

KESKKONNAMINISTEERIUMILE

## **Põllumuldade seire 1983-2017**

KOONDANALÜÜS

Pille Koorberg

direktor

Põllumajandusuuringute Keskus

Priit Penu

mullaseire ja uuringute büroo juhataja

Põllumajandusuuringute Keskus

2018

SAKU

# Sisukord

SISUKORD.....	2
SISSEJUHATUS.....	3
1. METOODIKA.....	4
1.1. Proovivõtumetoodika.....	10
1.2 Määratavad parameetrid ja analüüsimeetodid.....	11
1.3 Statistiline analüüs.....	12
2. SEIREALADE HUUMUSTRASSIDE MULLAOMADUSTE KOONDANALÜÜS.....	14
2.1 Püsivaatlusalade mullareaktsioon ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ).....	14
2.2 Püsivaatlusalade huumushorisoni tusedus (Ahor).....	16
2.3 Huumusesisaldus, lasuvustihedus ja huumusvaru.....	17
2.3.1 Lasuvustihedus.....	20
2.3.2 Huumusvaru.....	21
2.4 Seirepõldude süsinikuvaru prognoosimudel.....	23
2.5 Püsivaatlusalade toiteelementide sisalduse muutused.....	27
2.6 Mulla liikuva fosfori ja kaaliumi sisaldus ning huumusesisaldus maheviljeluse põldudel.....	34
3. TOITEELEMENTIDE VERTIKAALNE LIKUMINE NING MULLAREAKTSIOONI MUUTUSED MULLAPROFIILIS.....	39
4. KERGESTILIKUVATE TAIMETOITEELEMENTIDE LEOSTUMINE MULLAPROFIILIS.....	43
5. TAIMEKAITSEVAHENDITE JÄÄKIDE SISALDUS MULDADES.....	55
KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED.....	58
KASUTATUD KIRJANDUS.....	62

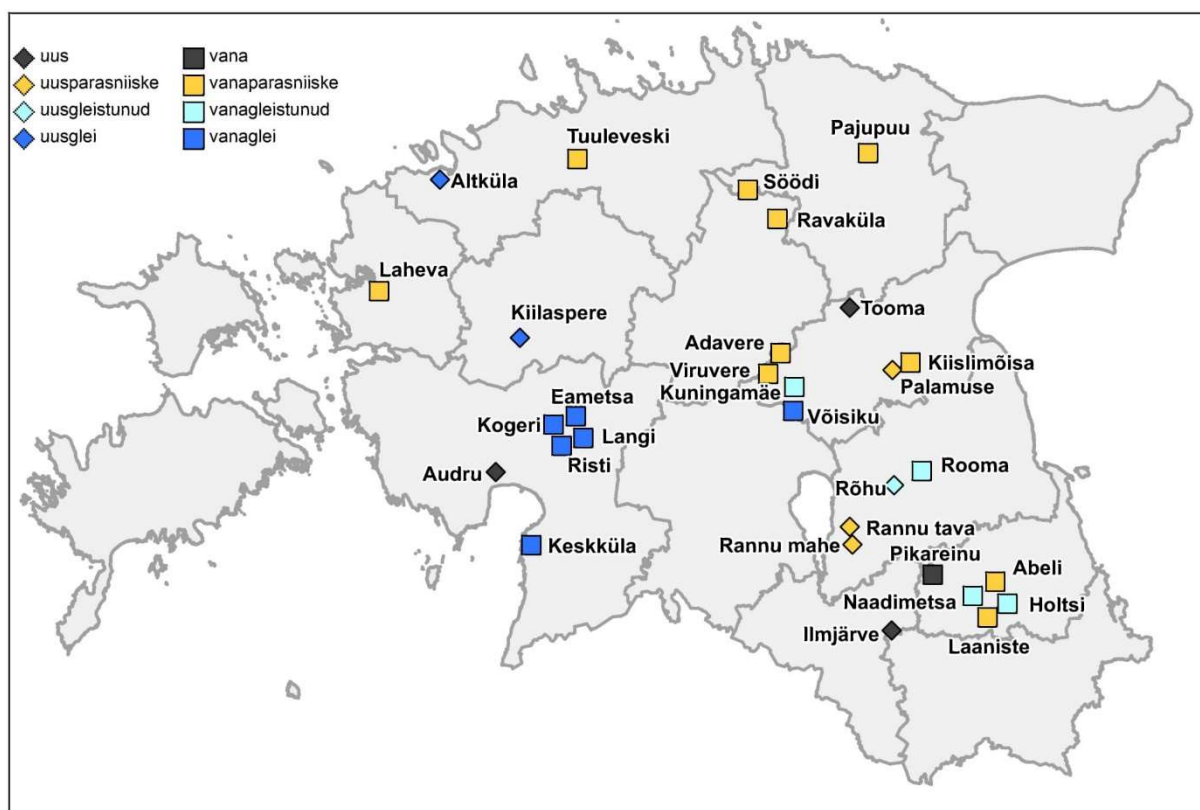
## Sissejuhatus

Põllumuldade seire eesmärgiks on erinevate mullaparameetrite (bioloogiliste, füüsikaliste, agrookeemiliste, 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 võimaldavad hinnata mullaomaduste pikaajalisi muutusi. Käesoleva koondanalüüsi eesmärgiks oli koostada aastatel 1983–2017 riikliku keskkonnaseire mullaseire allprogrammi raames kogutud andmete statistiline analüüs, et hinnata seiratud põllumuldade agrookeemilist ja keskkonnakaitselist seisundit ning suundumusi. Oluline osa on põhjus-tagajärg seoste välja toomisel, et analüüsida põllumuldade olukorda, muutusi, põhjuseid ning muutuste võimalikku mõju laiemalt. Põllumuldade seiret teostati 2002–2017 a. 30 seirealal ja lisaks ajaloolistele seirealadele rajati ka täiendavad seirealad spetsiifiliste seirete teostamiseks. Põllumuldade seiresse on kaasatud kõik enamlevinud põllumuldade liigid erinevate veerežiimidega ning erinevad maakasutused: põllumaad, püsirohumaad, erosiooniala mullad, maheviljeluse all olevad mullad, turvasmuld ning deflatsiooniohtlikud mullad. Kuna erosioonialade ja deflatsiooniohtlike muldadele on rajatud vaid üksikud seirealad, siis neis muldades toimunud muutustest andsime ülevaate erinevates aastaaruannetes, mis on leitavad seireveebist (<http://seire.keskkonnainfo.ee/>) ja neid käesolevas aruandes ei kajastata.

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

# 1. Metoodika

Aastatel 2002–2017 oli riiklikus mullaseires 30 püsivaatlusalala, millel teostati 5-aastase rotatsiooniga kordusmõõtmisi (Keskkonnaagentuur, 2018). Ajaloolisest põllumuldade seirest (1983–1994 a.) olid uuel perioodil kaasatud 21 püsivaatlusalala (Joonis 1). Täiendavad 9 ala lisati erinevatel kaalutlustel seiramaks ja iseloomustamiseks olukordi, kus põllud on rajatud mõnest mullatekketingimustest enamõjutatud muldadele (tuuleerosiooni mõju, turvasmuld) ning võrdlemaks erineva majandamisviisi mõju põllumullale (mahe ja tavatootmise võrdlus). Seirealad on jagatud vastavalt rajamise perioodile (uus ja vana) ning veerežiimile (parasniisked, gleistunud, glei).



Joonis 1. Riikliku keskkonnaseire allprogrammi mullaseire 30 püsivaatlusalala 2002–2017 a.

Kõik püsivaatlusalad paiknevad erineva maakasutusega tootmispõldudel, mistõttu on riikliku põllumuldade püsivaatlusalad mõjutatud tootjate otsustest. Seetõttu on mõned alad tulnud seireprogrammis välja jätta kuna püsivaatlusalala rajamise eesmärke polnud enam võimalik täita. Näiteks Audru ala rajati tuuleerosiooni uurimiseks ja esimesed proovid koguti 2007. aastal. Kordusmõõtmisi ei olnud võimalik aga teostada, sest põld ei olnud enam põllumajanduslikus kasutuses. Samuti jäeti välja Rannu ala ning seda tänu kunstlikule mullaseisundi muutusele. Nimelt lisati 2010. aastal Rannu ala mulda lähedalasuva jõe puhastamisest tekkinud setteid, mille tagajärjel horisondi omadused, sh tüsedus,

toiteelementide sisaldus jne muutusid oluliselt ning tegemist oli hoopis teise mullaga. Neid muutusi on samuti käsitletud eraldi Mullaseire 2014 aasta aruandes (PMK, 2014). Siinkohal mainime vaid, et jõesette lisamine mulda muutis mulla huumushorisoni oluliselt tusedamaks, suurenes märgavatavalt mulla orgaanilise aine varu, kuid algselt kardetud võimalik raskmetallide suurenemine ei leidnud kinnitust ning jõe- ja järvemuda kasutamist mulla parendajana saab antud näitel kindlasti soovitada. Tulenevalt eelmainitud põhjustest on koondaruandes analüüsitud 27 püsivaatlusalala andmed (Tooma ala teine ring oli alles 2018 a.). Seejuures on kõikide mullaomaduste analüüsil välja jäetud seirealad erodeeritud muldadel (Ilmjärve, Altküla, Pikareinu), sest nende muldkate ja seal toimuvad protsessid erinevad teistest aladest oluliselt. Erosioonialadele on andmeanalüüs tehtud seirealade kaupa eraldi ja on leitav Mullaseire eelnevate aastate aruannetest (Keskkonnaagentuur, Seireveeb, 2018).

Püsivaatlusalad erinevad nii mullastiku, lähtekivimi iseloomu, veerežiimi, kuivendusseisundi ja maakasutuse poolest (Tabel 1). Enamik analüüsitud 27 alast on põllumaad ning mõnedel aladel on toimunud üleminek püsirohumaaks (kas osaliselt või täielikult kogu huumuskaevete trasside osas) või vastupidi püsirohumaast põllumaaks. Võisiku ala on alates 2017. aastast põllumaa, Eametsa alal on alates 2014. aastast huumuskaeve trassi punktid A9 ja A10 püsirohumaal, ning Kiilaspere alal on alates 2017. aastast huumuskaeve trassi punktid A8, A9 ja A10 püsirohumaal. Arvestades, et nii lühikese ajaga ei teki mullaomadustest suuri muutuseid ei eristatud alasid statistilisel analüüsil maakasutuse alusel, kuid pikema perioodi jooksul on võimalik selgitada erineva maakasutuse mõju muldade omadustele.

Koondanalüüsil grupeerisime seirealad teatud parameetrite lõikes, et selgitada erinevate omadustega muldades toimuvaid muutuste erisusi. Üldiselt grupeeritakse mullad geneetilise litoloogilise skaala järgi sarnaste mullatüüpide alusel, kuid valimi vähesuse tõttu ei olnud selline grupeerimine õigustatud - võrreldavad grupid oleksid statistilise valimi mõttes liiga väikesed. Seetõttu kasutasime grupeerimiseks peamiselt lähtekivimi reaktsiooni iseloomu (näitab mullatekkestingimusi laiemas mõttes) ja kuivenduse olemasolu (näitab veerežiimi ja selle reguleerimist). Koondanalüüsi kaasatud 24 püsivaatlusalast on 13 ala kuivendatud ning 11 ala kuivendamata. Lähtekivimi reaktsiooni alusel on 10 püsivaatlusalala muld kujunenud mittekarbonaatsel lähtekivimil ning 14 ala muld karbonaatsel lähtekivimil.

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. 27 seirealal kasutati väetiseid keskmiselt N-P-K toiteelementide sisaldusega 84-14-49 kg/ha/a (viiel viimasel aastal ehk kahe viimase seireringi vahel). Tegelikult kasutati väetiseid siiski

22 alal ning nendel aladel kasutatud keskmine N-P-K toiteelementide sisaldus oli 102-17-60 kg/ha/a. Nendest seitsmel seirealal kasutati ainult mineraalväetiseid ja kahel alal ainult orgaanilisi väetised. Keskmine N-P-K toiteelementide sisaldus aastas, mis anti orgaaniliste väetistega oli 37-10-41 kg/ha/a ja mineraalväetistega 63-7-19 kg/ha/a (22 väetatud alal).

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

Seireala nimetus	KKR kood	Maa-kasutus	Lähtekivim	Kuivendus	Seirering							
					1ring	2ring	3ring	4ring	5ring	6ring	7ring	
Vanad seirealad (1983-2017)												
Abeli	SJA5290000	P <sup>1</sup>	mittekarbonaatne	ei	1985	1988	2002	2008	2013			
Adavere	SJA1064000	P	karbonaatne	ei	1984	1987	1990	2003	2008	2013		
Eametsa	SJA1856000	P	karbonaatne	jah	1985	1988	1991	2004	2009	2014		
Holtsi	SJA8132000	P	mittekarbonaatne	jah	1985	1988	1991	2005	2010	2015		
Keskküla	SJA8935000	P	mittekarbonaatne	jah	1987	1990	2003	2008	2013			
Kiislimõisa	SJA9459000	P	mittekarbonaatne	ei	1986	1989	2005	2010	2015			
Kogeri	SJA8203000	P	karbonaatne	jah	1985	1989	1991	2004	2009	2014		
Kuningamäe	SJA2580000	P	karbonaatne	jah	1984	1987	1990	2005	2011	2015		
Laaniste	SJA2005000	P	mittekarbonaatne	jah	1985	1988	1991	2005	2010	2016		
Laheva	SJA0414000	P	karbonaatne	ei	1987	1990	2006	2011	2016			
Langi	SJA1186000	P	karbonaatne	jah	1985	1988	1991	2003	2008	2013		
Naadimetsa	SJA0477000	P	mittekarbonaatne	jah	1985	1988	1991	2002	2007	2012	2017	
Pajupuu	SJA9110000	P	karbonaatne	ei	1986	1989	1992	2004	2009	2014		
Pikareinu (E <sup>1</sup> )	SJA6125000	P			1987	1990	2004	2009	2014			
Ravaküla	SJA5700000	P	karbonaatne	ei	1983	1986	1989	1992	2006	2011	2016	
Risti	SJA3519000	P	karbonaatne	jah	1985	1988	1991	2006	2011	2016		
Rooma	SJA3734000	P	mittekarbonaatne	jah	1983	1986	1989	1992	2002	2008	2013	
Söödi	SJA6654000	P	karbonaatne	ei	1983	1986	1989	1992	2004	2009	2014	
Tuuleveski	SJA3605000	P	karbonaatne	ei	1984	1987	1990	2003	2008	2014		
Viruvere	SJA8686000	P	karbonaatne	ei	1984	1987	1990	2003	2008	2013		
Võisiku	SJA9940000	PR <sup>2</sup> /P	karbonaatne	jah	1984	1987	1990	2007	2012	2017		
Uued seirealad (2002-2017)												
Altküla (E)	SJA5177000	P			2008	2012	2017					
Ilmjärve (E)	SJA2182000	PR			2004	2009	2014					

Kiilaspere	SJA3970000	P	karbonaatne	jah	2007	2012	2017				
Palamuse	SJA1204000	P	mittekarbonaatne	ei	2003	2008	2013				
Rannu	SJA1515000	P	mittekarbonaatne	ei	2004	2009	2015				
Rannumahe	SJA1437000	P	mittekarbonaatne	ei	2004	2009	2014				
Rõhu	SJA2319000	P	mittekarbonaatne	jah	2006	2011	2016				

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

**Tabel 2. Seirealade külvikord seireringide kaupa ja kasutatud keskmine toiteelementide sisaldus aastas.**

Seireala nimetus	Toiteelement N-P-K, kg/ha/a	Põllukultuur						
		1 ring	2 ring	3 ring	4 ring	5 ring	6 ring	7 ring
Abeli	119-13-59	söödagaleega	põldhein	oder põldheina ak	taliraps	rohumaa	talioder ak	-
Adavere	167-28-84	oder	põldhein	kartul	nisu	raps	talinisu	lutsern
Altküla	115-59-139	porgand	köögivili	talinisu/kartul	-	-	-	-
Eametsa	19-9-9	oder	-	-	heintaimed	oder	oder/PR 1a	-
Holtsi	176-20-66	põldhein	oder	KH <sup>3</sup>	oder ak	suviraps	LR <sup>2</sup>	-
Ilmjärve	0-0-0	PR <sup>1</sup>	PR	PR				
Keskküla	131-32-174	rukis	-	söötis	teravili	rohumaa	PR	-
Kiilaspere	0-0-0	kaer	ristik-kõrreline	nisu/PR	-	-	-	-
Kiislimõisa	133-12-38	oder	rukis	suvinisu	suvinisu ak	teravili	-	-
Kogeri	95-23-93	oder	oder	talinisu	põldhein	oder	oder	-
Kuningamäe	73-15-59	oder	suvinisu	põldhein	põldhein	suviraps	LR	-
Laaniste	187-26-113	põldhein	-	-	suvioder	raps	suviraps	-
Laheva	0-0-0	talinisu		lutsern	lutsern	suvioder	-	-
Langi	99-9-53	kartul	-	-	kaer	rohumaa	rohumaa/ suvinisu	talinisu



Naadimetsa	135-21-98	-	-	-	rohuma	oder ak	talinsu	liblik-kõrreline
Pajupuu	96-11-31	oder	-	-	oder	teravili	suvioder	-
Palamuse	0-0-0	ristik	rohuma	talinsu	mesikas/ tritikale	-	-	-
Pikareinu	0-0-0	põldhein	põldhein	oder ak	rohuma	liblik-kõrreline	-	-
Rannumahe	29-3-35	oder	hernes	talirüps	-	-	-	-
Ravaküla	117-14-54	-	oder	-	nisu	suviraps	nisu	suvioder
Risti	12-3-12	oder	oder	söödapeet	kaer	orashein	valge mesikas	-
Rooma	165-26-61	-	-	-	nisu	-	nisu	suvioder
Rõhu	113-8-39	raps	suviraps	taliraps	-	-	-	
Söödi	87-7-36	-	oder	-	kaer	põldhein	raps	LR
Tuuleveski	83-6-22	oder	-	-	timut	oder	taliraps	-
Viruvere	84-15-47	oder	-	-	oder	rohuma	suvioder	raps
Võisiku	33-8-14	põldhein	rukis	oder	PR	rohuma	talinsu	-

<sup>1</sup> – PR ehk püsirohuma; <sup>2</sup> – LR ehk lühiajaline rohuma, <sup>3</sup> – KH - kultuurheinama

## 1.1 Proovivõtumetoodika

Mullaseire välitöid teostati üks kord aastas, augusti lõpus või septembri alguses. Varasematel aastatel on välitööd toimunud mõnevõrra hiljem, kuid tänapäeva muutunud agrotehnoloogia tõttu tuleb välitöid teostada varem. Mullaseire raames kogutavate mullaproovide metoodika on üldjoontes olnud sama kogu seireperioodi jooksul (alates aastast 1983), erinedes vaid korduste arvu ja mõningate detailide poolest.

Seire teostamisel rajatati 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. Mahukaalu 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. Sügavkaeve rajatakse kuni 1 meetri või lähtekivimi sügavuseni ja paigutatakse huumustrasside vahele. Proovide kogumist peale kaeve kirjeldamist alustatakse alati kõige alumisest horisondist ja liigutakse ülespoole. Proove kogutakse terve horisoni ulatuses noa, kühvli või lusikaga kaeve seinast. Sügavkaevete mullaprofiilid fotografeeritakse ja nende kirjeldamisel kasutatakse USDA (*United States Department of Agriculture*, USA Põllumajandusministeerium) ja WRB (World reference Base) muldade kirjeldamise juhendeid ning Eesti Põllumajandusprojektis kasutusel olnud muldade kirjeldamise metoodikate baasil loodud sügavkaevete kirjeldamise juhendit.

**Huumuskaev** paigutatakse uurimisalale sirge trassina, kaevetevaheline kaugus on sõltuvalt seirealast 10-20 meetrit. Kaeve seina laiuseks on 1,5-2 labida laiust ning kaeve ulatub huumushorisonidile järgneva geneetilise horisonidini. Proovid kogutakse kõigist neljast kaeve seinast kogu huumushorisoni tuseduse ulatuses ja ühildatakse koondprooviks.

**Mahukaalu** määramise proovide jaoks kasutati ajalooliselt 50 cm<sup>3</sup> silindreid, kuid viimasel kahel seireringil 100 cm<sup>3</sup> ruumalaga standardseid silindreid. 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 harimisest tingitud mullatihese olemasolu

**Raskmetallide ja taimekaitsevahendite jääkide** määramise proovid võetakse koondproovi meetodil. Proov kogutakse kühvli või mullapuuriga kuni 15 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.

## 1.2 Määratavad parameetrid ja analüüsimeetodid

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. Mullaseire raames teostatakse füüsikalised analüüsid valdavalt Eesti Maaülikooli mullafüüsika laboris ning ülejäänud analüüsid Põllumajandusuuringute Keskuse laborites. Täpsemalt on määratavad näitajad ja analüüsimeetodid välja toodud Tabel 3.

**Tabel 3. Riiklikus mullaseires ajalooliselt määratud näitajad ja analüüsimeetodite standardid**

Näitaja	Ühik	Standard/meetod
Al, K, Ca, Mg, Mn, Na, S, Fe	mg/kg	STJnr.M/U91
Mulla orgaanilise aine sisaldus (MOS), C <sub>üld</sub>	g/kg	EVS-EN 13137
P, K	mg/kg	GOST 26209
Huumusesisaldus, C <sub>org</sub>	%	GOST 26123
Mg	mg/kg	EVS-EN ISO 7980
Kuivaine	%	EVS-EN 12880; SFS3008
Mn	mg/kg	STJnr.M/U94A; STJnr.M/U94
Orgaaniline aine	%	EVS-EN 12879; EVS-EN 12880
C <sub>org</sub>	%	ISO 10694
pH		ISO 10390
Taimekaitsevahendite jäägid	mg/kg	STJnrU63; STJnrU12D
B, Hg, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Cu	µg/kg	EVS-EN ISO 11885; SFS 5074; STJnr.M/U91
Põletusjääk	%	EVS-EN 12879
Huumusvaru	t/ha	

Aeratsioonipoorsus	%	
Üldpoorsus	%	
Horisondi tusedus	cm	
Lõimis FAO järgi		
Lõimis liiv	%	
Lõimis savi	%	
Lõimis tolmu	%	

### 1.3 Statistiline analüüs

Uuel seireperioodil (2002-2017 a.) on enamikel aladel jõutud teostada kolm seireringi ning koos vana seireperioodi ringidega saab tulemusi võrrelda juba vähemalt kuue seireringi ulatuses. Koondanalüüsi eesmärk on hinnata mullaomadustes toimunud muutuseid ning selgitada nende statistiline olulisus. Mullas toimuvad muutused väga pika aja jooksul ning seetõttu ei ole aruandes esitatud kõikide seireringide võrdlusi. Tulemused esitatakse pikaajaste ehk ajalooliste muutuste hindamisel võrreldes omavahel vana seireperioodi (20 ala) esimest ringi uue seireperioodi esimese ja viimase ringiga. Uue seireperioodi muutuste hindamisel võrreldakse 24 ala esimest (mõnel juhul teist) ja kolmandat ringi.

Andmete jaotumine seireringide kaupa:

- 20 ala, kus on mõõtmisi teostatud alates 1983. aastast
  - ring1vana, 1983-1987 a. ehk vana perioodi esimene seirering (n=800)
  - ring1uus, 2002-2007 a. ehk uue perioodi esimene seirering (n=239)
  - ring3uus, 2013-2017 a. ehk uue perioodi kolmas seirering (n=400)
- 24 ala, mis koosneb 20 alast vanast perioodist ja neljast alast, mis lisandusid uue seireperioodi jooksul
  - ring1uus2, 2002-2007 a. ehk uue perioodi esimene seirering (n=309)
  - ring3uus2, 2013-2017 a. ehk uue perioodi kolmas seirering (n=500)

Muutuste hindamisel huumustrassidel kasutati lineaarset segamudelit. Segamudeli kasutamise peamiseks põhjuseks on andmestiku hierarhiline struktuur: ühe ala sees on kaks või neli 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 süsteemist 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, 2018), segamudeli jaoks kasutati paketti *lme4* (Bates, Maechler, & Bolker, 2015).

## 2. Seirealade huumustrasside mullaomaduste koondanalüüs

### 2.1 Püsivaatlusalade mullareaktsioon ( $pH_{KCl}$ )

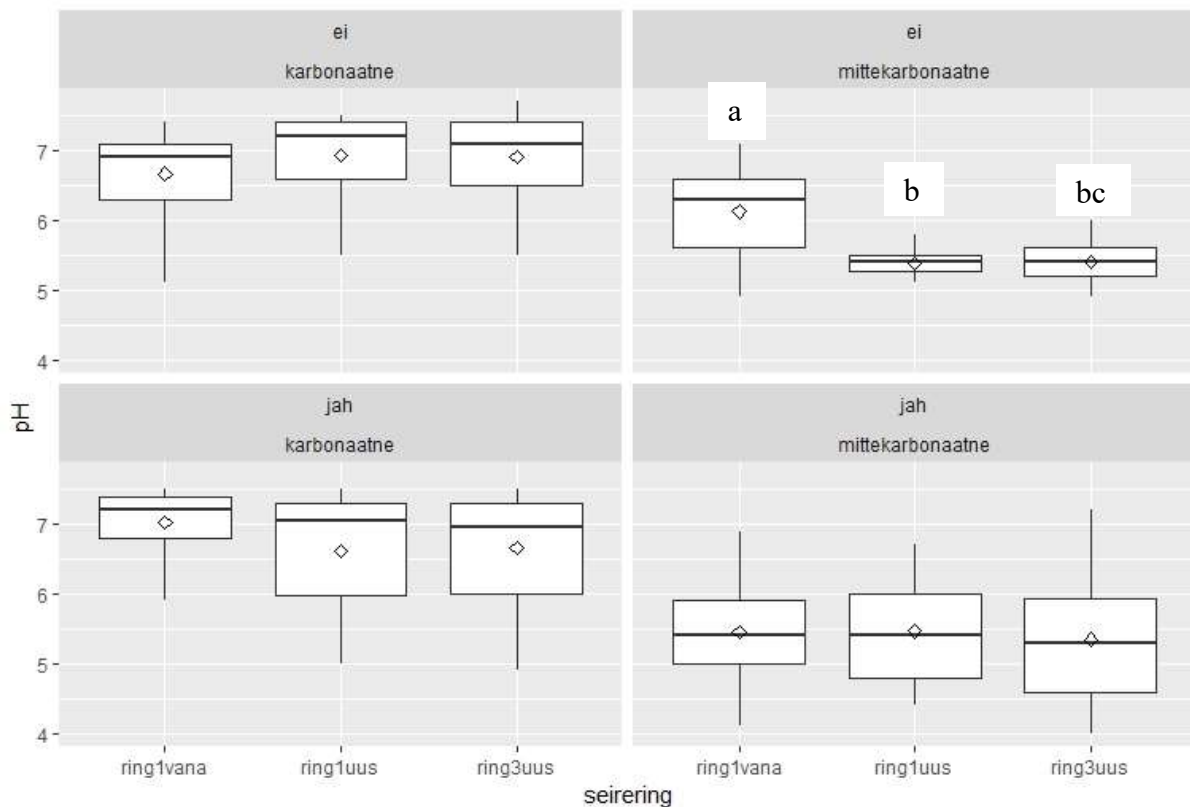
Mullareaktsiooni analüüsidest lähtutakse üldisest muldade happesuse määramise skaalast, milles on välja toodud järgmised klassid:

- $<3,5$  - väga tugevasti happeline,
- $3,6...4,5$  - tugevasti happeline,
- $4,6...5,5$  - mõõdukalt happeline,
- $5,6...6,5$  - nõrgalt happeline,
- $6,6...7,2$  - neutraalne,
- $7,3...8,4$  - leeliseline,
- $>8,5$  - tugevasti leeliseline.

Mullareaktsioon sõltub palju mulla lähtekivimist: kas lähtekivim on karbonaatse või mittekarbonaatsete omadustega. 20 püsivaatlusalast, millel on võimalik hinnata pikaajast muutust, paiknevad seitse ala mittekarbonaatsel lähtekivimil ja 13 karbonaatsel lähtekivimil. Lisaks lähtekivimile, arvestati andmete analüüsil ka põllu kuivendamist: kas püsivaatlusväljaku alla jääv ala oli kuivendatud või mitte.

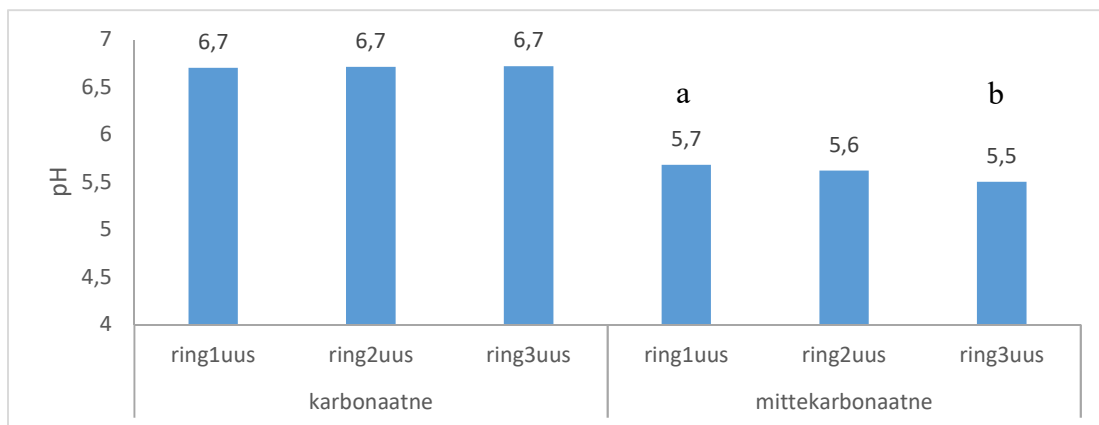
Tulemustest selgus, et ootuspäraselt on karbonaatsel lähtekivimil paiknevatel aladel kõrgema pH sisaldus võrreldes mittekarbonaatsel lähtekivimiga (Joonis 2), pH vastavalt 6,7 ja 5,6. Kuivendamine ei avalda nii selget erinevust keskmisele mullareaktsioonile, ent muutuste hindamisel on lähtekivimi ja kuivendamise koosmõju statistiliselt oluline ( $p < 0,05$ ). Mittekarbonaatsel lähtekivimil on kuivendamata muldadel toimunud statistiliselt oluline happesuse suurenemine võrreldes vana perioodi esimest seireringi uue perioodi esimese ( $p = 0,008$ ) ja kolmanda seireringiga ( $p = 0,01$ ). Happesuse suurenemine on olnud suhteliselt kiire ja oluline (0,7 ühikut) ning põllumuldade seire alguses olnud nõrgalt happelised mullad on muutunud mõõdukalt happeliseks. Kindlasti on selle põhjuseks oluliselt vähenenud põllumuldade lupjamine, mida 80-ndatel aastatel teostati kordades uuremas mahus kui praegu ja see avaldub happelise reaktsiooniga muldadele kindlasti negatiivset mõju. Nagu jooniselt näeme, siis oli kuivendatud muldade pH mittekarbonaatsel lähtekivimil oluliselt madalam ja sellest lähtuvalt ka muutus palju väiksem. Ilmselt on see tingitud sellest, et kuivendatud muldi kasutati rohkem rohumaadena ja lubjati seetõttu vähem. **Põllumajanduskultuuride edukaks**

**kasvatamiseks tuleb siiski füsioloogiliselt happelisi muldi perioodiliselt lubjata, tagamaks soodne mullareaktsioon ning piisavad Ca ja Mg seisund.**



**Joonis 2. Mullareaktsioon (pH) 20 püsivaatlusalal sõltuvalt lähtekivimi omadustest ja kuivendamisstaatusel kolme seireringi võrdluses. Karp-vurrud diagrammil on jämeda musta joonega näidatud mediaan ja rombiga aritmeetiline keskmine. Tähtedega on märgitud omavahel erinevad variandid (joonise põhisel).**

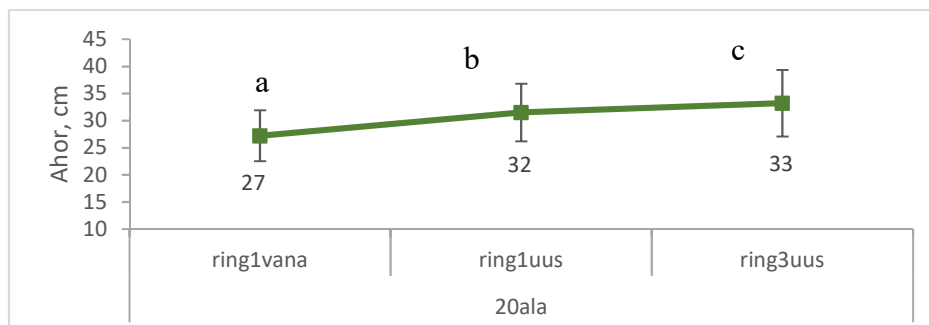
Võrreldes omavahel püsivaatlusalasid (24) uuel seireperioodil, siis arvestati pH muutuste hindamisel ainult mulla lähtekivimi mõju. Karbonaatsel lähtekivimil olevatel muldadel on pH 6,7 ehk neutraalne ning see ei ole seireperioodi jooksul muutunud (Joonis 3). Mittekarbonaatsel lähtekivimil on seevastu tegemist nõrgalt happeliste muldadega ning mulla happesus suureneb pidevalt seireringide võrdluses ning pikema perioodi jooksul statistiliselt usutavalt. Seega jätkub hapestumise tendents usutavalt ka lühema seireperioodi jooksul.



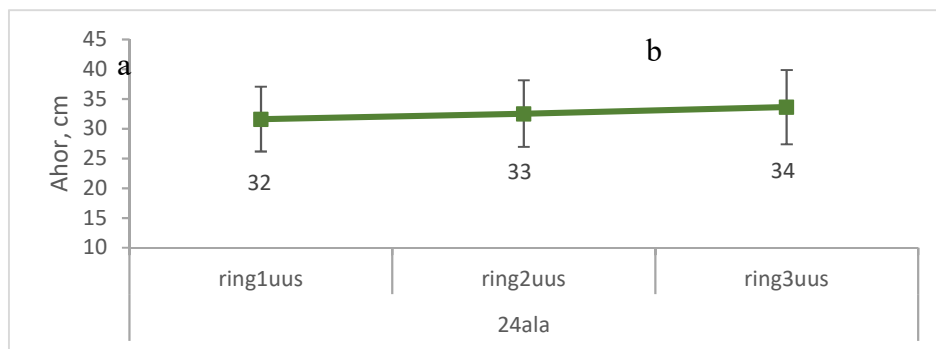
**Joonis 3. Mullareaktsioon (pH) 24 püsivaatlusalal sõltuvalt lähtekivimi omadustest kolme seireringi võrdluses aastatel 2002-2017. Tähed näitavad statistiliselt olulisi erinevusi ( $p < 0,05$ ) lähtekivimi põhisel.**

## 2.2 Püsivaatlusalade huumushorisoni tüsedus (Ahor)

Püsivaatlusalade huumushorison on muutunud kogu seireperioodi ulatuses tusedamaks (Joonis 5) ja see on üks olulisemaid muutusi mullaomadustes pikema aja jooksul. See avaldab omakorda mõju ka näiteks mulla orgaanilise süsiniku sisaldusele ja sellega seoses suurendab mullastiku olulisust süsiniku talletajana ning ühes sellega vähendab kasvuhoonegaaside emissiooni. Tusedam huumushorison võimaldab talletada suuremas koguses orgaanilist süsinikku. Vana perioodi esimesel seireringil (1983-1987 a.) oli huumushorisoni tüsedus keskmiselt 27 cm ning see on 26 aasta jooksul suurenenud 6 cm võrra (2,3 mm aastas) uue perioodi viimasel seireringil ( $p < 0,001$ ). Huumushorisoni tüsenemise peamiseks põhjuseks tuleb lugeda 80-ndate teisel poolel teostatud sügavkünte, mis on osutunud väga efektiivseks horisoni tüsendamise meetmeks. Vaadeldes ainult uut seireperioodi, siis on ka siin toimunud statistiliselt usutav huumushorisoni tüsenemine 2 cm võrra (ca 2mm, aastas,  $p = 0,003$ ), kuid lühema seireperioodi arvestades oodatult siiski väiksemas ulatuses.



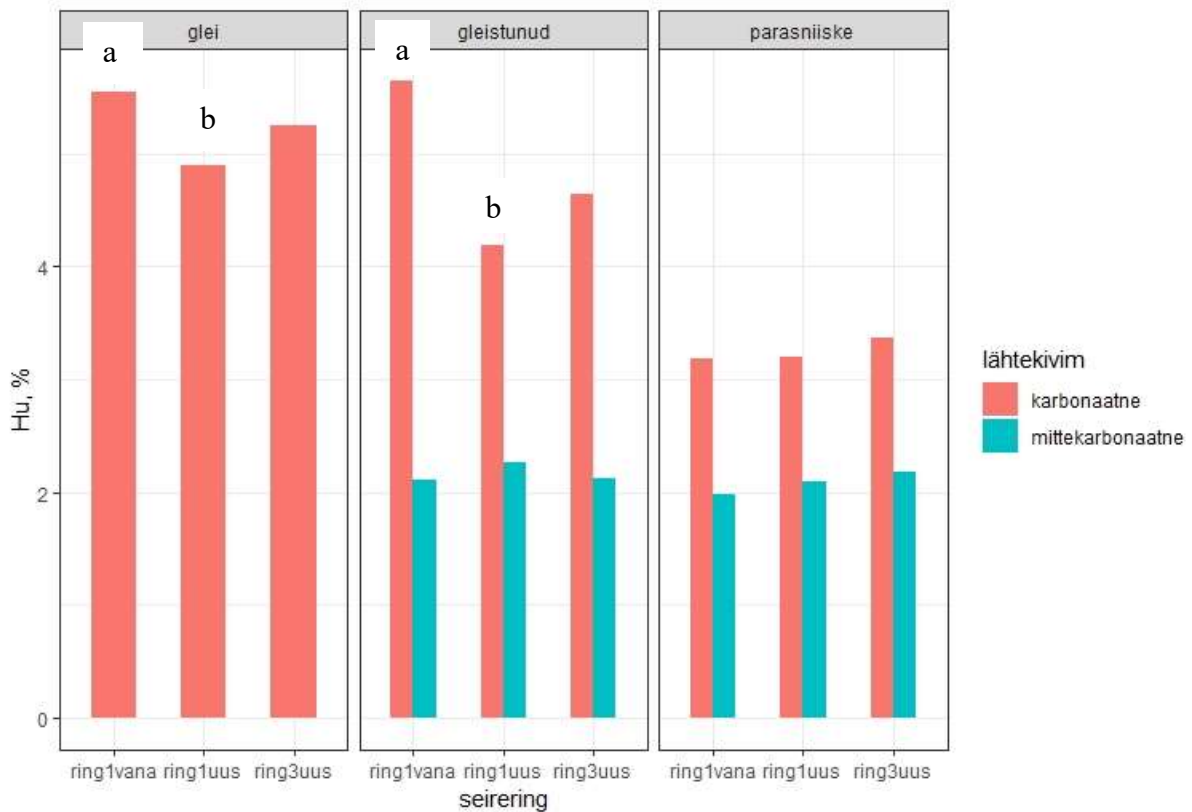




**Joonis 4. Püsivaatlusalade huumushorisoni tusedus (cm) erinevatel seireringidel ja seireperioodidel. Tähed näitavad statistiliselt olulisi erinevusi ( $p < 0,05$ ).**

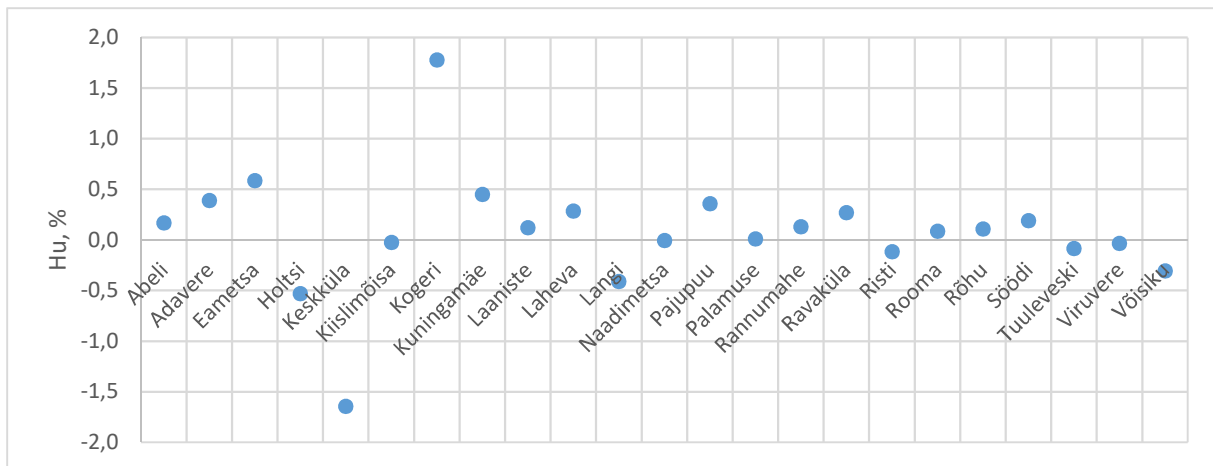
### 2.3 Huumusesisaldus, lasuvustihedus ja huumusvaru

Mulla ülemise horisoni huumusesisalduse pikaajast võrdlust on tehtud Tjurini meetodiga määratud proovidest. Huumusesisaldus sõltub erinevatest mulla omadustest - mulla liigist, lõimisest, veerežiimist jne. Koondanalüüsi raames arvestati mulla lähtekivimi, veerežiimi ja huumushorisoni tuseduse mõju huumusesisaldusele. Veerežiim peegeldab kaudselt mullaliike ning märjemad mullad ehk gleistunud või gleimullad on üldiselt kõrgema huumusesisaldusega kui parasniisked mullad. (Joonis 5). Teine oluline aspekt on mulla lähtekivim. Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on keskmiselt madalam huumusesisaldus võrreldes karbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadega. Kõiki neid erinevaid omadusi arvestati kui võrreldi huumusesisalduse muutust ajas ehk seireringide vahel. Kui neid ei oleks arvestatud, siis ei oleks muldade huumusesisaldusega statistiliselt usutavaid muutuseid toimunud. Statistiliselt olulised muutused toimusid gleistunud ja gleimuldades, kus võrreldes vana perioodi esimese seireringiga oli huumusesisaldus oluliselt vähenenud uue perioodi esimeseks seireringiks. Kuigi statistiliselt seda ei tõestatud, siis visuaalselt saab hinnata, et uue perioodi kolmandaks seireringiks on huumusesisaldus pigem suurenemise trendis kõikide veerežiimi ja lähtekivimiga muldadel välja arvatud gleistunud mullad mittekarbonaatsel moreenil. Selle huumusesisalduse suurenemine on ühelt poolt seotud ilmselt kuivendusseisundi halvenemisega kuivendatud muldadel ning veidi ka arenenud laboritehnoloogiast. Nimelt määratakse näitajat küll sama meetodiga, kuid veidi kaasajastatult ja üldiselt selle tagajärjel leitakse veidi suuremad sisaldused kui ajalooliselt. Huumusesisalduse määramine oli ka ajalooliselt küllalt subjektiivne ja sõltub ka laborite nõ käekirjast. Näiteks saadi 80-ndatel aastatel Saku ja Tartu mullalaborite võrdlusel oluliselt erinevaid tulemusi huumusesisalduse määramisel samadest proovidest.



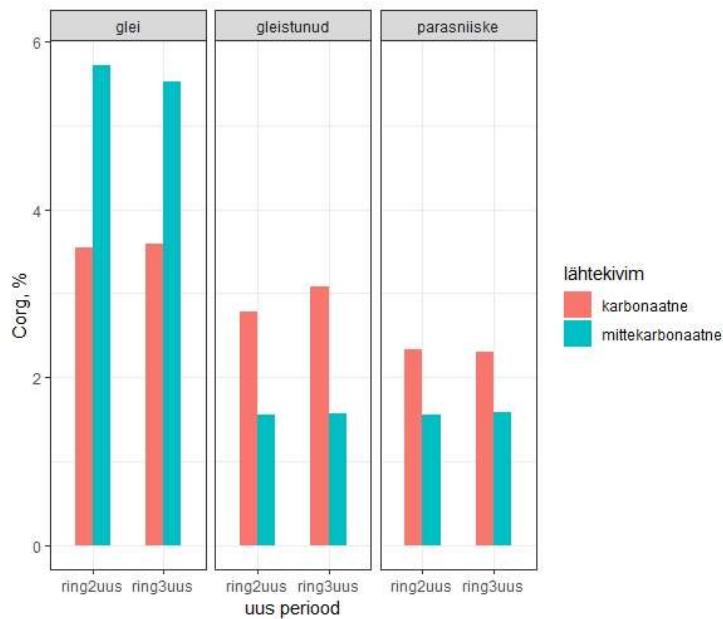
**Joonis 5. Huumusesisaldus (Hu, %) 20 püsivaatlusalal erinevatel seireringidel sõltuvalt mulla lähtekivimist ja veerežiimist. Tähed tulpadel näitavad statistiliselt olulisi muutusi seireringide vahel ( $p < 0,05$ ) veerežiimi ja lähtekivimi lõikes.**

Uue perioodi püsivaatlusaladel (23) tervikuna ei toimunud huumusesisalduses statistiliselt olulisi muutuseid koondanalüüsi kontekstis võrdlusaluste seireringide vahel. Kolmanda ja esimese seireringi muutused on valdavalt väga väikesed () ning üksikud suuremad erisused mõnedel aladel tulenevad pigem maaparanduse olukorrast ja sellest mõjust proovitulemustele-juhuslikud kaevete asukohad näiteks drenikaevikutes mõjutavad lõpptulemust. Siiski on selge trend huumusesisalduse suurenemise suunas - 23 alast vaid seitsmel toimus näitaja vähenemine, ülejäänud aladel huumusesisaldus suurenes.



**Joonis 6. Huumusesisalduse muutus uue seireperioodi kolmandat ja esimest ringi vahel.**

Alates 2007. aastast määrati paralleelselt lisaks huumusesisaldusele ka mulla orgaanilise süsiniku sisaldus kuivtuhastamise meetodil, mis on üldtunnustatud referentsmeetod (% , Dumas meetod). Orgaaniline süsinik moodustab üle poole huumusesisaldusest, mistõttu need kaks näitajat on omavahel tihedalt seotud. Uue perioodi esimesel seireringil tehti Corg määramised ainult paarilt seirealalt, mistõttu vaatleme seaduspärasusi teisel ja kolmandal seireringil (Joonis 7). Parasniisketel ja gleistunud muldadel, mis on kujunenud mittekarbonaatsel lähtekivimil on sarnased Corg sisaldused (keskmiselt 1,5%) võrreldes sama veerežiimiga karbonaatsel lähtekivimil olevatel muldadel, vastavalt 2,3% ja 2,7%. Statistiliselt olulisi erinevusi kahe seireringi vahel ei tuvastatud üheski mullagrupis, kuid see on ka teatud mõttes loomulik, sest Corg sisaldus mullas on suhteliselt staatiline näitaja ja selle muutumine usutavalt toimub pikema perioodi jooksul.



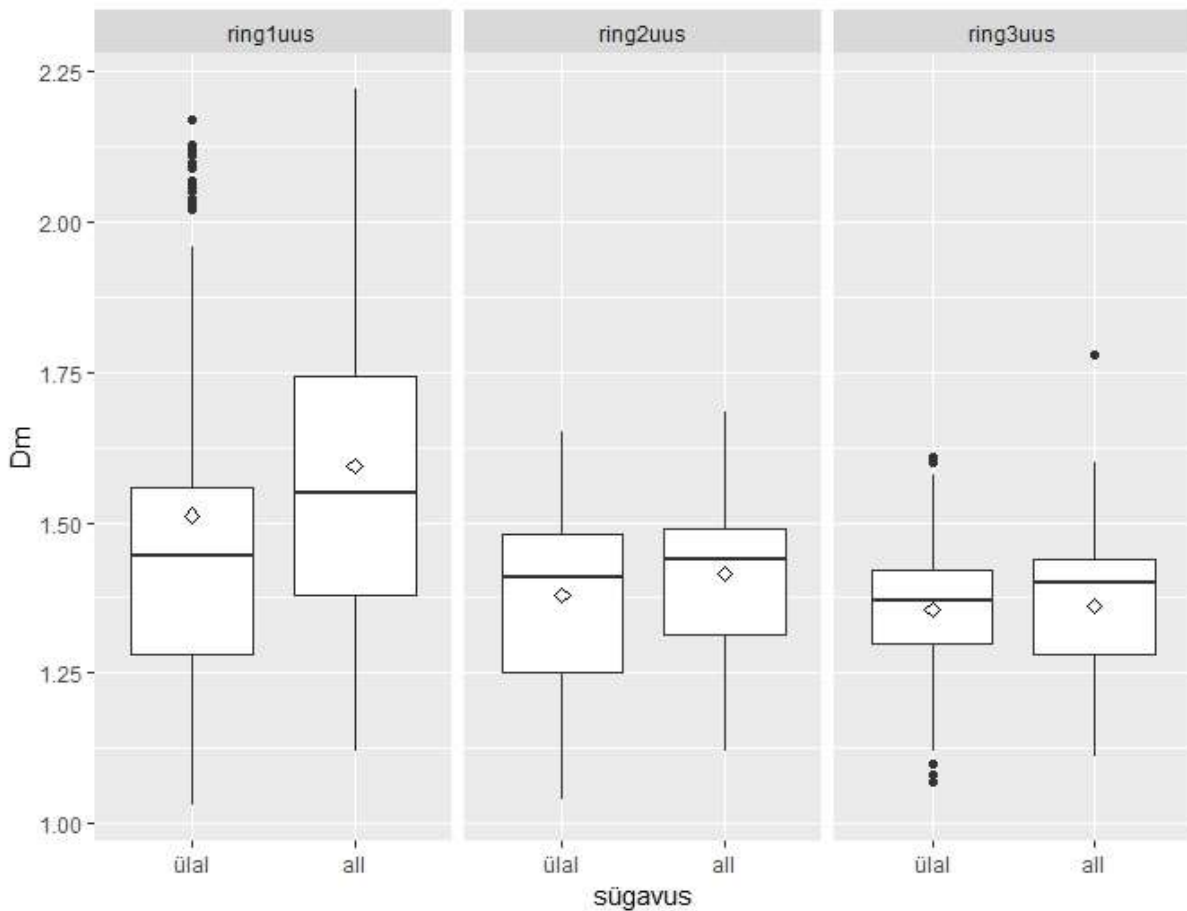
**Joonis 7. Orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg, %) Dumas meetodil sõltuvalt mulla lähtekivimist ja veerežiimist.**

### 2.3.1 Lasuvustihedus

Lasuvustihedus (mahukaal) iseloomustab hästi põllumuldade tihenemist, mis võib tekkida nii märja mulla kündmisest, monokultuuri kasvatamisest, pikaajalisest ühest ja samast künnisügavusest, raskest põllumajandustehnikast ning sellest tulenevast suurest masinate rehvirõhust. Lasuvustiheduse proovid kogutakse püsivaatlusaladel kahest sügavusest (5 cm ja 20 cm-st sügavamalt) spetsiaalse silindriga 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. Vana seireperioodil koguti proovid neljast sügavusest, mistõttu on keeruline otseselt neid andmeid omavahel võrrelda. Koondanalüüsis on keskendutud ainult uue perioodi tulemustele. Vana perioodi detailne lasuvustiheduse analüüs on leitav artiklist Suuster et al. (2011), kuid seal ei ole võrreldud omavahel erinevaid seireringe.

Kõikidel ringidel on ülemise kihi lasuvustihedus väiksem kui alumises kihis, kuid see vahe on ringide jooksul vähenenud just alumise kihi näitaja vähenemise arvel (Joonis 8). Lasuvustiheduse vähenemine alumises kihis on olnud statistiliselt oluline võrreldes esimest seireringi teise (11% võrra) ja kolmanda ringiga (15%). Järelikult piisab olemasolevast agrotehnologiast, et 20 cm ulatuses mullakihis ei teki arvestatavat mullatihet ja taimedele on üldiselt soodne keskkond. Sarnaselt alumisele kihile on lasuvustihedus vähenenud ka ülemises kihis, kuid oluliselt aeglasemas tempos. **Seega on seirepõldude harimine, külvikorrad ja muu agrotehnoloogia soodustanud üldiselt mulla lasuvustiheduse muutust**

taimekasvatusele soodsas suunas. Seirepõldudel tervikuna ei ole täheldatav lasuvustiheduse negatiivsed muutused, küll on aga neil tuvastatud üksikutel põldudel.

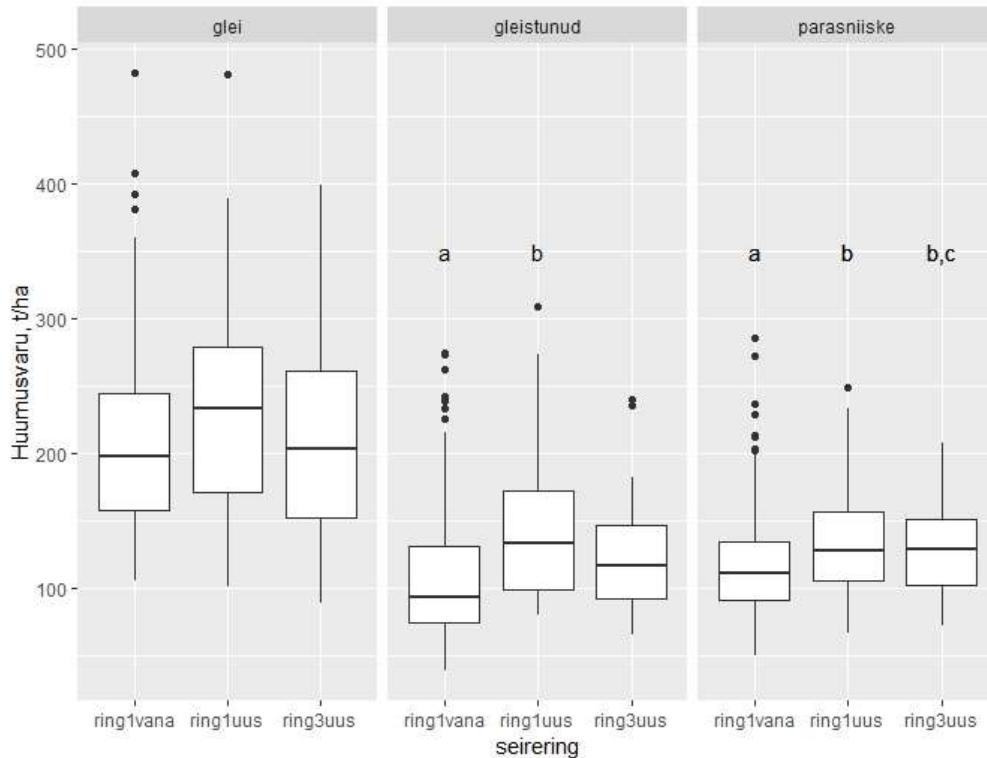


**Joonis 8.** Püsivaatlusalade (24) lasuvustihedus ( $D_m, \text{g/cm}^3$ ) erinevates sügavustes ja seireringidel uuel seireperioodil. Karp-vurrud diagrammil on jämeda musta joonega näidatud mediaan ja rombiga aritmeetiline keskmine.

### 2.3.2 Huumusvaru

Huumusvaru ja orgaanilise süsiniku varu on olulised muldade huumusseisundit iseloomustavad koondnäitajad, mis baseeruvad huumushorisoni tusedusel, huumuse- või orgaanilise süsiniku sisaldusel ja mulla lasuvustihedusel ehk parameeter peegeldab mulla huumusseisundit nende näitajate koondina. Ühtlasi on see näitaja väga oluline keskkonnakaitseliselt aspektist, sest selle abil saame iseloomustada kõige adekvaatsemalt mullas talletunud orgaanilise süsiniku hulka ja hinnata selle muutusi. Uue perioodi viimase kolme seireringi iseloomustamiseks kasutame peamiselt Corg varu näitajat, kuid ajaloolise võrdluse peegeldamiseks kasutame huumusvaru näitajat. Huumusvaru võrdlemisel kasutati ainult mõõdetud väärtuste alusel arvatud huumusvaru ning arvestati ka muldade veerežiimi. Ajaloolises võrdluses on statistiliselt oluliselt muutunud gleistunud ja parasniiskete muldade huumusvaru (Joonis 9). Gleistunud muldades on toimunud uue perioodi esimeseks seireringiks

huumusvaru oluline 32% suurenemine võrreldes vana perioodi esimese ringiga. Parasniisketel muldadel on nii uue perioodi esimesel (133 t/ha) kui kolmandal (131 t/ha) seireringil statistiliselt oluliselt kõrgem huumusvaru kui põllumuldade seire vana perioodi esimesel seireringil (116 t/ha). Uue perioodi esimeseks ringiks oli küllaltki märkimisväärselt suurenenud ka gleimuldade huumusvaru, kuid mitte statistiliselt usutavalt.

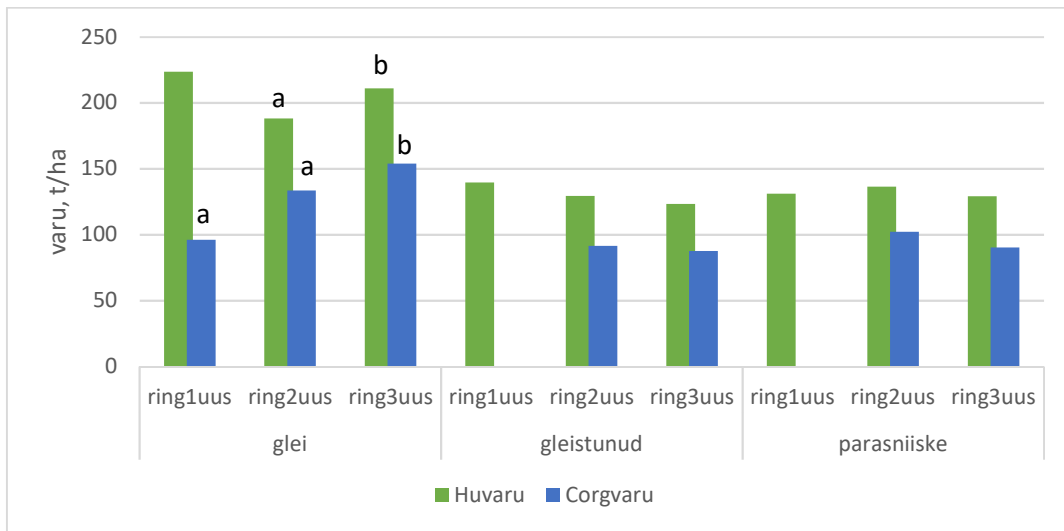


**Joonis 9. Huumusvaru (t/ha) ajalooline võrdlus püsivaatlusaladel sõltuvalt valitsevast veerežiimist ning seireringist. Karp-vurrud diagrammil on jämeda musta joonega näidatud mediaan. Tähtedega on märgitud omavahel statistiliselt erinevad seireringid veerežiimi põhised ( $p < 0,05$ ).**

Uue perioodi viimase ja eelviimase ringi vahel toimus glei- ja gleistunud muldadel huumusvaru vähenemine, parasniisketel muldadel jäi näitaja samaks. Seega on viimaste aastate jooksul huumusvaru vähenemine ja keskkonnakaitseliselt aspektist on see kahtlemata negatiivne trend. Põhjuseks intensiivistunud tootmine, vähenenud tahesõnniku, põldheina ja püsirohumaade kasutamine.

Uuel seireperioodil on vastupidiselt ajaloolisele võrdlusele toimunud statistiliselt olulised muutused gleimuldadel. Võrreldes kolmandat ja teist seireringi on huumusvaru suurenenud 31 t/ha võrra (16,5%, Joonis 10). Gleistunud ja parsniisketele muldadel näeme samal perioodil pigem aeglast languse tendentsi, vastavalt 4,7% ja 5,1%. Corg varu osas on samuti usutavad muutused toimunud gleimuldadel ning statistiliselt oluline on pidev Corg varu suurenemine alates esimesest seireringist. Ilmselt on see tingitud osaliselt maaparandussüsteemide halvenenud seisundist tulenevalt ja ka märgadel muldadel suuremast

püsirohumaade osatähtsusest. Gleistunud ja parasniisked mullad on suhteliselt sarnase Corg varu absoluutväärtusega ja siin saame kirjeldada aeglast langustendentsi sarnaselt huumusvaru muutusele.



**Joonis 10.** Huumusvaru (t/ha) ja orgaanilise süsiniku varu (Corg varu, t/ha) püsivaatlusaladel uuel seireperioodil sõltuvalt valitsevast veerežiimist ning seireringist. Tähtedega on märgitud omavahel erinevad seireringid veerežiimi põhised ( $p < 0,05$ ).

## 2.4 Seirepõldude süsinikuvaru prognoosimudel

Kuna Corg varu on väga oluline muldade keskkonnaseisundi näitaja, siis prognoositi andmebaasis realselt mõõdetud valitud andmetele tuginedes muldade Corg varus toimuvaid muutusi tulevikus.

Seirepõldude Corg varu dünaamika prognoosimiseks kasutati pikaajases seires olnud 20 püsivaatlusala ning antud analüüsil kasutati ainult huumustrassi A proove, et minimeerida trassi asukohast tulenevaid erinevusi. Teisalt on antud mudeli puhul oluline, et erinevate seireringide valimi suurus oleks sarnane - see võimaldab saada täpsemaid tulemusi. Prognoosimudel kasutab sisendina Corg varu, mistõttu arvutati huumusvaru ümber Corg varuks.

Tulemused näitavad, et Corg varu suurenes märkimisväärselt vana perioodi esimese seireringi (1983-1987) ja uue perioodi esimese seireringi vahel (2002-2006), aeglane suurenemine jätkus kuni viimase seireringini (Tabel 4).

**Tabel 4.** Seirepõldude keskmine mõõdetud Corg varu (t/ha) erinevatel seireringidel.

Vaatlusala	ring1vana		ring1uus		ring3uus	
	Aasta	Corg varu, t/ha	Aasta	Corg varu, t/ha	Aasta	Corg varu, t/ha
Abeli	1985	47	2002	67	2013	64
Adavere	1984	58	2003	83	2013	85

Eametsa	1985	133	2004	143	2014	152
Holtsti	1985	37	2005	58	2015	43
Keskküla	1987	137	2003	184	2013	134
Kiislimõisa	1986	42	2005	65	2015	67
Kogeri	1985	88	2004	50	2014	130
Kuningmäe	1984	108	2005	107	2015	121
Laaniste	1985	44	2005	44	2016	47
Laheva	1987	89	2006	90	2016	97
Langi	1985	133	2003	135	2013	117
Naadimetsa	1985	47	2002	61	2012	68
Pajupuu	1986	75	2004	83	2014	103
Ravaküla	1983	61	2006	66	2016	75
Risti	1985	98	2006	121	2016	161
Rooma	1983	63	2002	104	2013	67
Söödi	1983	56	2004	69	2014	93
Tuuleveski	1984	76	2003	108	2014	102
Viruvere	1984	72	2003	91	2013	68
Võisiku	1984	101	2007	122	2017	80
<b>Keskmine</b>		<b>78,2</b>		<b>92,6</b>		<b>93,8</b>

Corg varu prognoosimiseks kasutati Hénin-Dupuis valemite:

$$C_t = C_0 e^{-k t} + \frac{h A}{k} (1 - e^{-k t})$$

kus  $C_t$  – süsinikuvaru (t/ha) ajahetkel  $t$ ;  $C_0$  – on algne süsinikuvaru (t/ha);  $e$  – naturaallogaritm;  $k$  – orgaanilise aine lagunemiskonstant; mis kirjeldab orgaanilise aine kadu mineralisatsiooni või erosiooni tõttu aasta jooksul;  $t$  – aeg (aastad);  $h$  – humifikatsioonikoefitsient, mis iseloomustab taimejäänustes sisalduva süsiniku humifikatsiooni;  $A$  – aastane süsinikusisend mulda tonnides.

Kasutades Hénin-Dupuis valemite testiti erinevaid seireringide vahel toimunud Corg varu muutusi kirjeldavat parameetrit  $k$  ja süsinikusisendi kogust  $A$ . Uue perioodi teise seireringi mõõdetud ja Hénin-Dupuis valemiga arvatud Corg varude vaheline seos oli kõige tugevam siis, kui  $k=0,0007$  ja oletatav süsinikusisend aastast oli 4 t/ha. Keskmine arvatud Corg varu oli 92,5 t/ha, mis on suhteliselt sarnane mõõdetud tulemusega (92,6 t/ha) ja seega sobib mudel



muutuse ennustamiseks päris hea täpsusega. Sama loogika järgi leiti samad näitajad ka teiste seireringide kohta (Tabel 5).

**Tabel 5. Püsivaatlusalade (20) keskmine Corg varu (t/ha) ning muutused mõõdetuna ja arvatuna (Hénin-Dupuis valemi järgi) erineva lagunemiskonstandi ( $k$ ) ja aastase süsiniku sisendi ( $A$ ) väärtuse korral erinevatel seireringidel.**

Seirering		Mõõdetud		$k$	A, t/ha	Arvatud
		Corg varu algul, t/ha	Corg varu pärest, t/ha			Corg varu pärest, t/ha
Algul	Pärest					
ringlvana	ringluus	78,2	92,6	0,0007	4	92,5
ringluus	ring3uus	92,6	93,8	0,0031	2	93,8
ringlvana	ring3uus	78,2	93,8	0,00095	4	93,8
Keskmised (1983-2017)						
ringlvana	ring3uus	78,2	93,8	0,0016	3,3	93,8

Kasutades perioodi 1983-2017 keskmisi  $k$  ja  $A$  näitajaid (0,0016 ja 3,3, vastavalt), siis Hénin-Dupuis valemiga arvatud Corg varu pärest kolmandat proovivõttu on 93,8 t/ha, mis ühtib hästi mõõdetud varuga (93,8 t/ha) ja lubab arvata, et leitud näitajaid võib samadel seirealadel kasutada Corg varu tulevikuproгноosimiseks.

Eeldades, et lagunemiskonstant  $k$  ja süsinikusisend  $A$  järgnevatel aastatel ei muutu, siis püsivaatlusalade keskmiselt Corg varu suureneb **102 t/ha (8,7%) 2030. aastaks ja 107 t/ha (14,1%) 2040. aastaks**. Samas, kui lagunemiskonstant  $k$  suureneb (lagunemine kiireneb-kliimamuutuste mõju), siis keskmine Corg varu ei suurene ning kui lisaks toimub ka süsinikusisendi koguse vähenemine (vähem orgaanilisi väetisi ja väiksem põldheina osatähtsus külvikorras), siis võib nende põldude keskmine Corg varu hakata vähenema.

Seireandmete analüüs näitas, et peamiselt on Corg varu suurenemine tingitud huumushorisoni түsenemisest, mis saavutati 80-ndatel aastatel sügavkünniga. Kuna tulevikus ei ole ette näha olemasoleva huumushorisoni edasist түsenemist, siis kasutasime sama mudeli poolt tehtud prognoosi, kus  $A$  horisoni түseduse elimineerisime ehk jätsime selle konstantseks түsedusega 20cm. Antud tingimustel tehtud prognoos näitas, et kui  $A$  horisoni түsedus ei suurene (mis on suhteliselt tõenäoline), siis tegelikult hakkab Corg varu samade tingimuste ehk olemasoleva agrotehnoloogia juures hoopis vähenema.

**Tabel 6. Corg varu (t/ha) ja selle muutumine muutumatu A horisondi tuseduse (20 cm) juures erineva lagunemiskonstandi (k) ja aastase süsiniku sisendi (A) väärtuse korral erinevatel seireringidel.**

Seirering		Möödetud		k	A, t/ha	Arvutatud
Algul	Pärast	Corg varu algul, t/ha	Corg varu pärast, t/ha			Corg varu pärast, t/ha
ringlvana	ringluus	59,3	60,3	0,0059	2	60,3
				0,0093	3	60,3
				0,0126	4	60,3
ringluus	ring3uus	60,3	56,5	0,0132	2	56,5
				0,0167	3	56,5
				0,02	4	56,5
ringlvana	ring3uus	59,3	56,5	0,0095	2	56,5
				0,013	3	56,5
				0,0165	4	56,5
<b>Keskmiised (1983-2017)</b>						
ringlvana	ring3uus	59,3	56,5	0,013	3	55,0

Kasutades perioodi 1983-2017 keskmisi  $k$  ja  $A$  näitajaid (0,013 ja 3, vastavalt), siis Hénin-Dupuis valemiga arvutatud Corg varu pärast kolmandat proovivõttu on 55,0 t/ha, mis ühtib enamvähem möödetud varuga (56,5 t/ha, alahindab 2,65%), mis lubab arvata, et leitud näitajaid võib samadel seirealadel kasutada Corg varu tulevikuproгноosimiseks.

Eeldades, et lagunemiskonstant  $k$  ja süsinikusisend  $A$  järgnevatel aastatel ei muutu, siis antud andmebaasis olevate põldude keskmine 0-20 cm Corg varu **väheneb 53,0 t/ha 2030.aastal ja 52,6 t/ha 2040.aastaks**. Samas, kui lagunemiskonstant  $k$  suureneb (lagunemine kiireneb näiteks kliimamuutuste tõttu), siis keskmine Corg varu ei suurene ning kui lisaks toimub ka süsinikusisendi koguse vähenemine, siis on oht, et nende põldude keskmine Corg varu hakkab vähenema veel kiiremas tempos.

Corg varu prognoos näitas, et üldiselt on Corg varu seirealade keskmisena aastate jooksul suurenenud, eriti vahemikus 1983-2006. Corg varu prognoosimudeli järgi suureneb antud agrotehнологiat kasutades Corg varu 2030. aastaks 8,7% ja 2040.aastaks 14,1 % võrreldes viimase seireringiga. Kuna prognoosimudel arvestab  $A$  horisondi jätkuvat kasvu, mis ei pruugi realiseeruda loodetud määras, siis selle parameetri ellimineerimisel toimub tegelikult tulevikus Corg varu väike langus võrreldes viimase seireringiga, vastavalt 3,6% 2030 aastaks ja 4,3%

2040.aastaks. Tegemist on siiski suhteliselt väikese negatiivse muutusega, mida on võimalik kompenseerida kas orgaaniliste väetistega või põldheina kasvatamisega. Näiteks oleks vaja sellisel juhul lisada mulda täiendavalt 1,3 tonni tahesõnnikut aastas.

## 2.5 Püsivaatlusalade toiteelementide sisalduse muutused

Mulla liikuv P ja K määratakse käesolevas seires kahel erineval meetodil: andmete ajalooliseks võrdlemiseks DL meetodil ning viimaste seireringide omavaheliseks võrdluseks Mehlich III (M3) meetodil. Kuivõrd on tegemist erinevate analüütiliste meetoditega, siis esinevad erinevused tulemuste absoluutväärtustes, seetõttu hindame liikuva P sisaldust ka vastavale meetodile välja töötatud gradatsiooni- ehk sisaldusklasside kaupa. M3 ja DL-meetodi gradatsioonid Eestis tingimustes mulla liikuva P sisalduse hindamiseks on järgmised:

M3 DL

Väga väike <20 mg/kg <7 mg/kg

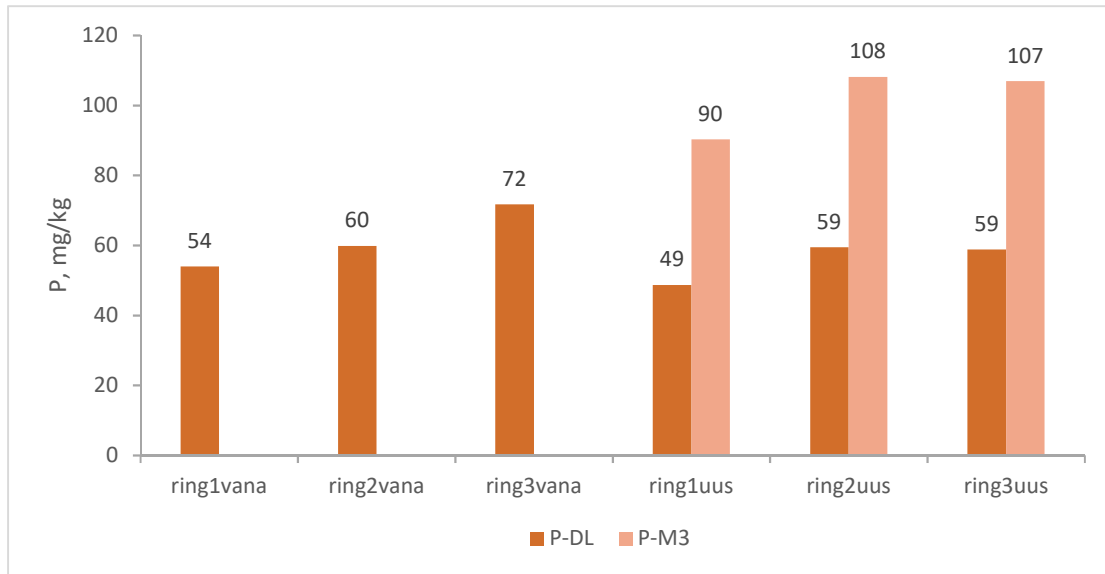
väike 20–45 mg/kg 7–19 mg/kg

Keskmine 46–90 mg/kg 20–48 mg/kg

Kõrge 91–145 mg/kg 49–105 mg/kg

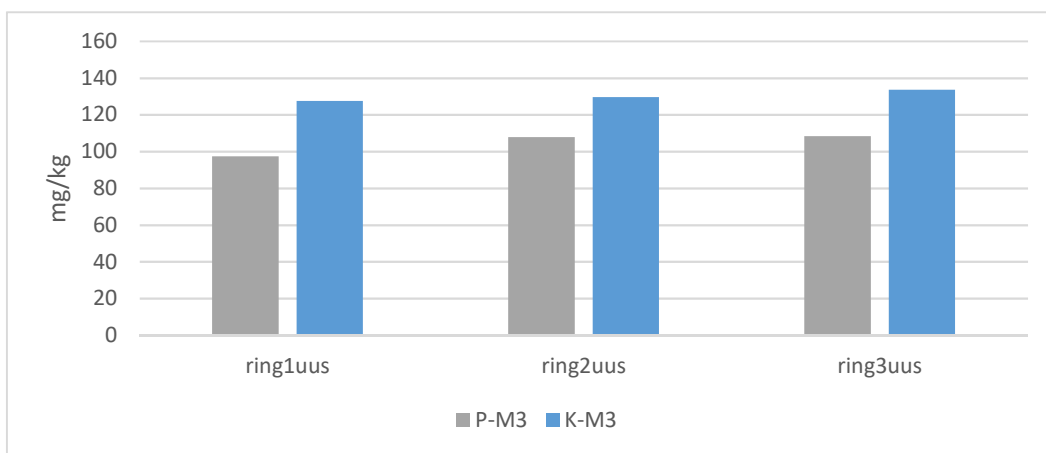
Väga kõrge >145 mg/kg >105 mg/kg

Pikaaegsete muutuste analüüsimiseks kasutati liikuva P sisaldusi määratuna DL meetodil ning analüüsiti 20 seireala keskmisena. Võrreldes vana ja uut seireperioodi on uuel seireperioodil liikuva P sisaldus olnud stabiilsem ning üldiselt muutusteta seireringide vahel (Joonis 1). Tuleb lisada, et uue perioodi esimesel seireringil mõõdeti ainult neljal püsivaatlusalal liikuva P ja K sisaldus DL meetodiga, mistõttu ei peegelda keskmine sisaldus kõikide püsivaatlusalade keskmist. **Seetõttu analüüsiti liikuva P erinevusi vana perioodi ja uue perioodi kolmanda seireringi vahel ning usutavaid erinevusi ei tuvastatud.** Vanal seireperioodil on võrreldes esimest seireringi kolmanda seireringiga toimunud liikuva P sisalduse usutav suurenemine 18 mg/kg võrra ( $p=0,0009$ ). Liikuva P sisaldusklassi osas on mullad püsinud kogu seireperioodi vältel klassis kõrge. Sisuliselt tähendab see seda, et üldise statistilise keskmise järgi võiks teatud aastatel muldi ka üldse mitte P väetistega väetada. Teisalt võib liiga kõrge P sisaldus luua soodsad tingimused leostumiseks ja selline olukord on keskkonnakaitselisest aspektist kahtlemata negatiivne.



**Joonis 11. Liikuva fosfori keskmine sisaldus (mg/kg) Egner-Riehmi topelt-laktaatmeetodil (P-DL) ja Mehlich III meetodil (P-M3) 20 püsivaatlusalal erinevatel seireringidel.**

Uuel seireperioodil, kus vaatluse all on 24 ala, ei ole liikuva P sisalduses (määratud M3 meetodil) toimunud seireringide vahel statistiliselt olulisi muutusi (Joonis 12). Perioodi alguses oli keskmine liikuva P sisaldus 97 mg/kg ning kolmandal seireringil 108 mg/kg. Nendest aladest 23-l kasutati väetiseid ning fosforit kasutati viimasel viiel aastal keskmiselt normiga 16 kg/ha/a.

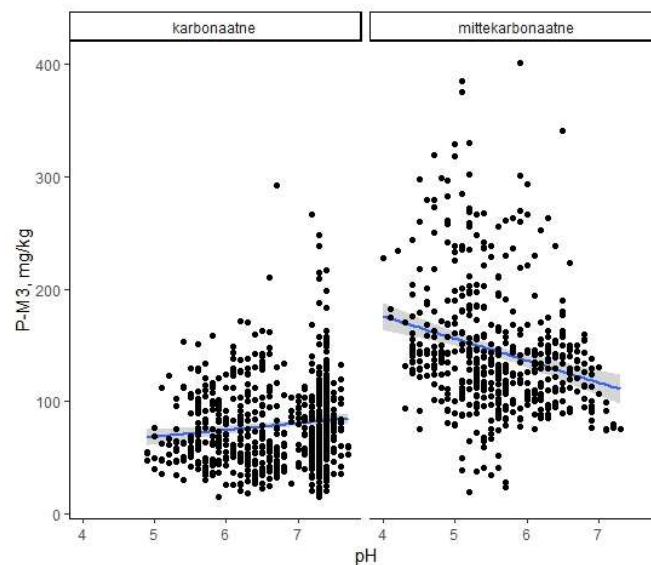


**Joonis 12. Püsivaatlusalade (24) liikuva P ja K keskmised sisaldused (mg/kg) Mehlich 3 meetodil uuel seireperioodil (2002-2017 a.).**

Sellest lähtudes võime eeldada, et kui väetada põlde normiga vähemalt 16 kg/ha, siis säilib olemasolev mulla liikuva P sisaldus. Majanduslikult optimaalsem ja keskkonnakaitseliselt positiivne oleks kasutada väetamiseks veelgi väiksemat P normi, sest liikuva P sisaldus muldades on seirepõldude muldades suhteliselt kõrge.

Küll aga on oluline mõju pH ja lähtekivimi koosmõjul mulla liikuva P sisaldusele määratuna M3 meetodil ( $p < 0,001$ ). Karbonaatsel lähtekivimil suureneb liikuva P sisaldus pH suurenedes, ning mittekarbonaatsel lähtekivimil väheneb liikuva P sisaldus pH suurenedes.

(Joonis 13). Antud joonis kirjeldab hästi mulla pH mõju taimede poolt fosfori omastamisele happelises ja aluselises mullas on fosfori omastamine raskendatud ja võib kuhjuda mulda. Seega tuleb taimede fosforiga väetamise planeerimisel kindlasti jälgida ka mullareaktsiooni.



**Joonis 13. Liikuva P sisaldus (mg/kg) Mehlich III meetodil (P-M3) sõltuvalt mulla reaktsioonist (pH) ja lähtekivimist uuel seireperioodil (2002-2017 a.).**

M3 ja DL-meetodi gradatsioonid Eestis tingimustes mulla liikuva K sisalduse hindamiseks on järgmised:

M3 DL

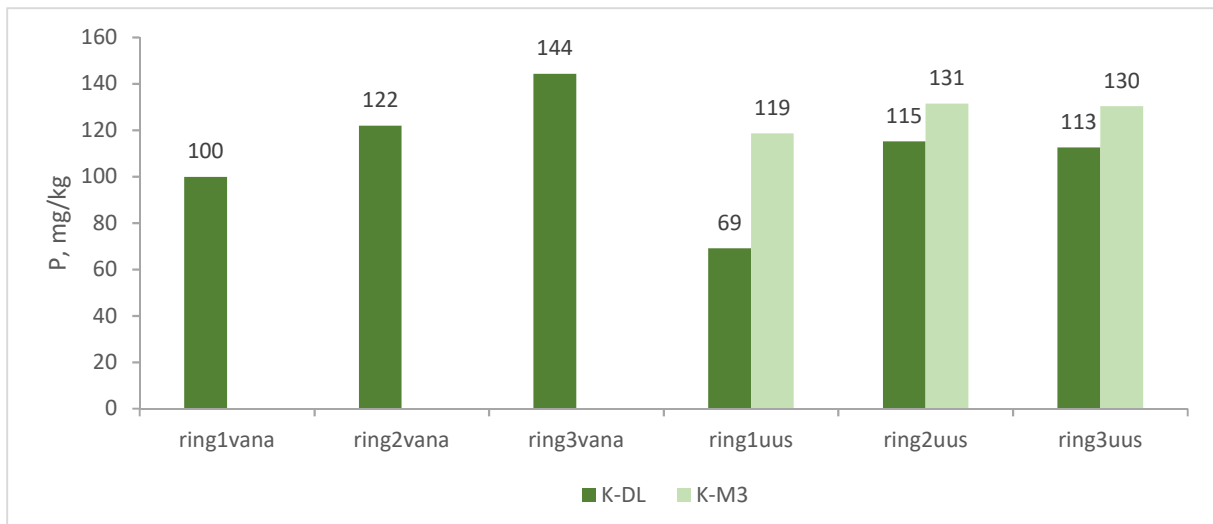
Väga väike <55 mg/kg <40 mg/kg

Väike 56–130 mg/kg 41–80 mg/kg

Keskmine 131–240 mg/kg 81–170 mg/kg

Kõrge >240 mg/kg >170 mg/kg

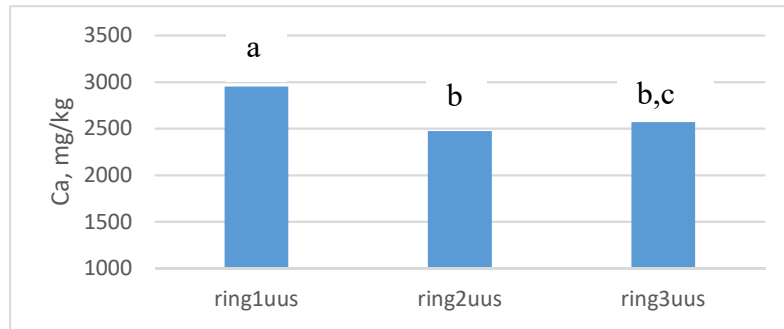
Liikuva K-DL sisalduses on sarnaselt liikuvale P sisaldusele toimunud statistiliselt usutavad muutused vana seireperioodi esimese ja kolmanda ringi vahel ( $p < 0,05$ ). Nende ringide vahel on liikuva K sisaldus suurenenud 44% 144 mg/kg-ni (Joonis 14). **Samuti on toimunud statistiliselt oluline liikuva K-DL sisalduse vähenemine uue seireperioodi kolmanda ja vana seireperioodi kolmanda ringi vahel ( $p = 0,03$ ).** Seega on võrreldes liikuva P sisaldusega toimunud K sisalduse oluline vähenemine võrreldes vana seireperioodiga, mis viitab praeguse agrotehnoloogia puudujäägile K väetamise osas. Samas on liikuva K-DL sisaldus mullas jätkuvalt püsinud kogu seireperioodi vältel keskmises sisaldusklassis ehk optimaalsel tasemel. Sama väetamise juures võib tulevikus siiski toimuda sisaldusklassi muutus väiksema klassi suunas.



**Joonis 14. Liikuva kaaliumi keskmine sisaldus (mg/kg) Egner-Riehmi topelt-laktaatmeetodil (K-DL) ja Mehlich III meetodil (K-M3) 20 püsivaatlusalal erinevatel seireringidel.**

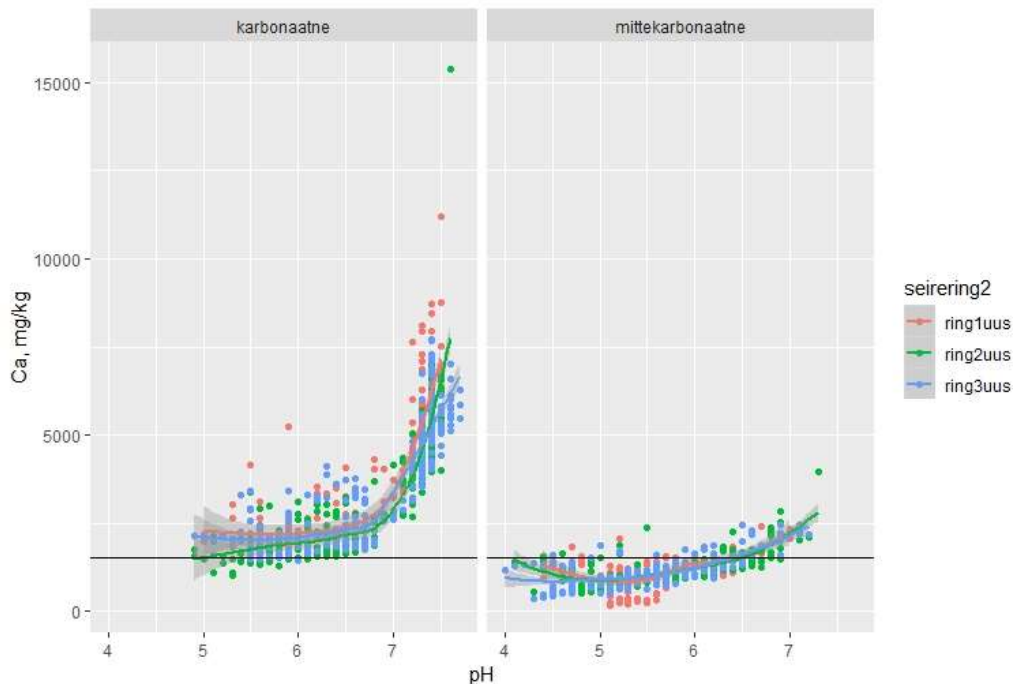
Uuel seireperioodil ei ole seireringide võrdluses toimunud statistiliselt olulist liikuva K-M3 sisalduse muutust (Joonis 14). Esimesel seireringil oli liikuva K sisaldus sisaldusklassis väike, kuid on kahel viimasel seireringil tõusnud ja püsib kahe sisaldusklassi piiril olles u 130 mg/kg. Püsivaatlusaladel (23) kasutati kaaliumi viimasel viiel aastal keskmiselt normiga 59 kg/ha/a ning üldiselt sellest kogusest piisab mulla K sisalduse säilitamiseks.

Teiste makroelementide (liikuv Ca ja Mg) puhul ei ole enam kahjuks võimalik Ca ja Mg sisaldust määrata ajaloolisel meetodil, võrdlemaks muutusi pikema perioodi jooksul. Seetõttu on analüüsis kasutatud ainult uue seireperioodi kolme seireringi tulemusi. Ca sisaldus mullas on üldiselt suhteliselt stabiilne, seotud küllalt tihedalt mulla lähtekivimi ja mullareaktsiooniga ning muutub järsult peamiselt vaid lupjamise tagajärjel. Seetõttu kaasati segamudeli analüüsi lisaks seireringile lähtekivim, pH ja lähtekivimi ning seireringi koosmõju (kas erinevatel lähtekivimitel on Ca sisaldusele seireringiti erinev mõju), mis kõik olid statistiliselt olulised ( $p < 0,05$ ). Analüüsi tulemusel selgus, et Ca sisaldus on seireringide võrdluses statistiliselt oluliselt muutunud ( $p < 0,05$ ). Koondanalüüsi raames on oluline välja tuua, et kolmandal seireringil on statistiliselt oluliselt vähenenud Ca sisaldus võrreldes esimese seireringiga ( $p = 0,03$ ) (Joonis 15). Üldiselt viitab selline tendents juba mullareaktsiooni peatükis käsitletud muldade hapestumise ja ühes sellega Ca seisundi halvenemist, mille põhjuseks on happeliste muldade vähene lupjamine, sest lupjamine on ainuke vahend muldade Ca seisundi parandamiseks.



**Joonis 15. Liikuva kaltsiumi keskmine sisaldus (mg/kg) 24 püsivaatlusalal erinevatel seiringidel. Tähed tulpadel näitavad statistiliselt olulisi muutuseid seiringide vahel ( $p < 0,05$ ).**

Kui arvestada ka erisust seoses lähtekivimiga, siis statistiliselt oluline erinevus on toimunud karbonaatsel lähtekivimil ( $p = 0,02$ ). Nimelt, on Ca sisaldus kolmandal seiringil vähenenud 9% võrreldes esimese seiringiga 3612 mg/kg-ni. Samas ei ole see protsess kuidagi halvendanud nende muldade Ca seisundit, sest Ca sisaldus on ikkagi piisav. Küll aga viitab füsioloogiliselt happelistele protsessidele ka neis muldades, mis on täiesti loomulik protsess.

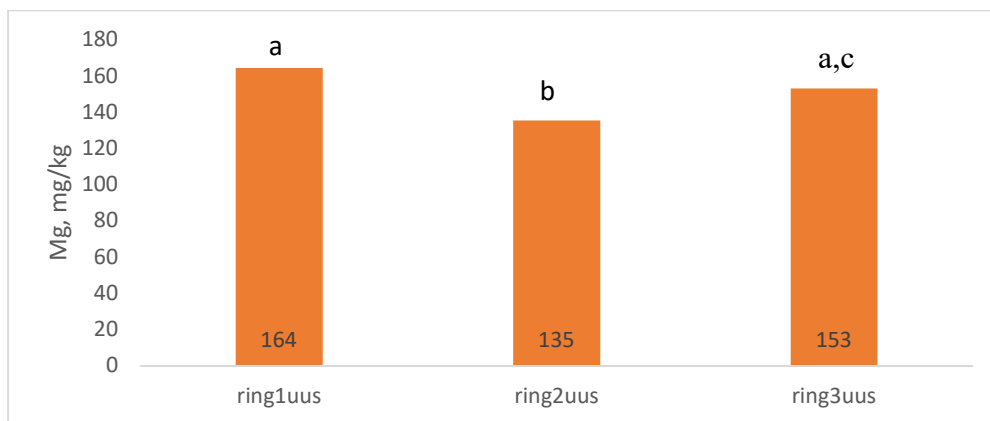


**Joonis 16. Kaltsiumi sisaldus (mg/kg) sõltuvalt mulla lähtekivimist ja mullareaktsioonist püsivaatlusaladel erinevatel seiringidel 2002-2017 a. Must horisontaalne joon tähistab taimede optimaalset Ca sisaldust (1500 mg/kg).**

Lähtekivimi ja mullareaktsiooni mõju Ca sisaldusele on statistiliselt väga oluline ( $p < 0,05$ ) (Joonis 16). Mullareaktsiooni suurenedes suureneb ka liikuva Ca sisaldus. Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on keskmiselt oluliselt madalam Ca sisaldus (1143 mg/kg) ja karbonaatsel lähtekivimil on vastupidiselt kõrgem keskmine Ca sisaldus (3642 mg/kg).

Enamus mittekarbonaatse lähtekivimi muldade Ca väärtusi on alla optimaalse Ca sisalduse (Joonis 16). Taimede toitumise aspektist ei ole probleeme karbonaatsel lähtekivimil paiknevatel muldadel, sest seal on kolmandal seireringil kõikides humustrassipunktides Ca sisaldus suurem või võrdne optimaalse Ca sisaldusega (1500 mg/kg). Mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadel on olukord vastupidine: esimesel seireringil oli Ca sisaldus 1164 mg/kg ning kolmandal seireringil veelgi madalam 1108 mg/kg. **Seega olid need mullad juba seire esimesel ringil Ca defitsiidis ja seireringide jooksul ei ole suudetud seda leevendada ning veelgi enam-olukord on seireperioodi jooksul halvenenud.**

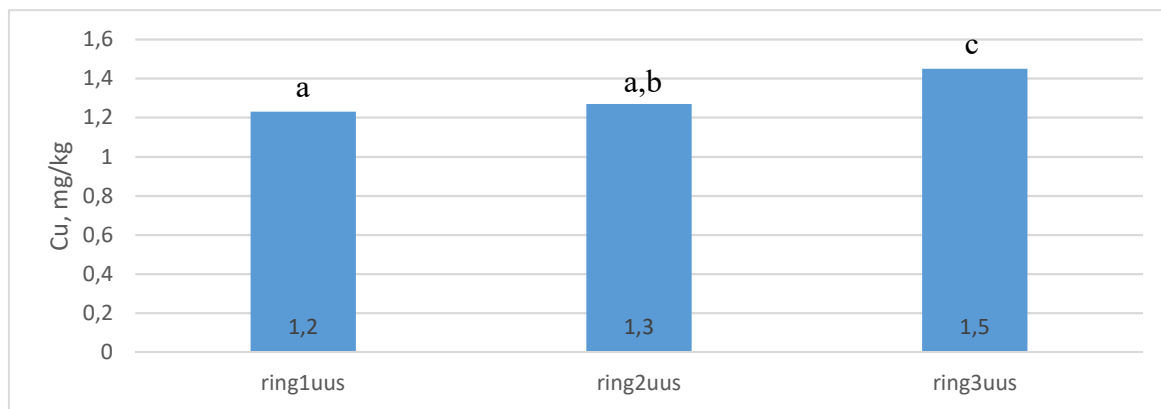
Magneesiumisisaldus mullas tõuseb samuti pH suurenedes ( $p < 0,001$ ). Ka seireringide võrdluses on Mg sisaldus statistiliselt oluliselt muutunud (Joonis 17), kuid muutused on toimunud peamiselt võrreldes teise seireringiga. Teisel seireringil vähenes Mg sisaldus võrreldes esimese seireringiga 18% ( $p < 0,001$ ) ning kolmandal seireringil suurenes võrreldes teise seireringiga 153 mg/kg-ni ( $p = 0,009$ ). **Seega oli oluliseks muutujaks teise seireringi madal Mg sisaldus ja perioodi esimese ja kolmanda ringi vahel olulist erinevust ei olnud ehk Mg sisaldus on kogu perioodi kokkuvõttes püsinud stabiilsena.**



**Joonis 17. Magneesiumisisaldus (mg/kg) püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel 2002-2017 a. Tähed tulpadel näitavad statistiliselt olulisi muutuseid seireringide vahel ( $p < 0,05$ ).**

Mikroelementidest on mulla vase sisaldus seireringide vahel statistiliselt oluliselt suurenenud (Joonis 18). Kolmandal seireringil on vase sisaldus keskmiselt 1,5 mg/kg, mis on 25% rohkem kui esimesel seireringil ( $p < 0,001$ ). Vase sisaldus erineb mullas sõltuvalt lähtekivimist, karbonaatsel mullal on keskmine vase sisaldus kõrgem (1,5 mg/kg 3 seirering) kui mittekarbonaatsel (1,3 mg/kg). Siiski on kolmanda ja esimese seireringi vahel toimunud vase sisalduse suurenemine samas suurusjärgus. Vase sisalduse suurenemine on ilmselt seotud peamiselt läga (Naadimetsa, Laaniste, Holtsi) ja mikroelemente sisaldavate kompleksväetiste kasutamisega ning kõrgem sisaldus karbonaatsetes muldades (Laheva, Risti) on seotud vase liikuvuse ja sellega omastamise vähenemisega taimede poolt.

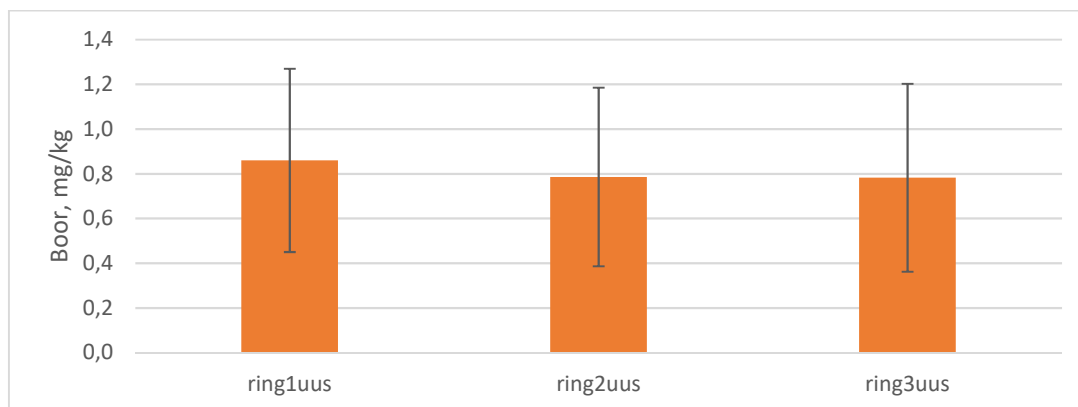




**Joonis 18. Vase sisaldus (mg/kg) püsivaatlusaladel erinevatel seiringidel 2002-2017 a. Tähed tulpadel näitavad statistiliselt olulisi muutuseid seiringide vahel ( $p < 0,05$ ).**

Taimedele omastatava Mn sisaldus sõltub peamiselt mulla happesusest, õhustatusest ja veerežiimist. Seiringide analüüsil selgus, et ka statistiliselt oli oluline nii pH kui lähtekivimi ja pH koosmõju Mn sisaldusele. Kolmandal ehk viimasel seiringil oli Mn sisaldus tõusnud mangaani defitsiidist optimaalse (75 mg/kg) sisalduseni 84 mg/kg-ni, mis oli 11 mg/kg (15%) enam kui esimesel seiringil ( $p = 0,02$ ). **Mangaani sisaldus seiremuldades keskmiselt on seireperioodi jooksul suurenenud ca 15% võrra.**

Viimase mikroelemendina käsitletakse boori, mille sisaldust mullas mõjutavad statistiliselt oluliselt nii huumusesisaldus kui mullareaktsioon ( $p < 0,05$ ). Mõlemal parameetril on boori sisaldusele positiivne mõju ehk huumusesisalduse või pH sisalduse suurenedes suureneb ka mulla boori sisaldus.



**Joonis 19. Boori keskmine sisaldus ja standardhälve (vuntsidena) (mg/kg) 24 püsivaatlusalal seiringide võrdluses.**

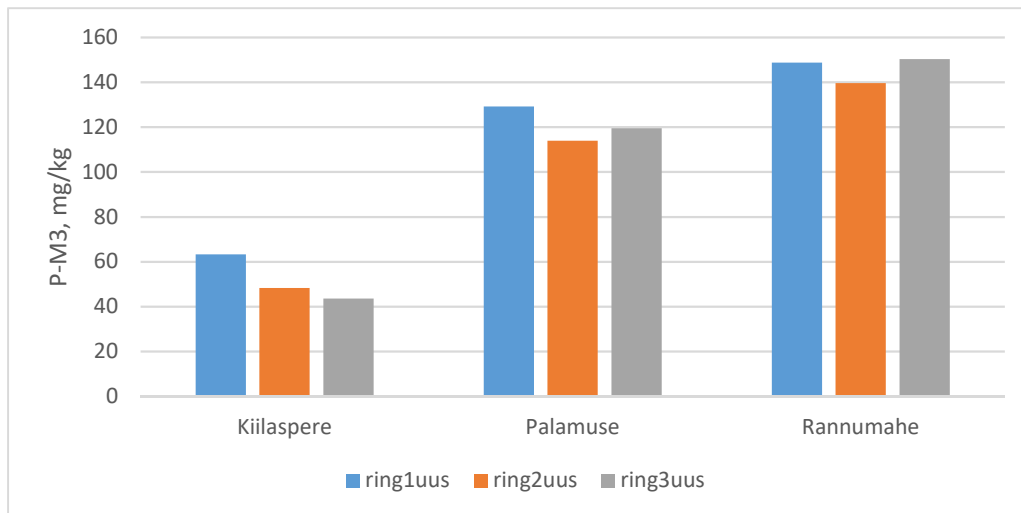
Kuigi seiringide võrdluses on toimunud boori sisalduse vähenemine 9% võrra, siis see ei ole statistiliselt oluline langus. Boori sisaldus on väga varieeruv (Joonis 19) ning seda eriti püsivaatlusalade vahel. **Keskmine boori sisaldus seirealadel on madalam kui optimaalne sisaldus praeguse agrotehnika juures toimub selle vähenemine veelgi.**

## 2.6 Mulla liikuva fosfori ja kaaliumi sisaldus ning huumusesisaldus maheviljeluse põldudel

Püsivaatlusaladest on kolm põldu uuel seireperioodil mahekasutuses (tootja taotleb nendele põldudele MAK MAH toetust): Palamuse (parasniiske muld), Rannumahe (parasniiske muld) ja Kiilaspere (gleimuld). Kuna antud valim on suhteliselt väike, siis käsitleme nende seirealade puhul agrokeemilistest omadustest liikuva PK sisaldust ja selle muutust ning mullabioloogia olulise näitajana huumusesisaldust. PK sisaldus näitab üldist agrokeemilise taseme muutust ja huumusesisaldus mulla bioloogilise seisundi muutust. Huumusvaru ei võimalda hinnata mõnel alal tehnilistel põhjustel määramata lasuvustihedus ja sellest tulenev valimi suuruse vähenemine.

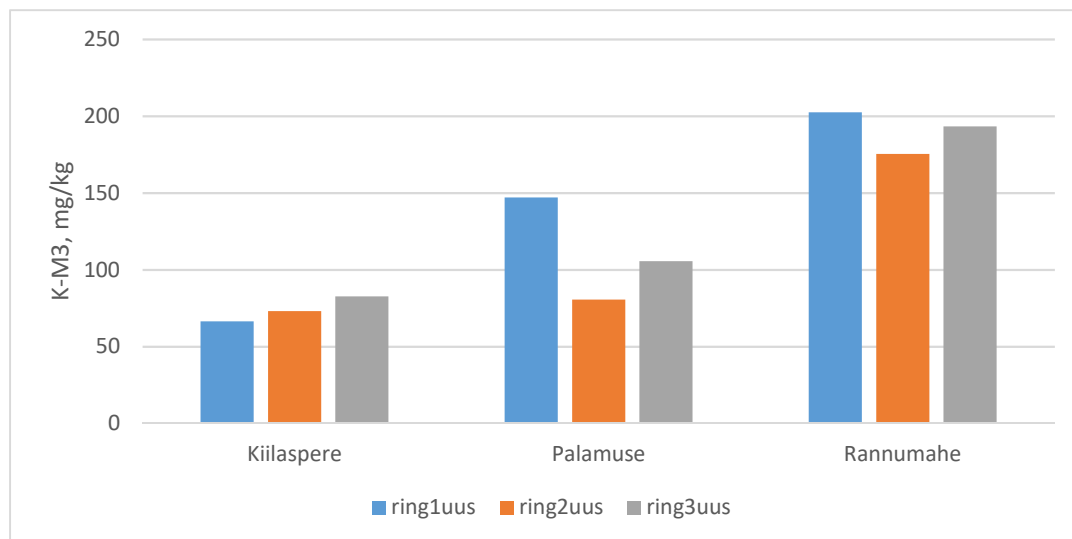
Ainult kolme seireala põhjal on keeruline teha nn üldisi järeldusi maheviljeluse mõju kohta põllumullale, ent saame siiski uurida, kas seireringide võrdluses on toimunud muutuseid mulla liikuva P ja K osas ning huumusesisalduses, mille kaudu on võimalik anda hinnang selle tehnoloogia võimalikust mõjust neil aladel. Üldistust ei ole sellise valimi põhjal kahjuks võimalik esitada, sest see eeldaks oluliselt rohkem seirealaid.

Segamudelil analüüsitakse seireringide mõju P-M3 sisaldusele ning arvestatakse ka juhuslike efektidega nagu ala, transekt ja vaatluspunkt. Segamudeli lisandväärtus tuleb väga selgelt välja just väiksema andmestiku nagu mahepõldude puhul on ( $n=160$ ) ning keskmised P-M3 sisaldused erinevad alade võrdluses väga palju (Joonis 20). Reaalses elus on see igati loomulik, kui erinevatel aladel on väga erinev P sisaldus, kuid statistikas tekitab see teatud probleeme. Keskmine liikuva fosfori sisaldus on alade keskmisena statistiliselt oluliselt vähenenud teisel ( $p=0,001$ ) ja kolmandal seireringil ( $p=0,03$ ) võrreldes esimese seireringiga. Vähenemine on ootuspärane, sest väetistega ei antud kahel põllul kordagi viie aasta jooksul juurde fosforit ning Rannumahe alal anti väga vähe fosforit ( $3 \text{ kg/ha/a}$ ) (Joonis 20). Siiski on P-M3 sisaldus muldades keskmine või kõrge kuigi Kiilasperel toimunud vähenemine on viinud põllu aste madalamasse sisaldusklassi ning P sisaldus on seega alla optimaalse. **Seega toimub mahepõldudel liikuva P sisalduse vähenemine või püsib näitaja stabiilsena.**



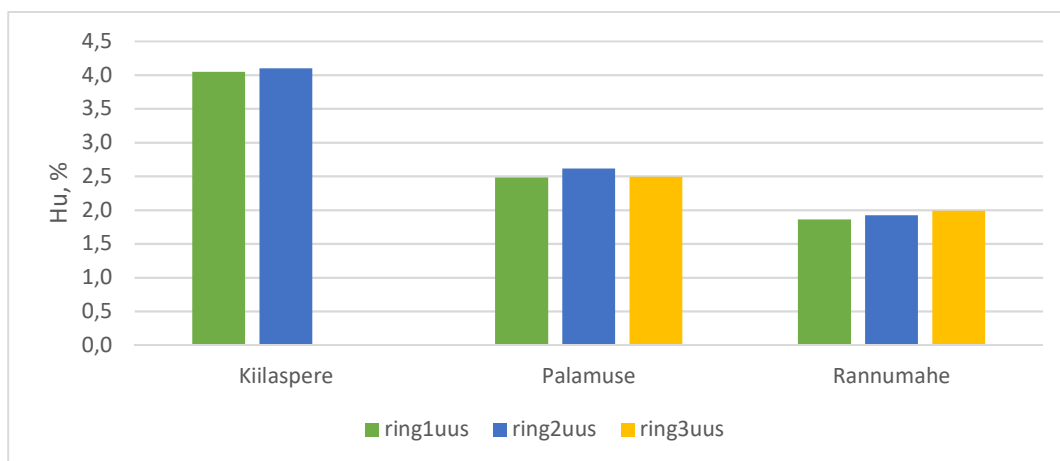
**Joonis 20. Liikuva fosfori (M3, mg/kg) keskmine sisaldus püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel.**

Seireringidel ei olnud statistiliselt olulist mõju liikuva kaaliumi sisaldusele (K-M3, mg/kg). Seirealade lõikes olid muutused siiski erisuunalised, sest Kiilaspere alal on K sisaldus väga aeglaselt tõusnud kogu seireperioodi vältel, kuid sisalduse tase on alla optimaalse ning ilmselgelt võib kaalium olla taimekasvatuse limiteerivaks faktoriks (Joonis 21). Kuna valdavalt oli viimastel aastatel tegemist karjamaaga, siis ei toimu ka toitainete eemaldamist põllult ja heintaimede sügav juurestik ilmselt suudab omastada kaaliumi ka sügavamatest mullakihtidest, millele viitab ka alumise horisondi vähenenud K sisaldus. Palamuse alal on samuti näitaja langenud oluliselt teisel seireringil ja siis veidi tõusnud, kuid sisaldus on alates teisest ringist olnud alla optimaalse. Kaaliumisisalduse langus on mahepõldudel tavaliselt põhjustatud liblikõieliste, eriti ristiku kasvatamisest ning selle massiga eemaldatavast suurest K kogusest, mida ei kompenseerita. Rannumahe alal on samuti toimunud väike K sisalduse langus seireperioodi jooksul, kuid sisaldus on siiski optimaalne. Rannumahe oli ka ainuke ala, kus lisati viimase viie aasta jooksul väetistega mulda kaaliumi. **Seega toimus seireperioodi jooksul mahepõldudel valdavalt K sisalduse langus või madala sisalduse puhul oli sisaldus suhteliselt stabiilne.**



**Joonis 21. Liikva kaaliumi (M3, mg/kg) keskmine sisaldus püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel.**

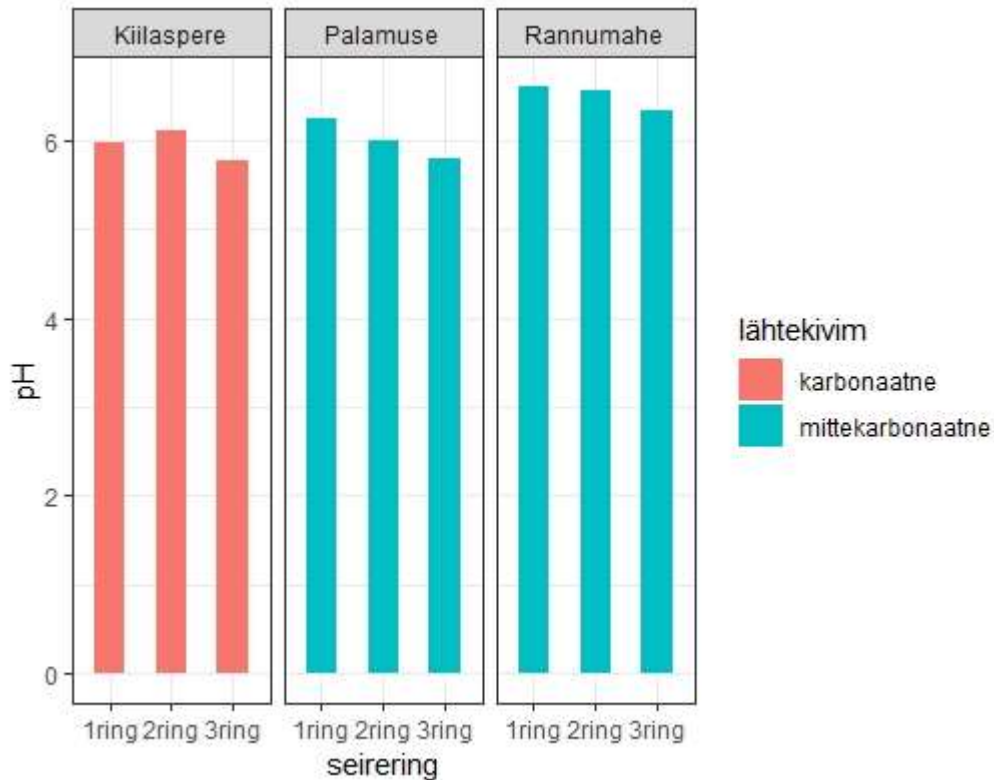
Kiilaspere põllul on võrreldes teiste püsivaatlusaladega kõrgem huumusesisaldus (Joonis 22), mis on tingitud põllu veerežiimist. Huumusesisalduses ei ole seireringide võrdluses olulisi muutuseid toimunud, kuid trendina võib välja tuua kõigil aladel näitaja aeglase suurenemise. Palamuse alal on küll kolmandal ringil toimunud kerge langus, kuid trend on siiski suurenemise suunas. Huumusesisaldus kui küllalt staatiline mullaomadus muutubki väga aeglaselt ning lühikese seireperioodi jooksul on usutavate muutuste tuvastamine keeruline. **Seega on mahepõldudel huumusesisaldus stabiilne, aeglase tõusutrendiga ning keskkonna aspektist on see positiivne trend, kuna toimub mullas süsiniku sidumine.**



**Joonis 22. Huumusesisaldus püsivaatlusaladel erinevatel seireringidel.**

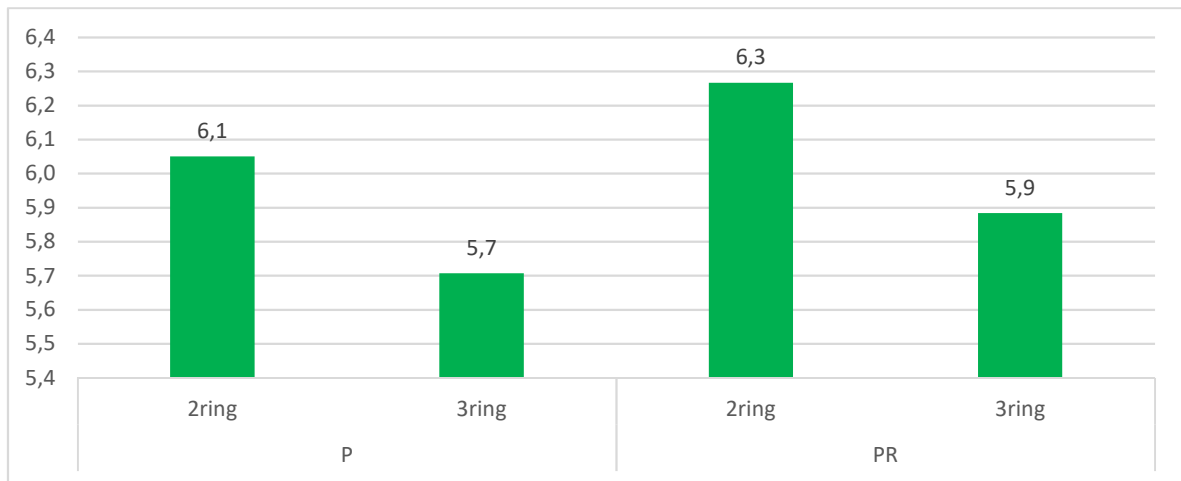
Mullareaktsioon on mahepõldude seirealade keskmisena kolmandal seireringil statistiliselt oluliselt vähenenud ( $p=0,006$ ) võrreldes esimese ja teise seireringiga (Joonis 23). Seega on mahepõllud muutunud sarnaselt kõikide seirealadega happelisemaks ja seda nii karbonaatsel kui mittekarbonaatsel lähtekivimil. Huvitav on siinjuures märkida, et mittekarbonaatsel lähtekivimil olevad mullad on sarnase või isegi neutraalsema happesusega

kui karbonaatsel lähtekivimil. Ilmselt on siin tegemist lupjamise pikaajalise mõjuga või seirepõllu spetsiifikast tulenevate erisustega. Viimane aspekt on oluline just Palamuse alal, kus seiretrassid algavad kõrgelt oosi pealt, kus on valdavalt erosiooni tulemusena juba neutraalne või aluseline reaktsioon ja lõpevad nõlva all happelises mullas. Selgelt on siiski kirjeldatav pidev happesuse suurenemine Rannumahe ja Palamuse aladel, kuid Kiilasperel toimub see aeglasemalt ja muutused on seireringides erinevates suundades. **Mahepõldudel toimub statistiliselt usutav muldade hapestumine sarnaselt kõikide teiste seirealadega.**



**Joonis 23. Mullareaktsioon maheviljeluse püsivaatlusaladel seireringide võrdluses.**

Mahepõldudest on Kiilaspere ala huvitav sellepõllest, et seal on teise ja kolmanda seireringi vahel toimunud trassi lõpus (A8-A10 ja B8-B10) maakasutuse muutus põllumaast püsirohumaaks. Seetõttu uuriti samade näitajate osas sellel alal ka maakasutuse erinevust ala siseselt. Liikuva P ja K osas ei olnud statistiliselt olulist erinevust maakasutuste ja seireringide vahel. Mullareaktsioon on seevastu statistiliselt oluliselt erinev seireringi ja maakasutuse mõjust tulenevalt (Joonis 24). Mõlema maakasutuse puhul on toimunud pH statistiliselt oluline vähenemine, kuid põllumaal on muutus olnud veidi väiksem ( $p=0,001$ ) võrreldes püsirohuma osaga ( $p=0,03$ ), kuigi pH ühikutes on muutus olnud sarnane.



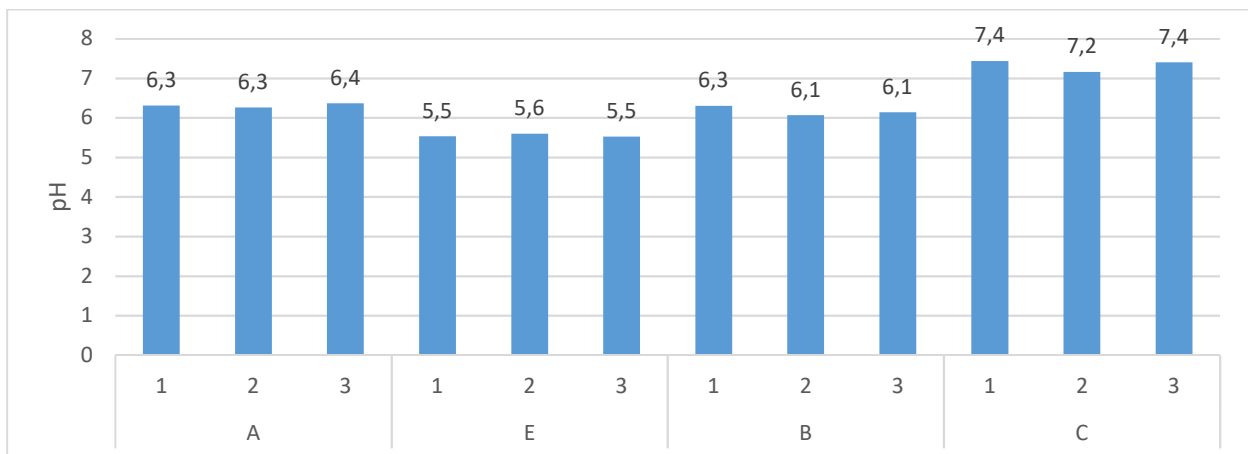
**Joonis 24. Mullareaktsioon Kiilaspere alal sõltuvalt maakasutusest ja seireringist.**

Kuna Kiilaspere alal on kõikidel seireringidel mõõdetud just Corg sisaldus, siis vaadeldi maakasutusest sõltuvat Corgi võimalikku erinevust. Corg sisaldus on põllu osas kahe seireringi keskmisena 2,8% ja püsirohumaal 2,9%. Samas on PR maakasutuse valim väga väike ja sellest tingitud ka keeruline statistiline töötlemine. Maakasutuse vahel ei ole statistilist olulist erinevust Corgi osas ning ka muutus on mõlema puhul samasuunaline (-0,2%), kuid statistilises mõttes mitteoluline. See on ka ootuspärane kuna muutused mulla süsinikusisalduses võtavad kaua aega ja antud seireperiood on liiga lühike usutavate muutuste hindamiseks.

### 3. Toiteelementide vertikaalne liikumine ning mullareaktsiooni muutused mullaprofiilis

Keskonnakaitseks seisukohast omab väga tähtsat rolli toiteelementide vertikaalne liikumine mullaprofiilis, millest sõltub suuresti elementide leostumine mullast vesikeskkonda. Metoodiliselt ei ole riikliku seire raames kahjuks määratud kergestiliikuvate toiteelementide sisaldust muldades (mineraalne lämmastik, väävel) ja leostumise hindamiseks on seiresamm 5 aastat kahtlemata ebasobiv. Mõningaid järeldusi peamiste toiteelementide (fosfor, kaalium, kaltsium jne) saab siiski teha sügavkaevete erinevate geneetilistest horisontidest kogutud andmete põhjal. Selleks koondasime kõikide alade sügavkaevete erinevate horisontide analüüsitulemused perioodil 2002-2017 seireringide kaupa. Geneetiliste horisontide rühmitamiseks kasutati tinglikult järgmisi tähiseid: A-ülemised ehk orgaanilise aine akumulatsioonihorisonidid, E-illuviaalsed ehk väljauhtehorisonidid, B-sisseuhtehorisonidid ja C-lähtekivimid. Mullaprofiilis asetsevad antud horisonid ülevalt alla, ehk kõige kõrgemal on A horisonidid ja kõige all C horisonidid. Viimased näitavad vastavaid parameetreid umbes 80-100 cm sügavuselt alates ja sügavus erineb sõltuvalt seirealast.

Mullareaktsioon on erinevate geneetiliste horisontide osas püsinud seireringide jooksul suhteliselt sarnane (Joonis 25). Huvitav on seejuures märkida, et kui trassidelt kogutud proovide alusel toimub mõõdukas hapestumine, siis sügavkaevete A horisondis on pH veidi tõusnud ja keskmisena on muld muutunud veidi neutraalsemaks. Sama tendents valitseb ka B ja C horisontides. Üheks põhjuseks võib olla happelise mullaga Abeli ala, kus kolmandal seireringil sügavkaevet ei rajatud ega proove võetud ning seetõttu on valim veidi erinev.



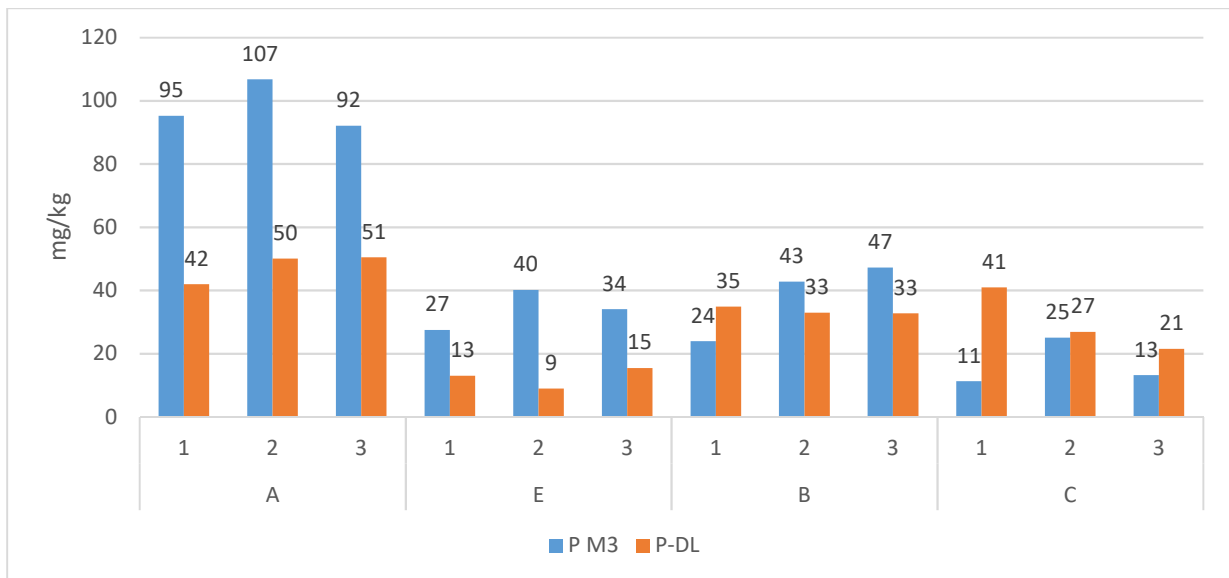
**Joonis 25.** Sügavkaevete geneetiliste horisontide mullareaktsioon ja selle muutumine seireringide jooksul.

Taimedele omastatavat fosforit oleme määranud kahel erineval meetodil, et oleks võimalik võrrelda tulemusi ajalooliste andmetega. Seetõttu on võimalik jälgida ka nende kahe

meetodi erinevusi ja teatud juhtudel on need märkimisväärsed. Taimedele omastatava fosfori määramine muldadest on üldiselt väga keeruline ja selleks kasutatakse väga erinevaid meetodeid. Siiani pole olemas ühte ja universaalset meetodit ning seepärast võivad erinevate meetodite tulemused ka üksteisest märkimisväärselt erineda. Eeskätt on need erinevused sõltuvad mullareaktsioonist.

Alumiste horisontide P sisalduse kaudu saame ligikaudselt hinnata P vertikaalset liikumist ja sellega seotud P leostumise ohtu. Ülemises ehk A horisontides on P sisaldus loomulikult kõige kõrgem ning suurim oli näitaja 2. seireringil. Üldiselt on P sisaldus aga kõrgem kui Eesti põllumuldades tervikuna ehk väetamise tase on kindlasti kõrgem kui Eestis keskmisena.

DL meetodil on liikuva fosfori sisaldus A horisontides pidevalt tõusnud ja madalaim on sisaldus E horisontides, mis on ka igati loomulik tänu illuviaalsetele protsessidele (Joonis 26). Mehlich 3 meetodil on liikuva fosfori sisaldus B horisontides aeglaselt suurenenud, mis viitab kergele P leostumisele ülemistest kihtidest, kuid C horisontides on sisaldus pigem langenud, mis viitab olematule või väga vähesele leostumisele sellesse horisonti. Esimese ja teise ringi vahel on toimunud lähtekivimis oluline P-M3 sisalduse suurenemine, kuid kolmandal seireringil on sisaldus taas langenud. Seega võib öelda, et sügavkaevete andmetele tuginedes ei ole täheldada olulist P leostumist ja kuhjumist mullaprofiilis allapoole seireringide jooksul, kuid see võib teatud määral kindlasti toimuda ka uuritud mullaprofiilist allapoole.

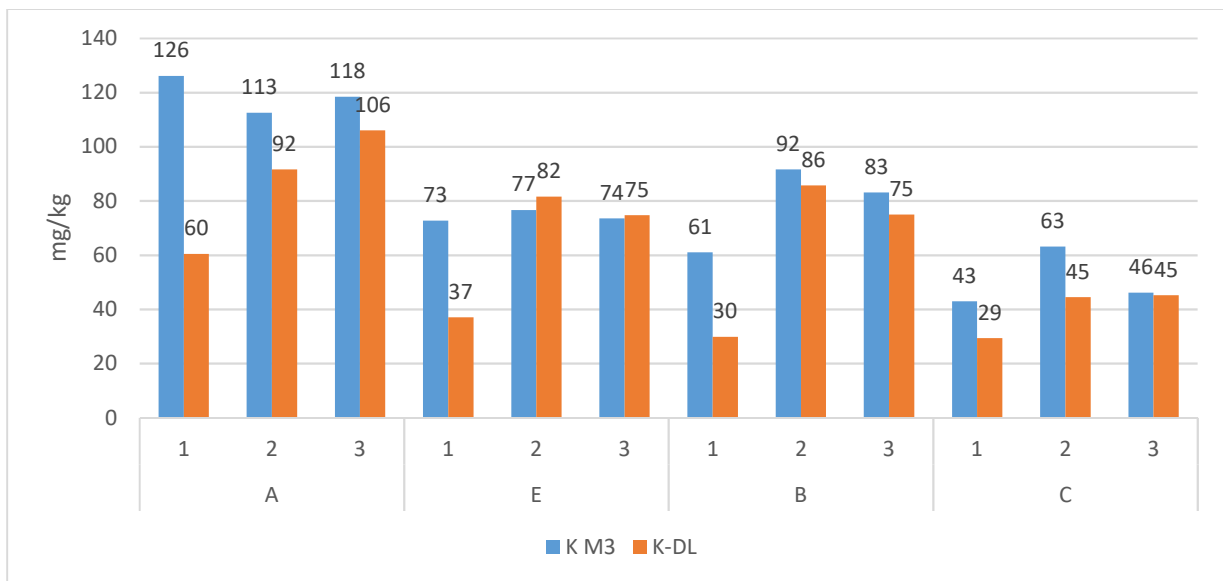


**Joonis 26. Sügavkaevete geneetiliste horisontide taimedele omastatava P sisaldus (M3-Mehlich 3 meetod, DL-topeltlaktaatmeetod) ja dünaamika seireringidel.**

Liikuva K sisaldust on samuti määratud kahel erineval meetodil ja ka siin on teatud juhtudel erinevused ja isegi trendid erinevad. Ülemises horisondis on DL meetodi järgi K

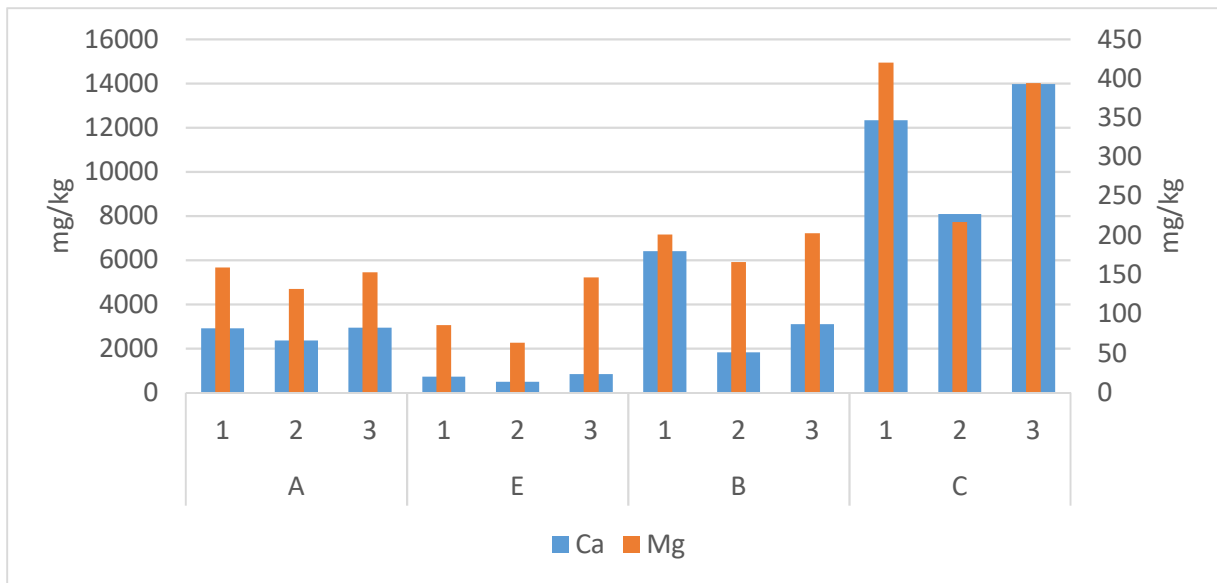


sisaldus pidevalt suurenenud, kui M3 meetodil on sisaldus olnud suhteliselt stabiilne (Joonis 27). Kahe meetodi võrdlusel on märgata tendents, kus esimesel ringil on meetodite vahelised erinevused suured, kuid viimasel ringil juba küllalt väikesed. Ilmselt on siin tegemist nõu labori lugerite kaasajastamisega. Kuna sügavkaevete keskmisena on A horisontides K sisaldus olnud alla optimaalse (130 mg/kg), siis ei ole toimunud ka märkimisväärset K leostumist seireaastate jooksul. Teatud K sisalduse suurenemine alumistes horisontides toimus 2.seireingil, kuid 3.ringil vähenes taas. **Järelikult on nende põldude väetamine olnud selline, mille tagajärjel ei toimu K ega P märkimisväärset kuhjumist mullaprofiilis. Samas ei saa välistada toitainete leostumist allapoole.**



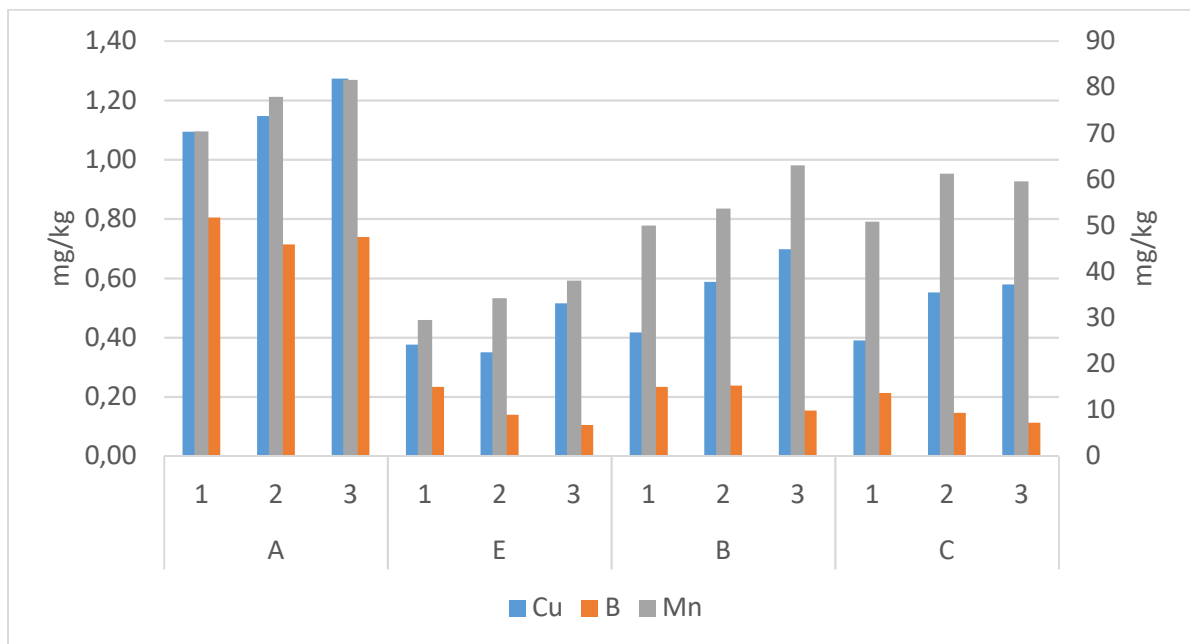
**Joonis 27. Sügavkaevete geneetiliste horisontide taimedele omastatava K sisaldus (M3-Mehlich 3 meetod, DL-topeltlaktaatmeetod) ja dünaamika seireringidel.**

Ca ja Mg sisalduses erinevates mullakihtides näitab, et eeskätt sõltub see muidugi lähtekivimi iseloomust ja kõrgeim on sisaldus lähtekivimis ning muutused on küll näiliselt suured, kuid tegelikult on märkimisväärne vaid B horisontides toimunud suur langus Ca sisalduse osas (Joonis 28). Mg sisaldus on muutunud kõikides kihtides sarnase skeemi järgi: 2.seireringil on toimunud väike langus. Suurim mõjutaja on siinjuures ilmselt sügavkaeve asukoht ja asend reljefil.



**Joonis 28. Sügavkaevete geneetiliste horisontide taimedele omastatava Ca ja Mg sisaldus (Mehlich 3 meetod) ja dünaamika seireringidel.**

Mikro- ja poolmikroelementidest käituvad nii ajas kui ruumis sarnaselt Cu ja Mn ning erinevalt B. Viimase sisaldus on kõikides horisontides seireperioodi jooksul veidi langenud, kuid Cu ja Mn sisaldus vastupidi kõikides horisontides suurenenud (Joonis 29). Eriti on suurenemine toimunud pidevalt B horisontides ning antud tendents viitab kergele leostumisele ülemises kihis, kuid kindlasti ei ole see probleemiks, sest sisalduse suurenemine on olnud suhteliselt aeglane ja väikeses koguses. **Seega toitelemendi sisalduse suurenemine ülemises kihis kajastub ka vastavas sisalduse suurenemises alumistes kihtides.**



**Joonis 29. Sügavkaevete geneetiliste horisontide taimedele omastatava Cu ja B sisaldus (Mehlich 3 meetod) ja dünaamika seireringidel.**

## 4. Kergestiliikuvate taimetoiteelementide leostumine mullaprofiilis

Kuigi riikliku mullaseire raames kergesti liikuvaid toiteelemente ei uuritud, siis on PMK Mullaseire büroo teostanud selle probleemi vaatlemiseks pikaajalist uuringut, mille tulemusi kasutame nende elementide potentsiaalse leostumise ohu hindamiseks.

2011. aastal alustati PMK Mullaseire büroo poolt MAK II telje seire ja hindamise raames mineraalse lämmastiku (N<sub>min</sub>), väävli ja teiste toiteelementide sisalduse muutuste uuringutega sügavamates mullakihtides erinevatel tootmispõldudel, et selgitada toitainete liikuvust ja potentsiaalse leostumise võimalikkust, koguseid ja seaduspärasid. Uurimiseks rajati nitraaditundliku ala (NTA) piirkonna viiele põllumassiivile vaatlusväljakud, kus teostati proovide kogumist kolm korda aastas (enne külvi märtsis-aprillis, peale koristust septembris ja enne mulla külmumist detsembris) kolmes mulla vertikaalkihis (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm sügavuses). 2016. a lisandus ka proovide võtmine juulikuus ehk vegetatsiooniperioodi keskel ning 2017. aastal kaasati uuringusse võrdlusandmete saamiseks täiendavalt kaks põldu Tartumaalt. Põldude maakasutuse ning väetamise andmetest lähtuvalt kasutati NTA-l paiknevate seirepõldude väetamiseks keskmiselt väetamise normi N50P4K20 ja Tartu aladel N121P20K55. Seega oli väetamise tase Tartu aladel oluliselt kõrgem. Olulise eripärana kasutati Tartu põldudel nii 2016. aasta sügisel kui ka 2017. a kevadel orgaanilise väetisena digestaati. Rohumaade väetamine oli suhteliselt sarnane ja lisati vaid lämmastikväetist normiga 34 kg/ha.

Toiteelementide liikumine mullaprofiilis sõltub eeskätt sademete hulgast ja jaotumisest ning vastavatest andmetest selgub, et uurimisaastate suurim sademete hulk oli 2012. aastal ja kõige kuivem oli 2015. aasta (Tabel 7). Leostumise suhtes kõige kriitilisemal ajal ehk sügisperioodil oli kõige sademetevaesem 2014. aasta sügis ja enim oli sademeid 2017. aasta sügisel. Muld sulas 2017. aasta märtsi alguses ja külmus valdavalt detsembri lõpuks. Adavere ja Tartu sademete näitajad olid 2017. aastal suhteliselt sarnased, veidi rohkem oli sademeid sügisperioodil Adaveres.

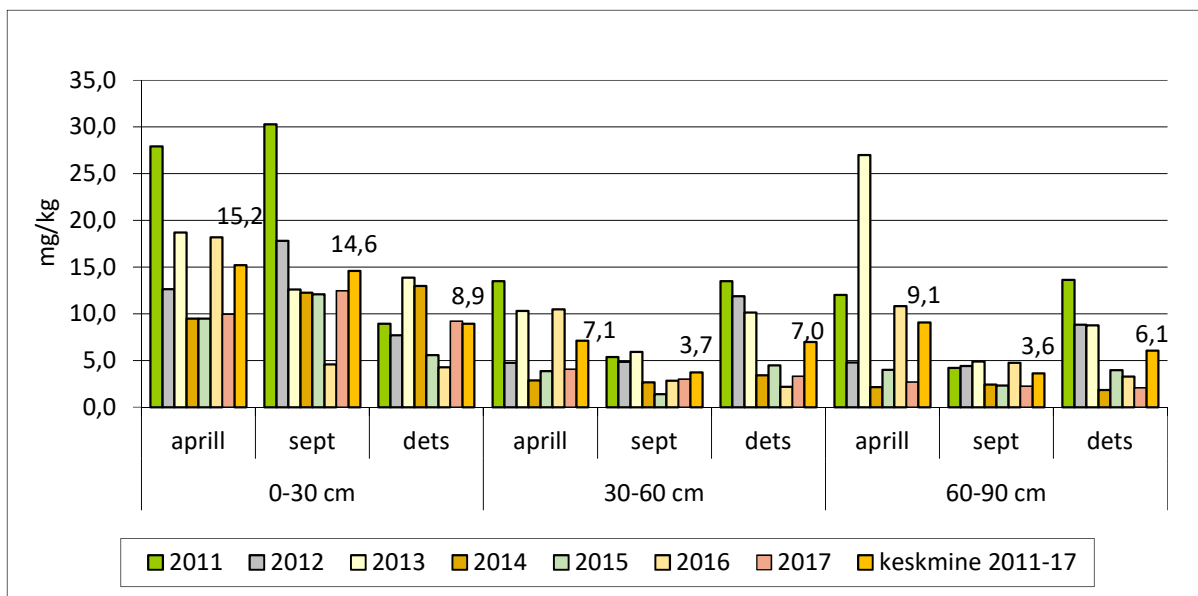
**Tabel 7. Sademete hulk Jõgeva meteoroloogiajaamas perioodil 2011-2017 ja Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas 2017. aastal kuude lõikes.**

Kuu	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017**
Jaanuar, mm	74,4	80,6	39,2	35,6	61,7	54	33	33,7
Veebruar, mm	28,3	40,8	34,5	34,9	30,5	90,1	31,2	24,4
Märts, mm	22,2	44,7	9,5	34	35,9	29,1	37	28,2
Aprill, mm	9,6	53,3	37	9,9	61,7	46,7	52	65,7

Mai, mm	32,5	61,7	84,3	64,1	42,6	3,6	7,8	27,6
Juuni, mm	38,6	110,5	38,5	157,1	51,8	162	78,4	65,2
Juuli, mm	35,7	79,9	34,2	47,8	77,2	78,1	56,9	56,2
August, mm	77,2	131,3	73,2	123	33,6	180	83,4	105,6
September, mm	54,6	60	33,1	27,3	61,5	19,8	86	116,9
Oktoober, mm	73,8	75,7	59,4	48,2	8,6	52,3	106,8	82,8
November, mm	37,3	80,4	85,9	18,1	52,5	82,9	47	26,3
Detsember, mm	116,1	48,6	52,9	62,7	57,7	26,3	76,9	65,6
<b>Aastas, mm</b>	600,3	867,5	581,7	662,7	575,3	824,9	696,4	698,2
<b>Sügisel*, mm</b>	281,8	264,7	231,3	156,3	180,3	181,3	316,7	291,6

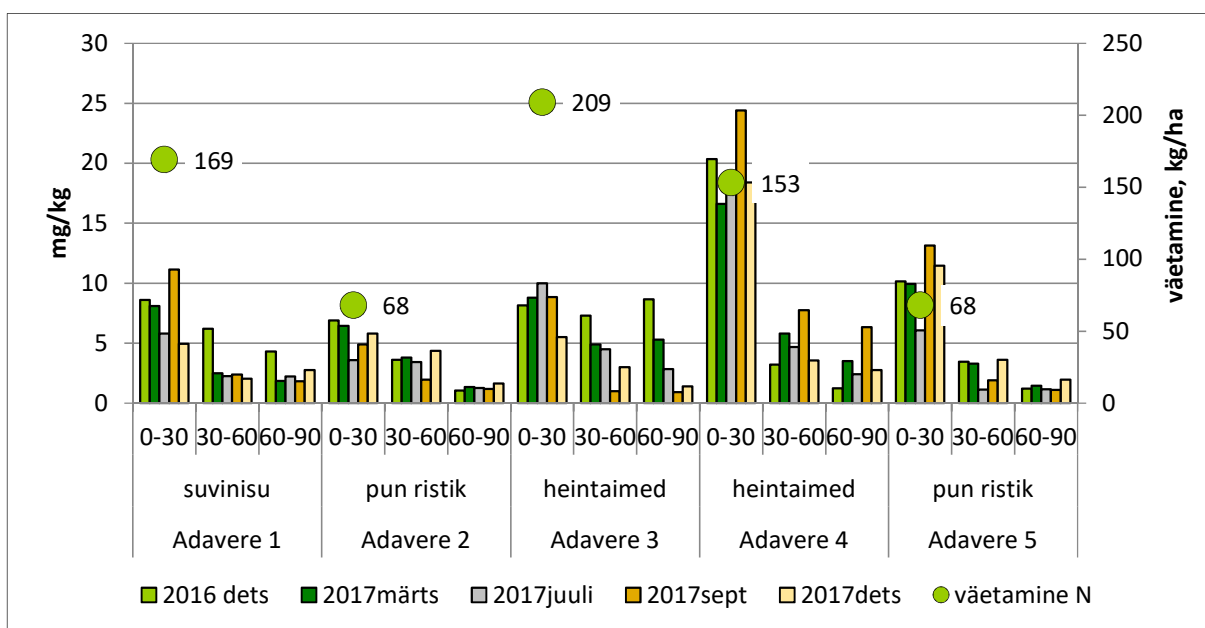
\*sügiskuudeks loetakse käesolevas uuringus perioodi september – detsember; \*\*Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama andmed

Aastate ja kihtide lõikes oli Nmin sisaldus erineva tasemega, kuid viie ala keskmiste tulemuste võrdlus perioodil 2011-2017 näitab, et ülemises kihis on kõrgeim Nmin sisaldus aprillis ja madalaim detsembris (Joonis 30), seejuures aprilli ja septembri tulemused on suhteliselt sarnased. Eriti madal oli Nmin sisaldus ülemises kihis 2016. aasta septembris ja detsembris, mis näitab suhteliselt madalat väetustaset ja sellega seotud vähest leostumise ohtu. Kuna septembriks oli keskmine Nmin sisaldus mullas natuke madalam kui aprillis, siis järelikult sellel perioodil suudavad taimed omastada mineraalset lämmastikku samas suurusjärgus, mis väetamise ja mineralisatsiooniga mulda juurde antakse. Positiivsena ei teki sellest tulenevalt ka lämmastiku leostumise ohtu, mida tõestab ka keskmise kihi Nmin sisaldus - kevadel oli sisaldus veel suhteliselt kõrge, kuid septembris ja detsembris oli sisaldus praktiliselt miinimumis. Keskmiselt langeb ülemises kihis Nmin sisaldus perioodil september-detsember 5,7 mg/kg ehk ca 40% ja see on suuresti seotud selle perioodi kõrgete sademete hulga ja sellest tuleneva leostumisega allapoole. Aastate keskmisena suureneb Nmin sisaldus sel perioodil keskmises kihis 3,3 mg/kg ja alumises kihis 2,5 mg/kg ehk kokku suureneb näitaja alumistes kihtides täpselt samapalju, mille võrra ülemises kihis Nmin sisaldus langeb. Alumise kihi Nmin dünaamika näitab, et aprillis oli aastate keskmine sisaldus suhteliselt kõrge ning võrreldes detsembri keskmisega suurenenud - seega toimub leostumine alumises kihis ka talveperioodil. Keskmises kihis on aprilli ja detsembri näitajad võrdsed. 2017. aasta sügisel ei toimunud olulist Nmin leostumist, mille peamiseks põhjuseks oli suhteliselt väike lämmastikväetiste kasutamine ning talvise taimkatte olemasolu enamikel põldudel.



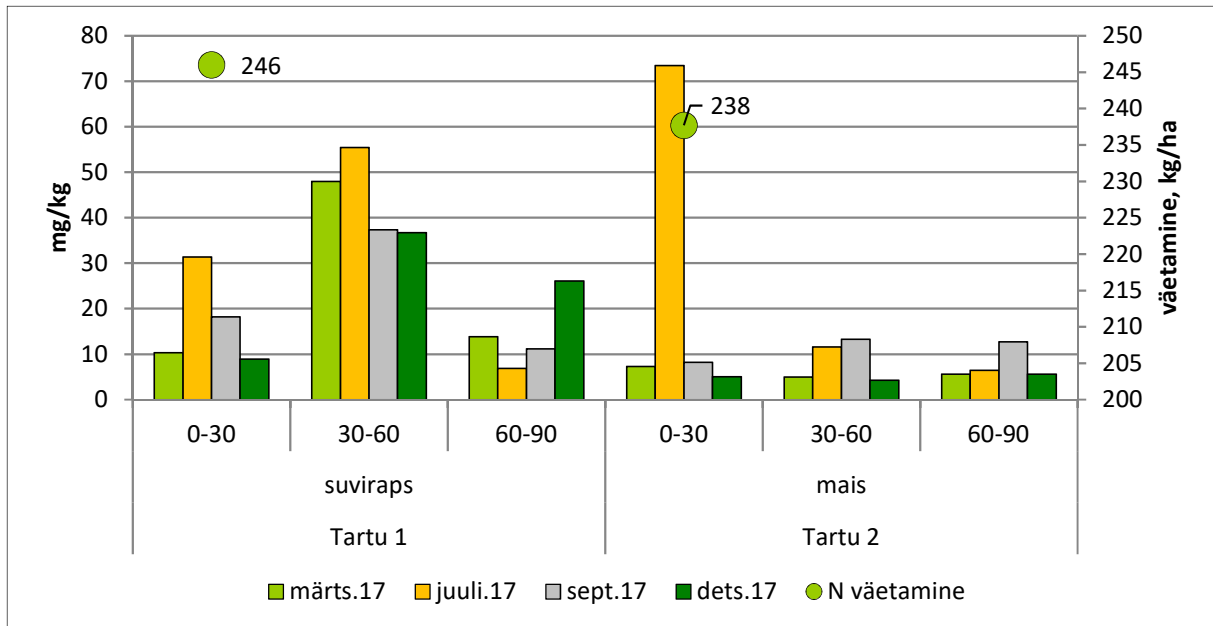
**Joonis 30. Adavere uurimisalade keskmine mineraalse lämmastiku (Nmin) sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides NTA viie ala keskmisena perioodil 2011-2017.**

Oluline on jälgida ka võimalikke erinevusi Nmin liikuvuses sõltuvalt konkreetse põllu maakasutusest ja väetamisest. Joonis 32 ja Joonis 32 on esitatud kõikide põldude erinevate mullakihtide Nmin sisaldused perioodil detsember 2016 kuni detsember 2017 ja lämmastikuga väetamine 2016. ja 2017. aastate summana, kuid väetamise aeg ei ole joonisel esitatud. Kahe aasta jooksul on kõige enam mineraalset lämmastikku nii mineraal- kui ka orgaanilise väetistega mulda lisatud Adavere 3 alal. Oluline on märkida, et ca 37% mineraalsest lämmastikust lisati sellel põllul mulda vedelsõnnikuga 2016. aasta kevadel ja käesoleva aruandeperioodil seda mõju enam praktiliselt ei olnud.



**Joonis 31. Lämmastikuga väetamine (parempoolsel vertikaalteljel) ja mineraalse lämmastiku keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides NTA proovialadel perioodil 2016-2017.**

Adavere 1 põllul lisati vedelsõnnikuga suvinisule külvielselt mulda 58 kg/ha mineraalset lämmastikku, kuid kogu perioodi jooksul oli Nmin sisaldus mullas suhteliselt madal, suurenedes ülemises kihis oluliselt vaid septembriks - järelkult vegetatsiooniperioodi lõpul ei suutnud suvinisu tarbida Nmin sellises koguses, nagu seda mulda lisandus, kuid alumiste kihtide väga madal Nmin sisaldus viitab ka väga vähesele leostumisele allapoole. Novembri algul mulda lisatud tahesõnnik ei olnud detsembriks veel mulla toitainetesisaldusele mingit mõju avaldanud. Adavere 2 alal oli samuti suhteliselt madal Nmin tase, mis ülemises kihis suurenes veidi perioodil juuli-detsember ja keskmises kihis sügisperioodil, mis viitab vähesele Nmin liikumisele mullaprofiilis allapoole. Põldu väetati 2017. aastal normiga 34 kg/ha lämmastikku ja ülemise kihi Nmin sisalduse suurenemine on eeskätt tingitud ristiku taimejäänuste lagunemisest. Adavere 3 alal väetati 2017. aastal normiga 131 kg/ha, kuid Nmin sisaldus ülemises kihis suurenes kuni juulini ning langes seejärel madalaimale tasemele detsembris. Alumistes kihtides on toimunud siiski sügisperioodil teatud suurenemine ehk on toimunud mingil määral mineraalse lämmastiku leostumine. Adavere 4 alal lisati mineraalset lämmastikku 2017. aastal 34 kg/ha ja üllatuslikult on selle ala Nmin sisaldus ülemises kihis kõige kõrgem, mille põhjuseks on turvasmulla esinemine sellel põllul. Kihtides oli kõrgeim Nmin sisaldus septembris ning suurim leostumine alumistesse horisontidesse perioodil juuli-september. Järelkult toimub turvasmullal toitainete leostumine palju kiiremini kui mineraalmullal, sest puudub toitaineid siduv mineraalosa ühelt poolt ja toimub turba intensiivne lagunemine, mis võimendab Nmin sisaldust mullas. Adavere 5 ala ristikupõllul on ülemises kihis madalaim Nmin sisaldus juulis ja see on langenud oluliselt võrreldes eelnevate perioodidega ning tõuseb oluliselt septembris ja detsembris ehk jällegi suureneb Nmin sisaldus ristiku taimejäänuste lagunemise arvel ning see põhjustab ka mõõduka Nmin liikumise allapoole keskmisesse ja alumisse mullakihti. Seega toimub ka madala väetamise taseme korral ristikupõllul mõõdukas Nmin leostumine sügisperioodil alumistesse mullakihtidesse.

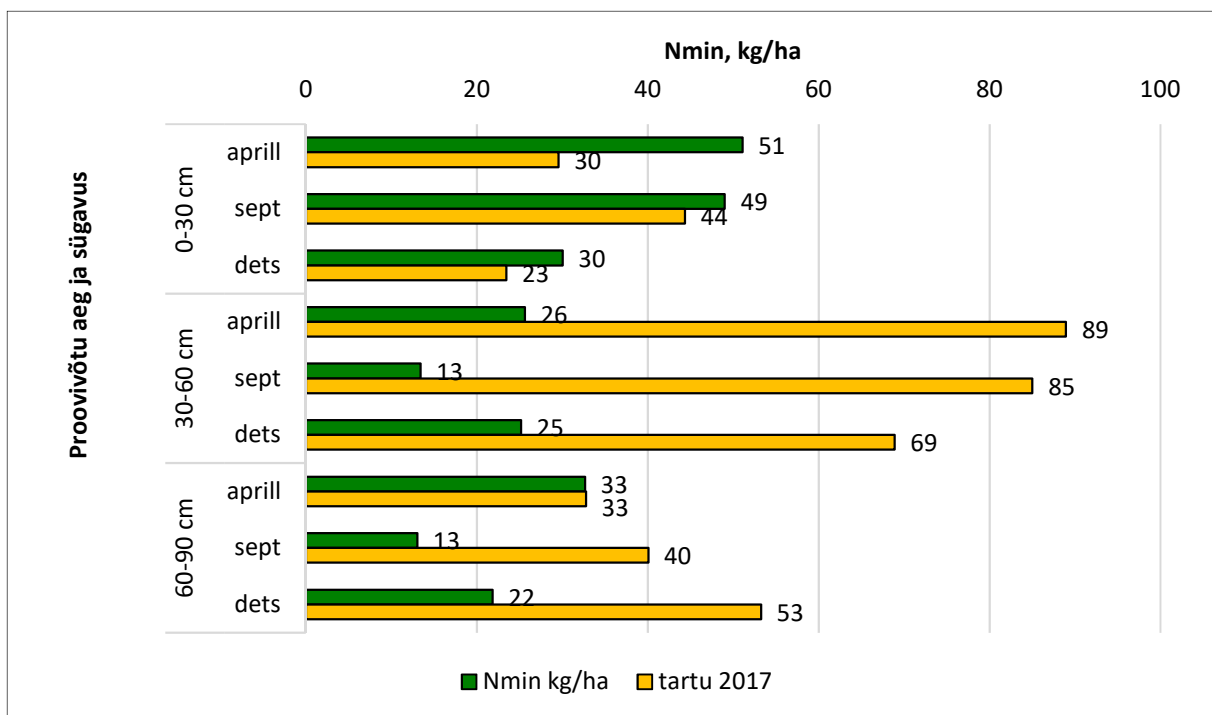


**Joonis 32. Lämmastikuga väetamine (parempoolsel vertikaalteljel) ja mineraalse lämmastiku keskmine sisaldus ja dünaamika mulla erinevates kihtides Tartu prooviaaladel 2017. aastal.**

Tartu seirealadel on nii väetamise tase kui ka sellest tulenev Nmin sisaldus mullas oluliselt kõrgem ning väetamise eripäraks on digestaadi kasutamine kombineerituna mineraalväetistega. Mõlemal põllul kasutati 2016. aasta sügisel peale saagikoristust ja 2017. aasta kevadel külveelselt digestaati. Tartu 1 põllul oli varakevadel ülemise kihi Nmin sisaldus oluliselt väiksem kui alumistes kihtides (Joonis 32) ja järelkult oli septembri lõpus kasutatud digestaadist pärit Nmin sügise ja talve jooksul mulla ülemisest kihist liikunud alumistesse kihtidesse ja seega järgmise aasta saagi seisukohalt praktiliselt kasutu. Märtsist juulini suureneb teises kihis Nmin sisaldus ja järelkult ei suuda suviraps tarbida kogu mullas olevat mineraalset lämmastikku. Sügisperioodil Nmin sisaldus keskmises kihis ei suurenenud, kuid alumises kihis suurenes küllaltki oluliselt - ümberarvutatuna ca 60 kg/ha. Tartu 2 alal oli väetamine sarnane, kuid tulemused suhteliselt erinevad. Kõrge Nmin sisaldus juulis on tingitud sellest, et proovivõtmisele eelneval päeval väetati põldu mineraalväetisega ja see kajastus kohe ka loomulikult mulla Nmin kõrges sisalduses. Ka sellel põllul on alumiste kihtide Nmin sisaldus perioodi keskel suurem kui ülemises kihis, kuid vahe on oluliselt väiksem kui Tartu 1 põllul. Alumiste kihtide Nmin maksimum oli septembris ja sügisperioodil leostumist ei toimunud. Kahe Tartu ala võrdluses selgus, et kui suviraps ei suutnud kogu Nmin ära tarbida ja alumistesse kihtidesse liikus seetõttu oluline osa Nmin, siis suurema vegetatiivse massiga mais suutis peaaegu kogu Nmin tarbida ja mullaprofiilis allapoole liikus seda suhteliselt vähe.

Mineraalse lämmastiku sisaldusest ja selle liikumisest erinevates mullakihtides Adavere viie ala seitsme aasta ja Tartu kahe ala 2017. aasta keskmisena selgub, et mullas on igal

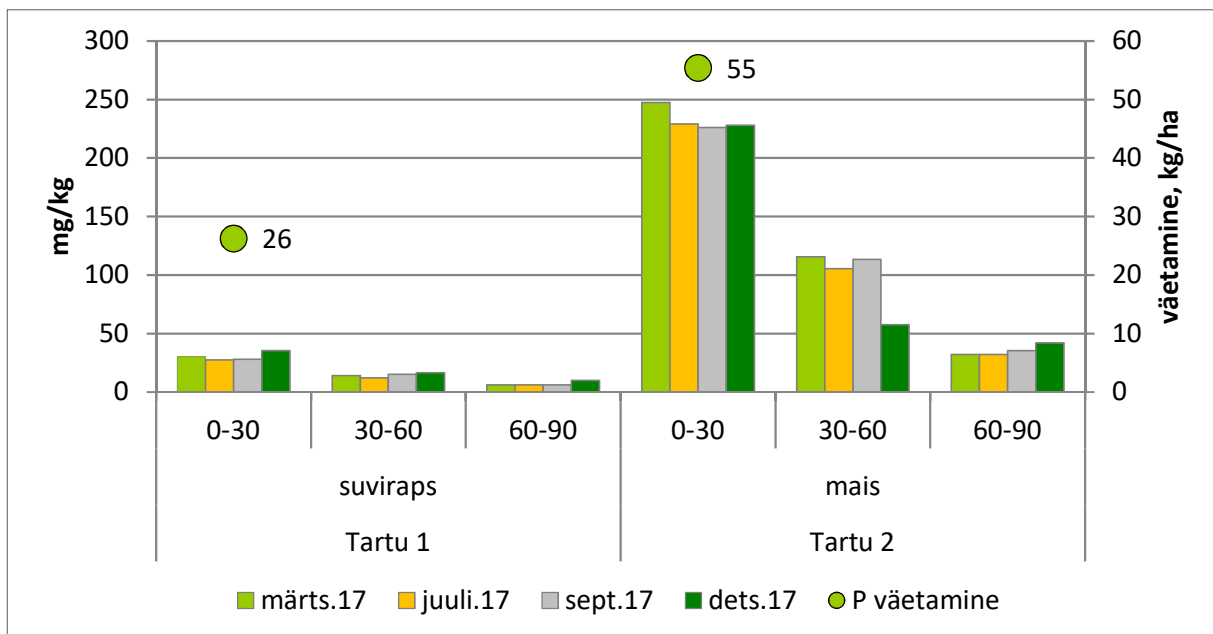
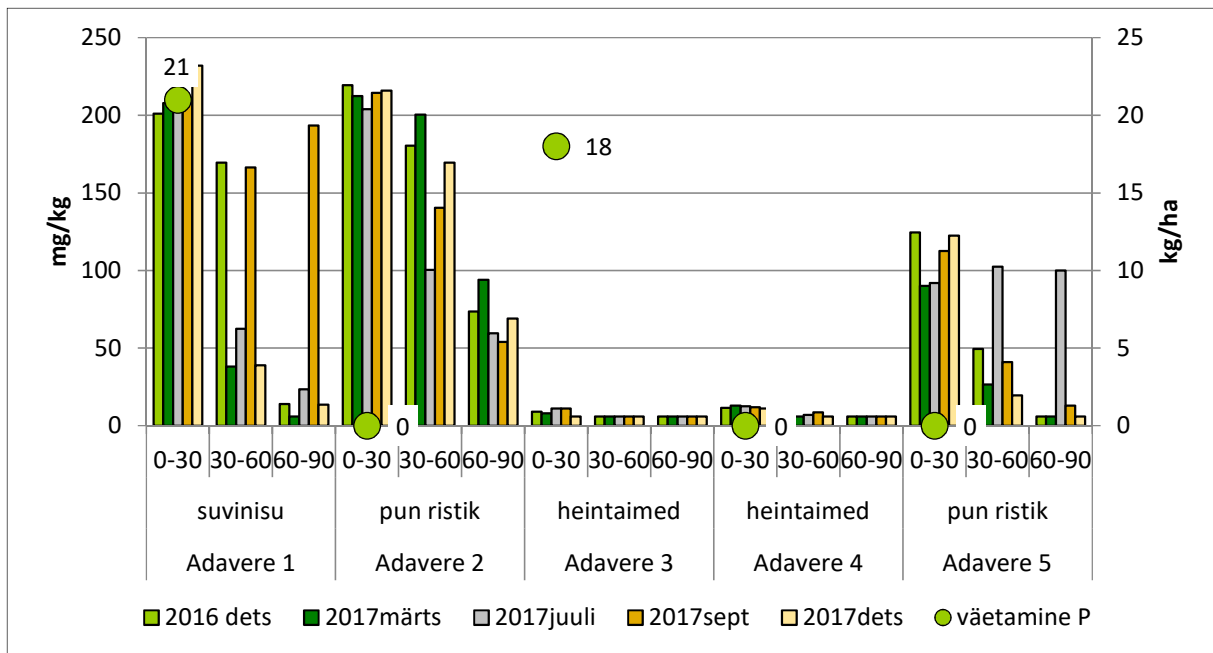
ajahetkel märkimisväärne kogus mineraalset lämmastikku. **Sügisperioodil vähenes Adavere aladel mineraalse lämmastiku kogus ülemises mullakihis peamiselt leostumise tulemusena u 19 kg/ha, mille tagajärjel suureneb vastavalt järgmise kihi Nmin kogus 12 kg/ha võrra ja alumises mullakihis 9 kg/ha võrra (Joonis 33).** 2017. aastal olid mullas sisalduvad ja liikuvad Nmin kogused veidi väiksemad kui eelnevatel aastatel. 2017. aastal kasutati lämmastikväetisi keskmiselt põllu kohta 70 kg/ha ja jooniselt 333 selgub, et ligikaudu pool sellest mineraalse lämmastiku kogusest leidub aprillis 60-90 cm sügavuses mullakihis. **Perioodil detsembrist kuni aprillini suureneb alumise kihi Nmin sisaldus aga veelgi ja kokku akumulereub alumises mullakihis sügistalvise perioodil 20 kg/ha, mis moodustab keskmisest mulda viidud lämmastikunormist 40%.** Keskmise kihi Nmin sisaldus jääb talvisel perioodil praktiliselt samaks. Tartu aladel on ülemises mullakihis Nmin kogus väiksem, kuid alumistes kihtides kordades suurem kui Adavere alade aastate keskmine, mis viitab oluliselt suuremale toitainete liikumisele mulla vertikaalprofiilis. Viimane omakorda tähendab N väetamist ebaõigel ajal ja tarbimist suuremates kogustes. Selle tõestuseks toimub Tartu aladel Nmin liikumine alumisse mullakihti ka perioodil aprill-september, mil tegelikult toimub oluline lämmastiku tarbimine taimede poolt. **Digestaadiga ja lögaga väetamine suurte normidega tekitab olukorra, kus vegetatsiooniperioodi jooksul ei suudeta kogu Nmin ära tarbida ja see liigub kiirelt alumistesse mullakihtidesse.**





**Joonis 33. Mineraalse lämmastiku kogus ja muutus erinevates mullakihtides Adavere viie põllu keskmisena perioodil 2011-2017 ja Tartu põldudel 2017. aastal.**

Lisaks mineraalsele lämmastikule analüüsiti ka teiste toiteelementide sisalduse muutust mulla erinevates kihtides ning selgus, et sõltuvalt põllust võib teatud kogus liikuvat fosforit jõuda mulla alumistesse kihtidesse (Joonis 34). Samas olid liikuva P sisalduse dünaamikas olulised erinevused võrreldes Nmin liikuvusega. Aladest eristuvad selgelt Adavere 3 ja Adavere 4, kus on kõikides kihtides kogu perioodi jooksul liikuva P sisaldus väga madal ja sellest lähtudes on ka fosfori vertikaalne liikumine väga väike. Kuigi Adavere 3 alal kasutati 2016. a ka vedelväetist, siis selle madal P-sisaldus ei suurendanud oluliselt ühegi kihi fosforisisaldust. Ülemise kihi P-sisaldus muutus kõikidel aladel perioodil detsember – aprill suhteliselt vähe. Kõige enam fosforiga väetatud Adavere 1 alal lisati fosforit vedelsõnnikuga kevadel ja tahesõnnikuga hilissügisel ning P-sisaldus ülemises kihis on üldiselt suurenenud, kuigi sisaldus mullas oli väga kõrge. Keskmises kihis on väga kõrge P-sisaldus olnud 2016. aasta detsembris ja 2017. aasta septembris. Viimane on ilmselt seotud maikuus mulda viidud vedelsõnnikust pärit fosfori liikumisega, sest mulla kõrge P-sisalduse korral jäi fosfor omastamata. Samal perioodil oli väga kõrge sisaldus ka alumises mullakihis, ehk sademeterikka suve korral on fosfori liikumine mullaprofiilis allapoole olnud küllalt intensiivne. Adavere 2 alal on samuti P-sisaldus ülemises kihis suhteliselt kõrge, kuigi viimastel aastatel pole väetistega fosforit mulda viidud. Kuigi ülemises kihis on näitaja stabiilne, siis alumistes kihtides oli kõrgeim sisaldus varakevadel ja madalaim juulis (keskmine kiht) ja septembris (sügavaim kiht). Seega toimub P liikumine allapoole perioodil juuli-detsember ja hoolimata sellest, et väetamist pole toimunud. Adavere 5 alal on P-sisaldus madalam, kuid veidi ootamatult toimub suurim P liikumine alumistesse kihtidesse perioodil märts-juuli, mil tegelikult peaks olema kõige intensiivsem toitainete tarbimise periood. Kuna juulis on ka ülemises kihis sisaldus suhteliselt väike, siis järelikult toimub sel perioodil P tarbimine, kuid ilmselt juba kevadperioodil on toimunud oluline fosfori liikumine allapoole.



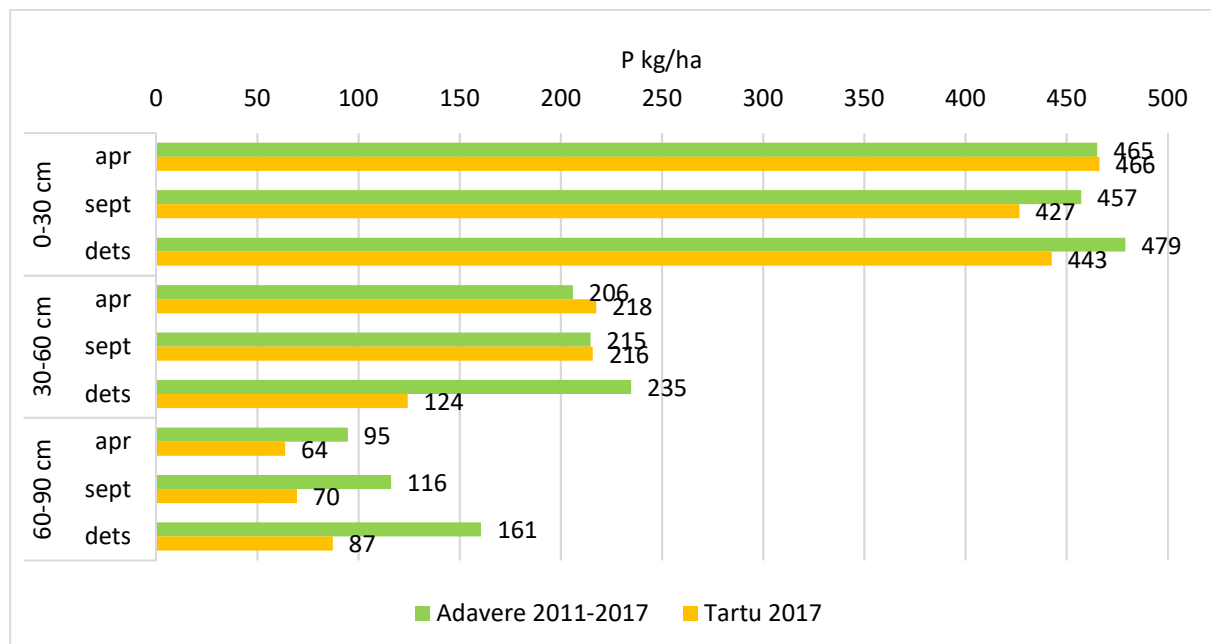
**Joonis 34. Fosforiga väetamine ja liikuva fosfori keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides NTA proovialadel perioodil 2016-2017 (ülemine joonis) ja Tartu proovialadel (alumine joonis) 2017. aastal.**

Tartu alad on liikuva P sisalduse poolest täiesti erinevad ja sellest lähtuvalt on erinev ka P-sisalduse muutus mullakihtides. **Tartu 1 ala mulda väetati suhteliselt lühikese ajavahemiku tagant kaks korda digestaadiga, kuid märkimisväärset sisalduse suurenemist see üheski sügavuskihis kaasa ei toonud ja järelkult suutis suvinisu enamuse sellest fosforikogusest tarbida.** Kõikides kihtides oli sisaldus veidi suurenenud detsembriks, kuid üldiselt olid muutused minimaalsed. Tartu 2 alal toimus märkimisväärne väetamine nii digestaadi kui mineraalväetistega, kuid ometi vähenes P-sisaldus perioodi jooksul nii ülemises kui ka keskmises kihis. Alumises kihis toimus perioodi lõpuks küll väike suurenemine, mis

viitab siiski väikesele fosfori leostumisele. **Arvestades maisi suurt biomassi ja väga head Nmin tarbimist, võib arvata, et ka fosfori hea tarbimine suutis siduda suhteliselt suure koguse mulda lisatud fosforist.**

Liikuva P sisaldus mulla erinevates kihtides näitab, et madala P-sisaldusega muldades dünaamika üldjuhul puudub, kuid kõrgema P-sisaldusega (liikuva P sisaldus ca 200 mg/kg) muldades toimub P lisamisega selle liikumine suve- ja sügisperioodil mulla alumistesse kihtidesse. Digestaadi P-sisaldus on väike ja sellest tingitud leostumine on samuti vähene.

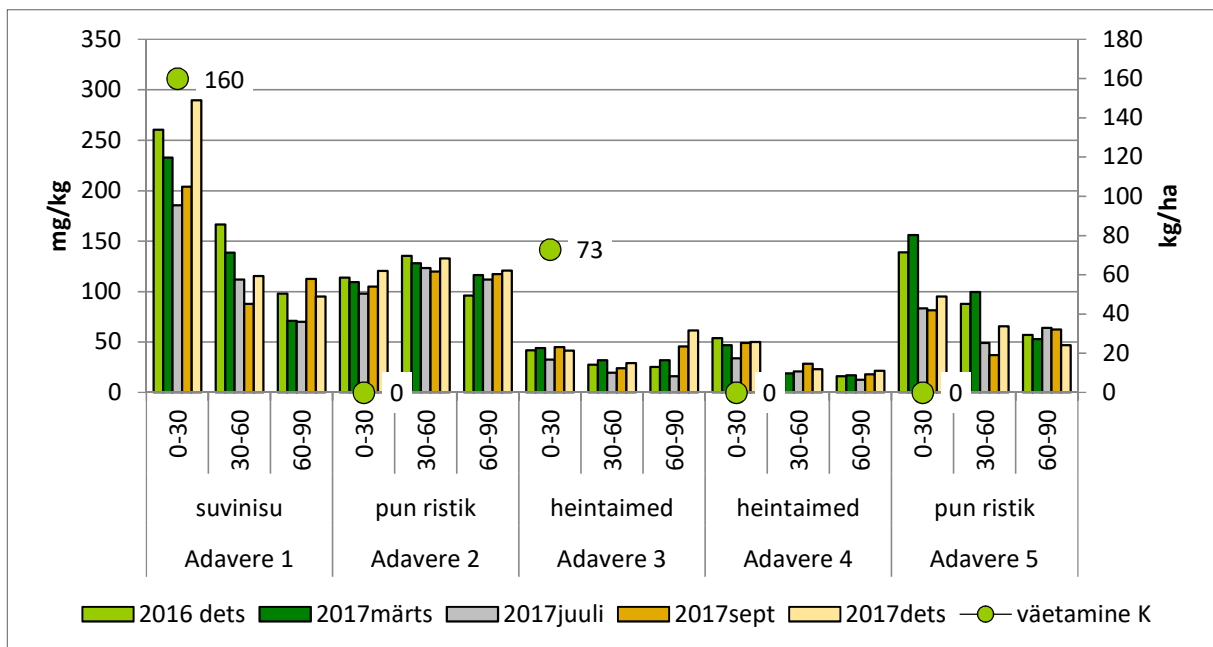
Arvutades P sisalduse ümber P massiühikuks (see on siiski tinglik suurus, mitte absoluutne) siis selgub, et Adavere aastate 2011-2017 keskmisena perioodil september-detsember suureneb P varu mulla alumises kihis 45 kg ehk 39% ha kohta (Joonis 35). **Talvisel perioodil (detsember-aprill) väheneb alumise horisondi P sisaldus koguni 41%. Tartumaa näitel on leostumine sügisperioodil oluliselt madalam - 24%.**



**Joonis 35. Liikuva fosfori kogus (kg/ha) ja muutus erinevates mullakihtides Adavere viie põllu keskmisena perioodil 2011-2017 ja Tartu põldudel 2017. aastal.**

Liikuva K sisaldus (Joonis 37) oli kõrgeim enim väetatud Adavere 1 alal. Kuigi mulda lisati kaalium vedelsõnnikuga 10. mail, siis juuliks oli sisaldus kõige madalam ning hakkas seejärel kiiresti suurenema - ilmselgelt vähenes sel perioodil K tarbimine ja väetise mõjul toimus septembriks väikene kasv, kuid detsembriks tõusis hilissügisel kasutatud orgaanilise väetise mõjul oluliselt. Keskmises kihis suurenes sisaldus alles detsembris ja alumises kihis nii septembris kui detsembris, mis viitab sellel perioodil toimunud kergele leostumisele, sest mulla ülemises kihis toimus K-sisalduse suurenemine ja tarbimist taimede poolt sel ajal enam ei olnud. Adavere 2 alal on kõikides kihtides suhteliselt sarnane liikuva K sisaldus ja

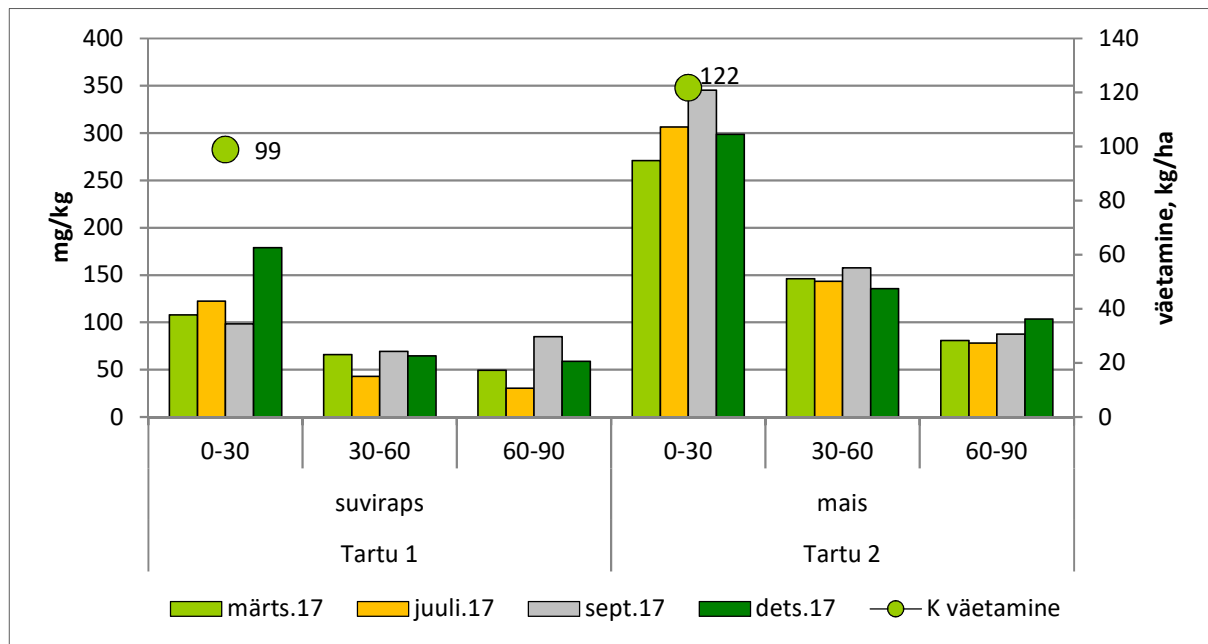
märkimisväärseid muutusi pole toimunud. Veidi üllatav on ülemise kihi kohati madalam sisaldus kui alumistes kihtides, kuid ilmselt on see tingitud ristiku heast kaaliumi omastamisest. Adavere 3 ja 4 aladel on K-sisaldus väga madal ja Adavere 3 alal on isegi sellise madala fooni taustal selgelt märgata K liikumist sügavamale, eriti alumises mullakihis - seega ka madala K-sisaldusega muldades võib toimuda vähest K leostumist mullaprofiilist välja, antud juhul siis tahesõnniku kasutamisel. Adavere 5 alal on selgelt kirjeldatav ristiku hea K kasutamine, sest ülemises kihis on peale vegetatsiooni K-sisaldus oluliselt vähenenud ja detsembriks veidi tõusnud eelpoolnimetatud ristiku maa-aluste osade mineraliseerumisel vabanenud kaaliumi arvelt sarnaselt Nmin ja P-sisalduse muutustega. Selle protsessi tulemusena on suurenenud detsembriks ka keskmise kihi K-sisaldus. **Antud põld on hea näide sellest, kuidas väetamata mullal võib ristiku kasvatamisel mulla kaaliumisisaldus langeda ühe vegetatsiooniga keskmisest väetustarbeklassist madalasse väetustarbe klassi.**



**Joonis 36. Kaaliumiga väetamine ja liikuva kaaliumi keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides NTA proovialadel perioodil 2016-2017.**

Tartu aladel oli kaaliumiga väetamise tase oluliselt kõrgem ja väetamine toimus peamiselt digestaadiga. Suvirapsi põllu ülemises kihis oli oluline K-sisalduse suurenemine detsembris ehk digestaadist vabanenud K kogunes mulda, kuna vegetatsiooni ei toimunud ja tarbimine puudus (Joonis 37). Alumistes horisontides toimus sügisel samuti sisalduse suurenemine ehk toimus leostumine sügavamale ja järelikult sellist kogust K ei suuda suviraps tarbida. Tartu 2 alal on üldine K foon oluliselt kõrgem ja tegelikult K vajadus mullas väike. Sellest hoolimata lisati digestaadiga mulda märkimisväärne kogus kaaliumi, mille tagajärjel K-sisaldus mulla ülemises kihis suurenes kuni septembrini ja sügisperioodil veidi vähenes. **Mais**

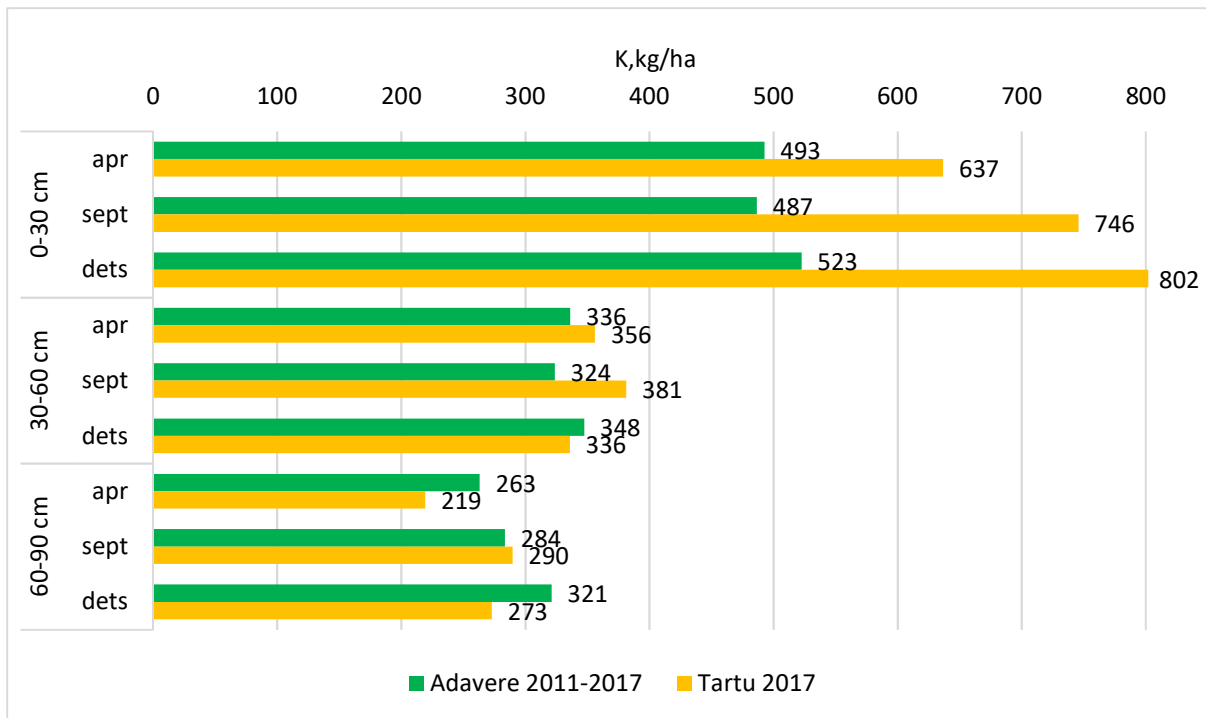
koristati alles 31. oktoobril ja seega tarbis kaaliumi oluliselt kauem kui näiteks suviraps. Nagu eelnevalt selgitatud, siis omastab mais suhteliselt palju toiteelemente ning olulist K-sisalduse suurenemist alumistes kihtides ei ole ka kasutatud väetiste suure koguse korral.



Joonis 37. Kaaliumiga väetamine ja liikuva kaaliumi keskmine sisaldus ning dünaamika mulla erinevates kihtides Tartu proovialadel 2017. aastal.

Mulla liikuva kaaliumi sisaldus mulla erinevates sügavuskihtides näitas, et ristik ja eriti mais on väga head kaaliumi omastajad, kuid sõltuvalt väetamisest ja kultuurist toimub siiski teatud osa kaaliumi leostumine alumistesse sügavuskihtidesse.

Arvutades K sisalduse ümber K massiühikuks siis selgub, et Adavere põldude aastate 2011-2017 keskmisena perioodil september-detsember suureneb K varu mulla alumises kihis 37 kg võrra ha kohta ehk 13% (Joonis 38). Kuigi ülemises kihis on K varu mullas oluliselt suurem Tartu põldudel, siis antud näitel on kõrgema varuga muldades Tartumaal leostumine oluliselt madalam või puudub üldse – varu keskmises ja alumises kihis hoopis väheneb perioodil september-detsember. **Kuigi Tartumaalt on vaid ühe aasta tulemused, siis võime järeldada, et mulla ülemise kihi K sisalduse ja leostumise vahel otsest seost pole võimalik tuua ja see sõltub nii mullaerimist kui kasvatavast kultuurist, samuti uuritava aasta ilmastikust.**

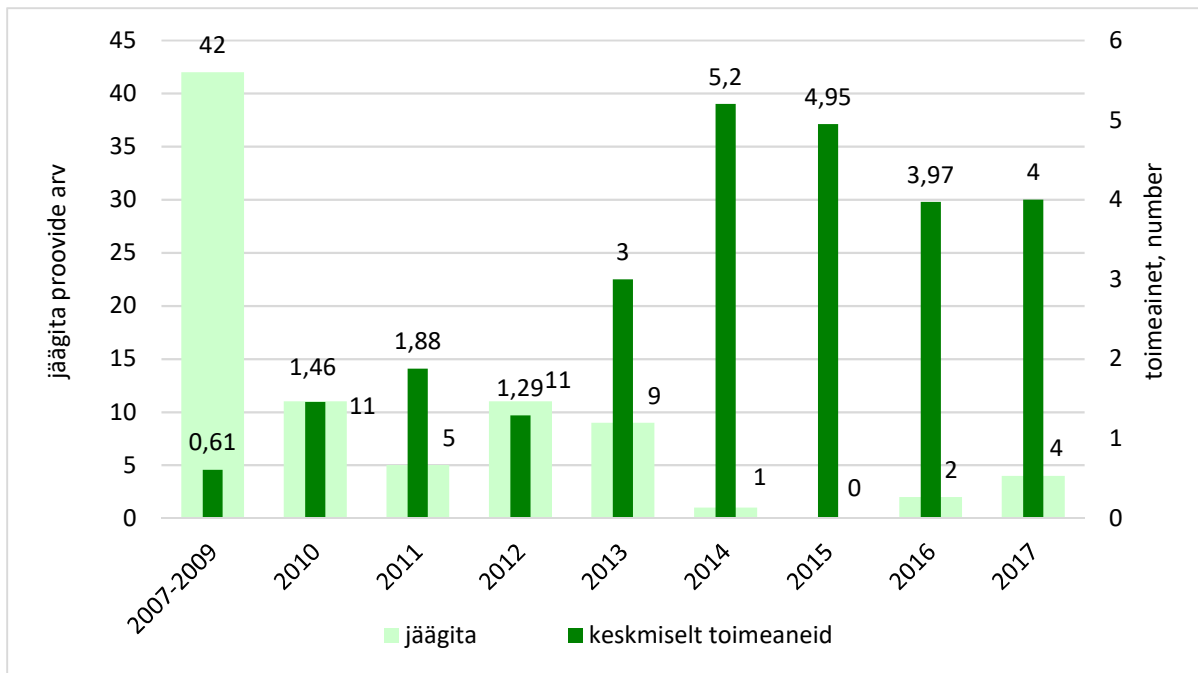


**Joonis 38. Liikuva kaaliumi kogus ja muutus erinevates mullakihtides Adavere viie põllu keskmisena perioodil 2011-2017 ja Tartu põldudel 2017. aastal.**

## 5. Taimekaitsevahendite jääkide sisaldus muldades

Olulise osa muldade seirest moodustab taimekaitsevahendite (TKV) jääkide sisalduse määramine seirepõldudelt, mille abil saame iseloomustada pestitsiidide kasutamise taset ühelt poolt ning mulda jäänud saasteainete koguseid teiselt poolt. Pestitsiidijääkide sisaldusi mullas mõjutab väga tugevalt ka vastava laborimetoodika olemasolu ning siinjuures peab selgitama, et varasematele aastatel oli vastavate analüüside metoodika puudulik ning määramine seega ebatäpne. Viimaste aastate jooksul on metoodikaid oluliselt täiendatud ning see kajastub ka tulemustes. Kuna seirealadelt kogutud proovide arv on suhteliselt väike, siis antud töös vaatleme 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 „NTA uuringu“ tootmispõldudelt kogutud mullaproovide tulemused. Taimekaitsevahendite toimeainete jääke mullas määratakse antud uuringu raames alates 2007. aastast.

Võrreldes taimekaitsevahendite jääkide sisaldust kogu perioodi jooksul selgub, et proovi keskmine erinevate toimeainete jääkide arv on viimasel kolmel aastal langenud, kuid oli siiski oluliselt suurem kui enne 2014. aastat (Joonis 39). 2014. aastal leiti ühest proovist 5,2 ja 2017. aastal 4 erinevat toimeainet keskmiselt ühel põllul. 2014. aastal oli ilma jääkideta 1 proov ja 2015. aastal mitte ühtegi, 2016. aastal 2 proovi ning 2017. aastal 4 proovi. **Kokku leiti näiteks 2017. aastal toimeainete jääke 112 korral, millest 63 juhul (56%) oli tegemist toimeaine jäägi sisaldusega alla määramispiiri ehk jälgedega.** Kõrgeim summaarne TKV sisaldus ühes proovis oli 2016. aastal 0,795 mg/kg ja 2017. aastal 1,097 mg/kg, millest 92% moodustas fungitsiidi tebukonasool toimeaine, mida oli äsja põllul kasutatud. See tulemus oli ka ainus, mis ületas Keskkonnaministri määruses „Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases“ sätestatud sünteetiliste taimekaitsevahendite toimeainete summa sihtarvu (0,5 mg/kg).

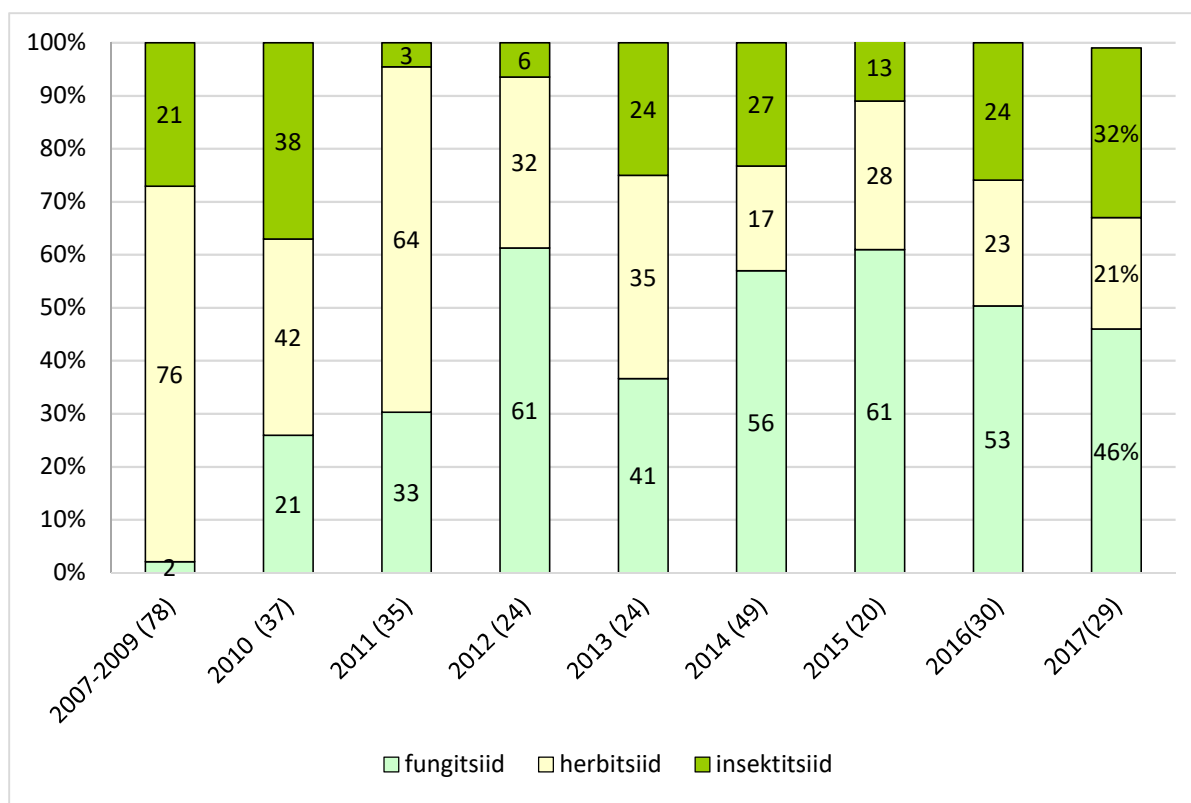


**Joonis 39. Taimekaitsevahendite toimeainete jääkide keskmine arv proovis ja jäägita proovide arv erinevate uuringute mullaproovides 2007-2017.**

Taimekaitsevahenditest on viimastel aastatel leitud enim fungitsiidide jääke (41-61% kõikidest toimeainetest), järgnesid herbitsiidide (17-35%) ja insektitsiidide jäägid (13-32%, Joonis 40). Andmetest selgub, et viimasel kahel aastal on vähenenud fungitsiidide osatähtsus ja suurenenud insektitsiidide osatähtsus.

Üldiselt on toimeainete jääkide kontsentratsioonid olnud aastate jooksul suhteliselt väikesed – maksimaalne TKV jääkide summa ühel põllul perioodil 2007-2017 oli 2017. aastal analüüsitud proovis 1,097 mg/kg, millest enamuse moodustas hiljuti kasutatud fungitsiidi tebukonasool jääk. Valdavalt oli proovides jääkide summa siiski alla 0,05 mg/kg ja enamus toimeainete jääkidest oli hoopis alla määramispiiri.





**Joonis 40. Erinevate taimekaitsevahendite jääkide osatähtsus perioodil 2007-2017. Sulgudes kogutud proovide arv.**

Olulisemad probleemid ja trendid taimekaitsevahendite jääkide sisalduses seireaastate jooksul võiks lühidalt kokku võtta järgnevaga: seire algaastatel olid puudulikud laboratoorne tehnika ja meetodid, seire käigus tuvastati jätkuvalt keelatud toimeaine trifluraliini jäägi olemasolu mullas, kõige rohkem erinevaid jääke keskmisel oli mullas 2014. aastal, hiljem on nende arvukus mõnevõrra vähenenud, tuvastasime mahepõllul pestitsiidijääkide, järjest vähem on jäägita proove, pidevalt suureneb fungitsiidide ja väheneb herbitsiidide osatähtsus mullas, kuigi kasutatakse oluliselt rohkem herbitsiide, pidevalt leiame mullast ka väikeses kontsentratsioonis DDT jääke ning enamus tuvastatud jääke on mullas koguses, mis jääb alla määramispiiri ehk jälgedena.

## Kokkuvõte ja järeldused

- Happesuse suurenemine muldadel on olnud eeskätt mittekarbonaatse lähtekivimiga muldadel suhteliselt kiire ja statistiliselt oluline (0,7 ühikut) ning põllumuldade seire alguses olnud nõrgalt happelised mullad on muutunud mõõdukalt happeliseks.
- Põllumajanduskultuuride edukaks kasvatamiseks tuleb füsioloogiliselt happelisi muldi perioodiliselt lubjata, tagamaks soodne mullareaktsioon ning piisavad Ca ja Mg seisund.
- Karbonaatsel lähtekivimil olevatel muldadel on pH 6,7 ehk neutraalne ning see ei ole seireperioodi jooksul muutunud.
- Hapestumise tendents jätkub usutavalt ka lühema (5-10 aastat) seireperioodi jooksul.
- Vana perioodi esimesel seireringil (1983-1987 a.) oli huumushorisoni tusedus keskmiselt 27 cm ning see on 26 aasta jooksul statistiliselt usutavalt suurenenud 6 cm võrra (2,3 mm aastas) võrreldes uue perioodi viimase seireringiga.
- Ka uuel seireperioodil on toimunud statistiliselt usutav huumushorisoni tügenemine 2 cm võrra (ca 2mm/aastas,  $p=0,003$ ).
- Statistiliselt olulised muutused huumusesisalduses toimusid gleistunud ja gleimuldades, kus võrreldes vana perioodi esimese seireringiga oli näitaja oluliselt vähenenud uue perioodi esimeseks seireringiks. Kuigi statistiliselt seda ei tõestatud, siis visuaalselt saab hinnata, et uue perioodi kolmandaks seireringiks on huumusesisaldus pigem suurenemise trendis kõikide veerežiimi ja lähtekivimiga muldadel.
- Uue perioodi püsivaatlusaladel (23) tervikuna ei toimunud huumusesisalduses statistiliselt olulisi muutuseid koondanalüüsi kontekstis võrdlusaluste seireringide vahel. Siiski on selge trend huumusesisalduse suurenemise suunas - 23 alast vaid 7 toimus näitaja vähenemine, ülejäänud aladel huumusesisaldus suurenes.
- Seirepõldude harimine, külvikorrad ja muu agrotehnoloogia on soodustanud üldiselt mulla lasuvustiheduse muutust taimekasvatusele soodsas suunas. Seirepõldudel tervikuna ei ole täheldatav lasuvustiheduse negatiivseid muutuseid, küll on aga neid tuvastatud üksikutel põldudel.
- Ajaloolises võrdluses on statistiliselt oluliselt suurenenud gleistunud ja parasniiskete muldade huumusvaru. Uue perioodi esimeseks ringiks oli küllaltki märkimisväärselt suurenenud ka gleimuldade huumusvaru, kuid mitte statistiliselt usutavalt.
- Viimaste seireringide jooksul on toimunud huumusvaru vähenemine ja keskkonnakaitseliselt aspektist on see kahtlemata negatiivne trend. Põhjuseks

intensiivistunud tootmine, vähenenud tahesõnniku, põldheina ja püsirohumaade kasutamine.

- Uuel seireperioodil on vastupidiselt ajaloolisele võrdlusele toimunud statistiliselt olulised muutused gleimuldadel - pidev Corg varu suurenemine alates esimesest seireringist. Ilmselt on see tingitud osaliselt maaparandussüsteemide halvenenud seisundist tulenevalt ja ka märgadel muldadel suuremast püsirohumaade ja põldheina osatähtsusest.
- Üldiselt on Corg varu seirealade keskmisena aastate jooksul suurenenud, eriti vahemikus 1983-2006.
- Corg varu prognoosmudeli järgi suureneb antud agrotehnooloogiat kasutades Corg varu 2030. aastaks 8,7% ja 2040.aastaks 14,1% võrreldes viimase seireringiga.
- Kuna prognoosmudel arvestab A horisondi jätkuvat kasvu, mis ei pruugi realiseeruda, siis selle parameetri elimineerimisel toimub tegelikult tulevikus Corg varu väike langus võrreldes viimase seireringiga, vastavalt 3,6% 2030 aastaks ja 4,3% 2040.aastaks. Tegemist on siiski suhteliselt väikese negatiivse muutusega, mida on võimalik kompenseerida kas orgaaniliste väetistega või põldheina kasvatamisega. Näiteks oleks vaja sellisel juhul lisada mulda täiendavalt 1,3 tonni tahesõnnikut aastas.
- Liikuva P sisalduses vana perioodi ja uue perioodi kolmanda seireringi vahel usutavaid erinevusi ei tuvastatud. Sellest lähtudes võime eeldada, et kui väetada põlde normiga vähemalt 16 kg/ha fosforit, siis säilib olemasolev mulla liikuva P sisaldus.
- Statistiliselt oluline liikuva K-DL sisalduse vähenemine toimus uue seireperioodi kolmanda ja vana seireperioodi kolmanda ringi vahel ( $p=0,03$ ).
- Uuel seireperioodil ei ole seireringide võrdluses toimunud statistiliselt olulist liikuva K-M3 sisalduse muutust. Püsivaatlusaladel (23) kasutati kaaliumi viimasel viiel aastal keskmiselt normiga 59 kg/ha/a ning üldiselt sellest kogusest piisab mulla K sisalduse säilitamiseks.
- Happelise lähtekivimiga mullad olid juba seire esimesel ringil Ca defitsiidis ja seireringide jooksul ei ole suudetud seda leevendada ning veelgi enam-olukord on seireperioodi jooksul halvenenud.
- Oluliseks muutujaks oli teise seireringi madal Mg sisaldus ja perioodi esimese ja kolmanda ringi vahel olulist erinevust ei olnud ehk Mg sisaldus on kogu perioodi kokkuvõttes püsinud stabiilsena.
- Mangaani sisaldus seiremuldades keskmiselt on seireperioodi jooksul suurenenud ca 15% võrra. Keskmise boori sisaldus seirealadel on madalam kui optimaalne ning praeguse agrotehnika juures toimub selle vähenemine veelgi.

- Mahepõldudel toimub liikuva P sisalduse vähenemine või püsib näitaja stabiilsena, K sisalduse valdavalt langeb või madala sisalduse puhul püsib stabiilsena.
- Mahepõldudel on huumusesisaldus stabiilne, aeglase tõusutrendiga ning keskkonna aspektist on see positiivne, kuna toimub mullas süsiniku sidumine.
- Mahepõldudel toimub statistiliselt usutav muldade hapestumine sarnaselt kõikide teiste seirealadega.
- Seirepõldude väetamine olnud selline, mille tagajärjel ei toimu K ega P märkimisväärset kuhjumist mullaprofiilis. Samas ei saa välistada toitainete leostumist allapoole, sest toiteelementide sisalduse suurenemine ülemises kihis kajastub ka vastavas sisalduse suurenemises alumistes kihtides.
- Sügisperioodil vähenes mineraalse lämmastiku kogus ülemises mullakihis peamiselt vertikaalse migratsiooni tulemusena u 19 kg/ha, mille tagajärjel suureneb vastavalt järgmise kihi N<sub>min</sub> kogus 12 kg/ha võrra ja alumises mullakihis 9 kg/ha võrra.
- Perioodil detsembrist kuni aprillini suureneb alumise kihi N<sub>min</sub> sisaldus aga veelgi ja kokku akumulereub alumises mullakihis sügistalvisel perioodil alade keskmisena 20 kg/ha, mis moodustab keskmisest mulda viidud lämmastikunormist 40%.
- Digestaadi ja lägaga väetamine suhteliselt suurte normidega tekitab olukorra, kus vegetatsiooniperioodi jooksul ei suudeta kogu N<sub>min</sub> ära tarbida ja see liigub kiirelt alumistesse mullakihtidesse
- Isegi suurte digestaadi kogustest päris fosfori suutis suviraps enamuses tarbida.
- Tänu maisi suurele biomassile ja sellest tulenevale toiteelementide tarbimisele oli maisipõllu toitainete leostumine vähene isegi kõrge väetamistaseme korral.
- Talvisel perioodil (detsember-aprill) väheneb alumise kihi P sisaldus koguni 41% ehk sel perioodil ülevalt poolt P leostumist üldiselt ei esine. Tartumaa näitel on leostumine sügisperioodil oluliselt madalam-24%.
- Väetamata mullal võib ristiku kasvatamisel mulla kaaliumisisaldus langeda ühe vegetatsiooniga keskmisest väetustarbeklassist madalasse väetustarbe klassi.
- Tänu pikale kasvuajale tarbis mais kaaliumi oluliselt kauem kui näiteks suviraps. Nagu eelnevalt selgitatud, siis omastab mais suhteliselt palju toiteelemente ning olulist K-sisalduse suurenemist alumistes kihtides ei ole ka kasutatud väetiste suure koguse korral.
- Mulla liikuva kaaliumi sisaldus mulla erinevates sügavuskihtides näitas, et ristik ja eriti mais on väga head kaaliumi omastajad, kuid sõltuvalt väetamisest ja kultuurist toimub siiski teatud osa kaaliumi leostumine alumistesse sügavuskihtidesse.

- Arvutades K sisalduse ümber K massiühikuks siis selgub, et seirepõldude aastate 2011-2017 keskmisena perioodil september-detsember suureneb K varu mulla alumises kihis 37 kg võrra ha kohta ehk 13%.
- Kokku leiti 2017. aastal toimeainete jääke 112 korral, millest 63 juhul (56%) oli tegemist toimeaine jäägi sisaldusega alla määramispiiri ehk jälgedega ning selline tendents on valitsenud kõikidel viimastel aastatel.
- Seire käigus tuvastasime ja tuvastame jätkuval trifluraliini jäägi olemasolu mullas, kuigi selle kasutamine lõpetati aastaid tagasi.
- Kõige rohkem erinevaid jääke keskmisel oli mullas 2014. aastal, hiljem on nende arvukus mõnevõrra vähenenud.
- Tuvastasime mahepõllul pestitsiidijääkide sisalduse ja ka saasteallika-naabruses olev tavapõld. Seega ei ole välistatud mahepõldude saastamine pestitsiididega.
- Järjest väiksem on jäägita proovide arv.
- Pidevalt suureneb fungitsiidide ja väheneb herbitsiidide toimeainete osatähtsus mullas, kuigi herbitsiide kasutatakse oluliselt rohkem. Järelkult püsivad fungitsiidide toimeaineid mullas kauem.
- Pidevalt leiame mullast ka väikeses kontsentratsioonis DDT jääke, mis on suure tõenäosusega õhumasside liikumise tulemusena meile sattunud õhusaastega.
- Enamus tuvastatud jääke on muldades sellises koguses, mis jääb alla määramispiiri ehk nõ jälgedena.

## Kasutatud kirjandus

- Bates, D., Maechler, M., & Bolker, B. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using {lme4}. *Journal of Statistical Software*, 1-48.
- Keskkonnaagentuur. (2018). Keskkonnaagentuur. Allikas:  
[https://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/mullaseire\\_allprogramm\\_0.docx](https://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/mullaseire_allprogramm_0.docx)
- Keskkonnaagentuur. (2018). Seireveeb. Allikas:  
[http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2083&Itemid=396](http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2083&Itemid=396)
- PMK. (2014). Keskkonnaagentuur. Allikas:  
[http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3313:mullaseire-2014&catid=1276:mullaseire-2014-&Itemid=5787](http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=3313:mullaseire-2014&catid=1276:mullaseire-2014-&Itemid=5787)
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Allikas:  
<https://www.R-project.org/>
- Suuster, Elsa; Ritz, Christian; Roostalu, Hugo; Reintam, Endla; Kõlli, Raimo; Astover, Alar. (2011). Soil bulk density pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils. *Geoderma*, 163, 74–82.