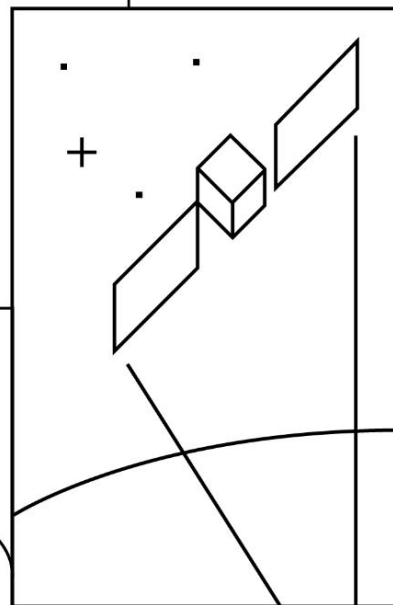
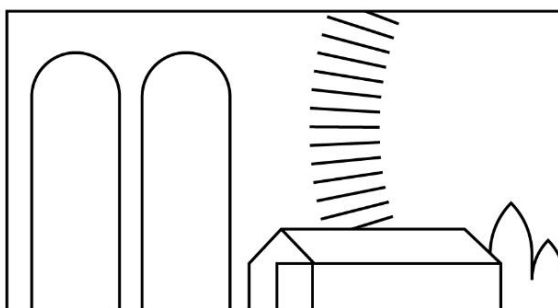
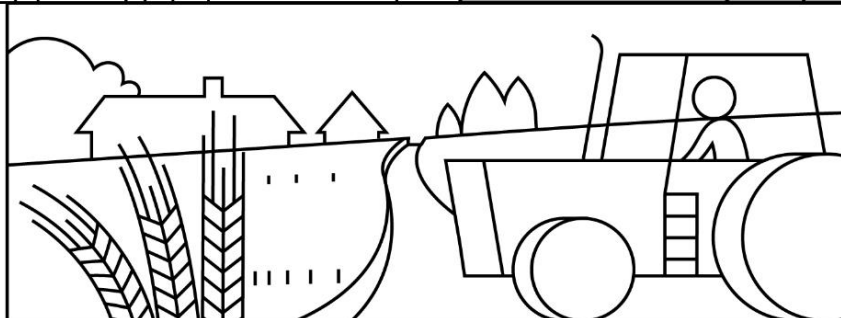


## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile

Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi  
2022. aasta hindamistegevuste raames läbi viidud uuring



Euroopa Maaelu Arengu  
Põllumajandusfond:  
Euroopa investeeringud  
maapiirkondadesse



## Sisukord

Jooniste loetelu .....	2
Tabelite loetelu.....	3
Lisade loetelu .....	3
Kasutatud kirjanduse loetelu.....	3
Uuringu lühikokkuvõte .....	4
Uuringu eesmärk.....	6
Uuringu alade kirjeldus .....	6
Tulemused ja arutelu .....	7
Viljandimaa võrdluspaar O1-K12 leostunud mullal .....	7
Valgamaa võrdluspaar O3-K3 näivleetunud mullal .....	11
Põlvamaa võrdluspaar tobrevili-PAotse näivleetunud mullal .....	16
Mullaelustik .....	23
Mullaelustiku metoodika.....	23
Mulla mikroorganismide hulk ja hingamisaktiivsus .....	23
Vihmaussikoosluse arvukus ning liigiline ja ökoloogiline struktuur.....	25
Hooghännaliste arvukus ja liigiline koosseis.....	27
Taimekaitsevahendite jäägid .....	30
Kokkuvõte.....	33

## Jooniste loetelu

Joonis 1. O1-K12 võrdluspaari keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal.	8
Joonis 2. O1-K12 võrdluspaari keskmine pH erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal. ....	8
Joonis 3. O1-K12 võrdluspaari liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldused erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal. ....	9
Joonis 4. O1-K12 võrdluspaari lasuvustihedus ja üldpoorsus erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal. ....	10
Joonis 5. O1-K12 võrdluspaari aeratsioonipoorsus erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal.....	10
Joonis 6. O1-K12 võrdluspaari orgaanilise süsiniku varu 0-25 cm mullaprofiilis 2011. ja 2022. aastal.....	11
Joonis 7. O3-K3 võrdluspaari keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal. .	12
Joonis 8. O3-K3 võrdluspaari keskmine pH erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal.....	12
Joonis 9. O3-K3 võrdluspaari liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldused erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal. ....	13
Joonis 10. O3-K3 võrdluspaari kaltsiumi- ja magneesiumisisaldused erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal....	14
Joonis 11. O3-K3 võrdluspaari lasuvustihedus ja üldpoorsus erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal. ....	15
Joonis 12. O3-K3 võrdluspaari kalluline veesisaldus erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal.....	15
Joonis 13. O1-K12 võrdluspaari aeratsioonipoorsus (Paer) erinevates sügavuskihtides 2012. ja 2022. aastal. ....	16
Joonis 14. O3-K3 võrdluspaari orgaanilise süsiniku (Corg) varu 0-25 cm mullaprofiilis 2012.-2022. aastal. ....	16
Joonis 15. Tobrevili-PAotse võrdluspaari keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus erinevates sügavuskihtides.....	17
Joonis 16. Tobrevili-PAotse võrdluspaari huumushorisoni tüsedus uurimisalade kaevetes 2010.-2022.....	18
Joonis 17. Tobrevili-PAotse võrdluspaari mulla reaktsioon (pH) .....	18
Joonis 18. Tobrevili-PAotse võrdluspaari mulla liikuva fosfori sisaldus.....	19
Joonis 19. Tobrevili-PAotse võrdluspaari mulla liikuva kaaliumi sisaldus.....	19
Joonis 20. Tobrevili-PAotse võrdluspaari kaltsiumi- ja magneesiumisisaldus.....	20
Joonis 21. Tobrevili-PAotse võrdluspaari vase- ja boorisaldus .....	21
Joonis 22. Tobrevili-PAotse võrdluspaari lasuvustihedus ja üldpoorsus erinevates sügavuskihtides 2011a. ja 2022.....	22
Joonis 23. Tobrevili-PAotse võrdluspaari orgaanilise süsiniku varu 0-25 cm mullaprofiilis 2011. ja 2022. aastal.....	22
Joonis 24. Mulla mikroobide aktiivne biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise meetodil 2011-2022.....	24
Joonis 25. Mulla mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse (BA) alusel 2011-2022.....	24

Joonis 26. Vihmaussikoosluse eluvormide arvukus 2011-2022 .....	26
Joonis 27. Hooghännaliste keskmine arvukus 2011.- 2022. aastal .....	28
Joonis 28. Hooghännaliste seltside keskmine arvukus 2022. aastal. ....	29
Joonis 29. Hooghännaliste liikide arv sügavustel 0-5 cm ja 5-10 cm aastatel 2010.-2022.....	29
Joonis 30. Uuringupõldude mulla elustiku koondhinnang hindamisskaalal 2011.-2022.a.....	30
Joonis 31. Uurimisaladel tehtud taimekaitse töötluste arv (põlluraamatu alusel) 2018.-2022. a.....	30
Joonis 32. Leitud taimekaitsevahendite toimeainete jääkide arv 2022. aastal .....	31
Joonis 33. Tuvastatud taimekaitsevahendi toimeainete summaarne sisaldus 2022. aastal.....	32

## Tabelite loetelu

Tabel 1. Uurimisalad 2022. aastal .....	6
Tabel 2. Uurimisalade külvikord 2018-2022 aastatel. ....	7
Tabel 3. O1-K12 võrdluspaari makro- ja mikroelementide sisaldused erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal. ...	9
Tabel 4. O3-K3 võrdluspaari mikroelementide sisaldused erinevates sügavuskihtides 2012.-2022 .....	14

## Lisade loetelu

- Lisa 1. Hooghännaliste nimekiri  
 Lisa 2. Mullaelustiku hindamisskaala

## Kasutatud kirjanduse loetelu

- Briones, M., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 32, 4396-4419. doi:10.1111/gcb.13744
- Chelinho, S., Domene, X., Andrés, P., Natal-da-Luz, T., Norte, C., Rufino, C., . . . Sousa, J. (2014). Soil microarthropod community testing: A new approach to increase the ecological relevance of effect data for pesticide risk assessment. *Applied Soil Ecology*, 38, 200-209.
- Coleman, D., Crossley, D., & Hendrix, P. (2004). *Fundamentals of soil ecology* (2 tr.). Elsevier Academic - press.
- Edwards, C., & Bohlen, P. (1996). *Biology and Ecology of earthworms* (3 tr.). London: Chapman & Hall.
- Gunn, A. (1992). The use of mustard to estimate earthworm population. *Pedobiologia*, 36, 65-67.
- Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H., Astover, A., Ilumäe, E., . . . Tamm, U. (2014). Väetamise ABC. Eesti Maaülikool.
- Lupwayi, N., & Soon, Y. (2016). Soil microbial properties during decomposition of pulse crop and legume green manure residues in three consecutive subsequent crops. *Canadian Journal of Soil Science*, 96, 413-426. doi:10.1139/cjss-2016-0039
- Nugis, E., & Lehveer, R. (1991). Eesti muldade masindegratatsiooni ulatusest. rmt: *Mullakaitse probleeme Eestis* (lk 63-76). Tallinn: Valgus.
- 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.
- Reintam, E., & Penu, P. (2009). Eesti põllumuldade tallatuse seire 2008. aastal. *Aruanne*. Tartu: Eesti Maaülikool ja Põllumajandusuuringute Keskus.
- Singh, J., Schädler, M., Demetrio, W., Brown, G., & Eisenhauer, N. (2019). Climate change effects on earthworms - a review. *Soil Org*, 91(3), 114-138. doi:10.25674/so91iss3pp114
- Sünnemann, M., Alt, C., Kostin, J. E., Lochner, A., Reitz, T., Siebert, J., . . . Eisenhauer, N. (2021). Low-intensity land-use enhances soil microbial activity, biomass and fungal-to-bacterial ratio in current and future climates. *Journal of Applied Ecology*(58), 2614-2625. doi:10.1111/1365-2664.14004

- Timm, T. (1998). Eesti rõngusside (Annelida) määraja. *Looduseuurija käsiraamatud 1*. Tartu-Tallinn: Teaduste Akadeemia kirjastus.
- Vacht, P. (2012). Soolatamise mõju maanteeäärsete muldade faunale ja diatomeefloorale. *Magistritöö*. Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut, Loodusteaduste osakond. 81 lk.
- Yu, H., Wang, F., Shao, M., Huang, L., Xie, Y., Xu, Y., & Kong, L. (2021). Effects of rotations with legume on soil functional microbial communities involved in phosphorus transformation. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1-15. doi:10.3389/fmicb.2021.661100

## Uuringu lühikokkuvõte

Minimeeritud harimise uuringu puhul on tegemist jätku-uuringuga. 2022. aastal võeti kordusproovid kuuelt tootmispõllult: kolm otsekülvi põldu O1, O3 ja tobrevili ning kolm künniharimisega põldu K12, K3 ja PAotse. Tootmispõllud moodustavad omavahel võrdluspaarid, kus sarnastes pedoökoloogilistes tingimustes on võimalik tehnoloogiate eripära hinnata: Viljandimaa leostunud mullal O1-K12, Valgamaa näivleetunud mullal O3-K3 ja Põlvamaa näivleetunud mullal tobrevili-PAotse. Kõikidel põldudel on kerge liivsavi lõimisega muld. Külvikorra järgi on kahjuks erisusi, K3 ja PAotse põldudel on suurem lühiajalise rohumaa osakaal kui vastavatel võrdluspõldudel. Väetistest kasutati kõikides variantides mineraalväetiseid ning künnipõhistest variantides ka orgaanilisi väetiseid. Künnipõhistel põldudel kasutati nii kündmist, kultiveerimist kui randaalimist maaharimisel. Kuna O3 põldu on vahepeal sügavkobestatud, siis kahjuks see ei peegelda enam otsekülvi tehnoloogia muutuseid.

Kõikidel otsekülvipõldudel on orgaaniline aine mullaprofiilis kihistunud ehk ülemises, 0-5 cm, kihis on oluliselt rohkem süsinikku talletunud kui alumistesse kihtidesse. Seejuures otsekülvialadel O1 ja tobrevili näeme kuidas orgaanilise aine kuhjumine ülemisse kihti süveneb aja jooksul. Taimede juurestik ulatub sügavamale kui 5 cm ning seetõttu võiks orgaanilist ainet, mis mõjutab mulla viljakust, olla ka allpool 5 cm. Kihistumist on soodustanud ka liblikõieliste heintaimede vähene kasutus otsekülvi põldudel, see kindlasti parandaks olukorda. Kihistumise tagajärjel kasutatakse ka rohkem lämmastikku ülemises 5 cm, aga kuna see kiht on aktiivne taimekasvutsoon, siis võib jääda taimedele seal lämmastikku vajaka - taimejäänused on väga süsinikurikkad. Künnipõhistel põldudel on orgaaniline aine ühtlasemalt jaotunud 0-25 cm kihis ning aastate võrdluses on näha pigem orgaanilise süsiniku suurenemist kihtides.

Vähesel määral näeme kihistumist ka taime toiteelementide P ja K puhul, enim isegi K puhul, mis on otseselt seotud Corg sisaldusega. Liikuva fosfori sisaldus on kõrge O1, K12, O3 ja tobrevili põllul ning väga kõrge K3 ja PAotse põllul. Kaaliumisisaldus on O1-K12 võrdluspaaris ülemises 5 cm väga kõrge, alumistes keskmise sisaldusega, aastate võrdluses on K sisaldus suurenenud K12 kõikides kihtides, mis parandas oluliselt mulla K-sisaldust võrreldes 2011. aastaga. O1 põllul on suurenenud nii P- kui K-sisaldused aastate võrdluses kihistudes seega veelgi mullaprofiilis. K3 mullaprofiili kaaliumisisaldus on väike ning kindlasti tuleks anda väetisega lisa. K sisaldus on 0-5 cm kihis suurem, võrreldes alumiste kihtidega, kõikidel otsekülvipõldudel ja ka künnipõhistel põldudel on K sisaldus suurem võrreldes 5-15 cm kihiga.

Mulla pH on neutraalne Viljandimaa võrdluspaaris O1-K12. K12 pH tõusu aastate võrdluses on võimalik seletada aluselise orgaanilise väetise kasutamisega või kapillaarvee toimel karbonaatidel ülesliikumisega põua tingimustes. Ka Ca- ja Mg-sisaldus O1-K12 põldudel on optimaalsed. Üldiselt ei ole pH, Ca ja Mg vahel maaharimise tehnoloogiast tulenevaid erisusi, st et elemendid ei ole kuhjunud kindlatesse mullakihtidesse. O3-K3 põllul on pH muutunud võrreldes eelmise korraga: O3 ala on lubjatud, tänu millele paranes nii pH, Ca- kui Mg-sisaldused, samas K3 süveneb mulla hapestumine ja põld vajaks lupjamist. Ka tobrevili põldu on lubjatud, mis on parandanud pH-d ülemises 5 cm, aga Ca- ja Mg-sisaldust ka sügavamates kihtides. Mikroelementide osas samuti mullaprofiilis tehnoloogiate vahel erisusi ei ole, orgaanilise väetisega väetatud põldudel on näha boori- ja vasesisalduse suurenemist.

Mulla füüsikalised näitajad on kõige halvemas seisus Valgamaa põldudel O3-K3. Pindmises kihis on lasuvustihedus hea (1,25 g/cm<sup>3</sup>), ent mõlema põllu alumistes kihtides on lasuvustihedus jõudnud mullale kriitilise piirini. Seejuures künnipõhine põld tiheneb alates 2012. aastast, samuti väheneb siis vastavalt mulla üldpoorsus. O1-K12 võrdluspaaris on O1 põllul keskmisena kõrgem tallatus ning kuigi pindmises kihis on lasuvustihedus vähenenud siis alumistes kihtides on jätkuvalt liiga tihe muld ja sellevõrra ka madalam üldpoorsus. Põlvamaa alad ei ole nii tallatud kui olid Valgamaa põllud,

sest lasuvustihedus on pindmises kihis mõlemas variandis 1,33-1,35 g/cm<sup>3</sup>. Otsekülvi alal tobrevili on alumistest kihtides muld pisut rohkem tihenenud, vastavalt 1,5 g/cm<sup>3</sup> ning künnipõhises on kahe sügavuse keskmisena 1,42 g/cm<sup>3</sup>. Aeratsioonipoorsus on kõikidel põldudel üle 10% ehk piisava õhustatusega.

Süsinikuvaru osas ei ole selgeid ühesuunalisi trende, üldiselt saab öelda, et süsinikuvaru suureneb kõikidel põldudel, ent künnipõhistel põldudel rohkem kui otsekülvipõldudel. Samas on süsinikuvaru suurem O3 ja tobrevili alal võrreldes nende võrdluspaaridega, kuid O1-K12 võrdluses on suurem süsinikuvaru künnipõhisel põllul. Kuna K12 põllul on juba keskmine orgaanilise süsiniku sisaldus tulenevalt mullast kõrgem, siis ei saa absoluutväärtusi võrrelda.

Mulla mikrobioloogiline aktiivsus (biomass ja hingamine) olid kõrgemad otsekülviga põldudel, vihmausside arvukus pigem suurem künnipõhistel põldudel (v.a. prooviaala K12), vihmausside liikide arv oli suurem pigem otsekülviga proovialadel. Sarnane tendents oli ka hooghännalistega: arvukus oli suurem tavakülviga põldudel, samas liikide arv oli suurem otsekülviga põldudel. Hooghännaliste puhul tuli välja ka selge erinevus kahe sügavuskihi vahel: 0-5 cm proovikihis oli enam hooghännalisi ja suurem liikide arv kui mullakihis 5-10 cm. Hindamiskaala põhjal erinevad omavahel piirkonnad: Viljandimaa seirepõllud on vahemikus "keskmine/halb", Valgamaa seirepõllud vahemikus "keskmine" ja Põlvamaa seirepõllud vahemikus "hea". Tõenäoliselt tulenevalt kliimatingimuste erinevusest piirkondade vahel on põllupaaride tehnoloogiate vaheline erinevus minimaalne ja mitte väga eristuv.

Taimekaitsevahendeid kasutati otsekülvi põldudel oluliselt rohkem kui künnipõhistel põldudel: 2-4 korda rohkem herbitsiide ja 3 korda rohkem fungitsiide viie aasta jooksul. Taimekaitsevahendite jääke leiti proovidest 19 korral 8 erineva toimeainega. Seejuures künnipõhistel põldudel leiti kordades vähem jääke kui otsekülvipõldudel, samas ka taimekaitseteid tehti künnipõhistel põldudel vähem, mis oli osaliselt tingitud ka külvikorrast. Otsekülvipõldudest leidis O1 põllul ainult glüfosaadi laguvaine AMPA jääki vähesel määral, O3 ja tobrevili põldudel tuvastati jääke nii mullast kui multšist, peamiselt herbitsiidide ja fungitsiidide jääke. Multšist leiti mõlemal põllul 4 erinevat jääki, mullas kolm erinevat jääki. Multšis püsivad kauem fungitsiidide jäägid võrreldes herbitsiididega: O3 põllul oli multšis kolm fungitsiidi jääki ja tobrevili põllul 2. Samas ka ajaliselt kasutatakse vegetatsiooni perioodi jooksul herbitsiide varem (mais) ja fungitsiide hiljem (mai-juuni keskpaik).

## Uuringu eesmärk

Uuringu eesmärgiks on hinnata minimeeritud harimise mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile – võimaliku erosiooni tõkestajana, 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. 2022. aastal võeti kordusproovid kuuelt tootmispõllult: kolm otsekülvi põldu O1, O3 ja tobrevili ning kolm künniharimisega põldu K12, K3 ja PAotse (Tabel 1). 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 2022. aastal

Põld	Siffer <sup>1</sup>	Lõimis <sup>2</sup>	Tehnoloogia	Proovivõtu aastad	Maakond	Välitööd	Elustiku välitööd
O1	Ko	Is <sub>1</sub> /Is <sub>2</sub>	otsekülv	2011; 2012; 2016; 2022	Viljandi	02.09.2022	07.09.2022
K12	Kor; Ko	Is <sub>1</sub>	künd	2011; 2022	Viljandi	02.09.2022	07.09.2022
O3	LP	Is <sub>1</sub>	otsekülv/minimeeritud h.	2012; 2016; 2022	Valga	07.09.2022	12.09.2022
K3	LP; Lklg	Is <sub>1</sub>	künd	2012; 2016; 2022	Valga	07.09.2022	12.09.2022
tobrevili	LP(g)	Is <sub>1</sub>	otsekülv	2010*; 2011; 2015; 2022	Põlva	31.08.2022	12.09.2022
PAotse	LP	Is <sub>1</sub>	künd	2010*; 2015; 2022	Põlva	31.08.2022	12.09.2022

<sup>1</sup> Ko – leostunud muld, Kor – leostunud rähkne muld, LP – näivleetunud muld, LP(g) – näivleetunud muld gleistumistunnusega, Lklg – gleistunud nõrgalt leetunud muld

<sup>2</sup> Lõimised on mullastiku kaardi alusel. Is<sub>1</sub> – kerge liivsavi, Is<sub>2</sub> – keskmine liivsavi

\* 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). Lisaks mineraalväetistele kasutati ka orgaanilisi väetisi, kuid seda ainult künnipõhistel põldudel K12, K3 ja PAotse. O1 ja K12 on suhteliselt sarnase külvikorraga erinevalt teistest paaridest, kus künnipõhistes variantides on suur osakaal lühiajalisel rohumaal. Künnipõhistel põldudel kasutati nii kündmist, sügavkobestamist, kultiveerimist kui ka randaalimist seega on hea tõdeda, et tegemist on põldudega kus mulda segatakse. Otsekülvipõldude osas selgus, alles andmete analüüsi etapis, et O3 põllul on loobutud täielikust otsekülvi meetodist, igal aastal toimub randaalimine ja igal 6 aastal tehakse sügavkobestamist. Tootja sõnul ei sobi täielik otsekülvi tehnoloogia sellele põllule. Seega nimetame O3 põldu tinglikult küll otsekülvipõlluks, kuid tegelikkuses on see kombineeritud/minimeeritud harimisega põld: külvatakse otsekülvikuga, aga mulda haritakse. Selline kombineeritud tehnoloogia on tegelikkuses hästi kooskõlas põllupõhise muldkeskse maaharimisviisiga.

Tabel 2. Uurimisalade külvikord 2018-2022 aastatel

Põld	Põllukultuur				
	2018	2019	2020	2021	2022
O1	valge mesikas	rukis	suvinisu	oder	hernes
K12	taliraps <sup>SK</sup>	talioder	mais <sup>SK</sup>	mais <sup>K</sup>	põldhein
O3	taliniisu	taliraps	taliniisu	kaer	taliniisu
K3	suviraps <sup>SK</sup>	suvinisu <sup>K</sup>	suvioder liblikõieliste heintaimede allakülviga	liblikõieliste ja kõrreliste segu (>30% lõ) (Cutmax Alfa Protein)	liblikõieliste ja kõrreliste segu (>30% lõ) (Cutmax Alfa Protein)
tobrevili	aruhein	põlduba	taliniisu	taliraps	taliniisu
PAotse	Suvioder liblikõieliste heintaimede allakülviga	Liblikõieliste ja kõrreliste segu (>50% lõ)	Liblikõieliste ja kõrreliste segu (>50% lõ)	Liblikõieliste ja kõrreliste segu (>50% lõ) <sup>K</sup>	taliniisu

SK- sügavkobestamine; K-kündmine

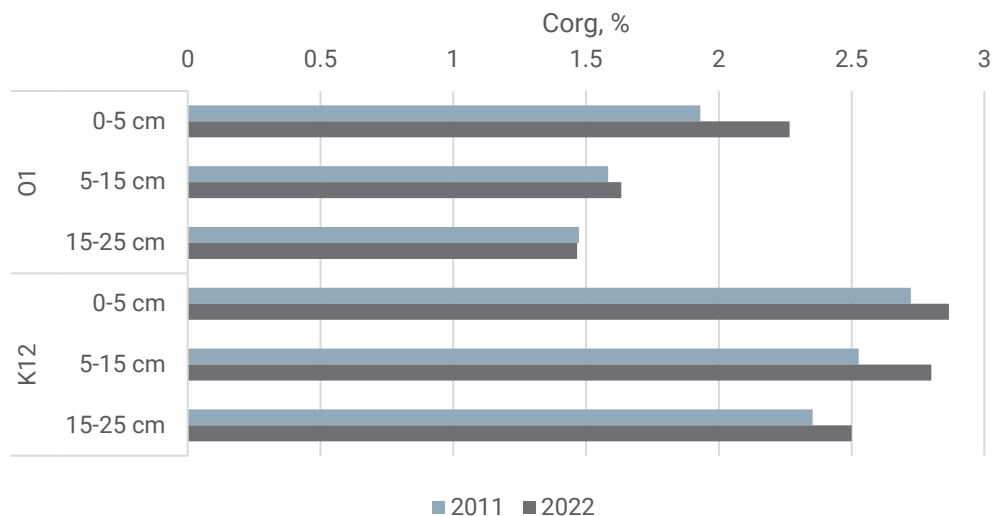
## Tulemused ja arutelu

### Viljandimaa võrdluspaar O1-K12 leostunud mullal

Otsekülvi põld O1 on kündmata olnud juba 20 aastat ehk otsekülvi tehnoloogia pikaajaline mõju peegelduvad sellel põllul hästi. Uuring algas seal 2011. aastast, seega peegeldame tulemusi ja muutuseid, mis on toimunud 10 aasta jooksul. O1 võrdluspaariks on olnud varasematel aastatel K1, ent 2022. aastal oli põllul mustkesa ja tänu sagedasele randaalimisele ei olnud võimalik seda uuringusse kaasata. Küll aga on uuringus aastast 2011 sama piirkonna künnipõhise harimisega põld K12, millelt 2022. aastal kordusproovid kogusime. Kuna vahepealsetel aastatel ei ole K12 proove kogutud esitamegi tulemused kahe aasta võrdluses.

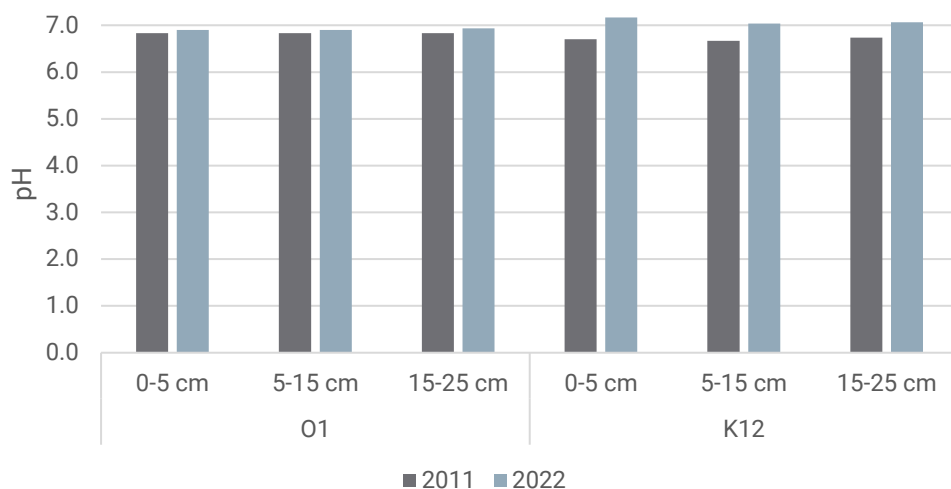
Mulla orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus on oluliselt kõrgem tavaharimisega K12 põllul ning Corg sisaldus on kõikides kihtides suurenenud (Joonis 1). Üldine kõrgem Corg sisaldus on tingitud ilmselt sellest, et K12 põllul on rähkne leostunud muld. O1 põldu iseloomustab orgaanilise aine kuhjumine pindmisesse kihti ehk ülemises 5 cm mullakihis on Corg sisaldus suurem kui alumistes ning mis veelgi olulisem, Corg sisaldus on ülemises kihis suurenenud 0,34% võrra ja samal ajal on alumises 15-25 cm kihis sisaldus vähenenud. See viitab sellele, et mulla alumistesse kihtidesse ei jõua piisavalt orgaanilist materjali, mida mullaelustik saaks lagundada ja seeläbi suurendada Corg sisaldust mullaprofiilis. K12 põldu on 2018 a. ja 2021 a. küntud ning lisaks 2020. aastal sügavkobestatud, mis on kindlasti avaldanud mõju orgaanilise aine ühtlasemale jaotumisele mullaprofiilis. Huumushorisondi tuseduses ei saa hinnata muutusi, sest 2011. a ei mõõdetud neid. 2022. aastal on O1 alal huumushorisont 29,3 cm ja K12 põllul veidi tusedam ehk 31 cm.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 1. Põldude O1-K12 võrdluspaari keskmine orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal

Mulla pH on mõlemal alal neutraalne ning kihistumist O1 alal ei ole. Mulla pH on suurenenud mõlemal alal, kuid muutus on kõrgem K12 alal. Seal on ülemises 5 cm kihis suurenenud pH 0,5 võrra, keskmises 0,4 ja alumises 0,3 võrra. Kuna muld on niigi neutraalse reaktsiooniga ja ka põlluraamatu järgi ei ole põldu lubjatud, siis võib eeldada, et kasutatud orgaaniline väetis oli aluseline. Sama ka eelnev kuiv ilmaperiood võis mõjutada mullaprofiilis allpool olevat karbonaatset materjali kapillaarveega üles liikuma.



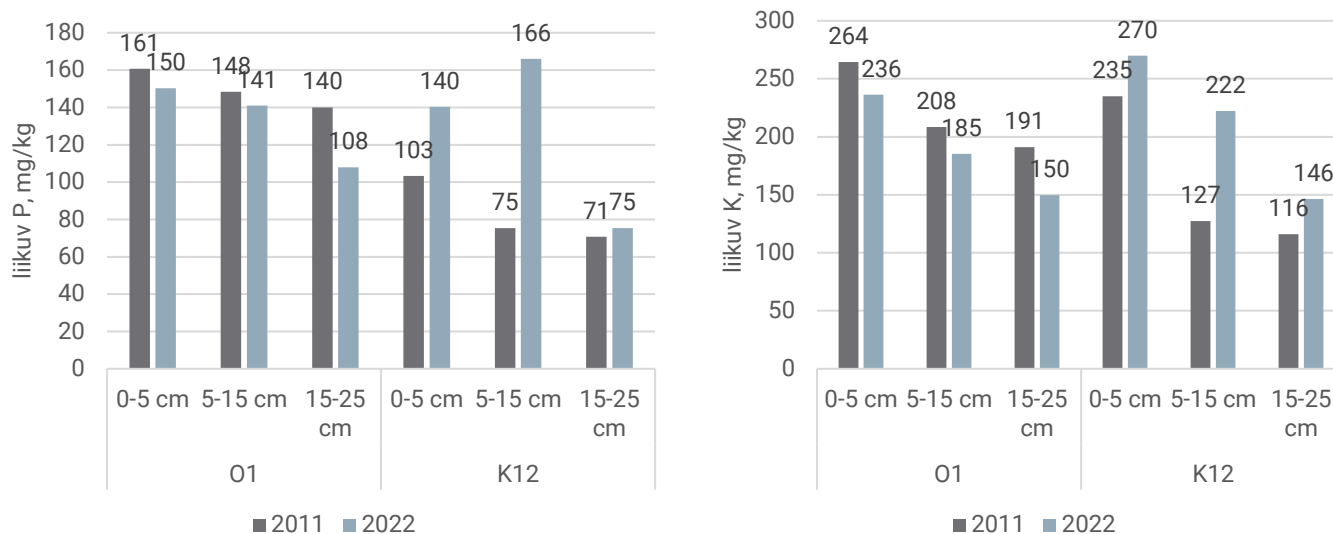
Joonis 2. Põldude O1-K12 võrdluspaari keskmine pH erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal

K12 põllul kasutatakse nii orgaanilisi (veise vedelsõnnik ja digestaat) kui mineraalväetiseid ja 5 a N-P-K- keskmisena viidi põllule 101-22-58 kg/ha/a; O1 põllul kasutati ainult mineraalväetiseid 5 a keskmisena 92-10-22 kg/ha/a. Mullaanalüüside järgi on liikuva fosforisisaldus O1 põllul kõrge ning aastate võrdluses on fosforisisaldus veidi langenud (Joonis 3), kuid see

**Liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldused on vertikaalselt kihistunud otsekülvi põllul.**

ei ole taimekasvatuse mõttes oluline muutus. Uuringu kontekstis on oluline välja tuua nii fosfori- kui kaaliumisisalduse pindmises kihis kuhjumise suurenemise O1 alal aastate võrdluses. Alumises 15-25 cm kihis on nii fosfori- kui kaaliumisisaldus vähenenud enim, vastavalt 32 mg/kg võrra ehk 23% P puhul ja 41 mg/kg võrra (22%) K puhul. Ülemistes kihtides on vähenemine väiksem olnud. O1 alal väetati 5 a keskmisena fosforiga kaks korda vähem ja kaaliumiga 2,6 korda vähem kui K12 põllul ning seda õigustatult kuna O1

põllul ei ole P-K toiteelementide osas probleeme. K12 alal on aga toimunud märkimisväärsed muutused, mis K puhul on olnud vajalikud, kuna kaaliumisisaldus just keskmises ja alumises kihis olid 2011. aastal madalad ning põld vajas kindlasti lisa. 2022. aastaks on ilmselt suuresti orgaanilise väetise toel P-K olukorda parandatud ning võiks mõelda väetamise vähendamisele, sest ülemises 5 cm on kaaliumisisaldus juba liiga kõrge. K12 põllul on näha ka kuidas keskmises 5-15 cm kihis on nii fosfori- kui kaaliumisisaldus suurenenud kõige rohkem, ehk leostumine suurim. Õnneks kõige alumises kihis on toiteelementide sisaldused küll tõusnud, kuid mitte nii palju.



Joonis 3. Põldude O1-K12 võrdluspaari liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldused erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal

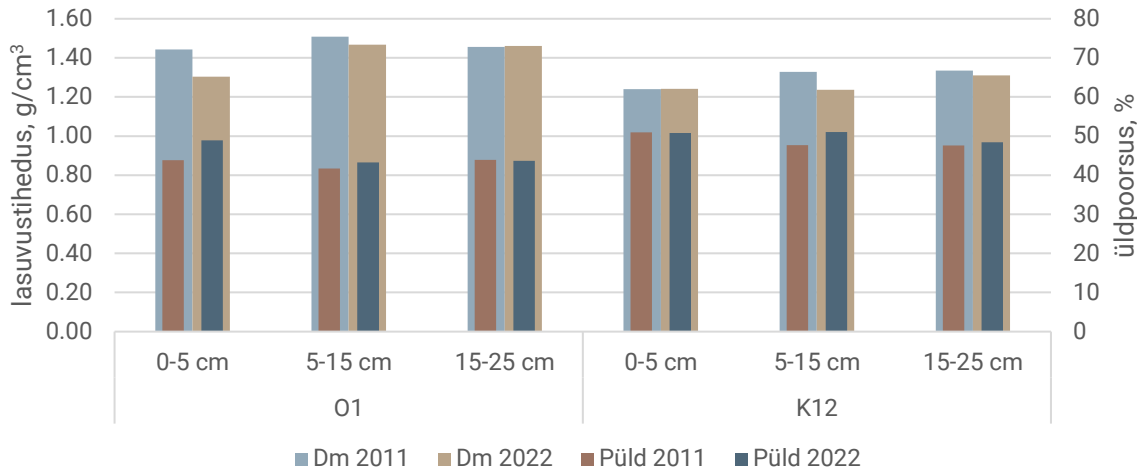
Ca- ja Mg-sisaldused on võrreldes 2011. aastaga suurenenud kõikides sügavuskihtides ja mõlemal alal (Tabel 3). Sarnaselt pH-le ei ole nende makroelementide puhul täheldatav vertikaalne kihistumine ehk toiteelementi on mullaprofiilis ühtlaselt. Nii Ca kui Mg on mullas taimekasvatuseks piisavalt. Cu ja B sisaldus on oluliselt tõusnud K12 põllul ning see on osaliselt seletatav orgaanilise väetise kasutamisega. Cu sisaldus suurenes eriti 0-5 ja 5-15 cm kihis, vastavalt 1 mg/kg (65%) ja 1,4 mg/kg (100%) võrra. Kuna boorisaldus tõusis nii O1 kui K12 põldudel, siis võib eeldada, et selle on tinginud ka boorväetiste kasutamine. Ka mikroelementide osas ei ole selgelt eristatavat kihistumist otsekülvi variandis.

Tabel 3. Põldude O1-K12 võrdluspaari makro- ja mikroelementide sisaldused (mg/kg) erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal

Ala	sügavus	2011					2022				
		Ca	Mg	Cu	Mn	B	Ca	Mg	Cu	Mn	B
O1	0-5 cm	1770	307	1,5	220	0,93	2096	370	1,6	214	1,20
	5-15 cm	1730	277	1,6	220	0,83	1962	349	1,7	237	1,02
	15-25 cm	1769	266	1,5	226	0,85	1939	323	1,5	234	0,93
K12	0-5 cm	2306	442	1,5	281	1,23	2736	477	2,5	212	1,36
	5-15 cm	2267	413	1,4	264	1,17	2682	477	2,8	224	1,52
	15-25 cm	2245	400	1,3	239	0,99	2543	409	1,7	179	1,26

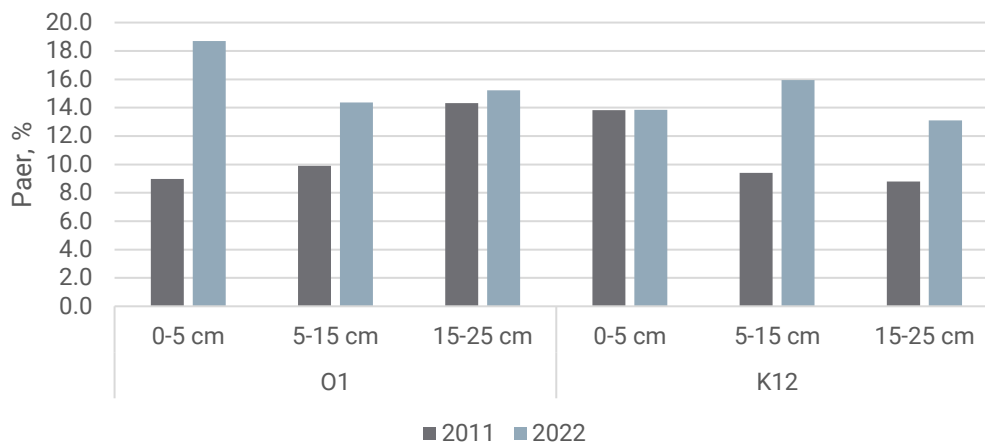
O1 ja K12 asuvad kerge liivsavi lõimisega mullal ning selle lõimise kriitiline lasuvustihedus mullale on 1,34-1,50 g/cm<sup>3</sup> ja eelkriitiline lasuvustihedus taimedele 1,55 g/cm<sup>3</sup> (Nugis & Lehveer, 1991). O1 ala pindmises mullakihis on lasuvustihedus vähenenud kriitiliselt tasemelt mullale nõrgalt tiheneduks ehk on 1,30 g/cm<sup>3</sup> (Joonis 4). Kuna üldpoorsus sõltub

lasuvustihedusest, siis on ka üldpoorsus pindmises kihis suurenenud. Alumistes kihtides suuri muutuseid ei ole ning jätkuvalt on mullad liiga tihenenud, ent ei ole taimedele kriitilise piirini jõudnud. Keskmisena on tavaharimisega K12 põllu lasuvustihedus madalam võrreldes otsekülvi O1 põlluga. See ei pruugi olla seotud agrotehnoloogiaga, vaid sellega, et kõrgema Corg sisaldusega muldades ongi üldiselt madalam lasuvustihedus ning ka orgaaniliste väetiste kasutamine aitab vähendada lasuvustihedust (Reintam & Penu, 2009). K12 mullad on heas seisus: nõrgalt tihenenud ja kõrge üldpoorsusega ilma suuremate muutusteta.



Joonis 4. Põldude O1-K12 võrdlupaari lasuvustihedus (Dm) ja üldpoorsus (Püld) erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal

Kuigi lasuvustiheduse järgi on O1 alumistes mullakihtides muld liiga tihenenud, siis aeratsioonipoorsus ehk õhuga täidetud pooride mahu % näitab, et muld on hästi õhustatud (Joonis 5). Aeratsioonipoorsus, mis on üle 10% loetakse juba heaks õhustatuseks ning loob taimekasvuks soodsad tingimused. 2022. aastal oli kõik aeratsioonipoorsused üle 10% jäädes otsekülvi alal vahemikku 14-18,7% ja künnipõhise harimisega põllul 13-15,9%. Künnipõhise harimisega põllul on aeratsioonipoorsus võrreldes 2011. aastaga alumiste kihtides oluliselt suurenenud, sellele aitas kindlasti kaasa põllu sügavkobestamine 2020. ja 2021. aasta kevadel.

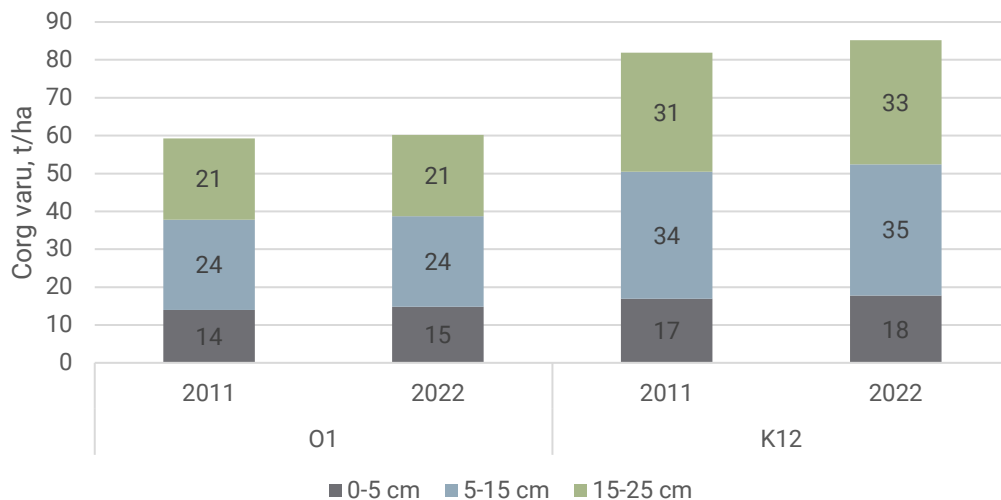


Joonis 5. Põldude O1-K12 võrdlupaari aeratsioonipoorsus (Paer) erinevates sügavuskihtides 2011. ja 2022. aastal

**Künnipõhise põllu Corg varu on 20 t/ha võrra suurem võrreldes otsekülviga.**

Corg sisalduse ja lasuvustiheduse baasil arutati Corg varu mulla erinevates sügavuskihtides, mis näitab kogu mulda akumulatsioonid süsinikku, olles seega oluline kompleksnäitaja. Künnipõhisel K12 põllu Corg varu 0-25 cm mulla profiilis on ca 80 t/ha, mis on 20 t/ha võrra rohkem kui O1 põllul (Joonis 6). K12 põllu suurem Corg varu on juba algselt tingitud kõrgemast Corg sisaldusest põllul. Kui aga vaadata muutuseid, mis on 10 aasta jooksul toimunud, siis O1 põllu Corg varu on suurenenud ainult 0-5 cm kihis 1 t/ha

võrra, ent K12 põllul kõikides kihtides keskmiselt 1-2 t/ha võrra. O1 põllu pindmise mullakihi Corg varu suurenes ainult tänu Corg sisalduse tõusule, sest lasuvustihedus vähenes aastate võrdluses. K12 põllu Corg varu suurenemine kõikides kihtides iseloomustab hästi, et orgaaniline aine on läbi maaharimise ja ka sügavajureliste taimede (maisi) hästi liikunud vertikaalselt allapoole.



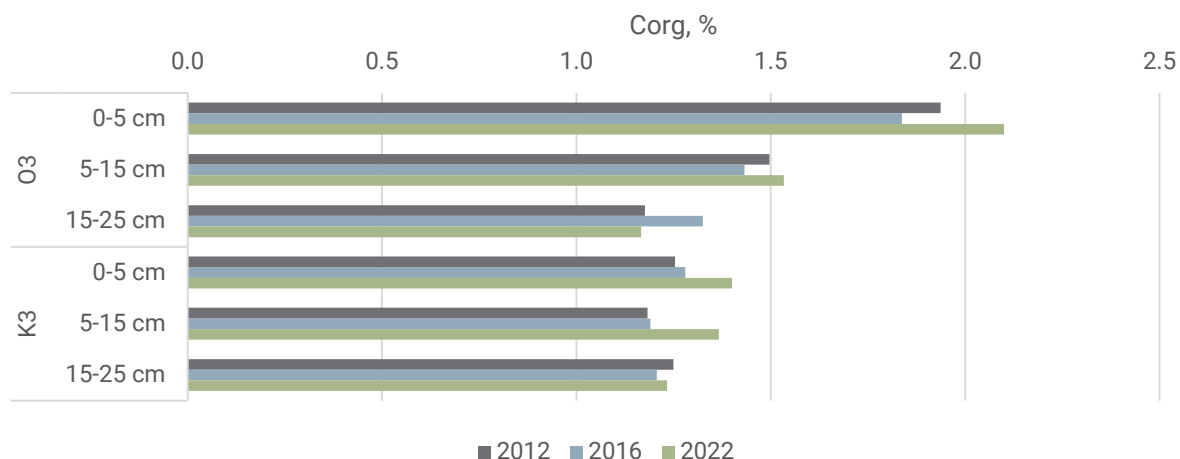
Joonis 6. Põldude O1-K12 võrdluspaari orgaanilise süsiniku (Corg) varu 0-25 cm mullaprofiilis 2011. ja 2022. aastal

### Valgamaa võrdluspaar O3-K3 näivleeturud mullal

Valgamaa võrdluspõldudel saab hinnata muutuseid kolme seireringi põhjal: 2012, 2016 ja 2022 a. Seejuures huumushorisoni tusedust esimesel aastal ei mõõdetud. O3 põllu huumushorisoni tusedus oli 2022. aastal 27 cm (suurenemine 2 cm võrra) ja tavaharimisega põllul 31 cm (suurenemine 4 cm võrra). Kahjuks ei saa O3 põldu enam pidada otsekülvi põlluks, igal aastal toimub randaalimine ja igal 6 aastal tehakse sügavkobestamine. Seega on tegemist pigem minimeeritud mullaharimise ja künnipõhise tehnoloogia võrdlusega. Mõlemad põllud asuvad Lõuna-Eestile omasel näivleeturud mullal, ning üldine põldude keskmine Corg sisaldus on sarnasem kui Viljandimaa puhul.

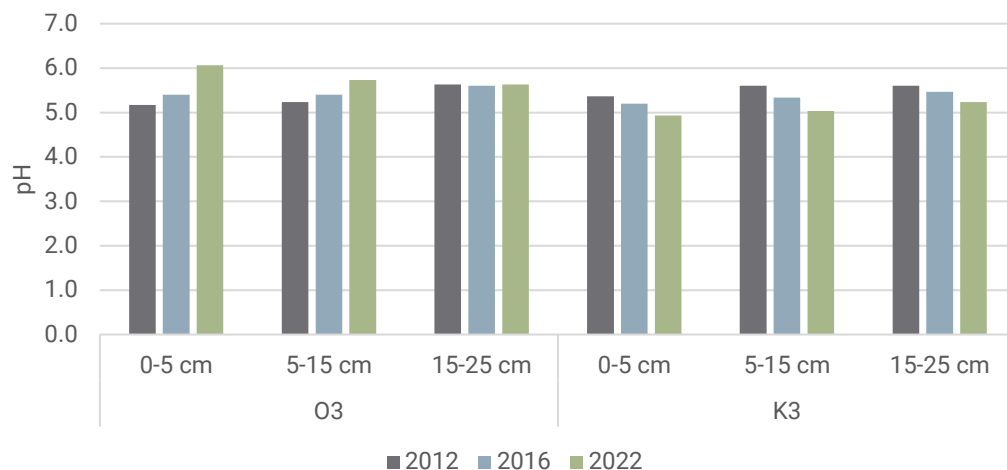
Orgaaniline aine on O3 põllul vertikaalselt kihistunud: pindmises mullakihis on Corg sisaldus 1,4 korda kõrgem kui selle all olevas kihis (Joonis 7). Sarnaselt O1 põllule on ka siin suurenenud Corg sisaldus 10 aasta võrdluses, kuigi 2012. a. Corg sisaldus pisut vähenes. K3 alal on nii pindmises kui 5-15 cm kihis Corg sisaldus võrreldes 2012. aastaga veidi suurenenud, vastavalt 0,15% võrra 0-5 cm ja 0,18% võrra 5-15 cm, seejuures vahepealsel, 2016. aastal ei toimunud olulisi muutuseid võrreldes 2012. aastaga. Corg sisalduse suurenemisele aitab kaasa põllu künnimine 2017. ja 2019. aastal, mille käigus segati orgaanilist materjali sügavamatesse mullakihtidesse. O3 põllu Corg sisaldus suurenes tänu taliviljade rohkusele külvikorras (neljal aastal viiest oli talivilvi) ja ka randaalimise mõjul liigutatakse orgaanilist materjali mulla profiilis segamini. Mõlema võrdluspaari põllu kõige sügavamas kihis on Corg sisaldus 10 aastaga veidi vähenenud.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 7. Põldude O3-K3 võrdluspaari keskmine orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus erinevates sügavuskihtides 2012.–2022. aastal

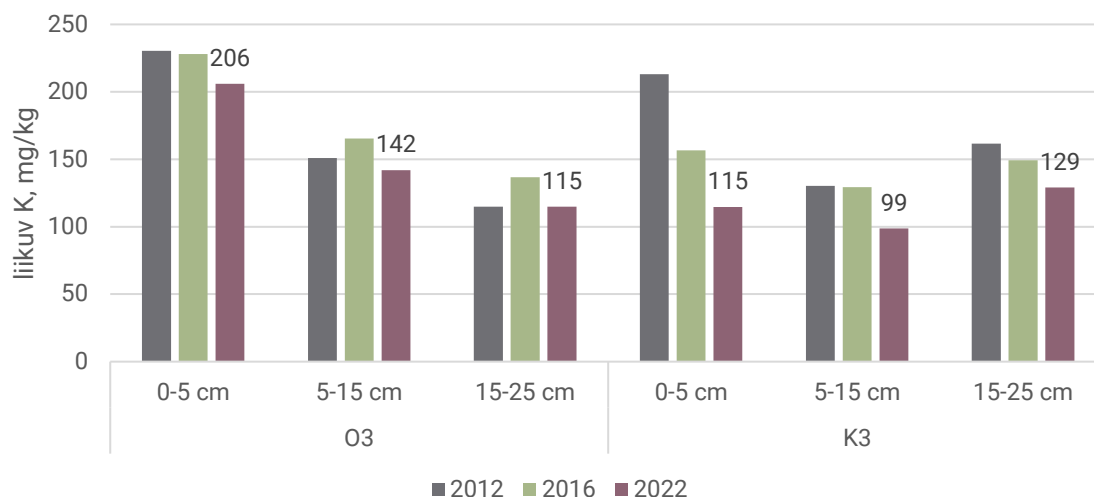
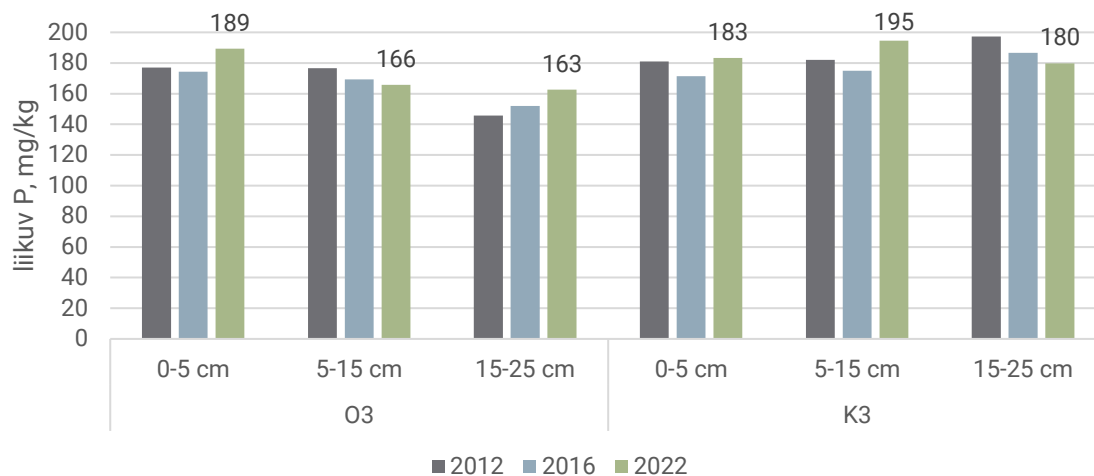
Mullareaktsioon on muutnud mõlemal uurimisalal (Joonis 8), kuid sarnaselt eelmisele võrdluspaarile tehnoloogiate vahel erisust ei ole. O3 põldu lubjati 2022. aasta augustis lupjamisseguga (lubjakivi, dolomiit, Enefit tuhk), mille tulemusel paranes nii pH kui ka Ca sisaldus mullas. O3 põllul on mulla pH suurenenud pidevalt alates 2012. aastast 0-5 ja 5-15 cm mullakihis. Seega on põld muutunud vähem happeliseks, sest 2012. a pH sisaldus 5,2 viitas mõõdukalt happelisele mulla reaktsioonile. K3 ala toimub vastupidine: kõikides sügavuskihtides pH väheneb ning suureneb mulla happelisuus, mis võib osutada pärssivaks taimekasvuteguriks.



Joonis 8. Põldude O3-K3 võrdluspaari keskmine pH erinevates sügavuskihtides 2012.–2022. aastal

K3 põllul kasutatakse nii orgaanilisi (piimalehma vedelsõnnik) kui mineraalväetiseid ja 5 a N-P-K keskmisena viidi põllule 104-11-33 kg/ha/a; O3 põllul kasutati ainult mineraalväetiseid 5 a keskmisena 156-16-37 kg/ha/a. K3 põllu liikuva fosfori sisaldus on väga kõrge (>145 mg/kg Mehlich3 meetodi järgi) ning aastate võrdluses on alumises 15-25 cm kihis P-sisaldus pidevalt vähenenud, võrreldes 2012. aastaga 9% ehk 18 mg/kg võrra (Joonis 9). Ülemistes mullakihtides on P-sisaldus suurenenud ning enim 5-15 cm kihis, ulatudes 2022. aasta juba 195 mg/kg kohta. Otsekülvi alal on samuti kõrge liikuva fosfori sisaldus, pindmises kihis on P-sisaldus suurenenud 7% võrra võrreldes 2012. aastaga ja on 189 mg/kg. Keskmises mullakihis toimub aasta-aastalt P-sisalduse vähenemine ning kõige alumises kihis suurenemine. Keskmisena on O3 alumistes kihtides 163 mg/kg liikutavat fosforit. Kaaliumisisaldus on O3 alal vertikaalselt kihistunud ning kõrgeim kaaliumisisaldus on pindmises mullakihis, vastavalt 206 mg/kg ja sellele järgnevas kihis 142 mg/kg. Kuigi 2016. aastal suurenesid veidi kaaliumisisaldused O3 põllul siis 2022. aastal on need vähenenud. K3 põllul on oluliselt vähenenud pindmise mullakihi kaaliumisisaldus, vastavalt 98 mg/kg ehk 46% võrra võrreldes 2012. aastaga. K sisalduse langus võib

olla seotud ka 2021-2022 a. aastal kasvatatud liblikõieliste kultuuridega, mis tarbivad K väga hästi ning viivad seda mullast välja. Üldiselt on kogu K3 mullaprofiilis kaaliumisisaldus väike ning kindlasti tuleks anda väetisega lisa (K normi tuleks suurendada).

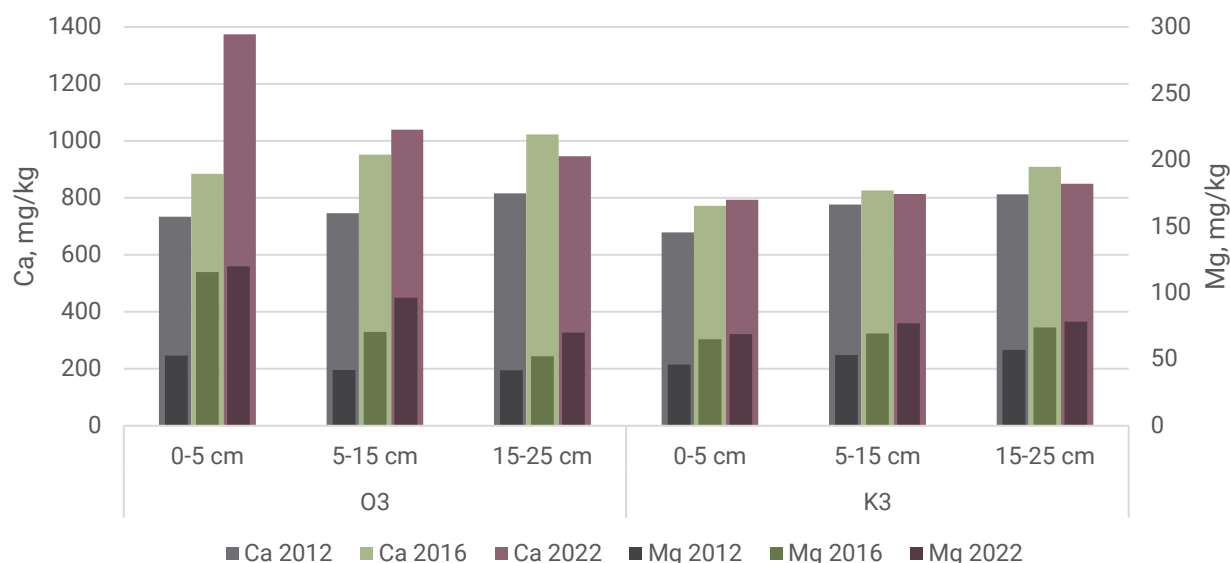


Joonis 9. Põldude O3-K3 võrdluspaari liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldused erinevates sügavuskihtides 2012.–2022. aastal

Ca-sisaldus oli Valgamaa põldudel O3 ja K3 optimaalsest toiteelemendi sisaldusest oluliselt madalam (Mehlich3 meetodikaga määratud Ca optimaalseks sisalduseks loetakse 1500 mg/kg) (Joonis 10). Siiski on O3 pindmises kihis Ca-sisaldus võrreldes 2016. aastaga oluliselt suurenenud ning on 1374 mg/kg, ka keskmises sügavuskihis on Ca-sisaldus suurenenud 1040 mg/kg-ni. Nii pH paranemine, Ca- ja ka Mg-sisalduse tõus on kõik seotud lupjamisega, kuid siiski ei ole suudetud saavutada optimaalset Ca taset isegi mitte pindmises kihis. K3 põllul ei ole teostatud lupjamist, kuid põld vajaks seda kindlasti nii halveneva pH ja alla optimaalse Ca-sisalduse tõttu. Mg-sisaldus suurenes mõlemal põllul kõikides sügavuskihtides.

**Künnipõhise põllu K3 pH, Ca- ja Mg-sisaldus viitab suurele lupjamise vajadusele.**

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 10. Põldude O3-K3 võrdluspaari kaltsiumi- ja magneesiumisisaldused erinevates sügavuskihtides 2012.–2022. aastal

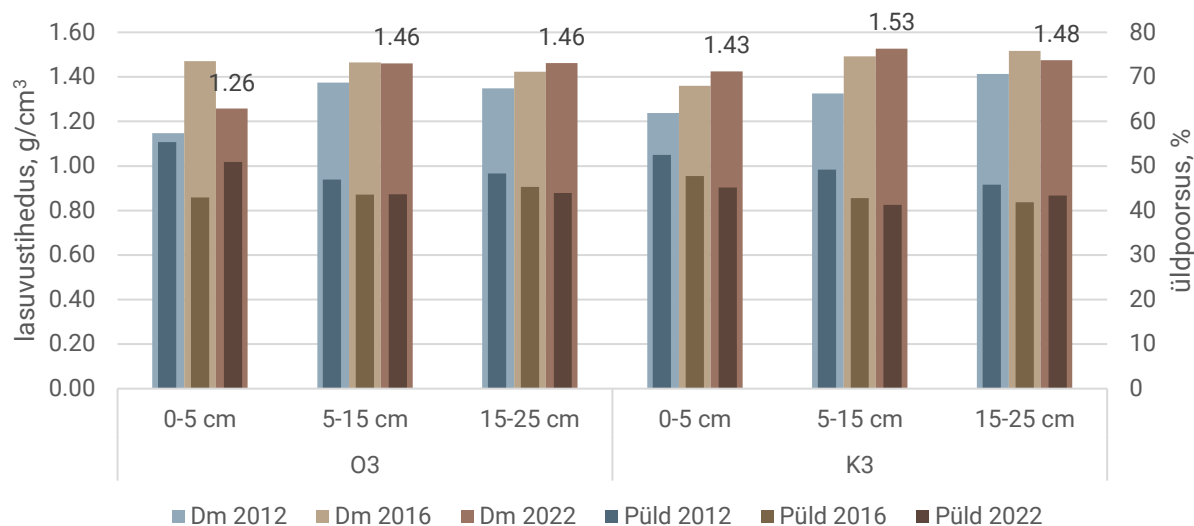
Mikroelementide osas on paranenud mangaanisisaldus O3 põllul (Tabel 4) ja on profiili keskmisena 75 mg/kg ehk optimaalse mangaanisisalduse juures (75 mg/kg). K3 põllul on keskmine mangaanisisaldus oluliselt kõrgem võrreldes O3 põlluga. Cu-sisaldused on mõlemal põllul väga madalad ehk alla optimaalse 1,5 mg/kg kuigi need on vähesel määral võrreldes 2012. aastaga suurenenud. Ka boorisaldus on alla optimaalse (<1,6 mg/kg) kuigi ka boori sisaldus on 10 aastaga suurenenud. K3 puhul ei olnud orgaanilise väetise kasutamisel sellist positiivset efekti Cu- ja B-sisaldusele nagu nägime K12 puhul, aga K3 väetati vedelsõnnikuga ainult üks kord 5 aasta jooksul erinevalt K12, kus väetati 3 korda.

Tabel 4. Põldude O3-K3 võrdluspaari mikroelementide sisaldused (mg/kg) erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal

Ala	sügavus	2012			2016			2022		
		Cu	Mn	B	Cu	Mn	B	Cu	Mn	B
O3	0-5 cm	0,6	69	0,31	0,5	90	0,29	0,7	81	0,45
	5-15 cm	0,6	77	0,24	0,5	85	0,25	0,8	76	0,35
	15-25 cm	0,6	75	0,21	0,5	80	0,26	0,7	72	0,30
K3	0-5 cm	0,9	91	0,26	0,7	100	0,36	1,0	98	0,39
	5-15 cm	0,9	91	0,29	0,8	96	0,38	1,0	91	0,45
	15-25 cm	0,9	93	0,38	0,8	97	0,44	1,0	93	0,48

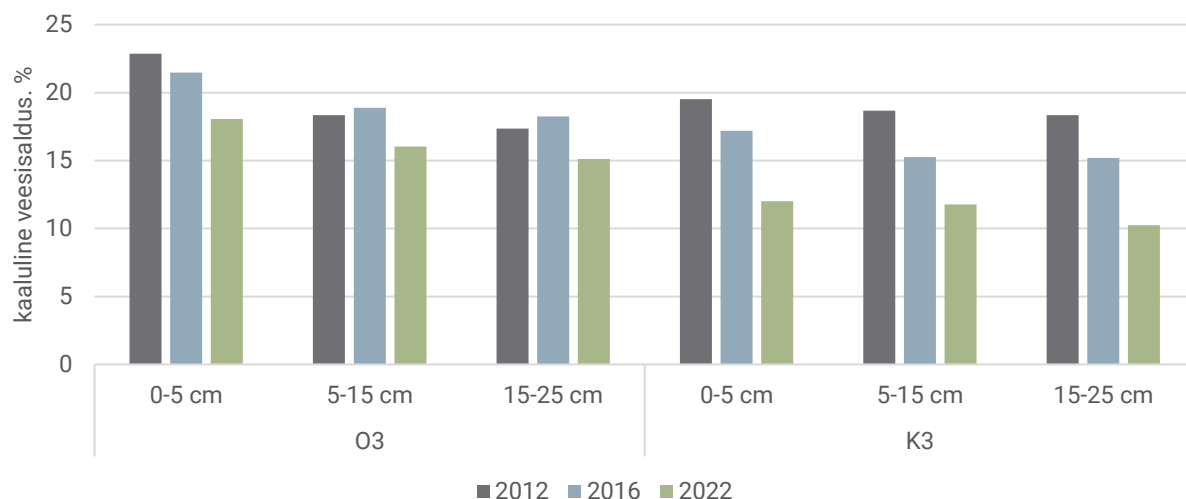
O3 ja K3 lõimised on samad, mis Viljandimaa võrdluspaaril ehk kerge liivsavi lõimisega mullad ning seega kasutame samu kriitilisi lasuvustiheduse piire. Valgamaa mõlemad põllud on tihenened ning lasuvustihedused vastavad kriitilise sisaldusega mullale, va O1 0-5 cm (Joonis 11). K3 põllul on alates 2012. aastast lasuvustihedus suurenenud nii pindmises kui keskmises mullakihis. Uuringu alguses oli põld heas seisukorras ning muld oli kobe, kuid kahjuks on kümne aastaga olukord halvenenud vaatamata kündmistele ning ka sügavkobestamisele (kõikides kihtides on lasuvustihedus suurenenud 0,1 g/cm<sup>3</sup> võrra). K3 külvikorras on küll viimasel kahel aastal olnud lühiajaline rohumaa liblikõielistega, mille tõttu ei ole mullaharimistöid tehtud. Samas pole ka liblikõieliste juurestik suutnud veel piisavalt mulla struktuursust muuta. Ka üldpoorsus liigub sünkroonselt lasuvustihedusega: kui lasuvustihedus suureneb siis üldpoorsus väheneb. O3 põllu pindmises kihis on lasuvustihedus võrreldes 2012. aastaga pisut suurenenud ent võrreldes 2016. aastaga oluliselt

vähenenud. Lasuvustiheduse vähenemine pindmises kihis on tingitud randaalimise kasutamisest, mis on kobestanud ülemist mullakihti. Lasuvustiheduse järgi on põldude kihtidevahelised erinevused väikesed, kuid kindlasti tuleks parendada mulla olukorda, sest häiritud on nii vee- kui õhurežiim ja toitainete omastamine mullast.



Joonis 11. Põldude O3-K3 võrdluspaari lasuvustihedus (Dm) ja üldpoorsus (Püld) erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal

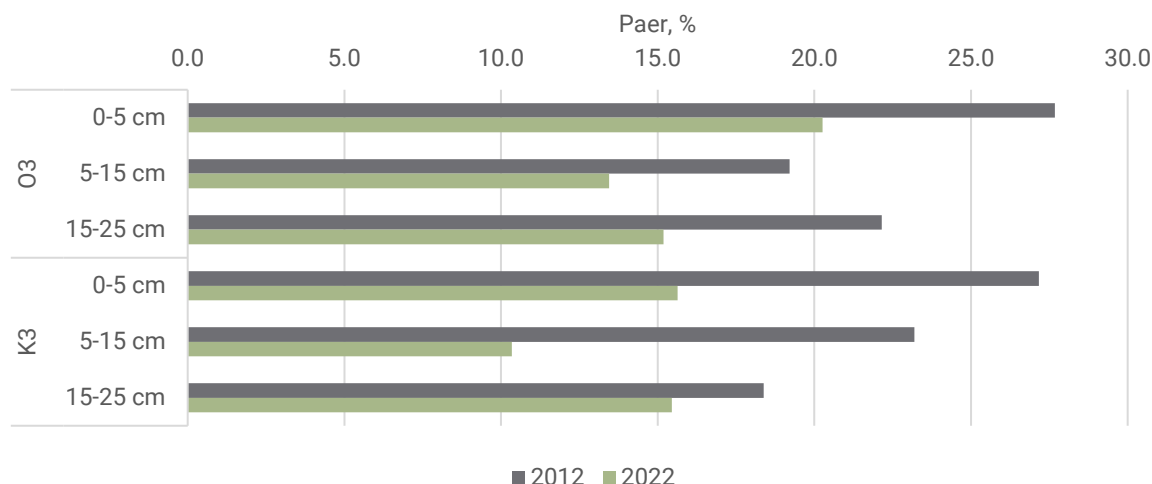
Kaaluline veesisaldus on 2022. aastal oluliselt madalam võrreldes eelmiste uuringu aastatega, mis kindlasti mõjutab lasuvustiheduse väärtusi. Keskmise veesisaldus on kõrgem O3 põllul (Joonis 12). O3 pindmises kihis on võrreldes alumiste kihtide ja K3 põlluga kõrgeim veesisaldus. Eelmise võrdluspaari Viljandimaa näitel selline trend paika ei pea. K12 põllul oli veesisaldus kõrgem kui otsekülvi O1 variandis (andmeid ei ole näidatud). O1 erinevus võib olla tingitud ka reljeefi erisusest, sest O1 asub kõrgemal künka otsas. Aastate võrdluses on O3 põllul 2012. a. veesisalduse erinevus ülemise ja alumiste kihtide vahel väga suur, kuid 2022. aastaks on see oluliselt väiksem ja seegi vihjab ilmselt harimisele.



Joonis 12. Põldude O3-K3 võrdluspaari kaaluline veesisaldus erinevates sügavuskihtides 2012.-2022. aastal

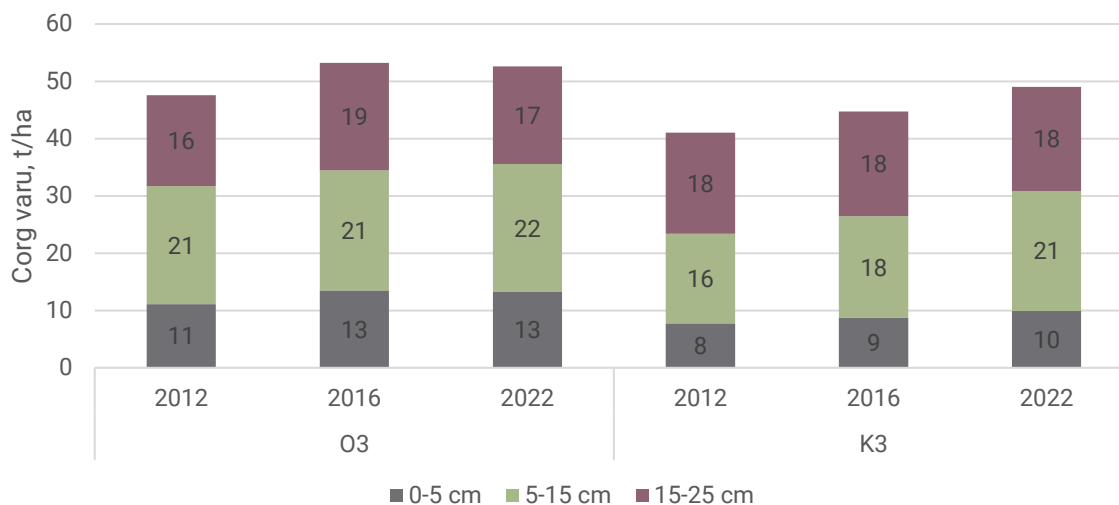
Mulla õhustatus ei viita, et mullad oleks väga kehvast seisusest nagu näitas lasuvustihedus. Siiski, võrreldes 2012. aastaga on aeratsioonipoorsus oluliselt vähenenud (Joonis 13) ent on üle 10%, mis peaks tagama piisava õhustatuse taimede kasvuks. Aeratsioonipoorsus on rohkem vähenenud K3 põllul, ca 12% nii pindmises kui 5-15 cm kihis võrreldes O3 põlluga, mille aeratsioonipoorsus vähenes samades kihtides keskmiselt 6-7% võrra. O3 põllu pindmise kihi kaaluline niiskus oli kõrgeim ehk 18%, samuti aeratsioonipoorsus, vastavalt 20%.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 13. Põldude O1-K12 võrdluspaari aeratsioonipoorsus (Paer) erinevates sügavuskihtides 2012. ja 2022. aastal

Kompleksnäitaja Corg varu on pisut kõrgem O3 põllul, vastavalt 53 t/ha võrreldes K3, mille Corg varu on 49 t/ha 0-25 cm kihis (Joonis 14). Enim süsinikku on talletunud mõlemas variandis keskmisesse 5-15 cm kihti. K3 põllul on alates 2012. aastast Corg varu mullaprofiilis suurenenud 8 t/ha võrra ning seda läbi pindmise ja keskmise mullakihi süsinikuvahu suurenemisele, alumises kihis püsib varu muutumatuna. Seevastu O3 põllul on võrreldes 2016. aastaga Corg varu alumises kihis vähenenud 2 t/ha võrra. O3 põllul on seoses harimisega Corg varu ülemises kihis jäänud samaks, kuid tänu harimisele suurenenud keskmine kiht 1 t/ha võrra; künniga harimisel suurenevad mõlemad kihid ühtlaselt tänu harimisega sügavamale mulda segatud orgaanilisele ainele.



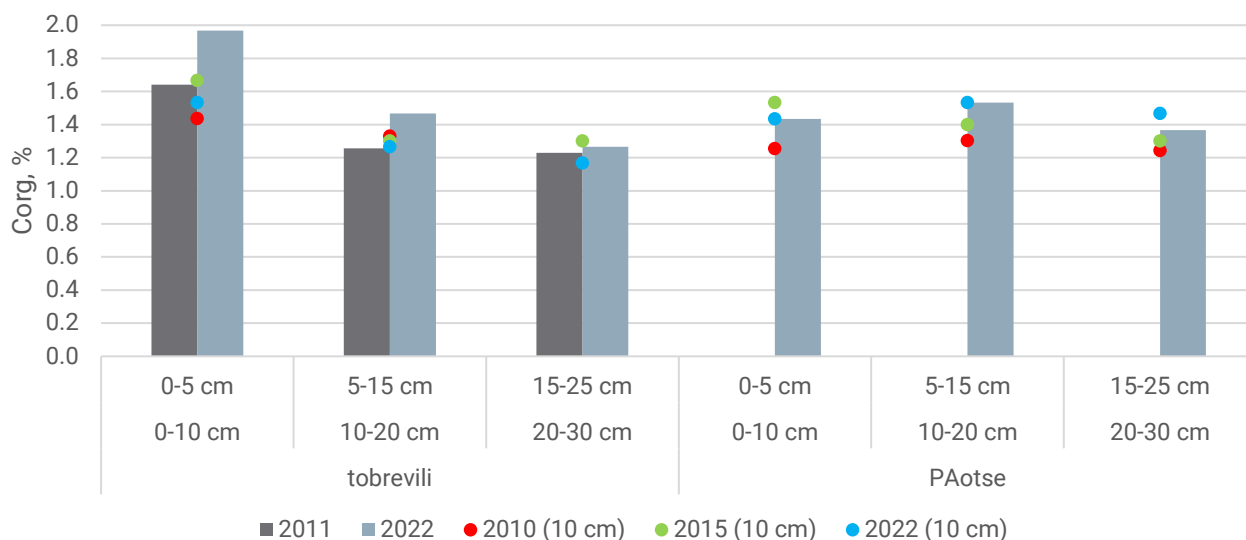
Joonis 14. Põldude O3-K3 võrdluspaari orgaanilise süsiniku (Corg) varu 0-25 cm mullaprofiilis 2012.-2022. aastal

### Põlvamaa võrdluspaar tobrevili-PAotse näivleeturud mullal

Põlvamaa võrdluspaari põllud asuvad sarnaselt Valgamaa põldudele näivleeturud mullal, nii et seega on nad omavahel hästi võrreldavad. Tobrevili ja PAotse põllud olid esimesed põllud, mis otsekülvi uuringusse kaasati ning seetõttu on siin mõõdetud tulemusi erinevate sügavuskihtide kohta. Nimelt uuringu esimesel, so 2010. aastal koguti proovid 10 cm kihtide kaupa ning järgneval 2011. aastal tekkis arusaam, et suurimad erisused otsekülvi ja künnipõhise harimise vahel on mulla

pindmises 0-5 cm kihis ja sellele järgnevates kihtides. Seega on selle võrdluspaari näol meil võimalik jälgida muutusi, mis on toimunud erinevatel sügavustel, sest aja jooksul oleme üle minemas täielikult 0-5 cm lähenemisele, aga kuna PAotse põllul teostati vastavad mõõtmised alles 2022. aastal näitame tulemusi ka 10 cm kohta. Otsekülvi tobrevili põllul on pindmises 0-5 cm kihis oluliselt suurenenud Corg sisaldus, 0,4% võrra 1,97%-ni ja ka 5-15 cm kihi sisaldus 0,2% võrra 1,5%-ni (Joonis 15). See on tingitud aruheina osatähtsusest külvikorras ja samuti põldoa kasvatamisest, mis suurendab orgaanilise aine hulka 0,15-0,4 t/ha/a (Kanger, et al., 2014) ning mille tugev sammasjuur tungib sügavmale lisades sinna orgaanilist materjal. 10 cm kaupa mõõdetud sisaldustes nii suurt Corg sisalduse tõusu 2010 ja 2022 aasta vahel ei ole. Mõlema sügavuskihi lähenemisega on siiski selgelt näha, et Corg on vertikaalselt mulla profiilis kihistunud, enim peegeldub see lähenemise 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm puhul. Künnipõhise harimisega PAotse põllul ei esine vertikaalset Corg kihistumist. Corg sisalduse muutuseid saame hinnata ainult 10 cm põhistel mõõtmistel ning selle järgi on ülemises 10 cm kihis Corg sisaldus võrreldes 2015. aastaga vähenenud 0,1% võrra 1,4%-ni ja alumistes kihtides suurenenud olles kogu profiilis ühtlaselt ca 1,5%- PAotse põldu künti üks korda 5 aasta jooksul, kuid seal oli külvikorras kolm aastat lühiajaline rohumaa.

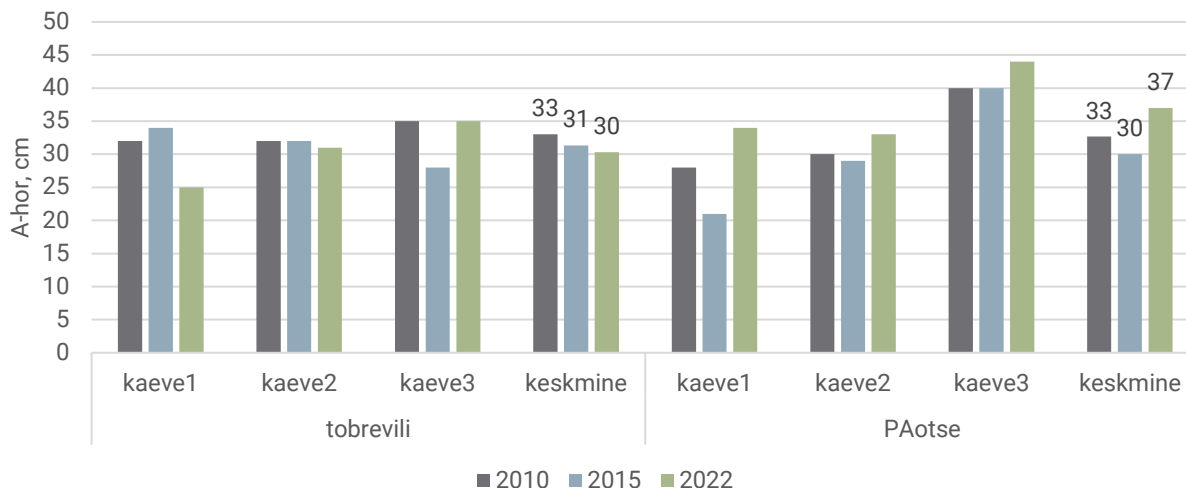
**Aruhein ja põlduba külvikorras suurenevad Corg sisaldust otsekülvi põllul.**



Joonis 15. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari keskmine orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus erinevates sügavuskihtides. Tulpadena on esitatud 2011 ja 2022 a Corg sisaldused sügavuskihtides 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Täppidena 2010, 2015 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

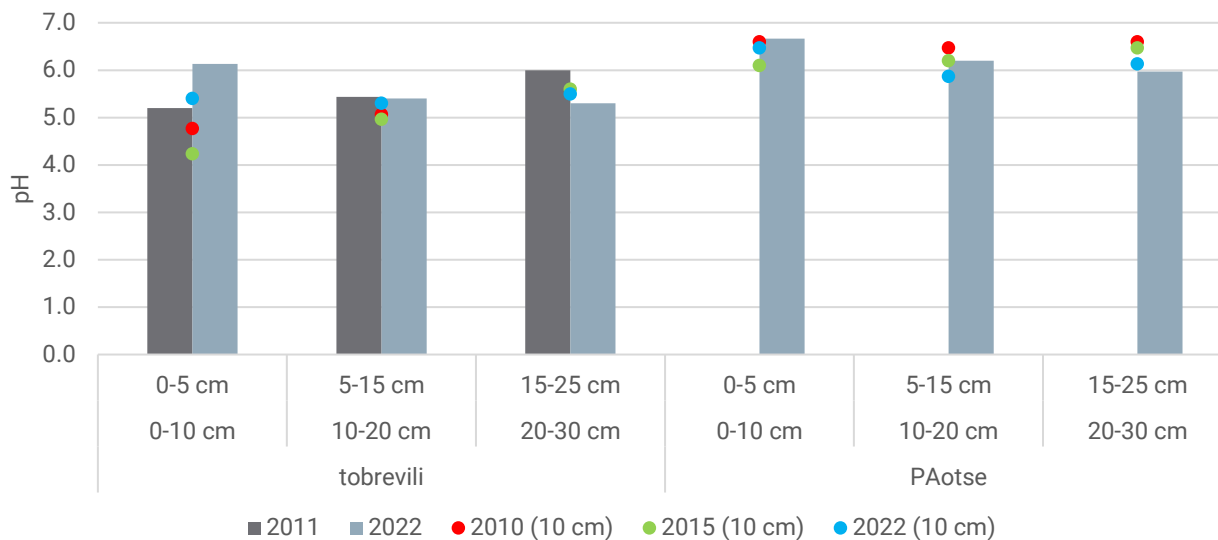
Põlvamaa alade näitel on võimalik analüüsida ka muutuseid huumushorisondis. Ala hindamiseks tehakse põllule kolm erinevat kaevet ning huumushorisondi muutuste jaoks näitame nii kaevete kui ala keskmisi tulemusi. Muldade huumushorisondi tusedus varieerub aladel oluliselt (Joonis 16). Selle põhjuseks on nii kaevete asumine maastikul kõrgemates ja madalamates kohtades (kaeve 3 PAotse põllul on reljeefi madalamal poolel) kui iga aastane kaeve asukohatäpsus (ca 3-4 m varieerumist). Otsekülvi tobrevili alal on huumushorisondi tusedus ala keskmisena pidevalt vähenenud, alates 2010. aastast 3 cm võrra 30 cm-ni 2022. aastal. PAotse alal on seevastu huumushorisondi tusedus ala keskmisena suurenenud 4 cm võrra 37 cm-ni võrreldes 2010. aastaga. Seejuures on ka igas kaeves näha tüsenemist, tüsenemine on toimunud tänu lühiajalise rohumaa kasutamisele külvikorras ja peale seda tehtud kündmisele.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 16. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari huumushorisoni tusedus (cm) uurimisalade kaevetes ning keskmisena ala kohta 2010.-2022. aastal

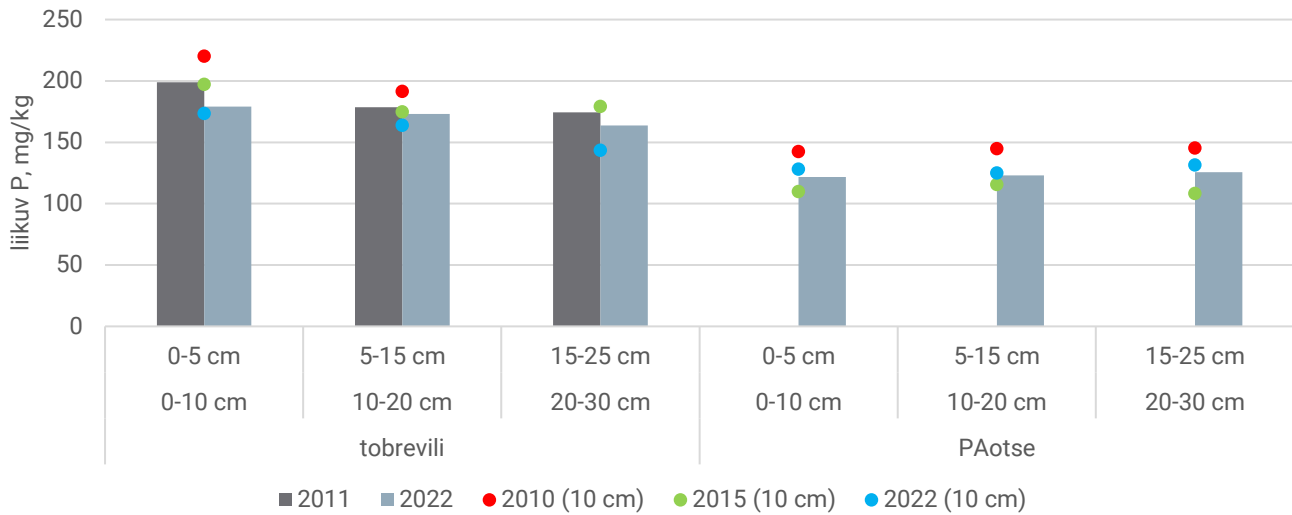
Mulla reaktsioon on nõrgalt happeline PAotse põllul olles kõrgem pindmises 5 cm kihis ning vähenedes sügavuse suunas (Joonis 17). Aastate võrdluses 10 cm kihtides on ülemises 10 cm võrreldes 2010. aastaga pH vähenenud 0,1 ühiku võrra ning alumistes kihtides 0,5-0,6 ühiku võrra. Otsekülvi tobrevili alal oli muld mõõdukalt happeline ning 2015. aastal ka tugevasti happeline pindmises 10 cm mullakihis. Seetõttu on tootja lubanud põldu 2020. aasta augustis tolmpõlevkivituhaga. Lupjamise efekti näeme 2022. aasta proovides, kus pindmises 5 cm kihis on pH suurenenud 0,9 ühiku võrra 6,1-ni ja kui ülemist 10 cm uurida, siis võrreldes 2015. aastaga 1,2 ühiku võrra 5,4-ni. Seega kui võtta aluseks 10 cm mullakiht oleks põllu happesus mõõdukas, ent 5 cm puhul nõrgalt happeline ehk lupjamise efekt on väga erinev nendel sügavustel. Paraku 2 a hiljem näemegi lupjamise efekti vaid ülemises 0-5 cm kihis, alumistes kihtides pole pH ega Ca sisaldus oluliselt muutunud ja efekt on tänu leostumisele kadunud.



Joonis 17. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari mulla reaktsioon (pH). Tulpadena on esitatud 2011 ja 2022 a pH sügavuskihtides 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Täppidena 2010, 2015 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

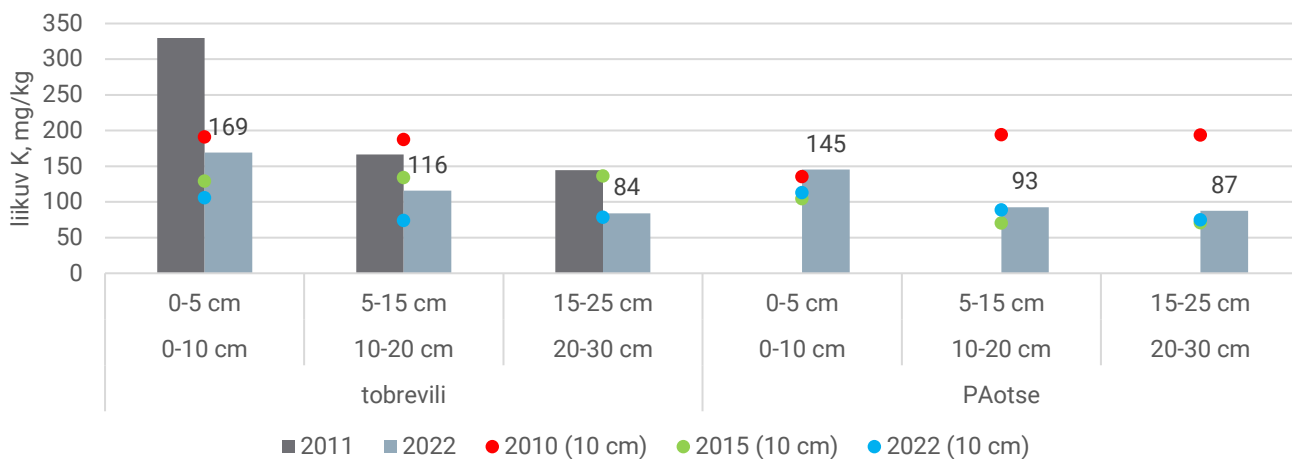
PAotse põllul kasutatakse nii orgaanilisi (piimalehma vedelsõnnik) kui mineraalväetiseid ja 5 a N-P-K- keskmisena viidi põllule 122-11-36 kg/ha/a; tobrevili põllul kasutati ainult mineraalväetiseid 5 a keskmisena 105-2-5 kg/ha/a. Seega on väetamine suhteliselt sarnane olnud, va kaaliumi kogus. Liikva fosfori sisaldus on tobrevili alal väga kõrge ja PAotse alal kõrge, seega nendele aladele ei olegi vaja fosforit väetistega juurde anda. Aastate võrdluses on P-sisaldus vähenenud

tobrevili alal kõikides sügavustes, enim pindmises 0-5 cm kihis 20 mg/kg võrra ja ülemises 10 cm kihis 24 mg/kg võrra (Joonis 18). PAotse alal on võrreldes 2015. aastaga P sisaldus suurenenud.



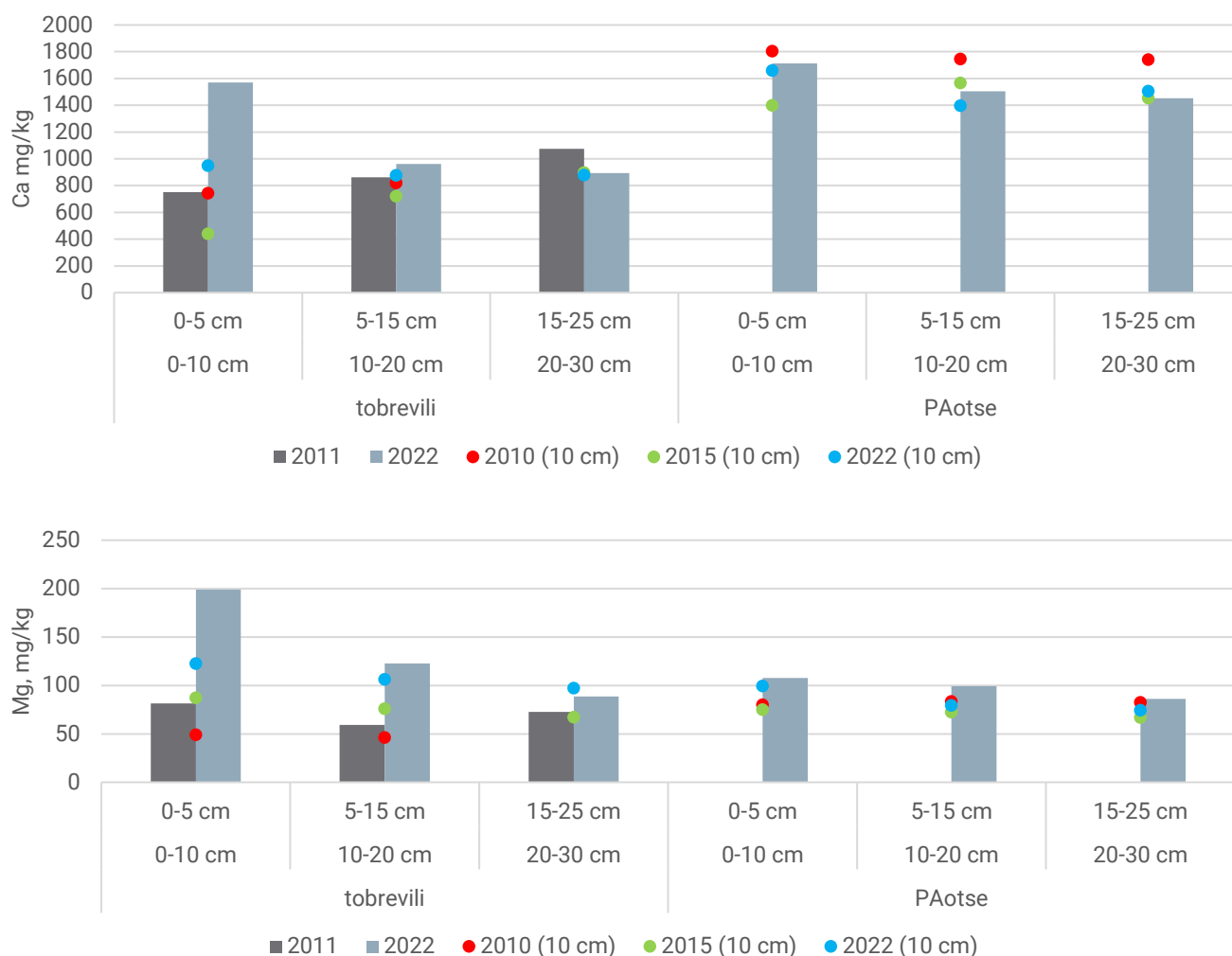
Joonis 18. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspäri mulla liikuva fosfori sisaldus. Tulpadena on esitatud 2011 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Täppidena 2010, 2015 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

Liikuva kaaliumi sisaldus on mõlemas tehnoloogiavariandis pindmises mullakihis suurem võrreldes alumiste kihtidega (Joonis 19). Tobrevili põllul on pindmises 0-5 cm kihis 2011. aastal K sisaldus olnud 330 mg/kg, mis on väga kõrge, 10 a jooksul on see kaks korda vähenenud. Samas 2010. aastal oli ülemises 10 cm K sisaldus 101 mg/kg, mis vähenes 2022. aastal ainult 22 mg/kg võrra. Isegi kui võtta kahe ülemise kihi keskmine K sisaldus 2010 ja 2011. aastal ei ole numbrid võrreldavad (2010 a. 190 mg/kg ja 2011 a. 248 mg/kg), siis on variant, et toimus suur kaaliumiga väetamine või kinnitab see fakti, et otsekülvi muutused toimuvad just ülemises 5 cm ja ja võttes sügavamalt mullaproove ei kajastu tegelikud muutused põllul. PAotse põllul on pindmises 5 cm K sisaldus kõrge 145 mg/kg, kuid alumistes kihtides madalam. Aastate võrdluses pole ülemises 10 cm kihis muutusid toimunud, küll aga on alumistes kihtides P sisaldus oluliselt vähenenud võrreldes 2010. aastaga, kuid muutused viimasel perioodil olid väikesed.



Joonis 19. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspäri mulla liikuva kaaliumi sisaldus. Tulpadena on esitatud 2011 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Täppidena 2010, 2015 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

Ca sisaldus on piisav PAotse alal ning aastate lõikes on Ca sisaldus vähenenud kõikides kihtides (Joonis 20). Sarnaselt püsib stabiilsena ka magneesiumisisaldus künnipõhisel põllul. Tobrevili alal avaldas selgelt mõju 2020. aasta lupjamine, mille tulemusena Ca sisaldus pindmises mullakihi suurenes 820 mg/kg võrra, ka 5-15 cm kihis näeme väikest tõusu 102 mg/kg võrra. Huvitavalt ei suurenenud 20-30 cm Ca sisaldus, ning väiksem ka on 0-10 cm tõus, vastavalt 204 mg/kg võrra võrreldes 2010. aastaga. Ilmselt leostust lubiväetis kiiresti mullaprofiilis veelgi sügavamale. Üldiselt lupjamine parandas tobrevili põllu seisu ning taimed peaks suutma toitaineid paremini omastada. Ka magneesiumisisaldus on tobrevili põllul suurenenud, seda nii pindmises 0-5 cm (2,4 korda) kui sellele järgnevas 5-15 cm (2,1 korda) kihis. Samuti on kõige alumise sügavuskihis Mg sisaldus suurenenud, vastavalt 1,2 korda ehk 16 mg/kg võrra.

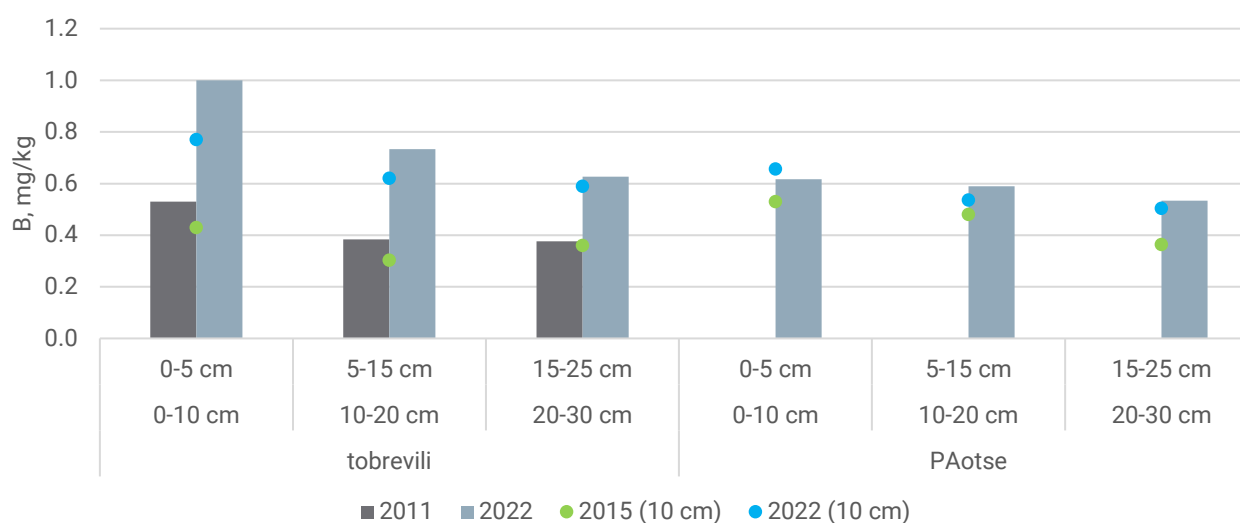
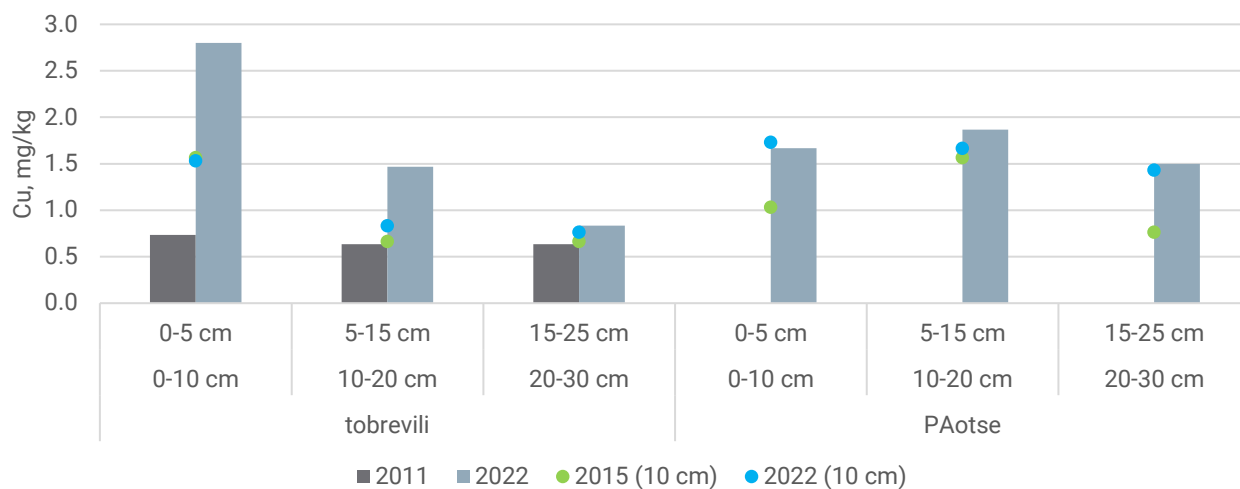


Joonis 20. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari kaltsiumi- ja magneesiumisisaldus. Tulpadena on esitatud 2011 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Täppidena 2010, 2015 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

Taimedele omastatava Cu sisalduses on alade vahel suhteliselt suured erinevused: otsekülvi alal on Cu sisaldus vertikaalselt kihistunud (Joonis 21). Üldiselt ei ole kummalgi alal Cu defitsiiti (Cu sisaldus alla 1,5 mg/kg) ning aastate võrdluses on Cu sisaldus PAotse alal suurenenud kõikides kihtides. Tobrevili põllul 10 cm kihtidega uuritud variandis ei ole muutusi aastate vahel, teise meetodiga mõõdetud variandis on näha Cu sisalduse tõusu kõikides kihtides. See on seletatav orgaanilise väetise kasutamisega, mida nägime ka Viljandimaa põldudel. Sarnaselt Cu-le käitub ka booris sisaldus mullas. Paraku on B sisaldus mõlemal alal optimaalsest madalam (<1,6 mg/kg). B sisaldus on tobrevili põllul 10 cm sügavusel suurenenud perioodil 2015 - 2022 ja liigub sama trendiga nagu 0-5 cm, 5-15

**Orgaaniliste väetiste kasutamine suurendab Cu ja B sisaldust mullas.**

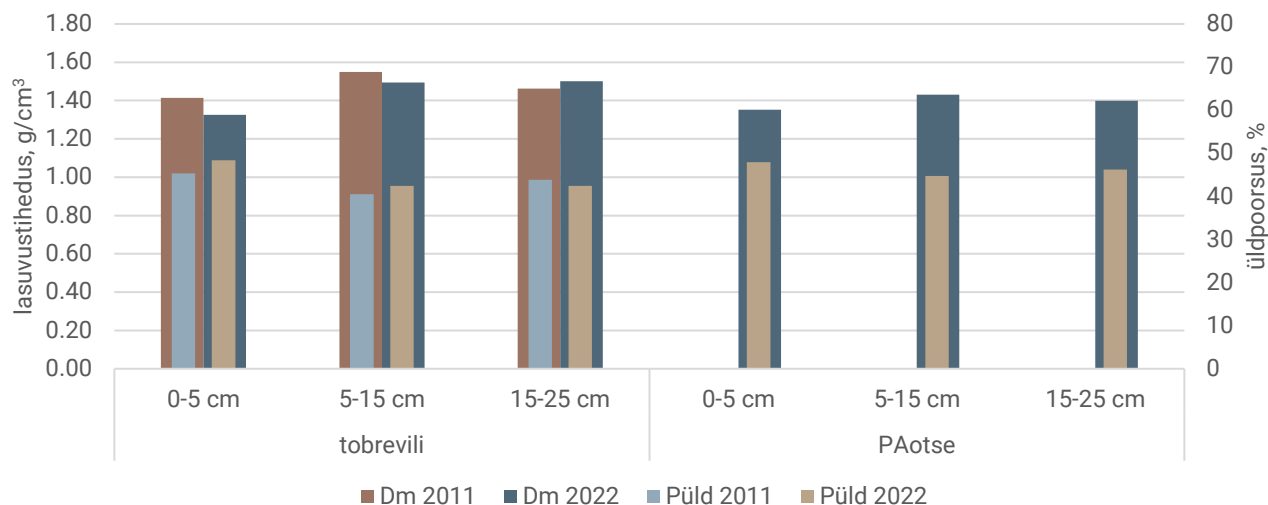
cm ja 15-25 cm. Mangaanisisalduses aastate võrdluses ei ole suuri muutuseid toimunud (andmeid ei ole näidatud). Seejuures otsekülvi põllul on Mn-sisaldus alla optimaalse (<75 mg/kg) olles profiili keskmisena 66 mg/kg, PAotse on optimaalse Mn-sisaldusega, vastavalt 76 mg/kg.



Joonis 21. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari vase- ja boorisaldus. Tulpadena on esitatud 2011 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Täppidena 2015 ja 2022 a tulemused sügavuskihtides 0-10 cm, 10-20 cm ja 20-30 cm

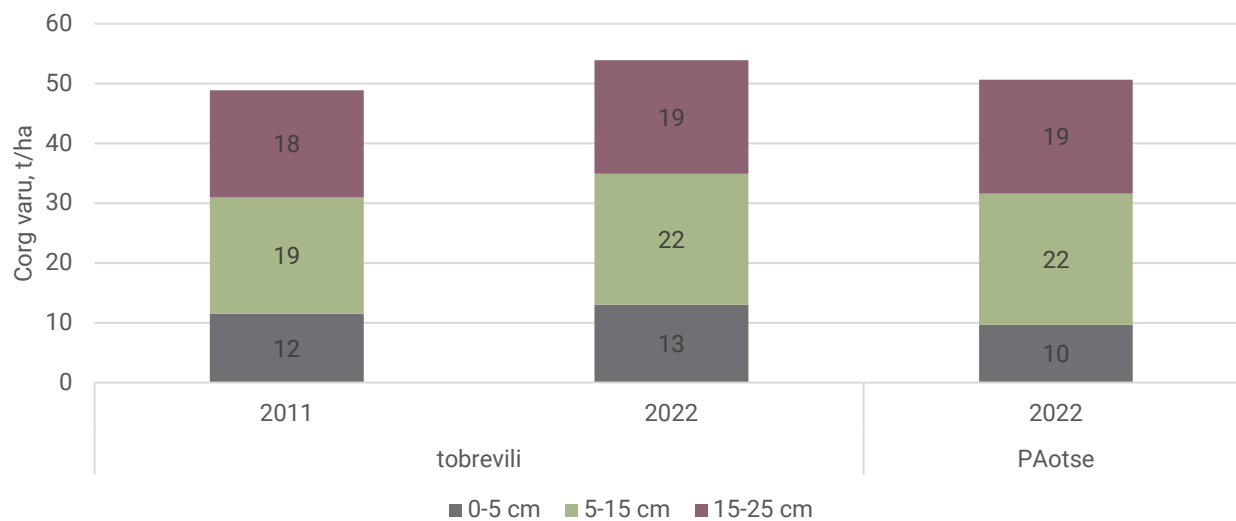
Lasuvustiheduse proovid koguti sel aastal ainult 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm kihtidest ja seega saame ainult tobrevili põllul hinnata ajalist dünaamikat. Lõimise järgi on tegemist taas kergete liivsavidega nagu ka Valgamaa paari puhul. Põlvamaa alad ei ole nii tallatud kui olid Valgamaa põllud, sest lasuvustihedus on pindmises kihis mõlemas variandis 1,33-1,35 g/cm<sup>3</sup> (Joonis 22). Otsekülvi alal on alumistest kihtides muld pisut rohkem tihenenud, vastavalt 1,5 g/cm<sup>3</sup> ning künnipõhises on kahe sügavuse keskmisena 1,42 g/cm<sup>3</sup>. Üldpoorsus on samuti hea olles kõikides kihtides üle 40%. Võrreldes 2011. aastaga on pindmises ja sellele järgnevas kihis mulla lasuvustihedus tobrevili alal vähenenud, vastavalt 0,09 g/cm<sup>3</sup> ja 0,06 g/cm<sup>3</sup> võrra ning sügamas kihis suurenenud 0,04 g/cm<sup>3</sup> võrra. Aeratsioonipoorsus on otsekülvi alal keskmisena 12%, mis on 3% võrra madalam kui künnipõhisel PAotse põllul. PAotse variandis on pindmises ja sügavaimas kihis kõrgem õhustatus, vastavalt 16% ja 15% võrreldes 5-15 cm kihiga, mille aeratsioonipoorsus on 13%. Üldiselt on mulla füüsikalised näitajad heas seisus Põlvamaa võrdluspaaril ning ka aastate võrdluses ei ole väga suuri muutuseid toimunud.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 22. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari lasuvustihedus (Dm) ja üldpoorsus (Püld) erinevates sügavuskihtides 2011a. ja 2022. aastal

Kompleksnäitaja Corg varu on kogu 0-25 cm profiilis 2022. aastal suurem otsekülvi tobrevili alal (54 t/ha), seejuures on suurem ainult pindmises kihis talletunud süsiniku varu: 3 t/ha võrra on kõrgem varu võrreldes PAotse põlluga (Joonis 23). Suurem Corg varu on 0-5 cm kihis tingitud kõrgest Corg sisaldusest. Aastate võrdluses on tobrevili põllu süsinikuvary suurenenud ning seda kõikides kihtides, enim 5-15 cm kihis.



Joonis 23. Põldude tobrevili-PAotse võrdluspaari orgaanilise süsiniku (Corg) varu 0-25 cm mullaprofiilis 2011. ja 2022. aastal

## Mullaelustik

### Mullaelustiku meetodika

Mullaelustiku seisundi hindamiseks kasutati indikaatoritena vihmausside, hooghännaliste ja mikroobide kooslusi iseloomustavaid parameetreid.

Vihmaussid koguti 2022. 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 liigini, kasutades (Timm, 1998) määrajat. Vihmausside arvukus ja biomass arvatati ühe transekti proovilappide keskmisena 1 m<sup>2</sup> maapinna kohta, samuti arvatati erinevate eluvormide (epi-, endogeiline, aneetsiline) ning dominantliigi (harilik mullauss *Aporrectodea caliginosa*) osatähtsus koosluses.

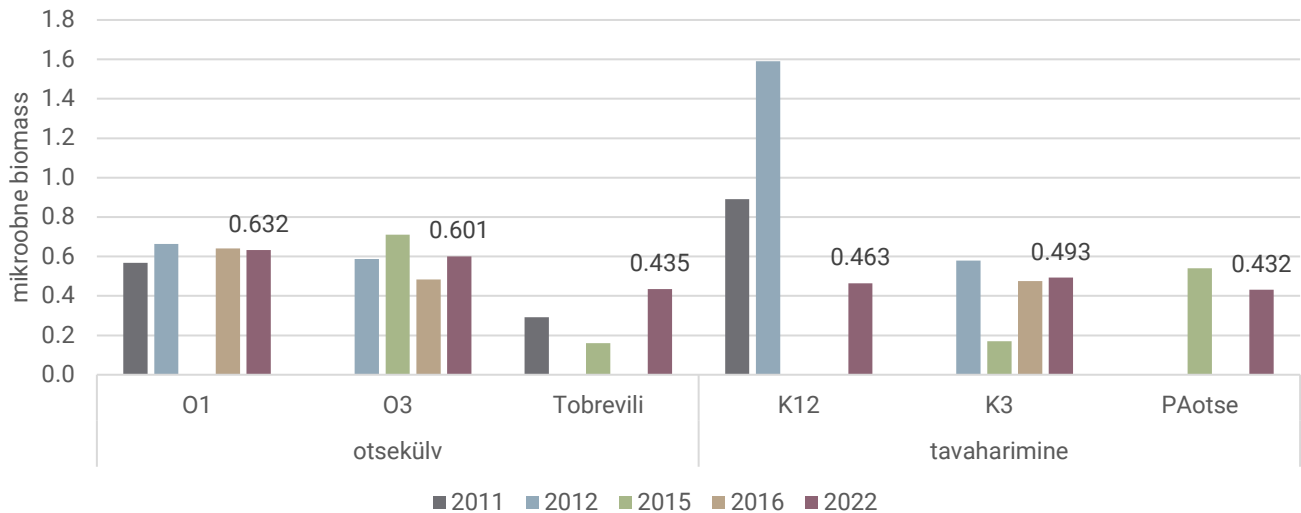
2022. aasta sügisel võeti hooghännaliste proov iga prooviala keskelt. Mullaproovid võeti kahelt sügavuselt: 0-5 cm ja 5-10 cm mullapuuriga (Ø 5 cm), mõlemalt sügavuselt kokku 5 proovi. Proovide ekstraheerimisel kasutati Tullgreni lehitrit (Tullgren funnels) (Coleman, Crossley, & Hendrix, 2004). Mullaproovid pandi valgustuse alla metallsõela peale ning hooghännalised koguti proovipudelisse, mis oli täidetud etanooliga. Mullaproove hoiti valgustuse all 48 h.

Proovid mikroobikoosluse parameetrite määramiseks koguti mullapuuriga (Ø2 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 TalTechi Tartu laboris. Manomeetristeks mõõtmisteks kasutati OxiTop süsteemi (WTW, Saksamaa). OxiTop kasutab standardsuurusega klaasnõusid, kuhu paigutatakse proov, nõu suletakse hermeetiliselt. Mikroorganismid tarbivad oma elutegevuseks vajaliku hapniku hermeetiliselt suletud anumas 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 arvatatakse 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\*h). Mulla mikroobikoosluse biomassi hindamise SIR meetodi puhul eeldatakse, et maksimaalne hapniku tarbimine mikroobide poolt glükoosi lisamisel on proportsionaalne mikroobide biomassiga. Mikroobide biomass (mg) on arvatatud süsiniku (C) massina ühe grammi kuivaine kohta (g/KA).

### Mulla mikroorganismide hulk ja hingamisaktiivsus

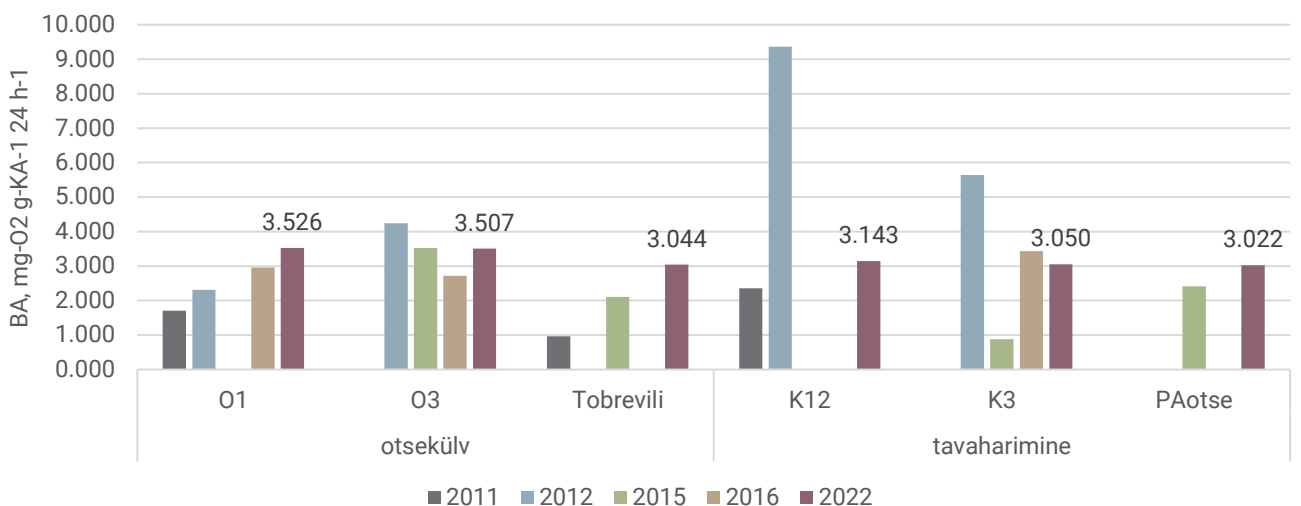
Mulla mikroorganismid osalevad aktiivselt ainete ringluses, muutes mineraalained teistele organismidele kättesaadavaks, orgaanilise aine moodustamises ning mürkainete lagundajatena. Üldiselt mõjutabki mikroobide hulka ja aktiivsust mullas väga palju orgaanilise aine sisaldus. Mikroorganismide hulk ehk mikroobide biomass (Joonis 24) ja aktiivsus (Joonis 25) olid 2022. aastal kõrgemad otsekülvi põldudel võrreldes künnipõhiste põldudega Viljandi- ja Valgamaa võrdluspaarides. Samas Põlvamaa võrdluspaari põldudel on sarnased mikroobide biomassid ehk 0,43 mgC/g KA ja aktiivsus 3,03 mg O<sub>2</sub> /kg KA\*h ehk tehnoloogiate vahel erisust ei ole. Selline erinevus võib osaliselt tuleneda kasvatatavast kultuurist, nimelt Tobrevili kui ka PAotse oli kultuuriks talinisu allakülvita, samas ülejäänud põldudel oli kultuuriks kas põldhernes või liblikõieliste ja kõrreliste segu (v.a. O3). Põllukultuuride jääkide lagundamist mullas viivad läbi mulla mikroorganismid, enamasti bakterid ja seened (Lupwayi & Soon, 2016) ning enamasti liblikõielised suurendavad mikroorganismide aktiivsust (Yu, et al., 2021). Aastate võrdluses on Tobrevili mikroobide biomass ja aktiivsus oluliselt paranenud võrreldes 2011. aastaga. Selle põhjuseks võib olla orgaaniliste väetiste kasutamine ja liblikõieliste taimede kasvatamine külvikorras.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 24. Mulla mikroobide aktiivne biomass (mg-C/g-KA) substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil aastatel 2011-2022

Igale kooslusele on omane optimaalne mikroobikoosluse aktiivsus ning sellest suuremad/väiksemad näitajad näitavad häireid. O1 ja O3 mikroobikoosluse biomass on üle 0,600 mg-Cmikroobne/g, mis näitab, et nendel proovialadel on mikroobikooslus üle aktiveeritud. Valitsustevaheline Kliimamuutuste Nõukogu (IPCC) on ennustanud, et jätkuv kliima soojenemine nihutab sademete mustri kevade ja sügise poole suurendades seeläbi suviste põudade intensiivsust ja kestust. Suurenenud temperatuuri tõus suurendab ka ainevahetuse kiirust, suurendab aurustumist, mis mõjutab mullamikroobide füsioloogiat ja struktuuri. Kirjandusest on teada, et seemed ja bakterid käituvad erinevalt: põuaperioodile on vastupidavamad seemed (Sünnemann, et al., 2021). Arvestades Eesti 2022. a suve, mis oli sademetevaene ja kuum, siis võib olla proovialadel O1 ja O3 oli tegemist olukorraga, kus peale põuaperioodi aktiveerus väga kiiresti mikroobikoosluse biomass. Kuna mullaproove võeti väga varakult septembri alguses, mis ei ole elustiku uuringute aja mõttes tavapärane, siis mikroobikooslus ei olnud tõenäoliselt veel stabiliseerunud ja sellest tulenevalt oli biomass põllukoosluse jaoks liiga kõrge.



Joonis 25. Mulla mikroobikoosluse üldine aktiivsus (mg O<sub>2</sub> /kg KA\*h) hingamisaktiivsuse (BA) alusel aastatel 2011-2022

## Vihmaussikoosluse arvukus ning liigiline ja ökoloogiline struktuur

Analüüsitud põldude vihmaussikooslused olid väga erinevad vihmausside arvukuse poolest. Seejuures seirepiirkonnad eristusid selgelt. Viljandimaa (O1 ja K12) arvukused olid kõige väiksemad, vastavalt  $18,67 \pm 7,06$  ja  $0$  is/m<sup>2</sup> (Joonis 26). Otsekülvipõllu arvukus on tavapärasest väiksem, künnipõllu mullas ussid maapinnale ei tulnudki. Põhjused on ilmselt põuases suves, kuumades ilmates ja äärmiselt vähestes sademetes. Vestlusest põllu peremehega selgus, et selles piirkonnas sademed praktiliselt puudusid proovikogumisele eelnenud paarikuulise perioodi jooksul, mistõttu muutusid mullatingimused ussidele ebasobivaks. Kirjanduse andmeil mõjub mullaniiskus <20% ussidele letaalselt (Edwards &

**Mullaniiskus <20% võib olla ussidele letaalne, kõrge mullatemperatuur suurendab põua kahjulikku mõju vihmaussidele.**

Bohlen, 1996), kõrge mullatemperatuur suurendab oluliselt põua kahjulikku mõju vihmaussidele (Singh, Schädler, Demetrio, Brown, & Eisenhauer, 2019). Eelnevatel aastatel oli O1 põllu keskmine arvukus oluliselt kõrgem, mis veelgi toetab ilmastiku suurt mõju 2022. aastal. Viljandimaa välitööd toimusid ajal, mil suvise põua mõjud olid tuntavad (07.09), O1 koosluses olid valdavalt aneetsilised ussid, kelle aktiivsus oli tänu sügavamate mullakihtide tingimustele kõrgem ja kes sinepilahuse mõjul liikusid maapinnale. Leidis ka mõni endogeiline isend, samuti epigeiline punane vihmauss.

Tervikuna iseloomustab sellist kooslust väike liikide arv ja madal arvukus. Künnipõllul K12 valitsesid samasugused tingimused, kuid tavapäraselt künd kahjustab aneetsiliste liikide elupaiku ja nende osa koosluses ei ole suur. Prooviruutudele ei väljunud sellel põllul ükski isend, ehkki nii endogeilisi kui aneetsilisi inaktiivses olekus isendeid võis olla sügavamates mullakihtides.

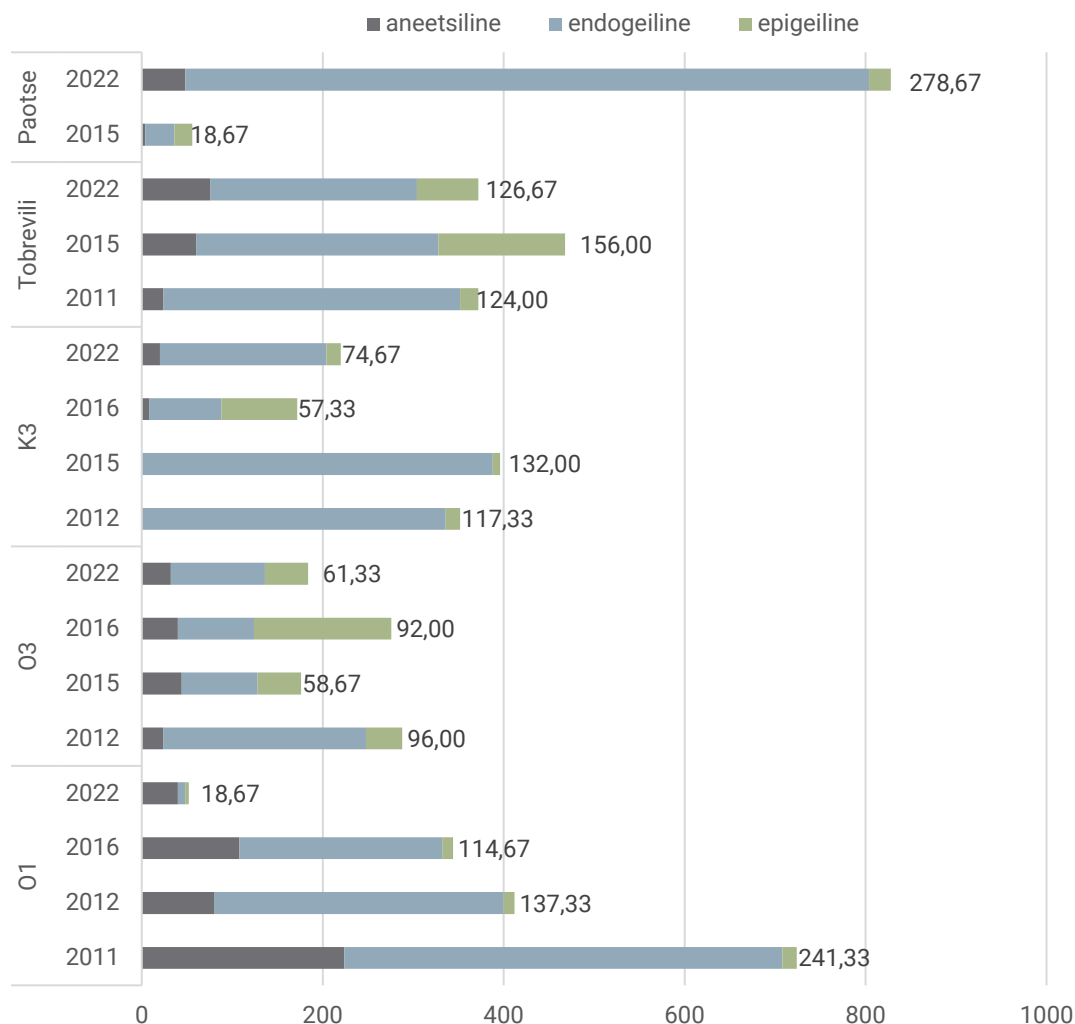
Valgamaa põldude O3-K3 välitööd tehti 12.09, siis oli mulla niiskusesisaldus veidi suurem, põuaperioodi mõju ilmselt hakanud vähenema, mullatemperatuur langemas (kahjuks ei ole mõõteandmeid). Koosluse arvukus oli mõlemal põllul sarnane, otsekülvipõllul ( $61,33 \pm 17,35$  is/m<sup>2</sup>) mõnevõrra väiksem kui küntud põllul ( $74,67 \pm 17,04$  is/m<sup>2</sup>), kuid arvukused jäid tavapärasest veidi madalamaks. Nimelt 2012. ja 2015. aastal oli K3 keskmine arvukus

**Künnipõhistel põldudel on rohkem endogeilise eluvormiga liike, kes on vastupidavamad liigid agrotehnilistele võtetele.**

117,33 ja 132 is/m<sup>2</sup>, aga 2016. a kõige väiksem ehk 57,33 is/m<sup>2</sup>. Mõõdetud mullaniiskus (vastavalt 16,3 ja 12,67%) jäi alla usside eluks sobiva piiri (<20%) ja mõjutas kooslusi negatiivselt, samuti kindlasti kõrgem mullatemperatuur. Otsekülvipõllul oli rohkem epigeilisi ja aneetsilisi eluvorme võrreldes künnipõhise põlluga. PAotse põllul moodustas endogeiline eluvorm valdava osa kooslusest (84%), tobreveli põllul oli 57% endogeilisi liike. Endogeilise eluvormi suur osa koosluses on seotud mullaharimise intensiivsusega, kuna selle eluvormi liigid on agrotehnilistele

võtetele vastupidavamad kui epigeilised ja aneetsilised liigid (Briones & Schmidt, 2017). K3 põllul on aastate võrdluses toimunud aneetsiliste vihmaussikoosluste arvukuse suurenemine: 2012 ja 2015 ei leitud ühtegi isendit, aga 2015 8 tk ja 2022 juba 20 tk ehk 9% kõikidest leitud liikidest.

## Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 26. Vihmaussikoosluse eluvormide arvukus (isendite summa) 2011-2022. Numbritega on näidatud keskmine arvukus (is/m<sup>2</sup>) kogu ala kohta (kõik eluvormid koos)

Põlvamaa põldudel tobrevili-PAotse tehti välitööd samuti 12.09. Muld on neil põldudel sarnaselt Valgamaa põldude mullaga näivleetanud (LP). Erinevus oli mullaniiskuses, see ületas Põlvamaa mõlemal põllul ussidele kriitilise 20% miinimumi piiri. Koosluse arvukused olid kõrgemad kui teistes piirkondades – vastavalt otsekülvipõllul 126,67±37,59 is/m<sup>2</sup> ja künnipõhisel põllul 278,67±51,56 is/m<sup>2</sup>. Endogeiline eluvorm moodustas otsekülvipõllul 61%, künnipõllul 91%. Võrreldes eelmise 2015. aastaga on tobreviil alal endogeiliste liikide osatähtsus jäänud samaks, aga PAotse põllul on suurenenud 1,6 korda. Arvukuse erinevus tuleneb peamiselt endogeiliste, põllumajandustegevust hästi taluvate liikide arvelt, samal ajal on otsekülvipõllu koosluses suurem aneetsiliste ja epigeiliste liikide osa. PAotse kõrgem keskmine isendite arv võib olla põhjustatud mingist tegevusest vaatlusaastal, mis soodustas kookonite arengut ja suurendas vihmausside arvukust.

Kokku esines seirepõldudel 6 vihmaussiliiki 2 perekonnast: mullaussid *Aporrectodea* ja vihmaussid *Lumbricus*. Kõik leitud liigid on peregrinsed (laialt levinud kogu maailmas, endeemseid vihmaussiliike ei leidu 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 vähem nõudlikust

liigist: harilik mullauss > roosa mullauss > suur mullauss > harilik vihmauss > punane vihmauss > tume vihmauss. Otsekülvipõldude O3 ja Tobrevili mullas leidus 6 liiki isendeid, O1 põllul, kus arvukus oli väike, leidus vaid 3 liiki vihmausse. Künnipõldude mullas leidus 5 liiki usse, mullatingimuste ja põllumajandustegevuste suhtes kõige nõudlikumat liiki (tume vihmauss) ei leidunud. 2022. aastal tuvastati aneetsilist suurt vihmaussi esimest korda K3 ja Tobrevili põldudel. PAotse

**Vihmausside arvukus oli pigem suurem tavakülviga põldudel ja liikide arv oli suurem pigem otsekülviga proovialadel.**

põllul leiti esimest korda roosat mullaussi ja harilikku vihmaussi. Põllumuldade kõige levinum liik on harilik mullauss, see liik on Eesti tingimustes põllumuldades dominantliik ja selle osa põhjal on võimalik hinnata ussikoosluse elupaiga tingimusi – mida suurema osa kooslusest moodustab harilik mullauss, seda ebasoodsamad on tingimused usside jaoks. Viljandimaa O1 põllul esines väga vähe isendeid ja dominantliigi osatähtsus oli 0,15 põuaperioodi mõju tõttu, kuid teistes piirkondades oli dominantliigi osa koosluses O3 mullas 0,54 ja tobrevili põllul 0,59, tavaharimisega

põldudel PAotse 0,75 ja K3 0,78. Bioloogilise mitmekesisuse indeks (H) näitab samuti koosluse koosseisu: dominantliigi suurema osa puhul tavaharimisepõldude mullas oli indeks H madalam (K3 0,821 ja PAotse 0,800) kui otsekülvipõldudel (vastavalt O3 1,315 ja Tobrevili 2,286). Kõige madalam indeks H (0,687) Viljandimaa otsekülvipõllu 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, 15 ... 84.6 g m<sup>2</sup>, seotud eelkõige koosluse arvukusega. Arvutati ka keskmise 1 isendi massi, mis oli suurem otsekülvipõldudel ja väiksem künnipõldudel. Tulemus on kooskõlas koosluse liigilise koosseisu andmetega – aneetsiliste liikide isendid on kordades suurema kehamassiga kui epigeilised ja endogeilised ussid.

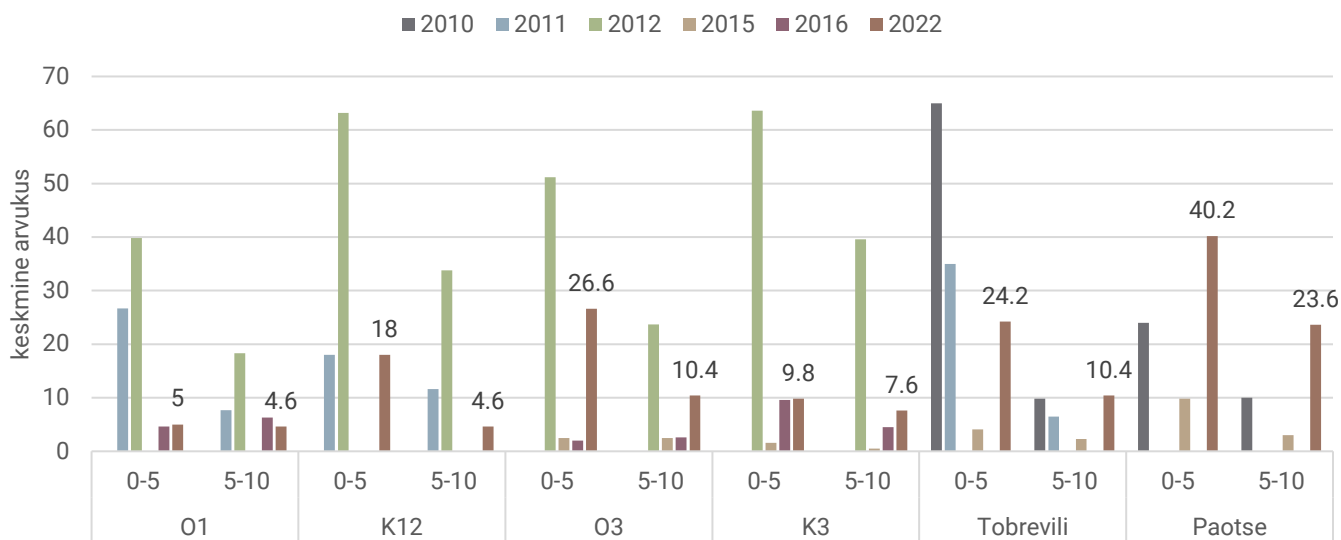
### Hooghännaliste arvukus ja liigiline koosseis

Läbi aastate on hooghännaliste keskmine arvukus suurem ülemises mullakihis (0-5 cm) võrreldes 5-10 cm kihiga (Joonis 27). Samas on hooghännaliste arvukus ka väga varieeruv sõltudes palju mullaniiskusest ja temperatuurist. Võrdluspaaris O1-K12 oli arvukus suurem K12 proovialal (tavaharimine), põllupaaris O3-K3 oli arvukus suurem O3 (otsekülv) ja põllupaaris Tobrevili-PAotse oli arvukus suurem PAotse (tavaharimine). Sarnaselt vihmaussidele sõltuvad ka

**0-5 cm proovikihis oli enam hooghännalisi ja suurem liikide arv kui 5-10 cm mullakihi proovides.**

hooghännalised olemasolevast orgaanilisest ainest. K12 põllu 0-5 cm liikide arv ja arvukus on kõrgem kui O1 põllul samal sügavusel, mis võib tuleneda kasvatavast kultuuri erinevusest. K12 oli kultuuriks liblikõieliste ja kõrreliste segu ehk maapind oli kaetud taimedega, aga O1 põllul oli koristatud põldhernes, millega vähenes nende hooghännaliste liikide arv, kes eelistavad elutegevuseks taimset materjali. Samas, kuna O1 põllul oli loetud päevad varem tehtud umbrohutõrjet glüfosaadiga võis

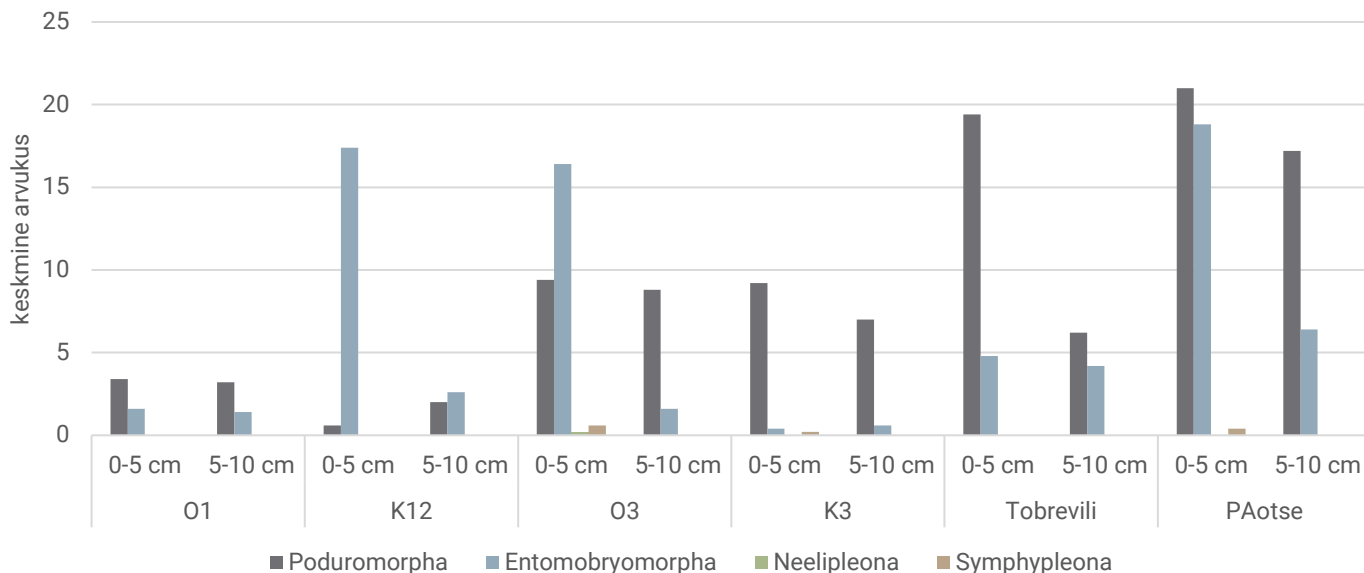
hooghännaliste madal arvukus olla tingitud ka sellest häiringust. PAotse kõrgem hooghännaliste arvukus võib ka olla seotud maakasutusega, sest kuigi mõlemal põllul oli 2022. aastal talinisu, siis eelneval kolmel aastal oli tavaharimisega põllul lühiajaline rohumaa. Üldiselt kasutati uuringualadel rohkem TKVsid otsekülvi aladel, mistõttu ka see aspekt võib mõjutada mullaelustiku esinemist.



Joonis 27. Hooghännaliste keskmine arvukus 2011.- 2022. aastal

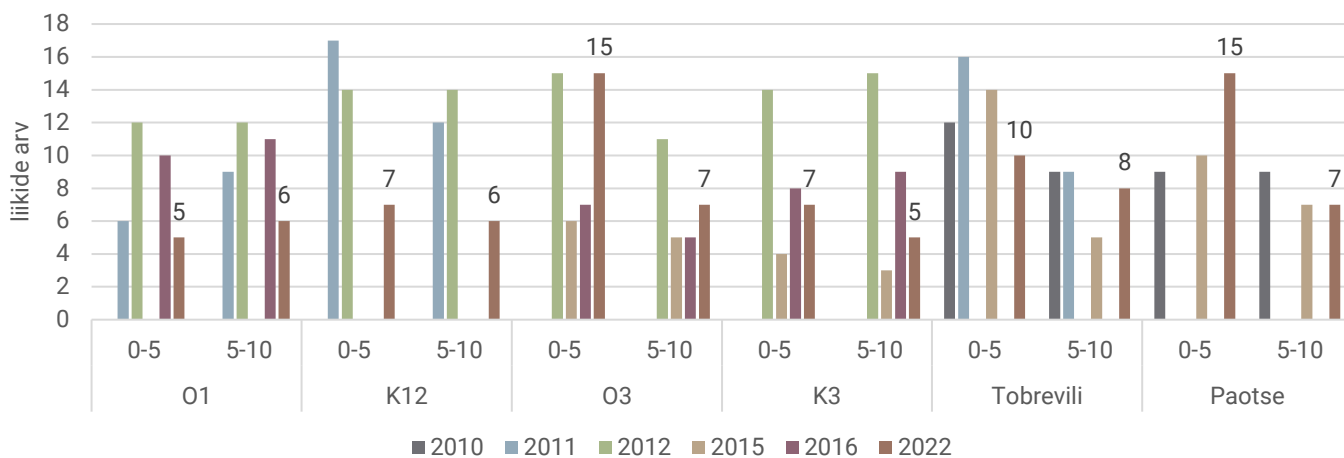
Seekord analüüsiti täpsemalt ka liigilist koosseisu hooghännalistel. Kokku määrati antud seire käigus 24 liiki hooghännalisi. Liikide nimekiri on esitatud [Lisas 1](#). Hooghännalised jagunevad nelja suuremasse seltsi: Poduromorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona ja Symphypleona (Vacht, 2012). Põllukultuuride töötlemise (insektitsiidid, herbitsiidid, fungitsiidid) suhtes on kõige tundlikumad sügavusele kohanenud liigid (Poduromorpha). Nimelt need liigid on ilma hüppehargita, millest tulenevalt on nende liikumisvõime piiratud ja nad ei saa liikuda eemale häiringust. Selle seltsi liigid on samuti tundlikud põllumuldade tihendamise suhtes (Chelinho, et al., 2014). Võib oletada, et otsekülvi proovialadel, kus ei toimu aktiivset mullaharimist on muld tihenenud ja selle tõttu on vähenenud hooghännaliste liikide arv ja arvukus. Kuna O3 põldu tegelikult haritakse minimeeritud harimisega, siis on selle ala kõrgemad hooghännaliste arvukused seostatavad mulla kobestamisega.

Proovides on enam esindatud seltsid Poduromorpha ja Entomobryomorpha ([Joonis 28](#)). Poduromorpha seltsi liigid eelistavad elada sügavamates mullakihtides ja teised, Entomobryomorpha, eelistavad elada ülemises mullakihis ja kõdukihis. Igasse seltsi kuulub märkimisväärne hulk liike ja samas on igal seltsil omad tingimused ja iseärasused. Kui võrrelda taas O1-K12 põllupaari, siis K12 põllul esineb enam selts Entomobryomorpha (17,4) ehk põllul, kus oli liblikõieliste ja teravilja segu. Arvestades, et põllul O1 oli koristatud põldhernes ehk puudus taimestik, mille peal ja all see selts oleks saanud eksisteerida on loogiline, et arvukus oli oluliselt madalam (1,7). Põllupaaris O3 ja K3 oli seltsi Entomobryomorpha rohkem O3 proovialal ehk otsekülvi põllul. Põllupaaril Tobrevili-PAotse oli rohkem esindatud selts Poduromorpha, mis toetab oletust, et sügavama kihtide liikide jaoks oli seal elukeskkond parem mõlema mulla harimisviisi korral. Väike oli nii arvukus kui ka liikide arv kahest ülejäänud seltsist (Neelipleona ja Symphypleona), neist Neelipleona esines ainult O3 põllul.



Joonis 28. Hooghännaliste seltside keskmine arvukus 2022. aastal

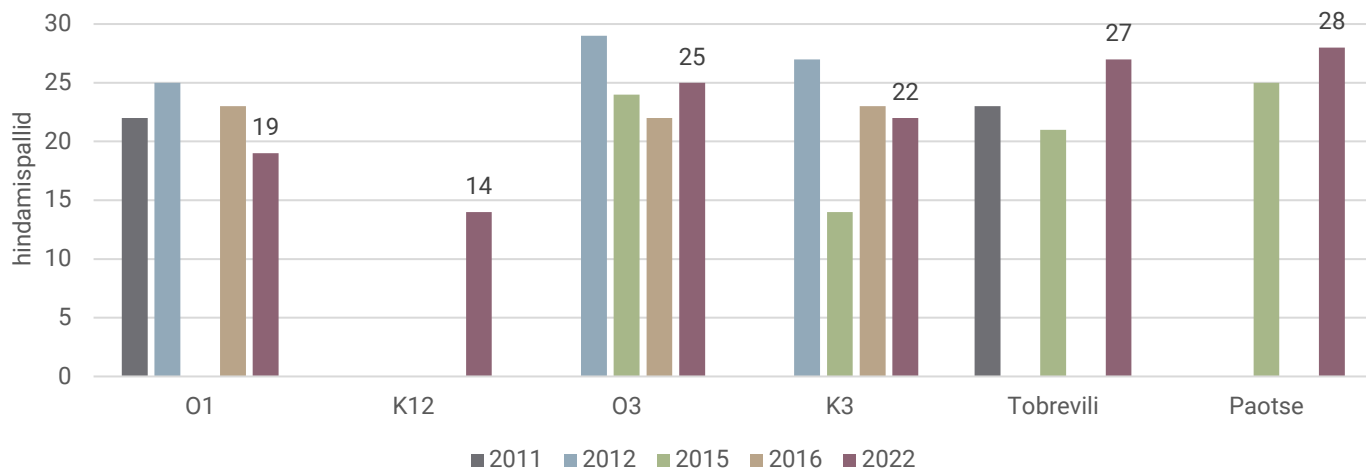
Liikide arv on samuti väga varieeruv ning kindlat trendi, et otsekülvi aladel on suurem liikide arv ei ole (Joonis 29). Põllupaaride võrdlemine näitab, et liikide arv on keskmisena sarnane O1-K12 põllul, kuid ülemises 5 cm kihis on rohkem erinevaid liike K12 põllul. Varasematel aastatel on K12 põllul olnud oluliselt kõrgem liikide arv võrreldes O1 põlluga. Võrdluspaari O3-K3 liikide arv on oluliselt suurem O3 põllul: ülemises 5 cm kihis kaks korda suurem kui K3 põllul. PAotse põllul on ülemises kihis 5 liiki rohkem kui tobrevili põllul, kuid alumises kihis 1 liik vähem. Bioloogilise mitmekesisuse indeks on kõikidest aladest kõige suurem PAotse 0-5 cm kihis, vastavalt 2,116, samas madalaim on samuti künnipõhise harimisega K3 alal, mõlemas sügavuses alla 0,600.



Joonis 29. Hooghännaliste liikide arv sügavustel 0-5 cm ja 5-10 cm aastatel 2010.-2022

Otsekülvi uuringu algusaastatel koostati mulla elurikkuse komplekssemaks hindamiseks hindamisskaala (Lisa 2). Punktide summa oli suurim Tobrevili ja PAotse proovialal (27 punkti) (Joonis 30), saades hinnanguks hea (>27 tähistab head seisundit). Aastate võrdluses on mõlemal põllul elustiku hinnang paranenud. Madalaim punktide summa 14 oli K12 põllul, mis andis hinnanguks halb. Teistel põldudel on elustiku olukord keskmine, natuke paremas seisus on O3-K3 põllud. Eelmiste aastatega võrreldes on O1 põllu elustiku olukord halvenenud ja on kõige madalam alates 2011. aastast. Hindamise põhjal erinevad omavahel piirkonnad: Viljandimaa seirepõllud on vahemikus "keskmine/halb", Valgamaa seirepõllud vahemikus "keskmine" ja Põlvamaa seirepõllud vahemikus "hea". Tõenäoliselt tuleb erinevus ka

kliimatingimustest, kus sademed ja mullatemperatuurid erinevad piirkondlikult samuti. Tõenäoliselt kliimatingimuste erinevusest on piirkondlikud põllupaaride tehnoloogiate vaheline erinevus minimaalne ja mitte väga eristuv.

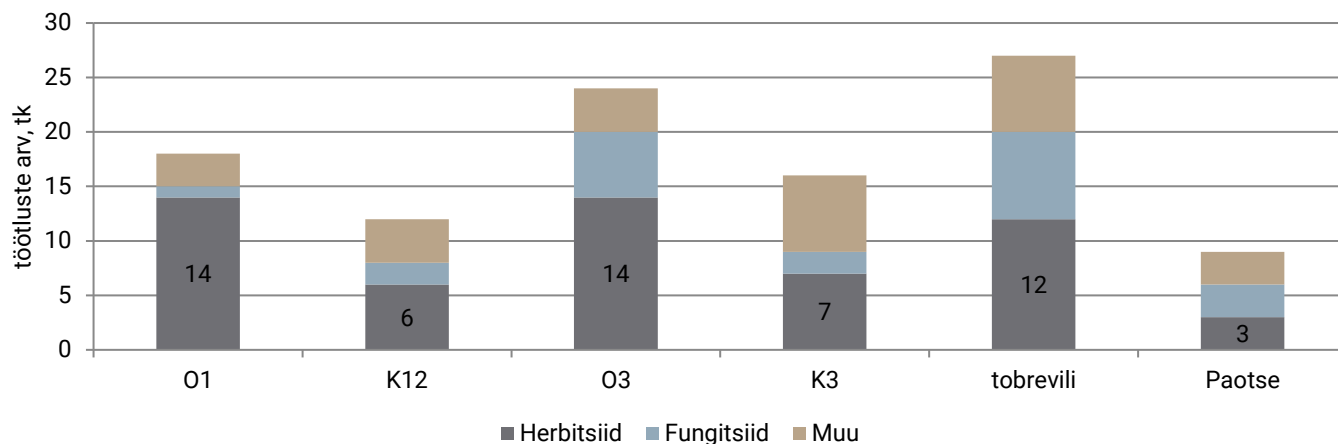


Joonis 30. Uuringupõldude mulla elustiku koondhinnang hindamiskaalal 2011.-2022.a

## Taimekaitsevahendite jäägid

Põlluraamatu alusel analüüsitud taimekaitsevahendite kasutusest selgus, et otsekülvi põldudel tehti viie aasta jooksul rohkem TKV töötusi kui künnipõhistel põldudel (Joonis 31). Ka võrdluspaaride vahel on selged erinevused: otsekülvajad kasutavad 2-4 korda rohkem herbitsiide kuna puudub mehhaaniline umbrohutõrje võimalus. Ka fungitsiide kasutavad otsekülvi kasutajad 3 korda rohkem kui künnipõhised harijad. Muudest preparaatidest võiks välja tuua molluskitsiidid, mida on kasutanud ainult O1 ja tobrevili. Suurim kogu kasutaud preparaatide arv oli 5 a jooksul tobrevili põllul (27 tk).

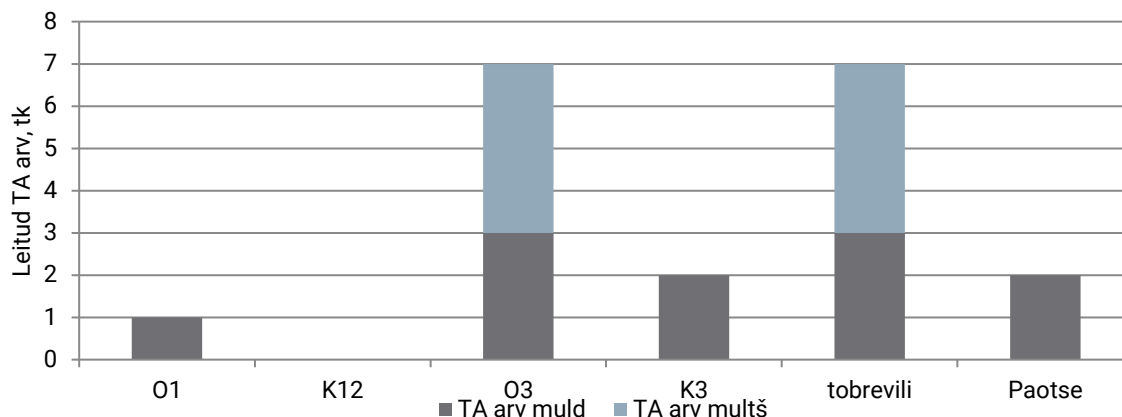
**Otsekülvi põldudel kasutatakse kordades rohkem herbitsiide ja fungitsiide kui künnipõhistel põldudel.**



Joonis 31. Uurimisaladel tehtud taimekaitse töötuste arv (põlluraamatu alusel) 2018.-2022. A

**Otsekülvi multšis on rohkme jääke kui mullas.**

2022. aasta mulla ja multši TKV jääkide analüüsil leiti proovidest 19 korral 8 erineva toimeaine (Joonis 32). Otsekülvi aladel leiti multšist TKV jääke 8 korral 7 erineva toimeainega. TKV-klassidest oli otsekülvi alade muldades enam esindatud herbitsiidi ja selle laguaine (5 juhul) jäägid. Tavaharimisega põldudel leidus herbitsiide ja selle laguainet 3 juhul ning fungitsiide 1 juhul.



Joonis 32. Leitud taimekaitsevahendite toimeainete jääkide arv 2022. aastal

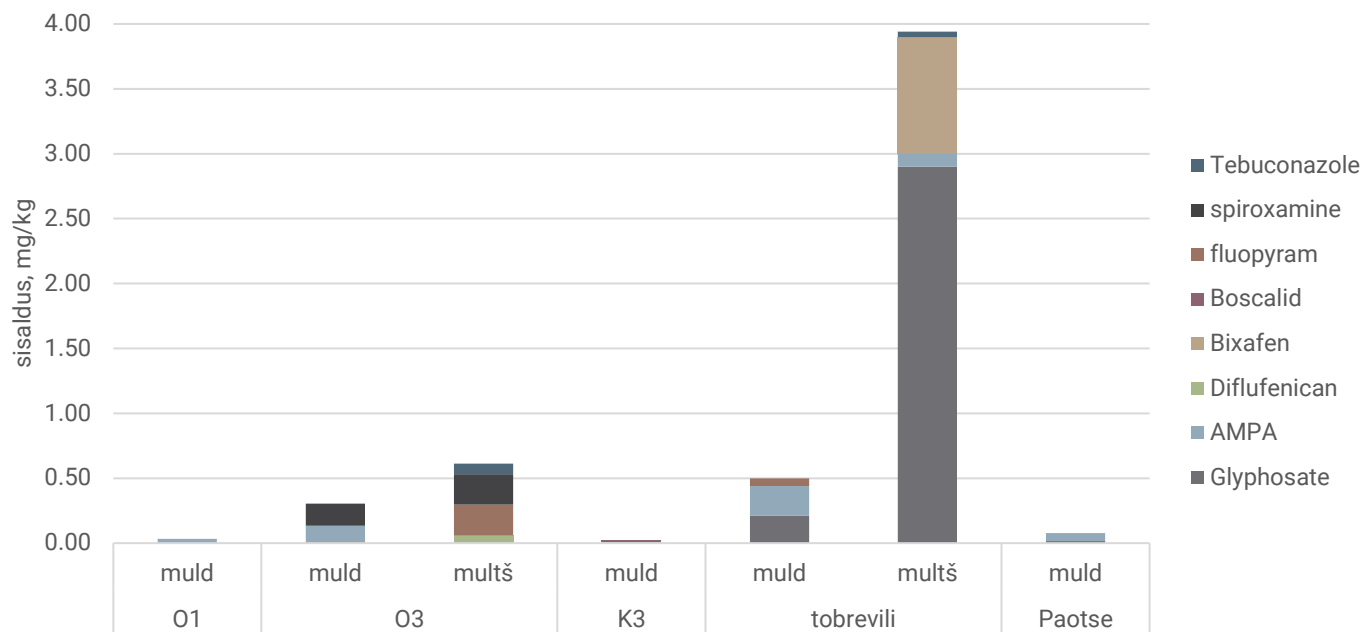
TKV jääkide sisaldused varieerusid võrdluspõldudel 2022. aastal (Joonis 32). Viljandimaa põldudel O1 leiti mullast ainult glüfosaadi laguainet AMPAt väga väikeses koguses ning multšist ja künnipõhiselt K12 põllult ei leitud ühtegi TKV jääki (Joonis 32). Kuna K12 põld oli 2022. a põldheina all siis seda ei ole ka pritsitud, viimati tehti taimekaitsetöid 2021. a. Valgamaa võrdluspaaris leiti mõlemalt alalt TKV jääke, O3 mullas leiti kolm jääki ja K3 mullas 2 jääki. K3 mullas leidis vähesel määral AMPAt ja fungitsiidi jääki, seejuures põlluraamatu järgi kasutati glüfosaati viimati 2018. aastal. O3 mullast leiti vähem jääke kui multšist preparaate arvu mõttes. Leidus nii herbitsiidi glüfosaadi kui selle laguaine AMPA jääke

mullas ja ka üks fungitsiidi jääk (spiroksamiin). Samas multšis oli kolme erinevat fungitsiidi ja herbitsiidi diflufenikaani jääke. Seejuures toimeaine diflufenikaan jõudis mulda 2021. aasta sügisel ja on siiani multšis, fungitsiide kasutati 2022. aastal. Seega multši ehk orgaanilise aine aeglase lagunemise tagajärjel toimub seal ka TKV jääkide aeglase lagunemine mulda ehk neid leitakse multšis oluliselt pikema perioodi jooksul. Põlvamaa põldudel oli sarnane trend Valgamaa põldudega: künnipõhisel PAotse põllult tuvastati 2 erinevat TKV jääki, mis olid glüfosaat ja tema laguaine AMPA. Otsekülvi põllul oli seis vastupidine, erinevaid jääke oli rohkem. Eriti kõrge oli

**Taimekaitsevahendite jääke leiti rohkem otsekülvipõldudelt. Leiti nii herbitsiidide kui fungitsiidi jääke.**

glüfosaadi jääk: mullas 0,21 mg/kg ja multšis 2,9 mg/kg, see oli tingitud lühikesest vahest pritsimise ja mullaproovide vahel (pritsiti augusti keskel)

### Minimeeritud harimise ja otsekülvi mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile



Joonis 33. Tuvastatud taimekaitsevahendi toimeainete summaarne sisaldus 2022. aastal

## Kokkuvõte

---

- 2022. aastal viidi otsekülvi kordusuuring läbi kolmel põllu võrdluspaaril: Viljandimaal O1-K12, Valgamaal O3-K3 ja Põlvamaal tobrevili-PAotse.
- Orgaanilise süsiniku sisaldus on otsekülvipõldudel vertikaalselt kihistunud ning aastate võrdluses on ülemises 0-5 cm kihis sisaldus suurenenud ja alumistes kihtides vähenenud. Künnipõhise variandi põldudel on Crog sisaldus mullaprofiilis ühtlane.
- Mulla liikuva fosfori- ja kaaliumisisalduses on samuti otsekülvipõldudel vertikaalselt kihistunud.
- Mulla reaktsioon ja mikroelemendid üldiselt ei erine tehnoloogiate võrdluses.
- Osade põldude pH on jõudnud happelisele tasemele, mistõttu vajaks need lupjamist (K3), samas teistel põldudel on lupjamine juba head efekti näidanud – pH, Ca ja Mg sisaldused on paranenud (O3, tobrevili).
- Muldade tallatus on üldiselt vähene: nii lasuvustihedus, ülspoorsus kui ka aeratsioonipoorsus ei viita suurematele probleemidele taimede kasvuks. Ainult O3-K3 põllul on olukord mullale kriitiline.
- Mullaelustiku mõjutas 2022. aastal väga tugevalt soe ja sademetevaene suve lõpp, mis tingisid varase saagikoristuse ja sellest tulenevalt ka varasemad mullaelustiku uuringud.
- Mulla mikrobioloogiline aktiivsus (biomass ja hingamine) olid kõrgemad otsekülviga põldudel. Mikroobikoosluste biomass oli üleaktiveeritud O1 ja O3 põllul.
- Vihmausside arvukus oli pigem suurem künnipõhistel põldudel (v.a. prooviaala K12), vihmausside liikide arv oli suurem pigem otsekülviga proovialadel.
- 2022. aastal oli hooghännaliste arvukus äärmiselt madal (v.a. prooviaala PAotse). Vaatamata madalale hooghännaliste arvukusele ja liikide arvule, oli kooslus mitmekesine ning dominantliigi (*Parisotoma notabilis*) osatähtsus jäi proovides kesiseks. Otsekülvipõldude 0-5 cm kihis on hooghännaliste arvukus ja liikide arv kõrgem kui 5-10 cm kihis võrreldes künnipõhiste põldudega.
- Taimekaitsevehandeid kasutavad otsekülvi rakendajad oluliselt rohkem kui künnipõhise tehnoloogia kasutajad, sest otsekülvi puhul pole võimalik mehhaanilist umbrohutõrjet teha.
- Otsekülvi multsist leiti rohkem TKV jääke kui mullast, peamiselt herbitsiidide ja fungitsiidie jäägid. Otsekülvi põldudel tuvastati mullas rohkem jääke kui künnipõhistel põldudel.