

# METIK

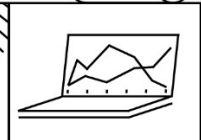
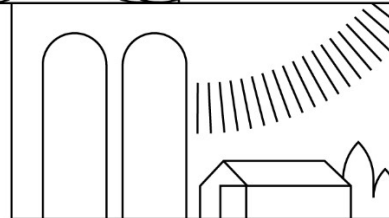
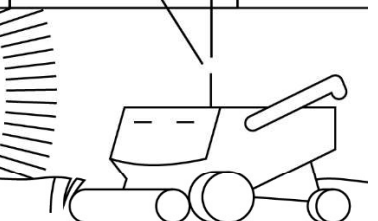
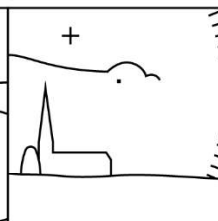
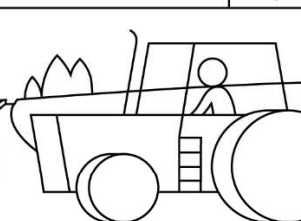
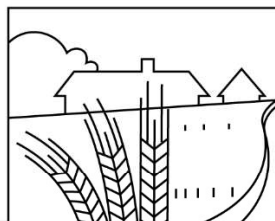
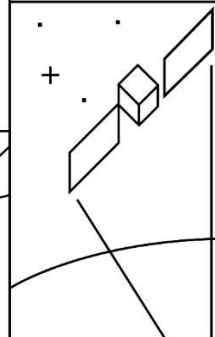
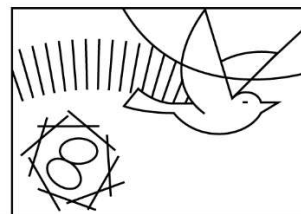
Maaelu  
Teadmuskeskus

## Põllumuldade seire 2002-2022

Riikliku keskkonnaseire mullaseire  
allprogrammi koondanalüüs



1011001  
0101101  
1011001



2023

Koondanalüüs on valminud Keskkonnaagentuuri tellimusel.

Aruande koostajad:

Priit Penu – METK põllumajandusuuringute mullastiku valdkonna juhataja, MSc

Elsa Putku – METK põllumajandusuuringute mullastiku valdkonna peaspetsialist, PhD

Aruandele tuleks viidata järgnevalt:

Penu, P., Putku, E. 2023. Põllumuldade seire 2002-2022. Riikliku keskkonnaseire mullaseire allprogrammi koondanalüüs. Maaelu Teadmuskeskus.

## Sisukord

Sisukord.....	3
Jooniste loetelu .....	3
Tabelite loetelu.....	4
Sissejuhatus.....	6
Metoodika .....	7
Mullaproovide kogumine välitöödel .....	11
Laboratoorsed analüüsid .....	12
Statistiline analüüs.....	13
Seirealade huumustrasside mullaomadused 2002-2022 .....	15
Mullareaktsioon (pH <sub>KCl</sub> ).....	15
Taimetoiteelementide sisaldused .....	17
Üldfüüsikalised omadused .....	27
Huumushorisoni tusedus (Ahor).....	29
Orgaanilise süsiniku sisaldus ja varu .....	30
Taimetoiteelementide vertikaalne liikumine mullaprofiilis Aravete alal.....	33
Raskmetallide sisaldus erinevatel muldadel.....	37
Taimekaitsevahendite jääkide sisaldus muldades.....	39
Põllumuldade ja nende muldade metsaanaloogide võrdlus .....	42
Kokkuvõte ja järeldused .....	46
Kasutatud kirjanduse loetelu.....	48

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Riikliku keskkonnaseire allprogrammi mullaseire püsivaatlusalad ja metsaanaloogid 2002-2022 a.....	7
Joonis 2. Mullareaktsiooni sõltuvalt lähtekivimi keemisest erinevatel seireringidel. Rombid tähistavad aritmeetilist keskmist. ....	15
Joonis 3. Põllumuldade happesus (pH) ja happeliste muldade osakaal 2011-2020 maakondades. ....	16
Joonis 4. Põllumuldade keskmine happesus (pH) Eesti valdades 2016-2020 ja happeliste muldade osatähtsuse muutus võrreldes perioodiga 2011-2015. ....	17
Joonis 5. Liikuva fosfori keskmine sisaldus (mg/kg) Mehlich III meetodil (P-M3) 21 püsivaatlusalal erinevatel seireringidel sõltuvalt lähtekivimist. ....	18
Joonis 6. Fosfori sisalduse muutus Eesti põllumuldades 2011-2020 ja muutus eelmise perioodiga. ....	19
Joonis 7. Optimaalse fosfori sisaldusega põllumuldade osatähtsus valdades perioodil 2016-2020 ja muutus võrreldes eelmise perioodiga. ....	20
Joonis 8. Liikuva kaaliumi sisaldus (mediaan, mg/kg) Mehlich III meetodil (K-M3) 21 püsivaatlusalal erinevatel seireringidel. ....	21
Joonis 9. Kaaliumi sisalduse muutus Eesti põllumuldades 2011-2020. ....	21
Joonis 10. Optimaalse kaaliumi sisaldusega põllumuldade osatähtsus valdades perioodil 2016-2020 ning muutus võrreldes eelmise perioodiga. ....	22
Joonis 11. Kaltsiumisisaldus (mg/kg) sõltuvalt mulla lähtekivimist ja mullareaktsioonist püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel. Must horisontaalne joon tähistab taimedele optimaalset Ca sisaldust (1500 mg/kg). ....	23
Joonis 12. Magneesiumisisaldus (mediaan, mg/kg) püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel. Must horisontaalne joon tähistab taimedele optimaalset magneesiumisisaldust (100 mg/kg). ....	23
Joonis 13. Liikuva kaltsiumi ja magneesiumi suhe püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel. Joonte vahele jääb optimaalne Ca:Mg suhe ehk 15-20. ....	24
Joonis 14. Liikuva vase (Cu) sisaldus (mediaan, mg/kg) püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel ja lähtekivimitel. ....	24

Joonis 15. Mangaanisisaldus (mg/kg) erinevatel seireringidel ja verežiimiga muldadel. Rombid tähistavad aritmeetilist keskmist. ....	25
Joonis 16. Mangaanisisaldus (mg/kg) erinevatel seireringidel sõltuvalt mulla reaktsioonist. Joonte vahele jääb taimedele keskmine ehk optimaalne mangaanisisalduse klass. ....	26
Joonis 17. Boorisaldus (mg/kg) erinevatel seireringidel sõltuvalt mullareaktsioonist. Joonte vahele jääb taimedele keskmine ehk optimaalne boorisalduse klassi. ....	26
Joonis 18. Boorisaldus (mediaan, mg/kg) erinevatel seireringidel sõltuvalt mulla lähtekivimist. ....	27
Joonis 19. Püsivaatlusalade lasuvustihedus ( $D_m$ , g/cm <sup>3</sup> ) erinevates sügavustes ja seireringidel. Karp-vurrud diagrammil on jämeda musta joonega näidatud mediaan (Me) ja rombiga aritmeetiline keskmine (Avg). ....	28
Joonis 20. Püsivaatlusalade aeratsioonipoorsus (mediaan, %) erinevatel sügavustel ja seireringidel. ....	29
Joonis 21. Huumushorisoni tusedus erinevatel seireringidel. ....	30
Joonis 22. Orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg, %) Dumas meetodil sõltuvalt verežiimist erinevatel seireringidel. ....	31
Joonis 23. Orgaanilise süsiniku varu püsivaatlusaladel sõltuvalt valitsevast verežiimist ning seireringist. ....	32
Joonis 24. Väevli ja mineraalse lämmastiku keskmine sisaldus Aravete seireala mulla erineval sügavusel ja ajahetkel perioodil 2020-2022. ....	33
Joonis 25. Mineraalse lämmastiku kogused kg/ha ja muutus erinevates mullakihtides Adavere alade keskmisena 2011-2022 ja Tartu alade keskmisena 2017-2022 perioodil. ....	34
Joonis 26. Fosfori ja kaaliumi keskmine sisaldus Aravete seireala mulla erineval sügavusel ja perioodil 2020-2022. ....	35
Joonis 27. Liikva fosfori kogused kg/ha ja muutus erinevates mullakihtides Adavere alade keskmisena 2011-2022 ja Tartu alade keskmisena 2017-2022 perioodil. ....	35
Joonis 28. Ca ja Mg keskmine sisaldus Aravete seireala mulla erineval sügavusel, perioodil 2020-2022. ....	36
Joonis 29. Mulla pH keskmine sisaldus Aravete seireala erineval sügavusel ja ajahetkel perioodil 2020-2022. ....	36
Joonis 30. Raskmetallide Hg ja Cd sisaldus muldades erinevatel perioodidel ning analoogmuldadel. ....	37
Joonis 31. Raskmetallide Cu, Ni ja Pb sisaldus muldades erinevatel perioodidel ning analoogmuldadel. ....	38
Joonis 32. Raskmetallide Cr, Zn ja raskmetallide summaarne sisaldus muldades erinevatel perioodidel ning analoogmuldadel. ....	38
Joonis 33. Seireteevõtete keskmisena pritsitud pind põllumajandusmaast, kasutatud toimeainet pritsitud pinnale ja põllumajandusmaale ning trend perioodil 2007-2020. ....	39
Joonis 34. Eestis turustatud taimekaitsevahendite ja herbitsiidide toimeaine kogus ja trend perioodil 2011-2020. ....	40
Joonis 35. Keskmine TKV toimeainete jääkide (2015-2022) ja jälgede (2015-2021) arv proovides ja jäägita proovide arv perioodil 2015-2022. Sulgudes on esitatud erinevate uuringute raames kokku kogutud proovide arv. ....	40
Joonis 36. TKV toimeainete liikide osakaal perioodil 2015-2022. Sulgudes on esitatud erinevate uuringute raames kokku kogutud proovide arv. ....	41
Joonis 37. Keskmine TKV toimeainete jääkide summaarne sisaldus (mg/kg) ja keskmine TKV toimeainete jääkide arv (tk) püsivaatlusaladel. ....	41
Joonis 38. TKV toimeainete liikide ja nende metaboliitide osakaal seireringidel. ....	42
Joonis 39. Põllu ja metsaanaloogide orgaanilise süsiniku (Corg, %) sisalduse histogrammid. ....	43
Joonis 40. Põllu ja metsaanaloogide liikva P ja K sisaldused (mg/kg). Väikesed täpid in mõõtmisandmed. ....	44
Joonis 41. Põllu ja metsaanaloogide Ca ja Mg sisaldused (mg/kg). Väikesed täpid on mõõtmisandmed erineval lähtekivimil. ....	45
Joonis 42. Põllu ja metsaanaloogide Cu ja Mn sisaldused (mg/kg). ....	45

## Tabelite loetelu

Tabel 1. Riikliku mullaseire püsivaatlusalad, Keskkonnaregistri (KKR) kood, seiretüüp, lähtekivim ja seireringide aastad. .	9
Tabel 2. Seirealade kolmanda ja neljanda seireiringi taimetootelementide sisaldused, orgaaniliste väetiste kasutamine, lupjamine ja külvikord. ....	10
Tabel 3. NPK toiteelementide kasutamine ja bilanss perioodil 2015-2021 taluvärava bilansi uuringu andmetel. ....	11

Tabel 4. Riiklikus mullaseires määratud näitajad ja analüüsimeetodite standardid. ....	13
Tabel 5. LUCASe mullaseire Corg sisalduse (%) proovide arv (N), aritmeetiline keskmine ja mediaan erinevatel veerežiimidel 2009-2018. ....	31
Tabel 6. Leostumine dreniveega erinevatel perioodidel toetustüüpide lõikes.....	34

## Sissejuhatus

---

Põllumuldade seire eesmärgiks on erinevate mullaparameetrite (bioloogiliste, füüsikaliste, agrokeemiliste, keemiliste) muutuste pikaajaline jälgimine. Kuivõrd enamuse mullaomadusi muutub väga aeglaselt ja pikaajalise perioodi jooksul, siis baseerub põllumuldade seire osaliselt 80-ndatel aastatel rajatud põllumuldade seirealadel, mis võimaldab hinnata mullaomaduste pikaajalisi muutusi. Käesoleva koondanalüüsi eesmärgiks oli koostada aastatel 2002–2022 riikliku keskkonnaseire mullaseire allprogrammi raames kogutud andmete statistiline koondanalüüs, et hinnata seiratud põllumuldade agrokeemilist ja keskkonnakaitselist seisundit ning suundumusi. Üksikute alade muutusi hinnatakse eraldi aastaaruannetes, kuid üldistav analüüs teostatakse käesolevas töös. Oluline osa on põhjus-tagajärg seoste välja toomisel, et analüüsida põllumuldade olukorda, muutusi, põhjuseid ning muutuste võimalikku mõju laiemalt.

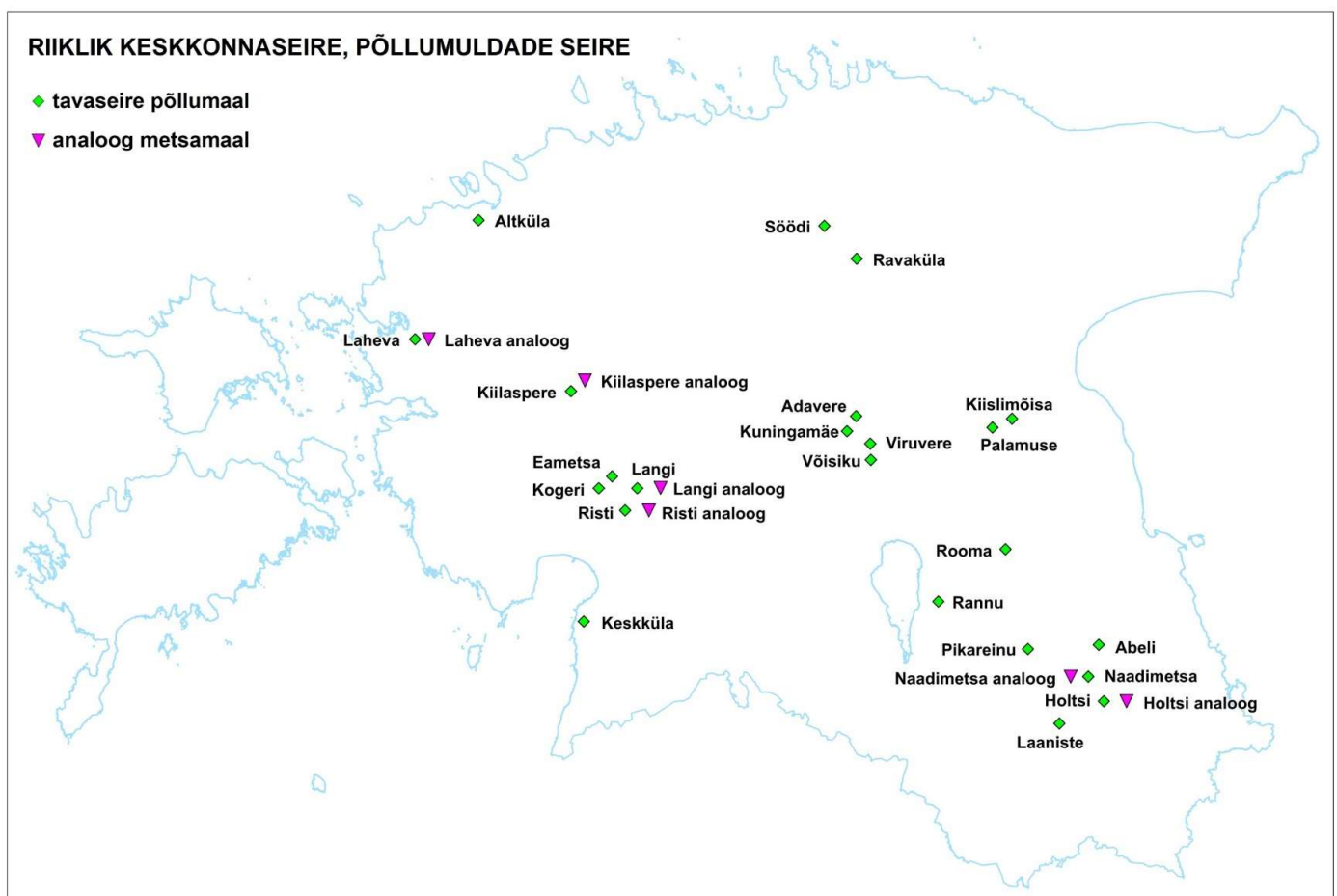
Riikliku põllumuldade seire raames on aastatel 2002-2022 uuritud kokku 30 püsivaatlusalat, millel teostati 5-aastase rotatsiooniga kordusmõõtmisi. 24 alal on 2022. aastaks tehtud 4 seireringi, kuid koondaruandes analüüsime 21 ala mullaomaduste muutuseid (põhjused vt meetodikas).

Töö raames teostati seiretulemuste statistiline analüüs, mille alusel juhitakse tähelepanu erinevate mullaparameetrite olulisematele/usaldusväärsetele muutustele põllumuldades. Hinnatakse muldade agrokeemilist ja keskkonnakaitselist seisundit ja prognoositakse muutusi. Selgitatakse, kuidas on valitud näitajad olulised muldade agrokeemilise ja keskkonnakaitselise seisundi hindamiseks. Tuginedes ekspertteadmisele ja kättesaadavale avaldatud infole analüüsitakse muutuste võimalikke põhjuseid ning seoseid inimtekkeliste tegurite ning erineva agrotehnoloogia rakendamisel.

## Metoodika

Riikliku põllumuldade seire raames on aastatel 2002-2022 uuritud kokku 30 püsivaatlusalat, millel teostati 5-aastase rotatsiooniga kordusmõõtmisi. 24 alal on 2022. aastaks tehtud 4 seireringi (Tabel 1; Joonis 1), kuid koondaruandes analüüsime 21 ala mulla omaduste muutuseid. Pikareinu ja Altküla seirealad ei ole kaasatud koondanalüüsi, kuna tegu on vastavalt erosiooniala ja deflatsiooni uurimise põldudega. Muutustest Pikareinu mulla omadustele saab pikemalt lugeda Mullaseire 2020. aasta aruandes (PMK, 2021) ja Altküla kohta mullaseire 2022. a aruandes (PMK, 2023). Ka Rannu ala jäi koondanalüüsist välja, sest põllule veetud jõesete on moonutanud tegelikke mullaprotsesse, ala analüüs on leitav Mullaseire 2022 a aruandest (PMK, 2023).

Alates 2020. aastast tehakse seiret ka nn. metsaanaloogidel ehk looduslikel muldadel, et selgitada põllumajandusliku tegevusega aastate jooksul toimunud muutusi mullaomadustele. 2022. a seisuga on metsaanaloogid rajatud Risti, Langi, Laheva, Holtsi, Kiilaspere ja Naadimetsa püsivaatlusalade lähedale (Joonis 1).



Joonis 1. Riikliku keskkonnaseire allprogrammi mullaseire püsivaatlusalad ja metsaanaloogid 2002-2022 a

Kõik püsivaatlusalad paiknevad erineva maakasutusega tootmispõldudel, mistõttu on riikliku põllumuldade seire püsivaatlusalad mõjutatud tootjate otsustest ühelt poolt ja teisalt peegeldavadki seega reaalselt põldudel toimuvaid protsesse. Püsivaatlusalad erinevad nii mullastiku, lähtekivimi iseloomu, veerežiimi, kuivendusseisundi ja maakasutuse poolest. Enamikul analüüsitud 21 alast kasvatatakse põllukultuure ning ühel alal on toimunud üleminek püsirohumaaks (kas osaliselt või täielikult kogu huumuskaevete trasside osas) või vastupidi püsirohumaast põllumaaks. Arvestades, et nii lühikese ajaga ei teki mullaomadustes suuri muutuseid, ei eristatud nende alade ülalmainitud huumuskaevet statistilisel analüüsil, kuid pikema perioodi jooksul edaspidi on võimalik selgitada erineva maakasutuse mõju muldade omadustele.

Koondanalüüsil grupeeriti seirealad teatud mullaparameetrite lõikes, et selgitada erinevate omadustega muldades toimuvaid muutuseid. Üldiselt grupeeritakse mullad geneetilis-litoloogilise skaala järgi sarnaste mullatüüpide alusel, kuid valimi vähesuse tõttu ei olnud selline grupeerimine õigustatud - võrreldavad grupid oleksid statistilise valimi mõttes liiga väikesed. Seega peaks tegelikult olema korrektse statistilise analüüsi tegemiseks seirealade valim oluliselt suurem. Seetõttu kasutati grupeerimiseks peamiselt lähtekivimi reaktsiooni iseloomu (näitab mullatekkestingimusi laiemas mõttes) ja kuivenduse olemasolu (näitab veerežiimi ja selle reguleerimist). Koondanalüüsi kaasatud 21 püsivaatlusalast 13 on ala kuivendatud ning 8 ala kuivendamata. Lähtekivimi reaktsiooni alusel on 9 püsivaatlusala mullad kujunenud mittekarbonaatsel lähtekivimil ning 12 ala mullad karbonaatsel lähtekivimil.



Tabel 1. Riikliku mullaseire püsivaatlusalad, Keskkonnaregistri (KKR) kood, seiretüüp, lähtekivim ja seireringide aastad

Seireala	KKR kood	tüüp	Lähtekivim	Kuivendus	Seirering				
					1	2	3	4	5
Abeli	SJA5290000	P <sup>1</sup>	mittekarbonaatne	ei	2002	2008	2013	2018	
Adavere	SJA1064000	P	karbonaatne	ei	2003	2008	2013	2018	
Altküla (E <sup>2</sup> )	SJA5177000	P			2008	2012	2017	2022	
Eametsa	SJA1856000	P	karbonaatne	jah	2004	2009	2014	2020	
Holtsi	SJA8132000	P	mittekarbonaatne	jah	2005	2010	2015	2021	
Keskküla	SJA8935000	PR	mittekarbonaatne	jah	2003	2008	2013	2018	
Kiilaspere	SJA3970000	PR/P	karbonaatne	jah	2007	2012	2017	2022	
Kiislimõisa	SJA9459000	P	mittekarbonaatne	ei	2005	2010	2015	2021	
Kogeri	SJA8203000	P	karbonaatne	jah	2004	2009	2014	2020	
Kuningamäe	SJA2580000	P	karbonaatne	jah	2005	2011	2015	2021	
Laaniste	SJA2005000	P	mittekarbonaatne	jah	2005	2010	2016	2021	
Laheva	SJA0414000	P	karbonaatne	ei	2006	2011	2016	2021	
Langi	SJA1186000	P	karbonaatne	jah	2003	2008	2013	2018	2020
Naadimetsa	SJA0477000	P	mittekarbonaatne	jah	2002	2007	2012	2017	2022
Palamuse	SJA1204000	P	mittekarbonaatne	ei	2003	2008	2013	2018	
Pikareinu (E)	SJA6125000	PR			2004	2009	2014	2020	
Rannu	SJA1515000	P	mittekarbonaatne	ei	2004	2009	2015	2021	
Ravaküla	SJA5700000	P	karbonaatne	ei	2006	2011	2016	2022	
Risti	SJA3519000	P	karbonaatne	jah	2006	2011	2016	2020	
Rooma	SJA3734000	P	mittekarbonaatne	jah	2002	2008	2013	2018	
Rõhu	SJA2319000	P	mittekarbonaatne	jah	2006	2011	2016	2021	
Söödi	SJA6654000	P	karbonaatne	ei	2004	2009	2014	2020	
Viruvere	SJA8686000	P	karbonaatne	ei	2003	2008	2013	2018	
Võisiku	SJA9940000	PR <sup>3</sup> /P	karbonaatne	jah	2007	2012	2017	2022	

<sup>1</sup> – P ehk põld; <sup>2</sup> – E ehk erosiooniala; <sup>3</sup> – PR ehk püsirohumaa

Lisaks mulla lähtekivimile, kuivendamisele ja maakasutusele on põllumuldade seisundi hindamisel oluline arvestada ka nende majandamist. Erinevused põldude tasandil on nii väetamises (Tabel 2), taimekaitsetöodes, agrotehnoloogias kui ka

kasvatatud kultuurides. Väetisi kasutati neljandal seireringil 19 alal ning nendel aladel kasutatud keskmine lämmastiku (N), fosfori (P) ja kaaliumi (K) toiteelementide norm oli 100-14-54 kg/ha/a. Seega võrreldes kolmanda seireringiga väga suuri muutusi väetamises ei ole toimunud (kolmanda seireringi keskmine oli 102-17-60 kg/ha/a). Küll on vähemaks jäänud orgaaniliste väetiste kasutamine, kolmandal seireringil kasutati orgaanilisi väetiseid 15 alal, kuid neljandal seireringil 9 alal. Levinuim orgaaniline väetis on piimalehma vedelsõnnik. Keskmine orgaaniliste väetistega antud toiteelementide N-P-K kogus neljandal seireringi 9 alal oli 53-14-56 kg/ha/a ja mineraalväetistega 74-8-27 kg/ha/a (19 ala).

Tabel 2. Seirealade kolmanda ja neljanda seireiringi taimetoiteelementide sisaldused, orgaaniliste väetiste kasutamine, lupjamine ja külvikord

Ala	seirering	N-P-K, kg/ha/a	org. väetis	lupjamine	1a.	2a.	3a.	4a.	5a.	6a.
Abeli	SR3	119-13-59	jah		T*	T	T	PH	PH	
	SR4	184-30-125	jah		PH	T	T	T	T	
Adavere	SR3	167-28-84	jah		T	LR	LR	LR	T	
	SR4	117-25-83	jah		T	T	T	T	LÕ	
Altküla	SR3	123-59-138	ei		MK	K/T	K/T	K/T	K/T	
	SR4	54-21-123	ei		K	K	LÕ	LÕ	K	
Eametsa	SR3	32-15-15	ei		-	-	LR	T	T	
	SR4	109-12-26	ei		T	T	T	T	T	
Holtsi	SR3	176-20-66	jah		T	T	T	PH	PH	
	SR4	72-10-48	jah	jah	PH	T	-	-	T	T
Kesk küla	SR3	131-32-174	jah		PH/T	T	PH/T	PH	PH	
	SR4	0-0-0	karjatamine		PR	PR	PR	PR	PR	
Kiilaspere	SR3	0-0-0	karjatamine		LR	LR	LR	LR	T/PR	
	SR4	0-0-0	karjatamine		PR	PR	PR	PR	LR/T	
Kiislimõisa	SR3	135-14-50	ei		T	T	T	T	T	
	SR4	100-12-32	ei		T	LÕ	T	T	T	LÕ
Kogeri	SR3	95-23-93	jah		T	T	T	T	T	
	SR4	111-13-48	jah		LR	LR	LR	LR	MK	
Kuningamäe	SR3	73-15-59	jah		T	T	T	LR	LR	
	SR4	21-4-14	ei		LR	LR	T	T	LÕ	LÕ
Laaniste	SR3	187-26-113	jah		PH	PH	PH	T	T	
	SR4	114-10-51	jah	jah	T	-	-	-	LR	
Laheva	SR3	0-0-0	ei		LÕ	LÕ	LÕ	LÕ	T	
	SR4	0-0-0	ei		T	T	LÕ	LÕ	T	
Langi	SR3	99-9-53	jah		LÕ	T	T	T	T	
	SR4	96-13-57	ei		T	LÕ	T	T	T	
Naadimetsa	SR3	138-6-31	jah		-	-	PH	PH	T	
	SR4	135-21-98	jah		T	T	T	T	PH	
Palamuse	SR3	0-0-0	ei		PH	T	T	LÕ	LÕ	
	SR4	0-0-0	ei		T	T	LÕ	LÕ	LÕ	
Pikareinu	SR3	0-0-0	karjatamine		T	LÕ	LÕ	LÕ	LÕ	

	SR4	0-0-0	karjatamine		PR	PR	PR	PR	PR	
Rannu	SR3	92-10-46	ei		T	T	T	LÕ	T	
	SR4	118-19-37	ei		T	LÕ	LÕ	T	T	T
Ravaküla	SR3	117-14-54	jah		LR	LR	LR	T	T	
	SR4	52-15-34	ei		LR	LÕ	LÕ	T	T	
Risti	SR3	12-3-12	ei		T	T	LÕ	LÕ	LÕ	
	SR4	23-5-23	ei		T	T	T	LÕ		
Rooma	SR3	165-26-61	jah		T	T	T	T	T	
	SR4	186-22-57	jah		T	T	T	T	T	
Rõhu	SR3	113-8-39	jah		T	T	T	LR	T	
	SR4	156-8-38	ei		T	T	T	LÕ	T	
Söödi	SR3	87-7-36	jah		T	T	LR	LR	LR	
	SR4	118-13-55	jah		T	T	T	LÕ	LÕ	
Viruvere	SR3	84-15-47	jah		LR	LR	LR	T	T	
	SR4	123-25-70	jah		T	T	T	T	T	
Võisiku	SR3	33-8-14	ei		PR	T	T	LÕ	T	
	SR4	7-0-0	ei		LR	LR	LR	LR	T	

T – teravili, mais, raps; PH – põldhein; LR – lühiajaline rohuma; LÕ – liblikõieline kultuur (heintaim, hernes, uba); MK – mustkesa; K – kõõgivil; PR - püsirohuma

Võrreldes viimaste aastate Eesti keskmist väetamise taset Põllumajandusuuringute Keskuse (PMK) uuringu andmetel (Tabel 3) siis näeme, et seirealade keskmise NPK väetamise normid on kõikide elementide osas kõrgemad kui Eesti tootjatel keskmiselt. Kõige suurem vahe on K väetamises ja eeskätt peame seda arvestama seiretulemuste interpreteerimisel ja laiendamisel Eestile tervikuna ehk muldade agrokeemiline seisund seirealadel on parem kui Eestis keskmisena.

Tabel 3. NPK toiteelementide kasutamine ja bilanss perioodil 2015-2021 taluvärava bilansi uuringu andmetel (METKbil, 2023)

Aasta	N		P		K	
	sisend kg/ha	bilanss kg/ha	sisend kg/ha	bilanss kg/ha	sisend kg/ha	bilanss kg/ha
2015	88.7	33.4	9.6	-0.1	27.2	8.5
2016	88.1	38.8	9.2	0.8	27.5	10.8
2017	103.8	48.9	10.4	1.2	30.4	9.5
2018	92.4	44.6	10.8	2.6	30.0	11.8
2019	94.8	34.8	11.1	0.8	30.1	9.4
2020	96.6	34.7	12.4	1.8	31.9	11.0
2021	101.9	43.9	12.2	2.3	35.6	14.0

### Mullaproovide kogumine välitöödel

Mullaseire välitöid teostati üks kord aastas, augusti lõpus või septembri alguses ja sõltus peamiselt kasvatatavast kultuurist ja külvikorrast. Välitööde tegemise aeg on läbi aastate nihkunud varasemaks, sest agrotehnoloogia tõttu ei saa neid hiljem teha (taliviljade kasvatamine, vahekultuurid jne). Mullaseire raames kogutavate mullaproovide meetoodika on

Üldjoontes olnud sama kogu seireperioodi jooksul, erinedes vaid korduste arvu (sõltub finantseerimisest) ja mõningate detailide poolest.

Seire teostamisel rajatati eelnevalt igale põllule vaatlusväljak suurusega 60x180 m selliselt, et see iseloomustaks võimalikult terviklikult agroallrühma. Vaatlusväljakutele rajati huumustrass ja sügavkaev. Huumustrassi algus ja lõpp-punkt ning sügavkaeve asukoht positsioneeriti GPS-i abil ja seostati geograafiliste koordinaatidega. Seega on kogutud andmetest moodustunud põllumuldade seire GIS-andmebaas, mis kajastab nii seirepunktide ruumilist paiknemist kui ka laboratoorsete analüüside tulemusi.

Välitöödel koguti järgmised mullaproovid:

1. Sügavkaevete geneetiliste horisontide proovid;
2. Huumuskaevete proovid;
3. Lasuvustiheduse määramise proovid;
4. Raskmetallide ja taimekaitsevahendite jääkide määramiseks võetavad proovid.

**Sügavkaev** rajatakse aladele mullaliigi- ja erimi määramiseks ning mullatekkeprotsesside kirjeldamiseks huumushorisondist allpool. Tavaliselt tehakse igal seireringil üks sügavkaeve iga vaatlusala kohta, va spetsiifilised uurimisalad Altküla ja Pikareinu. Sügavkaeve rajatakse kuni 1 meetri või lähtekivimi sügavuseni ja paigutatakse huumustrasside vahetusse lähedusse. Proovide kogumist peale kaeve kirjeldamist alustatakse alati kõige alumisest horisondist ja liigutakse ülespoole. Proove kogutakse terve horisonni ulatuses noa, kühvli või lusikaga kaeve seinast. Sügavkaevete mullaprofiilid fotografeeritakse ja nende kirjeldamisel kasutatakse WRB (World Reference Base) muldade ning Eesti Põllumajandusprojekti kasutusel olnud muldade kirjeldamise meetodikate baasil loodud sügavkaevete kirjeldamise juhendit.

**Huumuskaev** paigutatakse uurimisalale sirge trassina, kaevetevaheline kaugus on sõltuvalt seirealast 10-20 meetrit. Kaeve sein laiuseks on 1,5-2 labida laiust ning kaeve ulatub huumushorisonnile järgneva geneetilise horisonnini. Proovid kogutakse kõigist neljast kaeve seinast kogu huumushorisonni tuseduse ulatuses ja ühildatakse koondprooviks. Teisel ja kolmandal seireringil tehti igale alale kaks huumustrassi, esimesel ja neljandal seireringil enamasti üks huumustrass.

**Lasuvustiheduse** proovid võeti ca 100 cm<sup>3</sup> terrasilindritega suunaga üleval alla, st sügavuse suunas. Proovide võtmisel tasandati muld silindris servani ning suleti hermeetiliselt koos silindriga tropsi edasisteks analüüsideks. Võetud proovidest määrati mulla mahuline niiskuse sisaldus proovivõtuhetkel, lasuvustihedus (kuiva mulla), üldine poorsus ning õhuga täidetud poorid pF1,8 juures (väliveemahutavuse juures). Proovid kogutakse iga huumuskaeve trassi teise ja eelviimase kaeve asukohast. Silindrid surutakse mulda kahes erinevas sügavuses (5 cm ja 20 cm), millest ülemine näitab haritava kihi lasuvustihedust ja alumine selle all oleva mullakihi lasuvustihedust. Kahe kihi mõõtmise eesmärgiks on selgitada aktiivse taimekasvu kihi iseloomu ja harimisest tingitud mullatihese olemasolu.

**Raskmetallide ja taimekaitsevahendite (TKV) jääkide** määramise proovid võetakse koondproovi meetodil. Proov kogutakse kühvli või mullapuuriga kuni 10 cm sügavuselt huumuskaevete trassi lähedusest 10-15 proovikohast 5-10 meetrise vahega. Koondproov kajastab seireala tervikuna. Peale proovi kogumist proov külmutatakse võimalikult kiiresti, et minimeerida taimekaitsevahendite jääkide edasist lagunemist.

### Laboratoorsed analüüsid

Mulla füüsikalise-keemiliste näitajate analüüsimisel järgitakse asjakohaseid EVS-EN/ISO standardeid või muid antud valdkonnas üldtunnustatud meetodeid, mis tagavad samaväärse teadusliku kvaliteedi ja andmete võrreldavuse (Tabel 4). Mullaseire raames teostatakse üldfüüsikalised analüüsid Eesti Maaülikooli mullafüüsika laboris, agrookeemia ja raskmetallide analüüsid METK agrookeemia laboris (varasemalt PMK agrookeemia labor), taimekaitsevahendite jäägid Riigi Laboriuuringute ja Riskihindamise Keskuses ja glüfosaadi ning AMPA jäägid Eesti Keskkonnauuringute Keskuse (EKUK) laboris.

Tabel 4. Riiklikus mullaseires määratud näitajad ja analüüsimeetodite standardid.

Näitaja	ühik	Standard/meetod
P, K, Ca, Mg, Cu, Mn	mg/kg	Mehlich III
B	mg/kg	Berger-Truog
Corg	%	ISO 10694 :1995 (elementanalüüs)
pH (KCl)		ISO 10390:1994
Taimkaitsevahendite jäägid	µg/kg KA; mg/kg	STJnrU93A; STJnrU63; STJnrU12D
Raskmetallid	mg/kg	PMK-JJ-2B
Lasuvustihedus	g/cm <sup>3</sup>	Silindrite meetod
Aeratsioonipoorsus	%	Õhuga täidetud poorid mullas väliveemahutavuse juures
Üldpoorsus	%	Üldpoorsus
Horisondi түsedus	cm	mõõtmise välitööl
Lõimis FAO järgi		Lõimis FAO järgi
Lõimis liiv	%	pipettmeetod
Lõimis savi	%	pipettmeetod
Lõimis tolm	%	pipettmeetod

### Statistiline analüüs

Seireperioodil (2002-2022 a.) on enamikel aladel jõutud teostada neli seireringi. Kahel alal, Naadimetsa ja Langi alal, on tehtud juba viis seireringi, kuid selle töö raames analüüsime ainult nelja seireringi tulemusi. Koondanalüüsi eesmärk on hinnata mullaomadustes toimunud muutuseid ning selgitada nende statistiline olulisus. Lisaks anda hinnang muldade seisundile, anda soovitusi põllumajanduses keskkonnasäästlikemate lahenduste kasutuseks (nt väetiste ja taimkaitsevahendite kasutus, raskmetallide sattumine mulda) ning analüüsida/prognoosida kliimamuutuste võimalikku mõju muldadele. Mullas toimuvad muutused väga pika aja jooksu ning kuigi 20 aastat ei ole väga pikk aeg võimaldab see siiski teha järeldusi. Seireperioodi muutuste hindamiseks analüüsitakse 21 ala tulemusi seireringide kaupa:

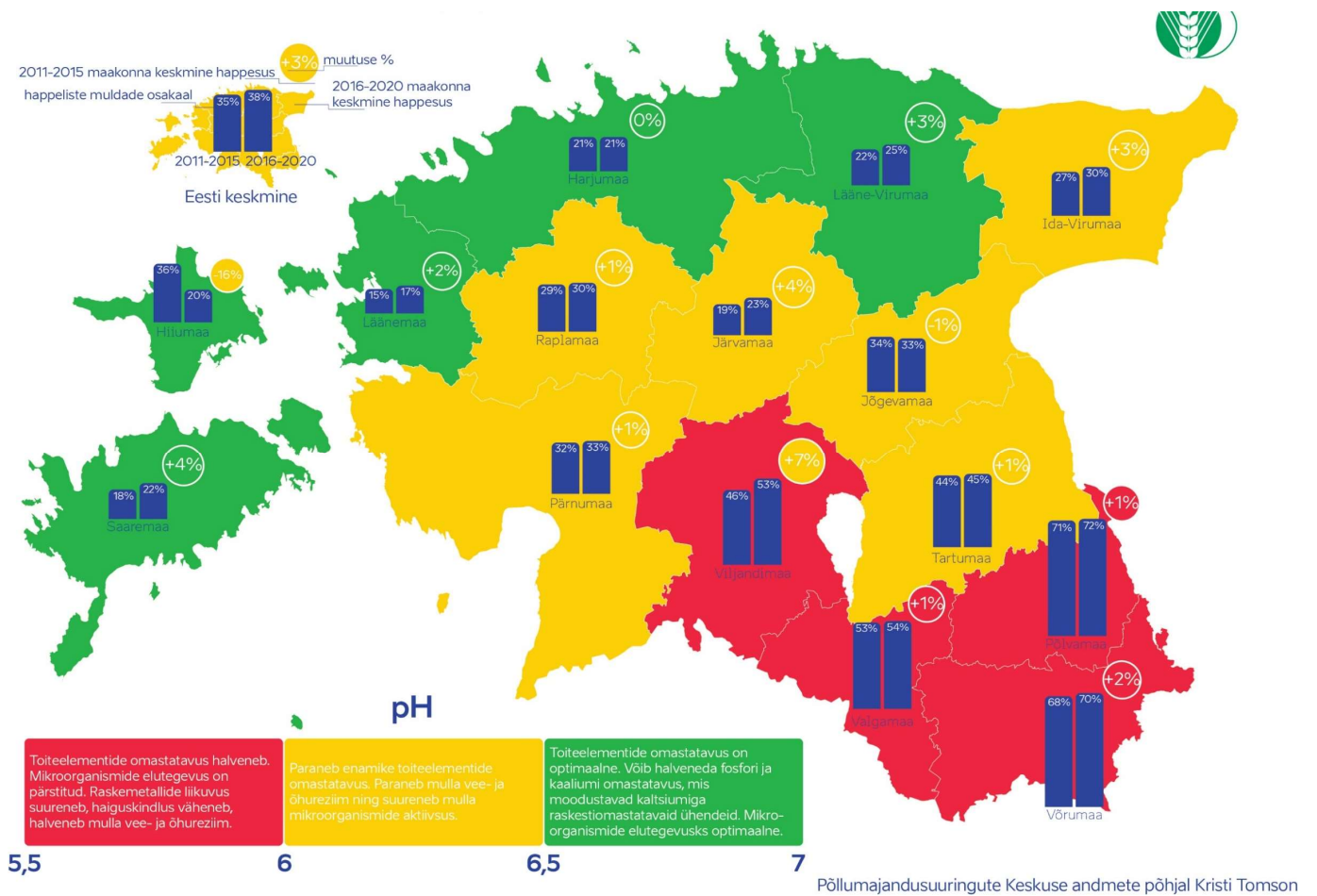
Andmete jaotumine seireringide kaupa:

- SR1 – esimene seirering (2002-2007), n=269
- SR2 – teine seirering (2007-2012), n=410
- SR3 – kolmas seirering (2012-2017), n=420
- SR4 – neljas seirering (2018-2022), n=220

Koondaruandes analüüsime mulla agrokeemilisi ja füüsikalisi omadusi läbi mediaanväärtuse. Mediaani kasutamine vähendab võimalust, et huumuskaevete proovides leiduvad erandid saavad määravaks muutuste kirjeldamisel. Muutuste hindamisel huumustrassidel kasutati lineaarset segamudelit, mille uuritav tunnus on logaritmitud (et hinnata mediaanväärtuste kaudu muutuseid). Segamudeli kasutamise peamiseks põhjuseks on andmestiku hierarhiline struktuur: ühe ala sees on üks või kaks huumustrassi, millel igaühel on 10 huumuskaevet. Veelgi enam, võime eeldada, et ühel alal kogutud proovid on märksa sarnasemad võrreldes teiselt alalt kogutud proovidega. Samuti võimaldab segamudel arvestada aastate mõju: ühel aastal mõõdetud tulemused võivad olla sarnasemad võrreldes järgmisel aastal mõõdetud tulemustega (nt. tulenevalt ilmastikust). Seega kasutati juhuslike faktoritena andmete kogumise skeemist tingitud faktoreid: seireala, transekt, huumuskaeve ja aasta mõju transektile ja alale. Segamudel on siiski üldiselt sarnane

regressioon- või dispersioonanalüüsile kui juhuslikud faktorid kõrvale jätta. Fikseeritud faktoritena kasutati seireringi, lähtekivimit, veerežiimi ja mõningal juhul ka kuivendusseisundit. Sõltuvalt uuritud mulla parameetrist võisid fikseeritud faktorid erineda, juhuslikud faktorid jäid reeglina samaks. Statistiliselt oluliste erinevuste välja selgitamiseks kasutati post-hoc testina Bonferroni ( $\alpha=0,05$ ). Statistiline analüüs tehti vabavaralises tarkvaras R (R Core Team, 2022), segamudeli jaoks kasutati paketti lme4 (Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015).

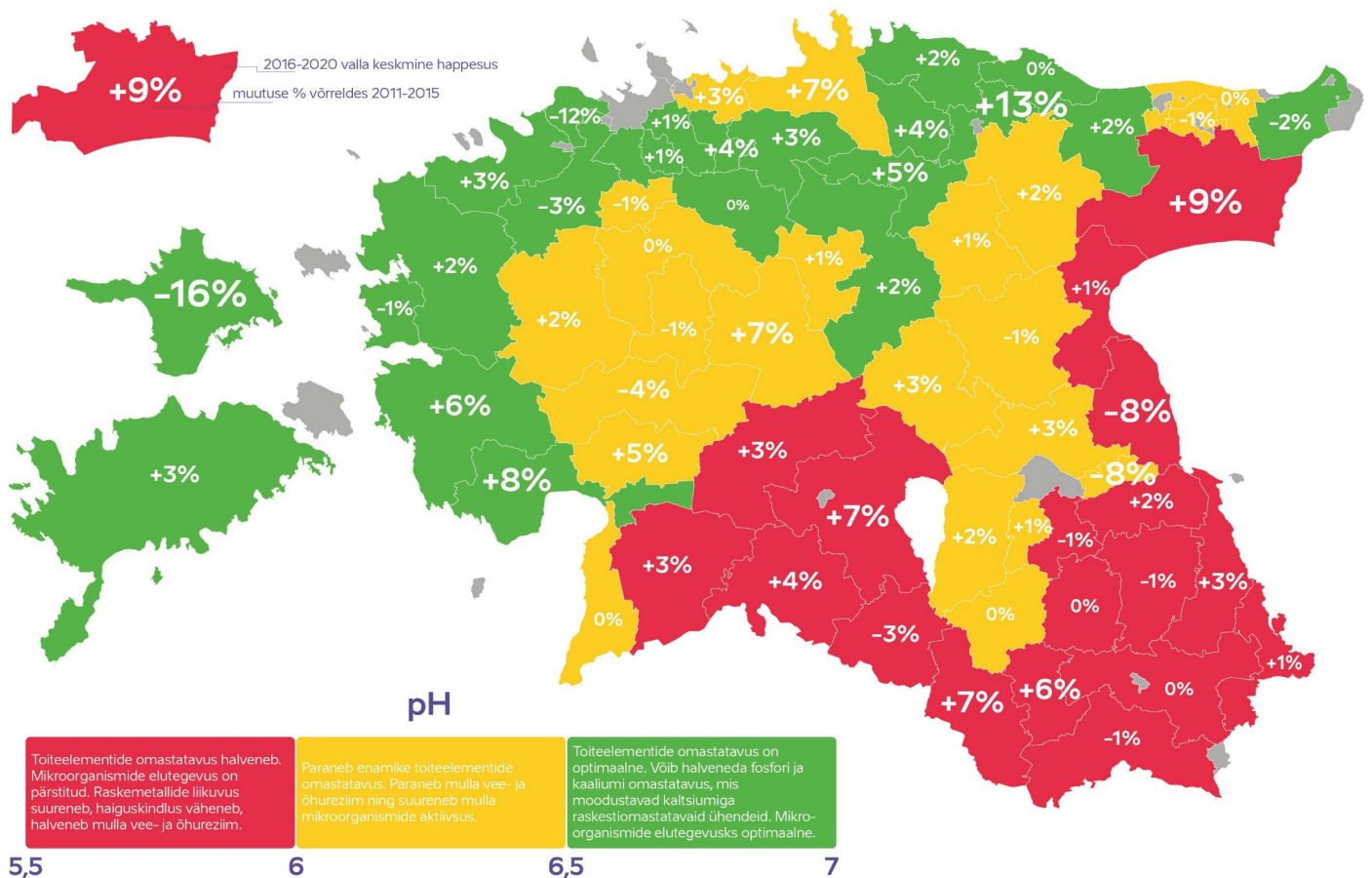




Joonis 3. Põllumuldade happesus (pH) ja happeliste muldade osakaal 2011-2020 maakondades

Veelgi detailsema ruumilise jaotuse järgi selgub, et ka mitmes vallas on kahe perioodi vahel suurenenud oluliselt happeliste muldade osatähtsus (Joonis 4) ja seda ka üldiselt karbonaatse lähtekivimiga piirkondades. Seega on küll happelised mullad enamlevinud Lõuna-Eestis, kuid hapestumise protsessid toimuvad üle terve Eesti ja neid peab mullaseires tähelepanelikult jälgima ja tootjad vastavalt reageerima.





Joonis 4. Põllumuldade keskmine happesus (pH) Eesti valdades 2016-2020 ja happeliste muldade osatähtsuse muutus võrreldes perioodiga 2011-2015

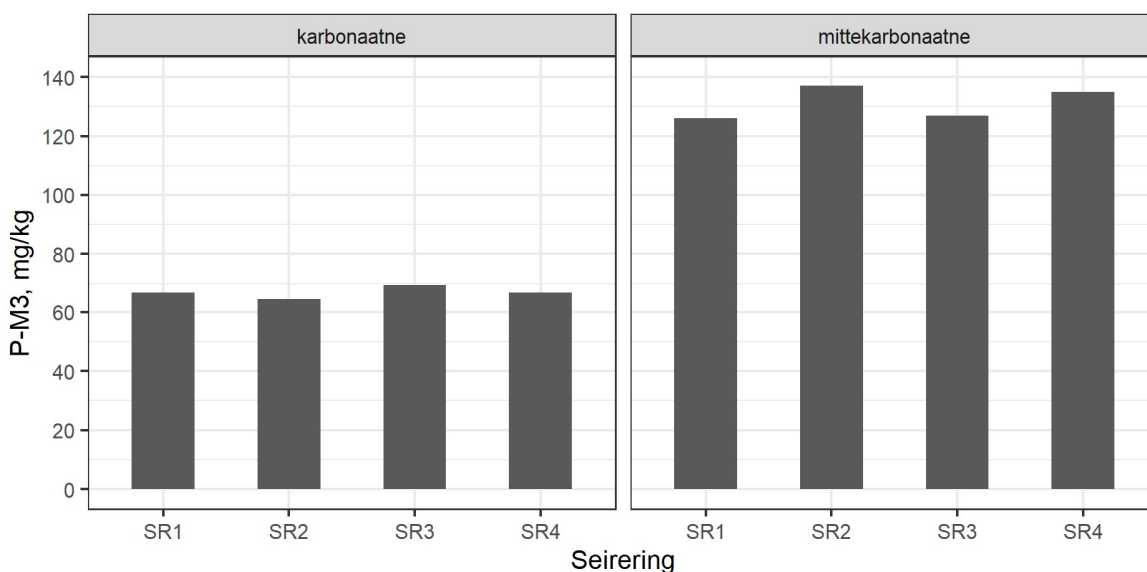
Happeliste muldade neutraliseerimine pole oluline mitte ainult taimede ja mikroorganismidele soodsa elukeskkonna loomiseks, vaid oluline ka keskkonna seisukohast. Nimelt happelises mullas on P omastamine taimedele raskendatud ja väetistega mulda lisatud P kumuleerub happelises mullas. Kui muldi lubjata väga harva, siis vabaneb lupjamisega suur kogus fosforit, mida taimed ei suuda kohe omastada ning seega võib osa leostuda ja tekitada keskkonnakoormust. Seega on perioodiliselt lupjamisel ka oluline keskkonnakaitseline aspekt. Lisaks toimub happelises mullas ka Al sisalduse tõus kuni isegi taimedele toksiliseks muutumiseni.

### Taimetoiteelementide sisaldused

Mulla liikuva P sisalduse, määratuna Mehlich III meetodil, hindamiseks kasutatakse P sisalduse gradatsioone, mis on välja töötatud Eesti tingimustes:

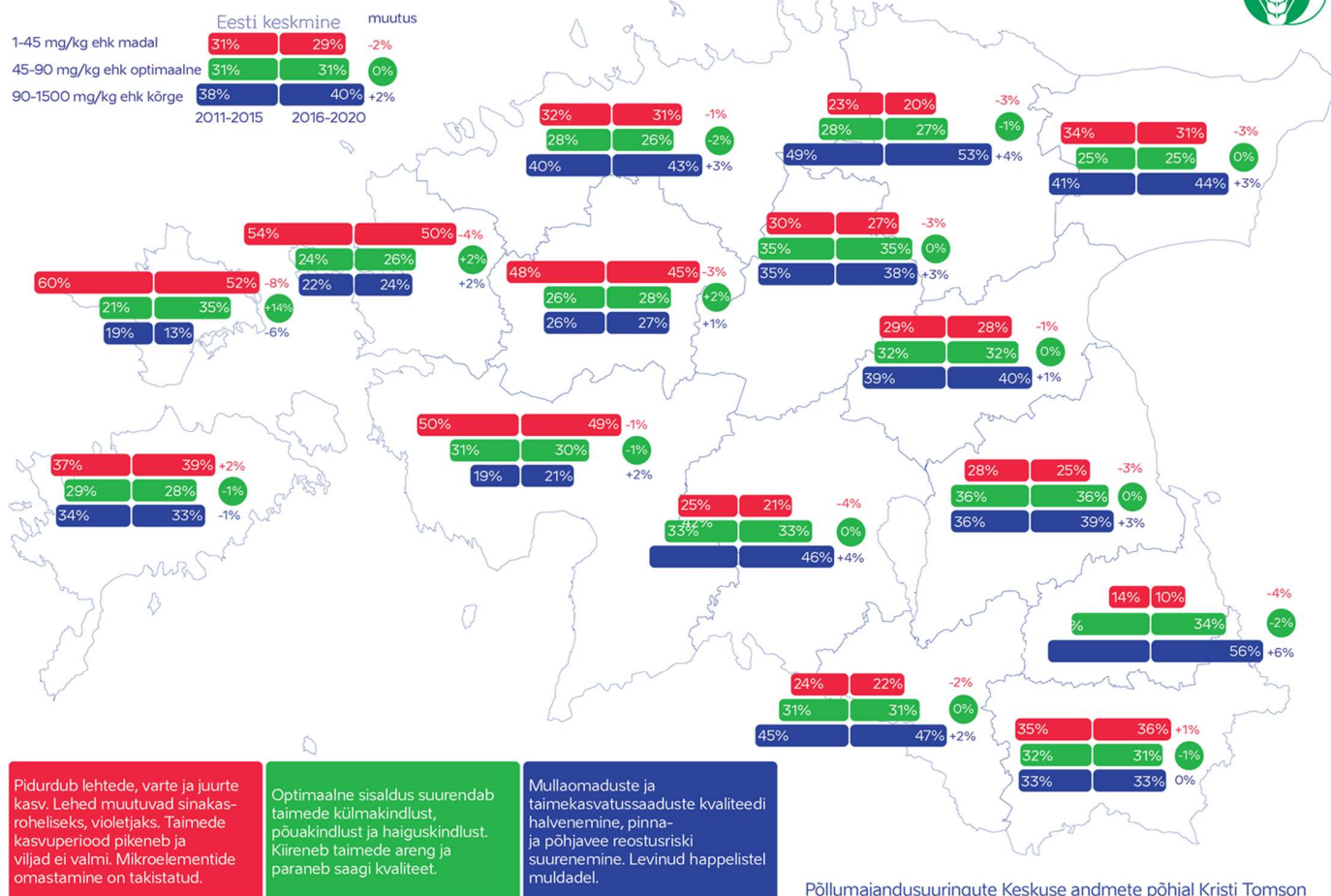
	P-M3
Väga väike	<20 mg/kg
Väike	20–45 mg/kg
Keskmine	46–90 mg/kg
Kõrge	91–145 mg/kg
Väga kõrge	>145 mg/kg

Mulla liikuva P sisaldus sõltub peale väetamise ka mulla lähtekivimi karbonaatsusest ja mulla pH-st (Penu, 2018). Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on statistiliselt oluliselt kõrgemad liikuva P sisaldused võrreldes karbonaatsel lähtekivimi muldadega (Joonis 5). Seiringide mediaanina on mulla liikuva P sisaldus karbonaatsel lähtekivimiga mullal 67 mg/kg (aritm. keskm. 74 mg/kg) ja mittekarbonaatsel 131 mg/kg (aritm. keskm. 146 mg/kg). Selline vahe on seletatav just sellega, et happelises mullas on P omastamine raskendatud ning ka nende muldade lähtekivimis on P sisaldus suurem. Praktikas tähendab selline tendents, et näiliselt fosforirikastel muldadel on siiski probleeme taimede P omastamisega ning selle parandamiseks tuleb muldi neutraliseerida lupjamise teel. Seega on karbonaatsel lähtekivimil paiknevad põllud keskmises ja mittekarbonaatsel lähtekivimil paiknevad põllud kõrges sisaldusklassis. Seiringide vahel statistiliselt olulisi muutuseid ei ole toimunud, kuigi karbonaatsel muldadel on P sisaldus veidi langenud ja mittekarbonaatsel natuke suurenenud. Keskkonna seisukohast on kõrge P sisaldusega muldadel potentsiaalne P leostumise oht ja seetõttu oleks nii ökoloogiliselt kui ökonoomiliselt vajalik, et muldade P sisaldus oleks keskmises sisaldusklassis. Sellest lähtuvalt on nii ökoloogiliselt kui ka ökonoomiliselt paremas seisundis karbonaatsel muldade P sisaldus.



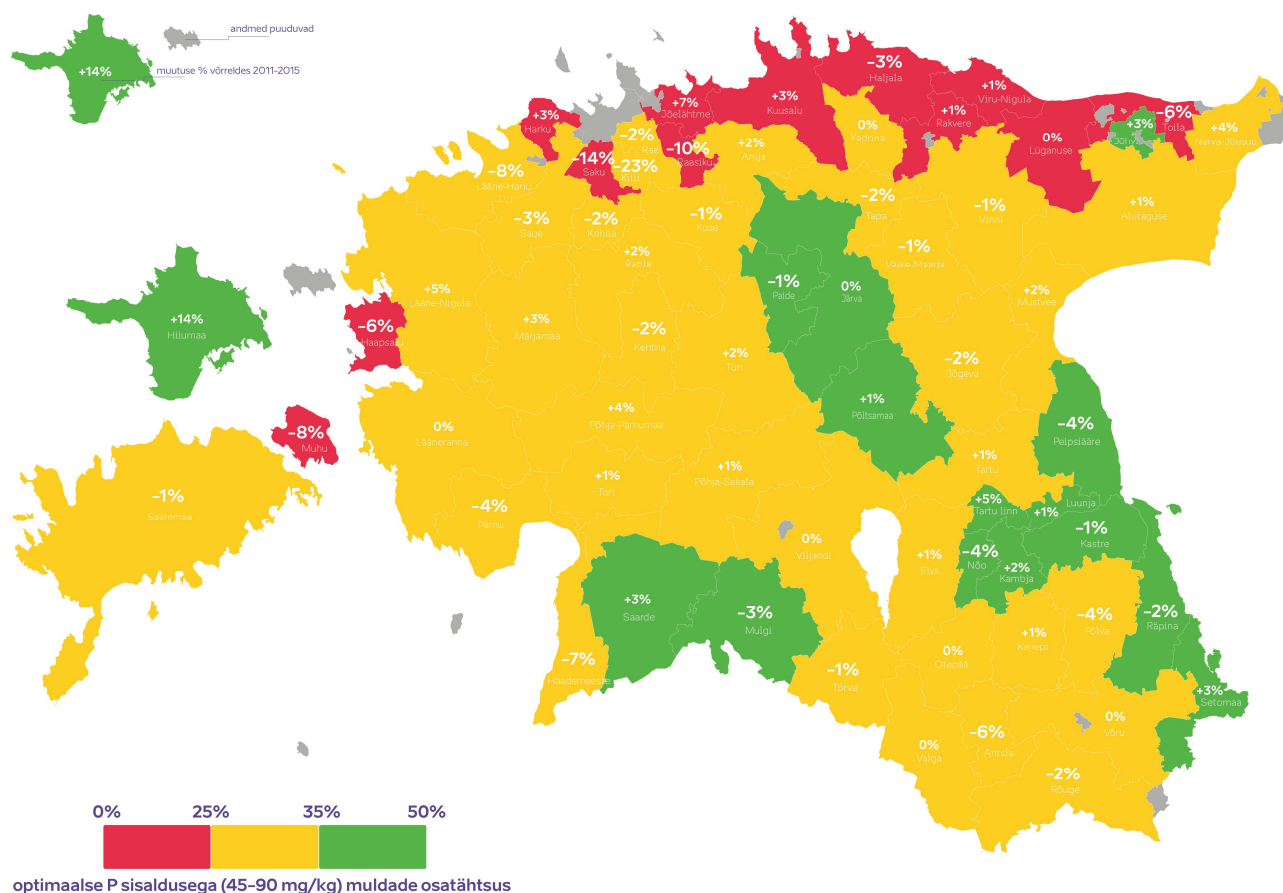
Joonis 5. Liikuva fosfori keskmine sisaldus (mg/kg) Mehlich III meetodil (P-M3) 21 püsivaatlusalal erinevatel seiringidel sõltuvalt lähtekivimist

Põllumuldade agrokeemilise seire tulemused näitavad, et viimase viie aasta jooksul on 2% võrra vähenenud madala P sisaldusega muldade osatähtsus ning samuti 2% võrra suurenenud kõrge P sisaldusega muldade osatähtsus kuna keskmise sisaldusklassi määr on jäänud samaks (Joonis 6). Seega on toimunud suhteliselt väikesed muutused P sisalduse osas ning fosforirikamad mullad asuvad Põlvamaal ja Lääne-Virumaal. Viimane on seletatav peamiselt loodusliku fosforirikka vööndiga Põhja-Eestis, kus maapõues leidub fosforiiti. Madala P sisaldusega muldi on rohkem Hiiumaal, Läänemaal ja Pärnumaal.



Joonis 6. Fosfori sisalduse muutus Eesti põllumuldades 2011-2020 ja muutus eelmise perioodiga

Nagu eelnevalt mainitud, siis peaks olema kõige rohkem muldi keskmises sisaldusklassis ja seiretulemustest näeme (Joonis 7), et valdavalt on selliste muldade osatähtsus siiski vaid 25-35% ja üle 50% ei ulatu üheski vallas. Viimase 5 aasta jooksul toimunud muutused on samuti pigem vähenemise suunas ja see pole kindlasti soovitud trend.

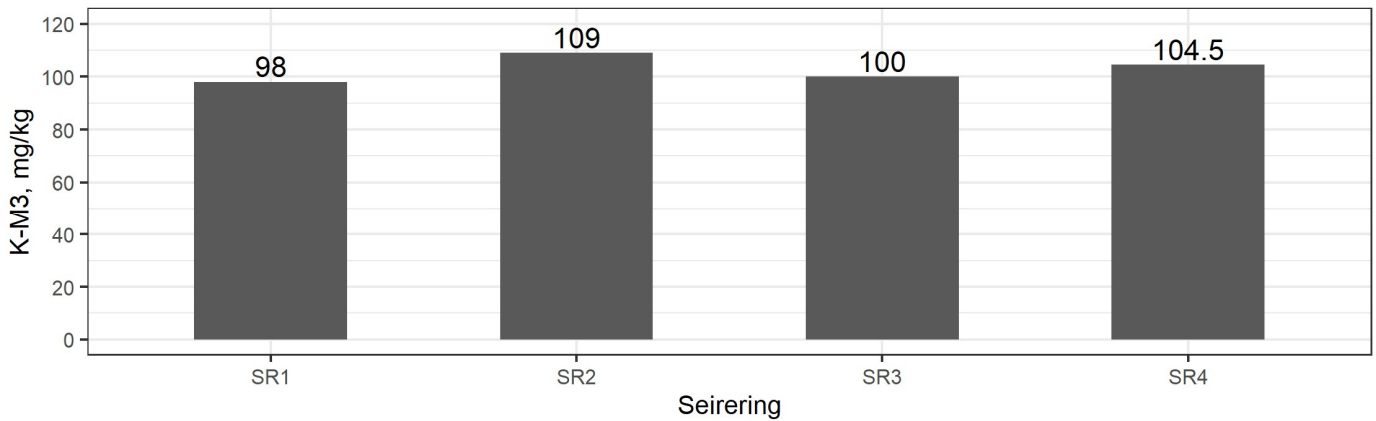


Joonis 7. Optimaalse fosfori sisaldusega põllumuldade osatähtsus valdades perioodil 2016-2020 ja muutus võrreldes eelmise perioodiga

M3 gradatsioonid Eestis tingimustes mulla liikuva K sisalduse hindamiseks on järgmised:

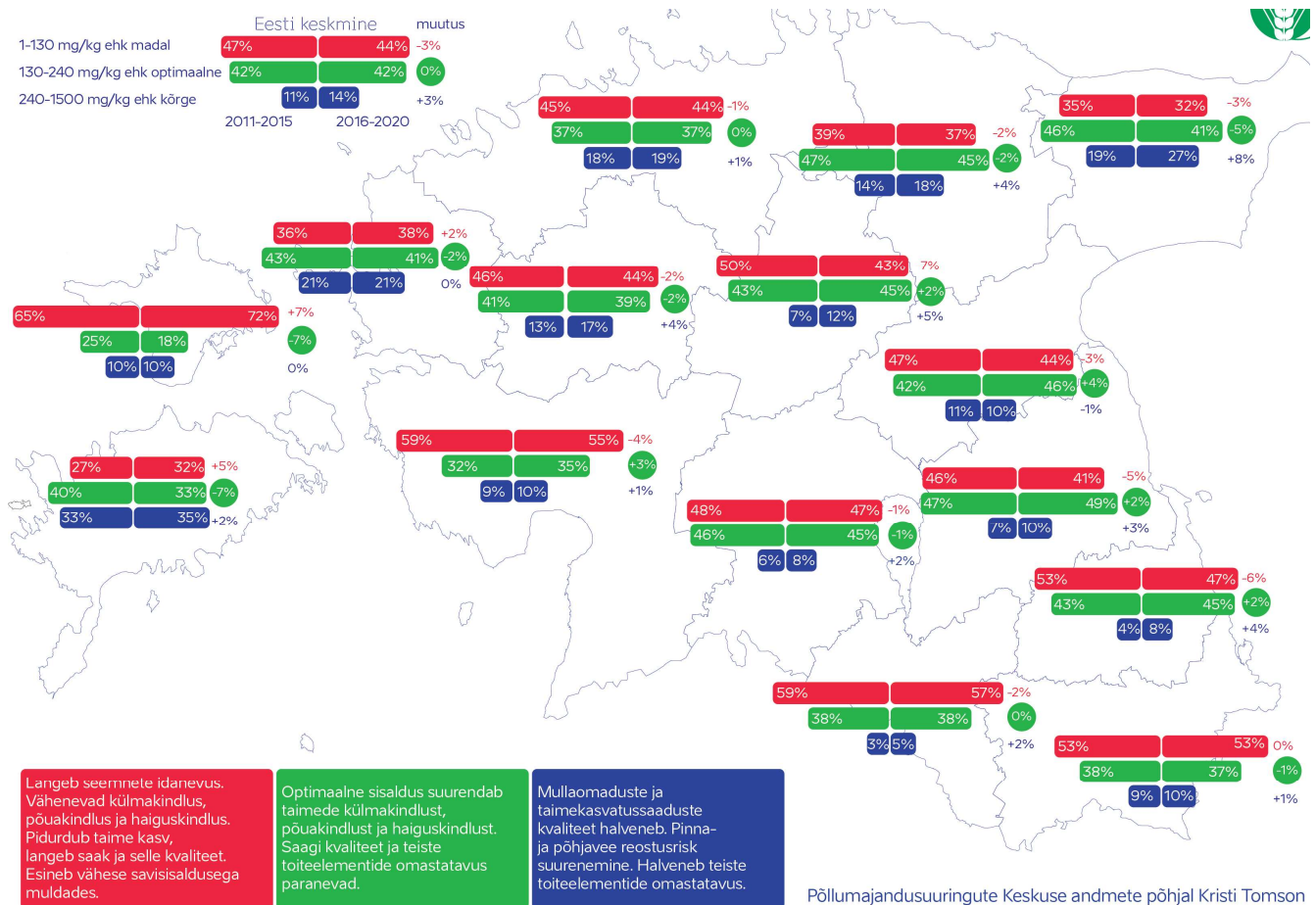
	K-M3
Väga väike	<55 mg/kg
Väike	56–130 mg/kg
Keskmine	131–240 mg/kg
Kõrge	>240 mg/kg

Seiringide võrdluses ei ole toimunud statistiliselt olulist liikuva K-M3 sisalduse muutust ( $p > 0,05$ ). Paraku on liikuva K sisalduse mediaan kõikidel seiringidel olnud ca 100 mg/kg (artim. keskm 118-125 mg/kg) ehk sisaldusklassis väike, ning seega võib K sisaldus olla põllumajanduskultuuride saagikust limiteerivaks teguriks (Joonis 8). Keskkonna seisukohalt võib madal K sisaldus mõjutada taimede lämmastiku omastamist nii otseselt kui kaudselt ja selle tagajärjeks võib olla mineraalse lämmastiku (Nmin) võimalik leostumine mullaprofiilis allapoole ja sealt edasi vesikeskkonda. Seega võiks ka mulla liikuva K sisaldus olla keskmises ehk optimaalses sisaldusklassis. Kultuuridest enim mõjutavad mulla K sisaldust eriti libliköielised kultuurid, kes on head K tarbijad ja eeskätt libliköieliste heintaimedega eemaldatakse mullast palju kaaliumi. Kuna keskmine K väetamise norm oli 54 kg/ha/a, siis järelikult suudab sellise väetusnormi ja külvikordadega vaid olemasolevat taset hoida, kuid mitte suurendada.



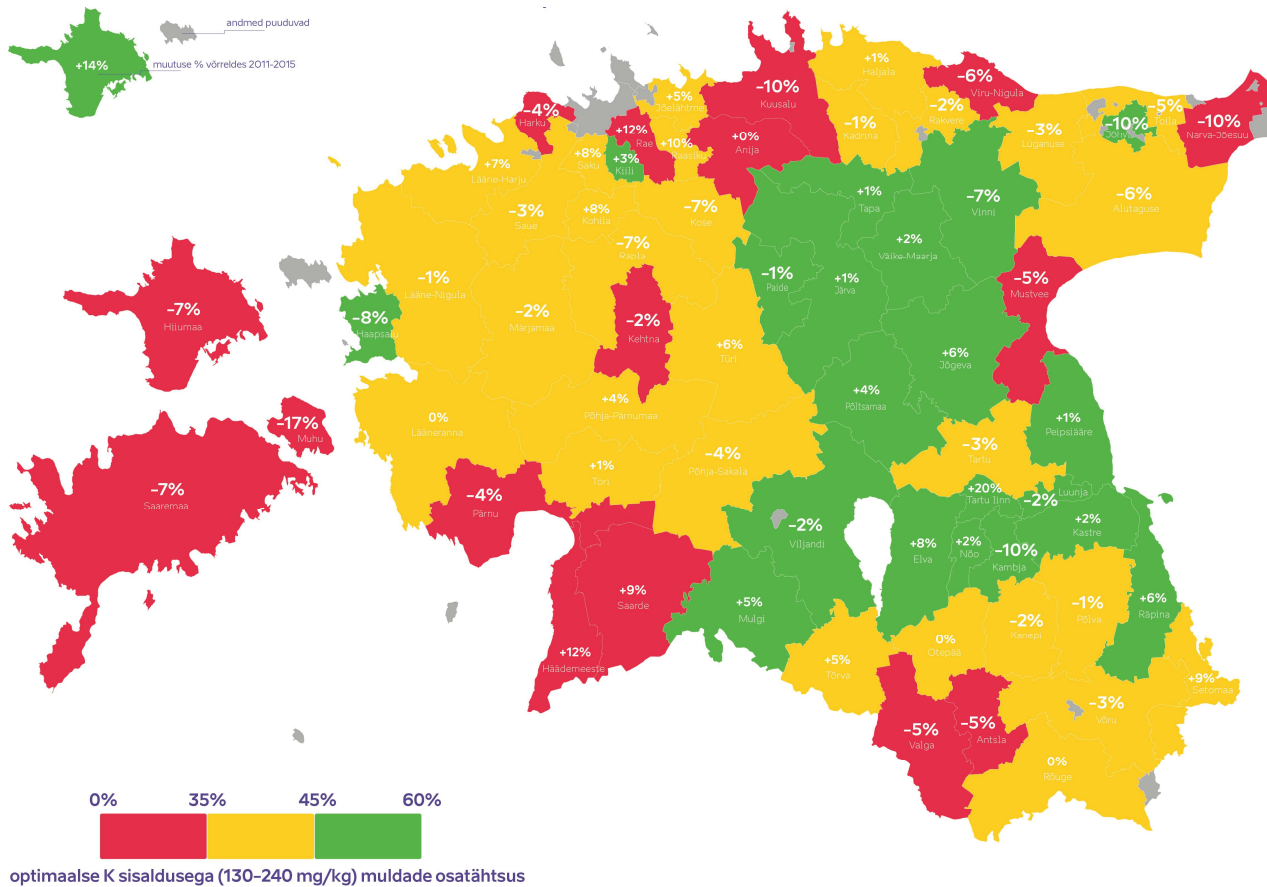
Joonis 8. Liikva kaaliumi sisaldus (mediaan, mg/kg) Mehlich III meetodil (K-M3) 21 püsivaatlusalal erinevatel seireringidel

Laiema taustana saame taaskord kasutada agrokeemilise seire tulemusi ja selgub, et sarnaselt fosforile toimus ka madala K sisaldusega muldade osatähtsuse väike vähenemine ja kõrge sisaldusega muldade osatähtsus suurenes veidi ning keskmise sisaldusega muldade osakaal jäi samaks (Joonis 9). Samas erinevusena on keskmise K sisaldusega muldade osatähtsus suurem kui fosforil. Optimaalse K sisaldusega muldi on rohkem Tartumaal, Jõgevamaal ja Järvamaal ning vähem on selliseid muldi Hiiumaal, Saaremaal ja Pärnumaal.



Joonis 9. Kaaliumi sisalduse muutus Eesti põllumuldades 2011-2020

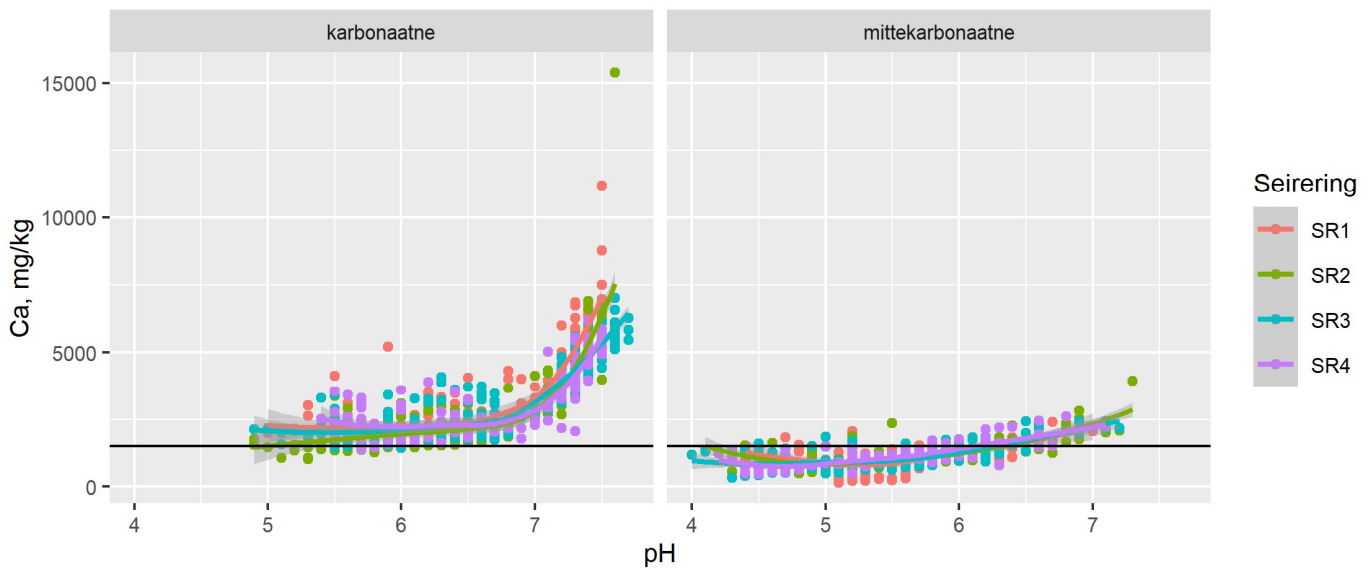
Kõige rohkem optimaalse K sisaldusega muldi on Kesk-Eesti valdades ja kõige vähem saartel ja Pärnumaal (Joonis 10). Enamikes valdades on optimaalse K sisaldusega muldade osatähtsus viimastel aastatel vähenenud.



Joonis 10. Optimaalse kaaliumi sisaldusega põllumuldade osatähtsus valdades perioodil 2016-2020 ning muutus võrreldes eelmise perioodiga

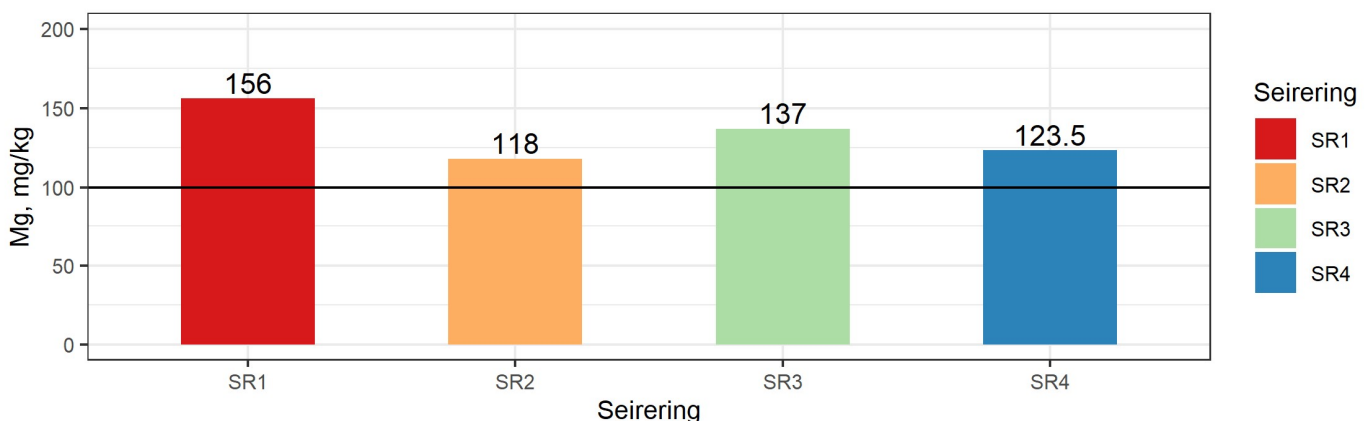
Ca sisaldus mullas on üldiselt suhteliselt stabiilne, seotud küllalt tihedalt mulla lähtekivimi ja mulla reaktsiooniga ning muutub järsult peamiselt vaid lupjamise tagajärjel. Analüüsi tulemusel selgus, et Ca sisaldus seireringide võrdluses ei ole statistiliselt oluliselt muutunud ( $p > 0,05$ ). Lähtekivimi ja mullareaktsiooni mõju Ca sisaldusele on statistiliselt väga oluline ( $p < 0,05$ ) (Joonis 11). Mullareaktsiooni suurenedes suureneb ka liikuva Ca sisaldus. Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on oluliselt madalam mediaan Ca sisaldus (1031 mg/kg, aritm. keskm. 1117 mg/kg) ja karbonaatsel lähtekivimil on vastupidiselt kõrgem mediaan Ca sisaldus (2812 mg/kg, aritm. keskm. 3300 mg/kg).

Enamus mittekarbonaatsel lähtekivimi muldade Ca väärtusi on alla optimaalse Ca sisalduse (Joonis 11). Taimede toitumise aspektist ei ole probleeme karbonaatsel lähtekivimil paiknevatel muldadel, sest seal on kõikides huumustrassipunktides Ca sisaldus suurem või võrdne optimaalse Ca sisaldusega (1500 mg/kg) ning mida kõrgem mulla pH seda kõrgem on ka Ca sisaldus. Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on olukord vastupidine: esimesel seireringil oli mediaan Ca sisaldus 1160 mg/kg, teisel seireringil 1006 mg/kg, kolmandal seireringil 981 mg/kg ja neljandal 1047 mg/kg. Seega on need mullad pidevalt Ca defitsiidis ja seireringide jooksul ei ole suudetud seda leevendada. Paraku on lupjamist mullaseire põldudel tehtud väga vähe. Lisaks toiteelementide omastamisele mõjutab Ca positiivselt ka paljusid teisi mullaomadusi - struktuursust, neelamismahutavust, Corg sisaldust jne. Seega on mulla tervise seisukohast Ca sisaldusel mullas väga oluline roll.



Joonis 11. Kaltsiumisisaldus (mg/kg) sõltuvalt mulla lähtekivimist ja mullareaktsioonist püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel. Must horisontaalne joon tähistab taimedele optimaalset Ca sisaldust (1500 mg/kg)

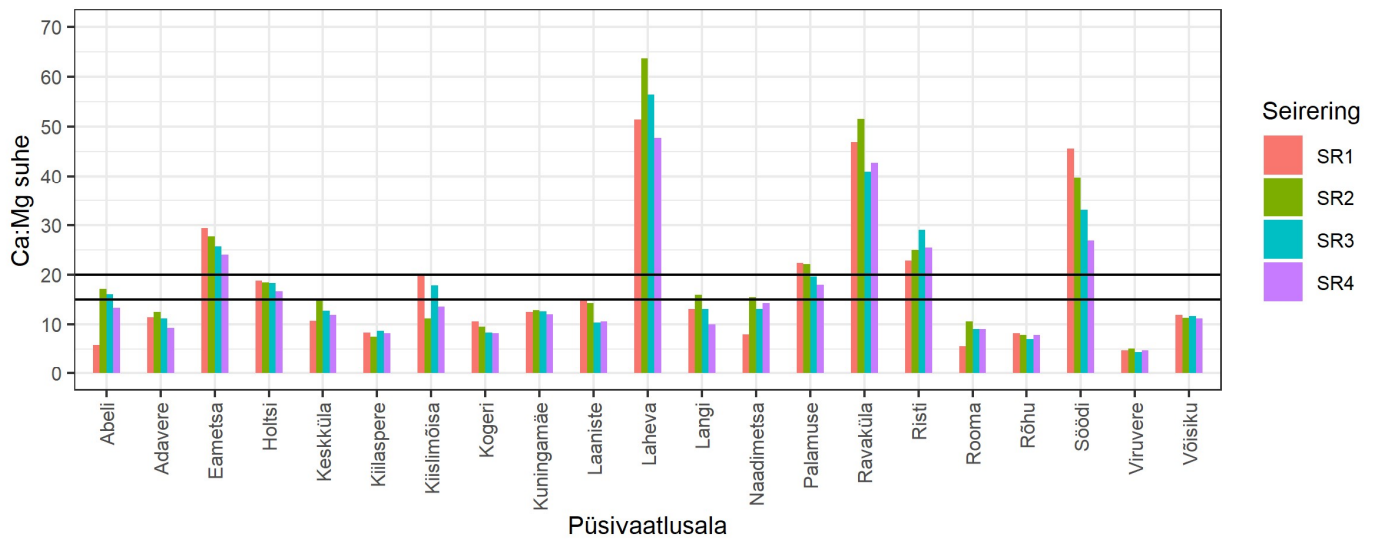
Magneesiumisisaldusele avaldab mõju lähtekivim: dolomiitsel rähkmoreenil tekkinud mullad on magneesiumirikamad kui lubjakivisel rähkmoreenil tekkinud mullad (Kask, 1994). Lihtsamalt öeldes, kui muld on tekkinud dolomiitsel aluspinnal, siis on Mg sisaldus piisav, kui lubjakivisel lähtekivimil ja mittekarbonaatsel lähtekivimil, siis tuleb Mg sisaldust jälgida ja lisada. Seda peegeldab mudeli juhusliku faktorina kasutatud püsivaatlusala koht, nimelt on kõige suurem juhuslik varieeruvus pärit proovikohtadest. See tuleneb proovikoha aluspõhjast, lähtekivimist, aga ka väetamise ja agrotehnoloogia erinevusest proovikohtade vahel. Taimede toitumise seisukohast on optimaalne Mg-sisaldus 100-150 mg/kg, kuid magneesiumi omastamise juures on oluline roll ka Ca:Mg suhtel. Keskmisena on püsivaatlusalade Mg-sisaldus optimaalne kõikidel seireringidel (Joonis 12). Andmeanalüüsi alusel on pH efekt oluline Mg-sisaldusele ( $p < 0,05$ ), mida suurem mulla reaktsioon, seda kõrgem Mg-sisaldus. Ka seireringidel on statistiliselt oluline mõju Mg-sisaldusele: neljandal seireringil on Mg-sisaldus 21% võrra kõrgem kui teisel seireringil ( $p < 0,05$ ).



Joonis 12. Magneesiumisisaldus (mediaan, mg/kg) püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel. Must horisontaalne joon tähistab taimedele optimaalset magneesiumisisaldust (100 mg/kg)

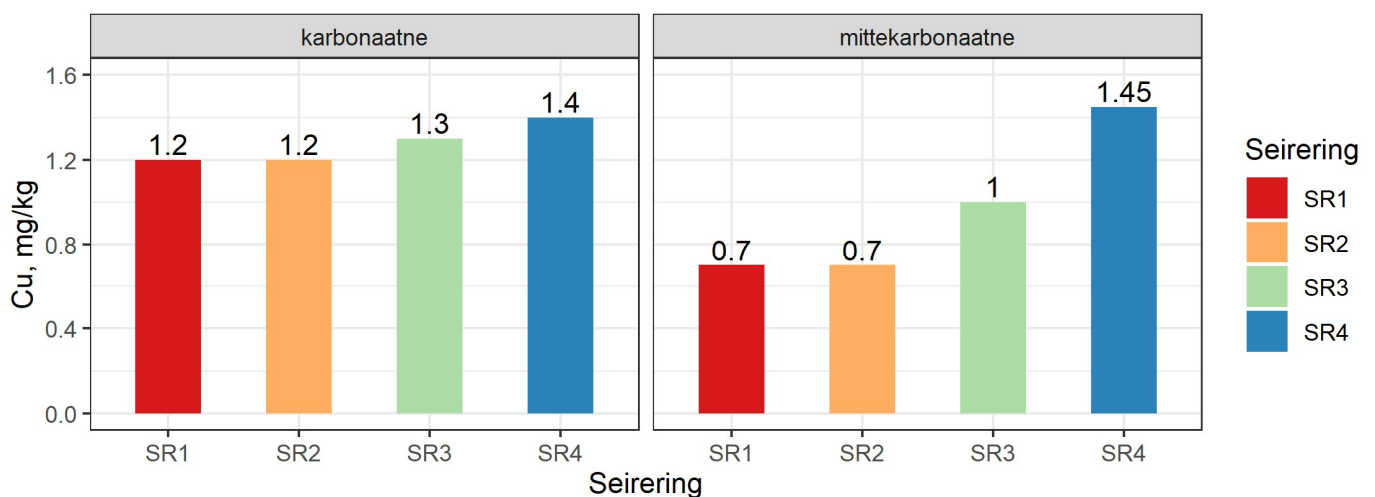
Liikuva Ca:Mg suhe varieerub püsivaatlusalade põllumuldades laiades piirides, ulatudes 3-st...129-ni (Joonis 13). Optimaalne Ca:Mg suhe on 15-20. Suure kaltsiumisisaldusega muldades on Ca:Mg suhe liiga lai: Laheva, Ravaküla, Söödi, Risti ja Eametsa aladel. Liiga lai Ca:Mg suhe raskendab magneesiumi omastamist taimede poolt (Loide, 1996). Eametsa

ja Söödi aladel toimub seireringide võrdluses Ca:Mg suhte ahenemine positiivses suunas. Optimaalse Ca:Mg suhtega on vähesed seirealad: neljandal seireringil ainult Holtsi ja Palamuse ning enamikel aladel on see suhe liiga madal.



Joonis 13. Liikuva kaltsiumi ja magneesiumi suhe püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel. Joonte vahele jääb optimaalne Ca:Mg suhe ehk 15-20

Mikroelementidest on vase sisaldus püsivaatlusaladel kõikidel seireringidel alla optimaalse ehk väiksem kui 1,5 mg/kg (Joonis 14). Lähtekivimil on oluline efekt vase sisaldusele ning seireringide võrdluses oli mitmeid statistiliselt usutavaid muutuseid. Karbonaatsel lähtekivimil suurenes Cu-sisaldus neljandal ja kolmandal seireringil statistiliselt oluliselt võrreldes esimese seireringiga. Mittekarbonaatsel lähtekivimil Cu sisalduse suurenemine olnud pidev ning statistiliselt usutavad muutused on toimunud neljanda ja esimese ning teise seireringi vahel; samuti ka kolmas vs teine ning esimene seirering. Orgaaniliste väetiste kasutamine mõjutab otseselt Cu ja ka teiste mikroelementide sisaldust mullas. Orgaanilise süsiniku sisaldusel on positiivne efekt vasesisaldusele: Corg suurenedes suureneb ka vase sisaldus mullas ( $p < 0,05$ ).

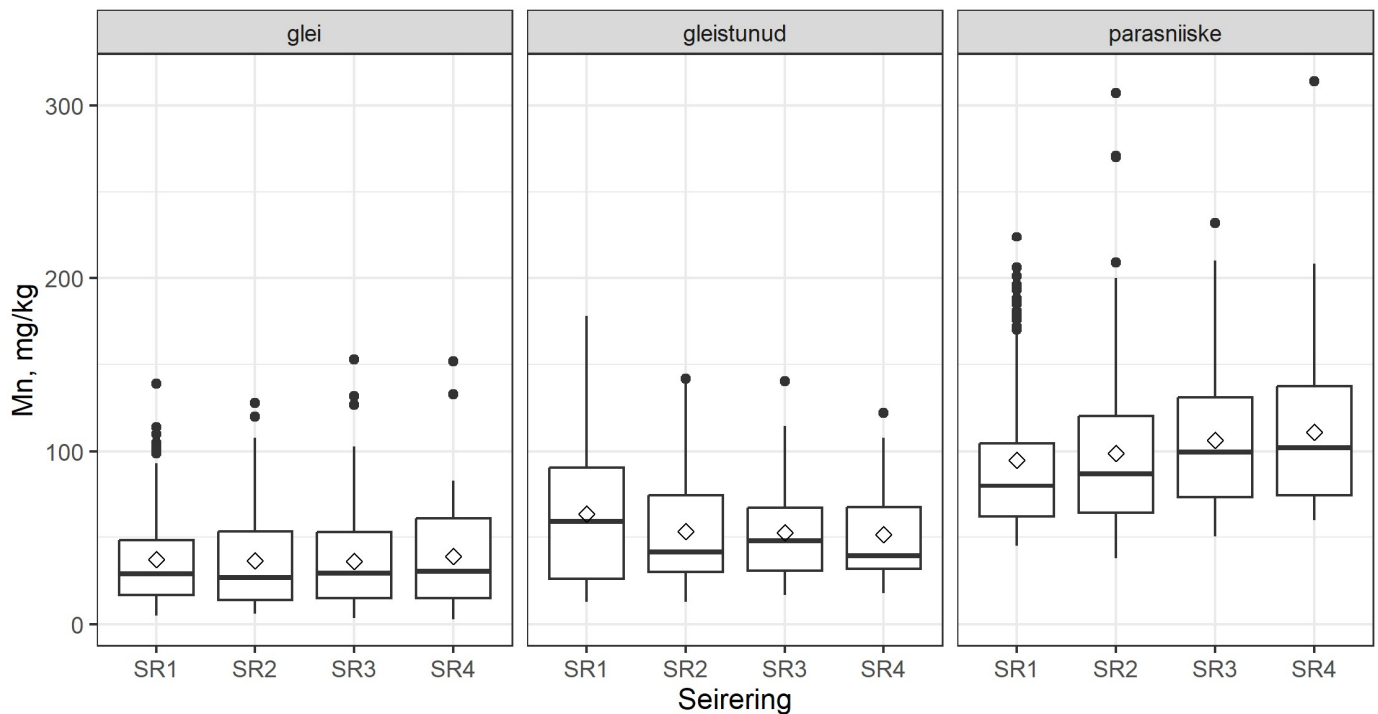


Joonis 14. Liikuva vase (Cu) sisaldus (mediaan, mg/kg) püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel ja lähtekivimitel.

Mangaanisaldust mullas mõjutavad mulla veerežiim, pH, Corg ja Ca sisaldus ( $p < 0,05$ ). Parasniiskes mullas on statistiliselt oluliselt kõrgem Mn sisaldus kui glei või gleistunud mullas ( $p < 0,05$ ) (Joonis 15). Orgaanilise süsiniku suurenemisel 1 ühiku võrra väheneb Mn sisaldus 20% ( $p < 0,05$ ). Mulla Corg on seotud ka otseselt mulla veerežiimiga:

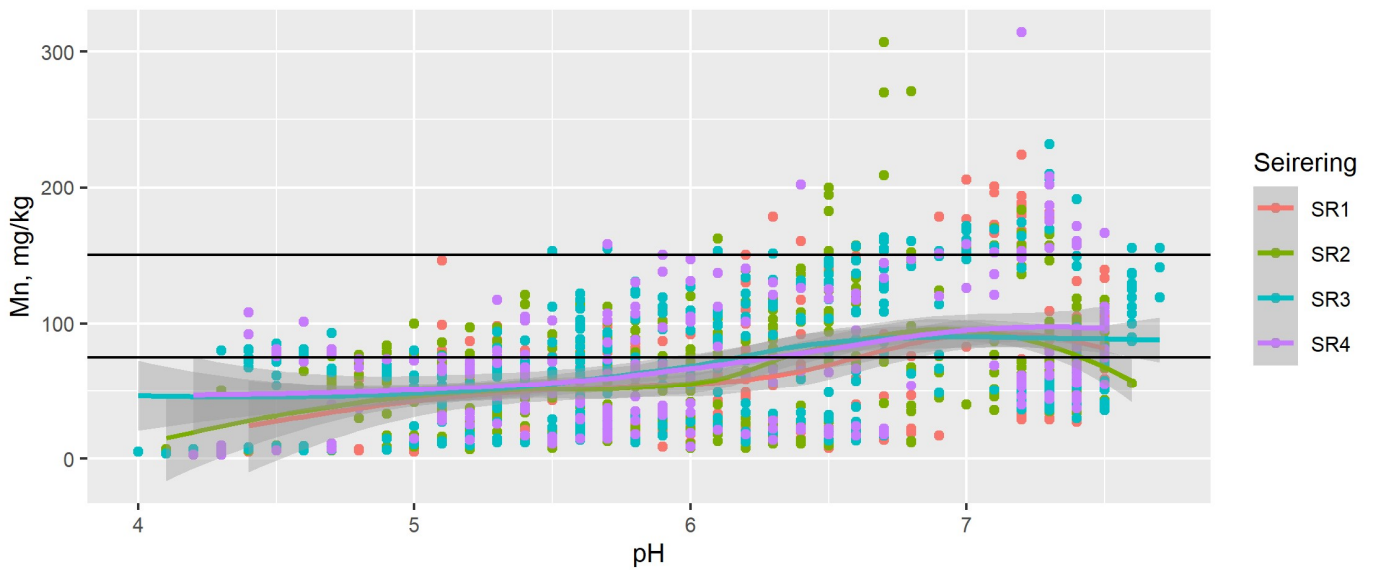


märjemas mullas on halbade lagunemistingimuste tõttu Corg sisaldus kõrgem. Seireringide vahel ei olnud statistiliselt olulist efekti sõltuvalt veerežiimist.



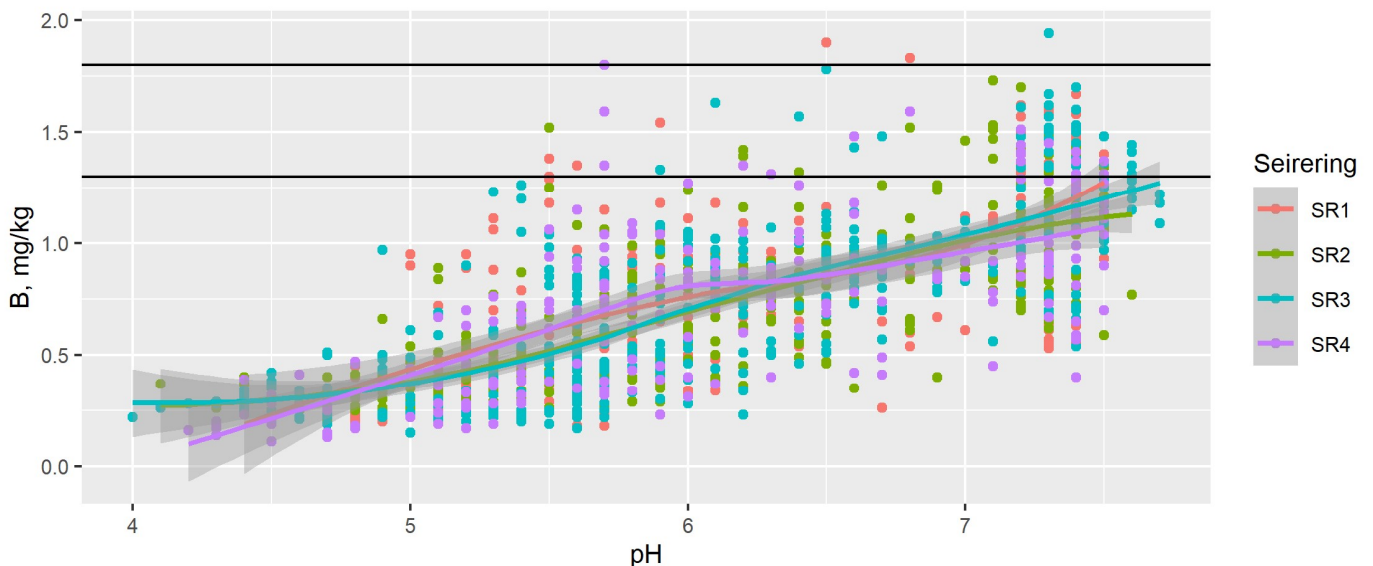
Joonis 15. Mangaanisisaldus (mg/kg) erinevatel seireringidel ja veerežiimiga muldadel. Rombid tähistavad aritmeetilist keskmist

Aluselises mullas on Mn-sisaldus kõrgem kui happelises mullas (pH suurenemisel 1 ühiku võrra suureneb Mn-sisaldus 38%,  $p > 0,05$ ) (Joonis 16) – happelises keskkonnas ei tegutse Mn tarbivad mikroorganismid. Seega on mulla pH oluline faktor, mis määrab mangaani omastatavuse taimede poolt: happelisemas keskkonnas on mangaani omastamine soodustatud. Optimaalses Mn sisaldusklassis (75-150 mg/kg) on ainult viie püsivaatlusala (Rooma, Adavere, Laheva, Söödi, Viruvere) mullad läbi kõikide seireringide, Ravaküla alal on Mn-sisaldus kõrges sisaldusklassis ning teises äärmuses on Keskküla ala, mille Mn-sisaldus on alla 10 mg/kg ning see on tingitud peamiselt selle ala kergest lõimisest. Seireringide võrdluses oli neljandal seireringil Mn sisaldus suurenenud 15% võrra võrreldes teise seireringiga ( $p < 0,05$ ). Mangaanisisalduse optimeerimiseks tuleb eeskätt reguleerida mulla veerežiimi ning jälgida mullareaktsiooni, kuid keskkonnale ei kujuta Mn erilist ohtu.



Joonis 16. Mangaanisaldus (mg/kg) erinevatel seireringidel sõltuvalt mulla reaktsioonist. Joonte vahele jääb taimedele keskmine ehk optimaalne mangaanisalduse klass

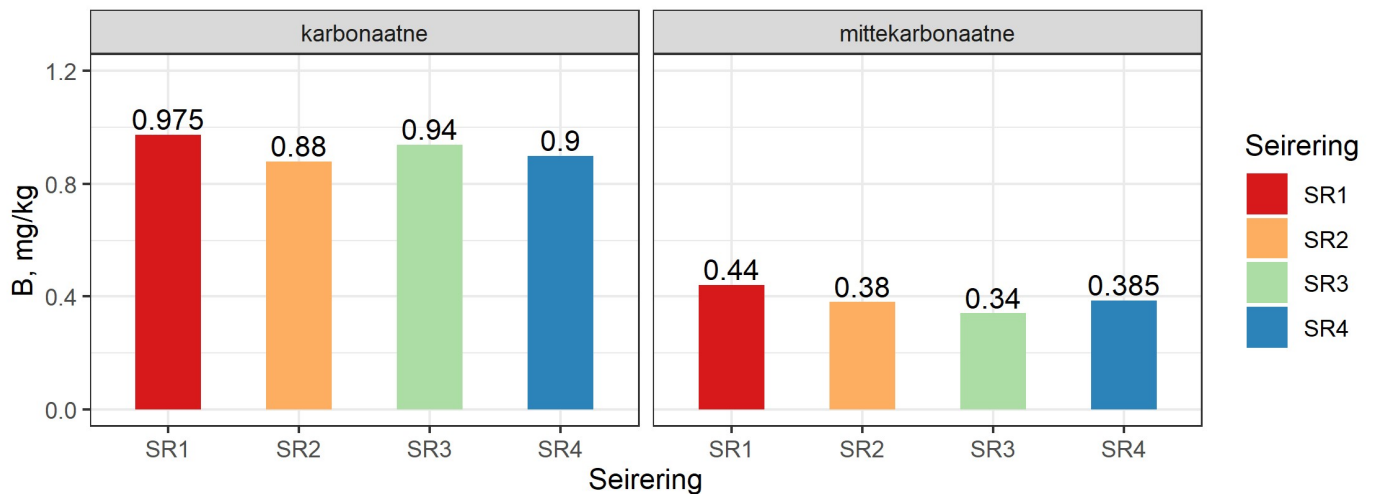
Ka mulla boorisaldus on väga tihedas seoses mullareaktsiooniga (Joonis 17): mulla pH suurenedes tõuseb ka boorisaldus mullas 19% ( $p < 0,05$ ) ehk happelises mullas on boorisaldus väga madal. Samuti mõjutab ka Corg boorisaldust ehk Corgi suurendes ühe ühiku võrra suureneb boorisaldus 29% ( $p < 0,05$ ). Paraku seireringide võrdluses ei ole statistiliselt olulist muutus B-sisalduses toimunud ja kahjuks on enamik prooviaaladest alla optimaalse boorisaldusega. Üldise märkusena võib ka B juures lisada, et kaudselt võib B puudus tekitada olukorra, kus on raskendatud teiste toiteelementide omastamine ning sellega võib kaasneda keskkonnarisk.



Joonis 17. Boorisaldus (mg/kg) erinevatel seireringidel sõltuvalt mullareaktsioonist. Joonte vahele jääb taimedele keskmine ehk optimaalne boorisalduse klassi

Karbonaatsel lähtekivimil olevatel püsivaatlusaladel on statistiliselt oluliselt kõrgemad (75%) boorisaldused kui mittekarbonaatsel lähtekivimil (Joonis 18). Ka mulla veerežiimil on oluline efekt boorisaldusele: gleimuldadel on 40% statistiliselt oluliselt kõrgem boorisaldus võrreldes parasniiskete ja gleistunud muldadega ( $p < 0,05$ ). Mõlemal juhul on ka Corg sisaldus mullas kõrgem ja kuna B on tihedas seoses mulla Corg sisaldusega, siis on selline hinnang ka igati loogiline.

Huvitav on siinjuures märkida, et Cu sisaldus oli enim positiivselt muutunud seal, kus kasutati orgaanilisi väetisi, siis B puhul see seos nii ühene ei ole.



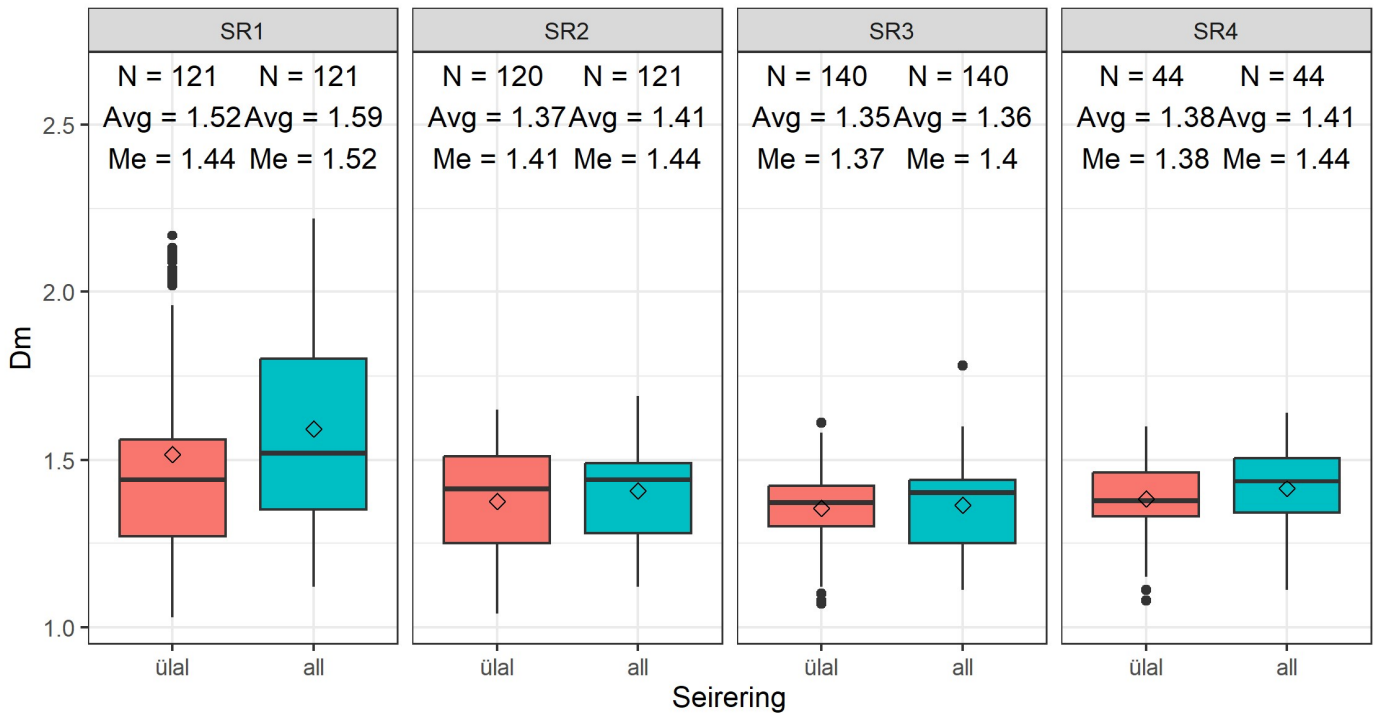
Joonis 18. Boorisaldus (mediaan, mg/kg) erinevatel seiringidel sõltuvalt mulla lähtekivimist

Kahjuks ei ole võimalik laiemat tausta mikroelementide Cu, Mn ja B sisalduste kohta välja tuua. PMK agrokeemilise seire andmebaasis PANDA on küll andmed põllumajandusmaa Cu, Mn ja B sisalduse kohta olemas, kuid vastavaid analüüse on tehtud väga vähe ja seega ei ole veel tehtud ka nendele ka andmetöötlust - valim ei ole piisavalt esinduslik. Vaatamata sellele, et LUCAS mullaseire raames neid elemente määratakse, ei ole need kohapõhiselt punktandmetena kättesaadavad. Ainuke ülevaade, mis nende elementide kohta on hetkel kättesaadav on LUCASe aruanne, kus on näha alad millelt võeti raskmetallide proovid (Eestis 6 proovipunkti) ja millistel aladel olid elementide sisaldus üle piirnõrmi (Eestis 1 proovipunkt, kus arseeni, koobalti, vase, kroomi, elavhõbeda, antimoni, vanaadiumi ja plii sisaldus üle piirnõrmi ning 5 proovipunktis nikli sisaldus üle piirnõrmi) (Fernandez-Ugalde, et al., 2022). Asukohapõhiste andmete ja lisakihtide modelleerimise tulemina on võimalik kaartidena Cu ja Mn sisaldust vaadelda kõikide maakasutuste keskmisena Tóth et al. (2016) artiklis.

## Üldfüüsikalised omadused

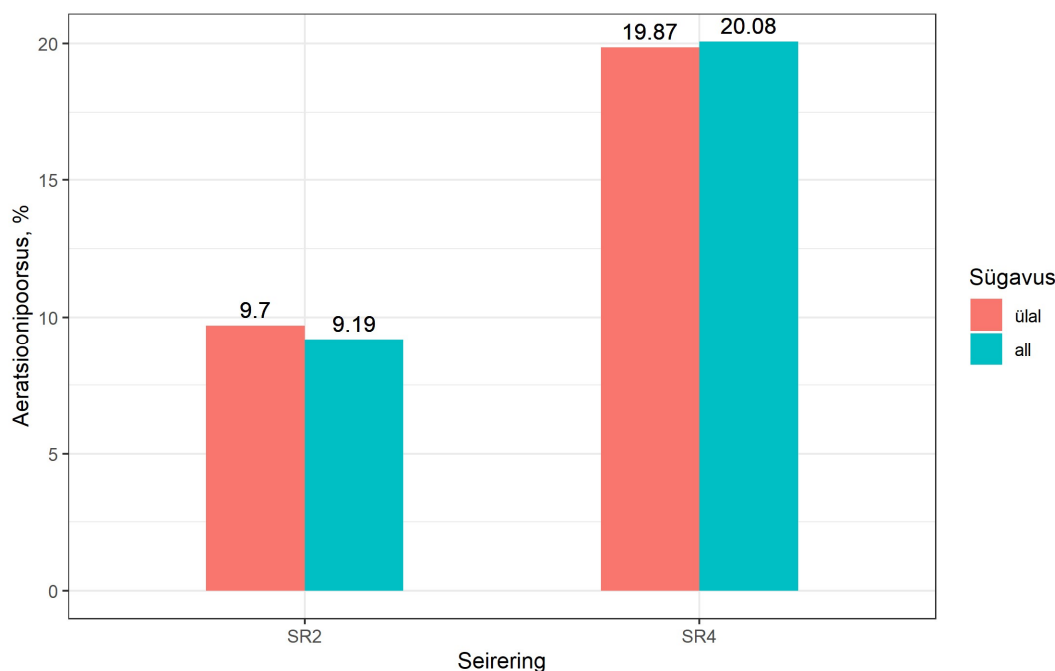
Mulla lasuvustihedus (mahukaal) iseloomustab hästi põllumuldade õhustatust ja tihenemist, mis võib tekkida nii märja mulla kündmisest, monokultuuri kasvatamisest, pikaajalisest ühest ja samast künnisügavusest, raskest põllumajandustehnikast ning sellest tulenevast suurest masinate rehvirõhust jne. Lasuvustiheduse proovid kogutakse püsivaatlusaladel kahest sügavusest (ülal ehk 5 cm ja all ehk 20 cm-st sügavamalt) spetsiaalse silindriga ühelt alalt kaheksas korduses mõlemas sügavuses. Ülemised proovid näitavad olukorda haritavas mullakihis ja alumised olukorda haritava kihi all, kus on tavaliselt kõige kriitilisem sügavus nn künnitihese tekkeks.

Üldiselt on mulla lasuvustihedus suurem alumises kihis võrreldes ülemise kihiga (Joonis 19), ning seda statistiliselt usutavalt esimesel ja teisel seiringil ( $p < 0,05$ ). Kolmandal ja neljandal seiringidel ei ole statistiliselt usutavat erinevust kahe sügavuskihi vahel. Seiringide võrdluses ei ole toimunud usutavaid muutuseid kummaski sügavuses. Oluline faktor, mis lasuvutihedust mõjutab on Corg: Corgi suurenedes lasuvustihedus väheneb ( $p < 0,05$ ). Kriitiline lasuvustihedus mullale kergetel lõimistel (saviliiv ja kerge liivsavi) on  $1,35-1,50 \text{ g/cm}^3$  (Nugis & Lehveer, 1991). Selle järgi on 21 ala keskmisena nii ülal kui all mulla lasuvustihedus eelkriitiline mullale, esimesel seiringil ka eelkriitiline taimedele. Üldiselt püsib lasuvustihedus stabiilsena  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , mis tähendab et kasutatavad agrotehnilised meetodid hoiavad mulla lasuvustiheduse stabiilsena seda mitte oluliselt parandades aga ka mitte halvendades. Seega võime nentida, et kogu perioodi jooksul on muldade tallatusega seis pigem veidi paranenud ja alumise kihi veidi suurem lasuvustihedus on loogiline ja normaalne ning tallamise probleemist hetkel alade üleselt rääkida ei saa. Küll aga ei ole välistatud üksikutel aladel liiga kõrge lasuvutihedus, mis viitab külvikorra probleemidele või liigsele tallatusele masinate poolt.



Joonis 19. Püsivaatlusalade lasuvustihedus ( $D_m$ ,  $\text{g/cm}^3$ ) erinevates sügavustes ja seireringidel. Karp-vurrud diagrammil on jämeda musta joonega näidatud mediaan (Me) ja rombiga aritmeetiline keskmine (Avg)

Lisaks lasuvustihedusele on mulla tallatuse ja õhustatuse hindamiseks oluline ka mulla aeratsioonipoorsus ehk õhuga täidetud pooride hulk (%). Üldiselt loetakse mulla õhustatus heaks kui see on üle 10% (Reintam & Penu, 2009). Kuna aeratsioonipoorsuse jaoks on vaja teha eraldi mõõtmisi, siis kahjuks ei ole püsivalt igal seireringil iga aasta kohta piisavalt andmeid. Seetõttu esitame vaid 9 püsivaatlusala tulemused teise ja neljanda seireringi võrdluses. Neljandal seireringil on aeratsioonipoorsus suurenenud üle kahe korra ning seda mõlemas sügavuskihis: kui SR2 on mediaan aeratsioonipoorsus ka alla optimaalse siis SR4 on see saavutanud väga hea õhustatuse. Sügavuskihtide vahel statistiliselt usutavat erinevust ei olnud. Selle näitaja juures tuleb ka arvestada, et aastate jooksul on nii metodika kui ka analüüside tegijad vahetunud, mistõttu tuleb aeratsioonipoorsuse tulemuste tõlgendamisel sellega ka arvestada. Üldiselt ongi mullaparameetritest kõige rohkem proovivõtjast ja analüüsi tegijast sõltuvad mulla füüsikalised näitajad.

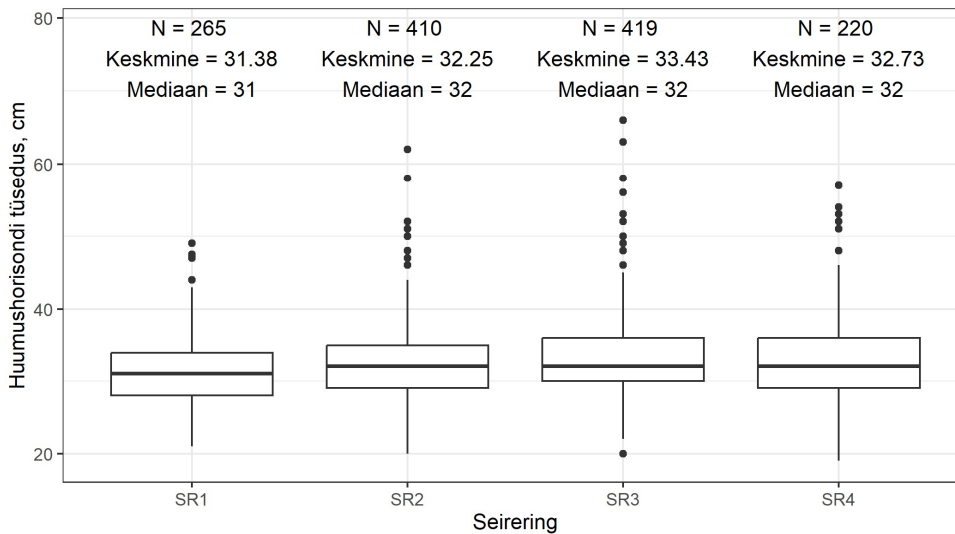


Joonis 20. Püsivaatlusalade aeratsioonipoorsus (mediaan, %) erinevatel sügavustel ja seireringidel

Põllumuldade tihenemist seiratakse ka muldade tallatuse uuringus, kus seire all on 15 uurimisala ja mõõtmisi teostatud kolmel seireringil (2008, 2013 ja 2022) (METKti, 2023). Uuringu tulemusel selgus, et Eesti muldade seisund üldiselt paranes: võrreldes esimese seireringiga vähenes lasuvustihedus 12 alal, üldpoorsus suurenes mõlemas kihis 73% aladest ning aeratsioonipoorsus peaaegu kõikidel aladel. Seega nii KeM mullaseire kui põllumuldade tallatuse uuringu tulemustel ei ole Eesti väga suurt probleemi muldade tihenemisega.

### Huumushorisoni tüsedus (Ahor)

Huumushorisoni tüsedus ei ole 21 ala keskmisena seireringide võrdluses väga palju muutunud ja see on ka igati oodatav tulemus arvestades olemasolevat huumushorisoni tüsedust ja mullaharimise tavasügavust. Esimesel seireringil oli huumushorisoni tüseduse mediaan 31 cm ning järgnevatel seireringidel 32 cm (Joonis 21). Kolmandal seireringil on huumushorisoni tüsedus statistiliselt oluliselt suurenenud 6,6% võrreldes esimese seireringiga. Teiste seireringide vahel statistiliselt olulist muutust ei ole toimunud. Seega püsib põllumuldade huumushorison stabiilselt 31-32 cm ning kuna kaasaegne agrotehnoloogia ei kasuta sageli sügavat harimist ei saagi 20 a jooksul huumushorisoni tüseduses suuri muutuseid toimuda. Küll aga tuleks arvestada süsinikuvarude arvutamisel, et sageli kasutatav 20 cm tüsedus ei ole piisav, et hinnata Eesti põllumuldades talletunud reaalselt süsinikku ja võimalusel peaks referentsügavuseks olema vähemalt 30 cm. Eesti muldade huumushorisoni tüsedus on üldiselt täiesti piisav erinevate agrotehnoloogiate rakendamiseks ja C mulda sidumiseks. Samas on kindlasti ka põlde, kus näitaja on madalam ja sellega tuleb mullaharimistehnoloogia valikul kindlasti arvestada. Mullasüsiniku suurendamiseks oleks ilmselt otstarbekas üks kord 5-6 aasta tagant teostada sügavam mullaharimist ja samas tuua altpoolt üles väiksema Corg sisaldusega materjali.

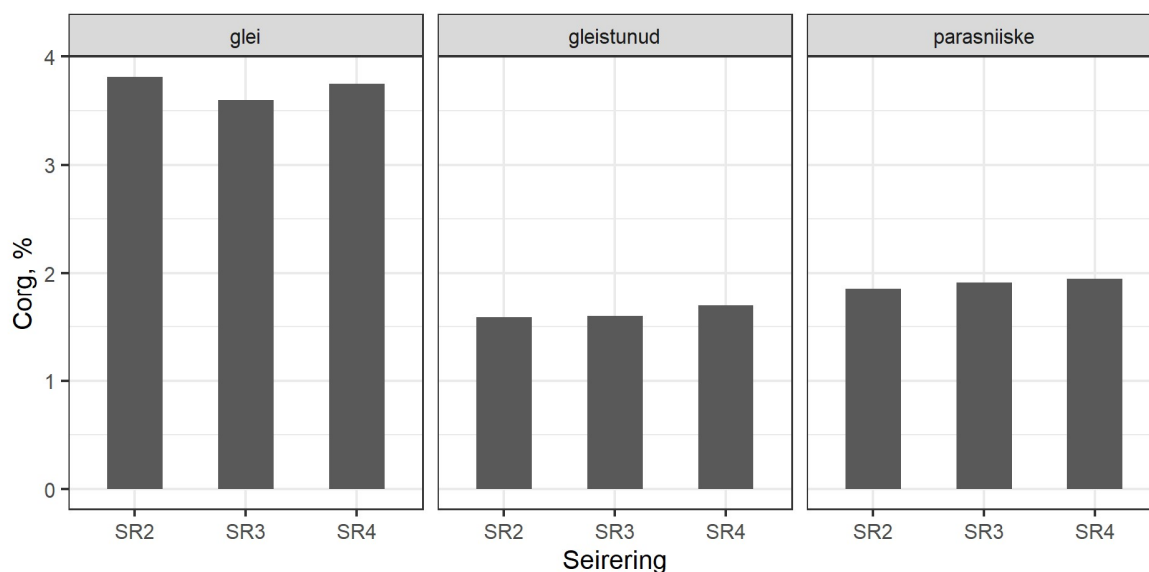


Joonis 21. Huumushorisoni tusedus erinevatel seiringidel

### Orgaanilise süsiniku sisaldus ja varu

Alates 2007. aastast määratakse mulla orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg) kuivtuhastamise meetodil elementaaranalüsaatoril, mis on üldtunnustatud referentsmeetod (% Dumas meetod). Varasemalt ei määratud Corg sisaldust vaid huumusesisaldust Tjurini meetodil, kuid alates 2007. aastat lõpetati paralleelne määramine. Esimesel seiringil tehti Corg määramised ainult paarilt seirealalt, mistõttu vaatleme seaduspärasusi teisest neljanda seiringini (Joonis 22).

Mulla Corg sisaldus sõltub seirealadel nii huumushorisoni tusedusest, mulla veerežiimist, lõimisest, agrotehnologiast, happesusest jne. Eriti suur mõjutegur on veerežiim – liigniisketel gleimuldadel on statistiliselt oluliselt kõrgem mediaan Corg sisaldus võrreldes kuivemate gleistunud ja parasniiskete muldadega. Seda vaatamata sellele, et gleimullad on valdavalt kuivendatud. Gleimuldade mediaan Corg sisaldus on 3,7%, gleistunud muldadel 1,6% ja parasniisketele muldadel 1,9%. Esmapilgul vastuolulisena tunduv parasniiskete muldade kõrgem Corg sisaldus viitab tegelikult asjaolule, et gleistunud ja parasniisked mullad on siiski põldudel oma olemuselt suhteliselt sarnased ning seega edaspidi tuleks neid grupeerida analüüsis üheks mullagrupiks. Seda toetab ka LUCAS mullaseire andmed (Tabel 5), kus sarnaselt meie andmetega on kahel seiringil gleistunud muldade Corg sisaldus madalam kui parasniisketel muldadel. Huumushorisoni tuseduse suurenemisel 1 cm võrra suureneb Corg sisaldust 0,5% võrra ( $p < 0,05$ ). Seiringide võrdlusel lähtuvalt mulla veerežiimist ei ole suuri muutuseid Corg sisalduses toimunud. Ainult gleistunud muldadel on neljandal seiringil Corg sisaldus statistiliselt usutavalt suurenenud 11,4% võrra võrreldes teise seiringiga ( $p < 0,05$ ). Siiski ei ole seirealadel märgata Corg sisalduse langust, pigem on olukord stabiilne ja mullatervise seisukohast võib sellist trendi pidada igati positiivseks. Seega suudab seirealadel kasutatav agrotehnoloogia säilitada mulla Corg sisalduse vähemalt olemasoleval tasemel. Olukorras, kus mulla süsinik on tõusnud väga olulise indikaatorina mullatervise hindamise fookusesse on see igati positiivne tulemus ka keskkonna ja kliimamuutuste seisukohalt.



Joonis 22. Orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg, %) Dumas meetodil sõltuvalt veerežiimist erinevatel seireringidel

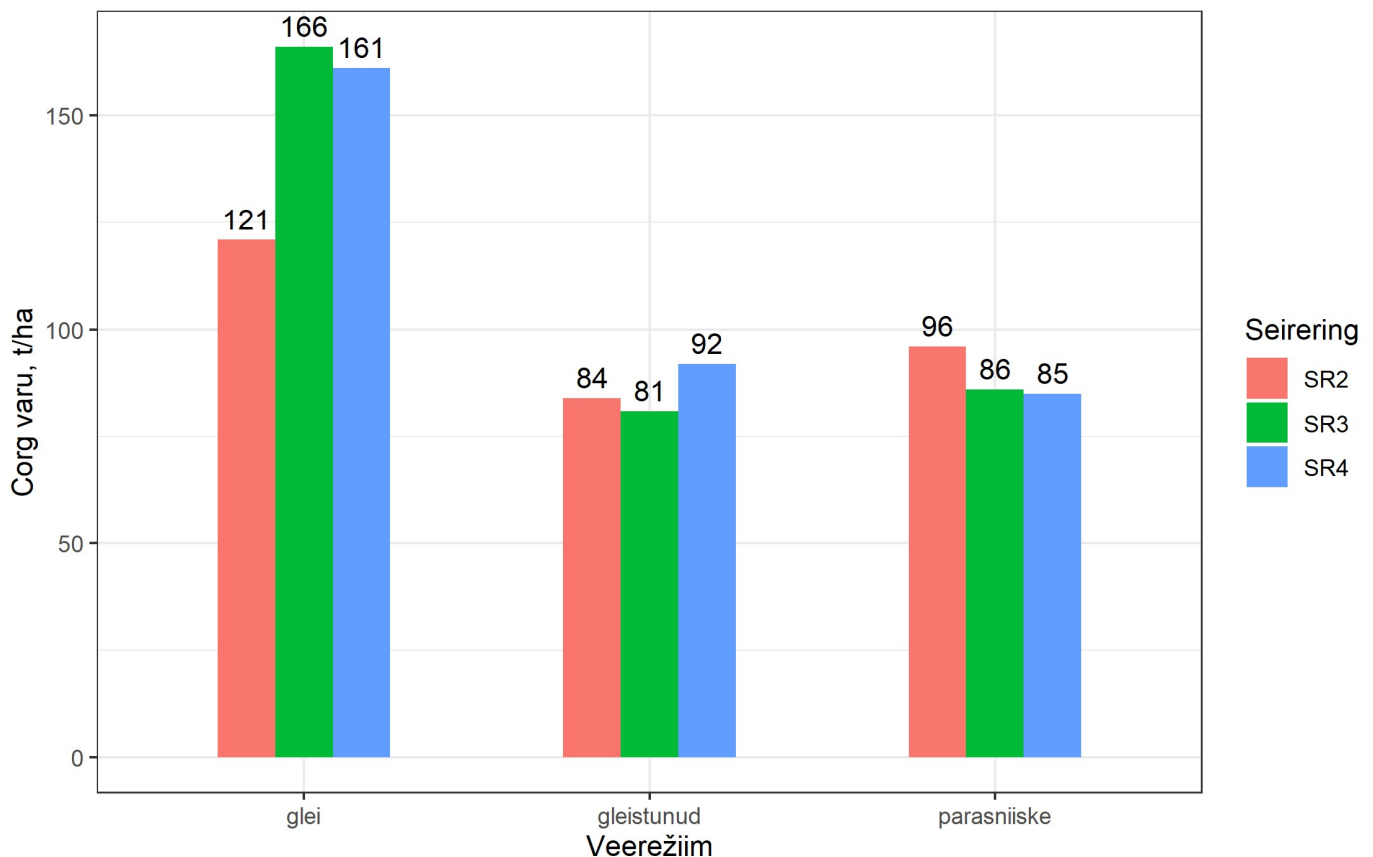
Üle-euroopaliselt teostab muldade seiret European Soil Data Centre (ESDAC) LUCAS mullaseire nimetuse all. Eesti põllumuldadel tehti seiret 49 kohas, mille maakasutus oli PRIA 2022. aasta andmetel põllukultuurid. Enamik LUCAS seirekohtasid asuvad parasniisketil muldadel (Tabel 5). LUCAS andmed Corgi osas on toodud võrdluseks Eesti põllumuldade seirele, kuid andmetöötlust ei ole nendega tehtud. Vaatamata sellele, et LUCAS seirepunktid peaks igal seireaastal olema samas kohas, on aastate vahelised erinevused nii suured, et andmed ei ole usaldusväärsed. Seda just põhjusel, et Corg sisalduse muutused ei toimu nii lühikese aja jooksul ja ühest punktist võetuna tekivad loomulikud vead. Just seepärast on väga oluline ka edaspidi seires kasutada vähemalt 10 erinevat huumuskaevet, mis nõuab võimalikud proovivõtmise asukohast tulenevad vead.

Tabel 5. LUCAS mullaseire Corg sisalduse (%) proovide arv (N), aritmeetiline keskmine ja mediaan erinevatel veerežiimidel 2009-2018

veerežiim	aasta	N	aritm keskm	mediaan
glei	2009	9	3,97	3,1
glei	2015	9	4,02	4,13
glei	2018	9	4,32	4,27
gleistunud	2009	11	1,89	1,85
gleistunud	2015	11	1,80	1,69
gleistunud	2018	11	1,81	1,67
parasniiske	2009	29	1,95	1,92
parasniiske	2015	29	1,75	1,66
parasniiske	2018	29	1,99	1,81

Mulla orgaanilise süsiniku seisundist ja mulla süsiniku sidumisvõimest annab parema ülevaate mulla orgaanilise süsiniku varu huumushorisondis. Näitaja ühendab endas Corg sisalduse, huumushorisondi tuseduse ja mahukaalu parameetrid.

Gleimuldadel on tulenevalt mullatekkeprotsessidest looduslikult kõrgem Corg varu, sest märjemas keskkonnas ei lagune orgaaniline aine nii kiiresti ja seal on Corg sisaldus kõrgem isegi peale kuivendust. Ka püsivaatlusalade muldades on gleimuldadel usutavalt oluliselt kõrgem Corg varu kui gleistunud või parasniisketel muldadel (Joonis 23) ning seda kõikidel seireringidel ( $p < 0,05$ ). Seireringide võrdluses statistiliselt usutavaid muutusi Corg varus toimunud ei ole ning seda peamiselt tänu sellele, et proovikohtade vahel on väga suured erinevused ehk näitaja hajuvus on suur. Parasniiskete ja gleistunud muldade Corg varu on ka absoluutväärtusena sarnased: 81-96 t/ha ning gleimuldades kaks korda kõrgem ca 165 t/ha. Võrreldes eelmise seireringiga on näitaja veidi vähenenud glei- ja parasniisketel muldadel, kuid gleistunud muldadel suurenenud. Üldiselt on aga seegi näitaja stabiilne ning seega seirealade muldade Corg sidumine on jäänud samale tasemele ning olulist muutust C atmosfääri paiskamises seireringide vahel kindlasti ei ole toimunud.



Joonis 23. Orgaanilise süsiniku varu (Corg varu, t/ha) püsivaatlusaladel sõltuvalt valitsevast veerežiimist ning seireringist.

Arvestades, et nii maakasutuse muutused kui kliimamuutused on mõjutamas Corg sisalduse talletumist mullas, siis kasutatakse erinevaid simulatsioonimudeleid prognoosimaks muutuseid erinevate maakasutuse ja kliimastenaariumite alusel. Maakasutuse muutuste poole pealt tuleks edaspidi mudelites kindlasti arvestada põllumajandusmaadele koostatud stsenaariume ja kaardikihte Eestis (Viira, et al., 2023). RothC ja Yasso07 mudelite võrdlustööna Corg varu prognoosimise osas selgus, et Eesti tingimustes tuleks eelistada RothC mudelit (Kauer, Astover, Putku, Penu, & Kikas, 2022). Samas töös analüüsitud andmete põhjal selgus, et Eesti mineraalsete põllumuldade mõõdetud Corg varu Eestis keskmisena on perioodil 2015-2020 vähenenud -0,31 t/ha aastas.

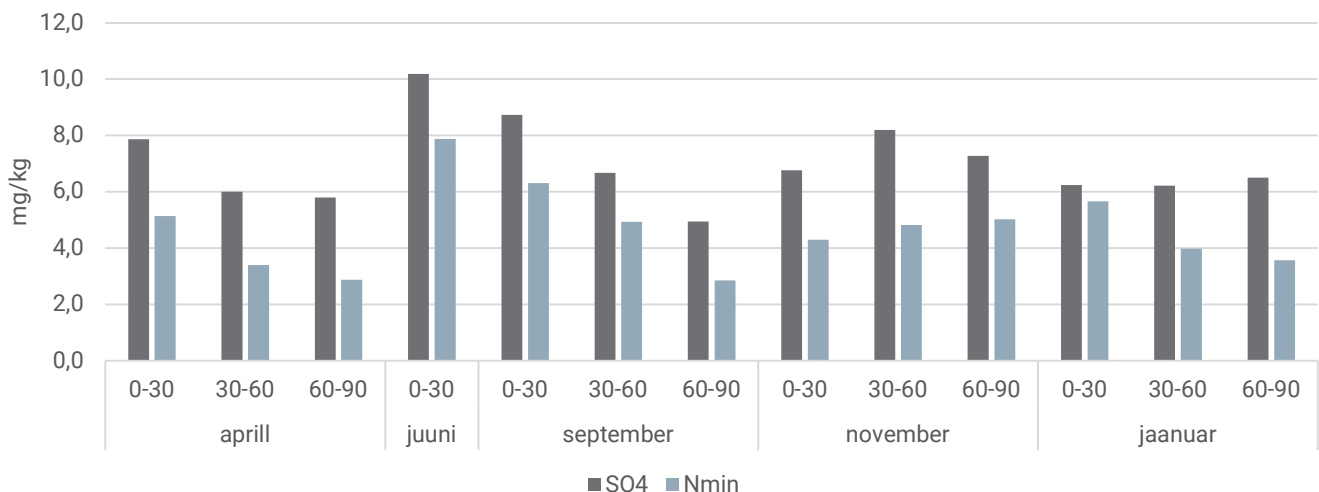


## Taimetoitelementide vertikaalne liikumine mullaprofiilis Aravete alal

2020. aastal rajasime vastavalt lähteülesandele toiteelementide leostumise seireks uue ala Aravetel. Seire eesmärgiks on jälgida toiteelementide ja TKV jääkide sisaldust ja dünaamikat veeseire ala vahetus läheduses. Seirealal on tegemist mullaareaaliga, kus vahelduvad leostunud muld (Ko) ning leetjas muld (KI). Leostumise jälgimiseks kogutakse seirealadelt proovid viis korda nii vegetatsiooniperioodi eelselt jälgimaks talveperioodi muutusi, vegetatsiooniperioodil ning leostumise seisukohalt kriitilisel sügisperioodil kolmest mulla vertikaalkihist (0-30, 30-60 ja 60-90 cm). Proovid kogutakse spetsiaalse 5 cm läbimõõduga mullapuuriga, mis surutakse mulda vastava sügavuseni, tõmmatakse mullast välja ja eemaldatakse puuri sisse kogunenud vastava sügavusvahemiku muld ning moodustatakse peale segamist-homogeniseerimist mullaproov kahes korduses. Mullaproovid külmutati samal päeval sügavkülmikus temperatuuril -18 kraadi, et minimeerida kergesti liikuvate toiteelementidega mullas toimuvaid muutusi. Leostumise selgitamiseks on vajalik kindlasti koguda mullaproovid ka varakevadel, et jälgida potentsiaalset talvist leostumist. Seega on vaja leostumise hindamiseks võtta mullaproove vähemalt 5 korda aastas kolmest erinevast sügavuskihist.

Koondülevaateks leidsime igale proovivõtuajale keskmised sisaldused perioodil september 2020 – jaanuar 2023. Kergesti mullas liikuvate toiteelementide ehk väävli ja mineraalse lämmastiku sisaldus on aastate keskmisena kõrgeimal tasemel ülemises kihis juunis, mil on veel mullas kevadise väetamise mõju (

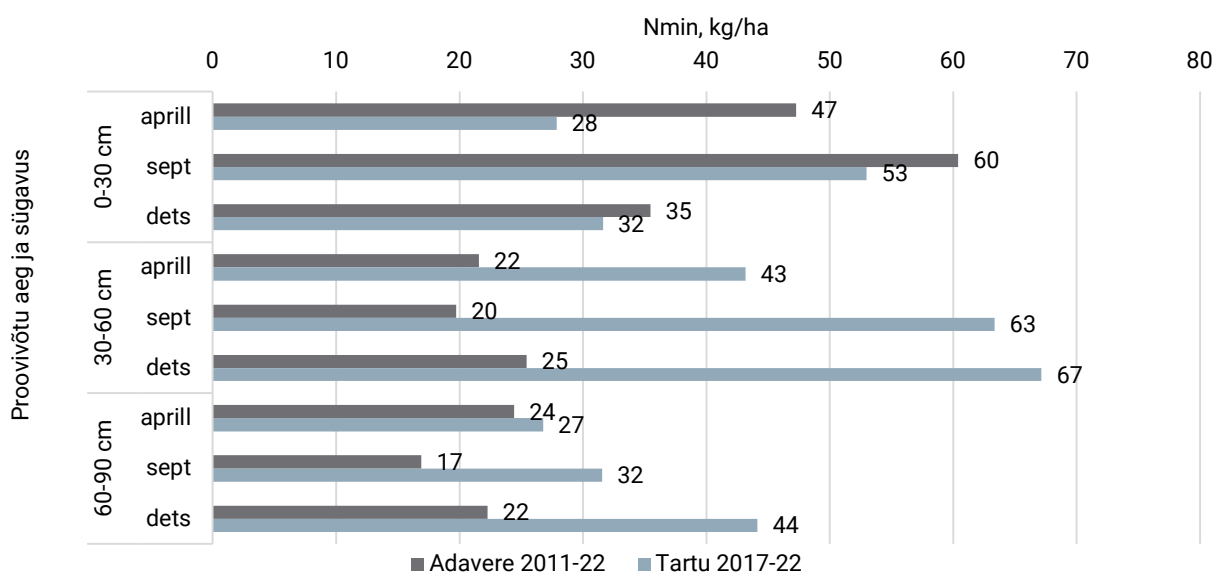
Joonis 24), kuid üldine tase on suhteliselt madal. Leostumise seisukohalt on olulisim sügistalvine periood septembrist jaanuarini, kuid antud alal ei toimu alumistes kihtides märkimisväärset väävli ja Nmin sisalduse tõusu ja seega antud toiteelementide leostumise risk selle põllul on olnud perioodi jooksul väga väike ja pigem lähedane looduslikule foonile.



Joonis 24. Väävli ja mineraalse lämmastiku keskmine sisaldus Aravete seireala mulla erineval sügavusel ja perioodil 2020-2022

PMK poolt läbi viidud pikaajalise uuringu tulemustest kahes piirkonnas 6 alal toiteelementide vertikaalsest dünaamikast mullaprofiilis selgub (Joonis 25), et mullas on igal ajahetkel märkimisväärne kogus mineraalset lämmastikku. Sügisperioodil vähenes Adavere aladel keskmisena mineraalse lämmastiku kogus ülemises mullakihis peamiselt leostumise ning taimede omastamise tulemusena 25 kg/ha, mille tagajärjel suurenes järgmises kihis Nmin kogus 5 kg/ha võrra ja alumises mullakihis samuti 5 kg/ha võrra ning osa liikus veel kiiremini uuritavast sügavusest mullaprofiilis allapoole. 2022. aastal kasutati väetamiseks lämmastikku keskmiselt põllu kohta 142 kg/ha (eelmistel aastatel vastavalt 102 ja 121 kg/ha) ja ligikaudu 1/3 sellest mineraalse lämmastiku kogusest leidis detsembris alumistes mullakihtides ja need ei ole taimede toitumise seisukohast kasutatavad. Adavere alade iseloomustamisel tuleb meeles pidada, et ühel põllul on levinud lämmastikurikas turbamuld ja seega ülemises kihis Nmin sisaldus suhteliselt kõrge ka ilma väetamata. Tartu aladel on ülemises mullakihis üldiselt Nmin kogus seetõttu väiksem, kuid alumistes kihtides kordades suurem kui Adavere alade aastate keskmine, mis viitab oluliselt suuremale toitainete liikumisele mulla vertikaalprofiilis allapoole ning mulla ülemise mullakihi väiksemale Nmin sidumise võimele. Viimane omakorda tähendab antud uurimisaladel mitmel

juhul N väetamist ebaõigel ajal (näiteks digestaat või mineraalväetis sügisel) ja kultuuride reaalsest tarbimisest suuremates kogustes. Viimasel kahel aastal on väiksemaid N väetisnorme timut küllaltki hästi sidunud. Sügisperioodil vähenes ülemises kihis Nmin sisaldus 28 kg/ha võrra ja suurenes keskmise ja alumise kihi Nmin kogus kokku 16 kg/ha võrra. Võrreldes eelmise aastaga on liikumine oluliselt vähenenud seoses eeltoodud põhjustega. Tähelepanuväärne on olukord, kus detsembris oli alumises mullakihis mineraalset lämmastikku rohkem kui ülemises mullakihis. Detsembriks oli kogunenud keskmisesse ja alumisse mullakihti kokku 111 kg/ha mineraalset lämmastikku, millest muld suudab siduda ainult ca 30% ning ülejäänud liigub veelgi allapoole ja pole kindlasti enam edaspidi taimedele kättesaadav.



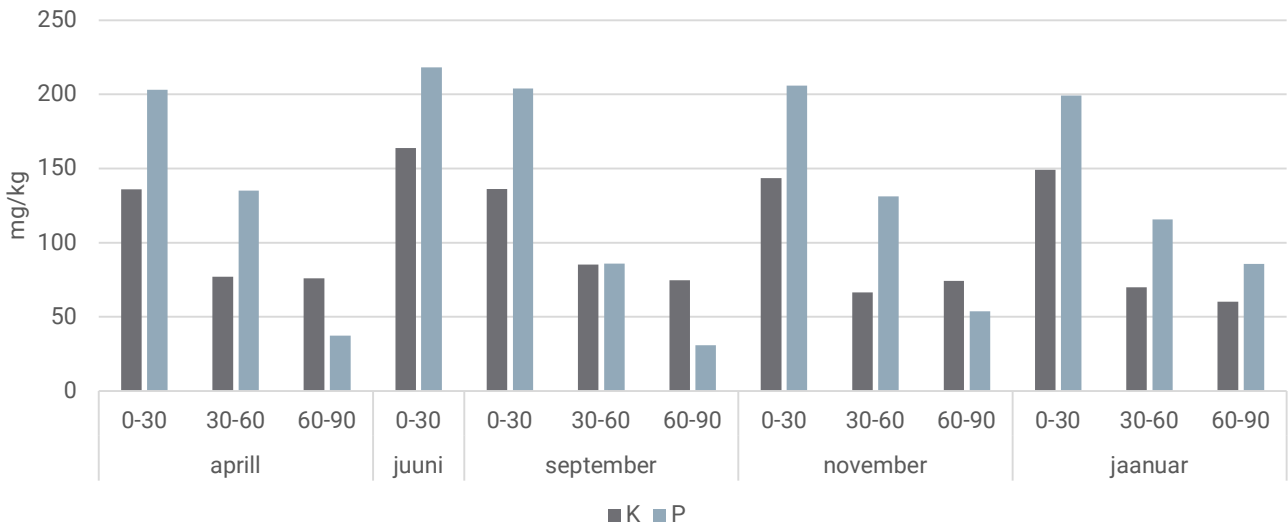
Joonis 25. Mineraalse lämmastiku kogused kg/ha ja muutus erinevates mullakihtides Adavere alade keskmisena 2011-2022 ja Tartu alade keskmisena 2017-2022 perioodil

PMK drenivee pikaajaline uuring näitab (Tabel 6), et Nmin leostumine dreniveega sõltub nii aastast kui ka majandamisviisist, mida antud joonisel iseloomustab toetustüüp. Keskmiselt leostus perioodil 2014-22 aastal 20-35 kg/ha lämmastikku KSM ja ÜPT põldudel ning mahepõldudel oli leostumine väga väike ja sisuliselt sarnane loodusliku fooni leostumisele.

Tabel 6. Leostumine dreniveega erinevatel perioodidel toetustüüpide lõikes

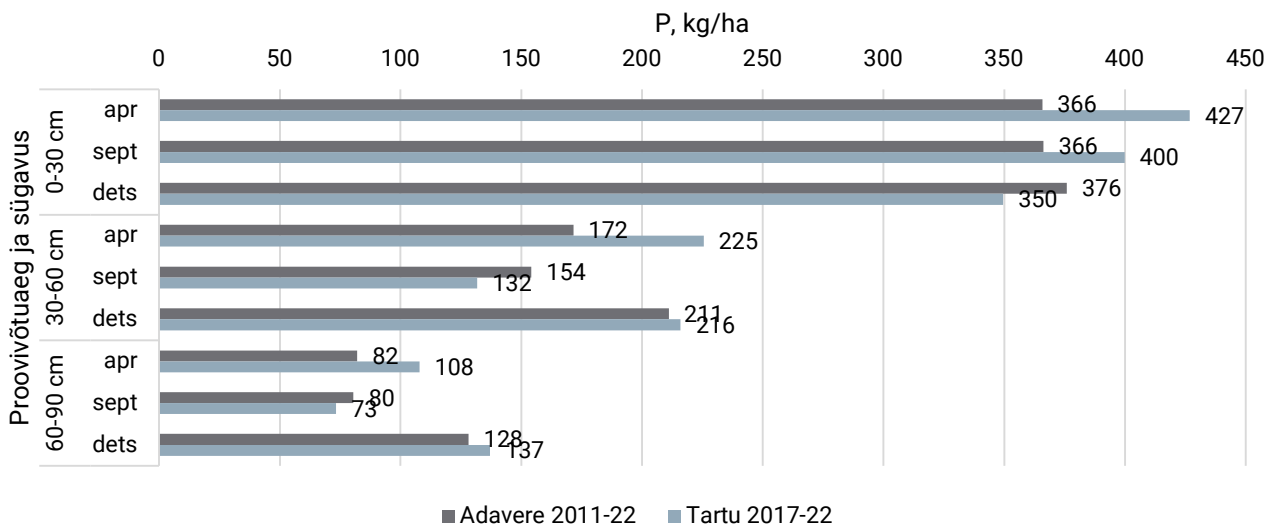
Toetustüüp	N leostumine, kg/ha/a									
	2007-2013	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2014-2022
KSM	15,6	15,6	18,3	20,0	24,1	17,7	30,7	17,6	21,3	20,7
ÜPT	22,4	32,3	53,4	30,8	40,4	19,7	19,9	21,8	67,2	35,7
MAHE	3,1	0,5	4,1	7,0	1,3	0,9		0,4	0,2	2,1

Makroelementide P ja K dünaamika mullas näitab (Joonis 26), et K üldine sisaldus ülemises mullakihis on optimaalne, kuid P sisaldus optimaalsest kõrgem. Aasta jooksul mõlema liikuva elemendi sisaldus ülemises mullakihis kõigub suhteliselt vähe ja mõlema näitaja sisaldus alumistes kihtides on oluliselt madalam, kuid isegi keskmises mullakihis on vastav näitaja optimaalne ehk antud kontekstis suhteliselt kõrge. Oluline erinevus kahe toiteelemendi käitumises avaldub sügistalvisel perioodil, kus K sisaldus pigem väheneb, kuid P sisaldus alumistes kihtides suureneb. Eriti palju suureneb P sisaldus alumises kihis perioodil september-jaanuar, lausa 3 korda. Seega on põllul üsna suur fosfori leostumise oht tänu kõrgele mulla P sisaldusele ja see väljendub alumiste kihtide P sisalduse tõusuga sügistalvisel perioodil. Kuna aprilliks on alumise kihi P sisaldus vähenenud, siis vähemalt osaliselt liigub P mullaprofiilis seega allapoole.



Joonis 26. Fosfori ja kaaliumi keskmine sisaldus Aravete seireala mulla erineval sügavusel ja perioodil 2020-2022

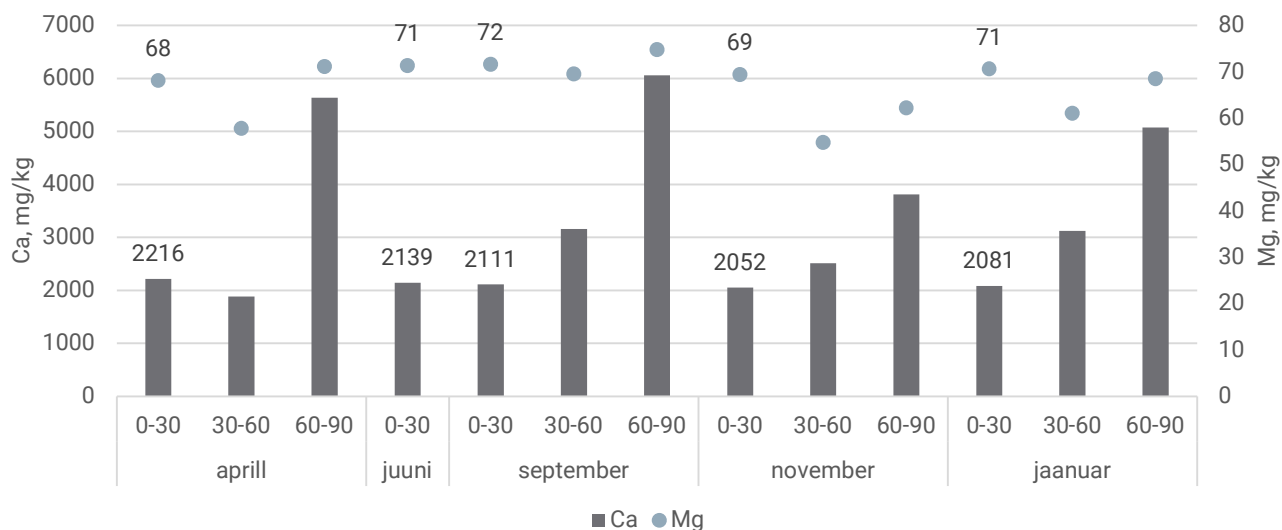
Liikuvat P kogused mullas on oluliselt suuremad kui Nmin ja elemendi puhul oli alade võrdluses ülemises kihis P kogused üldiselt veidi suuremad Tartu aladel (Joonis 27). Erinevus liikuvat P ja Nmin koguste muutustes ülemises kihis seisneb eeskätt selles, et kui Nmin vähenes sügisperioodil, siis ülemise kihi P olid pigem stabiilsed või isegi suurenevad. Eeskätt on see tingitud P väiksemast liikuvusest mullas. Alumistes kihtides olid erinevused piirkondade vahel väiksemad või teatud juhtudel ka puudusid. Fosfori puhul toimub suurem liikumine allapoole sügisperioodil, kus P sisaldus suurenes keskmises ja sügavamas kihis nii Adavere kui ka Tartu aladel. Talveperioodil detsembrist aprillini üldiselt P sisaldus vähenes, välja arvatud Tartu aladel keskmises kihis. Ilmselt viitab see Tartu alade oluliselt kõrgemale väetamise tasemele ja P aeglasemale liikuvusele mullas ehk mulla paremale sidumisvõimele alumistes kihtides.



Joonis 27. Liikuvat fosfori kogused kg/ha ja muutus erinevates mullakihtides Adavere alade keskmisena 2011-2022 ja Tartu alade keskmisena 2017-2022 perioodil

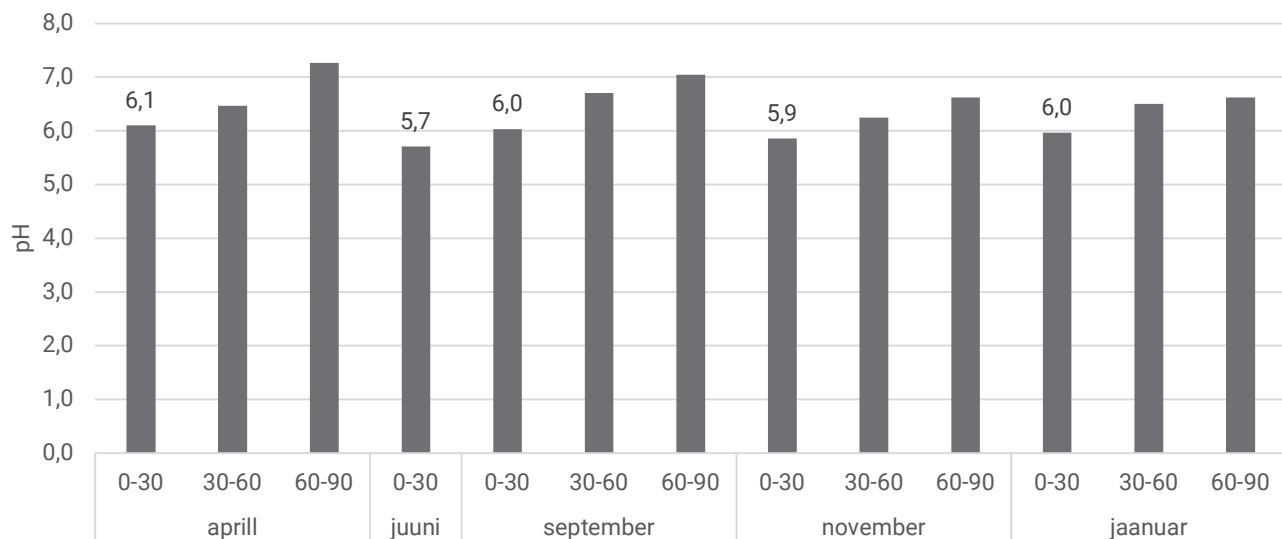
Mulla liikuvat Ca ja Mg sisalduse dünaamika näitab (Joonis 28), et vastupidiselt P ja K sisaldusele nende elementide sisaldus alumistes kihtides pigem suureneb, seda eriti Ca puhul, kus tõus on mitmekordne. Ca sisaldus ülemises kihis on optimaalne, Mg sisaldus on veidi optimaalsest madalam. Aasta jooksul püsib Ca sisaldus ülemises kihis stabiilselt 2000 mg/kg tasemel ning Mg sisaldus stabiilselt 70 mg/kg juures. Mõlema elemendi puhul toimub suur muutus alumises kihis,

kus näitajad vähenevad sügisperioodil oluliselt tänu leostumisele, kuid tegemist on pigem loodusliku protsessiga ja keskkonnale ohtu ei kujuta.



Joonis 28. Kaltsiumi ja magneesiumi keskmine sisaldus Aravete seireala mulla erineval sügavusel ja perioodil 2020-2022

Oluline on jälgida ka mulla pH muutusi ja selgub (Joonis 29), et ülemises kihis on kõige happelisem muld taimede aktiivse kasvu faasis juunis, mil on mullas ka veel happeliste väetiste jäänuseid tarbimata kujul. Samuti eritavad taimed mulda happelisi juureeritisi. Alumistes kihtides happesus lähtekivimi mõjul tõuseb veidi ning väikesed muutused toimuvad ka perioodi jooksul, mis on pigem vähetähtsad.



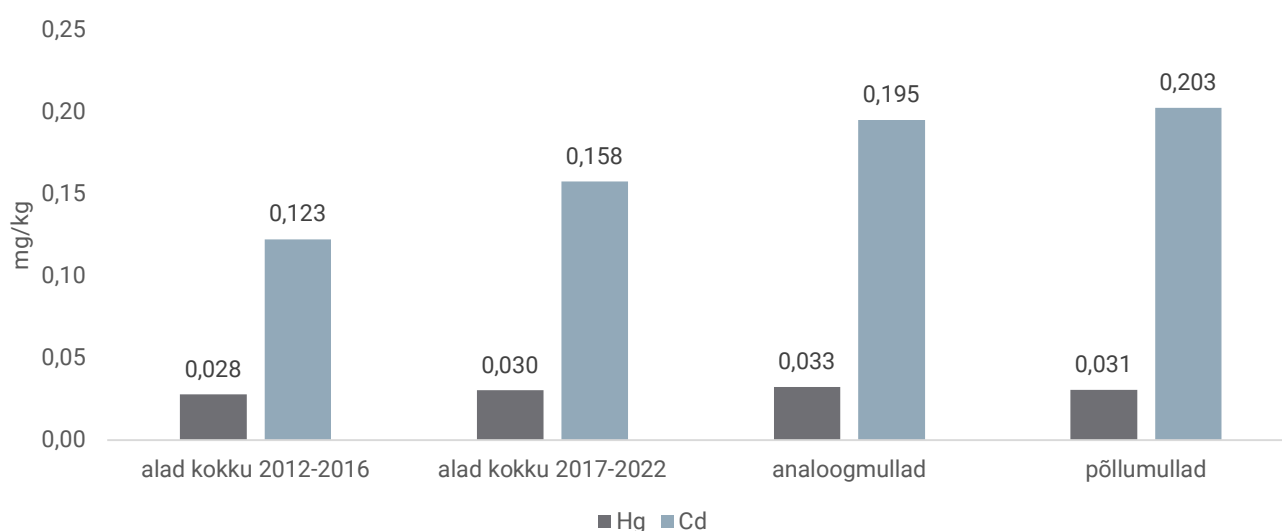
Joonis 29. Mulla pH keskmine sisaldus Aravete seireala erineval sügavusel ja perioodil 2020-2022

Taimekaitsevahendite jääke leiti Aravete alalt keskmiselt summana 0,12 mg/kg ja 5 erinevat TKV jääki ning raskmetallide kogusisaldus oli suhteliselt kõrge - 97 mg/kg, millest suurema osa moodustas väga kõrge sisaldusega Zn (58 mg/kg). Kahjuks ei oska sellist kõrget Zn sisaldust mullas põhjendada, ülejäänud raskmetallide sisaldus oli tavapärase.

## Raskmetallide sisaldus erinevatel muldadel

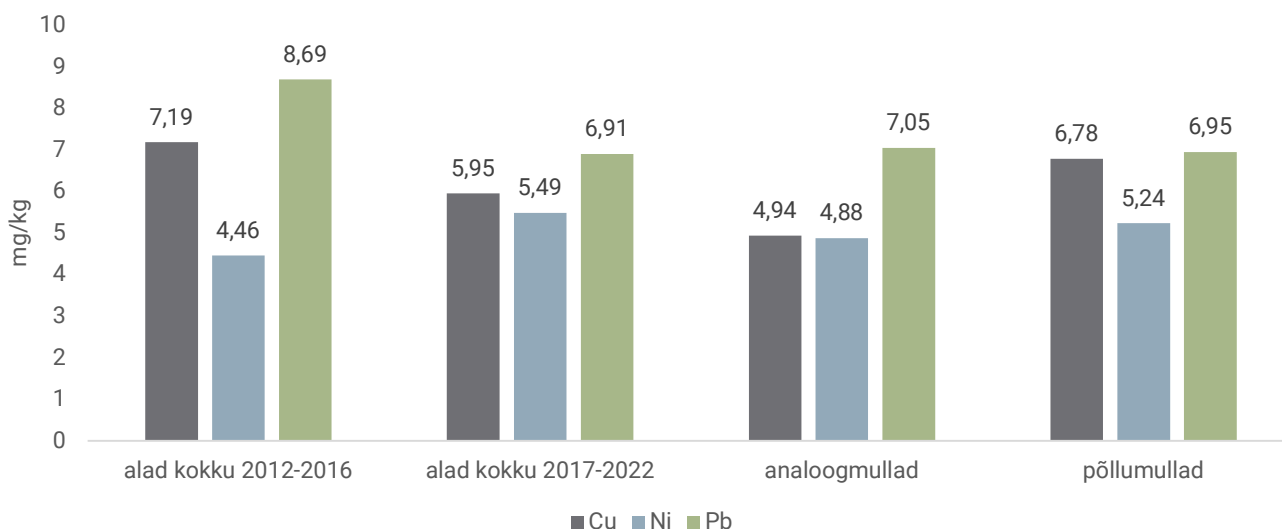
Muldades leidub erinevaid raskmetalle (Cd, Hg, Pb, Ni, Cr) ja mikroelemente (Co, Cu, Mn, Se, Zn), mille kõrge kontsentratsioon võib olla toksiline nii taimedele kui ka elusorganismidele. Keskkonnaministri poolt on määratletud ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases (<https://www.riigiteataja.ee/akt/104072019006>), mille alusel hinnatakse pinnase seisundit piirarvu ja sihtarvu kaudu. Sihtarv piiritleb ohtliku aine kontsentratsiooni, millest väiksema sisalduse puhul loetakse mulla kvaliteeti heaks. Piirarv aga määratleb elumaal ja tööstusmaal ohtliku aine sisaldust pinnases, millest suurema väärtuse korral loetakse pinnas saastunuks.

Seirealadel toimunud muutused raskmetallide sisalduses koondhinnanguna näitavad (Joonis 30), et võrreldes eelmise ringiga on alade keskmisena Hg sisaldus tõusnud 0,02 mg/kg ehk 7% ning Cd sisaldus suurenes seireperioodil alade keskmisena oluliselt rohkem - 28%. Võrreldes põllumuldi ja analoogmuldi selgus, et looduslikud analoogmullad sisaldavad veidi rohkem Hg ja veidi vähem Cd, kuid üldiselt on sisaldused suhteliselt sarnased.



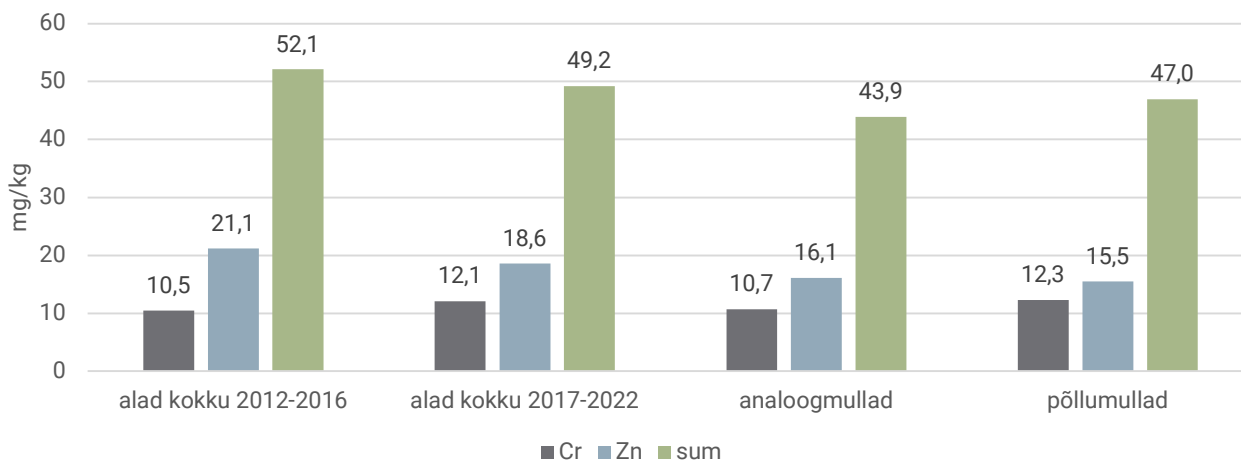
Joonis 30. Raskmetallide Hg ja Cd sisaldus muldades erinevatel perioodidel ning analoogmuldadel.

Võrreldes eelmise seireringiga oli Cu sisaldus aladel vähenenud 17% (Joonis 31), kuid peamiselt põhjustas selle Tooma turbamulla seireala väga suur Cu sisalduse vähenemine ja teistel aladel oli muutused oluliselt väiksemad ning ilma Tooma seirealata oleks keskmine Cu sisaldus veidi suurenenud. Ni sisaldus suurenes seireperioodi vahelisel ajal 23% ning Pb sisaldus vastupidiselt vähenes ca 20%. Looduslikel analoogmuldadel on suhteliselt palju väiksem Cu ja veidi väiksem Ni sisaldus ning veidi suurem Pb sisaldus võrreldes põllumuldadega.



Joonis 31. Raskmetallide Cu, Ni ja Pb sisaldus muldades erinevatel perioodidel ning analoogmuldadel

Raskmetallidest suurenes veel seirealade keskmisena Cr sisaldus 15%, kuid Zn sisaldus vähenes ca 12% (Joonis 32). Määratud raskmetallide kogusisaldus seireringide vahel siiski langes veidi ehk 1,7%. Siinjuures suurenesid Hg, Cd, Ni ja Cr sisaldused. Analoogmullad sisaldasid vähem Cr, kuid rohkem Ni ja samuti oli 3,1 mg/kg ehk 7% võrra väiksem üldine raskmetallide sisaldus kui sarnastes tingimustes olevatel põllumuldadel.



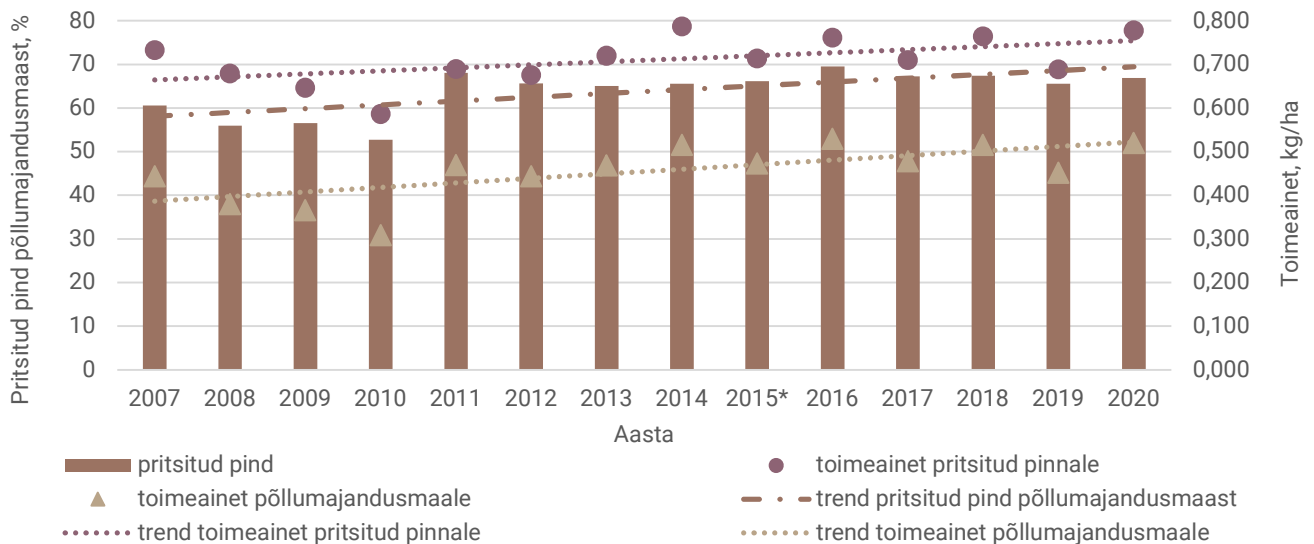
Joonis 32. Raskmetallide Cr, Zn ja raskmetallide summaarne sisaldus muldades erinevatel perioodidel ning analoogmuldadel

Raskmetallid kui ühed võimalikud saasteained iseloomustavad potentsiaalseid negatiivseid keskkonnamuutusi ja häiringuid. Antud analüüsil selgus, et seireperioodi jooksul ei toimunud olulisi muutusi muldade raskmetallide sisalduses, va Tooma alal vähenes Cu sisaldus oluliselt. Ülejäänud aladel olid muutused suhteliselt väikesed ja määratud raskmetallide kogusisaldus langes veidi. Samas võib täheldada mõningast raskmetallide suuremat kogusisaldus põllumuldades võrreldes lähedal asuvate looduslike muldadega.

## Taimkaitsevahendite jääkide sisaldus muldades

Püsivaatlusaladelt kogutud taimkaitsevahendite jääkide proovide arv on suhteliselt väike ning seetõttu on koondaruandes vaadeldud mullas leidunud pestitsiidijääke koos teiste uuringutes määratud vastavate näitajatega, mille alusel on võimalik teha veidi suurem üldistus. Seega oleme antud peatükki statistilisse materjali kaasanud ka PMK poolt MAKi seire ja hindamise raames uuringu „Taimkaitsevahendite jääkide sisaldus ja erinevate toimeainete püsimine mullas erineva agrotehnoloogia rakendamisel“ tootmis põldudel kogutud mullaproovide tulemused ja laiema taustainfona ka „Pestitsiidide kasutuskõormuse uuring 2007-2020 kohta“.

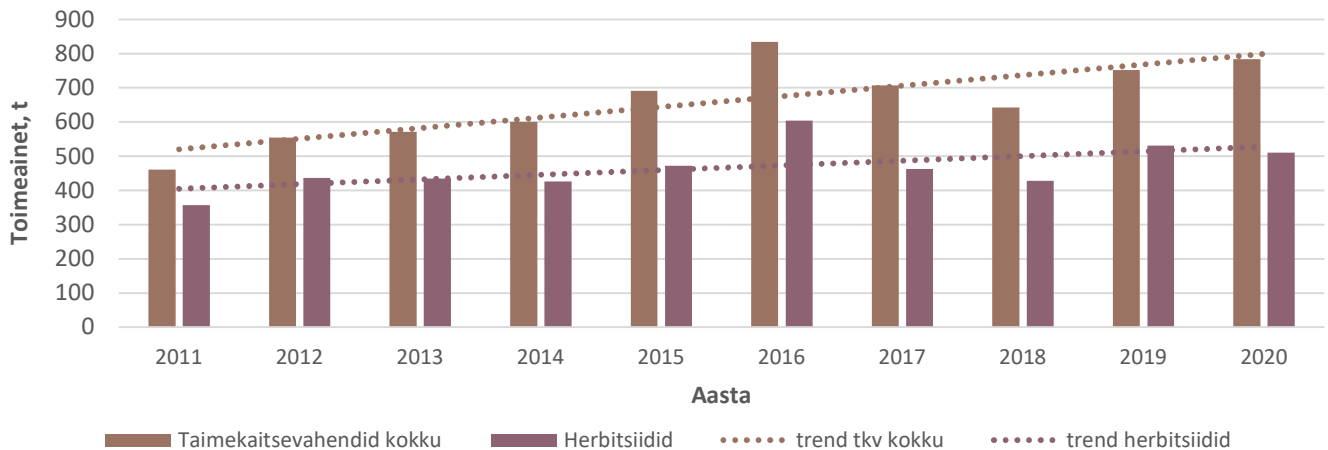
Seireperioodil 2007-2020 varieerus pestitsiididega pritsitud pind ja taimkahjustajate tõrjeks kasutati erinevatel aastatel suuremaid ja väiksemaid pestitsiidide koguseid pritsitud pinna ja põllumajandusmaa kohta (Joonis 33). Seiretegevõtete keskmine trend näitab pestitsiidide kasutuskõormuse suurenemist, seda nii pritsitud pinna kui kasutatud koguste arvustuses. (PMK, 2022)



\*2015. aastal muudeti seirevalimit (2007.-2014. aastal ~80 ettevõtet, seireala ~8700 ha; alates 2015. aastast ~120 ettevõtet, seireala ~13 500 ha)

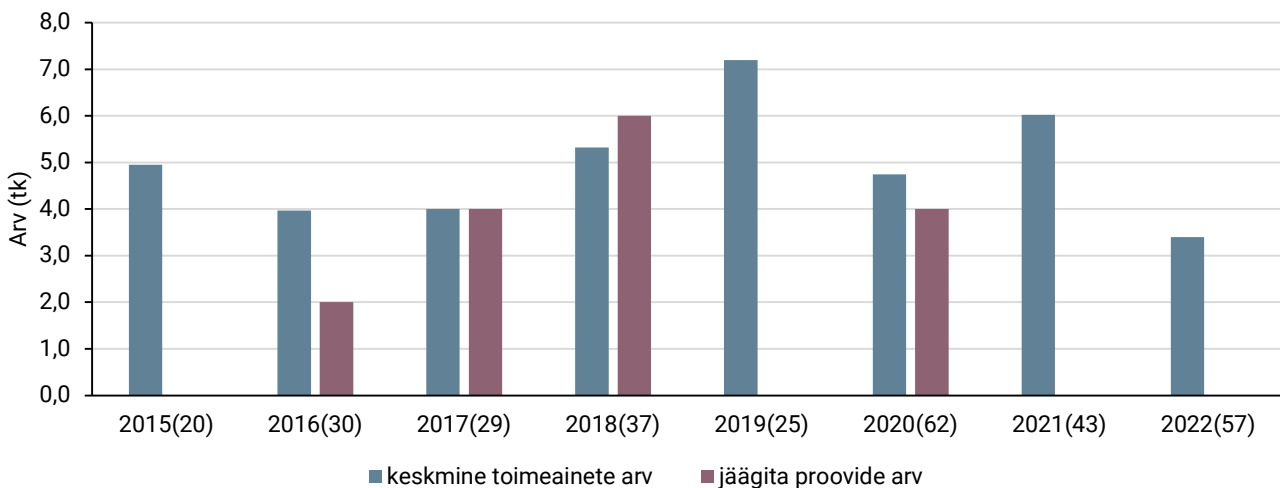
Joonis 33. Seiretegevõtete keskmisena pritsitud pind põllumajandusmaast, kasutatud toimeainet pritsitud pinnale ja põllumajandusmaale ning trend perioodil 2007-2020 (PMK, 2022)

Statistikaameti andmetel turustati Eestis 2020. aastal taimkaitsevahendite toimeainet kokku 784 tonni, mida oli 259 tonni (49%) rohkem kui referentsaastate (2010-2013) keskmisena (525 t) ja 32 tonni (4%) rohkem kui 2019. aastal (Joonis 34). Eestis turustatud pestitsiidide toimeainest moodustasid herbitsiidid 2020. aastal 65%, fungitsiidid 18%, insektitsiidid 2% ja kõik muud taimkaitsevahendid 14%. Aastatel 2011-2020 Eestis müüdud taimkaitsevahendite koguste trend iseloomustab müügi suurenemist, herbitsiidide müük suurenes väiksemas mahu. (PMK, 2022)



Joonis 34. Eestis turustatud taimekaitsevahendite ja herbitsiidide toimeaine kogus ja trend perioodil 2011-2020 (Statistikaameti 2022. andmed)

METK uuringu raames koondati kokku 2015-2022 aastatel erinevate uuringute käigus analüüsitud mullaproovid ja neist tuvastatud TKV toimeainete jääkide ja jälgede esinemise sageduse (METKtkv, 2022). 2015-2021 aasta tulemused sisaldavad nii jääkide kui ka jälgede tulemusi, kuid 2022 aasta tulemustes on esitatud ainult leitud TKV jääkide arvud. Eelnevates uuringutes on TKV jäljed moodustanud 33-56% kõikidest TKV toimeainete leidudest, mis on hoidnud tuvastatud TKV toimeainete keskmise arvu proovi kohta kõrgel (Joonis 35). Kuna 2022. a jälgesid esmakordselt enam ei esitata, oli keskmine toimeainete hulk proovis ka väiksem, mistõttu proovi kohta leiti keskmiselt 3,4 erinevat TKV toimeainet. Sarnaselt aastatele 2021 ja 2019 ei tuvastatud ka 2022. aastal ühtegi proovi, millel polnud TKV toimeaine jääki. Siinjuures tuleb arvestada, et glüfosaadi metaboliidi AMPA jääki on määratud viimased 3 aastad, varasemalt seda ei määratud. Samuti on osaliselt paranenud nii määramise meetodika kui ka tehniline võimekus.

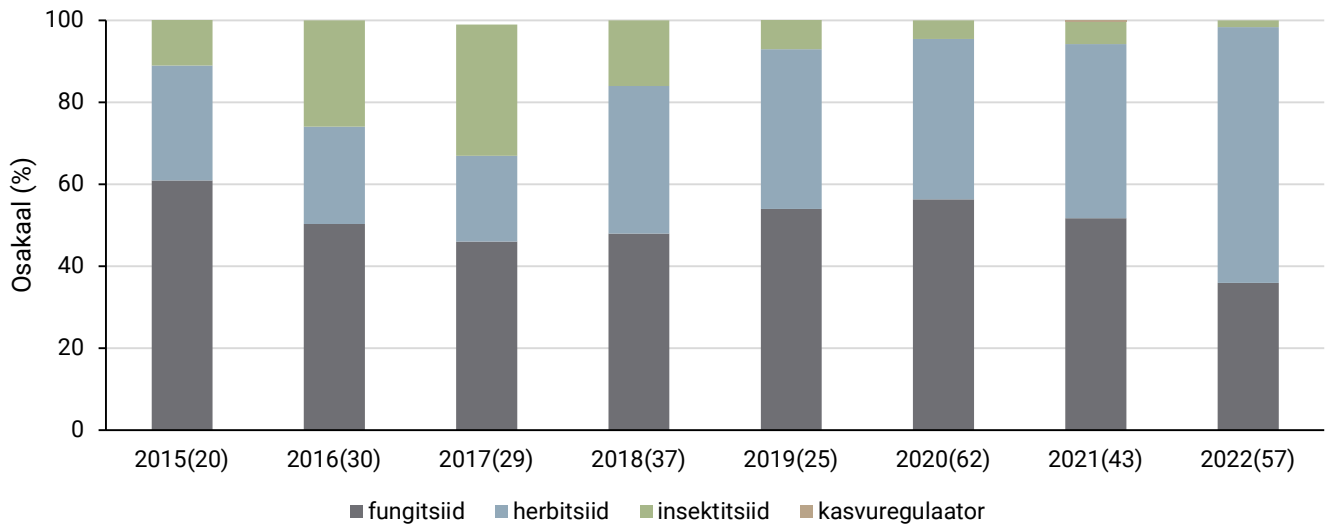


Joonis 35. Keskmine TKV toimeainete jääkide (2015-2022) ja jälgede (2015-2021) arv proovides ja jäägita proovide arv perioodil 2015-2022. Sulgudes on esitatud erinevate uuringute raames kokkuvõetud proovide arv (METKtkv, 2022)

Kuna ajalises võrdluses pole TKV toimeainete liikidest varasemalt metaboliite eraldatud, siis võrdväärse andmevõrdluse eesmärgil (Joonis 36) on metaboliidid arvatud kindla TKV toimeaine grupi hulka, mis vastab eelnevate aastate grupeeringutele. 2015-2022 aastate andmete võrdlusest selgub, et kui 2017-2020 aastate lõikes oli suurenenud fungitsiidide osakaal, siis viimased kaks aastat on fungitsiidide leide olnud vähem ning märgatavalt on suurenenud herbitsiidide osakaalu tähtsus. Kui 2020. aastal moodustasid herbitsiidid 39% kõikidest TKV jääkide leidudest, siis 2021. aastal oli see 42% ja 2022. aastal 63%. Aastate lõikes on vähenenud ka insektitsiidide leiud, mis 2022. aastal moodustasid

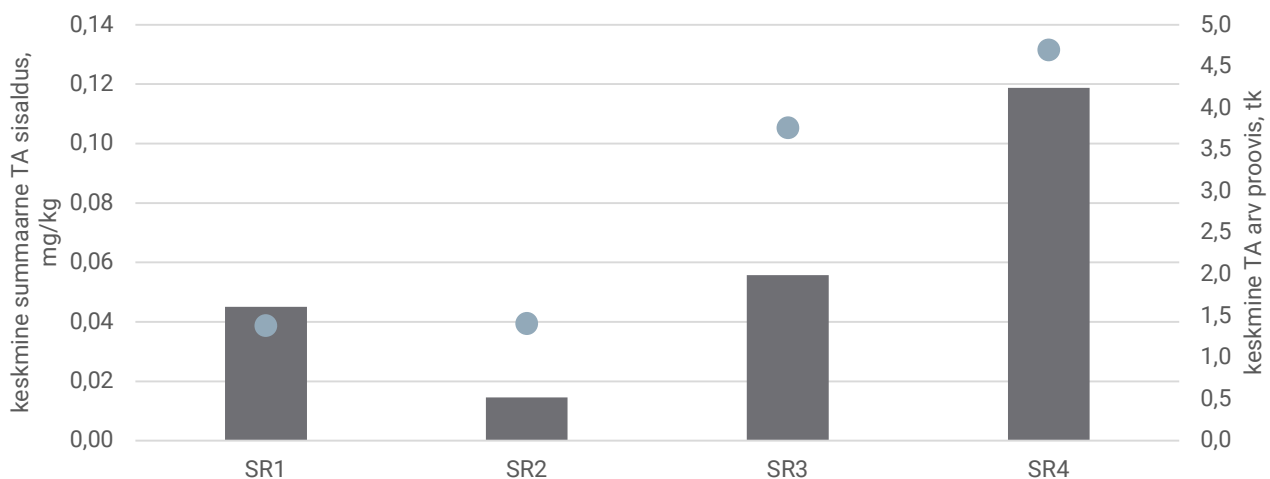


kõigest 1,6% kõikidest TKV jääkide leidudest. Kõik insektitsiidid, mis 2022. aastal tuvastati, kuulusid keelustatud TKV toimeainete nimistusse (DDT). (METKtkv, 2022)



Joonis 36. TKV toimeainete liikide osakaal perioodil 2015-2022. Sulgudes on esitatud erinevate uuringute raames kokku kogutud proovide arv (METKtkv, 2022)

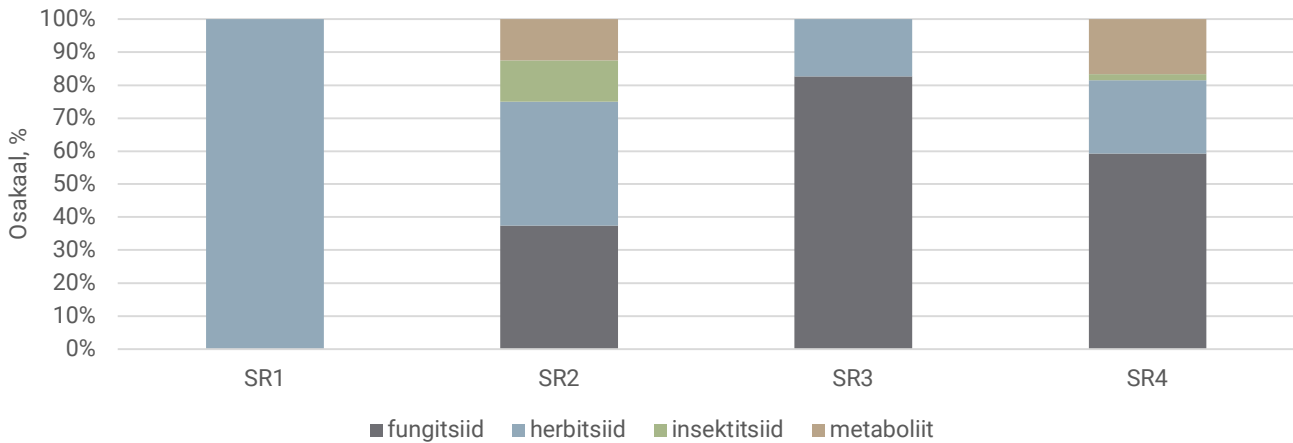
Põllumuldade seires määratakse TKV jääke alates 2005. aastast. Analüüsil tuleb täpsustada, et kuna ka TKV jääkide labori meetodika on edasi arenenud võrreldes algusaastatega, siis ka tänu sellele suudetakse määrata rohkem erinevaid TKV jääke mullas. Seda ilmestab keskmine toimeainete arv proovis, mis on suurenenud kolmandal ja neljandal seireringil (Joonis 37). Neljandal seireringil oli keskmine TA arv proovis 4,7, mis on 3,4 korda rohkem kui esimesel seireringil. Samuti on seireringide võrdluses suurenenud ka keskmine summaarne TA sisaldus proovis. Kuigi esimesel ja teisel seireringil on keskmine TA arv proovis sarnane, siis keskmine summaarne TA sisaldus on oluliselt kõrgem esimesel seireringil. Neljanda seireringi keskmine summaarne toimeainete sisaldus on 0,12 mg/kg ning ainult 7 alal 23-st ei leitud TKV jääke. See oli esmakordselt seireringide võrdluses kus TKV jääkideta proove oli vähem kui jääkidega proove.



Joonis 37. Keskmine TKV toimeainete jääkide summaarne sisaldus (mg/kg) ja keskmine TKV toimeainete jääkide arv (tk) püsivaatlusaladel

TKV toimeainete jääkidest leiti esimesel seireringil ainult herbitsiide, kuid järgnevatel aastatel ka teisi TKV liike (

Joonis 38). Enim leitakse proovidest fungitsiidide jääke. Iga aasta leitakse ka TKV laguproduktide ehk metaboliitide jääke, peamiselt glüfosaadi metaboliiti AMPAt. Samuti on jälgedena seirealadel leitud ka DDT laguprodukte (SR1-SR3) vaatamata sellele et DDT on keelustatud TKV. DDT puhul tuleb arvestada ainete triiviga atmosfääris, kuna eeskätt Aafrikas ja ka ida pool on DDT siiani kasutusel.



Joonis 38. TKV toimeainete liikide ja nende metaboliitide osakaal seireringidel

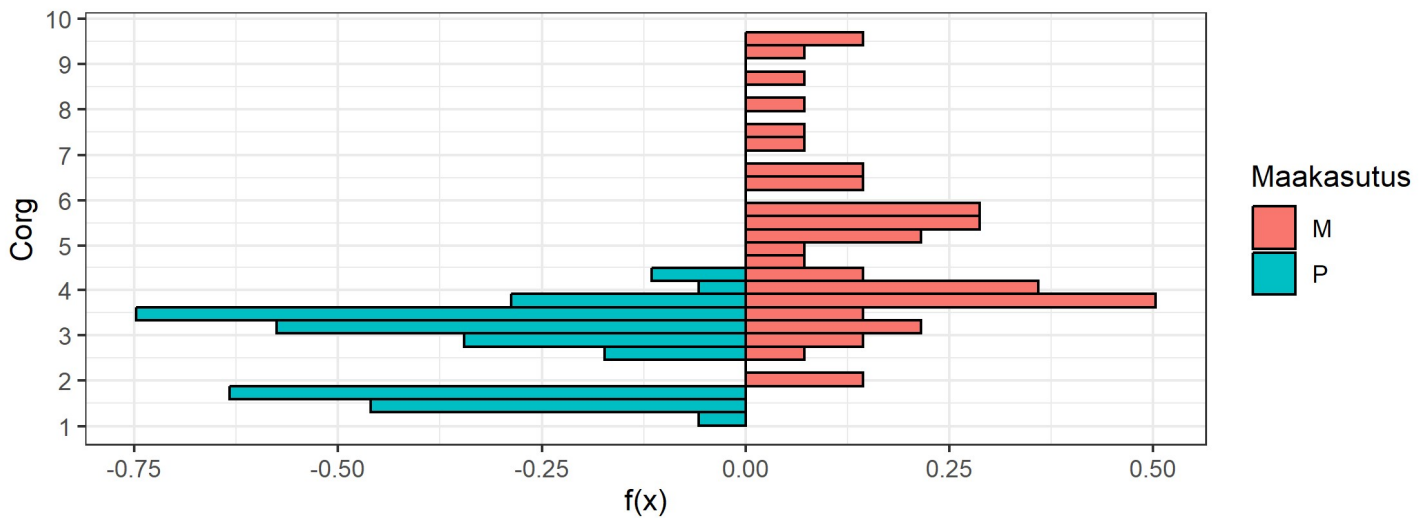
## Põllumuldade ja nende muldade metsaanaloogide võrdlus

Metsaanaloogide võrdluses vaatleme erinevusi mulla omadustes kuue erineva ala näitel: Holtsi, Kiilaspere, Laheva, Langi, Naadimetsa ja Risti. Nendelt aladelt on 2020-2022 seire käigus koguti lisaks põldudele ka metsaanaloogidelt proovid, et hinnata kui suured muutused toimuvad muldadega nende majandamisel. Selgituseks lisame, et kuna tegemist on seni veel suhteliselt väikese valimiga, siis antud statistika ei ole kindlasti laiendatav ja kehtib ainult sellele valimile.

Kuigi metsaanaloogidel on huumushorisoni peal ka kõduhorisont, siis põldudega võrdlemiseks kasutame kõduhorisoni alla jäävat huumus- või toorhumuslikku horisonti. Põllumuldade huumushorisoni tusedus mediaankeskmise on 34,5 cm, mis on 1,5 cm võrra tusedam kui metsaanaloogidel ja tegemist on suhteliselt väikese erinevusega.

Metsaanaloogide Corg sisaldus on kõrgem kui põldudel, mida iseloomustab hästi vastav histogramm: põldudel on kõrgeim Corg sisaldus 4,3%, ent metsaanaloogidel 9,6% (

Joonis 39). Ka Corg sisaldus mediaan on seetõttu metsaanaloogidel kõrgem kui põllul, vastavalt 4,5% ja 3,2%. Suur erinevus Corg sisalduses maakasutuse võrdluses on ootuspärane, sest põllumuldades on orgaaniline aine kogu aeg pidevas ringluses tänu harimisele, kuid metsamuldades toimub pidev orgaanilise süsiniku kuhjumine peamiselt mulla pindmisse kihti ja sidumine ka mullaprofiilis allapoole, kus orgaanilise aine allikaks on võimas taimede juurestik. Selline statistiline tulemus on igati kooskõlas seni kirjeldatud metsa- ja põllumuldade erinevustega.

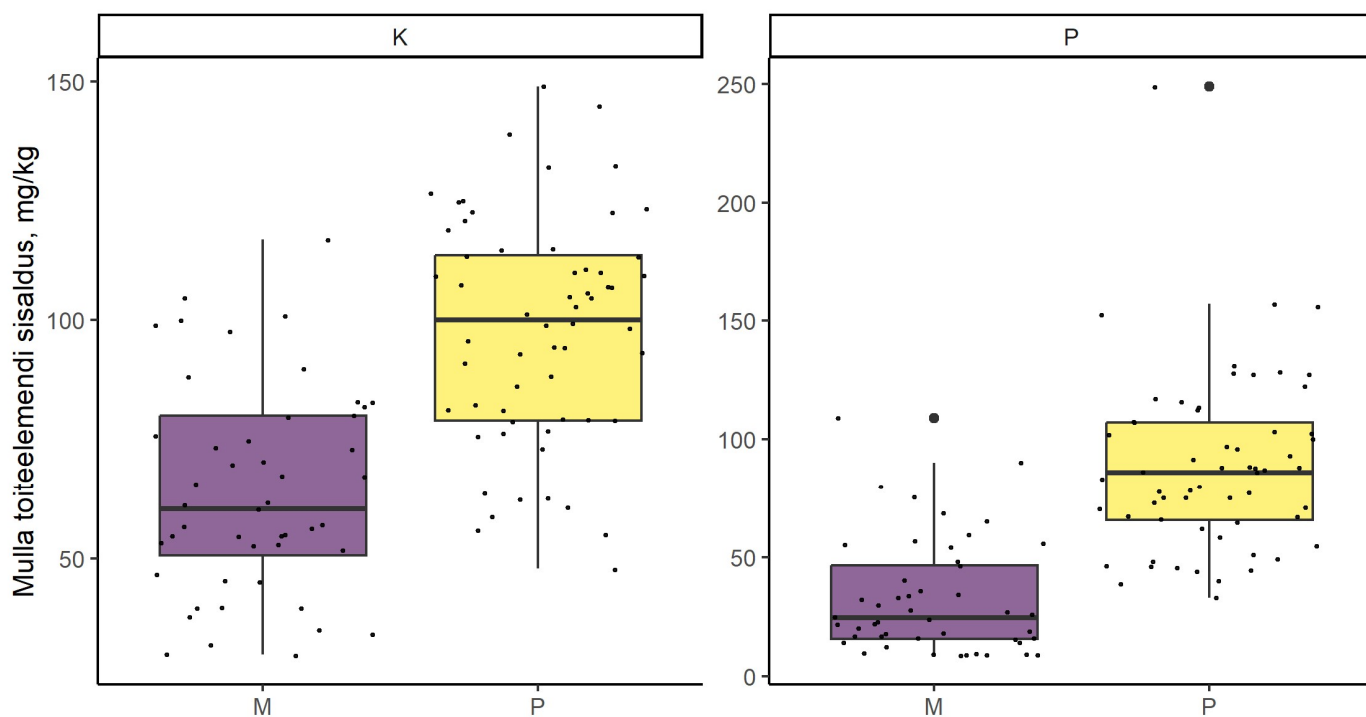


Joonis 39. Põllu ja metsaanaloogide orgaanilise süsiniku (Corg, %) sisalduse histogrammid

Mulla lasuvustihedus on metsamuldadel madalama mediaaniga  $1,03 \text{ g/cm}^3$  võrreldes põldudega ( $1,33 \text{ g/cm}^3$ ). Vaatamata madalamale huumushorisoni tusedusele ja lasuvustihedusele on tänu kõrgele Corg sisaldusele metsaanaloogide Corgvaru põllumuldadest  $21 \text{ t/ha}$  võrra kõrgem ehk  $147 \text{ t/ha}$ . Paraku ei ole see statistiliselt usutav erinevus kahe maakasutusklassi vahel, mis on tingitud püsivaatlusalade vahelisest suurest varieeruvusest. Samuti tuleb arvestada ka näiteks suurkivisuse ja koresega, mis põldudelt on ajaloo jooksul paljuski eemaldatud, kuid metsades olemas ja nende mahaarvamine tegelikult ilmselt vähendab veidi metsamuldade Corg varu.

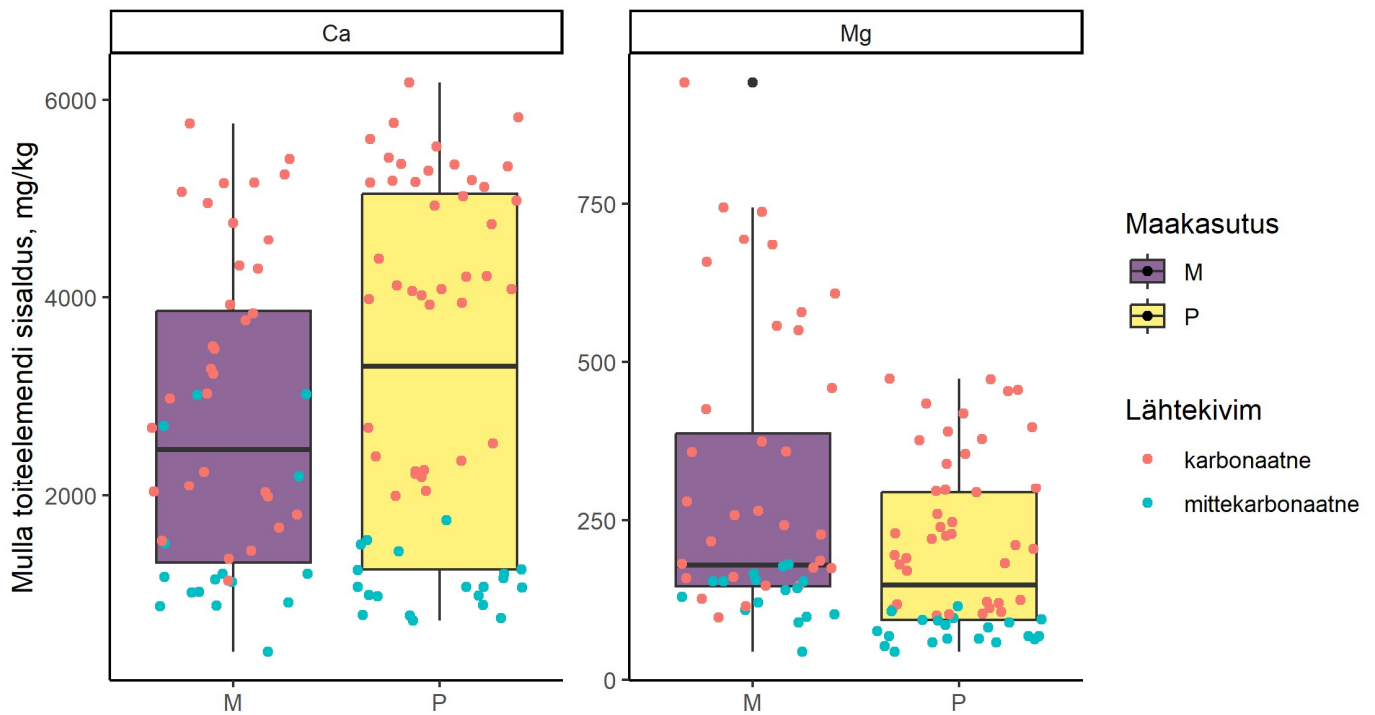
Mullareaktsioon on madalam ehk happelisem ootuspäraselt metsaanaloogidel, vastavalt  $5,7$  võrreldes põldude  $6,9$ -ga ning see on ilmselt ka näiteks üks põhjusi, miks Corg sisaldus on kõrgem metsas - lagunemistingimused on halvemad ja seega suudetakse rohkem C mulda talletada. Samuti on põldudel teostatud lupjamist, mille tõttu happeliste muldade pH näitaja on kõrgem põldudel, võrreldes metsamullaga.

Liikuva P ja K sisaldused erinevad põllu ja metsaanaloogide vahel. Mõlema toiteelemendi sisaldus on kõrgem põldudel (Joonis 40): K mediaan sisaldus põllul on  $100 \text{ mg/kg}$ , mis on  $40 \text{ mg/kg}$  võrra enam kui metsaanaloogil ning P-sisaldus põllul on  $86 \text{ mg/kg}$ , mis on  $61 \text{ mg/kg}$  võrra suurem kui metsaanaloogil. See iseloomustab väga hästi väetamisega toimuvaid muutusi muldades.



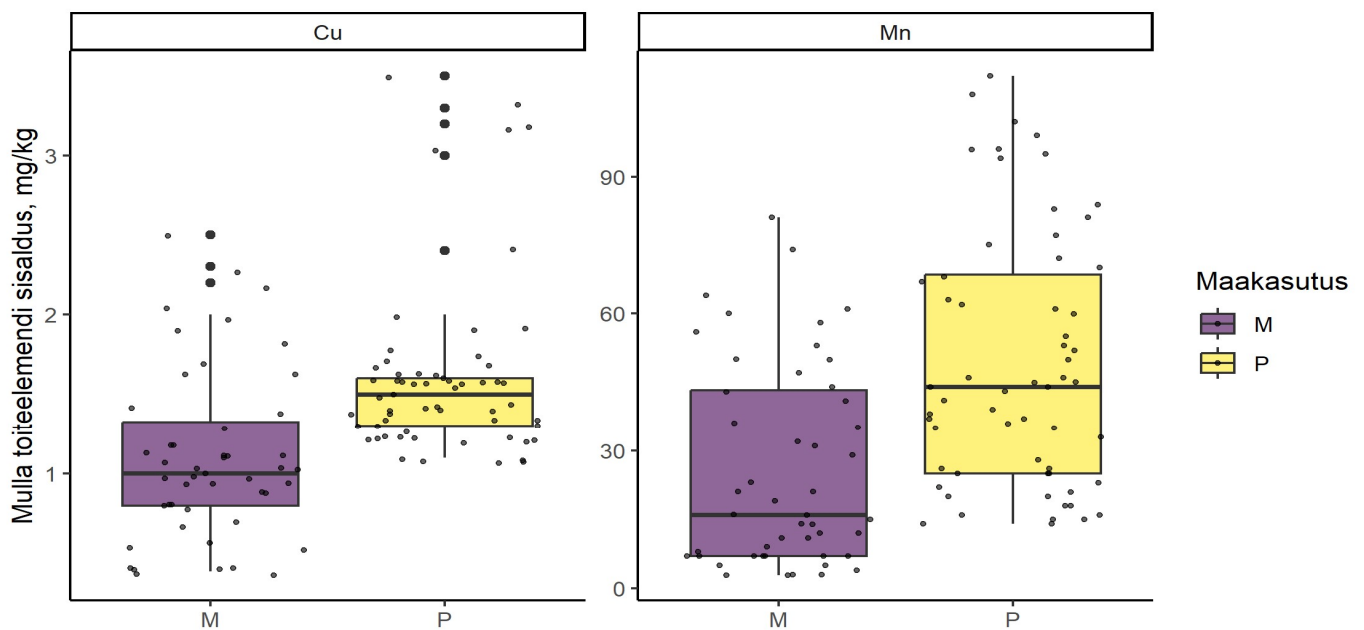
Joonis 40. Põllu ja metsaanaloogide liikuva P ja K sisaldused (mg/kg). Väikesed täpid in mõõtmisandmed

Mulla Ca ja Mg sisaldused erinevad samuti põllu ja metsaanaloogide vahel, kuid erinevused ei ole ühesed (Joonis 41). Nagu ka humustrasside analüüsil kirjeldatud, sõltub Ca ja Mg sisaldus palju mulla lähtekivimist ning seda arvestades on karbonaatsel lähtekivimil asuvatel muldadel kõrgem Ca sisaldus kui mittekarbonaatsel lähtekivimil ja seda mõlemas maakasutusgrupis. Siiski on põldude Ca-sisaldus karbonaatsel lähtekivimil (4302 mg/kg) kõrgem kui metsades (3383 mg/kg) ja mittekarbonaatsel lähtekivimil vastupidiselt metsaanaloogidel kõrgem (1168 mg/kg) võrreldes põldudega (1078 mg/kg). Karbonaatsete muldade põldude kõrgem Ca sisaldus on ilmselt seotud karbonaatse materjali liikumisega mulla ülemisse kihti seoses mullaharimisega. Metsamuldadel seevastu kuhjub mulla ülemisse ossa pigem taimsest varisest päris happelisem materjal. Sarnaselt saame hinnata ka Mg-sisaldust, kui Mg puhul on karbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel kõrgemad sisaldused: metsaanaloogidel 282 mg/kg ja põllul 228 mg/kg. Mittekarbonaatsel lähtekivimil jääb põllumuldade Mg-sisaldus alla 100 mg/kg (72 mg/kg) ja metsaanaloogidel 142 mg/kg.



Joonis 41. Põllu ja metsaanaloogete Ca ja Mg sisaldused (mg/kg). Väikesed täpid on mõõtmisandmed erineval lähtekivimil

Põllumuldadel on kõrgemad Cu ja Mn sisaldused võrreldes metsaanaloogetega (Joonis 42). Mediaan Cu sisaldus on põllul 1,5 mg/kg, mis on 0,5 mg/kg võrra rohkem kui metsaanaloogetel. Mediaan mangaanisaldus on põllul 44 mg/kg, kuid metsas oluliselt väiksem: 16 mg/kg. Ka boorisalduses on väikesed erinevused, põldudel on mediaan B-sisaldus 0,9 mg/kg ja metsaanaloogetel 0,6 mg/kg.



Joonis 42. Põllu ja metsaanaloogete Cu ja Mn sisaldused (mg/kg).

## Kokkuvõte ja järeldused

Käesolevas aruandes kajastasime perioodil 2002-2022 riikliku mullaseirealadel toimunud muutusi üldistatult nii palju kui valim võimaldas. Kindlasti ei ole valimi väiksuse tõttu võimalik neid järeldusi laiendada kogu Eestile, vaid kehtivad ainult selle valimi raames. Võrreldes eelmises koondülevaates käsitletud seiretulemusi perioodil 1983-2017 ja käesolevas aruandes kajastatud trende, siis oli eelmisel perioodil oluliselt rohkem statistiliselt olulisi muutusi ja trende. Ühest küljest oli ka seireperiood pikem, kuid olulisem on perioodi enda iseloom - sel perioodil toimusid suured muutused põllumajanduses üldiselt ja sealhulgas ka mullaharimises ja need kajastusid ka mullaomadustes. Näiteks on lisandunud uued tehnoloogiad otsekülvi ja eriti minimeeritud harimise näol ka käesoleval ajal on viimati mainitu ilmselt enim kasutatud tehnoloogia meie põldudel ning vajadusel kombineeritakse seda künnipõhise harimisega. Käesolev periood on pigem juba stabiliseerimise ajajärk ja seda näitavad ka seire tulemused. Üldistavalt leiame, et muldade seisund seirealadel on olnud stabiilne ja muld kui keskkonnaobjekt on hästi majandatud. Tulemused seirealadel ei näita olulisi negatiivseid trende mullaomadustes, va TKV jääkide suurenemine muldades. Positiivne oli seirealade muldade süsinikuseisundi stabiilsus. Kahjuks ei olnud sel perioodil võimalik teha mullaelustiku seiret, kuid see on kindlasti seire jätkumisel oluline parameeter.

Aruandest saame tuua välja järgmised järeldused:

1. Koondanalüüsi kaasatud 21 püsivaatlusalast 13 on ala kuivendatud ning 8 ala kuivendamata. Lähtekivimi reaktsiooni alusel on 9 püsivaatlusala mullad kujunenud mittekarbonaatsel lähtekivimil ning 12 ala mullad karbonaatsel lähtekivimil.
2. Väetisi kasutati neljandal seireringil 19 alal ning nendel keskmine lämmastiku (N), fosfori (P) ja kaaliumi (K) toiteelementide norm oli 100-14-54 kg/ha/a. Võrreldes kolmanda seireringiga väga suuri muutusi väetamises ei ole toimunud (kolmanda seireringi keskmine oli 102-17-60 kg/ha/a). Küll on vähemaks jäänud orgaaniliste väetiste kasutamine.
3. Seirealade keskmised NPK väetamise normid on kõikide elementide osas kõrgemad kui Eesti põllumajandustootjatel keskmiselt.
4. Mittekarbonaatsel lähtekivimil paiknevast 9 püsivaatlusalast on kuuel alal neljandaks seireringiks võrreldes esimese seireringiga pH muutunud happelisemaks
5. Seireringide vahel statistiliselt olulisi muutuseid ei ole toimunud, kuigi karbonaatsel muldadel on P sisaldus veidi langenud ja mittekarbonaatsel natuke suurenenud. Keskkonna seisukohast on kõrge P sisaldusega muldadel potentsiaalne P leostumise oht ja seetõttu oleks nii ökoloogiliselt kui ökonoomiliselt vajalik, et muldade P sisaldus oleks keskmises sisaldusklassis.
6. Liikuva K tase mullas oli stabiilne ja keskmine K väetamise norm oli 54 kg/ha/a - järelkult on võimalik sellise väetusnormi ja külvikordadega olemasolevat taset hoida, kuid mitte suurendada.
7. Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on Ca sisaldus pidevas defitsiidis ja seireringide jooksul ei ole suudetud seda parandada.
8. Optimaalse Ca:Mg suhtega on vähesed seirealad: neljandal seireringil ainult Holtsi ja Palamuse ning enamikul aladel on see suhe liiga madal.
9. Orgaaniliste väetiste kasutamisel ja orgaanilise süsiniku sisaldusel on positiivne efekt mulla taimedele omastatava vase sisaldusele, vase sisaldus on tõusnud usutavalt.
10. Seireringide võrdluses ei ole statistiliselt olulist muutus B sisalduses toimunud ja kahjuks on enamikel proovialadest boori sisaldus alla optimaalse.
11. Üldiselt on mulla lasuvustihedus suurem alumises kihis võrreldes ülemise kihiga, kuid viimasel kahel seireringil ei ole statistiliselt usutavat erinevust kahe sügavuskihi vahel. Seireringide võrdluses ei ole toimunud usutavaid muutuseid kummaski sügavuses.

12. Perioodi jooksul on muldade tallatusega seis pigem veidi paranenud ja alumise kihi veidi suurem lasuvustihedus on loogiline ja normaalne ning tallamise probleem ei tundu hetkel väga aktuaalne seirealadel.
13. Neljandal seiringil on aeratsioonipoorsus suurenenud üle kahe korra ning seda mõlemas sügavuskihis: kui SR2 on mediaan aeratsioonipoorsus ka alla optimaalse siis SR4 on see saavutanud väga hea õhustatuse.
14. Põllumuldade huumushorisoni tusedus on stabiilselt 31-32 cm ning kuna kaasaegne agrotehnoloogia ei kasuta sageli sügavat harimist ei saagi 20 a jooksul huumushorisoni tuseduses suuri muutuseid toimuda.
15. Seirealadel ei ole toimunud Corg sisalduse langust, pigem on olukord stabiilne ja mullatervise seisukohast võib sellist trendi pidada igati positiivseks. Seega suudab seirealadel kasutatav agrotehnoloogia säilitada mulla Corg sisalduse vähemalt olemasoleval tasemel. Olukorras, kus mulla süsinik on tõusnud väga olulise indikaatorina mullatervise hindamise fookusesse on see igati positiivne tulemus ka keskkonna ja kliimamuutuste seisukohalt.
16. Corg varu mulla huumushorisonis on stabiilne ning seega seirealade muldade Corg sidumine on jäänud samale tasemele ning olulist muutust C atmosfääri vabanemisest seiringide vahel kindlasti ei ole toimunud.
17. Mineraalse lämmastiku ja väävlü leostumise seisukohalt on olulisim sügistalvine periood septembrist jaanuarini, kuid antud alal ei toimu alumistes kihtides märkimisväärset väävlü ja Nmin sisalduse tõusu ja seega antud toiteelementide leostumise risk sellel põllul on perioodi jooksul väga väike ja pigem lähedane looduslikule foonile.
18. Eriti palju ehk lausa 3 korda suureneb mulla liikuva P sisaldus alumises mullakihis (60-90 cm) perioodil september-jaanuar. Suhteliselt suur fosfori leostumise oht tekib tänu kõrgele mulla ülemise kihi P sisaldusele ja see väljendub alumiste kihtide P sisalduse tõusus sügistalvisel perioodil.
19. Seireperioodi jooksul ei toimunud olulisi muutusi muldade raskmetallide sisalduses, va Tooma turbamullal väheneb Cu sisaldus oluliselt. Ülejäänud aladel olid muutused suhteliselt väikesed ja määratud raskmetallide kogusisaldus langes veidi. Samas võib täheldada mõningast raskmetallide suuremat kogusisaldust põllumuldades võrreldes lähedal asuvate looduslike muldadega.
20. Taimekaitsevahendite jääkide määramise meetodid ja tehnika on perioodi jooksul arenenud ja tänu sellele suudetakse määrata rohkem erinevaid TKV jääke mullas. Seda ilmestab keskmine toimeainete arv proovis, mis on suurenenud kolmandal ja neljandal seiringil. Neljandal seiringil oli keskmine toimeainete arv proovis 4,7, mis on 3,4 korda rohkem kui esimesel seiringil. Samuti on seiringide võrdluses suurenenud ka keskmine summaarne TA sisaldus proovis.
21. Viimastel aastatel leitakse sageli põldudel TKV peamiselt glüfosaati ja tema metaboliidi AMPA jääke.
22. Põllumuldade huumushorisoni tusedus mediaan keskmine on 34,5 cm, mis on 1,5 cm võrra tusedam kui metsaanaloogidel ja tegemist on suhteliselt väikese erinevusega.
23. Metsaanaloogide Corg sisaldus on kõrgem kui põldudel - põldudel on kõrgeim Corg sisaldus 4,3%, ent metsaanaloogidel 9,6%.
24. Mulla lasuvustihedus on metsamuldadel madalama mediaaniga 1,03 g/cm<sup>3</sup> võrreldes põldudega (1,33 g/cm<sup>3</sup>).
25. Metsaanaloogide Corgvaru oli põllumuldadest 21 t/ha võrra kõrgem ehk 147 t/ha, kuid see ei ole statistiliselt usutav erinevus kahe maakasutusklassi vahel.
26. Mullareaktsioon on madalam ehk happelisem ootuspäraselt metsaanaloogidel (5,7) võrreldes põldudega (6,9).

## Kasutatud kirjanduse loetelu

- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1-48.
- Fernandez-Ugalde, O., Scarpa, S., Orgiazzi, A., Panagos, P., Van Liedekerke, M., & Marechal A. & Jones, A. (2022). *LUCAS 2018 Soil Module. Presentation of dataset and results*. Luxembourg: EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union. doi:10.2760/215013
- Kask, R. (1994). Dolomiitsel rähkmoreenil kujunenud muldade omapärast. *Käsikiri*, 10.
- Kauer, K., Astover, A., Putku, E., Penu, P., & Kikas, T. (2022). *Mineraalmuldadel asuvatel põllumajandusmaade mulla orgaanilise süsiniku varu muutuse hindamine simulatsioonimudeliga. Lõpparuanne. Keskkonnaseire infosüsteem*. (2. mai 2023. a.). Allikas: <https://kese.envir.ee/kese/welcome.action>
- Loide, V. (1996). Mulla liikuva magneesiumisisalduse ning kaltsiumi ja magneesiumi suhte mõju põllukultuuride saagile. *Agraarteadus*, 39-53.
- METKbil. (2023). *Taluvärava toiteelemendi bilansi uuring*. Allikas: Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi hindamiseks 2022. aastal läbiviidud uuringute aruanne: <https://metk.agri.ee/media/2973/download>
- METKtih. (2023). *Muldade tihenemise seire Eesti toomispõldudel*. Allikas: Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi hindamiseks 2022. aastal läbiviidud uuringute aruanne: <https://metk.agri.ee/media/3248/download>
- METKtkv. (2022). *Taimkaitsevahendite jääkide sisaldus ja erinevate toimeainete püsimine mullas erineva agrotehnoloogia rakendamisel*. Allikas: Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi hindamiseks 2022. aastal läbiviidud uuringute aruanne: <https://metk.agri.ee/media/2968/download>
- Nugis, E., & Lehveer, R. (1991). Eesti muldade masindegredatatsiooni ulatusest. rmt: *Mullakaitse probleeme Eestis* (lk 63-76). Tallinn: Valgus.
- Penu, P. (2018). Põllumuldade seire 1983-2017. Koondanalüüs. Aruanne Keskkonnaministeeriumi tellimisel.
- PMK. (2021). *Mullaseire 2020. a. lõpparuanne*. Allikas: Keskkonnaseire infosüsteemi veebisait: <https://kese.envir.ee/kese/downloadReportFile.action?fileUid=22687651&monitoringWorkUid=20464531>
- PMK. (2022). *Pestitsiidide kasutuskooormuse uuring 2007-2020 kohta*. . Allikas: Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi hindamiseks 2021. aastal läbiviidud uuringute aruanne.: [https://metk.agri.ee/teadus-uuringud/maaelu-arengukava-hindamine/mak-2014-2020?view\\_instance=1&current\\_page=1#eesti-maaelu-arenguk-2](https://metk.agri.ee/teadus-uuringud/maaelu-arengukava-hindamine/mak-2014-2020?view_instance=1&current_page=1#eesti-maaelu-arenguk-2)
- PMK. (2023). *Mullaseire 2022. a. lõpparuanne*. Allikas: Keskkonnaseire infosüsteemi veebisait: <https://kese.envir.ee/kese/downloadReportFile.action?fileUid=30508875&monitoringWorkUid=28387645>
- R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Viin, Austria. Allikas: <https://www.R-project.org/>
- Reintam, E., & Penu, P. (2009). Eesti põllumuldade tallatuse seire 2008. aastal. *Aruanne*. Tartu: Eesti Maaülikool ja Põllumajandusuuringute Keskus.
- Tóth, G., Hermann, T., Szatmári, G., & Pásztor, L. (2016). Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *Science of The Total Environment*, 1054-1062.
- Viira, A.-H., Kauer, K., Melts, I., Jürgenson, E., Maasikamäe, S., Rasva, M., . . . Lillemets, J. (2023). *Põllumajandusliku maakasutuse muutuse analüüs sõltuvalt tulevikustsenaariumitest. Uuringu lõpparuanne*. Allikas: Eesti Maaülikool: [https://klab.ee/wp-content/uploads/2023/03/PMMAST\\_aruanne\\_30012023.pdf](https://klab.ee/wp-content/uploads/2023/03/PMMAST_aruanne_30012023.pdf)