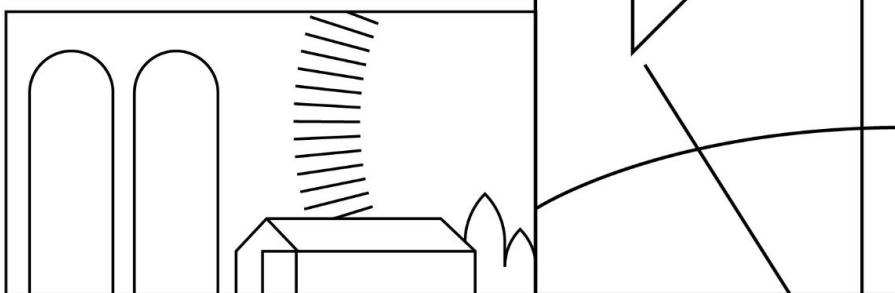
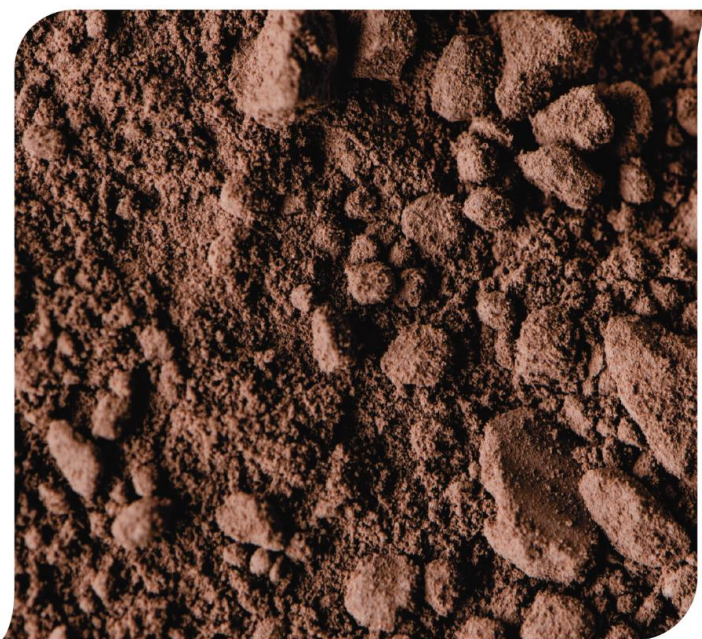


# METIK

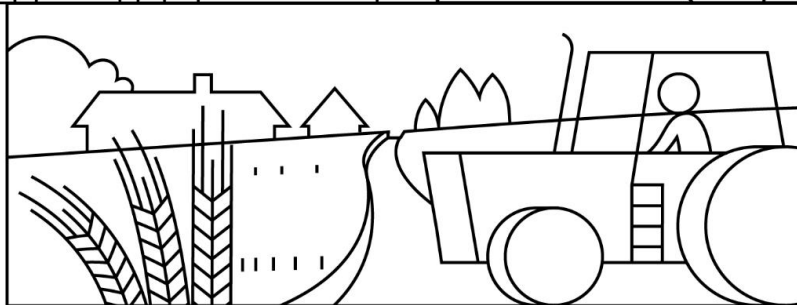
Maaelu  
Teadmuskeskus

## Muldade tihenemise seire Eesti tootmispõldudel

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



Euroopa Maaelu Arengu  
Põllumajandusfond:  
Euroopa investeeringud  
maapiirkondadesse



2023

## Sisukord

Jooniste loetelu .....	2
Tabelite loetelu.....	2
Lisade loetelu .....	2
Kasutatud kirjanduse loetelu.....	2
Uuringu lühikokkuvõte .....	3
Uuringu eesmärk.....	4
Uuringu meetodika .....	4
Tulemused ja arutelu .....	5
Maakasutus .....	7
Lasuvustihedus .....	8
Süsinikusisaldus.....	10
Mullaniiskus.....	11
Muldade poorsus.....	11
Toitainete sisaldus .....	13
Järeldused.....	15

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Tallamise uuringu seirealade paiknemine .....	5
Joonis 2. Uuritavate alade lasuvustihedused kahel sügavusel (5 ja 20 cm) aastatel 2008, 2013 ja 2022.....	9
Joonis 3. Alade muldade orgaanilise süsiniku keskmised sisaldused kahel sügavusel (5 ja 20 cm) 2008, 2013 ja 2022 .	10
Joonis 4. Mulla kaaluline niiskusesisaldus uuritud aladel kahes sügavuses (5 ja 20 cm) 2008, 2013 ja 2022 aastal.....	11
Joonis 5. Muldade üldpoorsus uuritud alade kahel sügavusel (5 ja 20 cm) aastatel 2008, 2013 ja 2022 .....	12
Joonis 6. Uuritud alade aeratsioonipoorsus kahel erineval sügavusel (5 ja 20 cm) aastatel 2008, 2013 ja 2022.....	12

## Tabelite loetelu

Tabel 1. Tallamisuuringu alad (mulla liik ja lõimis pärinevad mullastikukaardilt) .....	6
Tabel 2. Uuritud alade maakasutus alates eelmisest proovide võtmise ringist (aastatel 2014-2022) .....	7
Tabel 3. Uuritud alade toitainete sisaldus kahel sügavusel (5 ja 20 cm) 2022. seireaastal .....	14

## Lisade loetelu

Lisa 1. Aastal 2022 võetud mullaproovide tulemused seirealadel

## Kasutatud kirjanduse loetelu

- Dexter, A.R., 1991. Amelioration of soil by natural processes. Soil Tillage Research 20, lk 87-100.
- Halleron, 2022. Oilseed rape not a solution to soil compaction problems
- Klaasmägi, T, 2018. Erinevate maakasutusviiside mõju turvas- ja erodeeritud muldade kvaliteedile kasutades visuaalset hindamist. Bakalaureuse töö, Eesti Maaülikool, 46 lk.
- Kuht, J., Reintam, E. 2004. Soil compaction effect on soil physical properties and the content of nutrients in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) Agronomy Research 2(2), lk 187-194.
- Lal, R., Follett, R., Stevart, B.A., Kimble, J.M., 2007. Soil Carbon Sequestration to mitigate Climate Change and advance Food Security. Soil science 172 (12), lk 943-956.

Minnesota Crop news, 2019. How soil compaction impacts fertilizer decisions

Panayiotopoulos, K.P., Papadopoulou, C.P., Hatjioannidou, A., 1994. Compaction and penetration resistance of an alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. Journal of Agricultural Science 32, lk 323-337

Projekt SoilCompac, 2021. SoilCompacC (ejpsoil.eu)

Rahman M.H., Sabreen, S., Hara, M., Deurer, M., 2015. Forage Legume Response to Subsoil Compaction. Environmental Control in Biology 53(3), lk 107-115.

Reintam, E., Penu, P. 2009. Eesti põllumuldade tallatuse seire 2008 aastal. Eesti Maaülikool, Põllumajandusuuringute Keskus. Aruanne. 65 lk.

## Uuringu lühikokkuvõte

---

Muldade tihenemise uurimine aktiivses põllumajanduslikus kasutuses olevatel maadel on kestnud juba 15 aastat ja sellel ajal on toimunud 3 mullaproovide kogumise ringi (aastatel 2008, 2013 ja 2022).

Uurimisperiodil võis täheldada mullaproovide süsiniku sisalduse tõusu ja lasuvustiheduse vähenemist, seega muldade seisund üldiselt paranes. Analüüsitud näitajate kohta võib välja tuua, et võrreldes esimese seireringiga (aastal 2008) on lasuvustihedus langenud 12 alal, ehk siis 80%-dil uuritud aladest. Orgaanilise süsiniku sisaldus ülemises kihis on tõusnud võrreldes seire algaastaga 67%-dil uurimisaladest ning mõlemas kihis 53%-dil aladest. Üldpoorsus on mõlemas uuritud kihis suurenenud 73%-dil uurimisaladest võrreldes proovivõtmise algusega 2008. aastal, samas on aeratsioonipoorsus tõusnud peaaegu kõikidel aladel (14 alal ehk 93%-il aladest).

Analüüsitud näitajad varieerusid sageli võrdlemisi suurtes piirides ning seetõttu on statistiliselt usutavaid tulemusi raske välja tuua. Varieeruvus oli ka proovivõtmise ringidel, ehk siis vahepealsel ringil olid osadel aladel tulemused paremad kui sellele järgneval ringil. Samas sõltuvad tulemused ka mullaproovi võtmise ajast ja ilmastikunäitajatest, sest sademed, temperatuurid, kasvatatavad kultuurid, mullaharimine, mullaliik ja lõimimine – kõik need mõjutavad ka muldade tihenemist ja muid sellega seotud mullaomadusi.

Uurimisaladel kasutatud külvikorrad olid enamasti mitmekesised sisaldades nii teravilju, õlikultuure kui ka liblikõielisi põllukultuure ja heintaimi. Samas otsest seost kasvatatud kultuuride ja mullaseisundi muutuse vahel ei tuvastatud.

Muldade tihenemise seire võiks jätkuda vähemalt samas mahus kuid täienduseks oleks hea saada ülevaade ka mullaharimise viisidest ja saakidest. Võimalikud uurimisteemad võiksid käsitleda kasvatatavate kultuuride produktiivsust ning kuidas see sõltub muldade tihenemisest ja mullaomaduste muutustest. Samuti kuidas võimalikud kliimamuutused (näiteks kuivemad suved või soojemad talved) mõjutavad muldade tihenemist Eestis.

## Uuringu eesmärk

---

Muldade tihenemise seiret alustati 2008-2009. aastal Põllumajandusuuringute Keskuses, mil 15 tootispõllult koguti mullaproovid ja kirjutati aruanne, kus iseloomustati põhjalikult kõiki valitud alasid. Järgmine seirering toimus aastal 2013 ning nede [seirearuannetega](#) saab tutvuda Maaelu Teadmuskeskuse kodulehel Viimane seirering viidi läbi aastal 2022 ja käesolevas töös võrreldakse kõigi kolme seireringi andmeid ning analüüsitakse, kuidas muldade tihenemist iseloomustavad näitajad on ajas muutunud.

Antud teema kasvas välja tõdemusest, et muldade (eeskätt põllumuldade) tihenemine tallamise tagajärjel on üks olulisi teemasid mulla tervise hindamise seisukohalt, mida peaks põhjalikumalt uurima ja seirama.

Põlde haritakse üha suuremate ja raskemate masinatega, millega kaasneb oht muldade tihenemiseks, mida iseloomustab mulla lasuvustiheduse tõus. Üks olulisi mulla kvaliteeti iseloomustavaid näitajaid on mulla orgaanilise süsiniku sisaldus. Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus on seotud mulla agregaatide võimega vastu panna tihenemisele (Lal et al 2007). Mulla kvaliteeti parandavateks näitajateks, mis on otseselt või kaudselt seotud mulla struktuuri ja tihenemisega on muuhulgas viljavahelduse kasutamine, otsekülv, orgaaniliste väetiste kasutamine ja vahekultuuride kasvatamine.

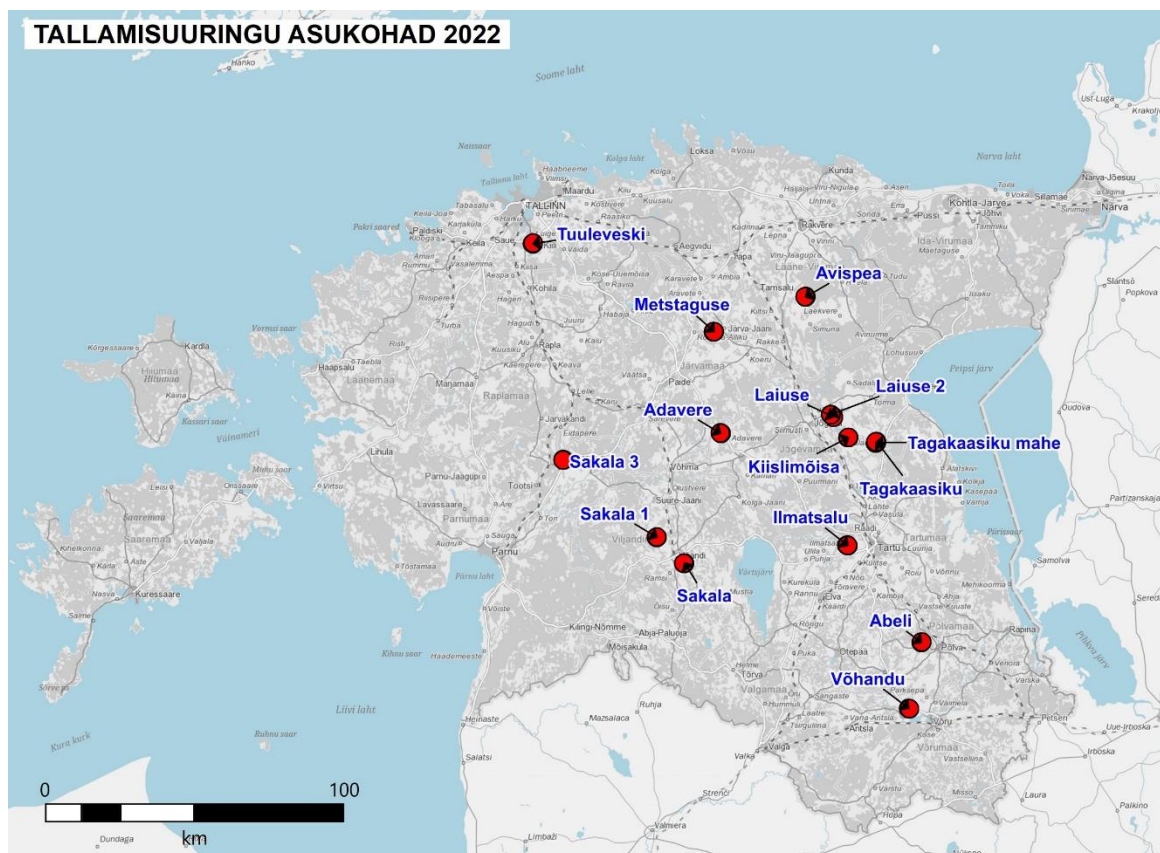
Muldade tihenemise uurimiseks on algatatud ka rahvusvaheline projekt [SoilCompac](#), projekti tegevused algasid aastal 2021 ja projekt kestab 3 aastat. Projektis osalevad 12 riiki, Eesti esindaja on EMÜ. Projekti eesmärgiks on uurida seoseid kliima ja mulla tihenemise vahel. Samuti on eesmärgiks uurida, kuidas kindlaks teha ja hinnata muldade tihenemist ning selgitada välja võimalused kuidas vähendada põllumajanduslikku muldade tihenemist ning taastada muldade hea seisund.

Muldade tihenemine mõjutab oluliselt muldade toimimist ökosüsteemi teenuste pakkumisel. Muldade tihenemine mõjutab eeskätt muldade produktiivsust, õhu- ja veerežiimi ning süsiniku sidumist.

## Uuringu metoodika

---

Põllumuldade tihenemise ehk siis tallamise uuringuga alustati PMK-s 2008. aastal, järgmine proovivõturing toimus aastal 2013 ning viimane võtmise ring aastal 2022. Algselt valiti välja 15 uurimisala tootjate põldudel, mis jäid väikeste muutustega (2013. aastal ei viidud uuringut läbi Tuuleveski alal) siiski samaks kogu uurimise ajal. Uurimisalad paiknevad peamiselt Kesk- ja Lõuna-Eestis ([Joonis 1](#)). 2022. aastal võeti mullaproovid kõikidelt valitud aladelt ja tulemused on esitatud lisa 1.



Joonis 1. Tallamise uuringu seirealade paiknemine

Kokku võeti 300 mullaproovi lasuvustiheduse ja poorsuse määramiseks, 150 proovi orgaanilise süsiniku (Corg) määramiseks ning 30 mullaproovi agrokeemilisteks analüüsideks (pH, liikuv P, K, Ca, Mg). Proovid võeti igal uurimisalal viiest juhuslikult määratud kohast kahest sügavusest (5–10 cm ja 20–25 cm) arvestusega, et vähemalt üks koht jääks põllu serva või tehnorajale. Mulla pH, liikuva P, K, Ca ja Mg määramiseks segati 5 proovipunkti võetud proovid kokku ja saadi selliselt pealmise ja alumise kihi põldu iseloomustavad näitajad. Lasuvustiheduse proovid võeti 98,125 cm<sup>3</sup> (läbimõõt 5 cm, kõrgus 5 cm) terrasilindritega suunaga üleval alla, st sügavuse suunas. Proovide võtmisel tasandati muld silindris servani ning suleti koos silindriga topsi edasisteks analüüsideks. Võetud proovidest määrati mulla mahuline niiskuse sisaldus proovivõtuhetkel, (kuiva mulla) lasuvustihedus, üldpoorsus ning õhuga täidetud poorid pF1,8 juures (väliveemahutavuse juures). Laboratoorsed analüüsid (lasuvustihedus, üldpoorsus, niiskus ja õhuga täidetud pooride osatähtsus) teostati Eesti Maaülikooli Mullateaduse õppetooli Mullafüüsika laboratooriumis ning Corg (EA meetodil), pH (KCl lahuses) ning liikuvate K, P, Ca ja Mg sisaldused (Mehlich 3 meetodil) määrati Põllumajandusuuringute Keskuse Agrokeemia laboris (tulemused lisades 1 ja 2).

## Tulemused ja arutelu

Uurimisalade mullastik on võrdlemisi kirju, esindatud on sageli kaks mullaliiki, ühel juhul ka 3 mullaliiki (Sakala 1 alal) (Tabel 1). See tähendab, et muldade omadused, kaasa arvatud orgaanilise süsiniku sisaldus, võivad põllu piires oluliselt varieeruda. Kõik see mõjutab ka muldade tihenemist ja seda iseloomustavaid näitajaid, mis võivad erinevates põldul olevates proovipunktides varieeruda niivõrd, et statistiliselt usutavaid erinevusi seireringide vahel on raske välja tuua.

Tabel 1. Tallamisuuringu alad (mulla liik ja lõimis pärinevad mullastikukaardilt)

Ala nr	Nimetus	Mulla liik (šiffer)	Lõimis (lühend)
1	Ilmatsalu	gleistunud leetjas muld (Klg) leostunud gleimuld (Go)	kerge liivsavi (Is <sub>1</sub> )
2	Kiislimõisa	näivleetunud muld (LP)	saviliiv (sl)
3	Abeli	näivleetunud muld (LP)	saviliiv (sl)
4	Metstaguse	leostunud muld (Ko) gleistunud leostunud muld (Klg)	peenliiv (pl), liivsavi (Is)
5	Võhandu	näivleetunud muld (LP) gleistunud leetjas muld (Klg)	liivsavi (Is)
6	Sakala	näivleetunud muld (LP)	saviliiv (sl)
7	Sakala1	näivleetunud muld (LP) nõrgalt leetunud muld (Lkl) gleistunud leetjas muld (Klg)	saviliiv (sl)
8	Sakala3	leostunud gleimuld (Go)	saviliiv (sl)
9	Adavere	leetjas muld (Kl)	keskmise liivsavi (Is <sub>2</sub> )
10	Laiuse	näivleetunud muld (LP)	saviliiv (sl)
11	Laiuse2	näivleetunud muld (LP)	saviliiv (sl)
12	Avispea	leetjas muld (Kl) leostunud muld (Ko)	kerge liivsavi (Is <sub>1</sub> )
13	Tagakaasiku-mahe	näivleetunud muld (LP)	saviliiv (sl)
14	Tagakaasiku	näivleetunud muld (LP) gleistunud näivleetunud muld (LPg)	saviliiv (sl)
15	Tuuleveski	rähkmuld (K) gleistunud rähkmuld (Kg)	kerge liivsavi (Is <sub>1</sub> )

Enam kui pooltel uurimisaladel (8 alal) on tegu näivleetunud mullaga või sellega kaasnevate muldade kompleksiga. Näivleetunud muldadele on omane kahekihiline lõimis, kus kergema lõimisega muld asub raskemal lõimisel. Selline lõimiste erinevus mõjutab nende muldade veerežiimi, kus lõimiste üleminekukihile võib koguneda ülavett ning see omakorda võib mõjutada tihese tekkimist antud piirkonda. Lõimiselt on uuritud mullad peamiselt kerged (saviliivad ja kerged liivsavid), keskmise ja raskema lõimisega on tegu Adavere ja Võhandu aladel.

## Maakasutus

Muldades toimuvad protsessid üldjuhul aeglaselt, kuid muldade tihenemine tallamisel võib toimuda suhteliselt kiiresti. Samas on võimalik mullatihest ka kiiresti likvideerida näiteks harimisega või sügavajureliste kultuuride kasvatamisega. Kuna mehhaanilised mullatihese eemaldamise meetodid on küllaltki kulukad (energiamahukad), siis soodsamaks alternatiiviks oleks suure juurekavaga taimede kasvatamine, mis on eriti efektiivsed just mulla sügavamate kihtide tihenemise leevendamisel (Dexter, 1991). Sellisteks kultuurideks on eeskätt liblikõielised kultuurid, eeskätt heintaimed.

Klaasmägi 2018. a uurimistöös leiti, et rohumaadel oli parema kvaliteediga muld võrreldes intensiivse mullaharimisega põldudega. Rohumaade muldadel oli üldiselt rohkem orgaanilist süsinikku kui haritavatel maadel, samuti oli vees stabiilseid agregaatte rohumaadel enam kui haritavatel maadel. Üldpoorsus oli rohumaadel 11,84% kõrgem võrreldes haritava maaga ja keskmine lasuvustihedus oli rohumaadel 47% madalam võrreldes haritavate põldudega.

Vaadates uurimisalade maakasutust aastatel 2014 kuni 2022 (maakasutus aastatel 2008-2013 on toodud 2013 a. tallamise uuringu aruandes) võib välja tuua, et kõiki uuritud alasid iseloomustas võrdlemisi varieeruv külvikord, kus on kasutatud nii suvi- kui taliteravilju, rapsi, liblikõielisi põllukultuure (hernest, uba) kui ka liblikõielisi heintaimi ning liblikõieliste-kõrreliste segusid (Tabel 2).

Tabel 2. Uuritud alade maakasutus alates eelmisest proovide võtmise ringist (aastatel 2014-2022)

Ala nimetus	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ilmatsalu	suviraps	taliniisu	tritrikale	mais	suvinisu	suvioder	lutsern	lutsern	lutsern
Kiislimõisa	taliniisu	suvioder	taliniisu	hernes	suvioder	taliraps	taliniisu	põlduba	taliniisu
Abeli	libl-kõrrel segu	taliraps	mais	mais	suvioder ak.	suvinisu	lutsern	lutsern	lutsern
Metstaguse	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	taliraps	suvioder	taliniisu	taliniisu	taliraps
Võhandu	kaer	taliniisu	kaer	talirüps	taliniisu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	talitritrikale
Sakala	suvioder	taliraps	taliniisu	taliniisu	põldhernes	taliniisu	taliraps	taliniisu	suvioder
Sakala 1	taliraps	taliniisu	taliniisu	suvioder	põldhernes	taliniisu	taliniisu	roosa ristik	roosa ristik
Sakala 3	suvinisu	põlduba	suviraps	suvinisu	põlduba	suvinisu	põlduba	suvinisu	taliniisu
Adavere	suvioder	suvioder	taliraps	suvinisu	lutsern	lutsern	lutsern	suvioder	taliraps
Laiuse	taliniisu	suvinisu ak.	suvioder	suviraps	suvinisu	suvinisu	suvioder ak.	taliraps	taliniisu
Laiuse 2	suvioder	suvioder	taliraps	taliniisu	suvioder	suvioder	taliraps	taliniisu	suvioder
Avispea	suvioder	põldhernes	suvioder	taliniisu	suvioder	põldhernes	taliniisu	taliraps	taliniisu
Tagakaasiku mahe	kaer	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	kaer	kaer	speltanisu	tatar	kaer	libl-kõrrel segu
Tagakaasiku	taliniisu	suvioder	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu
Tuuleveski	taliraps	taliniisu	suvioder	taliniisu	pun ristik	pun ristik	libl-kõrrel segu	libl-kõrrel segu	taliraps

Uuritud aladest heintaimederohked külvikorrad olid Abeli, Metstaguse, Sakala 1, Adavere, Tuuleveski, Võhandu, Tagakaasiku mahe, Tagakaasiku, Ilmatsalu aladel. Enamasti kasvatati mitmel järjestikusel aastal liblikõieliste-kõrreliste segu, aga ka lutserni ning punast ja roosat ristikut. Otsest seost külvikorras olevate liblikõieliste heintaimede ja lasuvustiheduse vähenemise vahel ei leitud kuigi osadel mainitud aladel on lasuvustihedus järjepidevalt vähenenud.

Võiks arvata, et raps sügavajurelise kultuurina leevendab muldade tihenemist, kuid Teagasci teadlane Dermot Forristal selgitab, et kuna raps ei talu hästi tallatud muldi (eriti kasvu alguses), siis võib tihenened muldades antud kultuuri kasv pidurduda ja saak jääda madalamaks (Halleron, 2022).

Taliraps (paaris kohas ka suviraps ja korra talirüps) esines uuritud aladel külvikorras kaks korda vaadeldud perioodil kuuel alal ning ühe korra vaadeldud perioodil samuti 6 uuritava alal. Kahjuks ei ole andmeid kui palju muldade tallatus mõjutas kultuuride kasvu ja arengut ning saaki. Sellised uuringud tootjate põldudel annaksid Eesti muldade ja nende tihenemise mõju kohta kultuuride kasvule vajalikku infot.

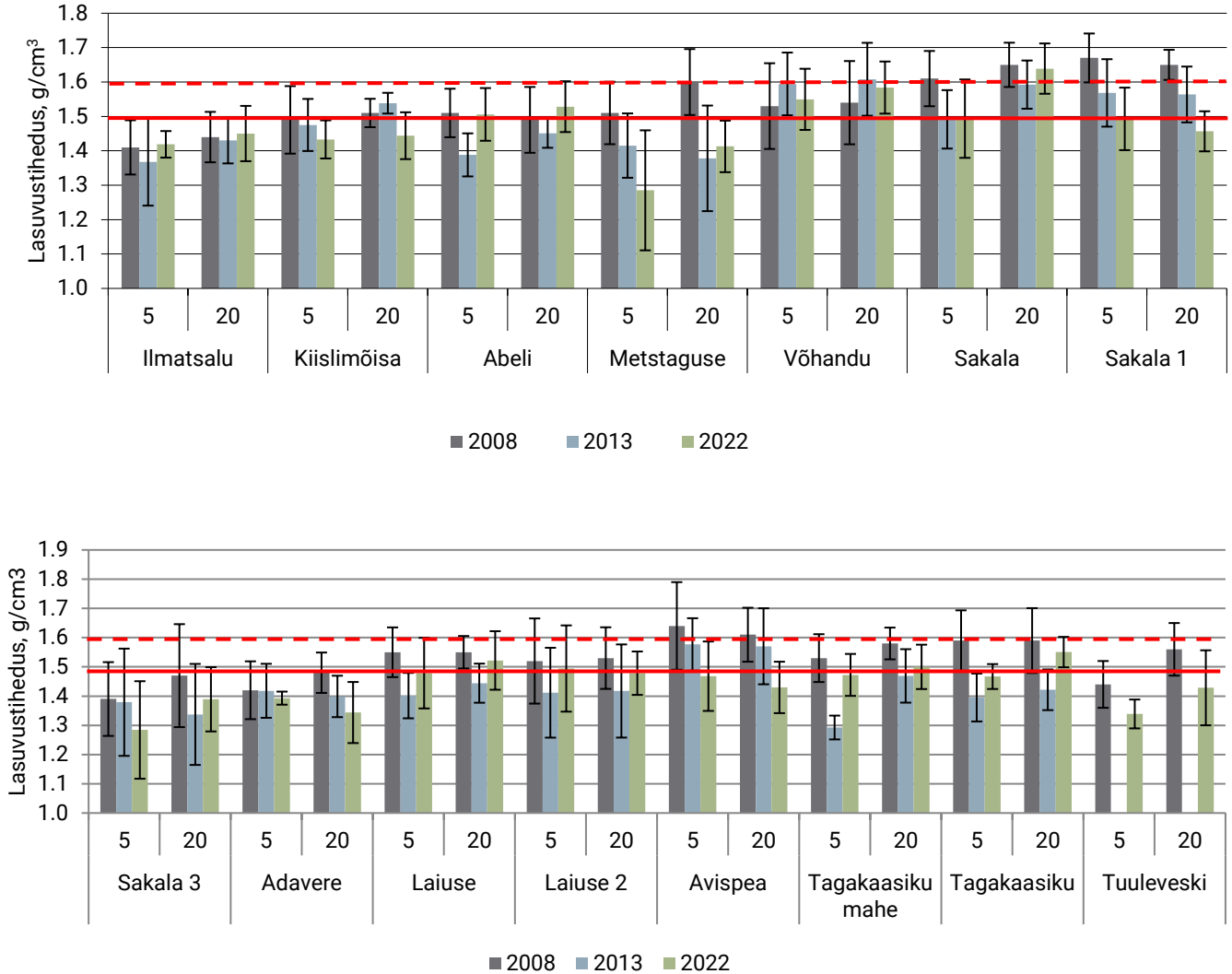
### Lasuvustihedus

---

Muldade tihenemine mõjutab oluliselt muldade füüsikalisi omadusi nagu lasuvustihedust, õhustatust, läbilaskvust ja läbitavust, samuti mulla vee- ja õhurežiimi (Panayiotopoulos *et al.*, 1994). Masinate tallamise tõttu tihenenud mullakiht, mis takistab taimejuurte mulda tungimist ja kasvu on põllumajanduses üks levinumaid probleeme. Lisaks sellele, et tihenemine takistab juurte kasvu, takistab liigsuur lasuvustihedus vee liikumist ja jaotumist mullaprofiilis, suurendab erosiooniriski ning takistab vee ja toitainete kättesaadavust taimedele (Rahman *et al.*, 2015). See kõik suurendab ka keskkonnariske, sest kultuurtaimede poolt kasutamata jäänud toitained võivad leostumise või erosiooni tõttu sattuda vette.

Käesolevas aruandes on kasutatud lisaks 2022. aasta tulemustele ka varasematel seireringidel kogutud andmeid, et anda ülevaade pikemaajaliselt toimunud muutustest põllumuldades seoses muldade tihenemisega. Muutuste välja toomiseks on kasutatud ka juba varasemates aruannetes toodud tabelleid lasuvustiheduse ja mullapoorsuse hindamiseks (Reintam *et al.*, 2009). [Joonis 2](#) on pideva punase joonega tähistatud kriitiline lasuvustihedus mullale (1,35-1,50 g/cm<sup>3</sup>) kergetel lõimistel (saviliiv ja kerge liivsavi). Eelkriitiline lasuvustihedus taimedele (joonisel katkendliku punase joonena) samadel lõimistel on 1,55-1,60 g/cm<sup>3</sup> ja kriitiline lasuvustihedus taimede kasvuks 1,65-1,70 g/cm<sup>3</sup>.

Uurimisalade tulemusi analüüsidest võib öelda, et lasuvustihedus on proovivõtmise ringidel näidanud kohati kõikuvaid tulemusi. Näiteks Laiuse ja Laiuse 2 aladel olid lasuvustiheduse näitajad seire algaastal kõrgemad, siis järgmisel prooviringil madalamad ja siis toimus jälle väike tõus. Samas statistiliselt ei saa neid muutusi usutavateks lugeda, sest selle näitaja varieeruvus proovides oli küllaltki suur. Enamikul aladel on siiski näha, et lasuvustihedus on aastatega vähenenud või jäänud samaks (paaril üksikul juhul pisut tõusnud), mis näitab et muldade seisund selle näitaja osas on paranenud ja jääb valdavalt alla taimede kasvuks eelkriitilise piiri (punane katkendlik joon) ning sageli ka alla mullale kriitilise lasuvustiheduse piiri ([Joonis 2](#)).



Joonis 2. Uuritavate alade lasuvustihedused ( $\pm$  standardhälve) kahel sügavusel (5 ja 20 cm) kolmel erineval uurimisringil aastatel 2008, 2013 ja 2022. Punase pideva joonega on tähistatud mulla kriitiline lasuvustihedus (1,35-1,50 g/cm<sup>3</sup>) ja katkendliku joonega eelkriitiline lasuvustihedus (1,55-1,60 g/cm<sup>3</sup>) taimedele

Kui vaadata lasuvustihedusi kõikidel seireringidel mõlemal sügavusel, siis alla mulla kriitilise lasuvustiheduse piiri jäävad Ilmatsalu, Sakala 3 ja Adavere alade mullad. Võrreldes 2008. a algtasemega on toimunud mõningad muutused (enamasti vähenemine), mille tulemusena nende muldade seisund on veelgi paranenud.

Teistest uuritud aladest võib välja tuua, et lasuvustihedus on võrreldes algaastaga 2008 märkimisväärselt langenud Metstaguse ja Avispea aladel ja seda mõlemal uuritud sügavusel (samas on tulemuste varieeruvus nii suur, et seda vähenemist ei saa statistiliselt usutavaks lugeda).

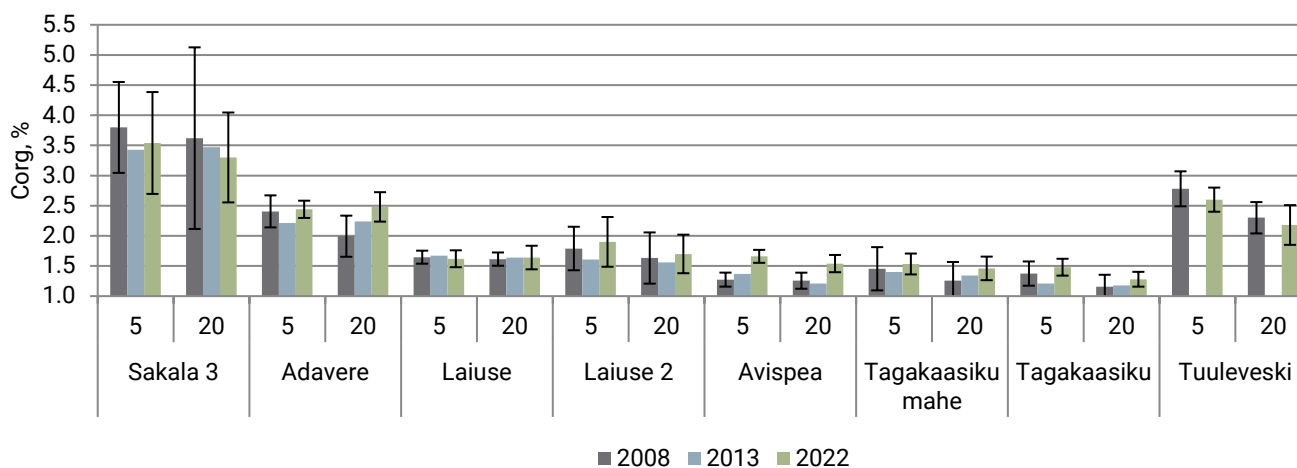
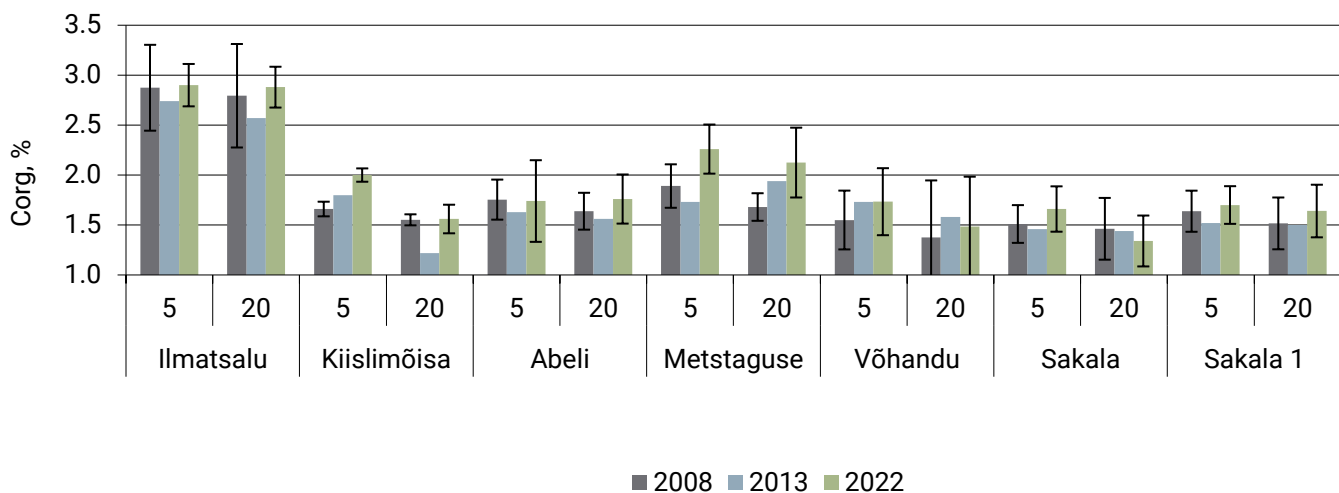
Võrreldes algaastaga on lasuvustihedus vähenenud ka Kiislimõisa ja Sakala 1 alal mõlemas sügavuses ning Sakala pindmises kihis. Stabiilne olek või väike tõus on toimunud Abeli ja Võhandu aladel, kus vahepealsel perioodil oli lasuvustiheduse näitaja ka pisut kõrgem ja Sakala ala alumises kihis. Võhandu ja Sakala alumine kiht ületasid mõlemad mulla kriitilise piiri lasuvust ja Sakala alumine kiht ka taimedele eelkriitilist piiri ehk et neid muldi võib lugeda tihenenuks.

Üldiselt võib öelda, et võrreldes esimese seireringiga on lasuvustihedus langenud 12 alal, ehk siis 80%-l uuritud aladest. Samas kuna tulemused on seireringiti varieeruvad, siis järjepidev langus on toimunud 40%-dil aladest ülemises kihis ja 20% aladest alumises kihis.

### Süsinikusisaldus

Orgaanilise süsiniku sisaldused on uurimisaladel käitunud erinevalt, kuid üldpilt on hea, sest 2022. aastaks oli paljudel aladel Corg sisaldused tõusnud või jäänud samale tasemele võrreldes eelnevate seireringidega. Eriti võib välja tuua Avispea ala, kus mulla Corg sisaldus on võrdlemisi madal kuid näitab järjepidevat tõusutrendi, samuti on tõusnud ka Kiislimõisa ja Metstaguse alade Corg sisaldused (Joonis 3). Üldistatult võib öelda, et ülemises kihis on orgaanilise süsiniku sisaldus tõusnud võrreldes seire algaastaga 67%-l uurimisaladest ning mõlemas kihis 53%-l aladest.

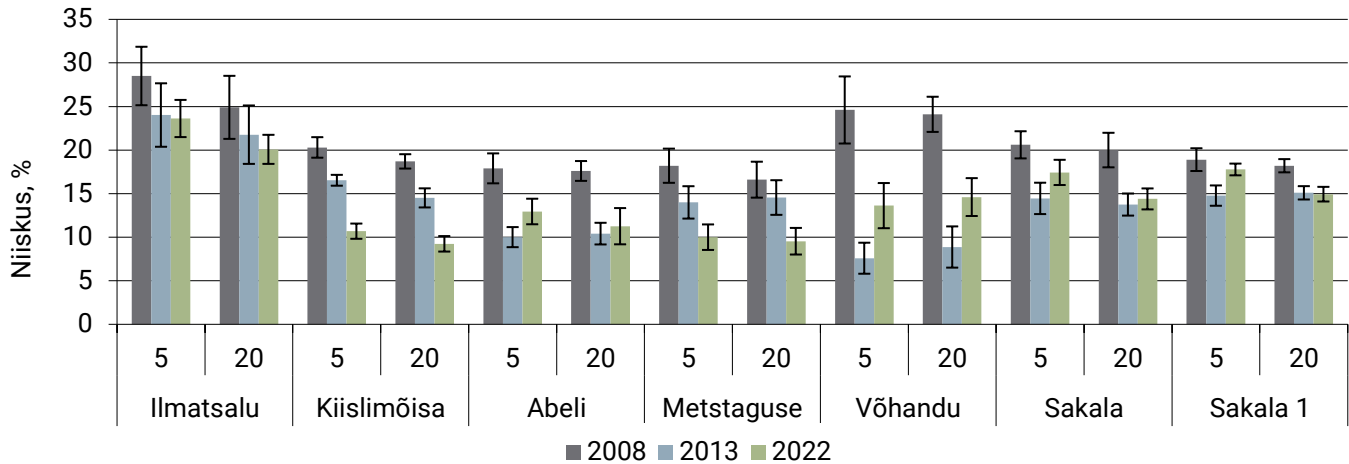
Mõningane Corg langus on toimunud Sakala 3 alal just alumises kihis aga ka Laiuse alal ja Sakala uurimisala alumises kihis.



Joonis 3. Uuritud alade muldade orgaanilise süsiniku keskmised sisaldused ( $\pm$  standardhälve) kahel sügavusel (5 ja 20 cm) aastatel 2008, 2013 ja 2022

## Mullaniiskus

Muldade niiskus mõjutab oluliselt tallamisega kaasnevat muldade tihenemist, sest märjal mullal on tallamise mõju oluliselt suurem kui kuival mullal. 2022. aasta suvi oli võrdlemisi sademetevaene, seda eriti just juunis ja augustis, mille sademete kogus oli väiksem kui 60% normist. Mulla niiskusesisaldus sõltub kahtlemata ka proovi võtmise ajast ja sademete hulgast antud uurimisaigas, aga võrreldes 2013. aasta kuiva suvega oli 2022. aastal võetud proovide niiskusesisaldus oluliselt väiksem näiteks Kiislimõisa, Metstaguse, Avispea aga ka Sakala 3 ja Laiuse 2 aladel (Joonis 4).



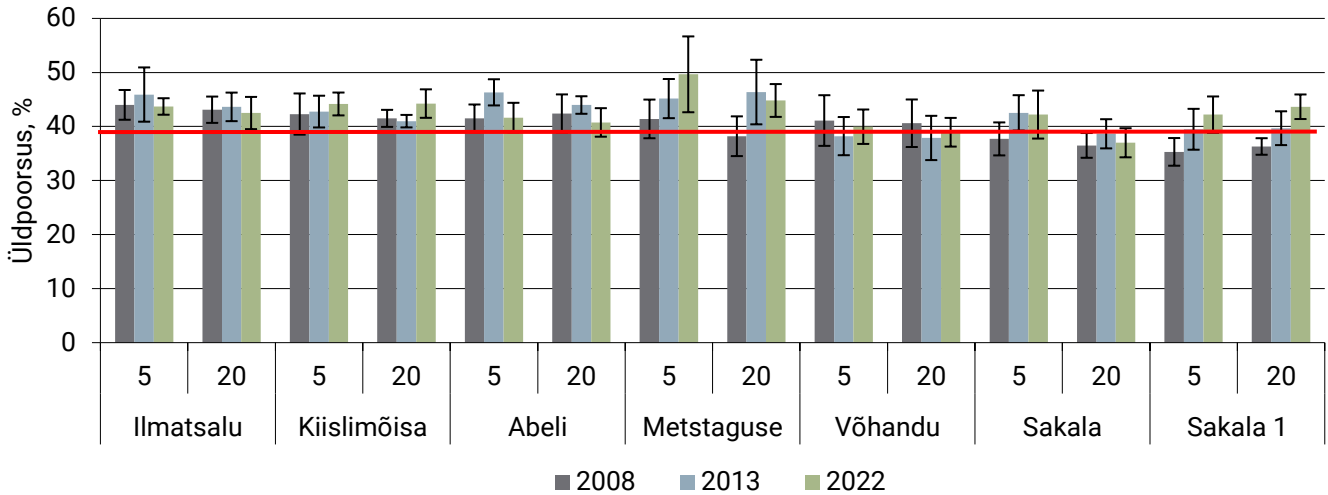
Joonis 4. Mulla kaaluline niiskusesisaldus ( $\pm$  standardhälve) uuritud aladel kahes sügavuses (5 ja 20 cm) erinevatel proovivõtmise ringidel (2008, 2013 ja 2022 aastal)

## Muldade poorsus

Muldade üldpoorsus on seotud lasuvustiheduse ja orgaanilise süsiniku sisaldusega, ehk kui lasuvustihedus väheneb ja süsiniku sisaldus suureneb, siis üldine poorsus kasvab samuti.

Uuritud muldades on üldpoorsus järjepidevalt tõusnud Metstaguse ülemises kihis, Sakala ala mõlemas sügavuses, samuti Avispeal ja Sakala 3 ülemises kihis. Üldpoorsus on kõikuv olnud Tagakaasiku, Laiuse 2 ja Laiuse aladel. Langenud on üldpoorsus Abeli ja veidi ka Ilmatsalu alal. 2022. aastal oli üldpoorsus kriitilise piiri lähedal Sakala ja Võhandu alade alumises kihis (Joonis 5).

Uuritud muldade üldpoorsus on seiringidel olnud varieeruv ja vahepealsel võtmise aastal (2013 a.) näidanud osadel aladel kõrgemaid tulemusi, kuid ka siin on näha tendentsi, et võrreldes võtmise alg-aastaga (2008 a.) on enamikul aladel üldine poorsus suurenenud. Üldpoorsus on mõlemas uuritud kihis suurenenud 73% uurimisaastast võrreldes seire algusaastaga.

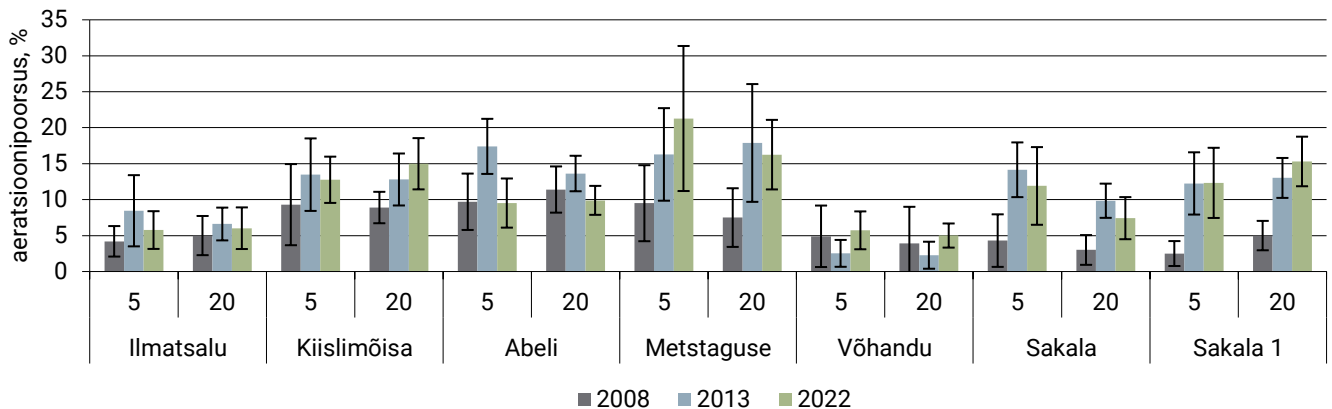


Joonis 5. Muldade üldpoorsus ( $\pm$  standardhälve) uuritud alade kahel sügavusel (5 ja 20 cm) proovivõtmise aastatel 2008, 2013 ja 2022. Punase joonega on tähistatud üldpoorsuse kriitiline piir.

Poorsuse näitajate puhul on oluline tähele panna ka õhuga täidetud pooride hulka ehk aeratsioonipoorsust. Heaks mulla õhustatuseks võiks lugeda õhuga pooride sisaldust üle 10% (Reintam *et al.*, 2009).

Vaadeldes aeratsioonipoorsust uurimisaladel võib näha, et vahepealsel võtmise perioodil (2013 a) oli paljudel aladel aeratsioonipoorsus kõrgem kui varasemal ja hilisemal võtmise perioodil. Samas on näha, et võrreldes proovivõtmise algusega 2008. aastal on siiski ka 2022. a proovides aeratsioonipoorsus tõusnud peaaegu kõikidel aladel (14 alal ehk 93% il aladest) kuigi statistiliselt usutavaid tulemusi on võrdlemisi vähe.

Aeratsioonipoorsus on järjepidevalt tõusnud uurimisaladel Sakala 1 ja Avispea mõlemas kihis; Metstaguse ja Sakala 3 ülemises kihis ning Kiislimõisa alumises kihis (Joonis 6). Aeratsioonipoorsus oli algselt (esimesel seireringil) võrdlemisi madal Ilmatsalu, Võhandu Sakala, Sakala 1, Laiuse mõlemas uuritud kihis ning Tagakaasiku ülemises ja Adavere alumises kihis jäädes 5% piiresse või isegi alla selle. Aastaks 2022 oli õhuga täidetud pooride osakaal üsna madal (osakaal on pisut tõusnud kuid tõus on väga väike) Ilmatsalu ja Võhandu aladel ja need mullad võib lugeda halvasti õhustatuks, samas teistel mainitud uurimisaladel on aeratsioonipoorsuse tõus olnud oluliselt suurem ja nende muldade seisukord selle näitaja osas on oluliselt paranenud.



Joonis 6. Uuritud alade aeratsioonipoorsus ( $\pm$  standardhälve) kahel erineval sügavusel (5 ja 20 cm) proovivõtuaastatel 2008, 2013 ja 2022.

## Toitainete sisaldus

---

Toitainete kättesaadavus taimedele väheneb tallatud muldades oluliselt. Nii on kindlaks tehtud, et lämmastiku omastamine Lõuna-Eestis tugevasti tallatud näivleeturunud mullal vähenes suvinisul 30% ja odral 40%. Samuti vähenes kaltsiumi ja kaaliumi omastamine tallatud alal võrreldes tallamata alaga (Kuht *et al.*, 2004). Seega lämmastikväetiste andmine neil muldadel on ebaefektiivne kuna taimed ei omasta väetise lämmastikku ja võivad tekkida N kaod keskkonda. Samas võib teiste toitainete lisamine mulla toitainete vaeguse korral olla efektiivne. Näiteks uuringud Wisconsinis on näidanud, et kaaliumi lisamine tallatud mulda on suurendanud lutserni saaki, samuti on saadud häid tulemusi Mg-väetiste lisamisega tallatud mulda (Minnesota Crop News, 2019). Samas on oht, et kui taim ei saa tallatud mullast toitaineid kätte, siis need leostuvad, lenduvad või uhutakse näiteks erosiooniga ära.

Selleks, et uurida taimetoitainete sisaldust seirealade muldades määrati 2022. aastal ka pH, P, K, Mg ja Ca sisaldused mõlemas uuritavas sügavuses. Tulemustest võib välja tuua, et Tagakaasiku alal on happeline muld (pH 4,9), samuti on madalad Ca ja Mg sisaldus (Tabel 3). Magneesiumi on üllatavalt vähe ka Sakala 1 mullas, kus pH on aluseline ja Ca sisaldus väga kõrge. Happelised mullad madala Ca ja Mg sisaldusega on ka Kiislimõisas ja Abeli alal.

Uuritud toitainetest madala P sisaldusega on Võhandu uurimisala muld, kus vastava väetise tarve on suur. Teistel aladel on P ja K sisaldused enamasti üle keskmise ja väetise tarve väike, nii et toitainete puudus ei tohiks takistada taimede kasvu ja arengut. Samas oleks vajalik kompleksne uuring tootjate põldudel, kuhu lisaks muldade tihenemise näitajatele oleks kaasatud ka saagikuse ja saagi kvaliteedi näitajad, et selgitada kuidas muldade tihenemine mõjutab toitainete omastamist ja saagi formeerumist.

Tabel 3. Uuritud alade toitainete sisaldus kahel sügavusel (5 ja 20 cm) 2022. seireaastal

Asukoht	Sügavus cm	pH	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg
Ilmatsalu	5	5,8	170	117	1294	156
	20	5,5	174	124	1307	132
Kiislimõisa	5	5,2	120	134	826	60
	20	5,4	118	136	906	69
Abeli	5	5,0	112	112	750	51
	20	5,3	106	78	850	50
Metstaguse	5	5,9	261	147	1495	105
	20	5,1	298	92	961	84
Võhandu	5	5,6	36	137	1762	133
	20	5,6	44	99	1928	126
Sakala	5	6,1	189	242	1511	99
	20	5,6	161	201	1312	67
Sakala 1	5	7,4	83	161	6698	59
	20	7,5	51	98	6677	43
Sakala 3	5	6,3	157	212	1872	112
	20	6,2	125	150	1647	91
Adavere	5	6,3	139	171	1726	114
	20	5,7	160	164	1236	89
Laiuse	5	6,0	240	191	1498	132
	20	6,0	253	160	1510	116
Laiuse 2	5	6,4	149	139	2191	214
	20	7,0	174	192	2803	277
Avispea	5	7,4	138	116	4778	239
	20	7,4	88	88	4495	216
Tagakaasiku mahe	5	6,8	157	121	2959	331
	20	6,8	106	75	2933	256
Tagakaasiku	5	4,9	161	110	817	48
	20	4,8	155	88	841	53
Tuuleveski	5	7,1	112	135	3451	305
	20	7,1	108	123	3515	288

## Järeldused

- Muldade tihenemise uurimine aktiivses põllumajanduslikus kasutuses olevatel maadel on kestnud juba 15 aastat ja sellel ajal on toimunud 3 mullaproovide kogumise ringi (aastatel 2008, 2013 ja 2022).
- Uurimisperioodil võis täheldada mullaproovide süsiniku sisalduse tõusu ja lasuvustiheduse vähenemist, seega muldade seisund üldiselt paranes. Analüüsitud näitajate kohta võib välja tuua, et võrreldes esimese seireringiga (aastal 2008) on lasuvustihedus langenud 12 alal, ehk siis 80%-dil uuritud aladest. Orgaanilise süsiniku sisaldus ülemises kihis on tõusnud võrreldes seire algaastaga 67%-dil uurimisaladest ning mõlemas kihis 53%-dil aladest. Üldpoorsus on mõlemas uuritud kihis suurenenud 73%-dil uurimisaladest võrreldes proovivõtmise algusega 2008. aastal, samas on aeratsioonipoorsus tõusnud peaaegu kõikidel aladel (14 alal ehk 93%-il aladest).
- Analüüsitud näitajad varieerusid sageli võrdlemisi suurtes piirides ning seetõttu on statistiliselt usutavaid tulemusi raske välja tuua. Varieeruvus oli ka proovivõtmise ringidel, ehk siis vahepealsel ringil olid osadel aladel tulemused paremad kui sellele järgneval ringil. Samas sõltuvad tulemused ka mullaproovi võtmise ajast ja ilmastikunäitajatest, sest sademed, temperatuurid, kasvatatavad kultuurid, mullaharimine, mullaliik ja lõimimine – kõik need mõjutavad ka muldade tihenemist ja muid sellega seotud mullaomadusi.
- Uurimisaladel kasutatud külvikorrad olid enamasti mitmekesised sisaldades nii teravilju, õlikultuure kui ka liblikõielisi põllukultuure ja heintaimi. Samas otsesest seost kasvatatud kultuuride ja mullaseisundi muutuse vahel ei tuvastatud.
- Muldade tihenemise seire võiks jätkuda vähemalt samas mahus kuid täienduseks oleks hea saada ülevaade ka mullaharimise viisidest ja saakidest. Võimalikud uurimisteemad võiksid käsitleda kasvatatavate kultuuride produktiivsust ning kuidas see sõltub muldade tihenemisest ja mullaomaduste muutustest. Samuti kuidas võimalikud kliimamuutused (näiteks kuivemad suved või soojemad talved) mõjutavad muldade tihenemist Eestis.