



MINIMEERITUD HARIMISE MÕJU MULDADE OMADUSTELE JA KESKKONNASEISUNDILE

Töö teostaja: Põllumajandusuuringute Keskuse Mullaseire ja uuringute büroo; Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž (Mari Ivask, Ellen Hiie)

Uuringu eesmärk

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

Metoodika

Minimeeritud harimise uuringu puhul on tegemist jätku-uuringuga. 2017. aastal võeti kordusproovid (2013. a esimest korda) kuult tootmispõllult: kolm otsekülvi põldu O2, O6 ja O7 ning kolm künniharimisega põldu K2, K6 ja K7 (Tabel 1). Kõikidelt põldudelt määrati tähtsamad agrokeemilised näitajad (P, K, Mg, Ca), mulla happesus, orgaanilise süsiniku sisaldus (Corg), labiilse ehk liikuva süsiniku sisaldus (DOC), lasuvustihedus (Dm) ning arvatati lisaks üld- ja aeratsioonipoorsus (Püld ja Paer). Kõiki näitajaid hinnati sügavuskihtide kaupa: 0-5, 5-15 ja 15-25 cm. Taimekaitsevahendite jääkide sisaldused määrati kõikidel uuritud põldudel.

Tabel 1. Minimeeritud harimise uurimisalad 2017. aastal

Põld	Siffer ¹	Lõimised ²	Tehnoloogia	Proovivõtu aastad	Maakond
O2	LPg	sl/ls1	otsekülv	2013; 2017	Viljandi
K2	LPg	sl/ls1	künd	2013; 2017	Viljandi
O6	LP	sl/ls1	otsekülv	2013; 2017	Tartu
K6	LP	sl/ls1	künd	2013; 2017	Tartu
O7	KI	ls1	otsekülv	2013; 2017	Jõgeva
K7	KI	ls1	künd	2013; 2017	Jõgeva

¹ KI – leetjas muld, LP – näivleeturud muld, LPg – gleistunud näivleeturud muld

² lõimised on mullastiku kaardi alusel

Mullaelustiku seisundi hindamiseks kasutati indikaatoritena mikroobide, hooghännaliste ja vihmausside kooslusi iseloomustavaid parameetreid. Mullaelustiku hindamise täpsem metoodika on kirjeldatud varasemates aruannetes.

Info agrotehnoloogia, külvikorra, kasutatud väetiste ja taimekaitsevahendite osas on pärit tootjate põlluraamatutest (Tabel 2). Lisaks mineraalväetistele kasutati ka orgaanilisi väetisi, kuid seda ainult põllul O6 (2013. a. 30 t/ha vedelsõnnikut). Nii Jõgeva kui Viljandi põldudel on mõlema tehnoloogiaga külvikorras samad kultuurid ja sarnase väetamisega. Lisaks on nende maakondade põllud omavahel hästi võrreldavad ka kultuuride osas. Uuringu eesmärke ei toeta see, et tavaharimisega võrdluspõldudel on üldiselt tegemist pigem minimeeritud harimisega (va K7), sest



kündmist on teostatud vähe ja maad haritud pigem kultiveerimise või randaalimisega. 2017. a lõpus künti üle otsekülvi põllud O7 ja O2 ning seega on kahjuks lõppenud edaspidiseid uurimisvõimalused. O7 alal jõudsiime proovid koguda enne kündmist, aga O2 alal oli paraku juba teostatud osaliselt randaalimine, mis kajastub ka mullaproovide tulemustes. Seega võrdleme Jõgeva alade puhul muutusi, mis on mulla mõistes toimunud väga lühikese aja – 5 aasta jooksul kuna selliseks kujunes katse kogupikkus. Viljandi põllu O2 puhul aga oluliselt pikema – 11 aasta muutuseid.

Tabel 2. Uurimisalade külvikord 2013-2017 aastatel ja kasutatud keskmine toiteelementide sisaldus aastas

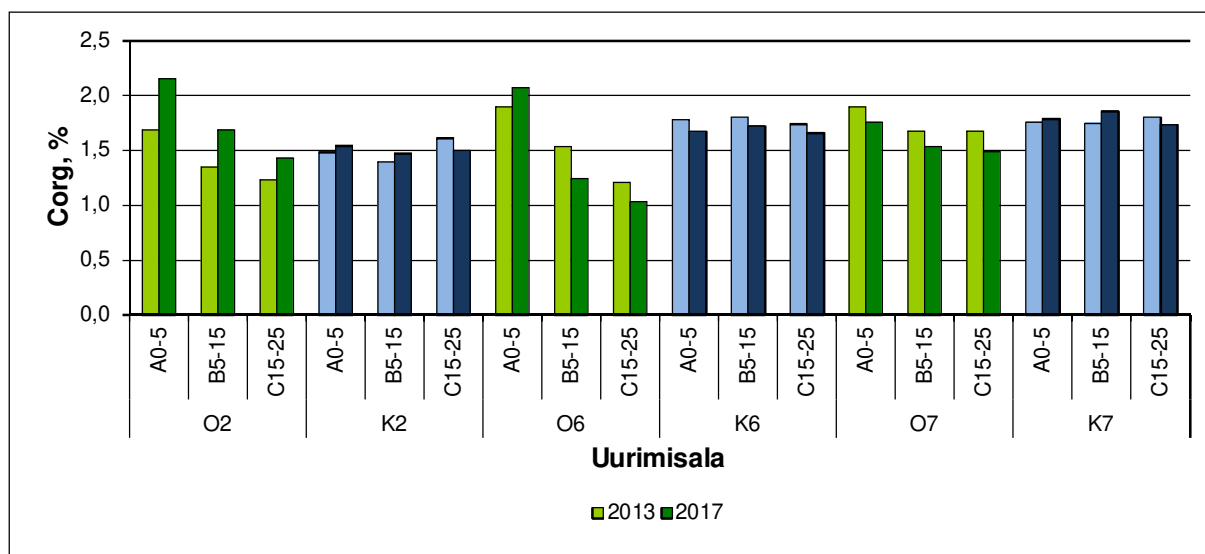
Põld	Toiteelement N-P-K, kg/ha/a	Põllukultuur				
		2013	2014	2015	2016	2017
O2	101-7-27	talnisu	suvioder	talnisu	põldhernes	taliraps*
K2	101-7-27	talnisu	suvioder	talnisu	põldhernes*	taliraps*
O6	116-16-19	suvinisu	suvinisu	põlduba	talnisu	talnisu
K6	77-8-28	kaer ak	ristik*	talnisu*	suvioder*	suvioder
O7	46-8-28	kaer	talnisu	suvioder	põldhernes	kaer*
K7	46-8-28	kaer*	talnisu*	suvioder*	põldhernes*	kaer*

*- aasta, mil toimus kündmine

Tulemused

Mulla süsinikuseisundi näitajad

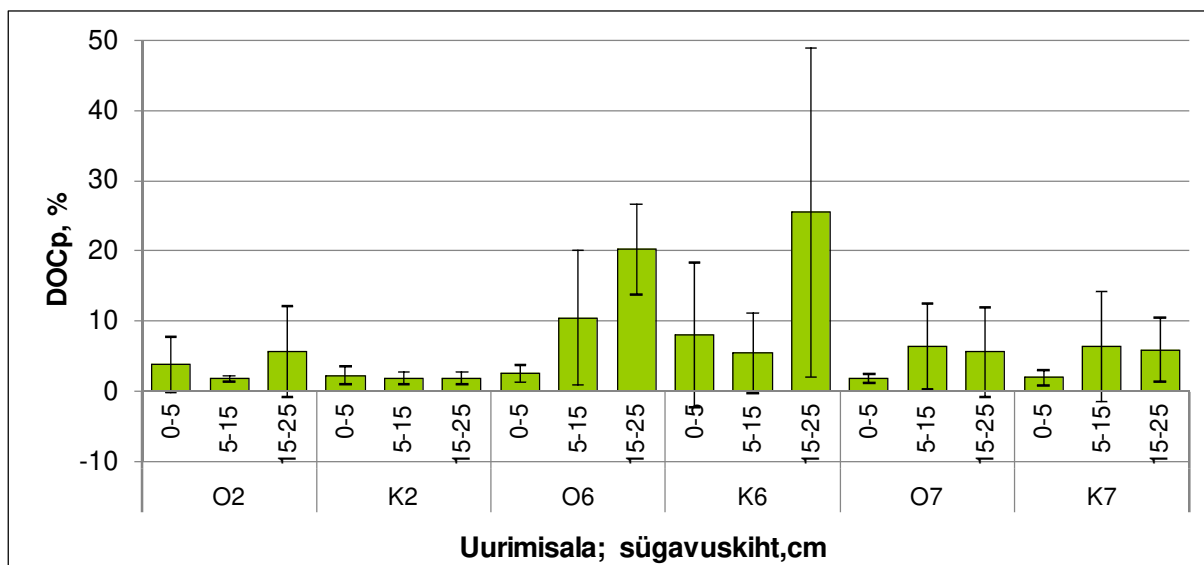
Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus on otsekülvi põldude profiilis selgelt vertikaalselt kihistunud ning ülemises 5 cm mullakihis on oluliselt kõrgem Corg sisaldus kui järgnevates kihtides (Joonis 1). Kõige ilmekamalt tuleb see välja pika-aegsetel (> 10 aastat) otsekülvi O2 ja O6 põldudel. Kuigi ka O7 põllul on 5 aasta möödudes toimunud Corg sisalduse diferentseerumine ülemise ja alumiste kihtide vahel, siis see on väiksem võrreldes teiste põldudega. Üldiselt on 5 aasta möödudes Corg sisaldus otsekülvi aladel vähenenud, kuid O2 alal on see hoopis tõusnud kõikides kihtides. See on seletatav randaalimisega, mis jõuti enne proovide kogumist teha ning mulla segamisel liikus orgaaniline materjal profiilis allapoole.



Joonis 1. Orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus aastatel 2013 ja 2017 erinevates mulla sügavuskihtides

Labiilse süsiniku analüüse viisime läbi teistkordselt üldse otsekülvi uuringu perioodi jooksul. Kui eelmisel aastal selgus, et üldiselt on enamik Corgi (ca 98%) mullas püsival kujul, siis sel aastal

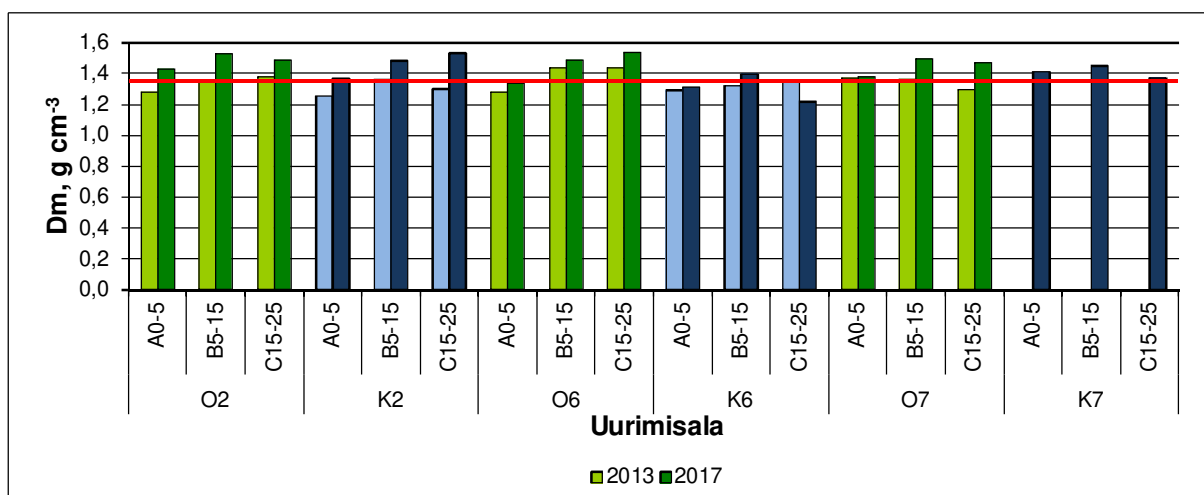
enam tulemused nii ei näita (Joonis 2). Jätkuvalt ei ole erinevusi tehnoloogiate vahel, küll aga paistab silma väga suur varieeruvus ühe põllu piires (standardhälbe kaudu). Eriti suured kõikumised leiavad aset Tartumaa põldudel, kus on märkimisväärselt kõrged labiilse süsiniku sisaldused just alumises 15-25 cm kihis. Kas labiilse süsiniku fraktsiooni sisaldus kogu Corg-ist suurusjärgus 20-25% nimetatud kihis on mõõtmisvea tulemus või tingitud suurtest sademetes 2017. a sügisel jääb selgusetuks.



Joonis 2. Labiilse orgaanilise süsiniku osakaal (DOCp) kogu mulla orgaanilisest süsinikust 2017. aastal. Aritmeetiline keskmine tulpadena ja standardhälve joontena

Lasuvustihedus näitab jätkuvalt suurenemise tendentsi kõikidel uuringu põldudel. Eriti palju on suurenenud Viljandimaa O2 ja K2 põldude lasuvustihedus, tõustes viie aastaga keskmiselt 11-12% (Joonis 3). O2 põllul on suurem tihenemine toimunud just ülemises kahes uurimiskihis, vastavalt 0,15 ja 0,18 g cm⁻³ (12 ja 13%) ning tavaharimisega K2 põllul alumises 15-25 cm kihis 0,23 g cm⁻³ (18%). Kõik põllud, va K6 on ületanud kriitilise lasuvustiheduse piiri mullas (kerge liivsaviilõimisel on kriitiline lasuvustihedus mullale 1,35-1,50 g cm⁻³). K6 põllu eeliseks on ilmselt ristiku kasvatamine 2014 a., mis mõjub lasuvustihedusele positiivselt (Tabel 2).

Sarnaselt lasuvustihedusele iseloomustab mulla tihenemist ka üldpoorsuse vähenemine uurimisaladel. Üldpoorsus on vähenenud kõige rohkem taas O2 ja K2 aladel (Lisa 1). Üldiselt on mulla poorsuse osas otsekülvi uuringus olevate põldude olukord hea, sest kuigi üldpoorsus viie aasta jooksul veidi vähenenud, jääb Püld vahemikku 39,7-56,4%. Seejuures loetakse soodsaks, kui antud lõimistega muldadel on üldpoorsus 37% ja aeratsioonipoorsus üle 10%. Ka aeratsioonipoorsuse osas on mulla seisund väga hea (vahemikus 13,4-38,6%) ning on paranenud oluliselt just Tartumaa ja Viljandimaa võrdluspõldudel. Keskmise aeratsioonipoorsus on kõrgem ülemises 5 cm mullakihi tavaharimisega põldudel K2 ja K6 võrreldes sama alal otsekülvi põldudega. Alumistes kihtides nii selgeid erisusi ei ole.



Joonis 3. Mulla lasuvustihedus aastatel 2013 ja 2017 erinevates mulla sügavuskihtides. Punane joon tähistab kriitilise lasuvustiheduse piiri algust mullale (kerge liivsavi alates 1,35 g/cm³)

Muldade üldise süsinikuseisundi hindamiseks leiti mulla orgaanilise süsiniku varu (Corg varu) igas kihis ja kogu uuritud sügavuses 0-25 cm keskmisena. Keskmisena kogu mullaprofiili lõikes on Corg varud suuremad tavaharimisega variantides võrreldes otsekülvi variantidega (Tabel 3). Erandiks on siin Viljandimaa võrdluspõllud, kuid tulenevalt randaalimisest ei kajasta need tulemused paraku otsekülvi tehnoloogia mõju mulla süsinikuseisundile. O2 ala Corg varu suurenemine 16,5 t/ha näitab, et otsekülvi ja minimeeritud harimise kombineeritud kasutamine külvikorras tagab mulla parema süsinikuseisundi. Tartumaa põldudel on toimunud Corg varu vähenemine viie aastaga üle 6 t/ha, kuid Jõgeva viieaastane otsekülvi katse vähendas Corg varu kõigest 0,3 t/ha. Harimistehnoloogia mõju avaldumine on pikaajaline protsess ning viis aastat ei ole veel piisav, et hinnata selle mõju. Lühiajaliselt avaldavad mulla süsinikuseisundile rohkem mõju külvikord ja väetamine.

Tabel 3. Mulla orgaanilise süsiniku varu (t/ha) sügavuskihtide kaupa ja kogu 0-25 cm mullakihis 2013. ja 2017. aastal

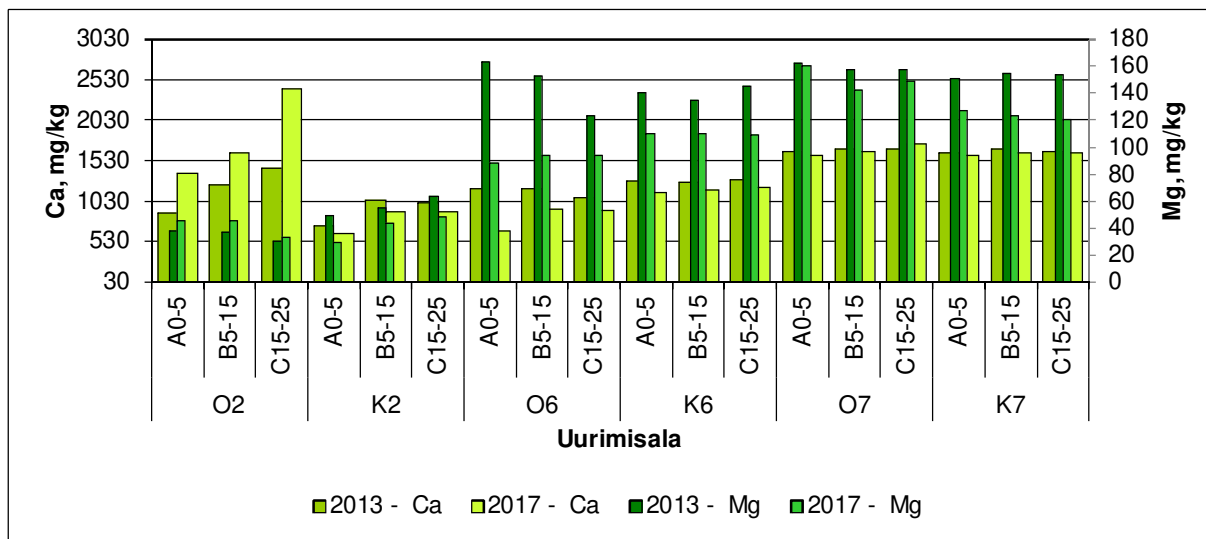
Sügavus	2013					2017					
	O2	K2	O6	K6	O7	O2	K2	O6	K6	O7	K7
0-5 cm	10,8	8,8	12,9	12,0	13,0	15,3	10,5	13,9	11,0	12,2	12,6
5-15 cm	18,1	19,8	24,2	25,2	22,5	25,7	21,8	18,4	24,1	22,9	26,9
15-25 cm	16,9	23,0	17,5	25,1	21,7	21,2	22,9	15,8	20,2	21,9	23,8
0-25 cm	45,8	51,6	54,5	62,2	57,2	62,3	55,2	48,1	55,3	56,9	63,3
Muutus, t/ha						16,5	3,6	-6,4	-6,9	-0,3	

Mulla happesus ja toitelementide sisaldus uurimisaladel

Mulla happesus on viie aasta möödudes peamiselt veidi suurenenud kõikides variantides, va O2 ja O6 (Lisa 2). O2 alal on toimunud hoopis pH tõus ülemises 5 cm kihis 0,4 ühiku võrra 5,5-ni, mis tähendab et mulla happesus on alal veidi vähenenud, mis on taimedele soodsam. Samuti on O2 alal suurenenud Ca ja Mg sisaldused (Joonis 4). Põlluraamatu järgi ei ole kasutatud lubiväetisi, kuid Ca tõus on olnud suur ja seda rõhutatult alumises 15-25 cm kihis (976 mg/kg). O6 alal on seevastu toimunud märkimisväärne pH vähenemine ja seda eriti just ülemises 5 cm, vastavalt 1,7 ühikut. Kuna O6 alal on juba geneetiliselt happelised näivleetunud mullad, siis kombinatsioonis tehnoloogiaga, kus taimejäänused jäetakse põllule, on toimunud põllu muutumine väga happeliseks, mille tõttu on raskendatud fosfori omastamine (sellele viitab suurenenud P sisaldus

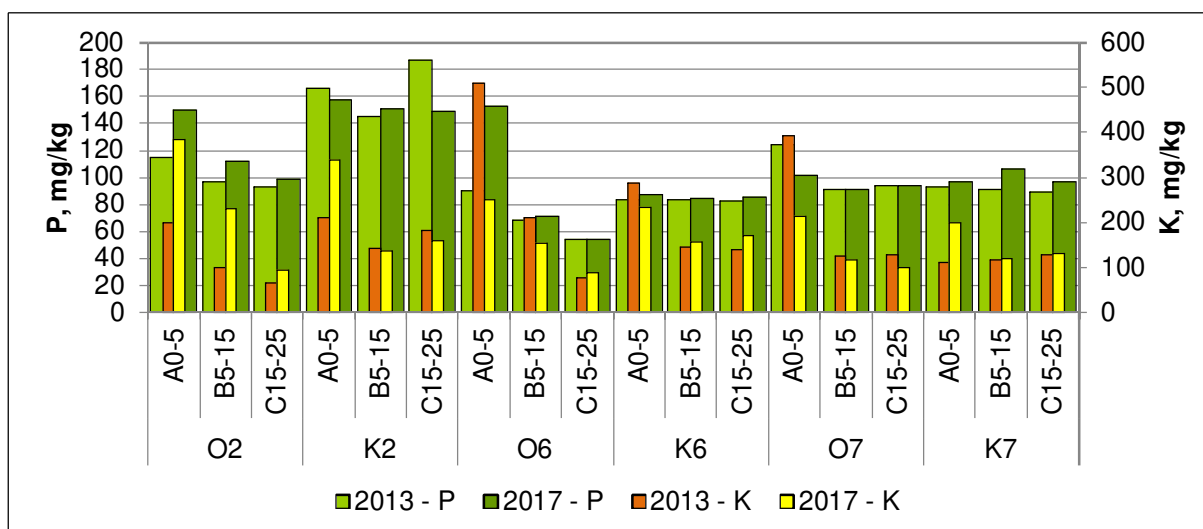
EESTI MAAELU ARENGUKAVA 2014-2020 4. JA 5. PRIORITEEDI PÜSIHINDAMINE

ülemises kihis (Joonis 5). Lisaks fosforile on selgeid hapestumise märke ka Ca ja Mg sisalduse vähenemises. Mg sisaldus oli O6 alal 2013. a. vertikaalselt kihistunud, ent 2017. a. on see enam-vähem sama kõikides sügavuskihtides, keskmiselt 92 mg/kg (kõige suurem langus toimus ülemises 5 cm, vastavalt 74,8 mg/kg). Ca sisaldus on kõikides kihtides vähenenud, ülemises 0-5 cm kihis lausa kaks korda 662 mg/kg-ni, mis on oluliselt alla optimaalse Ca sisalduse (Mehlich3 meetodiga 1500 mg/kg). O6 põllul oleks vaja kiiresti rakendada lupjamist. Ka K6 põllul on optimaalsest vähem Ca, kuid arvestades, et tegemist on samuti näivleeturunud mullaga, siis künniga harimise tagajärjel on Ca ja Mg sisalduse vähenemised olnud ühtlasemad ja ka väiksema ulatusega.



Joonis 4. Kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused aastatel 2013 ja 2017

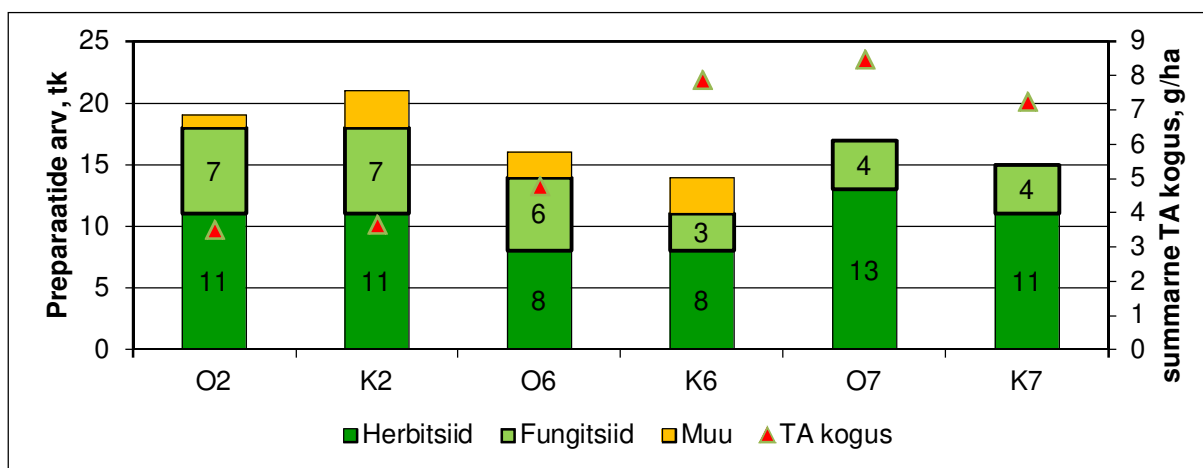
Taimetoiteelementide P ja K väetustarve on 2017. proovide tulemusel Viljandimaa põldudel väga väike, Tartumaal keskmine ning Jõgevamaa põldudel väike. Mõningad erandid sügavuskihtides siiski on. Näiteks kõikidel otsekülviga põldudel on 15-25 cm kihis K väetustarve suur või väga suur ning seejuures on viie aastaga ainult O7 alal toimunud K sisalduse vähenemine 23% (-30 mg/kg) (Joonis 5). Seega näeme jätkuvalt kuidas toimub taimetoiteelementide kihistumine vertikaalsuunas otsekülvialadel. Suuremate muutustena võrreldes 2013. aastaga saab välja tuua O6 ja O7 ala K sisalduse vähenemise, kuid see on ilmselt tingitud paljuski ka sellest, et 2013. a koguti mullaproovid peale sügisväetise andmist, mis moonutasid K sisalduse liiga kõrgeks. Oluliselt on suurenenud K sisaldus O2 alal, suurenedes kahekordselt 0-5 cm ja 131% keskmises mullakihis. Kuivõrd O2 ja K2 saavad samad väetiskogused, siis võiks eeldada, et ka taimetoiteelementide sisalduses toimuvad muutused on samased. Paraku, K2 variandis suureneb ainult ülemise 5 cm K sisaldus ning langeb hoopis veidi alumistes kihtides. Vaadates nii K sisaldust kui ja Ca sisalduse muutuseid O2 põllul, siis tundub, et on lisaks kasutatud väetiseid, mis põlluraamatus ei kajastu. Ka O7 ja K7 on sama väetamisega põllud ning seal on K ja P sisaldused 2017. aastal variantide vahel võrdsustunud. P sisalduse osas ei ole väga suuri muutuseid aastate võrdluses toimunud.



Joonis 5. Fosfori ja kaaliumi sisaldused 2013. ja 2017. aastal erinevates mulla sügavuskihtides

Taimekaitsevahendite jäägid mullas ja multšis

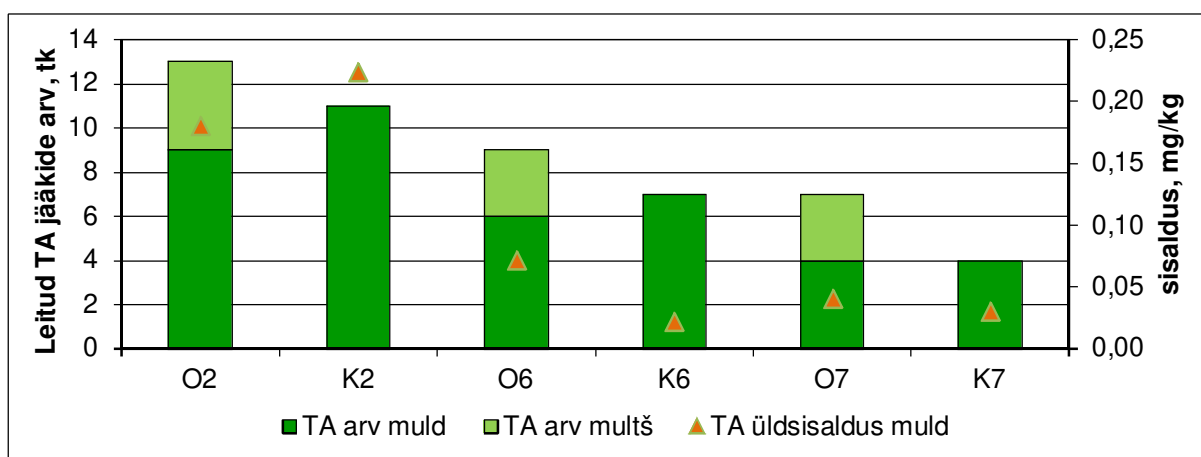
Põlluraamatute analüüsil selgus, et harimistehnoloogiate ja preparaate kasutamise vahel suuri ühesuunalisi erinevusi ei ole (Joonis 6). On levinud arusaam, et otsekülvi viljelejad kasutavad rohkem herbitsiide kuna neil puudub võimalus mehhaaniliselt umbrohuseemneid hävitada. Antud 6 uurimispõllu raames see nii välja ei jooknu. Nii Viljandimaa kui Tartumaa tootjad kasutasid viie aasta jooksul võrdse arvu herbitsiide, vaid Jõgevamaal kasutati otsekülvi alal rohkem herbitsiide. Tartumaa võrdluspõldudel on näha kahe erineva tootja käekiri: preparaate kasutatakse samas suurusjärgus, kuid summaarne TA kogus on oluliselt suurem tavaharimisega variandis.



Joonis 6. Uurimisaladel kasutatud taimekaitsevahendite preparaatide arv (põlluraamatu alusel) ja summaarne preparaatide toimeainete kogus 2013-2017 a

2017. aasta mulla ja multši TKV jääkide analüüsil leiti proovidest 51 korral 20 erineva toimeaine jääke ning neist 51% esines toimeaine sisaldusega alla määramispiiri (Lisa 3). Otsekülvi aladel leiti multšist TKV jääke 10 korral 9 erineva toimeainega (30% proovidest oli tegemist TKV jälgedega). TKV-klassidest oli otsekülvi alade muldades enam esindatud fungitsiidid (12 juhul), järgnesid herbitsiidid (6 juhul, sh 5 jälgedena) ja insektitsiidid (1 juhul). Tavaharimisega põldudel leidis seevastu praktiliselt võrdsena fungitsiidide ja herbitsiidide jälgi ning jääke, vastavalt 9 ja 8 juhul.

TKV jääkide sisaldused mullas olid sel aastal kõrgemad tavaharimisega põldudel, kuid arvestades ka multšis leidunud jääke on otsekülvi aladel summaarselt kõrgemad TKV jääkide sisaldused (Joonis 7). Sel aastal ei olnud multšis nii palju erinevaid TA kui varasemalt kuna ilmselt soodustasid vihmased ilmad jääkide liikumist mulda. Koguseliselt oli multšis jääke O2 alal 0,14 mg/kg, O6 alal 0,13 mg/kg ja O7 alal 0,05 mg/kg. Mullaproovidest leitud TKV toimeainete jääkide sisaldused olid kõrgeimad Viljandimaa põldudel. Võrreldes 2013. aastaga on oluliselt suurenenud kõikide põldude TKV toimeainete jääkide arv ja sisaldused, seejuures O6 põllul ei leitud 2013. a ühtegi jääki ning K7 põllul üks jääk (PMK, 2014a). Jätkuvalt leiti mitmelt alalt ka keelatud TKV toimeainete jälgi (HCB, trifluraliin, DDT). Herbitsiidi glüfosaadi jääke ei leitud 2017. a ühestki mullaproovist, vaid Viljandimaa põldudel leiti sisaldus alla määramispiiri.



Joonis 7. Leitud taimekaitsevahendite toimeainete jääkide arv ja summaarne sisaldus (mullas) uurimisaladel 2017. aastal

Mullaelustiku näitajad

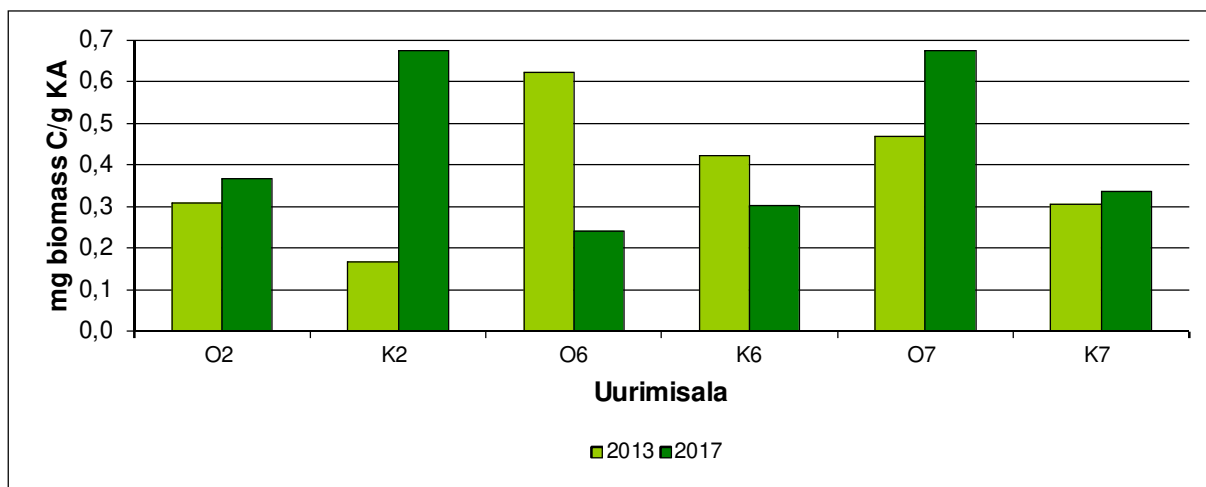
Mullaelustiku analüüsid teostati Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži teadlaste poolt kuuel uurimisalal O2, K2, O6, K6, O7 ja K7 (Tabel 1). Proovid võeti kõrretüüga põldudelt peale saagikoristust. Mullaproovide keskmine niiskusesisaldus (üldproovis 0-10 cm sügavusel) oli uurimisaladel sarnane (20,3-24,6%), septembri lõpus võetud proovide niiskusesisaldus natuke kõrgem kui kuu algul võetud proovidel (O2 ja K2).

Aasta 2017 ilmastikutingimused olid keskmisest ebasoodsamad ja avaldasid mõju nii põllukultuuridele kui mullaelustikule. Mullas elavate organismide aktiivse paljunemise perioodil maist juulini oli keskmine õhutemperatuur 1,3 kraadi madalam paljuaastasest keskmisest (EMHI, 2017) ning proovide kogumise ajal septembris oli keskmine sademete hulk 137% normist, mis takistas saagikoristust ja mille tõttu võeti Jõgevamaa ja Tartumaa mullaelustiku proovid alles septembri lõpus, kui madalad õhutemperatuurid olid aeglustanud elustiku tegevust.

Mikroobikooslus

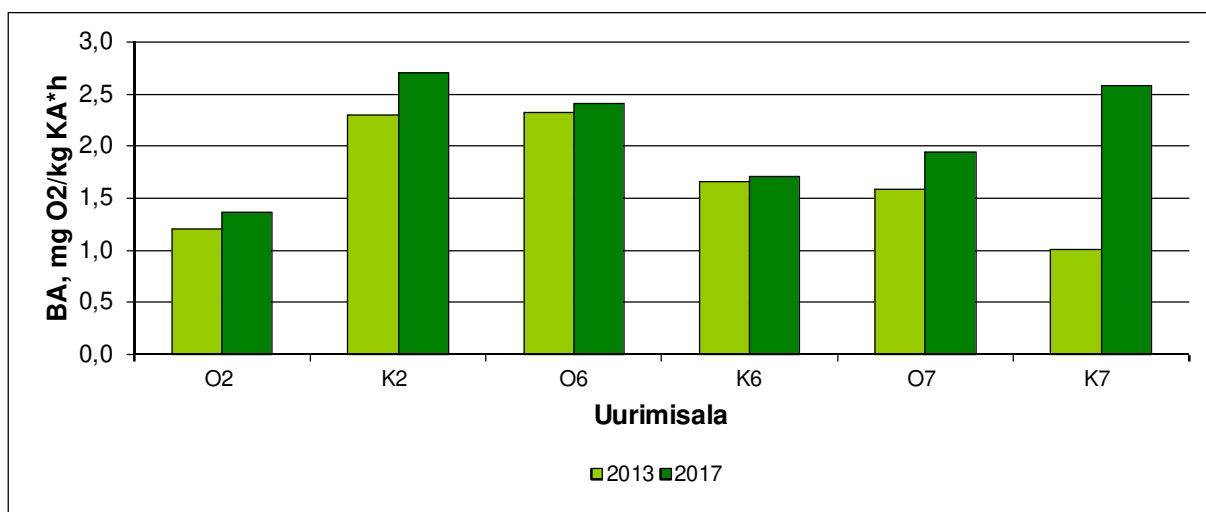
Kõrgeim mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil oli K2 ja O7 proovialal (0,674 mg biomass C/g KA) (Joonis 8). Näitajat väärtusega üle 0,600 ei peeta põllumuldade elustiku hindamiskaala järgi optimaalseks (PMK, 2011s). Kõrge näitaja võib viidata üleväetamisele. Madalaim näitaja oli O6 proovialal (0,240 mg biomass C/g KA). Ilmselt on see otseselt seotud liiga happelise elukeskkonnaga mulla mikroobide jaoks. Ka muutus, mis on võrreldes 2013 aastaga toimunud, on sarnane pH muutusele O6 põllul. Lisaks on ka Corg O6 põllul

madal, mis samuti on seotud madala mikroobide sisaldusega mullas (Sparling, G.P. 1997). Taaskord puudub arvestatav erinevus mikroobide aktiivse biomassi ja harimistehnoloogia vahel.



Joonis 8. Mulla mikroobide aktiivne biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil aastatel 2013 ja 2017

Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel oli kõrgeim alal K2 (2,709 mg O₂/kg KA*h) ja madalaim O2 alal (1,362 mg O₂/kg KA*h) (Joonis 9). 2017. aastal olid kõikide põldude mikroobikoosluse hingamisaktiivsuse näitajad head, mis viitab sellele, et polnud suurt toitainete puudust ega esinenud üleväetamist.



Joonis 9. Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse (BA mg O₂/kg KA*h) alusel aastatel 2013 ja 2017

Viljandimaa aladel on mikroobikoosluse näitajad võrreldes 2013. aastaga O2 alal sarnased, küntud põllu K2 hingamisaktiivsus on paranenud 17% 2,71-ni, mikroobikoosluse kogumass on kasvanud väga palju (neli korda), põhjuseks kindlasti ka 2017. aasta kaks korda kõrgem mullaniiskus. Huvitav on tendents, et Jõgevamaa aladel on kõik mikroobikoosluse näitajad väga palju paranenud võrreldes 2013. aastaga, samas seal pole kahe aasta mullaniiskuse näitajate vahe suur (2013 a. oli niiskust mõni protsent vähem). Oluliselt on paranenud K7 hingamisaktiivsus – 2,5 korda.

Vihmaussid

Ökoloogiliselt vähenõudlikud ja põllumajandustegevusega hästi kohastunud on harilik (*A. caliginosa*) ja roosa mullauss (*A. rosea*) ning punane vihmauss (*L. rubellus*), tingimuste suhtes

nõudlikumad on harilik vihmauss (*L. terrestris*) ning suur mullauss (*A. longa*). Aneetsilisi ehk sügavaid vertikaalkäike uuristavaid usse kahjustab kündmine püsiurgude lõhkumise läbi. Seetõttu on otsekülvaladel aneetsiliste vihmausside arvukus palju kõrgem kui küntud aladel. 2017. aastal puuduvad aneetsilised vihmaussid Jõgevamaa põldude proovides.

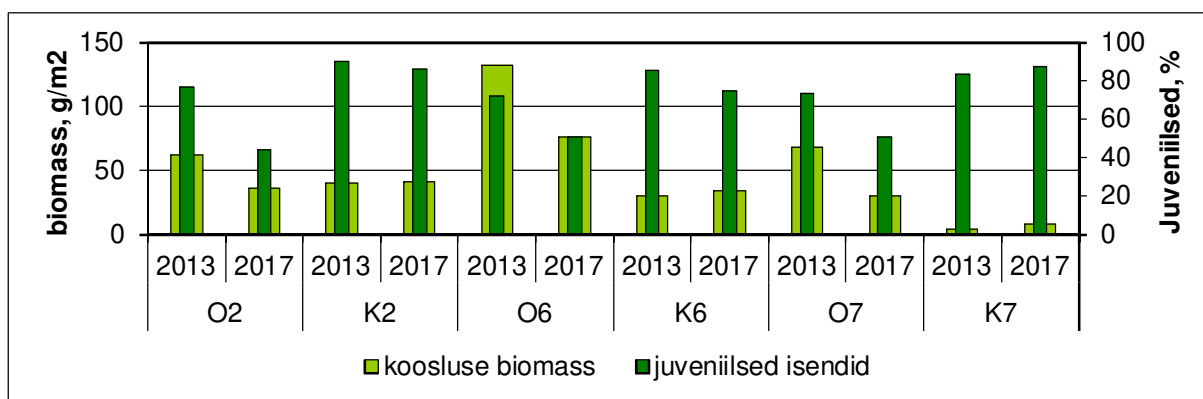
Reeglina on otsekülviga aladel suurem vihmausside arvukus, kuid sellel aastal on O2 ja O7 aladel vihmausside arvukus madal. O2 alal võis mõjuda pärssivalt rapsi kasvatamisel kasutatav suur hulk pestitsiide, kuna leiti üheksa preparaadi jääke mullas. Samuti on otsekülvala soodsam epigeilistele liikidele, kes elavad mulla pinnal ja nende protsentuaalne osakaal otsekülvaladel on tunduvalt kõrgem küntud aladest. Vihmausside populatsiooni seisundi hindamisel on olulised ka ühe isendi keskmine mass ja liikide arv. Need näitajad on otsekülvi põldudel oluliselt suuremad kui küntud põldudel.

O6 põllul on kõrge happelisemat mulda taluva *L. rubelluse* keskmine arvukus (Jänsch *et al.*, 2013). Võrreldes 2013 aastaga on vihmausside arvukus vähenenud 26% ning liikide arv 2 võrra. Lisaks on vähenenud ka vihmaussi koosluse biomass ja juveniilsete vihmausside osatähtsus (Joonis 10). 2013. aastal oli arvukusele soodsaks tingimuseks põldoa kasvatamine, sest vihmausside arvukust mõjutab ka põllul kasvatatav kultuur: suviteravilja ja kartuli monokultuurina kasvatamine vähendab vihmausside arvukust, samas liblikõieliste kasvatamine loob neile paremad elutingimused (Ivask *et al.*, 2006). Eesti põllumuldade haruldane liik *L. castaneus* leidis 2017. aastal pea kõikides alades, eriti O2 alal viidates põllu parematele põllumajanduslikele või ökoloogilistele tingimustele (Ivask *et al.*, 2007).

Tabel 4. Vihmaussiliikide arvukus (is./m², kolme proovi keskmisena), eluvormi osakaal kooslustest (%), kolme proovi keskmisena) ning liikide arv 2017. aastal

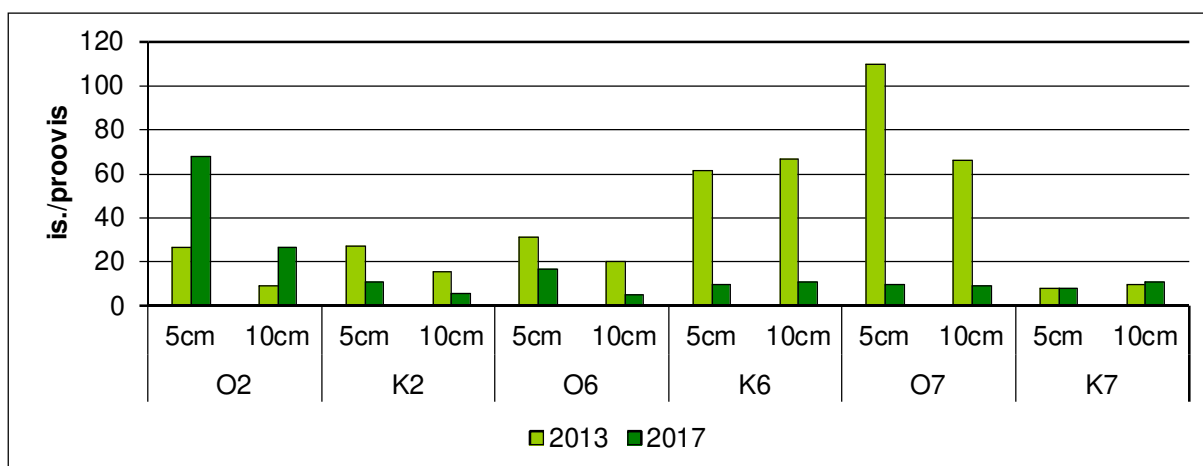
Eluvorm/liik	O2	K2	O6	K6	O7	K7
Epigeiline						
% kooslusest	75	3,7	19,4	4,8	20	3,2
<i>Lumbricus rubellus</i>	17,3	5,32	28	2,68	10,68	2,68
<i>Lumbricus castaneus</i>	30,7	1,32	4	2,68	1,32	0
Endogeiline						
% kooslusest	12,5	96,2	75	95,9	80	96,8
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	8	170,68	124	102,68	48	81,32
<i>Aporrectodea rosea</i>	0	0	1,32	0	0	0
Aneetsiline						
% kooslusest	12,5	0	5,6	2,4	0	0
<i>Aporrectodea longa</i>	4	0	5,32	0	0	0
<i>Lumbricus terrestris</i>	4	0	4	2,68	1,32	0
Liikide arvukus	64	177	165	112	60	84
Liikide arv	5	3	5	5	3	2

2017. aastal oli otsekülvaladel keskmine vihmausside arvukus (96 is/m²) madalam võrreldes tavaharimisega (124 is/m²). Keskmine vihmaussi koosluse biomass oli 30,6% kõrgem otsekülvaladel. Tavaharimisega põldudel esineb rohkem juveniilseid vihmausse võrreldes täiskasvanud vihmaussidega (Joonis 10).



Joonis 10. Vihmaussikoosluste isendite biomass ja juveniilsete isendite osatähtsus kogu vihmaussikoosluse isendite arvust 2017. aastal

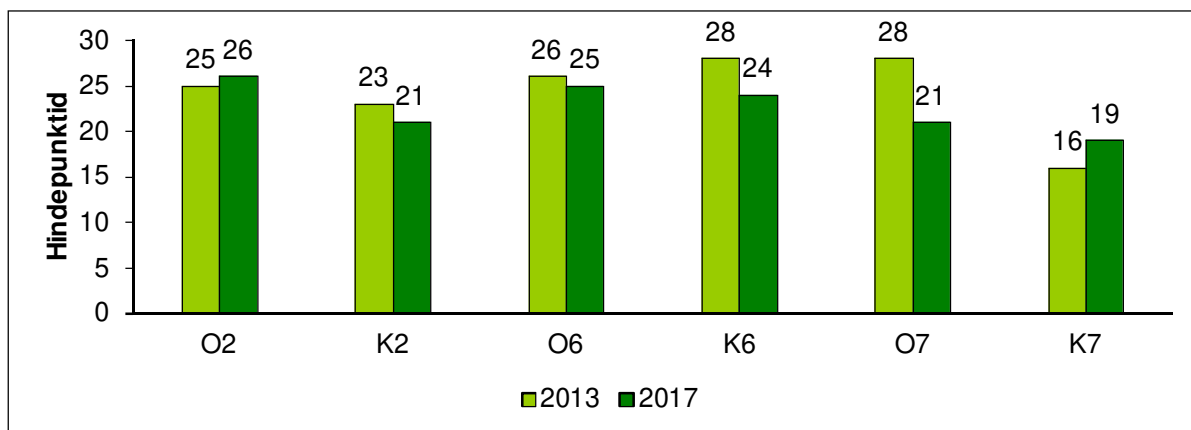
Kokku leiti uurimisalade põldude muldadest 19 erinevat liiki hooghännalisi. Hooghännaliste keskmine arvukus oli enamusel uurimisaladel suurem ülemises mullakihis (5 cm), ja põldudel K6 ja K7 (Joonis 11). Keskmisest madalamaks loetakse hooghännaliste arvukust 0-5 cm kihis alla 30 isendi, seega oli 2017. aastal kõikidel põldudel arvukus madal, ja O2. Happelise mullaga põllul O6 sügavusel 5-10 cm on hooghännaliste arvukus kõige madalam. Kündmata mullas on suurim aktiivsus mulla ülemises 5 cm sügavuses kihis, välja arvatud O7 ala, kus proovid võeti nii hilja, et hooghännalised võisid olla sügavamale läinud külma eest. Kuna mulla ülemises kihis on rohkelt orgaanilist materjali mesofaunale toiduks, siis kündmata mullas on mesofauna liigiline mitmekesisus suurem (House *et al.*, 1984). Nii oli rohkem liike otsekülvipõldudel Viljandimaal ja Jõgevamaal, Tartumaa aladel oli arv võrdne.



Joonis 11. Hooghännaliste keskmine arvukus proovikoha kohta (10 proovi keskmine) 2013. ja 2017. aastal erinevates sügavustes

Mullaelustikule koondhinnangu andmiseks on eelnevalt välja töötatud vastav meetoodika (PMK, 2011s), kus erinevaid elustiku parameetreid hinnatakse hindepunktidega, mis summeeritakse. Vastava gradatsiooni järgi loetakse mullaelustik halvas seisundis olevaks, kui hindepunkte on <18, keskmises seisundis olevaks, kui hindepunkte on 18-26 ja >26 hindepunkti loetakse heaks seisundiks. Sellise hinnangu alusel olid mullaelustiku kooslused 2017. aastal keskmises seisundis ning võrreldes 2013. aastaga on toimunud seisundi halvenemine enamikel aladel, ja O2 ja K7 (Joonis 12). Elurikkus on vähenenud peamiselt hooghännaliste arvukuse vähenemise tõttu ja samamoodi ka elurikkuse paranemine O2 ja K7 aladel on seotud positiivsete muutustega

hooghännaliste koosluses. Vihmaussikoosluses ei ole hindamiskaala järgi suuri muutuseid ühelgi alal võrreldes 2013. ja 2017. aastat toimunud.



Joonis 12. Üldhinnang uurimisalade mulla elustiku seisundile hindepunktides aastatel 2013 ja 2017

Uuringu tulemused ja järeldused 2010-2017 aastate kohta

Põllumajandusuuringute Keskuse (PMK) otsekülvi uuring algas Eesti maaelu arengukava 2. telje meetmete seire ja hindamise raames 2010. aastal eesmärgiga võrrelda mulla omaduste erinevusi otsekülvi ja tavaharimisega tehnoloogiate vahel valdavalt huumuskihi erinevates mulla sügavuskihtides. Kogu uuringu perioodi jooksul on kõige suuremaks probleemiks kujunenud alade välja valimine. On olnud keeruline leida samades mullastiku tingimustest lähestikku asuvaid võrdluspõlde, kus majandatakse külvikorra ja väetamise osas sarnaselt. Otsekülvi kasutamise puhul ilmnevad muutused mullastikus vähemalt 10 aasta möödudes. Uuringu põllud asuvad valdavalt tootmispõldudel, mistõttu on perioodi jooksul tulnud ette tootja loobumist otsekülvi kasutamisest ning nõ tavaharimisega variandis on pigem lähenetud minimeeritud harimisele kui künni kasutamisele. Seega tegelikult me konkreetse uuringu raames ei saagi teha järeldusi künn vs otsekülv vaid pigem tuleks tulemusi tõlgendada otsekülv vs minimeeritud harimine.

Kui esimesel aastal mõõdeti mulla parameetreid 10 cm vahedega mullaprofiilis, siis alates 2011. aastast rakendati uute vahemikena 0-5 cm, 5-15 cm ja 15-25 cm. Selle põhjuseks oli arusaam, et suurim muutus otsekülvi puhul saab toimuda just mulla pindmises kihis kuna see on enim mõjutatud taimejäänuste lagunemisest ning otsekülvi käigus toimub just selles kihis teatud määral mullaharimine jms. Kokkuvõtvalt on uuringus kokku olnud 16 erinevat põldu, kuid andmete võrreldavuse tõttu saab koondkokkuvõtte esitada 8 põllu tulemuste põhjal: 4 võrdluspõldude paari (Tabel 5).



Tabel 5. Otsekülvi ja tavaharimise põldude paiknemine ja mullastik (mullastiku kaardi alusel)

Piirkond	Nimetus	Variant	Muld ¹	Lõimis ²
Viljandi	O1	Otsekülv	Ko	ls1
Viljandi	K1	Tavaharimine	KI	ls1
Valga	O3	Otsekülv	LP	sl/ls1
Valga	K3	Tavaharimine	LP	sl/ls1
Tartu	O6	Otsekülv	LP	sl/ls1
Tartu	K6	Tavaharimine	LP	sl/ls1
Jõgeva	O7	Otsekülv	KI	ls1
Jõgeva	K7	Tavaharimine	KI	ls1

¹ Ko – leostunud muld, KI – leetjas muld, LP – näivleetunud muld

² sl – saviliiv, ls1 – kerge liivsavi

Uuringu põllud olid peamiselt teravilja külvikorras, esines ka kaunvilju (O6, O7, K7) ja ristikut (O3, K6) (Tabel 6). Väetamine mineraalväetistega erines küllalt oluliselt, kusjuures veidi kõrgem oli väetustase otsekülvi põldudel. Jõgeva uurimisala põldudel olid mõlema tehnoloogia külvikorras samad kultuurid sarnase väetamisega. Põllud O6 ja K3 on saanud lisaks mineraalväetistele ka orgaanilist vedelsõnnikut (30 t/ha) vastavalt 1. aastal ja 2. aastal. Tavaharimisega põldudel on kündi teostatud suhteliselt harva, näiteks K1 põllul vaid kord perioodi jooksul. Seega oli neil aladel pigem tegemist minimeeritud harimisega, kus mulda hariti randaalimise või kultiveerimisega, kuid K7 alal künti mulda igal aastal ja selle ala puhul on tegemist täieliku künnipõhise harimisega.

Tabel 6. Põldude külvikord ja kasutatud väetiste keskmine toiteelementide sisaldus aastas kahe proovivõtuperioodi vahel

Põld	Toiteelement N-P-K, kg/ha/a	Põllukultuur				
		1. aasta	2. aasta	3. aasta	4. aasta	5. aasta
O1	144-17-45	suvioder	suviraps	suvinisu	suvinisu	talinisu
K1	88-14-35	oder*	suviraps	talinisu	suvioder	suvinisu
O3	119-7-30	talinisu	kaer	talinisu	ristik	talinisu
K3	178-15-58	talinisu	kaer*	suviraps*	suvioder	tritikale
O6	116-16-19	suvinisu	suvinisu	põlduba	talinisu	talinisu
K6	77-8-28	kaer	ristik*	talinisu*	suvioder*	suvioder
O7	46-8-28	kaer	talinisu	suvioder	põldhernes	kaer
K7	46-8-28	kaer*	talinisu*	suvioder*	põldhernes*	kaer*

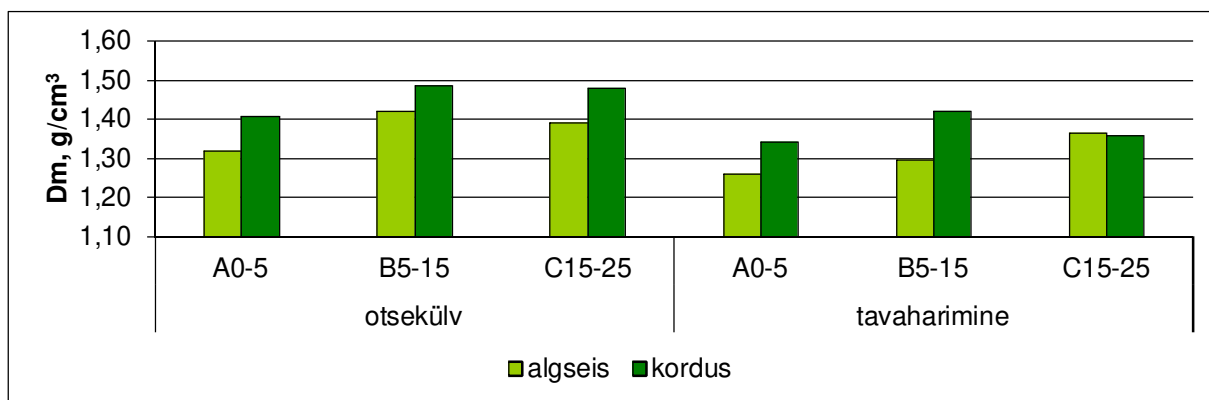
* kündmise aasta

Agrotehnoloogia mõju Corg sisaldusele, lasuvustihedusele, süsinikuvarule ja taime põhilistele toiteelementidele analüüsiti segamudeliga. Segamudeli kasutamise peamiseks põhjuseks on andmestiku hierarhiline struktuur: ühe põllu sees on kolm kordust. Veelgi enam, võime eeldada, et ühel põllult kogutud proovid on märksa sarnasemad võrreldes teiselt põllult 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: uurimisala, põld ja põllult kogutud proov kuid lisaks ka aastat. Segamudel on siiski üldiselt sarnane regressioon- või dispersioonanalüüsile kui juhuslikud faktorid kõrvale jätta. Fikseeritud faktoritena kasutati variantide sügavuskihte ja mullaliiki. Kaaliumi sisalduse analüüsimisel kasutati kahefaktorilist dispersioonanalüüsi, sest näitaja ei allunud segamudeli meetodikale. Statistiliselt oluliste erinevuste välja selgitamiseks kasutati *post-hoc* testina Tukey testi ($\alpha=0,05$).

Statistiline analüüs tehti vabavaralises tarkvaras R (R Core Team, 2017), segamudeli jaoks kasutati paketti *lme4* (Bates *et al.*, 2015).

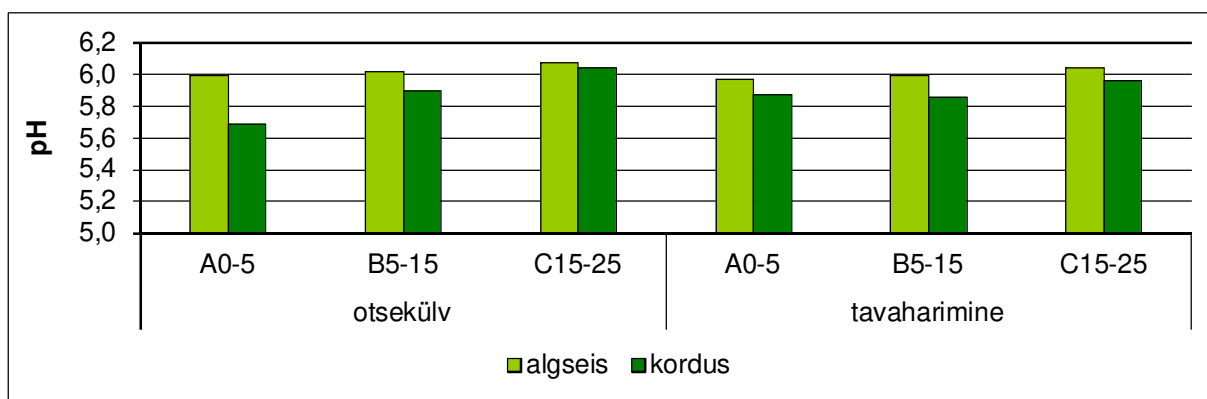
Mulla süsinikuseisund. Otsekülvi põldudel toimub Corg sisalduse vertikaalne kihistumine, kus ülemises 5 cm on statistiliselt oluliselt kõrgem Corg sisaldus võrreldes alumiste kihtidega. Uuringu tulemusel ei leitud statistiliselt usaldusväärset erinevust Corg sisalduses harimistehnoloogiate vahel. Mulla lasuvustihedus erineb samuti otsekülvi põldudel ülemise kihi ja järgmiste kihtide vahel, kusjuures tehnoloogiate omavahelisel võrdlusel on kõikide kihtide lasuvustihedus suurem otsekülvi põldudel ja eriti suur on vahe madalamates kihtides. Tavaharimisega põldude 0-25 cm mullakihi Corg varu on 7,3% suurem kui otsekülvi põldudel. Pealmises kihis on suurem Corg varu otsekülvi põldudel ja alumistest kihtides tavaharimisega põldudel. Kui üldiselt arvatakse, et otsekülvi tehnoloogia suurendab mulla Corg sisaldust ja varu võrreldes künnipõhise harimisega, siis meie uuringust selgub, et olulist erinevust 0-25 cm profiilis kahe tehnoloogia vahel ei ole, küll aga toimub usutavalt erinev Corg kihistumine otsekülvi mullaprofiilis. Täpsemad selgitused mulla süsinikuseisundi osas on leitavad Agronoomia 2018 artiklite kogumikust (Putku *et al.*, 2018).

Vaadates muutuseid mis on toimunud kahe proovivõtmisaja vahel, siis lasuvustihedus on suurenenud mõlema tehnoloogiaga ja kõikides kihtides, va tavaharimisega 15-25 cm (Joonis 13). Otsekülvalade mullastik on algaastal rohkem tallatud kui tavaharimisega põldudel, ent kordusmõõtmisel ületavad peaaegu kõik kriitilise lasuvustiheduse piiri mullas. Tavaharimisega põllud käituvad sarnaselt otsekülvi omadega, sest seal on teostatud vähe kündmist, mis peaks õhustama mulla profiili paremini. Mõlema tehnoloogia puhul võiks külvikorra mitmekesistamine aidata kaasa lasuvustiheduse vähenemisele mullas. Corg sisalduse osas ei toimunud suuri muutusi tavaharimisega põldudel kordusmõõtmisel, otsekülvaladel oli näha väikest langustendentsi sügavuse suunas (andmeid ei ole näidatud).



Joonis 13. Mulla lasuvustihedus harimistehnoloogiate võrdluses erinevates sügavuskihtides

Mulla happesus ja taimetoiteelementide sisaldus. Võrdluspõldude keskmine happesus on keskmiselt kuni nõrgalt happeline (Joonis 14). Sügavuskihtide vahel ei ole erinevusi. Kordusmõõtmised näitavad happesuse suurenemist keskmiselt 0,1 ühiku võrra. Otsekülvalade suurema pH languse taga on kindlasti O6 põld, millest oli pikemalt juttu juba eelnevates peatükkides.



Joonis 14. Mulla pH harimistehnoloogiate võrdluses erinevates sügavuskihtides

P sisaldus on sarnaselt Corg sisaldusele statistiliselt usutavalt suurem otsekülvi põldude 0-5 cm kihis võrreldes alumiste kihtidega (Tabel 7). Rohkem usutavaid erinevusi fosfori osas ei leitud, sh tehnoloogiate vahel. Üldiselt on uuritud põldude fosforitarve väike. K sisalduse osas on vertikaalne kihistumine otsekülviaaladel olnud oluliselt rõhutatam võrreldes P sisaldusega ning kõikide kihtide vahel on statistiliselt usutavalt erinevused. Ka tavaharimisel on K sisaldus oluliselt kõrgem 0-5 cm kihis võrreldes alumistega. Tehnoloogiate omavahelises võrdluses on otsekülvi 15-25 cm kihis statistiliselt oluliselt väiksem K sisaldus võrreldes tavaharimise sama kihiga. Kaaliumitarve on uuringu põldudel keskmine kuni väike. Kõrgemad P ja K sisaldused ülemises 5 cm tõeseduses mullakihis on ootuspärased, sest taimejäänused ja nende lagunemisel vabanevad toitained jäävad pindmisse mullakihti. Tavaharimisega jaguneb mullaorgaanika ühtlasemalt kogu haritavas mullakihis. Toiteelementide akumulatsioon pindmises mullakihis võib mõjuda taimede toitumistingimusi erinevalt, kuid kirjanduses on leitud, et üldiselt ei mõjuta see oluliselt taimede varustamist toitaineid (Lupwayi *et al.*, 2006). Keskkonna aspekti arvestades tuleb jälgida K akumulatsioon ülemisse kihti kuna liigse K sisalduse puhul on oht K leostumisele vihma- ja lumesulamisveega. Kaalium on seotud orgaanilise ainega mullas, mida iseloomustab K sisalduse suurem kihistumine otsekülviaaladel, sest otsekülvil tuleb mulla pindmisesse kihti pidevalt juurde kaaliumirikkaid taimeosasisid: tüü, põhk, juured.

Tabel 7. Taime toiteelementide sisaldused (mg/kg) otsekülvi ja tavaharimise põldudel (aritmeetiline keskmine ± standardhälve)

Variant	Sügavus, cm	P	K	Ca	Mg	Mn
Otsekülv	0-5	142±36 ^{b*}	265±66 ^c	1320±526	176±104	145±59
	5-15	116±44 ^a	165±65 ^b	1356±452	158±95	144±56
	15-25	105±40 ^a	126±41 ^a	1370±452	152±98	141±57
Tavaharimine	0-5	112±40 ^{ab}	211±69 ^c	1373±531	181±155	105±18
	5-15	108±45 ^{ab}	135±22 ^{ab}	1413±506	184±153	104±19
	15-25	110±51 ^{ab}	146±38 ^b	1442±495	189±159	104±19

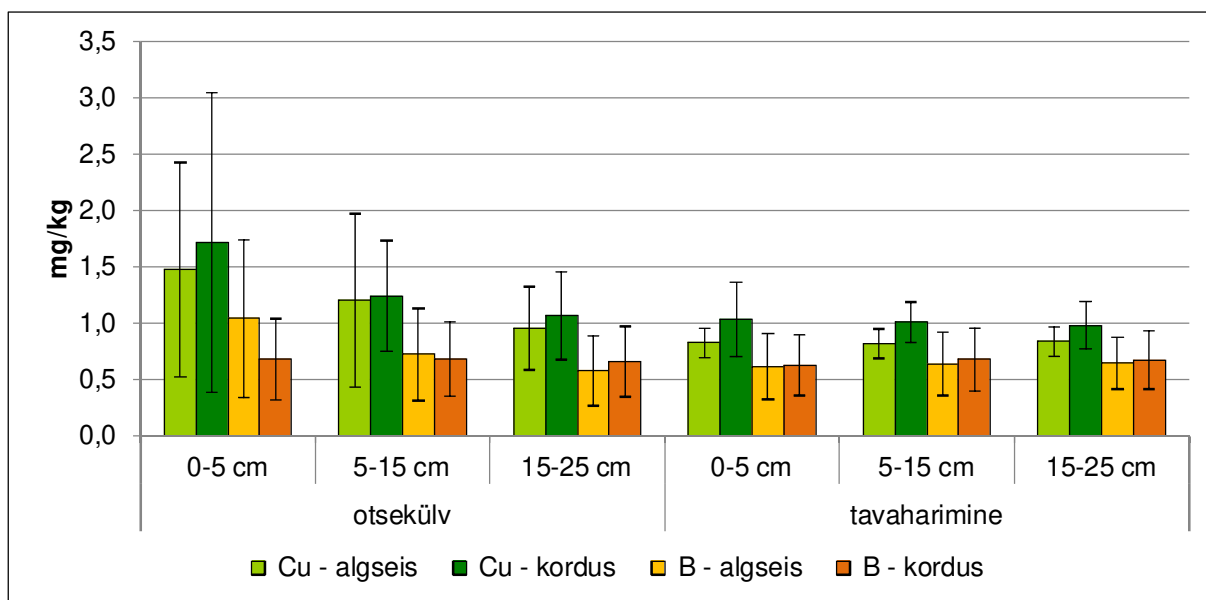
* väikesed tähed ülaindeksina veergudes näitavad usutavat erinevust ($p < 0,05$) erinevate variantide ja sügavuskihtide vahel

Ca sisaldus on tehnoloogiate võrdluses sarnane, tendentsina võib märgata veidi kõrgemat Ca sisaldust alumistes kihtides võrreldes ülemistega. Võrreldes tehnoloogiate ja kihtidega mõjutas Ca sisaldust oluliselt rohkem uuringupõldudel mulla tüüp: leostunud ja leetjatel muldadel on statistiliselt usutavalt kõrgem Ca sisaldus võrreldes näivleetunud mullaga. See on seotud muldade genesiga, sest leostunud ja leetjad mullad on kujunenud karbonaatsel lähtekivimil. Kordusmõõtmisel on keskmiselt toimunud tavaharimisel positiivne muutus 0,9-2,8% ulatuses

sõltuvalt kihist ning otsekülviaalal negatiivne muutus 7% 0-5 cm kihis ja 2,2% järgnevas kihis, viimases kihis on Ca sisaldus tõusnud 1,9%.

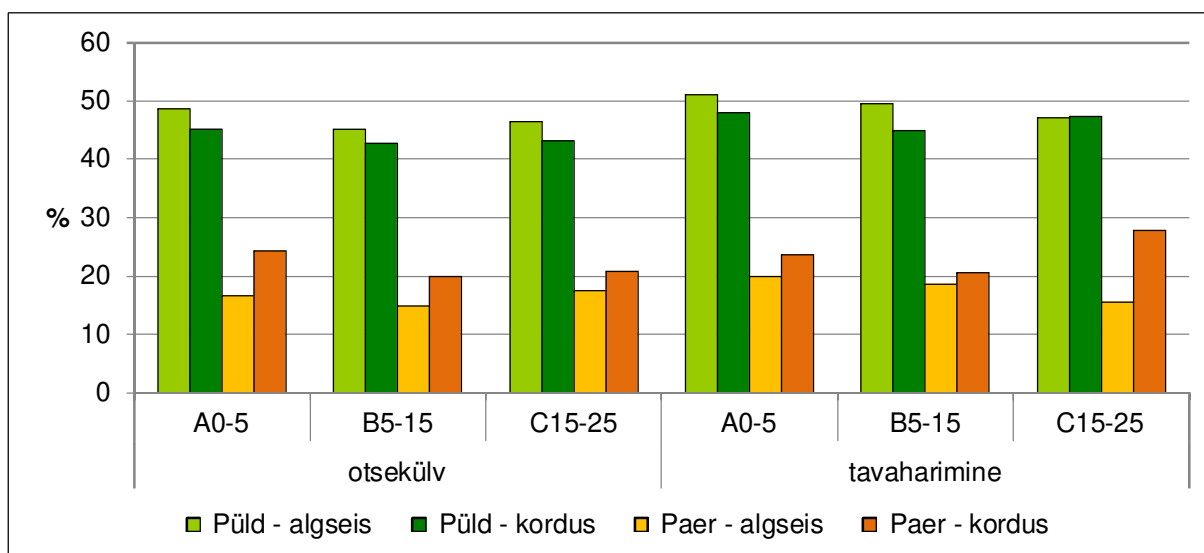
Mg sisaldus – K1 alal oluliselt kõrgem K sisaldus kui teistel, seetõttu ei mõjuta sisaldust harimistehnoloogia ega sügavuskihid. Samuti on statistilise analüüsi tegemisel probleemiks Mg sisalduse liiga suur varieerumine aladel ja sügavuskihtides. Üldiselt on uuringu põldudes magneesiumitarve keskmine või väike. Kordusmõõtmistel on muutused alade lõikes erinevad, kuid üldiselt tavaharimisel on Mg sisaldus suurenenud keskmiselt 6,3% ja otsekülvil alumistes kihtides vähenenud 1-2% ja ülemises suurenenud 2,4%.

Mikro- ja poolmikroelementidest analüüsiti mangaani, vase ja boori sisaldust. Mangaani sisaldus on otsekülvi aladel keskmiselt 1,4 korda suurem võrreldes tavaharimisega, kuid tulenevalt Mn sisalduse suurest varieeruvusest otsekülviaaladel ei tule välja statistiliselt usaldusväärseid erinevusi (Tabel 7). Selle suure muutlikkuse taga on põld O1, kus keskmine Mn sisaldus on ca 2 korda kõrgem võrreldes teiste aladega. Üldise suundumusena suureneb Mn sisaldus alg- ja kordusmõõtmise vahel tavaharimisega aladel kõikides kihtides. Otsekülviaaladel toimub ülemises kihis 10 mg/kg vähenemine ja alumistes kihtides Mn sisalduse suurenemine 16 mg/kg kohta. Uuringu põllud kuuluvad keskmisesse või väikesesse väetustarbeklassi. Ka vase ja boori puhul on näha andmete suur varieerumine otsekülvi aladel ning eriti just ülemises 0-5 cm mullakihis (Joonis 15). Vase sisaldus on väga madal mõlema tehnoloogia ja sügavuskihtide puhul, va otsekülvi 0-5 cm. Kordusmõõtmised näitavad vase sisalduse väikest tõusu aladel ent siiski on väetustarbe klass suur. Ka boori sisaldus näitab et, kõik uuringu põllud on praktiliselt defitsiidis (<1,3 mg/kg), ainult põllul O6 on keskmine B sisaldus väga kõrge 3,3 mg/kg.



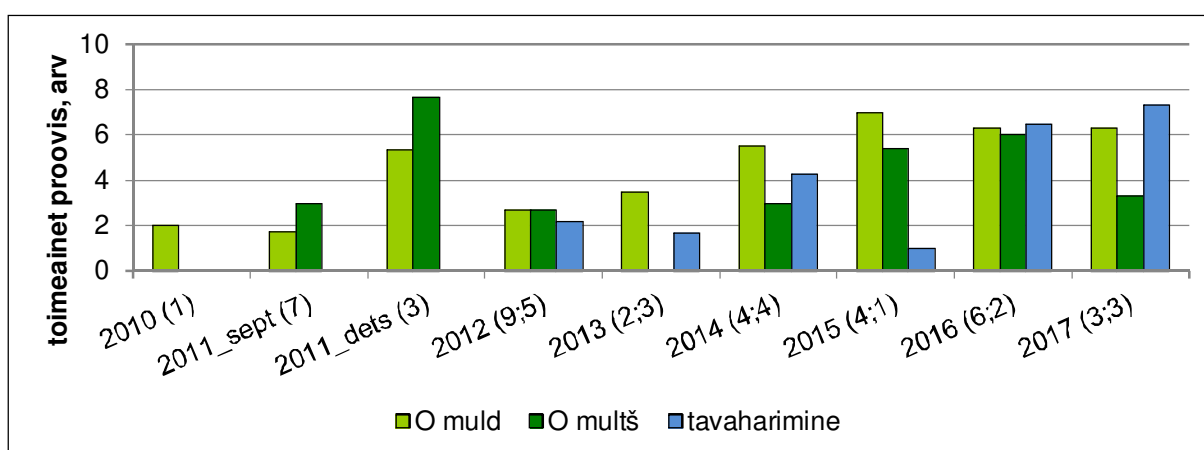
Joonis 15. Vase ja boori sisaldused otsekülvi ja tavaharimise põldudel. Aritmeetiline keskmine tulpadena ja standardhälve joontena

Mulla üld- ja aeratsioonpoorsuse seisund on hea sõltumata tehnoloogiast või sügavuskihist (Joonis 16). Samuti puudub erinevus näitajate osas tehnoloogiate ja sügavuste vahel. Kordusmõõtmisel on üldpoorsus vähenenud, sest lasuvustihedus on üldiselt suurenenud. Aeratsioonpoorsus on seevastu suurenenud kõikides variantides, enim tavaharimise 15-25 cm kihis 1,8 korda ja otsekülvi 0-5 cm kihis 1,5 korda.



Joonis 16. Üld- ja aeratsioonipoorsus otsekülvi ja tavaharimise põldudel

Taimkaitsevahendite jääkide analüüs. Esimesel aastal võeti TKV jääkide proovid ainult otsekülvialade mullast. Teisel aastal samuti ainult otsekülvialadelt (sh multš) ning nii septembris kui detsembris, et jälgida, kuidas toimub TKV toimeainete jääkide liikumine või lagunemine (PMK, 2012a). Alates 2012. aastast koguti proove nii tavaharimis- kui otsekülvialadelt. Uuringu raames koguti seitsme aasta jooksul 44 proovi otsekülvialadelt ning 18 proovi tavaharimisaladelt, sh kordusproovid mõnede alade puhul. Kokkuvõtte eesmärgil on esitatud leitud TKV toimeainete jääkide arv keskmisena proovi kohta (Joonis 17). Otsekülvi aladel on TKV toimeainete jääke leitud rohkem kui tavaharimisega aladelt ning see on eelkõige tingitud jääkide suurest arvust multšis, mis toimib absorbendina ning nende lagunemine on aeglasem kui mullas. Otsekülvialadel on alates 2012. aastast suurenenud TKV toimeainete jääkide keskmine arv proovis. Tavaharimisega põldudel oli vastav näitaja 2016. ja 2017. a. proovides kõrgem võrreldes otsekülviga. Aastate keskmisena on otsekülvi muldades TKV toimeainete jääkide keskmine arv proovis 4,5, multšis 4,4 ja tavaharimisaladel 3,8. Läbi aastate esines kokku neli otsekülviala, kus ei leitud TKV toimeainete jääke ega jälgi.

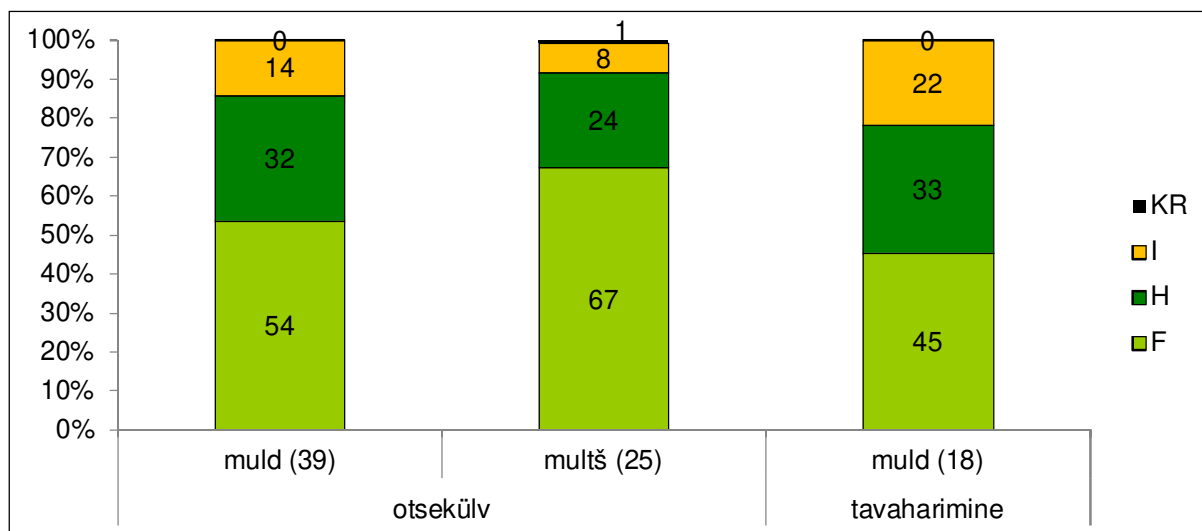


Joonis 17. Taimkaitsevahendite toimeainete jääkide keskmine arv proovis otsekülvi (O) mullas ja multšis ning tavaharimise mullas. Sulgudes on toodud proovide arv, millest leiti taimkaitsevahendite toimeainete jääke (otsekülv; tavaharimine)

TKV toimeainete jälgi ehk sisaldust alla määramispiiri leiti keskmiselt 63% otsekülvi ja 67% tavaharimisega alade proovidest. Multšis oli TKV jälgi oluliselt vähem: 26% ning 22% nendest

jälgedest moodustavad Eestis keelatud TKV toimeained. Otsekülvi mullaproovides oli TKV toimeainete jääkide ja jälgede puhul 23%-l tegemist keelatud toimeainetega ning tavaharimisel 33%-l proovidest. Mõlema tehnoloogia puhul on kõige rohkem jälgedena leitud herbitsiidi trifluraliini jälgi (kokku 33 korda). Otsekülvi põldudel on alates 2010. aastast leitud viie erineva keelatud toimeaine jääke ja jälgi: 64% trifluraliin (25 proovis), 23% DDT ja metaboliidid (9), 7,7% metiokarb ja metaboliidid (3), 2,6% HCB (1) ja 2,6% haloksüfop (1). Multšist on lisaks veel leitud keelatud fungitsiidide bifenüül, karbendasiim ja difenüülamiini jääke. Tavaharimisega põldude proovidest on keelatud toimeainetest leitud võrdselt trifluraliini ja DDT koos metaboliitidega (mõlemat ca 12 proovis).

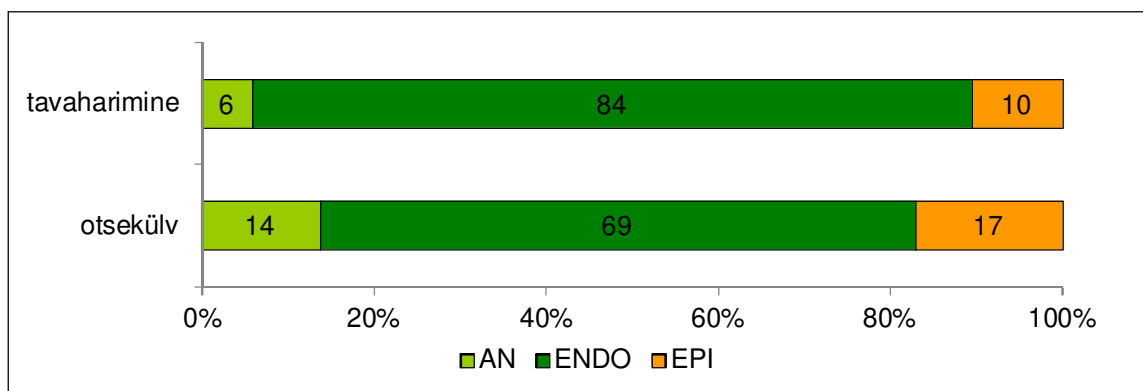
Proovide keskmine toimeainete jääkide sisalduse summa on tehnoloogiate võrdluses aastate keskmisena tavaharimisel 14,8% (0,008 mg/kg) väiksem võrreldes otsekülviga (0,054 mg/kg). Küll aga on 32,7 korda kõrgem TKV toimeainete jääkide summaarne sisaldus otsekülvi alade multšiproovides võrreldes mullaproovidega, vastavalt 1,761 mg/kg (seejuures on välja jäetud 2016. a kolm kõrget TKV toimeaine jääki, sest proovid olid kogutud 8 ja 11 päeva peale herbitsiidi kasutamist). TKV toimeainete klassidest leiti otsekülvi aladel kõige rohkem fungitsiidide jääke ja seda nii mullas (54%) kui multšis (67%) (Joonis 18), spetsiifiliselt leiti enim triasoolide klassi kuuluvaid epoksikonasooli ja tebukonasooli jääke (mõlemaid 19 korral). Herbitsiidide jäägid moodustasid 1/3 otsekülvi ja tavaharimise mullaproovidest ning toimeainetest leiti enamasti trifluraliini ja glüfosaati. 22% tavaharimise TKV toimeainete jääkidest moodustasid insektitsiidid, mis on rohkem kui otsekülvi puhul.



Joonis 18. Erinevate leitud TKV jääkide klasside jaotus uuringu aladel 2010-2017. Sulgudes toodud proovide arv. F- fungitsiid, H – herbitsiid, I – insektitsiid, KR - kasvuregulaator

Mullaelustik. Mullaelustikku on läbi vihmausside (makrofauna), hooghännaliste (mesofauna) ja mulla mikroobikoosluse (mikrofloora) hinnatud alates 2010. aastast. Mulla elustik on väga selgelt mõjutatud aasta ilmastikust ning mulla omadustest (eriti Corg sisaldus, pH, lõimis). Kokku on uuritud 8 otsekülvi ala ja 7 tavaharimisega ala. Vihmausside arvukus haritavates muldades jääb tavaliselt vahemikku 50-200 is/m² ning liikide arv koosluses on vahemikus 1-4 (soodsatel mulla- ja majandamistingimustel rohkem). Otsekülvi aladel oli vihmausside arvukus tavapäraustes piirides (58,7-292,1 is/m², sd=67), ent tavaharimisel oli varieeruvus suurem: 18,7-412 is/m² (sd=107). Vihmaussi liikide arv oli kõrgem otsekülvaladel, keskmiselt esines 4,9 liiki koosluses, tavaharimisel 3,9 liiki. Vihmaussi isendite mass oli 2,1 korda kõrgem otsekülvaladel. See on

ilmselt tingitud sellest, et otsekülvi aladel on tingimused soodsamad aneetsilise eluviisiga vihmaussidele, kes elavad mullaprofiilis sügavamal urgudes ning käivad mullapinnal toitumas. Aneetsilise eluvormiga vihmaussid on raskemad võrreldes teiste vihmaussidega. Eluvormi järgi ongi otsekülvaladel 2,3 korda rohkem aneetsilisi vihmausse ning 1,6 korda rohkem epigeilisi vihmausse (Joonis 19) ehk need ökoloogilised grupid, mis on tundlikumad põllumajandustegevuse suhtes, on paremas seisus otsekülvi põldudel. Endogeilise eluvormiga (kõige tolerantsem eluvorm põllumajandustegevuse suhtes) meie põllumuldade tavalisim vihmaussiliik (sageli ka dominantliik) harilik mullauss *Aporrectodea caliginosa* esines praktiliselt võrdselt, otsekülvi aladel keskmiselt 107 is/m² ning tavaharimisel 104 is/m². Kui dominantliigi osa koosluses on suhteliselt madal (<70%), siis on ka teistele vihmaussidele soodsamad elutingimused. Otsekülvi aladel oli keskmiselt dominantliigi osatähtsus 66% ja tavaharimisel 74% viidates veidi soodsamatele elutingimistele taaskord otsekülvi aladel. Kui üldiselt oli dominantliigiks harilik mullauss siis ühel alal oli dominantliigiks hoopis tume vihmauss (*Lumbricus castaneus*). Tume vihmauss, kaheksakant-kõduuss (*Dendrobaena octaedra*), suur mullauss (*Aporrectodea longa*) ja harilik vihmauss on (*Lumbricus terrestris*) on põllumajandustegevuse suhtes väga nõudlikud või nõudlikumad liigid ning nende arvukus oli kõrgem otsekülvi aladel (andmeid pole näidatud).

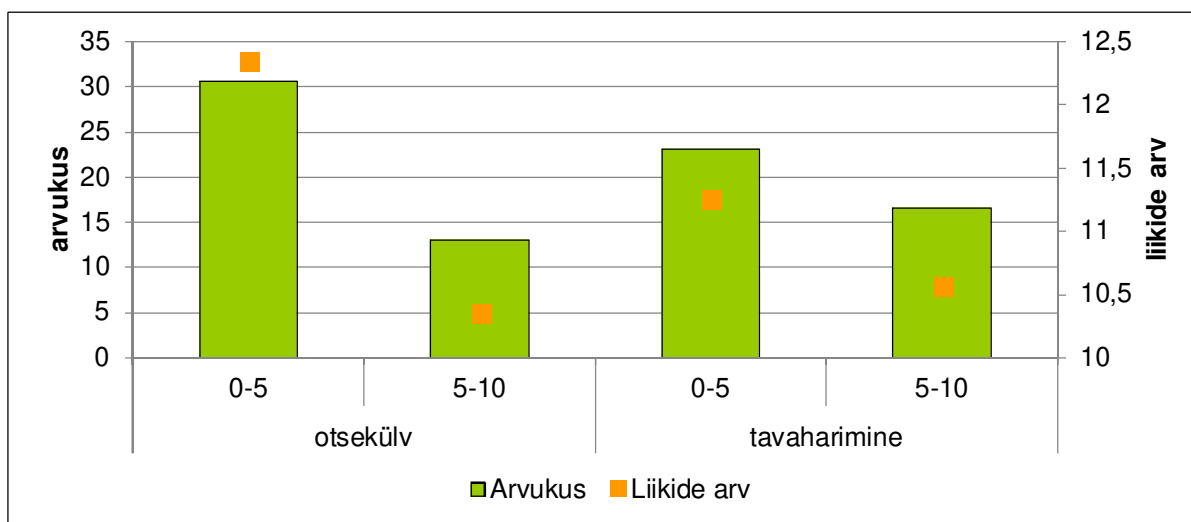


Joonis 19. Vihmausside jagunemine eluvormi järgi tehnoloogiate võrdluses. AN – aneetsiline eluvorm, ENDO – endogeiline eluvorm, EPI – epigeiline eluvorm

Mulla analüüs mikroobse hingamise näitajate osas, mis hõlmab nii mikroobide aktiivset biomassi kui ka üldist aktiivsust näitas, et summaarselt võttes on mikroobide aktiivsus suurem tavaharimise aladel. Mikroobide tegevuse aktiivsust eraldi vaadates selgus, et mulla mikroobide biomass substraadi poolt indutseeritud hingamise (SIR) meetodil on võrdne tehnoloogiate võrdluses, otsekülvi puhul 0,540 (sd=0,23) ja tavaharimisel 0,590 (sd=0,38) mg biomass C/g KA. Mikroobikoosluse üldine aktiivsus hingamisaktiivsuse alusel oli 1,7 korda kõrgem tavaharimisega põldudel. Mõlemad mikroobse hingamise näitajad jäävad optimaalsesse vahemikku, mis on mikroobide aktiivse biomassi puhul 0,4-0,6 mg biomass C/g KA ja mikroobide üldise hingamisaktiivsuse puhul 1,1-4,5 mg O₂/kg KA*h.

Hooghännaliste arvukus on 0-5 cm kihis kõrgem võrreldes 5-10 cm kihiga mõlema tehnoloogia puhul (Joonis 20). Küll aga on otsekülvil arvukus 0-5 cm kihis 33% kõrgem sama kihi tavaharimise alal. Alumises kihis on arvukus 1,3 korda kõrgem tavaharimise variandis. Ka erinevaid liike on rohkem ülemises 5 cm kihis võrreldes alumisega, seejuures on tavaharimisel ka liikide arv alumises kihis kõrgem. Võrreldes hooghännaliste algseisu ja kordusmõõtmisi 4-5 aasta möödudes samadel põldudel (6 põldu mõlema tehnoloogiaga), siis otsekülvil on arvukus vähenenud keskmiselt 2,7 korda mõlemas sügavuskihis ja tavaharimisel 3,9 korda mõlemas sügavuskihis.

Arvukuse vähenemise põhjuseid võib olla mitmeid, nt muldade tihenemine, TKV vahendite kasutamine, ilmastik jne, kuid see vajaks põhjalikumat analüüsi kui antud aruande raames on võimalik teha.



Joonis 20. Hooghännaliste arvukus (isendite arv 10 proovi keskmisena) ja liikide arv kahes sügavuskihis (0-5 cm ja 5-10 cm) tehnoloogiate võrdluses

Mulla elurikkusele saab koondhinnangu anda läbi hindamisskaala. Selle järgi on mõlema tehnoloogia puhul elurikkuse seisund keskmine, olles kahe hindepunkti võrra kõrgem otsekülvil (24 hp). See erinevus on tingitud vihmaussikoosluse paremast seisust otsekülvi aladel ning ühe hindepunkti võrra on paremast seisust tavaharimisel hooghännaliste koosluses. Muutused, mis on toimunud elurikkuse osas alg- ja kordusmõõtmisel peegeldavad samuti negatiivsed trende hooghännaliste osas ning väiksemal määral ka mikroorganismide osas. Vihmaussidega on olukord uuringu põldudel stabiilne.

Kokkuvõte

- Muldade süsinikuseisund näitab minimaalseid erinevusi kahe harimisviisi vahel (statistiliselt olulisi erinevusi ei leitud). Küll aga toimub otsekülvi puhul Corg-i kuhjumine ülemisse 0-5 cm mullakihti ning toimub seega statistiliselt usutav kihistumine. Corg varu väheneb uuritud 25 cm tuseduses mullakihis tervikuna, mis tähendab vähem toitu mulla elustikule ning laiemalt mõjutab muldade viljakust pikas perspektiivis pigem negatiivselt. Kliimamuutuste kontekstis ei mõju sel juhul otsekülvi rakendamine positiivselt kuna süsinik akumulatsioon mulda väiksemas mahus kui künnipõhisel harimisel.
- Taimetoiteelementide P ja K sisaldus mullas näitab, et toimub sarnane kuhjumine ülemisse 5 cm kihti. See on igati loogiline, kuna taimejäänused satuvad vaid mulla pindmisse kihti, kus toimub suhteliselt soodsates tingimustes lagundamine ning toitainete vabanemine mulda. Heades tingimustes ja suurte taimejäänuste koguste korral suureneb ja kiireneb toiteelementide käive just selles mullakihis, kus taimed suudavad ka hästi toitaineid omastada, mis mõjub positiivselt taimede arengule.
- Muldade tallatuse ja tihenemise peamine indikaator, mulla lasuvustihedus on tehnoloogiate omavahelisel võrdlusel kõikide kihtides suurem otsekülvi põldudel. Otsekülvi põldude kahe alumise kihi lasuvustihedus on lähedane või juba saavutanud eelkriitilise lasuvustiheduse ja kuna mulla tihenemine omab küllalt suurt tähtsust taimede saagikusele,

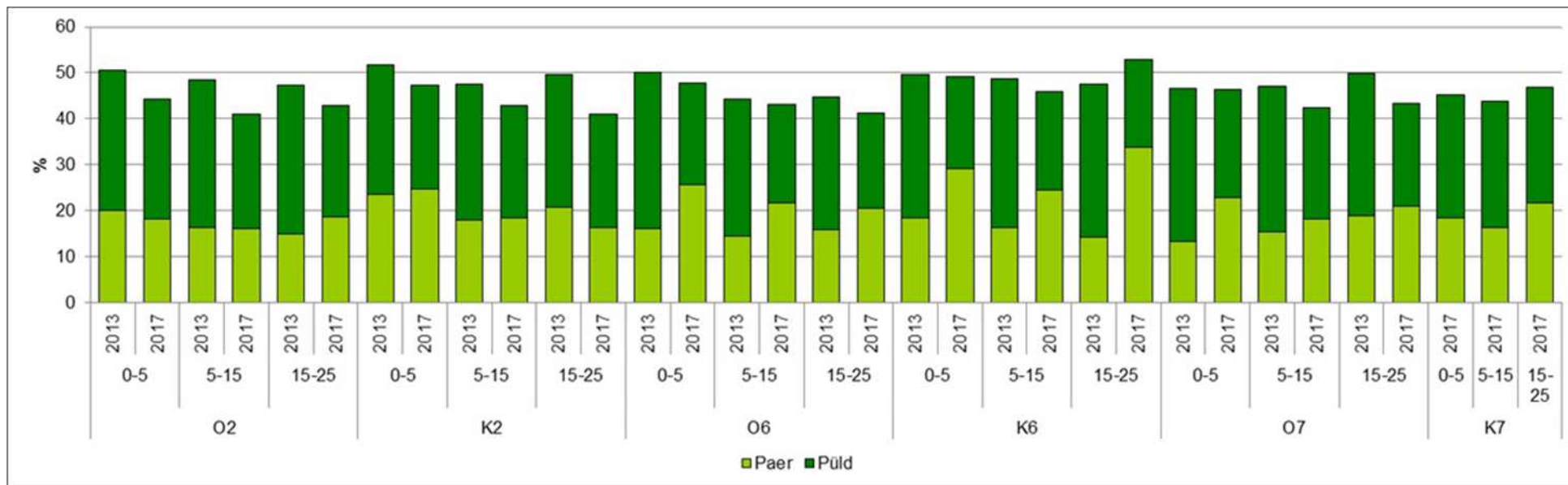


siis tuleb otsekülvi viljelemisel seda kindlasti tähelepanelikult jälgida ja vajadusel lülitada külvikorda (liblikõielised) heintaimed. Hinnates muutuseid, mis on toimunud 4-5 aastaga, siis lasuvustihedus on suurenenud mõlema tehnoloogiaga.

- Aastate keskmisena on otsekülvi muldades ja multšis TKV toimeainete jääkide keskmine arv proovis ca 15% kõrgem võrreldes tavaharimisaladega, kus vastav näitaja on 3,8. TKV toimeainete jääkide summaarne sisaldus on samuti 14,8% (0,008 mg/kg) madalam tavaharimisega aladel ning multšis on keskmiselt 32,7 korda rohkem jääke kui otsekülvi mullas. TKV klassidest oli mõlema tehnoloogia puhul enim fungitsiidide jääke ja jälgi. Mõlema tehnoloogia puhul leiti ka keelatud TKV vahendite jälgi, harva ka jääke.
- Vihmaussikoosluste seisund on parem otsekülvi aladel, millele viitas ühe võrra kõrgem vihmaussiliikide arv, 2,1 korda kõrgem vihmausside isendite kogumass ning 10,8% madalam dominantliigi osatähtsus. Kordusmõõtmised näitavad, et vihmaussikoosluste seisund uuringu põldudel oluliselt ei muutu 4-5 aasta möödudes.
- Muldade mikroobse hingamise näitajate analüüsil selgus, et summaarselt on mikroobide aktiivsus suurem tavaharimisega aladel. See on tingitud mikroobikoosluse hingamisaktiivsuse 1,7 korda kõrgemast näitajast tavaharimisega põldudel. Kordusmõõtmised näitavad, et mikroobse hingamise näitajad uuringu põldudel on 0,5 hindepunkti võrra langenud 4-5 aasta möödudes.
- Hooghännalisi leidub rohkem ülemises 0-5 cm mullakihis ning otsekülvaladel on nende keskmine arvukus 33% suurem kui tavaharimisel, ent alumises 5-10 cm kihis on arvukus suurem tavaharimispõldudel. Kordusmõõtmised näitavad, et hooghännaliste arvukus on mõlema tehnoloogia puhul oluliselt (2-3 korda) vähenenud.
- Üldiselt on mulla elurikkus uuringu põldudel keskmises seisundis ning suuri muutuseid 4-5 aasta möödudes ei toimunud, kusjuures kõige stabiilsem on vihmausside elurikkuse näitaja.



LISA 1. ÜLD- JA AERATSIOONIPOORSUS 2013. JA 2017. AASTAL OTSEKÜLVI UURINGU PÕLDEDEL





EESTI MAAELU ARENGUKAVA 2014-2020 4. JA 5. PRIORITEEDI PÜSIHINDAMINE

LISA 2. MULLA HAPPEUS 2013. JA 2017. AASTAL OTSEKÜLVI UURINGU PÕLDEDEL

Ala nimi	Sügavusk	pH		Ca		Mg	
		2013	2017	2013	2017	2013	2017
O2	0-5	5,1	5,5	879	1373	38	46
	5-15	5,9	6,0	1231	1633	37	45
	15-25	6,2	6,8	1438	2414	31	33
K2	0-5	5,1	5,0	726	625	49	29
	5-15	5,7	5,3	1047	901	55	44
	15-25	5,6	5,4	1004	893	64	48
O6	0-5	5,9	4,3	1177	662	164	89
	5-15	5,8	5,2	1184	930	153	94
	15-25	5,7	5,4	1067	922	123	94
K6	0-5	5,9	5,6	1279	1142	140	110
	5-15	5,6	5,5	1257	1168	135	110
	15-25	5,7	5,6	1289	1194	145	109
O7	0-5	6,3	6,2	1650	1597	163	160
	5-15	6,3	6,2	1669	1639	158	143
	15-25	6,3	6,4	1669	1733	158	149
K7	0-5	6,2	6,2	1629	1593	151	127
	5-15	6,3	6,0	1666	1621	155	123
	15-25	6,3	6,1	1644	1632	153	120

EESTI MAAELU ARENGUKAVA 2014-2020 4. JA 5. PRIORITEEDI PÜSIHINDAMINE
LISA 3. TAIMEKAITSEVAHENDITE TOIMEAINETE SISALDUS MULLAS 2017. AASTAL OTSEKÜLVI UURINGU PÕLDEDEL

Ala nimi	Kultuur 2017	Toimeaine	Sisaldus, mg/kg	Sisaldus alla määramispiiri mg/kg	Liik		
O2	taliraps	Boscalid	0,055		fungitsiid		
		Dimoxystrobin	0,039		fungitsiid		
		HCB*	< 0,005	0,001	fungitsiid, biotsiid, metaboliit		
		Metazachlor	0,013		herbitsiid		
		Tebuconazole	0,061		fungitsiid		
		Glüfosaat	< 0,10		herbitsiid		
		Trifluralin	< 0,10	0,001	herbitsiid		
		Metconazole	< 0,10	0,009	herbitsiid		
		Thiacloprid	< 0,005	0,002	insektitsiid, molluskitsiid		
multš		Boscalid	0,103		fungitsiid		
		Dimoxystrobin	<0,02	0,019	fungitsiid		
		Quinmerac	<0,01	0,0021	herbitsiid		
		Thiacloprid	0,017		insektitsiid, molluskitsiid		
K2	taliraps	Boscalid	0,085		fungitsiid		
		Epoxiconazole	0,005		fungitsiid		
		Dimoxystrobin	0,034		fungitsiid		
		Tebuconazole	0,055		fungitsiid		
		Σ DDT	< 0,01	0,001	insektitsiid		
		4,4-DDE	< 0,02	0,001	insektitsiid		
		Pendimethalin	0,03		herbitsiid		
		Bentazone	< 0,01	0,0004	herbitsiid		
		Thiacloprid	< 0,005	0,003	insektitsiid, molluskitsiid		
		Glüfosaat	< 0,10		herbitsiid		
O6	talinisu	Metrafenone	< 0,01	0,006	fungitsiid		
		Trifluralin	<< 0,01	0,001	herbitsiid		
		Bixafen	0,012		fungitsiid		
		Epoxiconazole	0,037		fungitsiid		
		Fludioxonil	< 0,005	0,0001	fungitsiid		
		Fluopyram	0,016		fungitsiid, nematitsiid		
		Glüfosaat	Ei leitud		herbitsiid		
		multš		Bixafen	0,08		fungitsiid
				Epoxiconazole	0,038		fungitsiid
Fluopyram	0,013				fungitsiid, nematitsiid		
Glüfosaat	Ei leitud						
K6	suvoder	Σ DDT	< 0,01	0,001	insektitsiid		
		4,4-DDE	< 0,01	0,001	insektitsiid		
		Diffufenican	< 0,01	0,003	herbitsiid		
		Trifluralin	< 0,01	0,001	herbitsiid		
		Fluopyram	< 0,005	0,0003	fungitsiid, nematitsiid		
		Spiroxamine	0,007		fungitsiid		
		Tebuconazole	< 0,01	0,009	fungitsiid		
		Glüfosaat	Ei leitud		herbitsiid		
O7	kaer	Boscalid	0,031		fungitsiid		
		Pendimethalin	< 0,01	0,003	herbitsiid		
		Trifluralin	< 0,01	0,001	herbitsiid		
		Epoxiconazole	0,006		fungitsiid		
		Glüfosaat	Ei leitud		herbitsiid		
		multš		Boscalid	0,036		fungitsiid
				Fluroxypyr-meptyl	0,012		herbitsiid
				Prosulfocarb	<0,01	0,0047	herbitsiid
				Glüfosaat	Ei leitud		
K7	kaer	Boscalid	0,014		fungitsiid		
		Pendimethalin	0,014		herbitsiid		
		Trifluralin	<<0,01	0,002	herbitsiid		
		Bentazone	<0,010	0,0004	herbitsiid		
		Glüfosaat	Ei leitud				

* - punasega on tähistatud Eestis keelatud taimekaitsevahendite toimeained



KASUTATUD KIRJANDUS

EMHI. 2017. Riigi Ilmateenistuse kuukokkuvõtted (mai, juuni, juuli, september 2017) . Allikas: Kuukokkuvõtted |Riigi Ilmateenistus

House, G.J., B.R. Stinner, D.A. Crossley, E.P. Odum, ja G.W Longdale. 1984. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agrosystems in the southern Piedmont. *J Soil Water Conservation* 39, 194-200.

Ivask, M, A Kuu, M Truu, ja J Truu. 2006. Mullatüübi ja niiskustingimuste mõju põllumuldade vihmaussikooslustele. *Agraarteadus* 17(1), 3-11.

Ivask, M., Kuu, A., Sizov, E. 2007. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology*, 43, 39-42.

Jänsch, S., Steffens, L., Höfer, H., Horak, F., Roß-Nickoll, M., Russell, D., Burkhardt, U., Toschki, A. and Römcke, J. 2013. State of knowledge of earthworm communities in German soils as a basis for biological soil quality assessment. *Soil Organisms*, 85(3), 215-223.

Lupwayi, N. Z.; Clayton, G. W.; O'Donovan, J. T.; Harker, K. N.; Turkington, T. K.; Soon, Y. K. „Soil nutrient stratification and uptake by wheat after seven years of conventional and zero tillage in the Northern Grain belt of Canada.“ *Canadian Journal of Soil Science*, 2006, 86(5): 767-778.

PMK, 2011s. Muldade bioloogiline mitmekesisus otsekülviga põldudel: Vihmauslaste (Lumbricidae) ja hooghännaliste (Collembola) arvukus ja liigiline koosseis mullas. Allikas: http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/biol_mitm_2011.pdf.

PMK, 2012a. Eesti maaelu arengukava 2007-2013 2. telje püsihindamisaruanne 2011. aasta kohta. Allikas: http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/PMK_pysihindamine_ja_uuringud_2011.-kohta_01.06.2012_VEEBI.pdf.

PMK, 2013a. Eesti Maaelu Arengukava 2007-2013 2. telje püsihindamisaruanne 2012. aasta kohta. Allikas: http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/PMK_pysihindamisaruanne_2012_kohta_030613_lisadega.pdf

PMK, 2014a. Eesti maaelu arengukava 2007-2013 2. telje püsihindamisaruanne 2013. aasta kohta. Allikas: http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/PMK_MAK_2007-2013_2_telje_pysihindamisaruanne_2013_20.01.2015.pdf.

Putku, E.; Penu, P. „Orgaanilise süsiniku seisund otsekülvi ja künniga haritavatel põldudel.“ *Agronoomia*, 2018.

Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In *Biological indicators of soil health*, by CE Pankhurst, BM Doube, & VVSR Gupta, 97-119. New York: Cab International.