaaegselt (otsekülv >15 a). Samas on lahenduseks hapestumise vältimiseks ka taimejäänuste ja lämmastikväetiste kasutamise optimeerimine.



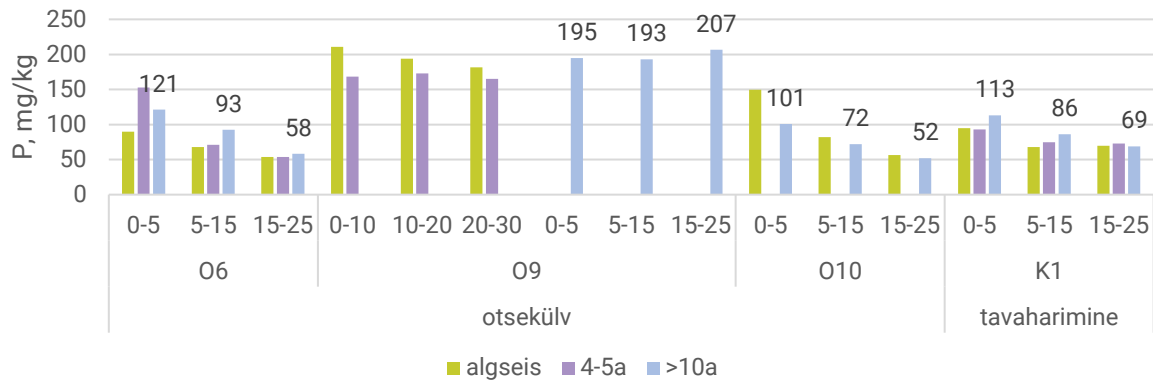
**Joonis 1.** Põldude keskmine pH erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

### Taime toiteelemendid mullas

Mulla liikuva fosfori sisalduse järgi (Mehlich 3 meetodil) kuuluvad O6, O10 ja K1 põllud pindmise kihi tulemuste alusel kõrgesse P sisaldusklassi (91-145 mg/kg) ning alumistes kihtides on P sisaldus keskmises sisaldusklassis (46-90 mg/kg) (Joonis 2). Otsekülvipõld O9 on viimasel kordusmõõtmisel väga kõrge P sisaldusega kõikides kihtides ning P leostumise oht on suur. Kõrge P sisaldus O9 põllul on otseselt seotud happelise mullareaktsiooniga kuna happelises keskkonnas on pärsitud P omastamine taimede poolt. Seda ilmestab hästi 15-25 cm väga madal pH 4,4 (Joonis 1) ning väga kõrge P sisaldus samas kihis, vastavalt 207 mg/kg. Happeline muld seob väga tugevalt fosfori alumiiniumi- ja rauaühendites ning ei ole seetõttu taimedele kättesaadav.

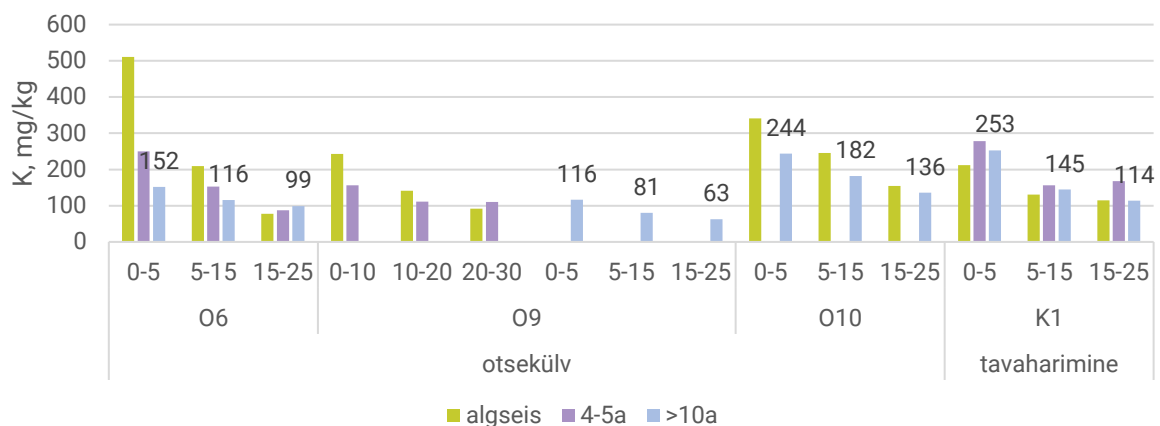
Kõige paremas tasakaalus on neutraalse mullareaktsiooni juures K1 põld, mille P sisaldus on keskmises klassis olnud kogu uurimisperioodi jooksul, va pindmises kihis. Pindmises ja keskmises mullakihis aastate võrdluses P sisaldus stabiilselt suurenes ning alumises kihis püsinud samal tasemel. O10 põllul vähenes 12 a möödudes P sisaldus kõikides kihtides, vastavalt 49 mg/kg pindmises, 10 mg/kg 5-15 cm ja 4 mg/kg võrra 15-25 cm kihis. O6 põllu P sisalduse ajaline dünaamika on samuti korrelatsioonis pH sisaldusega, olles 4-5 a kordusmõõtmisel väga happelise mullareaktsiooniga väga kõrges P sisaldusklassis ning viimasel kordusmõõtmisel, kus pH sisaldus pindmises kihis on paranenud on ka P sisaldus vähenenud 31 mg/kg võrra. Samas 5-15 cm kihis ei olnud lubiväetiste mõju piisav pH muutmiseks ning P sisaldus on seal tõusnud 22 mg/kg võrra.

Mulla pH puhul oli tänu happeliste taimejäänuste kuhjumisele pinnale märgatav teatav kihistumine ning näeme samast tendentsi P sisalduse osas. P sisaldus oli viimasel kordusmõõtmisel kõrgem pindmises kihis võrreldes alumiste kihtidega sõltumata harimisviisist, erandiks O9 põld.



**Joonis 2.** Põldude keskmine liikuva fosfori sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

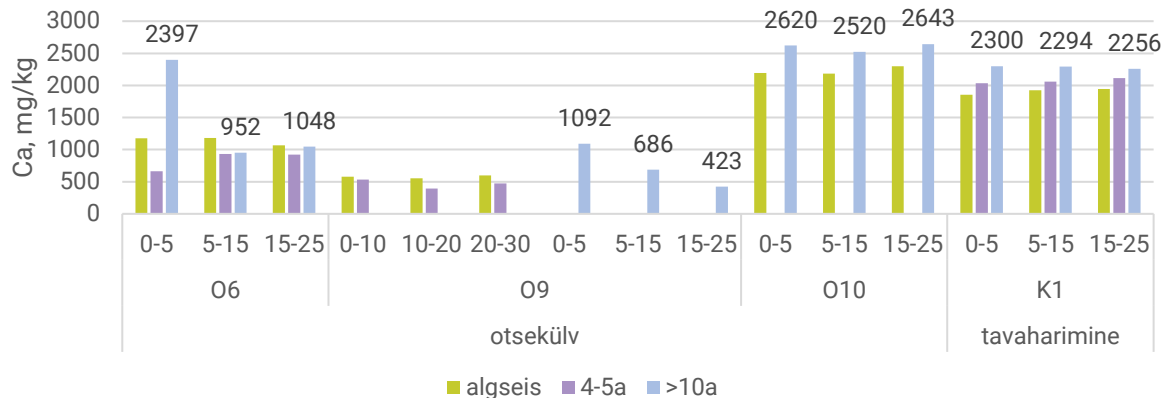
Liikuva K sisaldus oli põldudel väga erinev, kuid ajaline dünaamika on valdavalt sarnane ehk trend on K sisalduse vähenemise suunas (Joonis 3). K sisaldus on O10 põllul vähenenud 0-5 cm kihis 28% (97 mg/kg), 5-15 cm kihis 26% (63 mg/kg) ja 15-25 cm kihis 12% (19 mg/kg) võrra 12 a jooksul. Samas oli K sisaldus siiski väga kõrges sisaldusklassis (>240 mg/kg) pindmises kihis ja keskmises sisaldusklassis (131–240 mg/kg) alumistes kihtides. K sisalduse vähenemist põhjustas liblikõieliste taimede kasvatamine, mis on head K omastajad. Samas K sisaldus ei ole vaatamata vähenemisele kindlasti saagikust limiteerivaks teguriks. O6 põllu esimese aasta väga kõrge K sisaldus oli tingitud vedelsõnniku kasutamisest mõned nädalad enne proovivõtmist ning pole seega asjakohane võrdlusnäitaja. Pindmises ja keskmises mullakihis vähenes K sisaldus eelmise ja viimase kordumõõtmise vahel, vastavalt 39% (98 mg/kg) ja 24% (63 mg/kg) ning alumises kihis suurenenud 13% (11 mg/kg) võrra. Kaaliumi keskmine väetuse norm oli kõikidel põldudel suhteliselt madal (Tabel 2). Tavaharimisega põllul ei ole väga suuri muutuseid K sisalduses toimunud ning vaatamata madalale K keskmisele väetuse normile ei ole väga suurt langust toimunud. See on ilmselt tingitud kasvatatud taliviljadest, mille tüü ja põhuga tagastatakse mulda oluline kogus tarbitud kaaliumist. Sarnaselt P sisaldusele näeme ka K puhul suuremat sisaldust 0-5 cm mullakihis võrreldes alumiste kihtidega sõltumata harimisviisist.



**Joonis 3.** Põldude keskmine liikuva kaaliumi (K) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

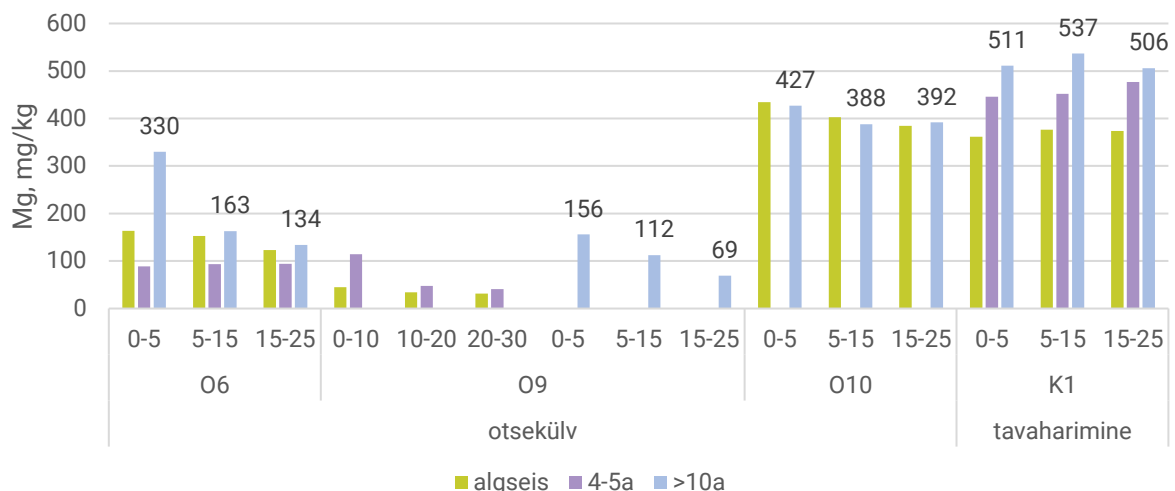
O6 põllu lupjamisele viitavad ka oluliselt suurenenud Ca ja Mg sisaldused 0-5 cm kihis ning samas näitavad alumiste kihtide muutumatud Ca sisaldused, et lubiväetise mõju allapoole praktiliselt puudub (Joonis 4, Joonis 5). O6 põldu lubjati 2022 ja 2023 aasta veebruaris Enefixi põlevkihituhaga. Paraku ei ole tuha mõju avaldunud alumistes mullakihtides, kuigi varasema teadmise järgi peaks seal efekt olema

olema (METK, 2024). Selline tulemus võib ka viidata lubiväetise kiirele leostumisele meie uurimissügavusest allapoole. Taimede toitumiseks optimaalne Ca sisaldus mineraalmullas on vähemalt 1500 mg/kg ning see on täidetud Viljandimaa O10 ja K1 aladel, kuid Lõuna-Eesti muldadel on Ca sisaldused oluliselt madalamad, sest lähtekivimi positiivset mõju seal ei ole. Seetõttu tulebki Lõuna-Eestis tähelepanelikult jälgida muutusi mulla pH-s, Ca ja Mg sisaldusest ning toetada mulda lubiväetistega hoidmaks ära nende hapestumine ja Ca ja Mg vaesumine, mille tagajärjel on tulemuslik taimekasvatus väga keeruline, tänu raskendatud toitainete omastamisele näiteks fosfori osas.



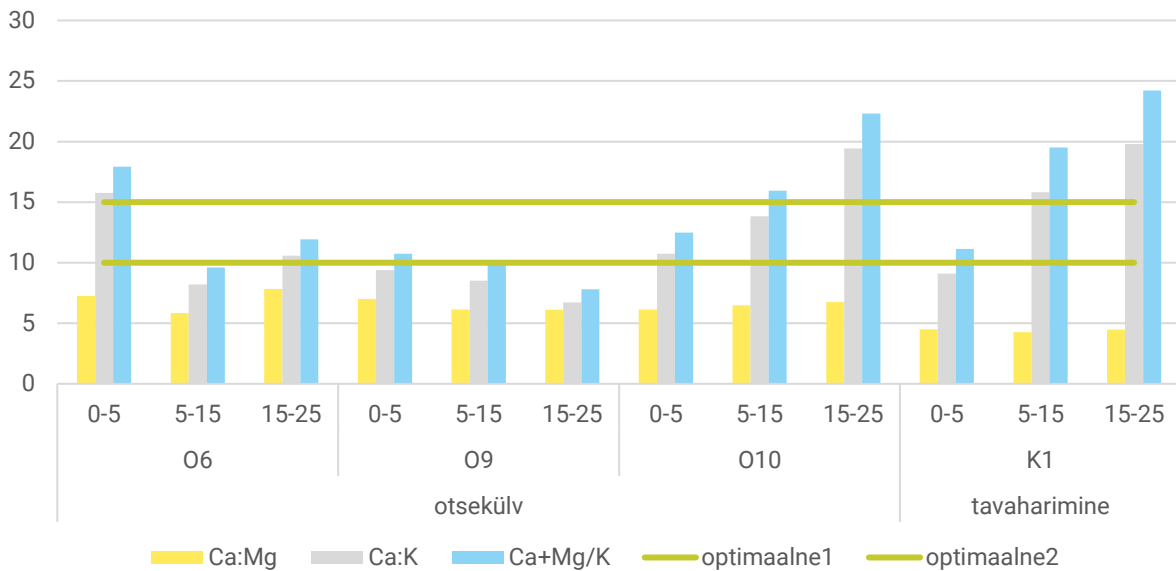
**Joonis 4.** Põldude keskmine liikuva kaltsiumi (Ca) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

Mulla liikuva Mg optimaalne sisaldus on vähemalt >100 mg/kg ning Viljandi põldudel O10 ja K1 oli seega väga kõrge Mg sisaldus. Aastate võrdluses Ca ja Mg sisaldused suurenesid tavaharimisega K1 alal kõikides sügavuskihtides. Mg sisaldus suurenes võrreldes algseisu viimase kordusmõõtmisega 150 mg/kg (41%) võrra pindmises, 160 mg/kg (42%) võrra 5-15 cm kihis ja 132 (35%) mg/kg võrra alumises kihis. Mõlema põllu aluskivimiks on Mg rikas dolokivi, mille tõttu juba looduslikult on neil põldudel kõrgem Mg sisaldus. Harimisviisist tingitud K1 põllu Mg sisalduse pidev suurenemine vastandub harimiseta O10 põllule, kus suuri muutusi Mg sisalduses ei toimunud. Nimelt maa harimisega tuuakse altpoolt pidevalt Mg rikast dolokivi materjali ülespoole, lisaks on K1 põllul dolokivi palju lähemal maapinnale (80 cm) võrreldes O10 põlluga (> 1m) (X-GIS, 2023). Mg sisaldus on keskmisena kõrgem O9 alal võrreldes eelnevate mõõtmistega, mis on ilmselt tingitud magneesiumsulfaadi kasutamisest väetamisel.



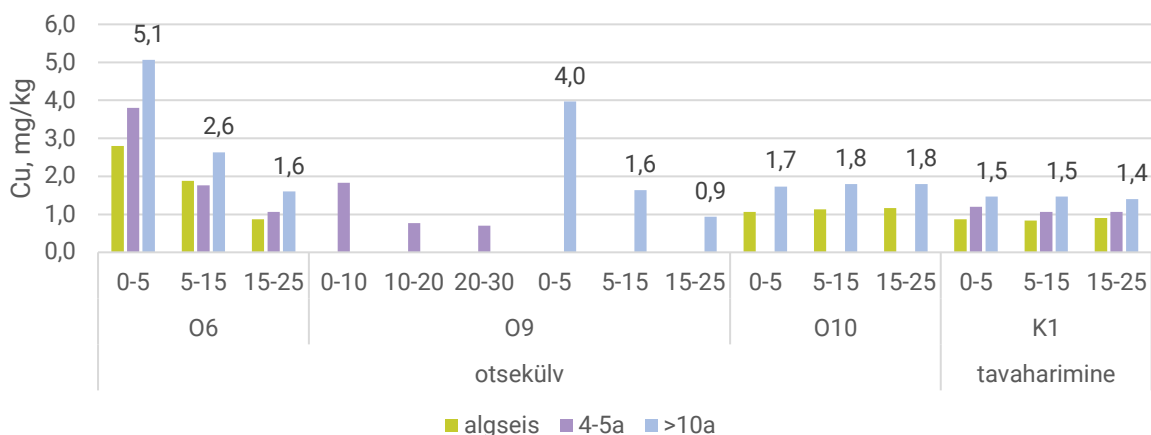
**Joonis 5.** Põldude keskmine magneesiumi (Mg) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

Lisaks toiteelementide lõikes analüüsimisele on oluline jälgida ka nende suhet ehk tasakaalu mullas. Eriti just Ca, Mg ja K suhet kuna need toiteelemendid käituvad teineteise suhtes antagonistlikult (Astover ja Leedu, 2019), st et liiga kõrge Ca või Mg sisaldus mullas pärsivad K omastamist taimede poolt. Optimaalne suhe võiks olla 10...15, parimal juhul 12. Liikuva Ca:Mg suhe varieerub vähe põldude muldades, vastavalt 4-st...8-ni olles liiga madal (Joonis 6). Ca:Mg madal suhe viitab Mg rikastele muldadele tänu millele on ka Ca+Mg/K suhe üle optimaalse Viljandi põldudel O10 ja K1 alumistes kihtides ning O6 pindmises kihis. Madal Ca:Mg suhe viitab sellele, et tuleks kasutada just Ca-rikkaid lubiväetiseid.



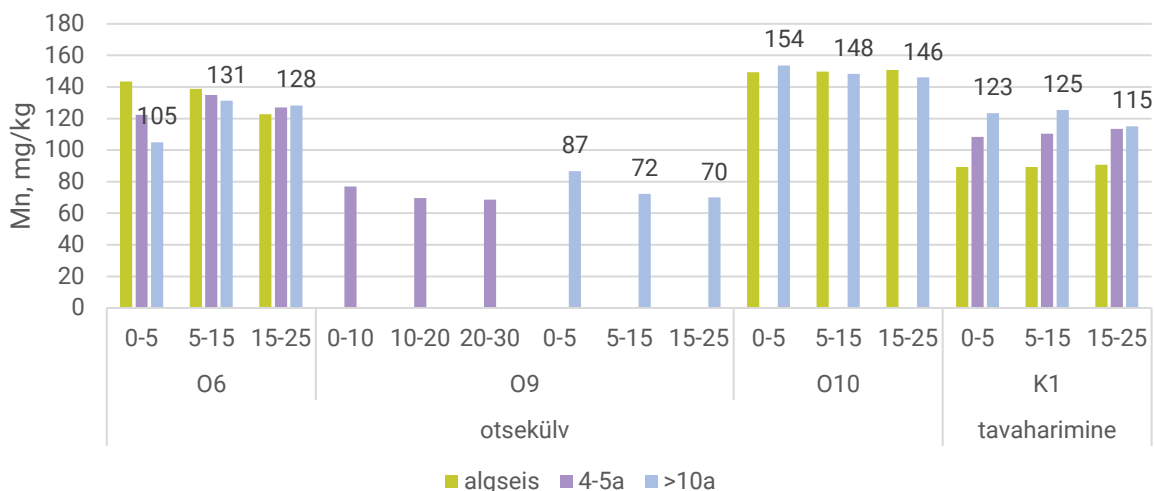
**Joonis 6.** Ca, Mg ja K suhe mullas 2023. aastal erinevates sügavuskihtides. Vertikaaljoontega on tähistatud optimaalne Ca:Mg suhe 10-15.

Mikroelementidest on vase sisaldus põldudel viimasel kordusmõõtmisel piisav ehk suurem kui 1,5 mg/kg (Joonis 7). Ajalises dünaamikas on Cu sisaldus kõikidel põldudel kõikides kihtides suurenenud. Otsekülvipõldudel O6 ja O9 on märgata pindmise kihis oluliselt kõrgem Cu sisaldus kui alumistes kihtides ja on vertikaalselt kihistunud. Samas O10 põllul sarnast tendentsi ei ole ning seega ei saa kihistumist seostada harimisviisiga. Cu sisalduse tõus 1,3 mg/kg võrra O6 alal võrreldes eelmise kordusprooviga viitab kõrgele Cu sisaldusele Enefixi tuhas, mida lupjamisel kasutati. Erinevalt pH ja Ca sisaldusest näeme et Cu sisaldus on sarnaselt Mg sisaldusele suurenenud ka alumistes kihtides.



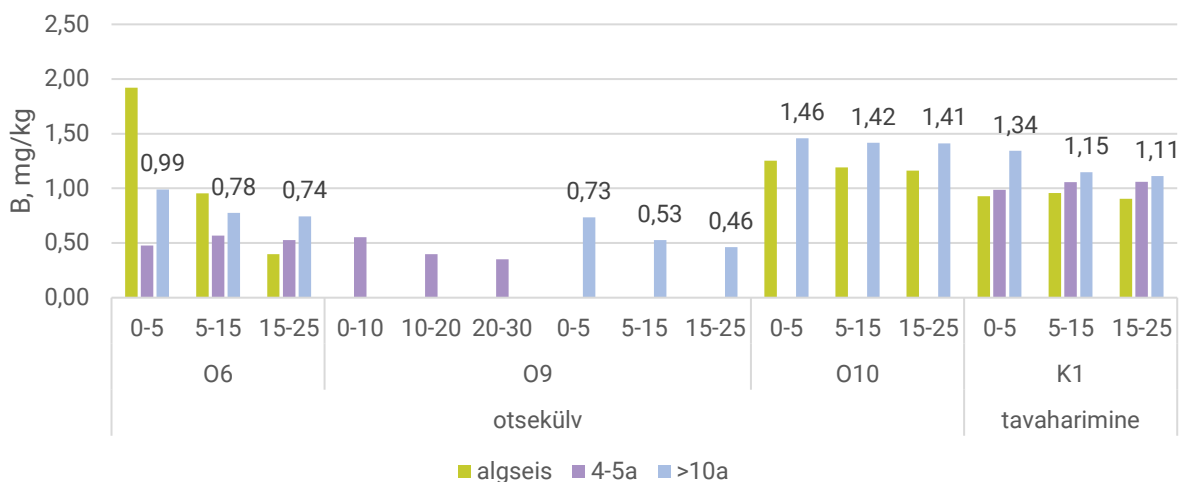
**Joonis 7.** Liikuv vase (Cu) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

Optimaalses Mn sisaldusklassis (75-150 mg/kg) on kõik uuringu põllud, va O9 alumised kihid. O6 põllul on pidevalt vähenenud Mn sisaldus pindmises mullakihis (39 mg/kg võrra võrreldes algseisuga) (Joonis 8), mis on seotud ilmselt happelise keskkonnaga, kus on pärsitud Mn tarbivate mikroorganismide tegevus. O9 ja O10 põldudel ei toimunud aastate lõikes suuri muutuseid Mn sisalduses. Tavaharimisega K1 alal on Mn sisaldus aasta-aastalt tõusnud ca 35 mg/kg võrra 0-5 ja 5-15 cm kihis ning 22 mg/kg võrreldes algseisu ja esimest kordusmõõtmist. Viimasel kordusmõõtmisel enam olulist muutust 15-25 cm sügavusel ei toimunud. Harimisviisist tingitud erisusi põldude vahel ei ole.



**Joonis 8.** Mangaani (Mn) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

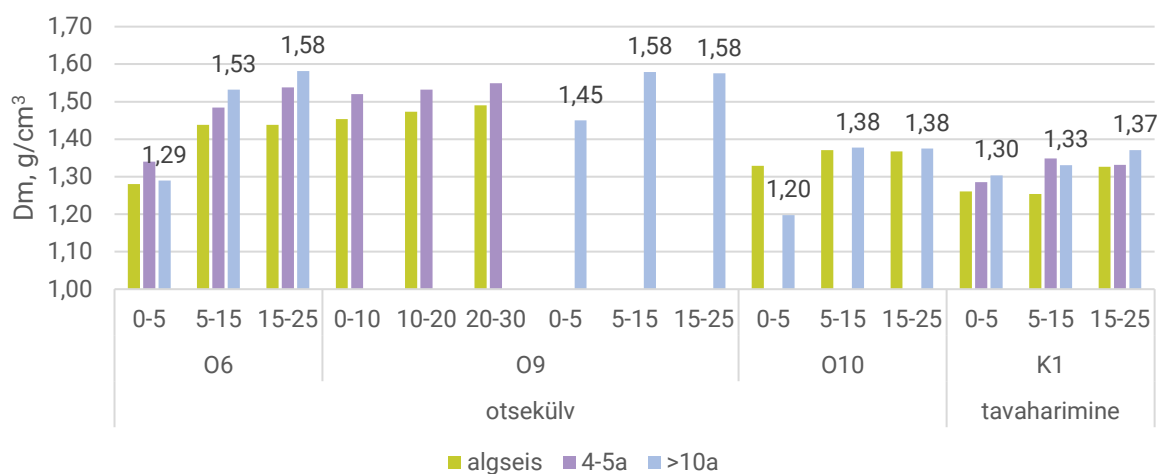
Mulla liikuv boori sisaldus on tihedalt seotud nii mullareaktsiooni kui ka Corg sisaldusega (Penu ja Putku, 2023). O6 põllul on näha taas otsest seost pH ja B sisalduse dünaamikas: mida happelisem muld seda madalam B sisaldus (Joonis 9). Optimaalse boori sisaldusega (>1,3 mg/kg) on Viljandimaa põllud O10 ja K1. Kuna boorisaldus on tugevas seoses mulla veerežiimiga, siis on ka ootuspärane et B sisaldus on Viljandimaa märjematel muldadel kõrgem. B sisaldus on ajalises dünaamikas kõikidel aladel suurenenud. Corg vertikaalse kihistumise tulemusena peaks ka B sisaldus samaselt kihistuma, ent O10 põllul sellist trendi ei ole. Tavaharimisega K1 põllul on seevastu just pindmises kihis kõrgem B sisaldus kui alumistes. Nii K1, O6 kui O9 on kasutatud boorväetisi leheväetisena.



Joonis 9. Boori (B) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

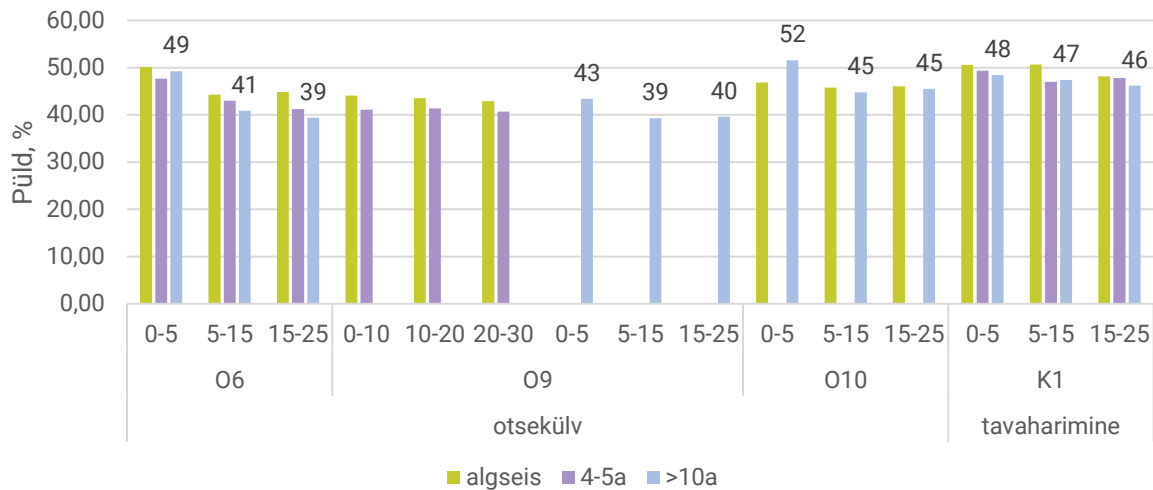
### Üldfüüsikalised omadused

Muldade füüsikalistest omadustest on lasuvustihedus (Dm) ehk mahukaal üks põhilisi näitajaid, mille abil iseloomustatakse muldade tihenemist. Tihenunud mullas on takistatud vee ja õhu liikumine, suureneb erosioonioht ja halveneb mulla struktuur. Mulla füüsikaliste näitajate, eeskätt mahukaalu aga ka poorsuste määramisel mängib olulist rolli mulla niiskuseisund, sest liigniisked mullad on tallamise suhtes tundlikud, samad on orgaanilise aine suurema sisalduse tõttu seal paremad eeldused optimaalse lasuvustiheduse saavutamiseks. Seda iseloomustavad uuringu Viljandimaa põllud, kus lasuvustihedus on heas või keskmises seisundis (Nugis ja Lehtveer, 1991): seal on märjemas mullas kõrgema Corgi sisaldusega ning lasuvustihedus ei ole mullale või taimedele kriitiline. Aastate võrdluses näeme siiski K1 alal pindmises kihis aasta-aastalt minimaalset lasuvustiheduse suurenemist, keskmise kihis Dm veidi vähenes ning 15-25 cm suurenes võrreldes eelmise kordusmõõtmisega (Joonis 10). Lasuvustiheduse proovivõtmine on mõjutatav proovivõtjast ning seetõttu võivad K1 alal toimunud minimaalsed muutused olla seotud ka proovi kogumisega, mitte sisuliste muutustega mullas. O10 põllul on pindmises kihis hästi kobestatud muld ning kuigi alumistes kihtides on 0,12 g/cm<sup>3</sup> võrra kõrgem Dm sisaldus on see stabiilne aastate võrdluses. Samuti ei ole O10 põllul Dm vertikaalselt kihistunud alumistes kihtides.



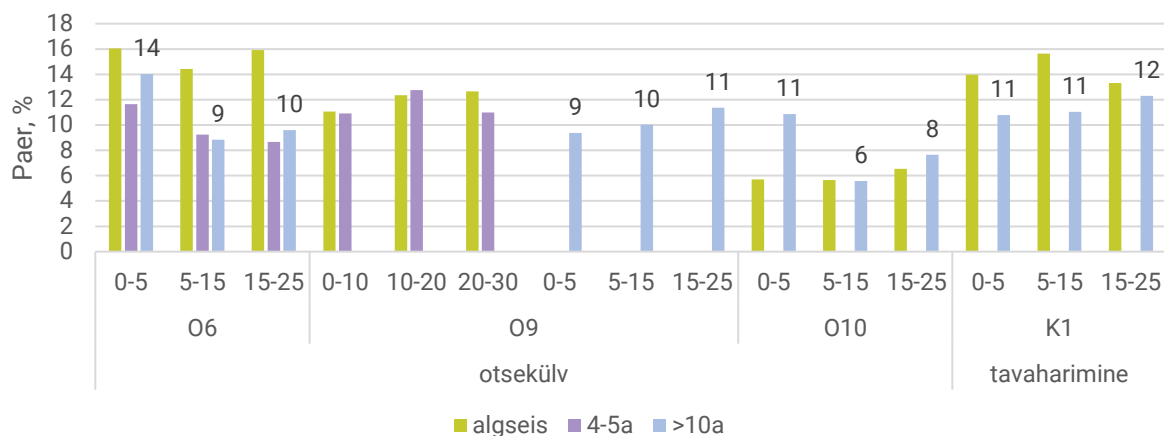
Joonis 10. Põldude keskmine lasuvustihedus (Dm) erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

Kõikidel otsekülvi põldudel on Dm 0-5 cm kihis oluliselt madalam kui alumistes. Ilmselt on see seotud kõrgema orgaanilise aine sisaldusega ja sellega seonduva mullaelustiku tegevusega värske orgaanilise aine lagundamisel. O6 alal 0-5 cm kihis on Dm püsinud stabiilsena läbi aastate, ent alumistes kihtides pidevalt suurenenud ja saavutanud eelkriitilise Dm taimedele ( $Dm > 1,5 \text{ g/cm}^3$ ). Samaselt Dm sisaldusele on üld- ja aeratsioonipoorsus halvenenud O6 põllu alumistes kihtides ning ei ole heas seisundis (Püld < 41 ja Paer < 12) (Joonis 11, Joonis 12). Seega on O6 põllul alates 5 cm allapoole probleem tihenemisega, mis avaldab mõju mulla õhu- ja veerežiimile, toitainete omastamisele, struktuursusele. Tihenemise leevendamiseks tuleks kasvatada sügavamajuurelisi kultuure, kuid taastumine on pikaajaline protsess.



**Joonis 11. Üldpoorsus (Püld) erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel**

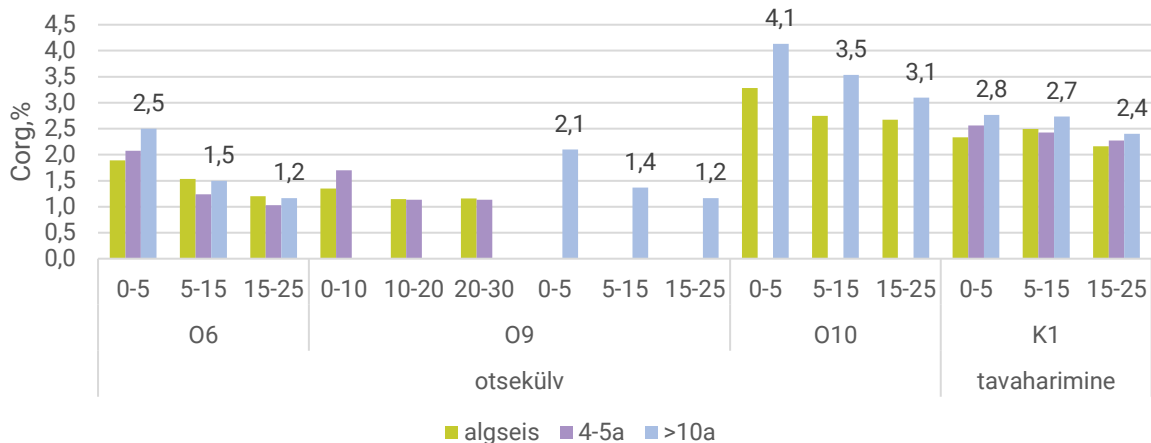
Mulla üldpoorsus on väga hea O10 ja K1 põldudel kõikides kihtides, ent õhuga täidetud pooride ruumala on O10 põllul keskmine ehk alla 12% (Joonis 12). Aastate võrdluses paranes Püld ja Paer O10 alal pindmises kihis 1,9 korda, 5-15 cm kihis püsis muutumatu ja 15-25 cm kihis paranes 1,5% võrra. Seega vaatamata keskmisele Dm sisaldusele O10 põllu alumistes kihtides on mulla õhustatus seal halb ja viitab kergele tihenemisele. K1 alal on Paer vähenenud kõikides kihtides, eriti keskmises, vastavalt 4,6% võrra. O9 põllul on samuti alates 5 cm sügavusest allapoole probleem mulla tihenemisega: Dm viitab eelkriitilisele lasuvustihedusele taimedele, Püld on küll üle kriitilise piiri (saviliival 37%), kuid Paer on < 12%.



**Joonis 12. Aeratsioonipoorsus (Paer) erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel**

### Orgaanilise süsiniku sisaldus ja süsinikuvaru mullas

Otsekülvi põldudel toimub Corg vertikaalne kihistumine, mis aastate võrdluses aina süveneb (Joonis 13). Eriti O6 ja O9 põldudel oli ülemises 5 cm kihis Corg sisaldus 1,5 korda kõrgem kui järgnevas kihis ning alumiste kihtide Corg sisaldus on püsinud stabiilsena aastate võrdluses ent ülemises kihis pidevalt suurenenud. O10 põllul on Corg sisaldus suurenenud nii 0-5 ja 5-15 cm kihis enamvähem võrdselt 0,8-0,9 võrra, ent alumises kihis vähem, 0,4 võrra. Üldine kõrgem Corg sisaldus O10 põllul on tingitud sellest, et tegu on gleistunud leostunud mullaga. Tavaharimisega K1 põllul suurenes veidi vaatamata teraviljakülvikorrale ja mustkesale kõikide kihtide Corg sisaldus ning jaotus mullaprofiilis ühtlasemalt kui otsekülvipõldudel.



**Joonis 13.** Põldude keskmine orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

Corg seisundi hindamiseks sobib hästi kompleksnäitajana süsinikuvaru, mis arvestab nii Corg sisalduse, Dm kui pealismullakihi tusedusega. Corg varu määramiseks kasutatakse traditsiooniliselt fikseeritud sügavusega meetodit (FD), kuid viimastel aastatel on soovitatud kasutusele võtta ESM ehk standardse mullamassi meetodit. ESM meetodi puhul valitakse referentsmullamassiks nt algmõõtmise mullamassi, et peegeldada Corg muutuseid mullas, mis ei tulene mulla massi muutustest, mis võivad omakorda olla tugevasti mõjutatud ajutistest mõjuteguritest. Kasutame käesolevas uuringus sama lähenemist Corg varu arvutamiseks ESM ja FD meetodiga nagu on kirjeldatud Putku et al (2024) artiklis.

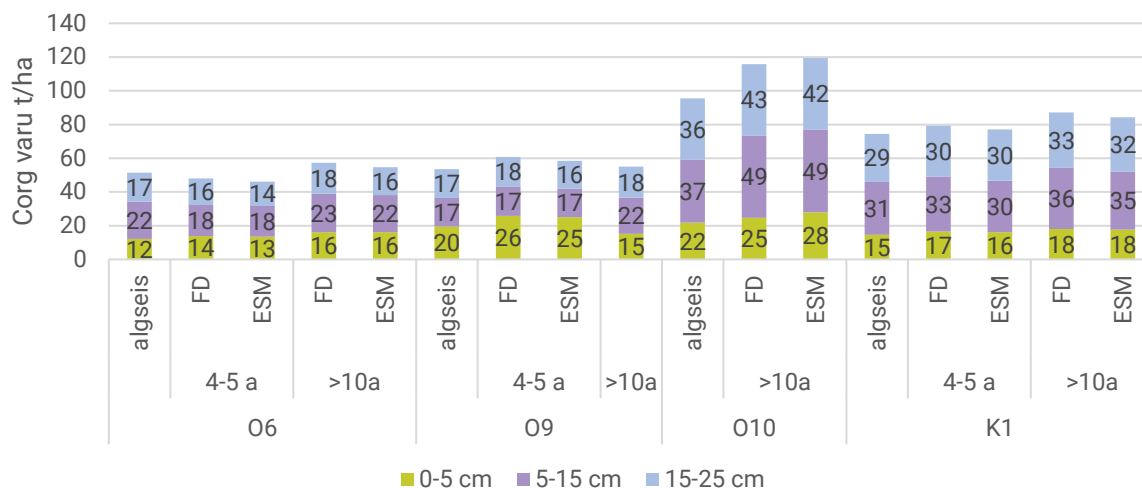
Meetodist tingitud erinevused on suhteliselt väikesed seirealade sügavuskihtide Corg varude arvutamisel, olles keskmisena väiksemad kui 4%. Siiski on ka keskmisest oluliselt suuremaid muutusi, näiteks O6 ala alumises kihis ülehindas FD meetod Corg varu 4-5 a möödudes 9% (+1,4 t/ha) ja 10 a möödudes ca 10% (+1,9 t/ha) kõrgemaks kui ESM meetodiga (Tabel 3). O10 põllul on vastupidiselt suurim erinevus just pindmises mullakihis, kus FD meetod alahindab Corg varu 13% võrra võrreldes muutumatut mullamassi kasutava ESM meetodiga. O10 vastupidised muutused on ilmselt seotud sellega, et Corg sisaldus kordusmõõtmisel tõusis, end mahukaal langes, mis lõppkokkuvõttes vähendas Corg varu suurenemist mullas FD meetodiga, ent ESM meetodi puhul arvestati algset rohkem tihenend mullamassi kõrgemate Dm väärtustega, mis suurendas Corg varu mullas. Üldiselt selgeid ühesuunalis erinevusi kahe meetodi vahel välja ei tule ja need on pigem põllupõhised

**Tabel 3.** Keskmise Corg varu (t/ha) mulla sügavuskihtides ESM ja FD meetodiga arvutades ja tulemuste erinevused

| Ala        | Kiht     | Corg varu, FD |       |      | Corg varu, ESM |      | Erinevus, FD-ESM, 4-5 a | Erinevus, % FD-ESM, 4-5 a | Erinevus, FD-ESM, >10 a | Erinevus, % FD-ESM, >10 a |
|------------|----------|---------------|-------|------|----------------|------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
|            |          | algseis       | 4-5 a | >10a | 4-5 a          | >10a |                         |                           |                         |                           |
| <b>O6</b>  | 0-5 cm   | 12,1          | 13,9  | 16,1 | 13,4           | 16,2 | 0,5                     | 3,28                      | -0,1                    | -0,59                     |
|            | 5-15 cm  | 22,0          | 18,4  | 22,8 | 18,2           | 22,0 | 0,1                     | 0,78                      | 0,8                     | 3,38                      |
|            | 15-25 cm | 17,3          | 15,8  | 18,4 | 14,4           | 16,5 | 1,4                     | 9,14                      | 1,9                     | 10,32                     |
| <b>O9</b>  | 0-5 cm   | 19,6*         | 25,9  | 15,2 | 25,1           |      | 0,8                     | 3,20                      |                         |                           |
|            | 5-15 cm  | 16,8          | 17,4  | 21,5 | 16,9           |      | 0,4                     | 2,43                      |                         |                           |
|            | 15-25 cm | 17,2          | 17,5  | 18,4 | 16,5           |      | 1,1                     | 6,00                      |                         |                           |
| <b>O10</b> | 0-5 cm   | 21,7          |       | 24,7 |                | 27,9 |                         |                           | -3,2                    | -13,02                    |
|            | 5-15 cm  | 37,4          |       | 48,7 |                | 49,1 |                         |                           | -0,5                    | -0,94                     |
|            | 15-25 cm | 36,3          |       | 42,5 |                | 42,5 |                         |                           | 0,1                     | 0,15                      |
| <b>K1</b>  | 0-5 cm   | 14,6          | 16,5  | 18,0 | 16,1           | 17,6 | 0,4                     | 2,27                      | 0,4                     | 2,44                      |
|            | 5-15 cm  | 31,3          | 32,6  | 36,3 | 30,5           | 34,5 | 2,2                     | 6,64                      | 1,8                     | 4,93                      |
|            | 15-25 cm | 28,5          | 30,2  | 32,8 | 30,4           | 32,3 | -0,2                    | -0,63                     | 0,5                     | 1,49                      |

\* Kalkdirjas olevad arvutused on tehtud mullakihtidele 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

Uuringualade kõrgeim süsinikuvahu on poolhüdromorfse mullaga O10 põllul, ning aastate võrdluses on see suurenenud 14 t/ha võrra (FD meetod) või 23 t/ha võrra (ESM meetod) ning suurenemine toimus kõikides uuritud kihtides, enim keskmises kihis (Joonis 14). K1 põllul suurenes samuti Corg varu aastate võrdluses ca 10 t/ha ning ühtlaselt kõikides kihtides. O9 alal ei ole võimalik otsesid võrdluseid teha algaastaga kuna kihtide tüsedused olid siis erinevad, 2023 aastal oli Corg varu 0-25 cm kihis 55 t/ha ning algaastal 0-30 cm kihis 54 t/ha. O6 põllul 0-5 cm kihis Corg varu suurenes 10 jooksul 4 t/ha, keskmises kihis on vaatamata vahepealsele Corg varu vähenemisele viimasel kordusmõõtmisel näha Corg varu taastumist algseisuni, sama kehtib ka 15-25 cm kihi kohta.



**Joonis 14.** Põldude keskmine orgaanilise süsiniku (Corg) varu erinevates sügavuskihtides erinevatel aastatel

## Mulla elustik

### Mullaelustiku metoodika

Mullaelustiku seisundi hindamiseks kasutati indikaatoritena vihmausside, hooghännaliste ja mikroobikooslusi iseloomustavaid parameetreid. Välitöödel mõõdeti mullaniiskust aparaadiga Fieldscout TDR 300, mõõtmisügavus oli 7 cm, igas proovikohas tehti kümme mõõtmist.

Vihmaussid koguti 2023. aastal vermifuugi meetodil (Gunn, 1992). Vermifuugina kasutati sinepipulbri 15%-lahust (toimeaine allüülsotiotsüanaat AITC). Igal põllul töödeldi kolme proovilapi pinda (50x50 cm) vermifuugiga (piki transekti, lappide vahe 10 meetrit). Maapinnale väljunud vihmaussid koguti, loendati, pesti, kaaluti ning määrati liigid, kasutades (Timm, 1998) määrajat. Vihmausside arvukus ja biomass arvutati ühe transekti proovilappide keskmisena 1 m<sup>2</sup> maapinna kohta, samuti arvutati erinevate eluvormide (epi-, endogeiline, aneetsiline) ning dominantliigi (harilik mullauss *Aporrectodea caliginosa*) osatähtsus koosluses.

2023. aasta sügisel võeti hooghännaliste proov iga prooviala keskelt. Mullaproovid võeti kahelt sügavuselt: 0-5 cm ja 5-10 cm mullapuuriga (Ø 5 cm), mõlemalt sügavuselt kokku 5 proovi. Proovide ekstraheerimisel kasutati Tullgreni lehtrit (Tullgren funnels) (Coleman, Crossley, & Hendrix, 2004). Mullaproovid pandi valgustuse alla metallsõela peale ning hooghännalised koguti proovipudelis, mis oli täidetud etanooliga. Mullaproove hoiti valgustuse all 48 h.

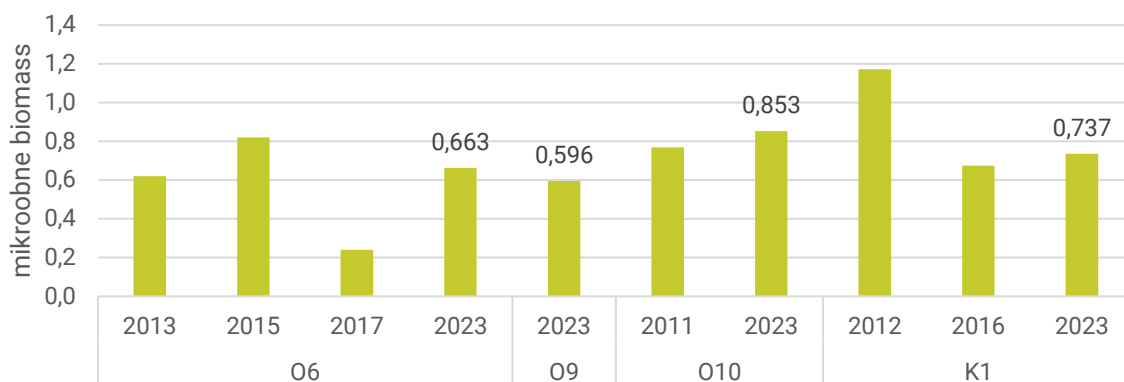
Proovid mikroobikoosluse parameetrite määramiseks koguti mullapuuriga (Ø 2 cm) 0-10 cm mullakihist ühe üldproovina põllu kohta. Mikroobikoosluse biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil ja mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse (BA) alusel määrati TaITechi Tartu laboris. Manomeetrilisteks mõõtmisteks kasutati OxiTop süsteemi (Platen & Wirtz, 1999). OxiTop kasutab standardsuurusega klaasnõusid, kuhu paigutatakse proov, nõu suletakse hermeetiliselt. Mikroorganismid tarbivad oma elutegevuseks vajaliku hapniku hermeetiliselt suletud anumast olevast õhust, eralduv CO<sub>2</sub> seotakse absorbendi poolt ja ei põhjusta rõhu tõusu mõõteanumas. Hapniku tarbimisest tulenev rõhu langus fikseeritakse spetsiaalsete tundlike mõõtepeade abil. Rõhumuutuse andmetest arvutatakse uuritava süsteemi hapnikutarve (Platen & Wirtz, 1999). Mikroobikoosluse üldine aktiivsus määrati kasutatud hapniku (O<sub>2</sub>) massina (mg) kilogrammi kuivaine kohta kindla aja kohta (kg KA\*<sup>h</sup>). Mulla mikroobikoosluse biomassi hindamise SIR meetodi puhul eeldatakse, et maksimaalne hapniku tarbimine mikroobide poolt glükoosi lisamisel on proportsionaalne mikroobide biomassiga. Mikroobide biomass (mg) on arvutatud süsiniku (C) massina ühe grammi kuivaine kohta (g/KA).

### Mulla mikroorganismide hulk ja hingamisaktiivsus

2023. aastal kordus 2022. aasta stsenaarium, kus suvi oli ekstreemne, sügis oli varasem, kuivem ja soojem, võimaldades põllumeestel varast saagikoristust ja põlluharimist. Mullaelustiku aktiivsus ja arvukus seevastu vajab aega, piisavat mullaniiskust ja soodsat mullatemperatuuri taastumaks ekstreemsest suvest ning sellest tulenevalt tuleb mullaelustiku uurimisel ajaline nihe, mis ei lange kokku põllumeeste töögraafikuga.

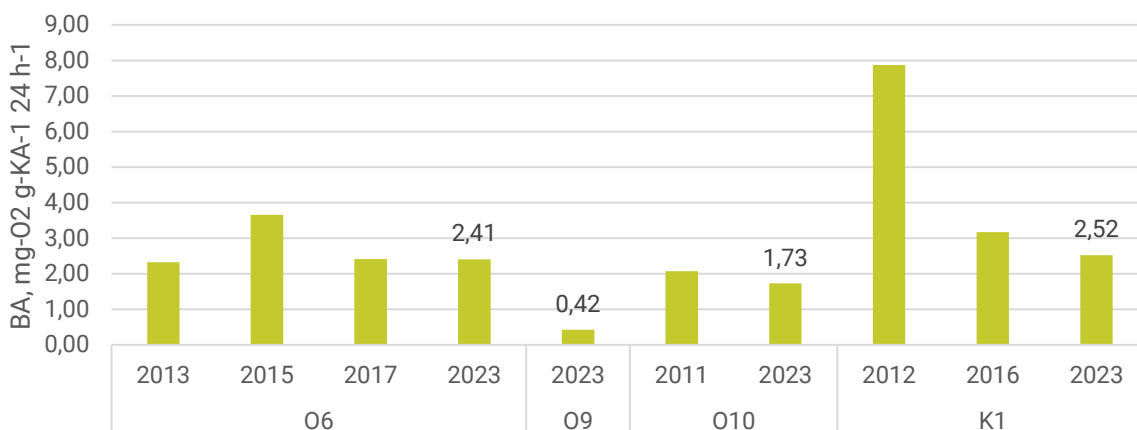
Kõrgeim mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil oli O10 proovialal (0,853 mgC/g KA) ja madalaim O9 proovialal (0,596 mgC/g KA) (Joonis 15). Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel oli kõrgeim K1 proovialal (2,522 mg O<sub>2</sub> /kg KA\*<sup>h</sup>) ja madalaim O9 proovialal (0,420 mg O<sub>2</sub> /kg KA\*<sup>h</sup>) (Joonis 16). Mikroobikoosluse näitajate juures eristub O9 prooviala, kus nii mikroobne biomass kui hingamine oli madalaimad, saades hindamisskaalal mikroobse

biomassi korral 3 hindepunkti ja hingamise puhul 1 hindepunkt. Seega olid O9 põllul tagatud head tingimused mikroobikoosluse biomassile, aga pärsitud oli hingamine. Kõikidel teistel põldudel oli mikroobne biomass üle 0,600 mg-C/g-KA ehk mikroobikooslus oli üleaktiveeritud.



**Joonis 15.** Mulla mikroobide aktiivne biomass (mg-C/g-KA) substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil aastatel 2011-2023.

Mikroorganismide üldine aktiivsus on hea seisus O6 ja K1 põldudel, aga O10 põllul keskmine. Aastate võrdluses ei ole ühesuunalisi muutuseid tehnoloogiate ja põldudel lõikes toimunud. Mikroobikoosluse hulka mõjutab üldiselt väga palju orgaanilise aine sisaldus mullas, ent uuringu põldude näitel väga konkreetset seost ei ole.



**Joonis 16.** Mulla mikroobikoosluse üldine aktiivsus (mg O<sub>2</sub> /kg KA\*h) hingamisaktiivsuse (BA) alusel aastatel 2011-2023.

### Vihmaussikoosluse arvukus ning liigiline ja ökoloogiline struktuur

Vihmaussikoosluste näitajate puhul eristub O6 prooviala, kus oli madalaim arvukus ja liikide arv, vastavalt  $18,7 \pm 4,8$  is/m<sup>2</sup> (Joonis 17) ja 4 liiki. Vihmausside arvukus ja liigiline koosseis on seotud mulla niiskusega ning lähtuvalt mulla elustiku välitöödel mõõdetud niiskussisaldusest oli O6 proovialal madalaim keskmine mullaniiskus ( $14,3 \pm 0,4$  %). Mullaniiskus <20% ei sobi vihmausside elutegevuseks. Võrdluseks sama aparaadiga mõõdetuna oli keskmine mullaniiskus proovialal O9  $21,7 \pm 1,0$ %; O10 proovialal  $35,5 \pm 0,8$ % ja K1 proovialal  $23,9 \pm 0,7$ %. O10 ala oli kõrgeim mullaniiskus ja ka parimad näitajad vihmausside keskmise arvukuse ja liikide arvu osas, vastavalt  $232,0 \pm 18,0$  is/m<sup>2</sup> ja 6 liiki. Aastate võrdluses on O6 alal drastiliselt vähenenud vihmausside arvukus, ca 15 korda, samas liigiline koosseis oli varieeruvam. O10 alal on vihmausside arvukus võrreldes 2011. aastaga suurenenud, eriti epigeiliste

koosluste arvukus. O9 alal on vihmausside arvukus 118,7 is/m<sup>2</sup> ning esineb viis erinevat liiki. K1 alal on keskmine arvukus madalam, 94,7 is/m<sup>2</sup> ja samuti 5 erinevat liiki. Aastate võrdluses on võrreldes 2012. aastaga K1 vihmausside arvukus oluliselt vähenenud, ent võrreldes 2016 aastaga suurenenud. Suurenemine on peamiselt toimunud läbi aneetsiliste liikide arvukuse tõusu, sest epigeiliste ehk pinnale lähemal elavate liikide arvukus on vähemaks jäänud ja endogeiliste koosluste arvukus on sarnane 2016. aastaga.



**Joonis 17. Vihmaussikoosluse eluvormide arvukus (isendite summa) 2011-2023. Numbritega on näidatud keskmine arvukus (is/m<sup>2</sup>) kogu ala kohta (kõik eluvormid koos).**

Kokku esines seirepõldudel 6 vihmaussiliiki 2 perekonnast: mullaussid *Aporrectodea* ja vihmaussid *Lumbricus*. Kõik leitud liigid on peregrinsed (laialt levinud kogu maailmas, endeemseid vihmaussiliike ei leitud Eestis vihmausside jaoks karmide kliimatingimuste tõttu). Mullausside perekonnast esinesid proovialadel endogeilised harilik mullauss (*A. caliginosa*) ja roosa mullauss (*A. rosea*) ning aneetsiline suur mullauss (*A. longa*). Kõik selle perekonna liigid on põllumajanduslike tegevuste suhtes tolerantid ja neid võib leida kogu Eestis. Vihmausside perekonnast esines epigeilised punane vihmauss (*L. rubellus*) ja tume vihmauss (*L. castaneus*) ning aneetsiline harilik vihmauss (*L. terrestris*). Punane ja harilik vihmauss

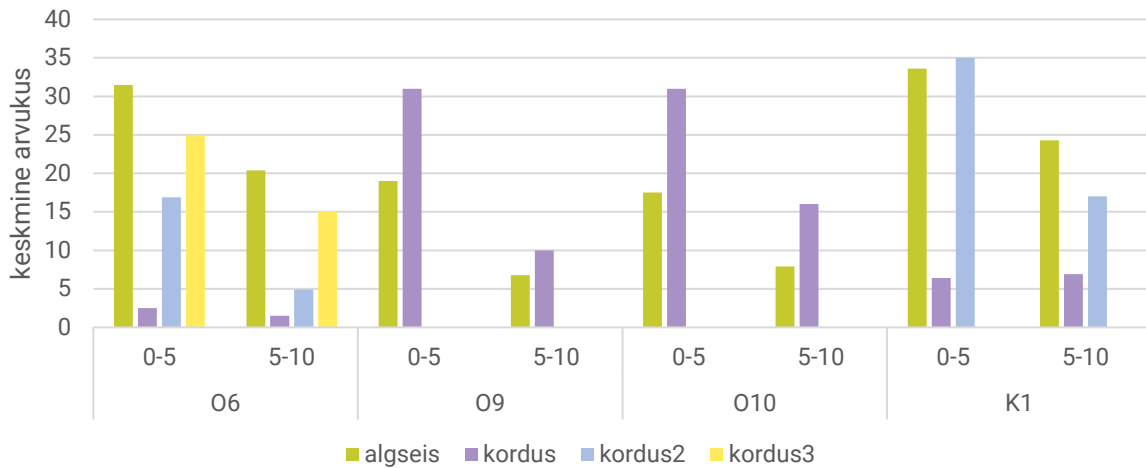
on elupaiga tingimuste suhtes vähenõudlikud, tume vihmauss on tundlikum – ei talu intensiivset põllumajandust ja ka tema niiskusenõudlikkus on suurem. Põllumajandustegevuse talumise põhjal võib liigid järjestada alates kõige vähemnõudlikust liigist: harilik mullauss > roosa mullauss > suur mullauss > harilik vihmauss > punane vihmauss > tume vihmauss.

Otsekülvipõllu O10 mullas leidsid 6 liiki isendeid, K1 ja O9 põllul 5 liiki ning O6 põllul, kus arvukus oli väike, leidsid vaid 4 liiki vihmausse. Mullatingimuste ja põllumajandustegevuste suhtes kõige nõudlikumat liiki (tume vihmauss) ei leidnud O6 põllul ning tavaharimisega K1 põllul. O6 põllul on see seotud ilmselt pigem halbade niiskustingimustega, et K1 põllul võib see olla seotud harimisega kuigi 2012. aastal oli tume vihmauss koosluses olemas. Aneetsilist suurt vihmaussi leiti kõikidel põldudel, va O9. O10 põllul ei ole liigilises koosseisus kahel proovivõtmisel muutuseid olnud, O6 põllul tuvastati 2023 a roosa mullauss, ent ei tuvastatud tumedat ja harilikku vihmaussi, keda leiti 2015 a. Eesti põldude dominantliik, harilik mullauss, esineb põldudel O6, O10 ja K1, kuid osatähtsus on vastavalt 0,29, 0,21 ja 0,25. Seega pole ussikooslustele väga ebasoodsaid tingimusi – mida suurema osa kooslusest moodustab harilik mullauss, seda ebasoodsamad on tingimused usside jaoks.

Bioloogilise mitmekesisuse indeks (H) näitab samuti koosluse koosseisu: dominantliigi madalama osatähtsuse puhul mullas oli indeks H kõrge (O6 1,277, O10 1,481 ja K1 1,421). Kõige madalam indeks H (0,900) O6 mullas on põhjustatud ussidele äärmuslikult ebasoodsate mullatingimuste poolt. Vihmaussid on kõige suurema biomassiga mullaselgrootute rühm. Biomassi suurust määravad tegurid: koosluse arvukus, liigiline ja vanuseline koosseis, toitainete sisaldus mullas. Seirepõldudel määrati vihmausside biomass m<sup>2</sup> kohta. Biomass oli varieeruv, 35 ... 122 g m<sup>2</sup>, seotud eelkõige koosluse arvukusega ehk suurima liikide arvuga O10 põllul oli ka suurim mass. Tulemus on kooskõlas koosluse liigilise koosseisu andmetega – aneetsiliste liikide isendid on kordades suurema kehamassiga kui epigeilised ja endogeilised ussid ning neid oligi enim just O10 ja K1 põldudel.

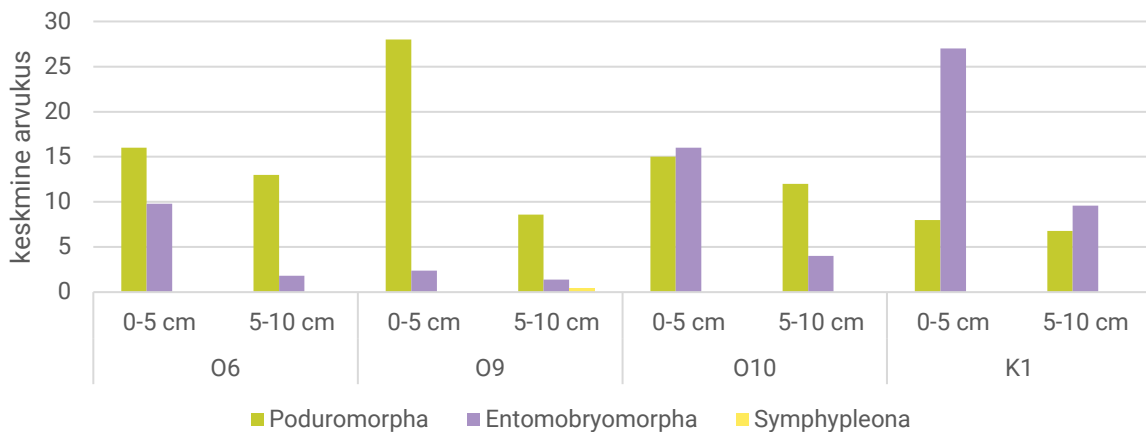
### **Hooghännaliste arvukus ja liigiline koosseis**

Hooghännaliste arvukus oli suurem ülemises kihis jäädes vahemikku 25-35 isendit võrreldes alumise kihiga, kus oli 10-17 isendit (Joonis 18). Hooghännalised on head orgaanilise aine lagundajad, kuid nad on väga tundlikud kuivamise suhtes – need liigid, kes elavad sügavamal mullakihtides, on tavaliselt kuivamise suhtes tundlikumad, kui need, kes elavad mullapinnal. Aastate võrdluses on hooghännaliste arvukus olnud väga varieeruv, üldise trendina peegeldus ülemise kihi suurem arvukus võrreldes alumisega. Tundub, et 2023. a oli soodne hooghännaliste elutegevusele, kuna arvukuse näitajad olid ühed kõrgemaid võrreldes eelmise aastatega. Tehnoloogiate vahel on keeruline erisusi tuvastada, 2023 a. olid siiski kõrgemad arvukuse näitajad just K1 alal.



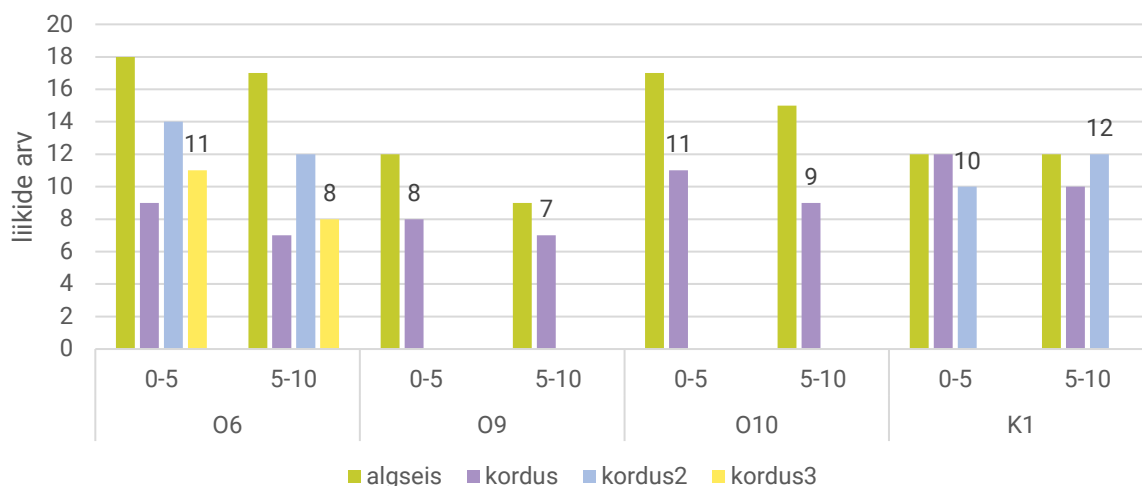
**Joonis 18.** Hooghännaliste keskmise arvukus 2010.- 2023. aastal

Kokku määrati 20 liiki hooghännalisi, kes kuulusid peamiselt *Poduromorpha* ja *Entomobryomorpha* seltsidesse, O9 alal leiti ka *Symphyleona* seltsi hooghännalisi (Joonis 19). Liikide nimekiri on esitatud Lisas 1. *Poduromorpha* seltsi liigid on tundlikud muldade tihenemise suhtes, sest nad on orienteeritud elama sügavamal mullas. 2022. aasta uuringu tulemustest see ka välja joonistus, et tihenunud aladel oli madalam seltsi esindatus (METK, 2023), kuid 2023 on just K1 ala, kus ei olnud suuri probleeme muldade tihenemisega näha oluliselt madalamat seltsi arvukus võrreldes otsekülvipõldudega. Teisalt on K1 ala *Entomobryomorpha* seltsi arvukus märksa kõrgem kui otsekülvialadel. *Entomobryomorpha* seltsi liigid eelistavad elada ülemises mullakihis ja kõdukihis.



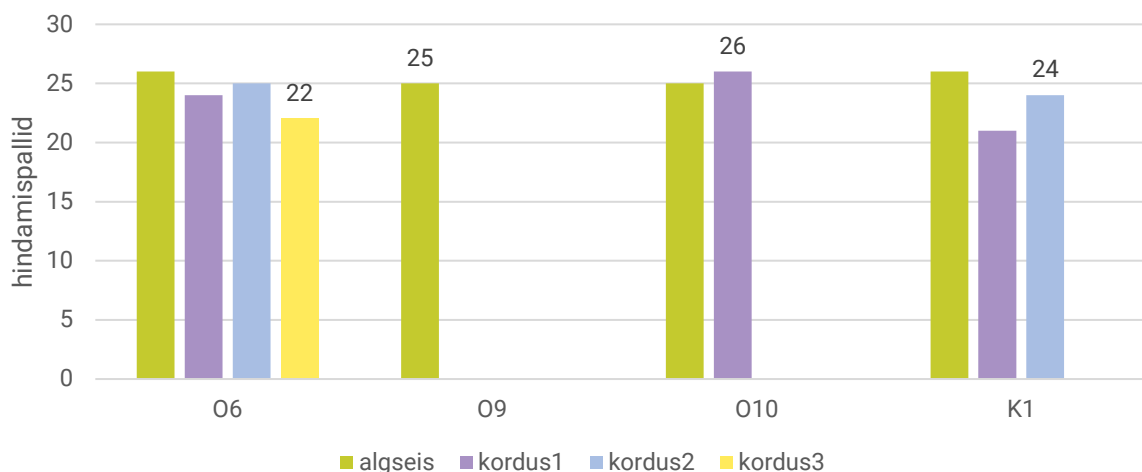
**Joonis 19.** Hooghännaliste seltside keskmise arvukus 2023 a.

Otsekülvi aladel oli liikide arv 5-10 cm kihis madalam kui ülemises kihis, tavaharimisega K1 ala oli vastupidiselt allpool rohkem erinevaid liike kui üleval (Joonis 20). Aastate võrdluses on otsekülvialadel algaastal olnud rohkem erinevaid liike kui järgnevatel aastatel. Shannon-Wieneri mitmekesisuse indeks oli kõrgeim O10 proovialal (0-5 cm 2,053 ja 5-10 cm 1,868) ja madalaim O9 proovialal (0-5 cm 0,882 ja 5-10 cm 0,959).



**Joonis 20. Hooghännaliste liikide arv sügavustel 0-5 cm ja 5-10 cm aastatel 2010.-2023.**

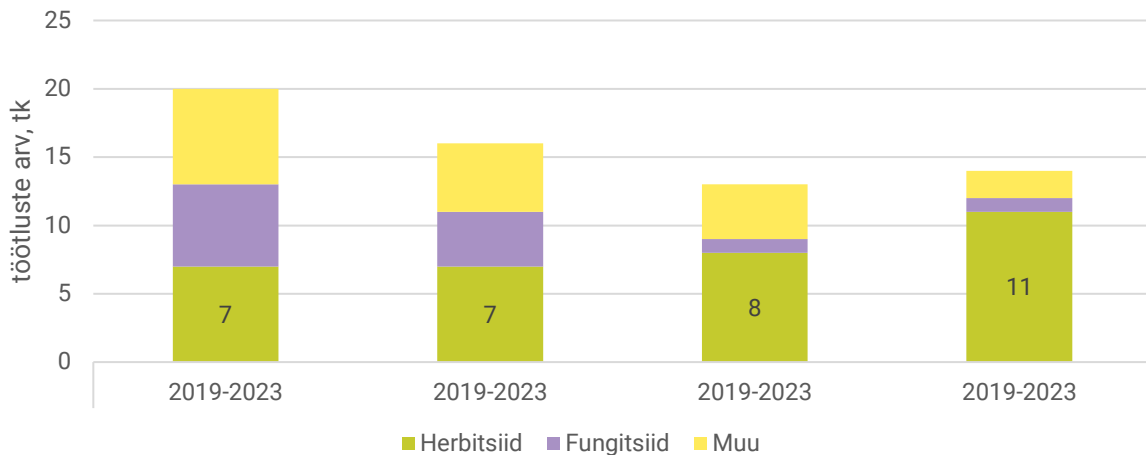
Otsekülvi uuringu algusaastatel koostati mulla elurikkuse kompleksemaks hindamiseks hindamisskaala (Lisa 2). Kõikidel põldudel oli mulla elustiku seisnud keskmine (summa 18-26) (Joonis 21). Aastate võrdluses halvenes O6 põllul elustiku hinnang ning oli madalaim alates esimesest, 2010. aastast. O10 põllul mulla elustiku seisund pisut paranes 12 aastaga ning K1 alal paranes võrreldes eelmise kordusmõõtmisega 3 hindepunkti võrra.



**Joonis 21. Uuringupõldude mulla elustiku koondhinnang hindamisskaalal 2010.-2022.a**

## Taimekaitsevahendite jäägid

Põlluraamatu alusel analüüsitud taimekaitsevahendite kasutusest selgus, et otsekülvi põllul O6 teostati kõige rohkem erinevaid taimekaitsevahendite töötusi viie aasta jooksul (Joonis 22). Samas herbitsiide kasutati märksa rohkem tavaharimisega põllul, kuigi mehhaaniline umbrohutõrje on seal võimalik. Fungitsiide ja insektitsiide kasutati rohkem otsekülvipõldudel. Kasutatud TKV spekter sõltub kindlasti ka kasvatavast kultuurist.



**Joonis 22.** Uurimisaladel tehtud taimekaitse töötuste arv (põlluraamatu alusel) 2019.-2023. a.

2023. aastal ei leiti kõige vähem jääke K1 põllult, ainult glüfosaadi laguprodukti AMPAt väikeses koguses (Tabel 4). O10 põllult leiti multsis fungitsiidide jääke summaarse sisaldusega 1,8192 mg/kg, suurima sisaldusega oli tebukonasooli jääk. O10 fungitsiidi jäägid mullas kattusid maikuus antud TKV vahendiga. O10 multsist leitud herbitsiidi glüfosaadi ja AMPA jäägid olid väga kõrged kuid see on tingitud vaid 7 päevasest vahest proovivõtmise ja taimekaitsetööde vahel. O6 põllul ei kasutatud liblikõielistel heintaimedel 2023 TKV-sid, kuid mullast leidsime siiski arvestataval hulgal erinevate fungitsiidide toimeainete jääke summaarse sisaldusega 0,0619 mg/kg ehk tegu on varasematel aastatel kasutatud fungitsiidide jääkidega. See näitab taaskord kui kaua võtab aega fungitsiidide lagunemine mullas. O9 põllul leiti TKV jääke nii mullas kui multsis, mullas leiti fungitsiidi tebukonasool jääki 0,024 mg/kg ning multsis herbitsiidi fluroksüpüür ja keelatud insektitsiidi bifentriini jääke. Eesti registrites ei leidu bifentriini sisaldavaid preparaate alates 2015. aastast, seega jääb selgusetuks toimeaine jõudmine multsi nii O9 kui O10 aladel ning seda ka suhteliselt kõrgel sisaldusel O9 alal, vastavalt 0,178 mg/kg. O9 alal leiti ka nii mullast kui multsist glüfosaadi ja AMPA jääke.

**Tabel 4. Taimekaitsevahendite (TKV) jääkide sisaldus (mg/kg) uurimisaladel 2023. aastal**

| Ala              | toimeaine         | sisaldus, mg/kg | TKV liik     | staatus  |
|------------------|-------------------|-----------------|--------------|----------|
| <b>O6 muld</b>   | Boscalid          | 0,0112          | fungitsiid   |          |
|                  | epoxiconazole     | 0,0203          | fungitsiid   |          |
|                  | Metrafenone       | 0,0124          | fungitsiid   |          |
|                  | Fluxapyroxad      | 0,007           | fungitsiid   |          |
|                  | fluopyram         | 0,011           | fungitsiid   |          |
|                  | glüfosaat         | 0,017           | herbitsiid   |          |
|                  | AMPA              | 0,59            | metaboliit   |          |
| <b>O9 muld</b>   | Tebuconazole      | 0,024           | fungitsiid   |          |
|                  | AMPA              | 0,77            | metaboliit   |          |
|                  | glüfosaat         | 0,059           | herbitsiid   |          |
| <b>O9 multš</b>  | Fluroxypyr-Meptyl | 0,006           | herbitsiid   |          |
|                  | Bifenthrin        | 0,178           | insektitsiid | keelatud |
|                  | AMPA              | 0,32            | metaboliit   |          |
|                  | glüfosaat         | 0,26            | herbitsiid   |          |
| <b>O10 muld</b>  | AMPA              | 0,085           | metaboliit   |          |
|                  | glüfosaat         | 0,027           | herbitsiid   |          |
| <b>O10 multš</b> | Bifenthrin        | 0,0162          | insektitsiid | keelatud |
|                  | Tebuconazole      | 0,783           | fungitsiid   |          |
|                  | Spiroxamine       | 1,02            | fungitsiid   |          |
|                  | AMPA              | >1              | metaboliit   |          |
|                  | glüfosaat         | >1              | herbitsiid   |          |
| <b>K1</b>        | AMPA              | 0,069           | metaboliit   |          |

## Kokkuvõte

- 2023. aastal viidi otsekülvi kordusuuring läbi neljal põllul: kolm otsekülvi põldu O6, O9, O10 ja üks tavaharimisega põld K1.
- Mulla reaktsioon oli kõikidel otsekülvipõldudel muutunud happelisemaks ning O6 ja O9 alal ka vertikaalselt kihistunud ehk ülemine kiht oli aluselisem kui alumised kihid.
- Enefixi tuhaga lupjamine ei ole andnud efekti 5 cm allapoole või on see efekt kiirelt kadunud.
- P sisalduse dünaamika on korrelatsioonis pH sisaldusega, sest happelistel otsekülvipõldudel on ka kõrge P sisaldus kuna see ei ole taimedele kättesaadav happelistes tingimustes.
- Liikuva K sisaldus on põldudel väga erinev, kuid ajaline dünaamika on valdavalt sarnane ehk trend on K sisalduse vähenemise suunas. Harimisviisist tingitud erisusi ei ole.
- Mg sisalduse puhul on harimisviisist tingitud erisus O10 ja K1 põllul. Tänu harimisele tuuakse Mg-rikast materjali künnikihis ülespoole, mis suurendab Mg sisaldust aasta-aastalt. Samas piirkonnas asuval otsekülvipõllul sellist muutust ei ole.
- Liikuva Ca:Mg suhe on põldudel madal, mis viitab Mg rikastele muldadele ning, mis võib mõjuda pärssivalt K omastamisele mullas.
- Mikroelementidest on vase sisaldus põldudel viimasel kordusmõõtmisel piisav ehk suurem kui 1,5 mg/kg, optimaalne Mn osas ning B sisaldus on optimaalne O01 ja K1 põldudel kus on kõrgem Corg sisaldus.
- Muldade tallatus on otsekülvipõldudel O6 ja O9 probleemiks: O6 põllul on alumiste kihtide lasuvustihedus taimedele eelkriitiline ja O9 alal alumiste kihti õhtustatus on halb. Kõikidel aladel on lasuvustihedus pindmises kihis madalam kui alumistes kihtides.
- Orgaanilise süsiniku sisaldus on otsekülvipõldudel vertikaalselt kihistunud ning aastate võrdluses see süvenes, kuid üldiselt Corg sisaldus aladel suurenes. Künnipõhise variandi põldudel on Corg sisaldus mullaprofiilis ühtlane.
- Corg varu on aladel võrreldes algseisuga suurenenud 0-25 cm kihis.
- Mulla elustiku näitajaid mõjutas taaskord palju ilmastik ning elustiku uurimise välitööd vajaks nihutamist hilisemaks
- Mulla mikrobioloogiline aktiivsus (biomass ja hingamine) olid heal tasemel kõikidel põldudel. Mikroobikoosluste biomass oli üleaktiveeritud O6, O10 ja K1 põllul.
- Vihmausside arvukus oli väga madal O6 alal (18,7 is/m<sup>2</sup>) ning ka K1 alal oli arvukus palju madalam kui O9 ja O10 põldudel. Liikide arv oli samuti O6 põllul väikseim (4 liiki) võrreldes O10 põlluga, kus oli 6 erinevat liiki.
- 0-5 cm kihis on hooghännaliste arvukus ja liikide arv kõrgem kui 5-10 cm kihis sõltumata tehnoloogiast. Kõrgeimad arvukuse näitajad olid tavaharimisega K1 põllul. Otsekülvi aladel oli liikide arv 5-10 cm kihis madalam kui ülemises kihis, tavaharimisega K1 ala oli vastupidiselt allpool rohkem erinevaid liike kui üleval.
- Taimekaitsevahendeid kasutuses tehnoloogiate vahel suuri erinevusi ei olnud, va herbitsiidide suurem kasutus tavaharimisega põllul.
- Taimekaitsevahendite jääke leiti kõikidelt põldudelt, kõige vähem K1 põllult. Otsekülvipõldudelt leiti peamiselt fungitsiidide jääke, ka mitme aasta tagusest kasutusest tingitud jääke. Kahjuks tuvastati kahel põllu multsis ja keelatud insektitsiidi bifentriini jääke. Glüfosaadi ja AMPA jääke tuvastati kõikidelt põldudelt.

## Kasutatud kirjandus

- Astover, A ja Leedu, E. 2019. Mulla ABC III osa. Mulla happesus ja lupjamine. Eesti Maaülikool.
- Coleman, D.C., Crossley, D.A. Jr., Hendrix, P.F. 2004. Fundamentals of Soil Ecology. 2nd Edition. Elsevier Academic Press. 386 pp.
- Gunn, A. 1992. The use of mustard to estimate earthworm population. Pedobiologia 36: 65-67.
- METK, 2023. Eesti maaelu arengukava 2014–2020 4. ja 5. prioriteedi hindamiseks 2022. aastal läbiviidud uuringute aruanne. [Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile](#).
- METK, 2024. Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi hindamine. ÜPP Strateegiakava 2023-2027 hindamine. Lubjatarbe määramise täpsustamine ja erinevate lubiväetiste mõju selgitamine erinevatele mullaomadustele ja taimede toitumistingimustele.
- 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.
- Nugis, E., & Lehveer, R. (1991). Eesti muldade masindegradatsiooni ulatusest. rmt: *Mullakaitse probleeme Eestis* (lk 63-76). Tallinn: Valgus.
- Penu, P; Putku, E. 2023. [Põllumuldade seire 2002-2022. Riikliku keskkonnaseire mullaseire allprogrammi koondanalüüs](#). Lk.1-48
- Platen, H., & Wirtz, A. (1999). Measurement of the respiration activity of soils using the oxiTop control measuring system. Basic principles and process characteristic quantities. Weilheim: WTW.
- Putku, E; Penu, P; Pihlap, E. 2024. [Orgaaniline süsinik mullas – kuidas seda arvutada?](#) Agronoomia 2024, lk 40-48
- Zhao, X, He, C, Liu, WS, Liu, WX, Liu, QY, Bai, W, Li, LJ, Lal, R, Zhang, HL. Responses of soil pH to no-till and the factors affecting it: A global meta-analysis. Glob Chang Biol. 2022 Jan;28(1):154-166. doi: 10.1111/gcb.15930. Epub 2021 Oct 24. PMID: 34651373.
- Timm, T. 1998. Eesti rõngusside (Annelida) määraja. Looduseuurija käsiraamatud 1. Tartu-Tallinn: Teaduste Akadeemia kirjastus.
- X-GIS. Maa-ameti maardlate kaardirakendus. 2023. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maardlad>

## Lisad

### Lisa 1. Hooghännaliste nimekiri

| Selts                   | Liik                              |
|-------------------------|-----------------------------------|
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Desoria tigrina</i>            |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Parisotoma notabilis</i>       |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Isotomurus fucicolus</i>       |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Isotoma viridis</i>            |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Folsomia spinosa</i>           |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Folsomia candida</i>           |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Folsomia quadrioculata</i>     |
| <i>Poduromorpha</i>     | <i>Metaphorura affinis</i>        |
| <i>Poduromorpha</i>     | <i>Protaphorura armatus</i>       |
| <i>Poduromorpha</i>     | <i>Brachystomella parvula</i>     |
| <i>Poduromorpha</i>     | <i>Ceratophysella denticulata</i> |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Willowsia buski</i>            |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Entomobrya lanuginosa</i>      |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>   |
| <i>Symphyleona</i>      | <i>Arrhopalites pygmaeus</i>      |
| <i>Symphyleona</i>      | <i>Sphaeridia pumilis</i>         |
| <i>Poduromorpha</i>     | <i>Stenaphorura densi</i>         |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Pseudosinella alba</i>         |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Paratullbergia callipygos</i>  |
| <i>Entomobryomorpha</i> | <i>Isotomiella minor</i>          |

## Lisa 2. Mullaelustiku hindamiskaala

| parameeter                                                                  | hindepallid                                                                                              |                                                                                                                                                   |                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                                                             | 1                                                                                                        | 2                                                                                                                                                 | 3                                                                        |
| <b>Vihmaussid</b>                                                           |                                                                                                          |                                                                                                                                                   |                                                                          |
| Vihmausside arvukus, isendit m <sup>2</sup>                                 | <30                                                                                                      | 30...100                                                                                                                                          | >100                                                                     |
| Vihmaussikoosluse liigiline koosseis                                        | Koosluses vaid liigid<br><i>Aporrectodea caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> ,<br><i>Lumbricus rubellus</i> | Lisaks eelmistele esinevad<br>koosluses liigid<br><i>Allolobophora chlorotica</i> ,<br><i>Lumbricus terrestris</i> ,<br><i>Aporrectodea longa</i> | Lisaks eelmistele<br>esineb koosluses liik<br><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                                                                                                      |                                                                          |
| <b>Mikroorganismid</b>                                                      |                                                                                                          |                                                                                                                                                   |                                                                          |
| SIR – mulla mikroobide aktiivne biomass kaudsel määramisel                  | <0,200<br>>0,600                                                                                         | 0,200...0,400                                                                                                                                     | 0,400...0,600                                                            |
| Mikroorganismide üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel                 | <1,100<br>>4,500                                                                                         | 1,100...2,000<br>2,500...4,500                                                                                                                    | 2,000...2,500                                                            |
| <b>Hooghännalised</b>                                                       |                                                                                                          |                                                                                                                                                   |                                                                          |
| 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                                                                    |

Hindepallide summa < 18 – mullaelustiku seisund on halb

Summa 18-26 – mullaelustiku seisund on keskmine

Summa >27 – mullaelustiku seisund on hea