



EESTI MAAÜLIKOOL

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Merit Sutri

**OTSEKÜLVI JA MINIMEERITUD HARIMISE MÕJU
MULLA KVALITEEDILE**

**THE EFFECT OF NO-TILLAGE AND MINIMUM TILLAGE
PRACTICES ON SOIL QUALITY**

Bakalaureusetöö

Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendaja: professor Endla Reintam, *PhD*

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Merit Sutri		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Otsekülvi ja minimeeritud harimise mõju mulla kvaliteedile			
Lehekülgi:64	Jooniseid: 6	Tabeleid: 14	Lisaid: 0
Õppetool: Mullateadus			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: B410 Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia			
Juhendaja: Endla Reintam			
Kaitsmiskoht ja –aasta: Tartu, 2018			
<p>Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida, kuidas otsekülv ja minimeeritud harimine mõjutavad erinevaid mullaomadusi võrreldes künnipõhise maaharimisega ning mulla kvaliteedi visuaalse vaatlemise võimaluste hindamine antud harimissüsteemidega tootmispõldudel. Visuaalne hindamine viidi läbi rahvusvahelise projekti iSQAPER raames välja töötatud muldade visuaalse hindamise juhendit kasutades 2016. aastal Eesti tootmispõldudel. Visuaalse hindamise tulemusi kontrolliti labormõõtmiste abil. Otsekülvi põldude mullaliikideks olid gleistunud ja parasniiske pruun näivleetunud saviliiva lõimisega muld. Minimeeritud harimise põldudel oli gleistumistunnustega pruun näivleetunud kerge liivsavi lõimisega muld. Visuaalse hindamise parameetriteks olid: erosioonitundlikkus, vesi mulla pinnal, mulla struktuursus, agregaatide stabiilsus, mulla värvus, poorsus, struktuursus, künnitihe, labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus, penetromeetiline takistus, vihmausside arvukus. Labormõõtmistega määrati: lasuvustihedus, veesisaldus, maksimaalne veehoiuvõime, aeratsioonipoorsus, veeläbilaskvus, vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus, üldlammastik, orgaanilise süsiniku sisaldus, pH, toiteelementide sisaldus ja vihmausside biomass. Visuaalne hindamine tehti ülemise 30 cm kohta ja labormõõtmised 5...10 cm ja 25...30 cm sügavuste kohta mullas. Visuaalsel hindamisel sai kõrgema mulla kvaliteedi koondinde otsekülvi süsteem võrreldes künniga ning künd võrreldes minimeeritud harimisega. Otsekülv üldiselt parandas mulla füüsikalist kvaliteeti, eeskätt läbi suurema poorsuse ja parema struktuursuse ehk rohkem oli peenemaid agregaatide kui suuremaid. Samuti puudus tihe, mis künnivariantidel oli selgesti eristatav. Otsekülvi tootmispõldudel oli suurem aeratsioonipoorsus võrreldes künniga, mis oli statistiliselt usutavalt mõjutatud harimissüsteemist. Keemilistele parameetritele avaldas valdavalt mõju ka mullaliik ning vihmausse oli pisut vähem võrreldes künniga. Ent viimase osas statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud. Minimeeritud harimisega ei paranenud üldiselt mulla füüsikaline kvaliteet tihenemise tõttu, kuid soodustas suuremat agregaatide stabiilsust. Minimeeritud harimisega oli suurem üldlammastiku ja orgaanilise süsiniku sisaldus ning samuti oli optimaalsem nende suhe, mistõttu paranes mulla keemiline kvaliteet. Minimeeritud harimine mõjus positiivselt vihmausside arvukusele, kui ei olnud tegemist tihenend mullaga. Ent statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud. Visuaalse hindamise tulemused</p>			

ühtisid üldiselt laborianalüüsidega. Väritingimustes hinnatud tihese olemasolu, poorsuse, struktuursuse ja agregaatide stabiilsuse tulemused ühtisid laboris määratud tulemustega.

Märksõnad: otsekülv, minimeeritud harimine, mulla kvaliteet, muldade visuaalne hindamine

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Merit Sutri		Curriculum: Production and Marketing of Agricultural Products	
Title: The effect of no-tillage and minimum tillage practices on soil quality			
Pages: 64	Figures: 6	Tables: 14	Appendixes: 0
Chair: Soil Science			
Field of research and (CERC S) code: B410 Soil science, agricultural hydrology			
Supervisor: Endla Reintam			
Place and date: Tartu, 2018			
<p>The aim of this Bachelor's Thesis was to study how no-tillage and minimum tillage affect soil properties compared to conventional tillage and to evaluate soil quality by visual assessment and its conformance to laboratory measurements. Visual soil assessment was conducted with the iSQAPER soil quality evaluation tool on Estonian no-tillage and minimum tillage fields in 2016. The soil types under no-tillage were loamy sand <i>Gleyic Stagnic Luvisol</i> and loamy sand <i>Stagnic Luvisol</i>. Minimum tillage study was done on a sandy loam <i>Gleyic Stagnic Luvisol</i>. Visually assessed parameters were: erodibility, water logging, soil structure, slaking, colour, porosity, plough pan, labile organic carbon content, penetration resistance and the number of earthworms. Laboratory measurements were done for bulk density, water content, water retention capacity, air-filled porosity, water permeability, fine (0,25...2 mm) aggregate stability, pH, total nitrogen, organic carbon and nutrient content. Visual evaluation was made from the upper 30 cm layer and laboratory measurements were made from the depths of 5...10 cm and 25...30 cm in the soil. The visual assessment showed better soil quality for no-tillage and worse for minimum tillage compared to conventional tillage. No-tillage improved soil physical quality due to higher porosity and also there was no plough pan. Moreover, soil structure was better under no-tillage, which means there were more smaller aggregates than larger. No-tillage production fields had a higher content of air-filled porosity compared to ploughing, which was significantly affected by tillage intensity. Soil chemical parameters were mainly affected by the soil type and no-tillage had a slightly smaller amount of earthworms compared to conventional tillage. In most cases, minimum tillage did not improve soil physical quality due to compaction, but it increased the amount of water stable aggregates. Minimum tillage had a good effect on earthworms when the soil was not compacted, but no significant differences were found. Also, minimum tillage improved soil chemical quality due to a higher content of total nitrogen, organic carbon and higher C:N ratio compared to conventional tillage. Generally, laboratory measurements confirmed visually assessed results. When the soil had low porosity and aggregate stability, poor structure and a plough pan then the laboratory results showed it as well.</p>			
Keywords: no-tillage, minimum tillage, soil quality, soil visual assessment			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	8
1.1 Harimisviisi mõju mulla füüsikalistele omadustele.....	11
1.2 Harimisviisi mõju mulla keemilistele omadustele.....	13
1.3 Harimisviisi mõju mulla bioloogilistele omadustele	15
1.4 Mulla kvaliteedi hindamise võimalused	17
2. METOODIKA.....	20
2.1 Tootmispõldude katsealad	20
2.2 Muldade visuaalne hindamine	21
2.3 Laborianalüüsid	23
2.4 Ilmastiku andmed	23
2.5 Andmeanalüüs	24
3. TULEMUSED.....	25
3.1 Mulla kvaliteedi visuaalse hindamise tulemused	25
3.2 Otsekülvi mõju mulla füüsikalistele näitajatele.....	27
3.3 Otsekülvi mõju mulla keemilistele ja bioloogilistele näitajatele.....	31
3.4 Minimeeritud harimise mõju mulla füüsikalistele näitajatele	34
3.5 Minimeeritud harimise mõju mulla keemilistele ja bioloogilistele näitajatele	37
4. ARUTELU	40
4.1 Otsekülvi mõju mulla kvaliteedinäitajatele	40
4.2 Minimeeritud harimise mõju mulla kvaliteedinäitajatele	45
KOKKUVÕTE	49
KASUTATUD KIRJANDUS	52
LISAD	63
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	64

SISSEJUHATUS

Mulla kvaliteet väljendab selle võimet täita oma ülesandeid ning seda väljendavad erinevad indikaatorid, mis annavad informatsiooni mulla füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste protsesside kohta. Üheskoos annavad erinevad näitajad teavet selle kohta, kuidas muld kui tervik toimib. (Karlen *et al.* 1997)

Intensiivne muldade kasutamine on põhjustanud muldade degradeerumist, mistõttu on tänapäeval olulisel kohal keskkonnasõbralikud põllumajanduspraktikad. Nende kasutamise eesmärkideks on parandada mulla viljakust, tootlikkust ja kvaliteeti, mis saavutatakse säilitades ja suurendades mulla orgaanilise aine sisaldust, mulda rikastades väetistega ja luues optimaalne mullastruktuur. Keskkonnasõbralikeks põllumajandustavadeks loetakse mitmekesist viljavaheldust, vahekultuuride ja haljasväetiskultuuride kasvatamist, orgaaniliste väetiste kasutamist ning harimisintensiivsuse vähendamist.

Harimisintensiivsust vähendavad põllumajanduspraktikad on otsekülv ja minimeeritud harimine, millega loodetakse suurendada mulla orgaanilise aine sisaldust, vähendada erosiooni ja suurendada bioloogilist aktiivsust. Maailmas on otsekülv ja minimeeritud harimine väga laialdaselt kasutusel (FAO 2016), kuid Euroopa Liidus on otsekülvi ja minimeeritud harimise kasutamine suhteliselt väike, moodustades vastavalt 3% ja 19% haritavast maast (Eurostat 2013). Eesti Statistikaameti 2016. aasta andmetel hõlmab 30% kasutatavast maast traditsioonilist maaharimist, 18% moodustab madalkülv ja 7% otsekülv (PMS404 2017; PMS602 2017). Eestis on harimisintensiivsuse vähendamise viljelustehnoloogiate kasutamine kasvutrendis, kuna sellega loodetakse parandada mulla kvaliteeti, hoida kokku tööaega ning saavutada madalam omahind (Viil 2017). Harimise vähendamise mõju mullale võib olla erisugune, kuna toimunud muutused mullas sõltuvad ka mullaliigist ja kliimatingimustest. Seetõttu on oluline leida kohalikesse tingimustesse sobivad põllumajanduspraktikad, mis looksid eeldused jätkusuutlikkuse püsimiseks maaviljeluses.

Mulla kvaliteedi hindamiseks kasutatakse peamiselt laboratoorset analüüsi või muldade visuaalset vaatlemist. Laborianalüüside abil on võimalik saada täpsemaid tulemusi ning

määrata mulla toiteelementide sisaldust, kuid need eeldavad spetsiifilisi seadmeid ning võivad olla kulukad. Muldade visuaalne hindamine on lihtsam ja kiirem meetod mulla kvaliteedi hindamiseks kohapeal, mis sobiks kasutamiseks ka isikutele, kes ei ole spetsialistid antud valdkonnas.

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada kuidas otsekülv ja minimeeritud harimine mõjutab erinevaid mullaomadusi võrreldes künnipõhise maaharimisega ja mulla kvaliteedi visuaalse vaatlemise võimaluste hindamine antud harimissüsteemidega tootmispõldudel. Visuaalne hindamine viidi läbi rahvusvahelise projekti „Interaktiivne mulla kvaliteedi hindamine Euroopas ja Hiinas põllumajandusliku tootlikkuse ja keskkonna jätkusuutlikkuse tagamiseks (iSQAPER)“ raames koostatud juhendit kasutades. Harimissüsteemi mõju hinnati visuaalselt ning seejärel kontrolliti neid tulemusi labormõõtmisi kasutades. Valdav osa visuaalse hindamise näitajatest olid iseloomustamaks mulla füüsikalist kvaliteeti.

Lähtudes eelnevast on püstitatud kaks hüpoteesi:

- Otsekülvi harimissüsteemi kasutamine parandab mulla kvaliteeti;
- Minimeeritud harimise kasutamine parandab mulla kvaliteeti.

Töö autor tänab Endla Reintami lõputöö juhendamise ja kasulike märkuste eest. Uurimistöö on valminud Euroopa Liidu Horizont 2020 teaduse ja innovatsiooni grant Nr 635750 iSQAPER toel.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Mulla kvaliteedi definitsioone on mitmeid, kuid üks üksikasjalikumaid on sõnastatud *Soil Science Society of America* poolt järgmiselt: „kindla mulla võime funktsioneerida, loomuliku või kontrollitud ökosüsteemi piirides, et toetada taimede ja loomade tootlikkust, säilitada ja suurendada vee ja õhu kvaliteeti ning toetada inimeste tervist ja elukeskkonda“ (Karlen *et al.* 1997).

Mulla funktsioneerimist väljendavad füüsikalised, keemilised ja bioloogilised omadused ning protsessid (Karlen *et al.* 1997). Erinevad mulla parameetrid on indikaatoriteks mulla hetkeolukorra kohta. Mulla füüsikalisteks indikaatoriteks on veehoiuvõime, veeläbilaskvus, struktuursus, poorsus, agregaatide stabiilsus ja maksimaalne veemahutavus. Keemilisteks indikaatoriteks on pH, mulla C sisaldus ja toitainete omastamise võime. Bioloogilisteks indikaatoriteks, mis peaksid soodustama taimede kasvu on mikroobne biomass, mullaelustik ja mulla ensüümid (Karlen *et al.* 1997). Tegelikuses on palju rohkem indikaatoreid, mis võiksid olla abiks mulla kvaliteedi hindamisel.

Seoses muldade intensiivse kasutamisega ja kliimamuutustega on tulnud ka päevakorda nende kvaliteedi vähenemine. Muldade degradatsioon on pikaajaline muldade omaduste halvenemine ja viljakuse vähenemine. Degradatsioon võib olla loodus- ja inimtekkeline. Muldade degradatiivsed protsessid jagunevad füüsikalisteks, keemilisteks ja bioloogilisteks. Olulised füüsikalised protsessid on mulla struktuursuse vähenemine, mullakooriku tekkimine, tihenemine, erosioon, kõrbestumine, anaeroobse mullakeskkonna tekkimine ja keskkonna reostus (Lal 1997). Keemilised protsessid on hapestumine, leostumine, sooldumine ja viljakuse vähenemine. Bioloogiliste protsesside hulka kuuluvad orgaanilise süsiniku vähenemine ja mullaelustiku mitmekesisuse vähenemine (Lal 1997). Inimtekkelist muldade degradatsioonist põhjustatud kvaliteedi ja bioloogilise mitmekesisuse vähenemist on võimalik ära hoida keskkonnasõbralike põllumajanduspraktikate kasutuselevõetuga.

Maaviljeluse intensiivistumine ja muldade degradeerumine on toonud päevakorda keskkonnasõbralike praktikate kasutamise põllumajanduses. Rahvusvahelise projekti „Interaktiivne mulla kvaliteedi hindamine Euroopas ja Hiinas põllumajandusliku tootlikkuse ja keskkonna jätkusuutlikkuse tagamiseks (iSQAPER)“ raames uuriti välja peamised

keskkonnasõbralikud põllumajandustavad, mis aitavad parandada mulla kvaliteeti, samal ajal säilitades või suurendades põllukultuuride saagikust (Interactive soil quality...2018). Nendeks praktikateks on mitmekesine viljavaheldus, vahekultuuride ja haljasväetiskultuuride kasvatamine, orgaaniliste väetiste kasutamine ning harimisintensiivsuse vähendamine. Keskkonnasõbralike põllumajanduspraktikate kasutamise eesmärkideks on tagada mulla viljakus, tootlikkus ja kvaliteet eelkõige suurendades mulla orgaanilise aine sisaldust, rikastada mulda väetistega ning hoida ja parandada mulla struktuursust.

Viljavaheldus on peamiseks võimaluseks, et säilitada mulla struktuursus ja viljakus. Samuti hoiab sobilik viljavaheldus kontrolli all umbrohud, haigused ja kahjurid. Külvikorra mitmekesistamiseks kasvatatakse lisaks põhikultuuridele liblikõielisi, vahekultuure ja haljasväetiskultuure. Suure ja sügavale ulatuva juurekavaga taimestik rikastab mulda orgaanilise ainega ja vähendab tihenemist. Sellisteks kultuurideks on näiteks liblikõielised haljasväetiskultuurid, mille kasvatamine soodustab lasuvustiheduse vähenemist eelkõige mulla 20...30 cm sügavusel ning soodustab biopooride teket mulla profiilis (Lauringson *et al.* 2009). Positiivne mõju on liblikõieliste kasvatamisel külvikorras, kuna nad seovad õhulämmastikku ja rikastavad sellega mulda.

Vahekultuuride kasvatamine vähendab erosiooni ja soodustab bioloogilist aktiivsust mullas suurema orgaanilise aine sisendi näol. Talgre (*et al.* 2015) leidis maheviljeluskatses, et talvised vahekultuurid koos sõnniku kasutamisega parandasid mitmeid mullaomadusi, sealhulgas suurenes mulla pH, orgaanilise süsiniku sisaldus, vihmausside arvukus, veeläbilaskvus ja veehoiuvõime. Vahekultuuride kasvatamine parandas mullaomadusi, mistõttu suurenes ka põhikultuuride saagikus. Katses, kus hinnati talviste vahekultuuride mõju mulla struktuursuse stabiilsust ja mikrobioloogilist aktiivsust maheviljeluses leiti (Sanches de Cima *et al.* 2015), et vahekultuurid mõjutasid positiivselt mulla lasuvustihedust ja õhuga täidetud pooride osakaalu. Lisaks sellele suurendas talviste vahekultuuride kasutamine koos veisesõnnikuga mulla mikrobioloogilist aktiivsust.

Sõnniku ja läga kasutamine parandab mulla kvaliteeti eelkõige orgaanilise aine suurenemise ja toitainetega rikastamise tulemusena. Mulla orgaaniline aine omab olulist rolli mitmete füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste omaduste kujunemises. Orgaaniline väetis omab positiivselt mõju mullaelustikule suurendades nende toiduallikat. Kanadas korraldati pikaajaline katse, mille käigus hinnati veisesõnniku mõju vihmausside arvukusele ja

mullaomadustele pärast 14 aastat väetamist. Leiti, et veisesõnnikuga väetamise tulemusena suurenes vihmausside arvukus ja liikide mitmekesisus. Samuti leiti, et paranes mulla agregaatide stabiilsus (Estevez *et al.* 1996). Mulla orgaanilise aine suurendamiseks ja väetamiseks kasutatakse ka haljasväetisi. Talgre (*et al.* 2009) leidis, et odra allakülvid suurendavad oluliselt lämmastiku varu mullas, põhikultuuri saaki vähendamata. Lämmastiku leostumise vältimiseks tuleks suure lämmastiku sisaldusega haljasväetised künda mulda kevadel (Talgre *et al.* 2009).

Keskkonnasõbralikeks põllumajanduspraktikateks loetakse ka minimeeritud harimist ja otsekülvi. Kündmine on viljelustehnoloogia, mille puhul mulda haritakse 22...27 cm sügavuselt. Tavatehnoloogiat iseloomustab adra kasutamine ja lisaks sellele ka agregaatide ning põllul tehtud tööde paljusus. Minimeeritud mullaharimine on viljelustehnoloogia, mille puhul mulda haritakse 10...18 cm sügavuselt ja harimiseks kasutatakse kas kergatra või rullrandaali. Põllul tehtud tööde arv on sarnane künnipõhise mullaharimisega, kuid harimissügavus on väiksem. Otsekülvi puhul on peamiseks agregaadiks külvik. Selle viljelustehnoloogia puhul tehakse külvi eelneva kultuuri kõrde ja maad eelnevalt ei harita. Harimisintensiivsuse vähendamise eesmärgiks on enamasti mulla kvaliteedi parandamine ning kokkuhoid kulude ja tööaja pealt. (Viil 2017)

Autorid on uurinud künnita maaharimise mõju lisaks mulla omadustele ka saagi suurusele ning on saanud vastuolulisi tulemusi. Šveitsis korraldatud pikaajalises katses leiti, et otsekülvi, minimeeritud harimise ja tavaharimise põldudelt saadud talinisu, talirapsi ja maisi saak ei erinenud oluliselt aastate vältel, kuid mullaomadused muutusid märkimisväärselt (Büchi *et al.* 2017). Horvaatias korraldatud katses (Bogunovic *et al.* 2018) leiti, et kündmisega saavutati üldiselt suurem teraviljade saagikus, kuid põuastel aastatel saadi suurem saak just otsekülvi põldudelt. Autor tõi välja, et kuivadel aastatel võib olla kasu harimisintensiivsuse vähendamisest, kuna need soodustavad mulla veehoiuvõime paranemist. Rootsis korraldatud pikaajaline katse (Arvidsson *et al.* 2014) näitas, et kündmisega oli saagikus üldiselt suurem võrreldes minimeeritud harimise ja otsekülviga. Kusjuures minimeeritud harimisega saadud saak oli sarnane küntud põllult saadud saagi suurusega. Autor rõhutas, et otsekülviga saadakse madalam saak, kuna ei tehta sobivat külviaset ning et Põhja-Euroopa tingimustes on raske saada samu saake, mis künnipõhise või minimeeritud maaharimisega.

1.1 Harimisviisi mõju mulla füüsikalistele omadustele

Mulla füüsikalised omadused väljendavad erinevaid mullas toimuvaid protsesse nagu mullavee liikumist, struktuuriagregaatide stabiilsust ja muid üldfüüsikalisi omadusi. Maaharimine on mulla füüsikaliste omaduste mehaaniline mõjutamine, mille tulemusena on mõjutatud peaaegu kõik protsessid mullas. Mulla füüsikalisi omadusi mõjutavad eelkõige liigne masinkäikude arv, ilmastiku tingimuse muutused, kasvatatavad kultuurid, viljavaheldussüsteem ja harimisintensiivsus (Moreira *et al.* 2016). Mullaharimise käigus segatakse ja muudetakse selle struktuursust. On leitud, et optimaalseks taimede tärkamiseks on vajalik, et seemneasemes oleks üle 50% agregate, mis on alla 5 mm suurused (Håkansson *et al.* 2002). Struktuursus on oluline mulla kvaliteedi indikaator, kuna see mõjutab mitmeid protsesse mullas. Samuti on parema struktuursusega mullad vähem vastuvõtlikud vee ja tuule erosioonile (Bronick, Lal 2005). Abdollahi (*et al.* 2015) uuris harimise mõju mulla kvaliteedile, mille tulemusena ta leidis, et parim mullastruktuuri kvaliteet oli künatud alal võrreldes minimeeritud harimise ja otsekülviga. Munkholm (*et al.* 2013) leidis ka, et kündmisega saavutati positiivne mõju mulla struktuursusele võrdluses otsekülviga. Autor rõhutas, et otsekülvi põldudel oli halb struktuursus välja arvatud siis, kui see oli kombineeritud mitmekesise viljavaheldusega. Samas Daraghmeh (*et al.* 2009) võrdles künnipõhist maaharimist minimeeritud harimisega ja leidis, et minimeeritud harimise põldudel oli parem struktuursus, mis väljendus suuremas orgaanilise aine ja suurte agregaatide sisalduses ning väiksemas lasuvustiheduses.

Mulla lasuvustihedus ja penetromeetiline takistus väljendavad muldade tihenemist. Tihenunud mullas on halvenenud õhu- ja veerežiim, mis võib mõjuda negatiivselt taimede kasvule. Alvarez ja Steinbach (2009) uurisid otsekülvi, minimeeritud harimise ja künni mõju mõningatele mulla füüsikalistele omadustele, mille tulemusena leiti, et mulla lasuvustihedus ja penetromeetiline takistus olid kõrgemad väiksema harimisintensiivsusega põldudel võrreldes künniga. Autorid tõid välja, et lasuvustihedus oli suurem nendel katsealadel, kus oli algselt väiksem lasuvustihedus. Lisaks eelnimetatule on mitmed autorid (Martinez *et al.* 2008; Crittenden *et al.* 2015; Munkholm *et al.* 2013) jõudnud järelduseni, et otsekülvi põldudel oli suurem penetromeetiline takistus võrreldes künatud põldudega, mis viitab sellele, et otsekülvi põldudele võib tekkida pindmine tihenunud kiht, eriti kui on tegemist raske lõimisega.

Harimisviis mõjutab agregaatide stabiilsust (Kasper *et al.* 2009). Mulla agregaatide stabiilsus väljendab nende agregaatide osakaalu, mis on vee suhtes vastupidavamad ja ei murene kergesti (Soil Science Society of America 2018). Vähenenud agregaatide stabiilsus suurendab muldade vastuvõtlikkust erosioonile ja mehaanilisele ärakandele (Barthes, Roose 2002). Mitmed autorid on leidnud, et harimisintensiivsuse vähendamine mõjub positiivselt agregaatide stabiilsusele (Parihar *et al.* 2016; Alvarez, Steinbach 2009; Martinez *et al.* 2008; Crittenden, de Goede 2016). Hollandis korraldati katse (Crittenden *et al.* 2015), kus võrreldi minimeeritud harimise mõju mahekasvatuse ja tavakasvatuse põldudel koos viljavaheldusega, mis sisaldas juurvilju. Katse tulemusena leiti, et minimeeritud harimine suurendas mulla agregaatide stabiilsust 10...20 cm sügavusel mulla profiilis mahekasvatuse katsealadel. Samuti suurenes agregaatide stabiilsus minimeeritud harimisega tavamaaviljelussüsteemiga põldudel, kuid 0...10 cm sügavusel. Abid ja Lal (2008) leidsid, et otsekülvi põldudel oli suurem veekindlate agregaatide sisaldus mullas 0...10 cm sügavusel võrreldes haritud põlluga, mis tulenes suuremast orgaanilise süsiniku sisaldusest otsekülvipõldudel.

Mulla veeläbilaskvus mõjutab leostumise ja erosiooni potentsiaali ning taimede veekasutamise efektiivsust (Karlen *et al.* 1997). Harimise vähendamine hoiab mulla veeläbilaskvuse ja veehoiuvõime optimaalsemana (Bhattacharyya *et al.* 2006). Veeläbilaskvust iseloomustavad mulla veejuhtivus ja filtratsiooni kiirus. Mulla tihenemine vähendab mulla filtratsiooni kiirust, kuna alandab makropooride rohkust ja suurendab mulla lasuvustihedust (Capowiez *et al.* 2009). Alvarez ja Steinbach (2009) leidsid, et filtratsiooni kiirus suurenes mitmekordselt otsekülvi muldadel võrreldes künniga. Sama tulemuseni jõudis Arshad (*et al.* 1999), kes leidis, et filtratsioon oli suurem otsekülvi alal võrreldes künniga. Autor tõi välja, et suurem veeläbilaskvus oli tingitud mulla struktuuri paranemise tõttu, mis tulenes orgaanilise aine akumulierumisest mulla pinnale ja vähesest mulla segamisest. Samas Martinez (*et al.* 2008) leidis, et filtratsiooni kiirus oli suurem künnipõhise harimise korral võrreldes otsekülviga. Grittenden ja de Goede (2016) uurisid harimisviiside mõjusid maheviljeluses. Uurimuse tulemusena leiti, et minimeeritud harimise mahekasvatuse katsepõldudel oli suurem taimedele omastatava vee sisaldus pindmise mullakihis. Lisaks sellele jõuti järeldusele, et veejuhtivus põllul küllastatud olekus oli suurem künnipõhise mullaharimise korral, mis oli põhjustatud madalama mulla tiheduse tõttu. Mida poorem on muld, seda suurem on selle veejuhtivus.

Harimisviis mõjutab mullas olevate pooride koosseisu. Kündmise tulemusena tekib mulda rohkem suuri poore ja väheneb tihedus künnikihis, mistõttu on küntud mullas suur aeratsioonipoorsus (Lipiec *et al.* 2006). Mulla füüsikalised omadused, mis väljendavad mulla õhustatust, on otseselt seotud mulla veesisaldusega (Mentges *et al.* 2016) ning mõjutavad seega taimestiku ja mullaelustiku elutegevust. Munkholm (*et al.* 2013) leidis samuti, et kündmine suurendas aeratsioonipoorsust ning lisaks sellele oli ka sellel katsealal suurim üldpoorsus mulla 0...20 cm kihis otsekülvi võrreldes. Samas Pires (*et al.* 2017) võrdles otsekülvi künniga ja leidis, et otsekülvi alal oli suurem aeratsioonipoorsus ning samuti ka üldpoorsus 20...30 cm sügavusel, mis viitas rohketele mõradele ja biopooridele.

1.2 Harimisviisi mõju mulla keemilistele omadustele

Mulla keemilised omadused on tihedalt seotud mulla bioloogiliste omadustega, mistõttu tuleks neid käsitleda koos. Mulla keemilised omadused väljendavad eelkõige toitainete sisaldust ja orgaanilise süsiniku sisaldust ja selle suhet lämmastikuga. Need parameetrid on seotud ja mõjutavad vastastikku mitmeid füüsikalisi ja bioloogilisi näitajaid, andes informatsiooni mulla hetkeolukorra kohta.

Norras tehtud katses leiti, et minimeeritud harimise tulemusena suurenesid mulla fosfori ja kaaliumi sisaldused mulla pindmises kihis (Riley 2014). Autor tõi välja, et sügavamates mullakihtides oli minimeeritud harimisega vastupidiselt, pisut madalamad kontsentratsioonid võrreldes künnipõhise maaharimisega. Soomes tehtud katses leiti, et otsekülvi suurenes liikuva fosfori sisaldus mullas (Muukkonen *et al.* 2007). Autor rõhutas, et isegi lühiajaline otsekülv võib suurendada liikuva fosfori sisaldust savimullas. Eestis tehtud kompleksuuringus leiti, et otsekülvi ja künni võrdluses esines erinevus toitainete paiknemises mullas (Erinevate viljelusmeetodite...2015: 7). Uuringu tulemusena leiti, tavamaaharimisega aladel olid toiteelemendid suhteliselt ühtlaselt jaotunud künnikihis, kuid otsekülvi olid need valdavalt pindmises 0...10 cm mullakihis. Samuti olid suuremad toiteelementide sisaldused nendel aladel, kus kasutati lisaks mineraalväetistele ka vedelsõnnikut.

Intensiivsed harimisviisid vähendavad orgaanilise süsiniku ja lämmastiku kogust, mis on olulised mulla kvaliteedi püsimiseks (Kasper *et al.* 2009). Orgaanilise süsiniku ja

lämmastiku säilitamine mullas võib parandada selle viljakust ja tootlikkust ning vähendada CO₂ emissiooni mullast (Buragiene *et al.* 2015). Mullaharimine vähendab mullas süsiniku sisaldust erosiooni näol ja soodustab süsiniku oksüdeerumist, kuna mulda harides tekib juurde rohkem väiksemaid agregate, mis on seejärel avatud mikroobidele (Petersona *et al.* 1998).

Mitmed autorid on jõudnud järelduseni, et harimisintensiivsuse vähendamine põhjustab mulla süsiniku ja lämmastiku kogunemist (Parihar *et al.* 2016; Abid, Lal 2008; Arshad *et al.* 1999; Heinze *et al.* 2010; Soon *et al.* 2007). Green (*et al.* 2007) leidis, et otsekülvi põldudel oli suurem kogulämmastiku sisaldus ning süsiniku ja lämmastiku mineralisatsiooni tase võrreldes minimeeritud harimisega, mis viitab sellele, et harimise vähendamine suurendab mulla bioloogilist aktiivsust. Samas Raiesi ja Kabiri (2017) leidsid, et minimeeritud harimisega muutus mulla süsiniku ja lämmastiku ringlus aeglasemaks ning vähenes mineraliseerumine väiksema mikroobse aktiivsuse tõttu. Autor rõhutas, et süsiniku ja lämmastiku mineraliseerumisele võisid avaldada mõju erisused mulla füüsilises segamises ja taimejuurte ning -jäänuste asukoht.

Poolas korraldati katse, kus võrreldi tavamaaharimisviisi otsekülvi ja minimeeritud harimisega, et hinnata, kuidas harimisintensiivsus mõjutab erinevaid mulla bioloogilise aktiivsuse indikaatoreid. Selgus, et mulla ja mikroobse biomassi C/N suhted oli suuremad künnipõhise maaharimisviisiga, mis viitab sellele, et selle harimisviisi korral on vaja rohkem mikroorganisme lämmastiku jaoks süsiniku biomassi ühiku kohta. Lisaks sellele leiti ka, et minimeeritud harimise ja otsekülviga oli suurem mikroobne aktiivsus ja potentsiaalselt mineraliseeruva lämmastiku sisaldus. (Gajda, Przewloka 2012)

Labiilne orgaaniline süsinik võib olla varajaseks indikaatoriks mulla orgaanilise süsiniku ammendumise kohta (Liu *et al.* 2014). Mulla orgaaniline süsinik on korrelatsioonis labiilse orgaanilise süsinikuga, mis viitab sellele, et orgaaniline süsinik on oluline tegur labiilse orgaanilise süsiniku fraktsioonide moodustumises (Liu *et al.* 2014). Labiilne süsinik laguneb kiiresti ja on peamiseks toiduallikaks mulla mikroobidele. Harimisintensiivsust vähendades on võimalik suurendada labiilse orgaanilise süsiniku sisaldust (Chen *et al.* 2009; Munoz-Romero *et al.* 2017), kuna jäetakse suurem kogus orgaanilist ainet mulla pinnale (Pandey *et al.* 2014).

Mulla reaktsioon (pH) mõjutab toitainete kättesaadavust ning pestitsiidide imendumist ja liikuvust (Karlen *et al.* 1997). Mitmed uuringud on leidnud, et harimisviisid ega –sügavused ei avalda mulla pH-le mõju (Staley, Boyer 1997; Nyakatawa *et al.* 2001; Willekens *et al.* 2014). Samas on mitmed autorid on leidnud, et otsekülvi korral on mulla pH madalam võrreldes künnipõhise maaharimisega just pindmises mullakihis (Limousin, Tessier 2007; Lopez-Fando, Pardo 2009). Mulla pH vähenemine 2 cm sügavusel mullas tuleneb peamiselt orgaanilise aine lagunemisest, mille käigus eraldub H^+ ioone (Martinez *et al.* 2013). Norras korraldatud pikaajaline katse näitas, et mulla pH vähenes minimeeritud harimisega 0,1...0,3 ühiku võrra võrreldes künnipõhise maaharimisega 0...5 ja 5...20 sügavustes mullakihtides (Ekeberg, Riley 1997). Bauer (*et al.* 2006) leidis, et minimeeritud harimisega oli madalam mulla pH võrreldes otsekülviga. Samas Obour (*et al.* 2017) leidis, et pH otsekülvi katsealal oli madalam võrreldes minimeeritud harimise ja kündmisega. Autor tõi välja, et mulla pH langus otsekülvis tuleneb orgaanilise aine mineralisatsioonist ja nitrifikatsioonist lämmastikuga väetamisest mulla pinnal. Minimeeritud harimise ja kündmise korral segatakse väetis suurema hulga mullaga ning alumistest kihtidest pärit muld on üldiselt kõrgema pH-ga, kuna sisaldab Ca ja Mg, mis suurendab mulla puhverduvõimet (Obour *et al.* 2017).

1.3 Harimisviisi mõju mulla bioloogilistele omadustele

Mulla bioloogia moodustavad mulla flora ja fauna. Üheks oluliseks indikaatoriks mulla bioloogilise kvaliteedi kohta on selle elustiku mitmekesisus ja mullaorganismide arvukus. Mullaorganismid aitavad lagundada orgaanilist ainet, mille käigus vabanevad taimetoitained (Malik *et al.* 2013). Mulla mikroobse- ja ensüümide aktiivsuse abil on võimalik määrata harimisviiside mõju mulla kvaliteedile (Kabiri *et al.* 2016). Wang (*et al.* 2017) leidis, et otsekülv suurendab mikroobse biomassi mitmekesisust, eelkõige suurendades nende toiduallikat. Kõige positiivsem mõju leiti kombineerides mahekasvatus otsekülviga. Kabiri (*et al.* 2016) tõi välja, et ka minimeeritud harimine suurendab mikroobset biomassi ja ensüümide aktiivsust. Samas Degruno (*et al.* 2016) leidis, et eelnev avaldas negatiivset mõju mikroobse biomassi koosluse mitmekesisusele.

Vihmausside arvukus ja mitmekesisus on üheks mulla kvaliteedi indikaatoriks, kuna nad on tundlikud erinevate harimissüsteemide suhtes. Mullaharimine mõjutab vihmausse otseselt mulla mehaanilise segamise teel ning kaudselt muutunud mullakeskkonna tulemusena. Harimisega lõhutakse vihmausside käigud ja paigutatakse ümber mullaosakesed. Samuti muutuvad mitmed mulla füüsikalised tingimused nagu näiteks temperatuur ja mulla veesisaldus. Vihmaussidele avaldavad mõju ka mulla tüüp, harimissügavus ja harimisaeg (Chan 2001).

Capowiez (*et al.* 2009) leidis, et maaharimine ei mõjutanud otseselt vihmausside arvukust, kuid mõjutas nende ökoloogilist koosseisu. Uurimuse tulemusena selgus, et künnipõhine harimine vähendas aneetsiliste liikide arvukust, mille põhjus tulenes otsesest kahjust nende käikudele või kaudselt mõjust nende toiduallikale, mis maetakse kündmise käigus. Lisaks sellele oli suurem ka vihmausside elusmass minimeeritud harimisega, kuna aneetsiliste vihmausside liigid on suuremad. Ernst ja Emmerling (2009) leidsid samuti, et aneetsiliste vihmausside liikide rohkus vähenes, kui maapind oli küntud. Vihmausside elusmass ja liigirikkus olid üldiselt suuremad väiksema harimisintensiivsusega aladel, kuid erinevust minimeeritud harimise ja otsekülvi vahel ei leitud. Autor leidis, et vähem intensiivsed mullaharimispraktikad vähendavad orgaanilise süsiniku ümberjaotust mullas ja mõjutavad positiivselt vihmausside elusmassi ja mitmekesisust, mis on olulised mulla kvaliteedi säilitamisel. Otsekülv ja minimeeritud harimine soodustavad suurema orgaanilise aine ladustamist mulla pinnale, mistõttu on vihmaussidel rohkem toitu. Birkas (*et al.* 2004) leidis, et muldades, mille pinnale jäeti orgaanilist ainet ning mis olid tihenemata ja segamata, oli vihmausside arvukus suurem võrreldes nendega, millele ei jäetud taimejäänuseid.

Vihmaussid tekitavad mullas rohkesti biopore ja rikastavad mulda oma väljaheidetega. Bottinelli (*et al.* 2010) leidis, et vihmausside väljaheited parandavad struktuuriagregaatide stabiilsust mullas. Autor võrdles otsekülvi, minimeeritud harimise ja künnipõhise maaharimise mõju vihmaussi väljaheidete rohkusele. Uurimuse tulemusena leiti, et vihmausside väljaheidete rohkus oli suurem 12 cm sügavusel otsekülvi aladel võrreldes pindmise harimise ja künniga. Autor rõhutas, et vihmausside väljaheited 2 cm sügavusel ei osale agregaatide stabiliseerimisel, kuid 12 cm sügavusel oli struktuuri agregaatide stabiilsus osaliselt põhjustatud vihmausside väljaheidetest.

1.4 Mulla kvaliteedi hindamise võimalused

Mulla kvaliteeti pole võimalik üheselt mõõta, kuna see koosneb erinevate ühikutega mõõdetavatest omavahel seotud indikaatoritest. Mulla kvaliteedi moodustavad erinevate näitajate nõ tulemused, mis annavad informatsiooni selle kohta, kui hästi muld funktsioneerib. Mulla kvaliteedi hindamiskaardid, mulla kvaliteedi testimise komplektid, laborianalüüsid ja visuaalse muldade hindamise meetodid on peamised kasutusel olevad abivahendid mulla kvaliteedi hindamiseks. Laborianalüüsid annavad täpsed tulemused mulla kvaliteedi kohta ja samuti võimaldavad hinnata toiteelementide sisaldust mullas, kuid nende tulemused võtavad kauem aega ja võivad olla kulukad. Mulla hetkeolukorra hindamine on oluline, kuna see annab informatsiooni erinevate põllumajanduspraktikate mõjust keskkonnale ja põllumajandusettevõtetele. Viimasele eelkõige selle kohta, kuidas mulda harida, et tagada jätkusuutlikkus.

Suur osa mulla kvaliteedi uuringutest keskendub indikaatorite valimisele, mis iseloomustaks mulla hetkeolukorda ja funktsioonide täitmist ning oleksid piisavalt tundlikud maaviljelusviiside muutumiste suhtes (Karlen *et al.* 2003; Zuber *et al.* 2017; Kiani *et al.* 2017; Raiesi, Kabiri 2016). Rahvusvaheliselt kasutatava mulla kvaliteedi hindamismeetodi välja töötamine valmistab raskusi, kuna mullad erinevad liigiomaste ja keskkonnapäraste erinevuste tõttu ning samuti on maailmas kasutusel palju erinevaid maaviljeluspraktikaid, mis avaldavad mõju mulla omadustele ja funktsioneerimisele (Karlen *et al.* 2003). Mulla kvaliteedile avaldavad mõju nii liigiomased omadused ja protsessid kui ka dünaamilised, mis on otseselt mõjutatud maaharimisest (Karlen *et al.* 2001).

Mulla kvaliteedi hindamisel kasutatakse valdavalt selle indekseerimist, kuna indikaatoreid mõõdetakse erinevates ühikutes. Selleks valitakse indikaatorid, mis väljendaksid mulla erinevate funktsioonide toimimist. Need moodustavad minimaalse indikaatorite kogumi, mis iseloomustaksid kõige paremini, kuidas maaharimispraktikast tulenevad mulla funktsioonid toimivad. Olenevalt parameetrist hinnatakse neid üldiselt selliselt, et kas rohkem on parem või vähem on parem. Samuti osade parameetrite puhul määratakse optimaalne ulatus, millest väljudes võib mulla kindel funktsioon olla häiritud. Ühikuteta väärtused liidetakse indeksiks, mis iseloomustab mulla kvaliteeti. (Karlen *et al.* 2003)

United States Department of Agriculture (et al. 1999) töötas välja mulla kvaliteedi hindamiskaardi, et hinnata mulla kvaliteedi hetkeolukorda ja teha kindlaks maaharimisest

tingitud muutused mullas. Nende kaartide eesmärkideks on hinnata maaviljelustööde mõju mulla kvaliteedile, kindlaks määrata muutused mulla kvaliteedis ja võimaldada farmeritele tööriist, millega nad saaksid ise, lihtsaid vahendeid kasutades hinnata oma mulda. Mulla kvaliteeti hinnatakse kasutades deskriptiivseid termineid nagu hea, keskmine ja halb. Indikaatoriteks, mille hindamine ei vaja laborianalüüsi on näiteks mulla tihenemine, vihmausside arvukus ja pinnavee äravool. *United States Department of Agriculture (et al. 2001)* töötasid välja ka mulla kvaliteedi hindamise komplekti, mis on mõeldud kohapeal kasutamiseks. Hindamine annab tulemuse millega on võimalik võrrelda erinevate viljelusviiside mõju mulla kvaliteedile. Selle komplektiga on võimalik hinnata lasuvustihedust, veesisaldust, agregaatide stabiilsust, pH-d, nitraatidesisaldust, vihmausside arvukust jne. Võrreldes eelmise meetodiga on sellega võimalik hinnata keerukamaid parameetreid ning seega vajab ka rohkem spetsiifilisi seadmeid ja varustust.

Cornelli mulla tervise hindamine (Moebius-Clune *et al.* 2016) on samuti üks mulla kvaliteedi kontseptsioone, mis töötati välja Ameerika Ühendriikides. Antud raamistik loodi, et mõõta indikaatoreid, mis esindavad olulisi protesse mullas ja saadud tulemusi hinnata ning tõlgendada. Suurem osa bioloogilisi ja füüsikalisi indikaatoreid saavad kõrgema punkt tulemuse kõrgemini hinnatud väärtuse alusel, kuid osad saavad kõrgema punkt tulemuse madalamana mõõdetud väärtuse alusel. Samas keemilised indikaatorid saavad kõrgema punkt tulemuse, kui mõõdetud väärtused on optimaalsed enamike mullaliikide jaoks. Uus-Meremaal loodi internetipõhine töövahend Sindi (Lilburne *et al.* 2002), mis võimaldab hinnata erinevaid mulla kvaliteedi indikaatoreid graafiliselt. Antud töövahendiga on võimalik hinnata osasid mulla füüsikalisi indikaatoreid, pH-d, viljakust ja orgaanilise aine sisaldust (Sparling *et al.* 2008).

Paljude meetodite kasutamine eeldab laborianalüüsi ning on tulemuste saamine võtab kaua aega, mistõttu on hakatud üha enam välja töötama lihtsamaid ja kiiremaid võimalusi mulla kvaliteedi hindamiseks koha peal. Muldade visuaalne hindamine on üks viisidest mulla kvaliteedi hindamiseks, mis üldiselt sobib kasutamiseks ka farmeritele. Ühed enamlevinud mulla kvaliteedi määramise meetodid on huumusesisalduse määramine värvuse järgi ja lõimise määramine sõrmeproovil (Astover *et al.* 2013) ning samuti ka labidaproov (Vetemaa, Mikk 2009; Sheperd 2000). Labidaprooviks võetakse 10...20 cm paksune mullakiht, mille põhjal hinnatakse mullakamaka murdejooni, taimede juurestikku ja

vihmausside ning nende käikude arvukust, mis kõik annavad informatsiooni mulla struktuursuse kohta (Vetemaa, Mikk 2009).

Ball (*et al.* 2007) poolt modifitseeritud Peerlkampi test on samuti üks meetoditest, mis keskendub eelkõige mulla struktuuri hindamisele. Meetod on piisavalt tundlik, et eristada erinevate kultuuride ja viljelusviiside mõju mulla füüsikalistele omadustele. Guimaraes (*et al.* 2011) hindas visuaalselt mulla struktuuri (struktuursust, poorsust ja agregaatide suuruse jaotust) ning leidis, et pindmise mullakihi kukutamine 1 m kõrguselt (Sheperd 2000) andis sama tulemuse võrreldes labidatäie mullakihi murdmine käte vahel, mis oli kiirem ja lihtsam lahendus. SOILpak on veel üks meetod (McKenzie 2001), millega on võimalik visuaalselt muldade struktuursust hinnata. Meetod on eelkõige välja töötatud, et tuvastada tihenemist ja selle mõju taimede juurte arengule. Hinnatakse poorsust, värvust, agregaatide kuju ja struktuursust.

Sheperd (*et al.* 2008) töötas välja juhise mulla visuaalse kvaliteedi kui terviku hindamiseks. Antud juhise järgi on võimalik hinnata mulla lõimist, struktuursust, agregaatide jaotust suuruse järgi, poorsust, värvust ja roostelaikude esinemist, vihmausside arvukust ja suurust, taimede juurdumist, vee imendumist mulda, pindmise kooriku tekkimist ning tuule- ja veerosiooni olemasolu. Samas puudub juhisest keemiliste indikaatorite hindamine. Visuaalse hindamise meetodid erinevad oluliselt hindamise aluseks võetud indikaatorite ja vajaminevate vahendite poolest ning on üldiselt mõeldud kindla piirkonna muldade hindamiseks.

2. METOODIKA

2.1 Tootmispõldude katsealad

Mullaproovide kogumine ja visuaalne hindamine toimus 2016. aasta sügisel kohe pärast saagi koristust. Katsekohtadena valiti otsekülvi ja minimeeritud harimise põllud ning nende lähedal asuvad künnipõhised põllud (kontroll). Katse- ja kontrollvariandid, mida omavahel võrreldi, valiti põhimõttel, et nende vahemaa ei oleks liiga suur ning, et mullastik ja külvikord oleksid sarnased. 2016. aastal kasvatati kõikidel uuritavatel põldudel teravilja ning põllumajandussüsteemiks oli tavamaaviljelus.

Mulla kvaliteedi hindamiseks valiti kaks otsekülvi põldu (tabel 1), mida võrreldi kahe künnipõhise põlluga. Põlvamaal asuvate otsekülvi ja künni põldudel oli mullaliigiks gleistunud pruun näivleetunud saviliiva lõimisega muld. Tartumaal asuvate otsekülvi ja künni põldudel oli mullaliigiks pruun näivleetunud saviliiva lõimisega muld. Põlvamaa otsekülvi põllult koguti andmed 2. septembril ja künni põllult 29. augustil. Tartumaa otsekülvi ja künni põllult koguti proovid 30. augustil. Põlvamaa otsekülvi põllul on antud maaharimisviisi kasutatud viimased 8 aastat ja Tartumaa põllul 5 aastat. Enne otsekülvile üleminekut oli kasutusel künnipõhine maaharimine.

Tabel 1. Otsekülvi ja künnipõhise maaharimise katsealad

Variant	Mullaliik, lõimis	Põllumassiiv	Koordinaadid
Otsekülv	LPg, saviliiv	67843892480	58°3'03,4 27°02'11,4
Künnipõhine (kontroll)	LPg, saviliiv	67943946127	58°19'18,6 26°39'0,21
Otsekülv	LP, saviliiv	64546285939	58°17'3,85 26°29'28,37
Künnipõhine (kontroll)	LP, saviliiv	64646334167	58°17'9,97 26°29'35,48

Minimeeritud harimise mõju hindamiseks valiti kaks põldu (Min1 ja Min2) (tabel 2). Eelnevate kontrollvariandiks künnipõhise maaharimisega põld (K1). Eelnimetatud põllud asuvad kõik Tartumaal. Min1 põllult koguti andmed 1. septembril ja Min2 põllult 31. augustil. Künnipõhise maaharimisega põllult koguti andmed 30. augustil. Minimeeritud harimist on rakendatud Min1 põllul 8 aastat ja Min2 põllul 5 aastat. Enne minimeeritud harimisele üleminekut oli kasutusel tavatehnoloogia.

Tabel 2. Minimeeritud harimise ja künnipõhise maaharimise katsealad

Variant	Mullaliik, lõimis	Põllumassiiv	Koordinaadid
Künnipõhine (K1)	LP(g), kerge liivsavi	63346184800	58°16'7,09 26°16'52,84
Minimeeritud harimine (Min1)	LP(g), kerge liivsavi	63546537656	53°3'03,4 27°02'11,4
Minimeeritud harimine (Min2)	LP(g), kerge liivsavi	63446042876	58°16'7,09 26°16'52,84

Minimeeritud harimise põldudel ja nende kontrollvariandil oli mullaliigiks gleistumistunnustega pruun näivleetunud muld (LP(g)). Minimeeritud harimise põldudel ja nende kontrollvariandil oli lõimiseks kerge liivsavi (ls_1). Huumushorisoni tusedus varieerus katsekohtades 26...40 cm.

2.2 Muldade visuaalne hindamine

Muldade visuaalseks hindamiseks kasutati rahvusvahelise projekti „Interaktiivne mulla kvaliteedi hindamine Euroopas ja Hiinas põllumajandusliku tootlikkuse ja keskkonna jätkusuutlikkuse tagamiseks (iSQAPER)“ (Interactive soil quality...2018) raames välja töötatud mulla kvaliteedi visuaalse hindamise juhendit. Visuaalse hindamise käigus hinnati järgmisi näitajaid: vesi mulla pinnal, künnitihes, penetromeetriline takistus, mulla poorsus, struktuur, agregaatide stabiilsus, erosioon, mulla reaktsioon, elustiku mitmekesisus, mulla värvus ja labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus. Hinnati 30 cm sügavuse ulatuses ühe ruutmeetri suurust ala ühel põllul kolmes kõige iseloomulikumas kohas. Parameetritele anti hinnang 3-punkti süsteemis järgneval põhimõttel: 0 – väga halb, 1 – rahuldav, 2 – hea. Hinnangu tulemused liideti ja leiti keskmine tulemus kõikide parameetrite peale kokku.

Vett mulla pinnal ehk vee imendumist mulda hinnati taimede kasvu ajal, kui muld oli veega küllastatuse lähedal ning loeti päevi pärast vihmase du põhimõttel: 2 – vett pole mulla pinnal pärast 1 päeva, 1 – vesi kuni 3 päeva ja 0 – vesi kauem kui 3 päeva mulla pinnal. Künnetihese kirjeldamiseks tehti 50 cm sügavuseni mullakaevu ning hinnati kaevu seinu: 2 – tihes pole, 1 – kerge tihenemine, 0 – tugev tihes. Penetromeetiline takistus määrati 0,4 m sügavuseni, penetromeetriga, millel oli 1 cm² koonus. Penetromeetriga tehti 10 torget 0,5 m raadiuses hindamiskohast ning arvutati korduste ja kohtade keskmine: 2 – <2 MPa, 1 – 2...3 MPa ja 0 – >3 MPa. Mulla poorsuse hindamiseks kaevati 30x30x30 cm suurune kuubik välja ning iseloomustati makro- ja mikropooride hulka järgmiselt: 2 – palju makro- ja mikropoore agregaatide vahel, kaasneb hea struktuursusega, 1 – makro- ja mikropooride hulk vähenenud, väljendades keskmist tihenemist, 0 – makro- ja mikropoore pole näha, üksikud praod. Struktuursuse hindamiseks eraldati 20x20x20 cm kuubik, millest eemaldati ülemine 5 cm kiht. Mullal lasti kukkuda 1 m kõrguselt kõvale alusele ning suurematel tükkidel maksimaalselt kuni 3 korda. Suuremad tükid sorteeriti aluse ühte ning väiksemad teise serva ning iseloomustati: 2 – valdavalt peened agregaadid, 1 – poole anuma jagu suuri agregate, 0 – enamus anumades on suured agregaadid. Struktuuri agregaatide stabiilsuse määramiseks valiti kolm 4...6 cm diameetriga õhukuiva agregaati, mis pandi 1 cm² võrgule 5...10 minutiks 11 veepurki. Seejärel hinnati agregaatide stabiilsust: 2 – muutust pole, selge vesi, 1 – osaliselt pudenenud, 0 – enamus pudenenud, vesi hägune.

Katsekohtade erosioonitundlikkust hinnati harimise ajal ning iseloomustati tolmutipude suurust, ära kantud materjali kogust, huumushorisoni tuseduse erinevust künka tipus ja nõos. Punktide anti järgmiselt: 2 – pindmise mullakihi tusedus on nõos alla 15 cm suurem kui künkatipul, 1 – pindmise mullakihi tusedus on nõos 15...30 cm suurem võrreldes künkatipuga, 0 – nõos on pindmise mullakihi tusedus üle 30 cm suurem kui künkatipul. Mulla reaktsioon (pH_{H2O}) määrati 1:5 vesilahusest pH-meetriga laboris: 2 – 5,5...7,5, 1 – <5,5 või >7,5 ja 0 – <4,5 või >8. Elustiku mitmekesisuse hindamiseks loeti vihmausside arv 20x20x20 cm mullakuubikust käsitsi 5 minuti jooksul, mille tulemusena anti punktid: 2 – >8 tk, 1 – 4...8 tk, 0 – <4 tk. Mulla värvuse hindamiseks võrreldi põllu mulla huumushorisoni värvust põlluservas oleva, maaharimisest välja jääva, loodusliku mulla värvusega: 2 – muld tume, ei erine oluliselt looduslikust, 1 – muld veidi heledam looduslikust, 0 – muld hele, oluliselt erinev looduslikust. Labiilne orgaaniline süsinik määrati laboris kaaliumpermanganaadi lahusest spektromeetriga (McGarry: 32). Saviliiva (sl) lõimisega

muldi hinnati: 2 – >1, 1 – 0,5...1,0 ja 0 – <0,5. Liivsavi (ls) hindamiskriteeriumid olid järgmised: 2 – >1,4, 1 – 0,7...1,4, 0 – <0,7.

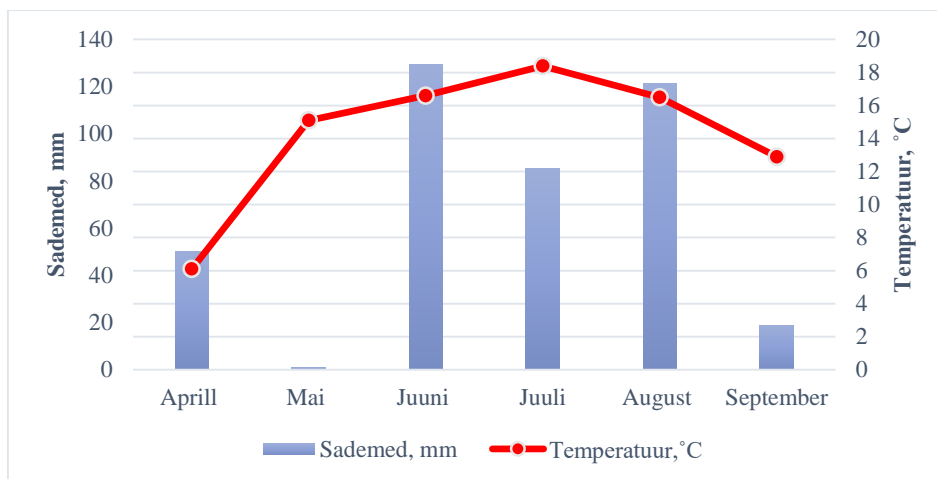
2.3 Laborianalüüsid

Laboratoorsed analüüsid tehti mulla keemiliste ja füüsikaliste parameetrite määramiseks. Lisaks kaaluti laboris põldudelt kogutud vihmausside elusmass. Põldudelt koguti mullaproovid 5...10 cm ja 25...30 cm sügavuselt 100 cm³ silindrite ja kilekottidega ning iga parameetri tulemused arvutati eeltoodud sügavuste keskmisest. Silindritega proovid koguti neljas korduses mõlemast sügavusest.

Esmalt kaaluti silinderproovid põllul oleva niiskusesisaldusega ning seejärel asetati veevanni 24-ks tunniks. Veega küllastunud proovid kaaluti ning pandi kaheks nädalaks liivatünnidesse. Seejärel pandi termostaati 48 tunniks 94°C juurde ning kaaluti uuesti. Eelnevate kaalumiste tulemusena arvutati lasuvustihedus, aeratsioonipoorsus, maksimaalne veehoiuvõime ja veesisaldus proovivõtmisel. Aeratsioonipoorsus leiti väliveemahutavuse ehk (pF 1,8) 60 hPa imamisjõu juures liivatünnidel. Veeläbilaskvus määrati veega küllastatud proovidest Hauben'i meetodil (Hauben water permeameter...2014). Vees stabiilsed struktuuri agregaadid määrati õhukuivadest proovidest Eijkelkamp märgsõelumise seadmel (Wet sieving apparatus...2008), kus neid loksutati 3 minutit. Selleks kasutati 0,25...2 mm suurusi agregate. Üldlämmastiku sisaldus mõõdeti Kjeldahli järgi (Procedures for soil analysis 2002). Liikuv P, K, Ca ja Mg leiti Mehlich-3 meetodil (Mehlich 3 extraction...2016). Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus määrati Tjurini meetodil (Vorobyova 1998).

2.4 Ilmastiku andmed

E-ilmajaamast saadi andmed sademete ja õhutemperatuuri kohta (joonis 1), mis on mõõdetud Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel (E-ilmajaam 2016).



Joonis 1. 2016. aasta keskmine õhutemperatuur ja sademete hulk aprillist septembrini E-ilmajaama andmetel (E-ilmajaam 2016).

Kõrgeimad õhutemperatuurid antud perioodil olid juunist augustini ning madalaimad aprillis ja septembris. Kõige vähem sademeid oli mais ja septembris. Sademeterohked olid juuni ja august. 2016. aasta augustis oli keskmine sademete hulk 121,2 mm ja septembris keskmiselt 18,6 mm. Augustikuu keskmine õhutemperatuur oli 16,5°C ja septembris 12,9°C.

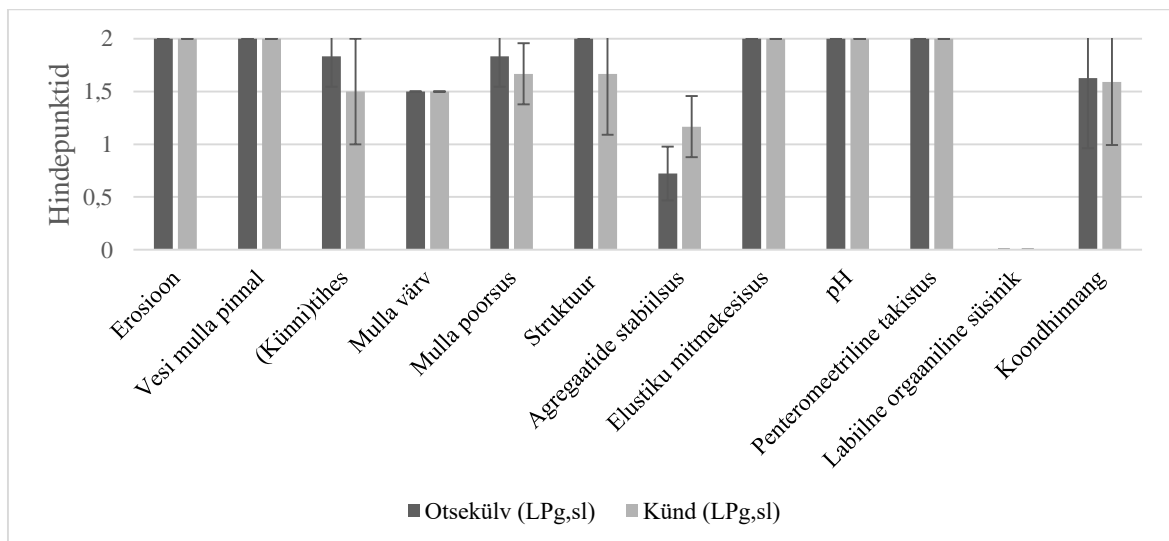
2.5 Andmeanalüüs

Mullaomaduste andmete analüüsiks kasutati kahefaktorilist ja ühefaktorilist dispersioonanalüüsi (ANOVA), et kontrollida statistilist olulisust. Lisaks tehti ka Tukey HSD test, millega teostati variantide vaheline võrdlus. Dispersioonanalüüs ja Tukey HSD test viidi läbi 95% usutavusnivoo juures. Andmete töötlemiseks kasutati programmi Statistica 64.

3. TULEMUSED

3.1 Mulla kvaliteedi visuaalse hindamise tulemused

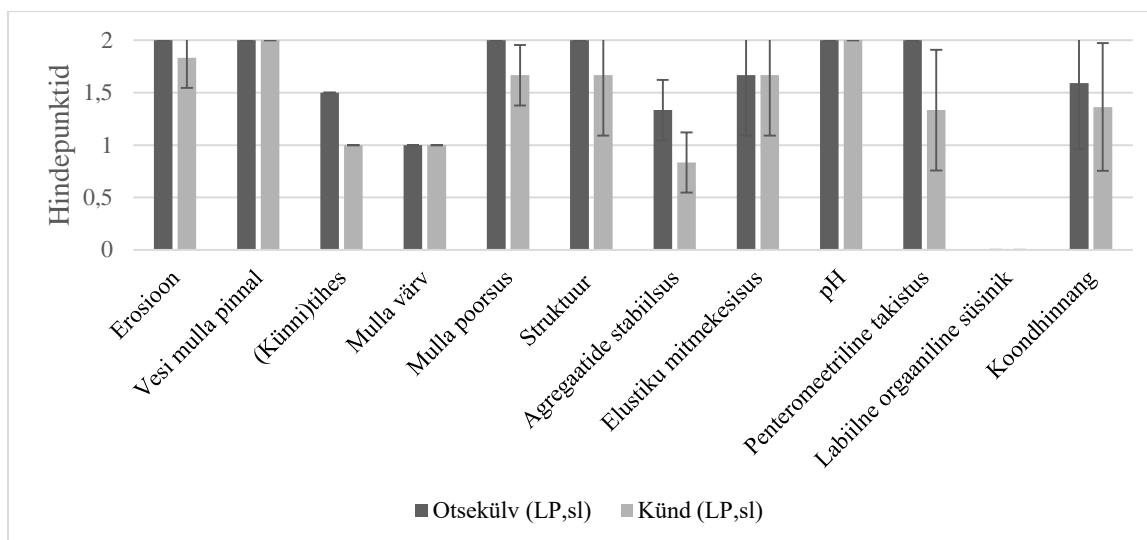
Visuaalse hindamise tulemusena leiti, et mõlemas katsekohas (joonis 2, 3) sai kõrgema koondhinde otsekülvi võrreldes künnipõhise maaharimisega. Gleistunud pruuni näivleeturud mullaga otsekülvi ja künnipõhise harimisega uurimiskohtade võrdlemisel selgus, et suurem poorsus ja parem struktuursus ehk rohkem oli peenemaid agregaatte kui suuri, oli otsekülvi variandil. Samuti anti ka kõrgem hinnang künnikihi aluse tihese olemasolu kohta otsekülvile. Samas agregaatide stabiilsus oli kõrgem künnipõhise maaharimisega põllul. Hinnang erosiooni, vee imendumise, mulla värvuse, elustiku mitmekesisuse, pH, penetromeetrilise takistuse ja labiilse orgaanilise süsiniku kohta olid samad nii otsekülvi kui ka künnipõhise maaharimisega gleistunud pruunil näivleeturud saviliivmullal.



Joonis 2. Erinevatele mulla parameetritele antud hinnang (0-halb, 1-rahuldav, 2-hea) otsekülvi ja künni võrdlusena gleistunud pruunil näivleeturud saviliivmullal (LPg,sl). Vertikaaljooned tähistavad standardhälvet (n=3).

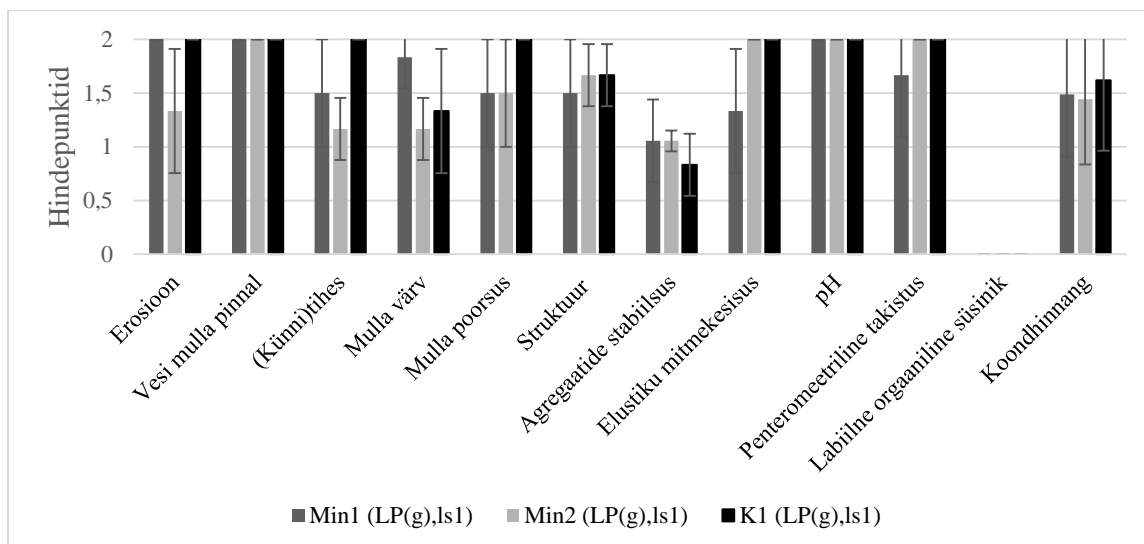
Parasniisket otsekülvi põldu võrreldes vastava kontrollvariandiga selgus, et esimene sai parameetrite osas kas kõrgema või ühesuguse hinnangu (joonis 3). Kõrgem tulemus saadi

erosiooni, künnitihese olemasolu, poorsust, struktuursust, agregaatide stabiilsust ja penetromeetrist takistust hinnates. Samaväärsed tulemused saadi hinnates vee imendumist mulda, värvust, elustiku mitmekesisust, pH-d ja labiilset orgaanilist süsinikku.



Joonis 3. Erinevatele mulla parameetritele antud hinnang (0-halb, 1-rahuldav, 2-hea) otsekülvi ja künni võrdlusena pruunil näivleetunud saviliiv mullal (LP,sl). Vertikaaljooned tähistavad standardhälvet (n=3).

Minimeeritud harimise ja künni võrdluses leiti, et visuaalsel hindamisel saadud mulla kvaliteedi koondhinnang oli kõrgem K1 põllul (joonis 4). Eelnevale järgnes Min1 ja kõige madalama koondhinde sai Min2 ala. Min1 tootmispõld sai parima hinnangu mulla värvuse osas võrreldes teiste variantidega, mis viitab suurema huumusesisalduse olemasolule. Samaväärne hinnang anti kõikidele katsevariantidele hinnates parameetreid vesi mulla pinnal ja pH, mis ühtlasi said ka kõrged punktid. Labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus oli kõikidel variantidel madal.



Joonis 4. Erinevatele mulla parameetritele antud hinnang (0-halb, 1-rahuldav, 2-hea) minimeeritud harimise variantide (Min1 ja Min2) ja künni (K1) võrdlusena gleistumistunnustega pruunil näivleetunud kerge liivsavi lõimisega mullal (LP(g), ls₁). Vertikaaljooned tähistavad standardhälvet (n=3).

Künnipõhise maaharimisega variant sai kõrgeima tulemuse poorsust ja künnitihese olemasolu hinnates (joonis 4). Kõige vähem erosiooni oli kontrollvariandil ja Min1 tootmispõllul. Elustiku mitmekesisuse ja penetromeetrilise takistuse hinnang oli kõrgeim Min2 ja K1 põldudel. Agregaatide stabiilsus oli ainuke parameeter, mida hinnati mõlemal minimeeritud harimisega põllul kõrgemini võrreldes künniga.

3.2 Otsekülvi mõju mulla füüsikalistele näitajatele

Visuaalse hindamise hulka kuulus ka mulla penetromeetrilise takistuse mõõtmine. Statistilisel analüüsil leiti, et mullaliigil üksi oli usutav mõju penetromeetrilisele takistusele 5 cm (p=0,007) ja 10 cm (p=0,046) ning 45...55 cm (p<0,001) sügavusel mulla profiilis otsekülvi ja künni võrdluses (tabel 3). 20 cm sügavusel oli statistiliselt oluline mõju harimissüsteemil (p=0,024) ning selle ja mullaliigi koosmõjul (p=0,010). Statistiliselt usutav mõju oli harimissüsteemi ja mullaliigi koosmõjul 15 cm (p=0,26), 25 cm (p=0,018), 30 cm (p=0,003) ja 35 cm (p<0,001) sügavusel. 40 ja 60 cm sügavusel avaldas penetromeetrilisele takistusele statistiliselt usutavat mõju harimissüsteem, mullaliik ja nende koosmõju.

Tabel 3. Katsefaktorite mõju mulla penetromeetrilisele takistusele sügavuste kaupa otsekülvi ja künni võrdluses (ANOVA)

Sügavus, cm	p-väärtus		
	Faktor		
	Harimissüsteem (A)	Mullaliik (B)	A*B
5	0,744	0,007*	0,082
10	0,554	0,046*	0,375
15	0,164	0,257	0,026*
20	0,024*	0,089	0,010*
25	0,546	0,139	0,018*
30	0,237	0,623	0,003*
35	0,258	0,473	<0,000*
40	0,049*	0,001*	0,027*
45	0,475	<0,001*	0,161
50	0,153	<0,001*	0,619
55	0,324	<0,001*	0,620
60	0,006*	<0,001*	0,047*

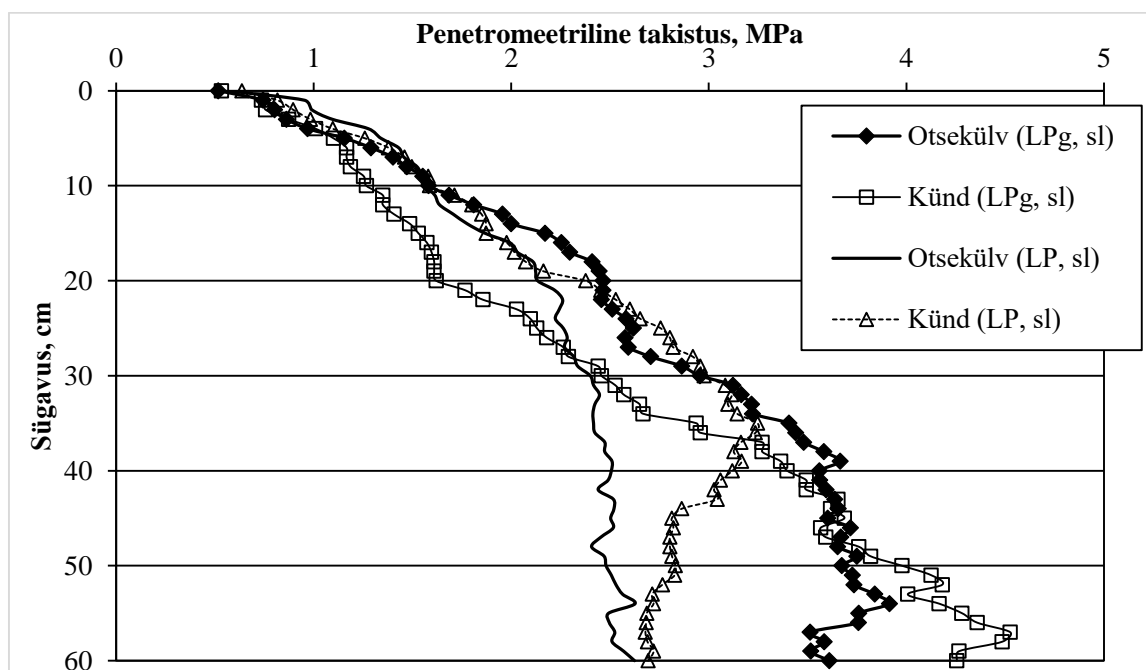
*tähistab faktori või nende koosmõju usutavaid p-väärtuseid 95% usutavusnivoo juures

Üldiselt oli mulla penetromeetriline takistus kõrgem gleistunud mulla otsekülvil võrreldes künniga ja parasniiske mullaga vastupidi (tabel 4). Statistiliselt usutav erinevus leiti 20 cm sügavusel mullas gleistunud mullaga variantide vahel, kus otsekülvil oli suurem mulla kõvadus (2,24 MPa) võrreldes künniga (1,61 MPa). Samas sügavamates mullakihtides (50...60 cm) oli penetromeetriline takistus suurem üldiselt künnil võrreldes otsekülviga (joonis 5), mis ilmselt tuleneb traktori tagumise ratta sõitmisest avatud künnivaos, mis soodustab tihenemist veel sügavamal mulla profiilil. 60 cm sügavusel esines ka variantide vaheline statistiliselt usutav erinevus, millega leiti madalam mulla kõvadus otsekülvil (3,36 MPa) võrreldes künniga (4,27 MPa). Sama tulemuseni jõuti ka visuaalse hindamisega, kus leiti künnitihes kontrollvariandil. Parasniiske mulla harimissüsteemide võrdluses leiti, et 30...40 cm sügavusel oli künni variandil statistiliselt usutavalt suurem penetromeetriline takistus võrreldes otsekülviga, mis viitab künnitihese olemasolule, kuna pärast antud sügavust vähenes märgatavalt mulla kõvadus.

Tabel 4. Keskmise penetromeetriline takistus (MPa) ja standardhälve sügavuste kaupa otsekülvi ja künni võrdluses pruunil näivleeturud saviliivmullal (LP, sl) ja gleistunud pruunil näivleeturud saviliivmullal (LPg, sl), n=30

Sügavus, cm	Penetromeetriline takistus, MPa			
	Otsekülv (LPg, sl)	Künd (LPg, sl)	Otsekülv (LP, sl)	Künd (LP, sl)
5	0,89±0,42	1,01±0,61	1,28±0,50	1,10±0,31
10	1,42±0,47	1,25±0,63	1,55±0,51	1,58±0,80
15	1,90±0,44	1,49±0,62	1,78±0,51	1,87±0,82
20	2,24 ^a ±0,72	1,61 ^b ±0,61	2,12±0,55	2,16±0,81
25	2,35±0,73	2,10±0,86	2,22±0,65	2,65±0,93
30	2,71±0,89	2,44±0,95	2,34 ^a ±0,57	2,96 ^b ±0,84
35	3,09±0,81	2,67±0,85	2,41 ^a ±0,50	3,14 ^b ±0,77
40	3,40±0,86	3,36±1,12	2,51 ^a ±0,52	3,17 ^b ±0,73
45	3,73±1,11	3,62±1,09	2,52±0,57	2,86±0,56
50	3,65±1,21	3,82±1,14	2,47±0,61	2,81±0,54
55	3,88±1,40	4,17±1,19	2,63±0,77	2,72±0,44
60	3,36 ^a ±1,31	4,27 ^b ±1,33	2,57±0,66	2,72±0,35

Erinevad tähed tähistavad statistiliselt usutavaid erinevusi $p < 0,05$ (Tukey test) variantide vahel ühe mullaliigi piires, tähtede puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu. ± tähistab standardhälvet.



Joonis 5. Mulla penetromeetriline takistus otsekülvi ja künni võrdlusena pruunil näivleeturud saviliivmullal (LP, sl) ja gleistunud pruunil näivleeturud saviliivmullal (LPg, sl), n=30.

Harimissüsteemil esines statistiliselt oluline mõju aeratsioonipoorsusele ($p=0,015$) otsekülvi ja künnipõhise maaharimise võrdluses (tabel 5). Lasuvustihedusele, veesisaldusele, veeläbilaskvusele ja vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldusele ei avaldanud harimissüsteem statistiliselt olulist mõju. Mullaliik üksi ei avaldanud statistiliselt usutavat

mõju mulla füüsikalistele omadustele. Samas leiti, et lasuvustihedusele ($p=0,016$), veesisaldusele ($p<0,001$) ja maksimaalsele veehoiuvõimele ($p=0,001$) oli statistiliselt usutav koosmõju harimissüsteemil ja mullaliigil.

Tabel 5. Katsefaktorite mõju otsekülvi ja künni variantide mulla füüsikalistele näitajatele (ANOVA)

Faktor	p-väärtus					
	Lasuvusti- dus (g cm^{-3})	Veesisal- dus (mahu%)	Maksi- maalne veehoiu- võime (%)	Aeratsioonip- oorsus (%)	Veeläbilask- vus (cm d^{-1})	Vees stabiilseid struktuuri- agregate (%)
Harimissüs- teem (A)	0,104	0,293	0,135	0,015*	0,957	0,749
Mullaliik (B)	0,452	0,746	0,189	0,600	0,845	0,763
A x B	0,016*	<0,001*	0,001*	0,736	0,522	0,351

*tähistab faktori või nende koosmõju usutavaid p-väärtuseid 95% usutavusnivoo juures

Otsekülvi põllul oli lasuvustihedus suurem kui küntud alal gleistunud mullaga tootmis põldude võrdluses, kuid variantide vahelist statistiliselt usutavat erinevust ei esinenud (tabel 6). Vastupidine tulemus leiti parasniiske mullaga variantide võrdlemisel. Eelnimetatud künni variandil oli $0,07 \text{ g cm}^{-3}$ võrra suurem lasuvustihedus võrreldes otsekülviga. Samuti esines harimissüsteemide vaheline statistiliselt usutav erinevus.

Tabel 6. Otsekülvi ja küntud põldude mulla füüsikalised näitajad ja standardhälve pruunil näivleeturunud saviliivmullal (LP, sl) ja gleistunud pruunil näivleeturunud saviliivmullal (LPg, sl) (n=12)

	Otsekülv (LPg, sl)	Künd (LPg, sl)	Otsekülv (LP, sl)	Künd (LP, sl)
Lasuvustihedus (g cm^{-3})	1,45±0,06	1,44±0,09	1,42 ^a ±0,12	1,49 ^b ±0,12
Veesisaldus (mahu%)	29,1 ^a ±2,69	32,0 ^b ±3,41	33,0 ^a ±3,73	26,0 ^b ±4,02
Maksimaalne veehoiuvõime (%)	44,3±2,16	45,8±3,48	48,1 ^a ±5,24	43,6 ^b ±3,97
Aeratsioonipoorsus (%)	24,5±3,00	22,7±3,62	24,4±4,98	22,2±4,79
Veeläbilaskvus (cm d^{-1})	584,1±611,01	530,6±593,88	391,7±569,63	454,5±576,59
Vees stabiilseid struktuuriagregate (%)	42,9±2,66	44,1±6,54	45,4±9,89	42,9±5,66

Erinevad tähed tähistavad statistiliselt usutavaid erinevusi $p<0,05$ (Tukey test) variantide vahel ühe mullaliigi piires, tähtede puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu. ± tähistab standardhälvet.

Veesisaldus oli gleistunud mullaga tootmispõllu künni variandil 2,9% suurem võrreldes otsekülviga (tabel 6). Parasniiske mullaga otsekülvi tootmispõllul oli 7% suurem veesisaldus võrreldes künniga. Samuti esines ka variantide vahelised statistiliselt usutavad erinevused. Maksimaalne veehoiuvõime oli suurem künnipõhisel gleistunud näivleetunud mullal võrreldes otsekülviga, kuid variantide vahelist statistiliselt usutavat erinevust ei leitud. Samas parasniiske otsekülvi põllul leiti 4,5% suurem maksimaalne veehoiuvõime võrreldes künniga, mis olid statistiliselt usutavalt erinevad. Otsekülvi variantidel oli aeratsioonipoorsus suurem võrreldes künniga. Gleistunud pruuni näivleetunud mullaga oli otsekülvil 1,8% suurem aeratsioonipoorsus ja parasniiske mullaga 2,2% suurem. Veeläbilaskvus oli gleistunud näivleetunud otsekülvi mullal suurem võrreldes künniga. Parasniiske mullaga oli suurem veeläbilaskvus künnil võrreldes otsekülviga, samuti olid antud parameetri tulemused väga suure variatiivsusega. Vees stabiilsete struktuuri agregaatide sisaldus oli gleistunud mullaga suurem künnivariandil ja parasniiske mullaga otsekülvil. Statistiliselt usutavat variantide vahelist erinevust ei leitud aeratsioonipoorsuse, veeläbilaskvuse ja vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisalduse osas.

3.3 Otsekülvi mõju mulla keemilistele ja bioloogilistele näitajatele

Harimissüsteemil, mullaliigil ning nende koosmõjul esines statistiliselt oluline mõju labiilse orgaanilise süsiniku sisaldusele ($p < 0,001$) ja magneesiumi sisaldusele (vastavalt $p = 0,034$; $p = 0,026$ ja $p = 0,006$) otsekülvi ja künni võrdluses (tabel 7). Harimissüsteemil ja mullaliigil oli statistiliselt oluline mõju süsiniku ja lämmastiku suhtele ($p = 0,001$). Mullaliigil oli statistiliselt oluline mõju fosforile ($p < 0,001$), kaltsiumile ($p = 0,040$), vihmausside arvukusele ($p = 0,015$) ja savi sisaldusele ($p < 0,001$). Harimissüsteemi ja mullaliigi koosmõju oli statistiliselt oluline liiva ja tolmu sisaldusele ($p = 0,001$).

Tabel 7. Katsefaktorite mõju otsekülvi ja künni variantide mulla keemilistele ja bioloogilistele näitajatele ning lõimisele (ANOVA)

	p - väärtus		
	Faktor		
	Harimissüsteem (A)	Mullaliik (B)	A x B
N _{üld} (%)	0,707	0,411	0,149
C _{org} (%)	0,117	0,296	0,054
C/N	0,001*	0,001*	0,140
C _{org} , labiilne (%)	<0,001*	<0,001*	<0,001*
pH _{H2O}	0,743	0,174	0,219
P (mg kg ⁻¹)	0,495	<0,001*	0,141
K (mg kg ⁻¹)	0,846	0,067	0,647
Ca (mg kg ⁻¹)	0,475	0,040*	0,129
Mg (mg kg ⁻¹)	0,034*	0,026*	0,006*
Vihmausside arvukus (tk)	0,097	0,015*	0,600
Vihmausside elusmass (g)	0,370	0,742	0,516
liiv (%)	0,369	0,858	0,001*
savi (%)	0,065	<0,001*	0,155
tolm (%)	0,209	0,492	0,001*

*tähistab faktori või nende koosmõju usutavaid p - väärtuseid 95% usutavusnivoo juures; N_{üld} - üldine lämmastik; C_{org} - orgaaniline süsinik; C/N - süsiniku ja lämmastiku suhe; C_{org}, labiilne - labiilne orgaaniline süsinik; pH_{H2O} - mulla happesus vesilahusest määratuna; P - liikuv fosfor; K - liikuv kaalium; Ca - liikuv kaltsium; Mg - liikuv magneesium; liiv- >0,63...2 mm; savi- <0,002 mm, tolmu - ,002...0,63 mm.

Gleistunud pruuni näivleetunud mulla otsekülvi ja künni võrdlemisel leiti, et viimasel oli suurem üldise lämmastiku, orgaanilise süsiniku ja labiilse orgaanilise süsiniku sisaldused (tabel 8). Samuti oli künnivariandil 2,74 ühiku võrra suurem süsiniku ja lämmastiku suhe. Antud parameeter oli ainuke, mille korral esines variantide vaheline statistiliselt oluline erinevus gleistunud pruuni näivleetunud mullaga harimissüsteemide võrdluses. Fosfori, kaaliumi, kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused ja mulla reaktsioon oli kõrgem otsekülvi variandil. Vihmausside loendamisel leiti suurem vihmausside arvukus küntud alalt võrreldes otsekülviga. Samuti oli suurem elusmass küntud alal võrreldes otsekülviga. Liiva sisaldus oli suurem otsekülvi alal (55,6%) võrreldes künniga (48,9%). Tolmu (42,6%) ja savi (8,5%) sisaldus oli suurem künni variandil võrreldes otsekülviga (37,2% ja 7,2%). Statistiliselt usutavad erinevused puudusid variantide vahel liiva, savi ja tolmu sisalduses, mis tähendab, et mullad olid lõimiselt sarnased.

Tabel 8. Otsekülvi ja küntud põldude mulla keemilised ja bioloogilised näitajad, lõimis ning standardhälve pruunil näivleeturud saviliivmullal (LP, sl) ja gleistunud pruunil näivleeturud saviliivmullal (LPg, sl) (n=6)

	Otsekülv (LPg, sl)	Künd (LPg, sl)	Otsekülv (LP, sl)	Künd (LP, sl)
N _{üld} (%)	0,1±0,01	0,12±0,02	0,13±0,05	0,11±0,03
C _{org} (%)	0,95±0,16	1,38±0,27	1,06±0,37	1,01±0,32
C/N	9,15 ^a	11,89 ^b	7,98	9,21
C _{org, labiilne} (%)	0,68±0,002	0,69±0,011	0,68 ^a ±0,004	0,54 ^b ±0,021
pH _{H2O}	6,37±0,46	6,18±0,15	6,4±0,12	6,72±0,43
P (mg kg ⁻¹)	50,27±11,9	41,87±6,0	25,53±11,8	28,69±4,9
K (mg kg ⁻¹)	98,07±20,6	87,27±29,9	122,17±48,6	126,55±52,1
Ca (mg kg ⁻¹)	1006,84±334,2	924,91±93,5	1065,59±2017,5	1286,94±229,3
Mg (mg kg ⁻¹)	138,81±19,0	119,35±5,4	122,62 ^a ±16,4	251,84 ^b ±115,4
Vihmausside arvukus (tk)	18,33±4,5	22±4,4	8,33±3,8	15,0±2,8
Vihmausside elusmass (g)	8,25±1,7	8,68±2,6	6,61±6,1	9,23±3,6
Liiv (%)	55,6±4,0	48,9±5,8	46,6 ^a ±6,9	57,2 ^b ±3,1
Savi (%)	7,2±0,4	8,5±0,7	9,6±0,9	9,8±1,3
Tolm (%)	37,2±4,3	42,6±5,5	43,8 ^a ±6,2	33,1 ^b ±3,7

Erinevad tähed tähistavad statistiliselt usutavaid erinevusi $p < 0,05$ (Tukey test) variantide vahel. Tähtede puudumisel usutavaid erinevusi ei leitud; ± tähistab standardhälvet; N_{üld} - üldine lämmastik; C_{org} - orgaaniline süsinik; C/N - süsiniku ja lämmastiku suhe; C_{org, labiilne} - labiilne orgaaniline süsinik; pH_{H2O} - mulla happesus vesilahusest määratuna; P - liikuv fosfor; K - liikuv kaalium; Ca - liikuv kaltsium; Mg - liikuv magneesium; liiv- >0,63...2 mm; savi- <0,002 mm, tolmu- 0,002...0,63 mm.

Parasniiske mulla otsekülvi variandi võrdlemisel künnipõhise maaharimisviisiga leiti, et otsekülvil olid suuremad üldise lämmastiku, orgaanilise süsiniku ja labiilse orgaanilise süsiniku keskmised sisaldused (tabel 8). Viimase näitaja korral oli olemas ka variantide vaheline statistiliselt usutav erinevus, millega oli otsekülvil 0,14% suurem sisaldus. Samas oli otsekülvil kitsam süsiniku ja lämmastiku suhe (7,98) võrreldes künniga (9,21). Otsekülvi variandil oli väiksemad fosfori, kaaliumi, kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused ning pisut happelisem reaktsioon võrreldes künniga. Otsekülvil oli madalam vihmausside arvukus ja elusmass võrreldes künniga. Statistiliselt usutav erinevus variantide vahel leiti magneesiumi, liiva ja tolmu sisalduses. Magneesiumi sisaldus oli kontrollvariandil suurem (251,84 mg kg⁻¹) kui otsekülvil (122,62 mg kg⁻¹). Otsekülvi variandil oli madalam liiva (46,6%) ja savi (9,6%) sisaldus võrreldes künniga (vastavalt 57,2% ja 9,8%). Tolmu sisaldus oli suurem otsekülvil (43,8%) võrreldes künniga (33,1%). Statistiliselt usutavad erinevused leiti liiva ja tolmu sisalduse kohta parasniiske mullaga variantide vahel.

3.4 Minimeeritud harimise mõju mulla füüsikalistele näitajatele

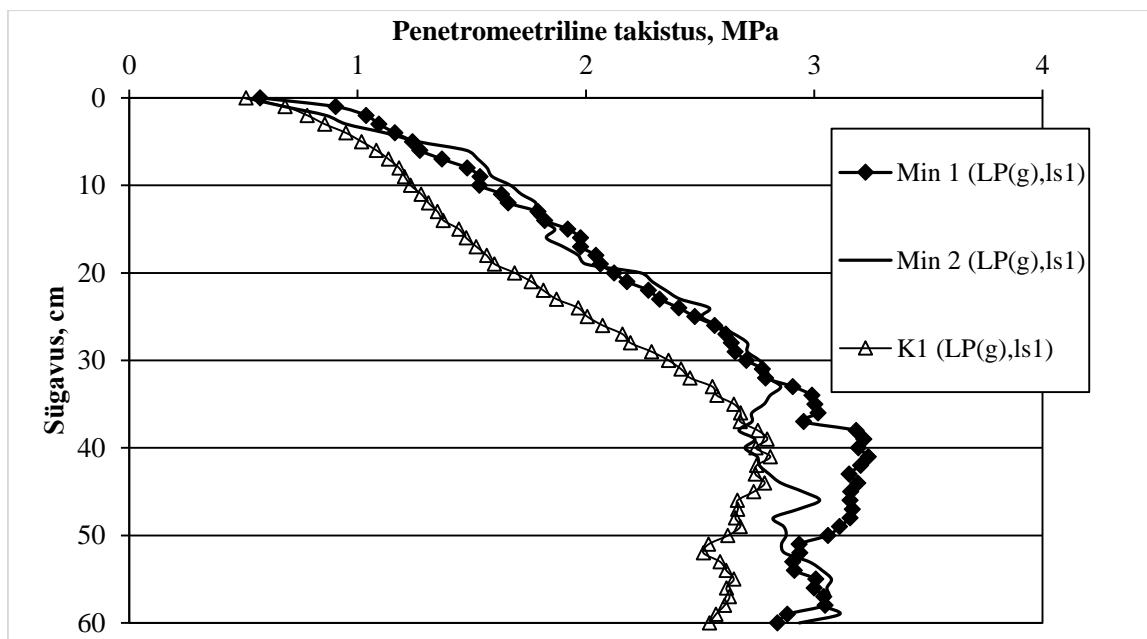
Minimeeritud harimise ja künni võrdluses leiti, et harimissüsteemil oli statistiliselt usutav mõju penetromeetrilisele takistusele 10...60 cm sügavusel mulla profiilis (tabel 9). Statistiliselt usutavat mõju ei leitud mulla kõvaduse suhtes 5 cm sügavusel.

Tabel 9. Katsefaktori mõju mulla penetromeetrilisele takistusele sügavuste kaupa minimeeritud harimise ja künni võrdluses (ANOVA)

Sügavus, cm	p-väärtus
	Faktor Harimissüsteem
5 cm	0,138
10 cm	0,001*
15 cm	<0,001*
20 cm	<0,001*
25 cm	<0,001*
30 cm	<0,001*
35 cm	<0,001*
40 cm	0,001*
45 cm	0,002*
50 cm	0,002*
55 cm	0,001*
60 cm	0,001*

*tähistab faktori mõju usutavaid p-väärtuseid 95% usutavusnivoo juures

Mullakõvadus oli igas uuritud sügavuses kõrgem minimeeritud harimise variantidel võrreldes künniga (joonis 6, tabel 10). Statistiliselt usutav erinevus leiti künni ja mõlema minimeeritud harimise variantide vahel 10...30 cm ning 55...60 cm sügavusel. Tulemused ühtisid visuaalse hindamise tulemustega tihese kohta, millega leiti, et kontrollvariandil puudus künnitihes. Kontrollvariandi ja Min1 tulemuste vahel esines statistiliselt usutav erinevus 40...50 cm sügavusel mullas, kuid Min2 alaga mitte. Alates 20 cm sügavuselt ületas minimeeritud harimise aladel mulla kõvadus 2 MPa.



Joonis 6. Mulla penetromeetriline takistus minimeeritud harimise katsevariantide (Min1, Min2) ja künni (K1) võrdlusena gleistumistunnustega pruunil näivleetunud kerge liivsavi lõimisega mullal (LP(g), ls₁), n=30.

Tabel 10. Keskmise penetromeetriline takistus (MPa) ja standardhälve sügavuste kaupa künni (K1) ja minimeeritud harimise võrdluses (Min1, Min2) gleistumistunnustega pruunil näivleetunud kerge liivsavi lõimisega mullal (LP(g), ls₁) (n=30)

Sügavus, cm	K1 (LP(g), ls ₁)	Min1 (LP(g), ls ₁)	Min2 (LP(g), ls ₁)
	Penetromeetriline takistus, MPA		
5	0,97±0,56	1,16±0,54	1,12±0,47
10	1,14 ^a ±0,57	1,54 ^b ±0,56	1,59 ^b ±0,45
15	1,25 ^a ±0,57	1,82 ^b ±0,55	1,80 ^b ±0,55
20	1,49 ^a ±0,59	2,06 ^b ±0,52	2,00 ^b ±0,59
25	1,78 ^a ±0,74	2,41 ^b ±0,70	2,54 ^b ±0,64
30	2,10 ^a ±0,54	2,65 ^b ±0,78	2,71 ^b ±0,60
35	2,26 ^a ±0,52	2,99 ^b ±0,95	2,81 ^b ±0,65
40	2,26 ^a ±0,58	3,22 ^b ±1,24	2,74 ^{ab} ±0,80
45	2,29 ^a ±0,66	3,19 ^b ±1,23	2,85 ^{ab} ±1,08
50	2,26 ^a ±0,68	3,11 ^b ±1,09	2,87 ^{ab} ±1,20
55	2,26 ^a ±0,72	2,91 ^b ±0,89	3,03 ^b ±1,10
60	2,27 ^a ±0,80	2,88 ^b ±0,75	3,11 ^b ±1,13

Erinevad tähed tähistavad statistiliselt usutavaid erinevusi $p < 0,05$ (Tukey test) variantide vahel, tähtede puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu. ± tähistab standardhälvet.

Harimissüsteem mõjutas statistiliselt oluliselt veesisaldust ($p < 0,001$) ja vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldust ($p = 0,010$) (tabel 11). Harimissüsteemil ei olnud statistiliselt usutavat mõju lasuvustihedusele, maksimaalsele veehoiuvõimele, aeratsioonipoorsusele ega veeläbilaskvusele.

Tabel 11. Katsefaktori mõju minimeeritud harimise ja künni variantide mulla füüsikalistele näitajatele (ANOVA)

Faktor	p-väärtus					
	Lasuvustihe- dus (g cm ⁻³)	Veesisaldus (mahu%)	Maksimaal- ne veehoiu- võime (%)	Aeratsiooni- poorsus (%)	Veeläbilask- vus (cm d ⁻¹)	Vees stabiilseid struktuuri agregate (%)
Harimissüs- teem	0,534	<0,001*	0,068	0,070	0,088	0,010*

*tähistab faktori mõju usutavaid p-väärtuseid 95% usutavusnivoo juures

Lasuvustihedus oli suurim Min1 tootmispõllul, millele järgnes K1 ja Min2 variandid (tabel 12). Samuti oli suurim mahuline veesisaldus Min1 katsealal võrreldes künni ja teise minimeeritud harimise variandiga. Statistiliselt usutav erinevus leiti künni ja Min2 vahel ning minimeeritud harimise põldude vahel. Veesisaldus oli suurem Min1 alal 5,2% ja K1 alal 4,6% võrreldes Min2 tootmispõlluga. Maksimaalne veehoiuvõime oli suurim kontrollvariandil, millele järgnesid minimeeritud harimise variandid. Ent statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud.

Tabel 12. Minimeeritud harimise (Min1, Min2) ja künni (K1) variantide mulla füüsikalised näitajad ja standardhälve gleistumistunnustega pruunil näivleetunud kerge liivsavi lõimisega mullal (LP(g), ls_i) (n=12)

	K1 (LP(g), ls _i)	Min1 (LP(g), ls _i)	Min2 (LP(g), ls _i)
Lasuvustihedus (g cm ⁻³)	1,48±0,14	1,50±0,10	1,46±0,05
Veesisaldus (mahu%)	29,5 ^a ±2,88	30,1 ^a ±3,93	24,9 ^b ±3,11
Maksimaalne veehoiuvõime (%)	44,8±4,73	43,9±1,97	42,5±2,60
Aeratsioonipoorsus (%)	23,6±5,27	21,8±5,87	25,1±2,51
Veeläbilaskvus (cm d ⁻¹)	920,4±717,11	185,5±211,76	387,7±379,81
Vees stabiilseid struktuuriagregate (%)	42,0 ^a ±7,45	44,0 ^{ab} ±6,22	51,2 ^b ±8,12

Erinevad tähed tähistavad statistiliselt usutavaid erinevusi p<0,05 (Tukey test) variantide vahel. Tähtede puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu. ± tähistab standardhälvet.

Aeratsioonipoorsus oli suurim Min2 tootmispõllul, millele järgnesid künnivariant ja teine minimeeritud harimise variant (tabel 12). Suurim veeläbilaskvus leiti künnivariandil ja väikseim Min1 variandil. Veeläbilaskvusel oli väga suur variatiivsus tulemuste seas, mis ilmselt tulenes muldade üldisest heterogeensusest. Vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus oli kõige suurem minimeeritud harimise tootmispõldudel. Statistiliselt usutav

erinevus leiti Min2 ja künni variandi vahel, millega esimesel oli 9,2% võrra suurem vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus.

3.5 Minimeeritud harimise mõju mulla keemilistele ja bioloogilistele näitajatele

Minimeeritud harimise variantidel oli tegemist sama mullaliigiga ning seetõttu uuriti ainult harimissüsteemi mõju mulla omadustele (tabel 13). Leiti, et üldise lämmastiku sisaldus ($p=0,044$), orgaanilise süsiniku sisaldus ($p=0,038$), süsiniku ja lämmastiku suhe ($p=0,001$) ning vihmausside elusmass ($p=0,016$) olid statistiliselt oluliselt mõjutatud harimissüsteemist.

Tabel 13. Katsefaktorite mõju minimeeritud harimise ja künni variantide mulla keemilistele ja bioloogilistele näitajatele ning lõimisele (ANOVA)

Faktori p - väärtus	
	Harimissüsteem
N _{üld} (%)	0,044*
C _{org} (%)	0,038*
C/N	0,001*
C _{org, labiilne} (%)	0,385
pH _{H2O}	0,168
P (mg kg ⁻¹)	0,186
K (mg kg ⁻¹)	0,424
Ca (mg kg ⁻¹)	0,835
Mg (mg kg ⁻¹)	0,232
Vihmausside arvukus (tk)	0,459
Vihmausside elusmass (g)	0,016*
liiv (%)	0,061
savi (%)	0,789
tolm (%)	0,060

*tähistab faktori mõju usutavaid p - väärtuseid 95% usutavusnivoo juures; N_{üld} - üldine lämmastik; C_{org} - orgaaniline süsinik; C/N - süsiniku ja lämmastiku suhe; C_{org, labiilne} - labiilne orgaaniline süsinik; pH_{H2O} - mulla happesus vesilahusest määratuna; P - liikuv fosfor; K - liikuv kaalium; Ca - liikuv kaltsium; Mg - liikuv magneesium; liiv - >0,63...2 mm; savi - <0,002 mm, tolm - 0,002...0,63 mm.

Minimeeritud harimise põldudel oli suurem üldise lämmastiku sisaldus 0,03% võrra ja orgaanilise süsiniku sisaldus 0,38% võrra võrreldes künniga (tabel 14). Kõige kitsam süsiniku ja lämmastiku suhe oli kontrollvariandil (7,89), millele järgnes Min1 (8,91) ja Min2

(9,43) variandid. Statistiliselt usutav erinevus leiti minimeeritud harimise põldude ja künni variandi vahel süsiniku ja lämmastiku suhte osas.

Tabel 14. Minimeeritud harimise (Min1, Min2) ja künni (K1) variantide mulla keemilised ja bioloogilised näitajad, lõimis ning standardhälve gleistumistunnustega pruunil näivleetunud kerge liivsavi lõimisega mullal (LP(g), ls₁) (n=6)

	K1 (LP(g), ls ₁)	Min1 (LP(g), ls ₁)	Min2 (LP(g), ls ₁)
N _{üld} (%)	0,11±0,03	0,14±0,02	0,14±0,02
C _{org} (%)	0,91±0,31	1,29±0,18	1,29±0,30
C/N	7,89 ^a	8,91 ^b	9,43 ^b
C _{org} , labiilne (%)	0,68 ^a ±0,006	0,63 ^b ±0,018	0,69 ^a ±0,003
pH _{H2O}	7,19 ^a ±0,10	7,14 ^{ab} ±0,14	6,77 ^b ±0,19
P (mg kg ⁻¹)	68,93 ^a ±46,9	128,82 ^b ±23,0	66,57 ^a ±22,3
K (mg kg ⁻¹)	202,53±83,1	257,41±59,0	202,43±45,2
Ca (mg kg ⁻¹)	1592,61±313,7	2001,14±527,6	1283,34±137,0
Mg (mg kg ⁻¹)	177,62±16,8	271,37±141,1	193,21±29,4
Vihmausside arvukus (tk)	17,33±6,4	7,67±4,0	18,67±7,0
Vihmausside elumass (g)	15,21 ^a ±6,7	3,4 ^b ±2,7	7,42 ^{ab} ±1,8
Liiv (%)	54,6±2,5	65,4±6,3	55,5±1,6
Savi (%)	11±0,7	11,2±4,4	10,1±1,5
Tolm (%)	34,4±2,7	23,4±2,9	34,5±2,0

Erinevad tähed tähistavad statistiliselt usutavaid erinevusi $p < 0,05$ (Tukey test) variantide vahel. Tähtede puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu; ± tähistab standardhälvet; N_{üld} - üldine lämmastik; C_{org} - orgaaniline süsinik; C/N - süsiniku ja lämmastiku suhe; C_{org}, labiilne - labiilne orgaaniline süsinik; pH_{H2O} - mulla happesus vesilahusest määratuna; P - liikuv fosfor; K - liikuv kaalium; Ca - liikuv kaltsium; Mg - liikuv magneesium; liiv - >0,63...2 mm; savi - <0,002 mm, tolmu - 0,002...0,63 mm.

Labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus oli suurim Min2 alal (tabel 14). Kontrollvariandil oli 0,05% suurem labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus võrreldes Min1 alaga ja Min2 alal oli 0,06% suurem sisaldus võrreldes Min1 alaga. Lisaks, leiti ka statistiliselt usutav erinevus labiilse orgaanilise süsiniku sisalduse osas Min1 ja künni vahel ning teise minimeeritud harimise variandi vahel. Mulla reaktsioon oli kõrgeim künni variandil, millele järgnesid Min1 ja Min2 variandid. Kontrollvariandil oli 0,42 ühiku võrra kõrgem mulla reaktsioon võrreldes Min2 alaga. Eeltoodud variantide vahel esines ka statistiliselt usutav erinevus. Min1 alal olid suurimad fosfori, kaaliumi, kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused. Samas olid suuremad fosfori, kaaliumi ja kaltsiumi sisaldused künni tootmispõllul võrreldes Min2 variandiga. Fosfori sisalduse suhtes leiti statistiliselt usutav erinevus Min1 ja künni ning teise minimeeritud harimissüsteemi variandi vahel, millega Min1 alal oli suurem sisaldus (128,82 mg kg⁻¹) võrreldes künnivariandiga (68,93 mg kg⁻¹) ja Min2 alaga (66,57 mg kg⁻¹). Magneesiumisisaldus oli suurem Min2 variandil võrreldes kontrollvariandiga. Vihmausside arvukus oli samuti suurim Min2 katsealal ja väikseim oli Min1 tootmispõllul.

Küntud ala vihmausside elusmass oli kõige suurem võrreldes minimeeritud harimise tootmispõldude tulemustega. Variantide vaheline statistiliselt usutav erinevus leiti Min1 ja künni variandi vahel. Suurim liiva sisaldus oli Min1 alal (65,4%), millele järgnes Min2 variant (55,5%) ja kontrollvariant (54,6%). Savi sisaldus oli suurim Min1 alal (11,2%), millele järgnes kontrollvariant (11%) ja Min2 (10,1%). Tolmu sisaldus oli kõige suurem Min2 alal (34,5%), millele järgnes kontroll (34,4%) ja Min1 (23,4%). Lõimiselt olid mullad sarnased, mida tõestas ka variantide vaheliste statistiliselt usutavate erinevuste puudumine.

4. ARUTELU

4.1 Otsekülvi mõju mulla kvaliteedinäitajatele

Muldade tihenemist iseloomustavad lasuvustihedus, penetromeetiline takistus ja künnialuse tihese olemasolu. Valdavalt positiivsem mõju mulla füüsikalistele omadustele leiti parasniiske mullaga otsekülvi tootmispõllul võrreldes künniga. Visuaalsel hindamisel leiti, et parem struktuursus oli otsekülvi põldudel võrreldes vastavate kontrollvariantidega. Parema struktuursuse võib esineda otsekülvi põldudel suurema mullaorganismide aktiivsuse tulemusena, kelle elutegevust maaharimise käigus häiritakse. Tihest oli samuti vähem otsekülvi põldudel, mis künnil tekib adra raskusest ja suuremast põllul tehtud tööde arvust. Sellega ühtis parasniiske mullaga tootmispõldude penetromeetrilise takistuse keskmine tulemus, millega leiti, et otsekülvi all oleva mulla kõvadus oli madalam võrreldes selle kontrollvariandiga. Samuti leiti statistiliselt usutav erinevus 30...40 cm sügavusel, viidates künnialuse tihese olemasolule. Seda näitas ka asjaolu, et sügavuse vähenedes, langes kontrollvariandi mulla kõvadus. Samas gleistunud pruuni näivleeturunud mullaga tootmispõldude võrdluses leiti, et otsekülvil oli vastupidiselt pisut suurem penetromeetiline takistus. Statistiliselt usutav erinevus leiti antud variantide vahel 20 cm sügavusel, kus otsekülvil ületas penetromeetiline takistus 2 MPa, mida üldiselt peetakse taimede juurekasvu pidurdavaks (Bengough et al. 2011). Erinevad autorid on leidnud, et penetromeetiline takistus on suurem otsekülvi põldudel võrreldes künniga (Romaneckas *et al.* 2015; Mueller *et al.* 2009). Otsekülvil põhjustab tihenemist asjaolu, et mulda ei kobestata ning samuti ka ühekülgne viljavaheldus võib põhjustada mulla halba struktuursust (Munkholm *et al.* 2013).

Eeltoodud tulemustega sarnanesid ka määratud lasuvustiheduse tulemused, millega leiti madalam lasuvustihedus parasniiske mullaga otsekülvi tootmispõllul võrreldes selle kontrollvariandiga. Lisaks esines statistiliselt usutav erinevus antud variantide vahel. Madalam lasuvustihedus otsekülvil võib olla põhjustatud väiksemast põllul tehtud tööde arvust, paremast struktuursusest ja poorsusest. Gleistunud pruuni näivleeturunud mullaga tootmispõldude võrdluses leiti suurem lasuvustihedus otsekülvi variandil, kuid statistiliselt usutavat erinevust variantide vahel ei leitud. Sarnaselt antud katse tulemustega on mitmed

autorid täheldanud suuremat lasuvustihedust otsekülviga võrreldes künniga (Nugis *et al.* 2016a; Nugis *et al.* 2016b; Regina *et al.* 2010; Šimanskaite 2008; Garbout *et al.* 2013; Erinevate viljelusmeetodite...2015: 58), mis tuleneb sellest, et mulda ei segata. Samas leiti, et harimissüsteemil ja mullaliigil esines statistiliselt usutav koosmõju, mis tähendab, et erinevused lõimises ja veerežiimis avaldavad mõju antud parameetritele. Madalam lasuvustihedus ja penetromeetiline takistus oli gleistunud mullaga künni ning parasniiske mullaga otsekülvi variantidel ilmselt põhjustatud suuremast veesisaldusest. Huumushorisoni lasuvustihedus sõltub peamiselt orgaanilise süsiniku sisaldusest ja veesisaldusest (Suuster *et al.* 2011), kusjuures suurema veesisalduse korral väheneb mulla lasuvustihedus ja penetromeetiline takistus (Schjonning, Thomsen 2013). Otsekülvi ja künnivariantide veesisalduste vahel esines statistiliselt usutav erinevus ning antud näitajale avaldas mõju ka harimissüsteemi ja mullaliigi koosmõju. Käesolevas töös oli suurema orgaanilise süsiniku sisaldusega variantidel ka suurem veesisaldus. Üldiselt on mulla veesisaldus suurem otsekülvi harimissüsteemiga võrreldes künniga (Nugis *et al.* 2016a), kuna on suurem ka orgaanilise süsiniku sisaldus, mis suurendab mulla veehoiuvõimet.

Maksimaalsele veehoiuvõimele oli statistiliselt oluline koosmõju harimissüsteemil ja mullaliigil ning variantide vaheline statistiliselt usutav erinevus leiti parasniiske mullaga tootmispõldude võrdluses. Maksimaalne veehoiuvõime oli suurem gleistunud pruuni näivleetunud künni ja pruuni näivleetunud otsekülvi variantidel. Mulla madalama lasuvustihedusega on üldiselt suurem maksimaalne veehoiuvõime, kuna mulla üldine poorsus on suurem. Poorsuse visuaalse hindamise käigus anti kõrgem hinnang otsekülvi põldudele. Mõõdetud aeratsioonipoorsus oli samuti suurem otsekülvi põldudel. Lisaks oli harimisviisil statistiliselt oluline mõju antud parameetritele. Tulemused ei ühti paljude varasemalt läbiviidud uuringutega, mille kohaselt on õhuga täidetud pooride osakaal küntud põldudel suurem (Šimanskaite 2008; Lipiec *et al.* 2006; Hussain *et al.* 1998; Martinez *et al.* 2016). Üldiselt tekib mulla pööramisega juurde rohkem suuri mittekapillaarseid poore. Otsekülvi põldude suurem aeratsioonipoorsus võis olla tingitud pisut väiksemast füüsilise savi sisaldusest ja biopooridest mullas antud variantide korral. Biopoorid tekivad üldiselt vihmaussi käikudest ja taimejuurte kobestavast toimest mullale (Wuest 2001), mis otsekülvil säilivad, kuid maaharimisega lõhutakse.

Katsealuste põldude mulla veeläbilaskvuse tulemused ning nende varieeruvused olid suhteliselt suured. Antud näitaja oli suurem gleistunud mulla otsekülvi variandil võrreldes

kontrollvariandiga ja parasniiske mullaga tootmispõldude võrdluses oli suurem see künni variandil. Antud variantide suurem veeläbilaskvus oli ilmselt põhjustatud pisut suuremast füüsikalise liiva sisaldusest ja madalamast veemahutavusest. Viimane sõltub omakorda orgaanilise süsiniku sisaldusest, mis oli madalama maksimaalse veehoiuvõimega variantidel väiksem. Samuti otsekülvi variandi suurem veeläbilaskvus võis olla tingitud vihmaussikäikudest ja biopooridest. Ent variantide vahelisi statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud. Vee liikumist mullas väljendav visuaalse hindamise parameeter (vesi mulla pinnal) samuti ei erinenud variantide vahel ning hinnati ühtemoodi kõrgelt.

Alla 2 mm vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus oli suurem gleistunud pruuni näivleetunud mullaga künni variandil võrreldes otsekülvi variandiga. Parasniiske mullaga tootmispõldude võrdluses leiti, et vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus oli suurem otsekülvi variandil. Samuti oli viimasel vähem erosiooni, mis võib olla põhjustatud suuremast agregaatide stabiilsusest. Sarnase tulemuseni jõudsid ka Tebrügge ja Düring (1999) Saksamaal tehtud katses, millega leiti, et suurem agregaatide stabiilsus oli otsekülvi aladel võrreldes künniga, mis tagas kaitse erosiooni ja pindmise kooriku tekkimise eest. Autorid tõid välja, et suurem agregaatide stabiilsus tuleneb taimejäänustest, mis jäetakse mulla pinnale. Suurem struktuuriagregaatide stabiilsus võis olla põhjustatud antud variantidel ka sellest, et orgaanilise süsiniku sisaldus oli neil pisut suurem. Variantide vahelist statistiliselt usutavat erinevust ei leitud vees stabiilsete struktuuri agregaatide sisalduses, kuid tulemused ühtisid visuaalse hindamise tulemustega.

Mullaharimine põhjustab muutusi mulla keemilistes ja bioloogilistes omadustes, mis mõjutavad mulla kvaliteeti. Viimasele avaldab olulist efekti mulla orgaaniline aine, mis mõjutab lisaks keemilistele ja bioloogilistele ka mulla füüsikalisi parameetreid nagu näiteks agregaatide stabiilsust (Chenu *et al.* 2000) ja veemahutavust (Mujdeci *et al.* 2017). Mulla orgaanilise aine sisaldust väljendab orgaanilise süsiniku sisaldus ja mulla värvus ning see on otseselt seotud mulda minevast taimsete ja loomsete jäänuuste kogusest. Üldise lämmastiku, orgaanilise süsiniku ja labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus oli suurim gleistunud pruuni näivleetunud mulla künni ja parasniiske mulla otsekülvi variandil, mis oli ilmselt põhjustatud suuremast orgaanilise aine sisaldusest. Variantide vaheline statistiliselt usutav erinevus puudus ning samuti ei esinenud harimissüsteemide vahel erisusi mulla värvusele antud hinnangus visuaalsel vaatlemisel, mis tähendab, et harimisel oli väike mõju orgaanilise süsiniku ja üldise lämmastiku sisaldusele. Dolan (*et al.* 2006) leidis samuti, et harimisel oli

väike mõju orgaanilise süsiniku sisaldusele 45 cm sügavuseni mulla profiilis. Autori arvates olid sellise tulemuse põhjuseks jahe kliima ja mullaliigist tulenevad füüsikalised omadused, mis mõjutavad orgaanilise süsiniku sisaldust mullas. Samas tõi autor välja, et erinevused olid olemas sügavuste kohta. Pindmises mullakihis, 0...20 cm sügavusel, oli suurem orgaanilise süsiniku ja lämmastiku sisaldus otsekülvil, kuid 20...25 cm sügavusel oli künnil suuremad sisaldused, mis tulenes taimejäänuste matmisest mulla pööramisega. Suurema orgaanilise aine sisaldusega künnikihi alumises osas kompenseeritakse orgaanilise süsiniku kadu mulla pindmises kihis, seega terve künnikihi kohta saadakse sarnased tulemused.

Statistiliselt oluline efekt oli harimissüsteemil, mullaliigil ja nende koosmõjul labiilse orgaanilise süsiniku sisaldusele, mis tähendab, et tulemused olid mõjutatud lisaks harimisele erisustest lõimise või veerežiimi osas. Statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel ei esinenud, välja arvatud pruuni näivleeturud mulla variantide korral, kus leiti suurem labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus otsekülvi põllul. Sellise tulemuseni jõudis ka Gajda ja Przewloka (2012) Poolas ning Hermle (*et al.* 2008) Šveitsis korraldatud uuringutes, kus leiti, et otsekülv soodustas labiilse orgaanilise süsiniku akumulatsiooni võrreldes künniga, mis tulenes mullapinna katmisest taimejäänustega. Käesoleva töö parasniiske mulla otsekülvi variandil oli samuti suurem orgaanilise süsiniku sisaldus, mistõttu oli ilmselt ka suurem labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus. Antud parameetri visuaalse hindamise tulemused olid kõigil katsevariantidel madalad ja erisusi välja ei tulnud. Harimissüsteemil ja mullaliigil oli statistiliselt oluline mõju süsiniku ja lämmastiku suhtele. Madalamad süsiniku ja lämmastiku suhted leiti otsekülvi põldudel võrreldes vastavate kontrollvariantidega, mis tuleneb intensiivsemast orgaanilise aine lagunemisest. Gleistunud pruuni näivleeturud mulla otsekülvi ja künni variantide vahel esines ka statistiliselt usutav erinevus. Sarnase tulemuseni jõudis ka Gajda ja Przewloka (2012) Poolas tehtud katses, mille kohaselt oli kõrgem süsiniku ja lämmastiku suhe künnivariandil. Otsekülvi korral jäetakse suurem kogus orgaanilist ainet mulla pinnale, mis loob lagundajatele soodsad tingimused.

Madalaim mulla reaktsioon leiti gleistunud mullaga künni ja parasniiske mullaga otsekülvi variantidel, mis võis olla põhjustatud suuremast mulla orgaanilise aine sisaldusest (Lopez-Fando, Pardo 2009), mille lagunemisel eralduvad orgaanilised happed, muutes mulla reaktsiooni madalamaks. Samas statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel ei esinenud ning puudus ka harimissüsteemi ja mullaliigi oluline mõju. Mitmed autorid on leidnud samuti, et harimissüsteemil ei ole olulist mõju mulla reaktsioonile (Willekens *et al.* 2014;

Staley, Boyer 1997; Romaneckas *et al.* 2016). Visuaalsel hindamisel anti samuti ühtmoodi kõrge hinnang kõigile katsevariantidele. Suuremad toiteelementide sisaldused (P, K, Ca, Mg) leiti gleistunud pruunil näivleetunud otsekülvi ja pruunil näivleetunud künni variandi mullas. Mullaliik avaldas statistiliselt olulist mõju fosfori ja kaltsiumi sisaldusele. Ent harimissüsteem ei mõjutanud piisavalt nende toiteelementide sisaldust, seega olid tulemused pigem tingitud erisugusest väetamisest tootmispõldudel ja veerežiimist. Sarnase tulemuse sai ka Romaneckas (*et al.* 2016) Leedus tehtud katses, kus leiti, et harimissüsteemil ei olnud statistiliselt olulist mõju mulla fosfori ja kaaliumi sisaldusele. Autor tõi välja, et erinevused esinesid siiski huumushorisondis, kuid sügavuste kaupa otsekülvil ja minimeeritud harimisel. Eelnimetatutel oli pindmises 0...15 cm mullakihis fosforit 59,0% ja kaaliumi 55,5% ja alumises 15...25 cm kihis vastavalt 44,5% ja 41,0% elementide kogu sisaldusest antud sügavuste kohta. Magneesiumi sisaldusele avaldas statistiliselt olulist mõju harimissüsteem, mullaliik ja nende koosmõju. Lisaks esines statistiliselt usutav erinevus pruuni näivleetunud mullaga variantide vahel. Mitmed autorid on leidnud, et magneesiumisisaldus on otsekülviga madalam võrreldes künniga (Thomas *et al.* 2007; Erinevate viljelusmeetodite...2015: 65). Suurem magneesiumi sisaldus võis tuleneda sellest, et künniga tuuakse üles alumistest kihtidest pärit mulda, mis sisaldab rohkem magneesiumi.

Vihmaussid on väga tundlikud keemilistele ja füüsikalistele muutustele mullas, mistõttu on nad oluliseks mulla kvaliteedi indikaatoriks (Paoletti 1999). Mullaharimise käigus hävitatakse otseselt vihmausse ja lõhutakse nende urgusid. Samuti paigutatakse ümber nende toiduvaru. Visuaalse hindamise käigus antud punktid ei erinenud harimissüsteemide vahel. Samuti leiti statistilisel analüüsil, et harimissüsteem ei mõjutanud oluliselt vihmausside arvukust ega elusmassi. Mullaliigil oli statistiliselt oluline mõju vihmausside arvukusele, kuid mitte elusmassile. Rohkem oli vihmausse gleistunud pruuni näivleetunud mullas võrreldes parasniiske mullaga, mis tuleneb sellest, et vihmaussid eelistavad niiskemat mulda. Suurem arvukus ja usside elusmass leiti mõlemas künnipõhise maaharimise variandis. Üldiselt on leitud, et mullaharimisel on halb mõju vihmaussidele, kuid kui seda tehakse ajal, mil vihmaussid ei ole aktiivsed võib olla selle mõju positiivne, kuna sellega purustatakse taimejäänused ja õhustatakse mulda (Vihmausside ja mulla...2010). Tavaliselt soodustab harimisintensiivsuse vähendamine vihmausside arvukuse suurenemist, kuid antud tulemus võib olla põhjustatud suuremast taimekaitsevahendite kasutamisest otsekülvil võrreldes künniga. Pestitsiididel on negatiivne mõju eelkõige nendele vihmaussi liikidele, kes elavad mulla pinnale lähemal või käivad toitumas seal (Pelosi *et al.* 2013). Lisaks on

leitud, et otsekülviga võib ilmned suurem pestitsiidide leostumine, millega nende jäägid satuvad sügavamatesse mullakihtidesse (Elias *et al.* 2018).

4.2 Minimeeritud harimise mõju mulla kvaliteedinäitajatele

Visuaalse hindamisega leiti, parem mulla kvaliteet künnipõhise maaharimisega variandile võrreldes minimeeritud harimise variantidega. Kõige optimaalsem struktuursus oli Min2 ja künni põldudel. Viimasel esines ka kõige vähem künnitihest ja kõige rohkem oli Min2 põllul. Antud tulemustega ühtis ka penetromeetrilise takistuse tulemused, millega leiti, et väikseim keskmine kõvadus oli künnivariandil. Valdavalt esines ka künni ja minimeeritud harimise variantide vahelised statistiliselt usutavad erinevused. Üldiselt oli kõige suurem penetromeetriline takistus Min1 alal. Antud variandil oli ka suurim lasuvustihedus. Paljud autorid on leidnud, et minimeeritud harimisega suureneb lasuvustihedus ja penetromeetriline takistus (Parvin *et al.* 2014; Schjonning *et al.* 2013; Arvidsson 1998). Antud töös olid lasuvustiheduse ja penetromeetrilise takistuse keskmised tulemused minimeeritud harimise variantidel olid suhteliselt suured, viidates tihenemisele mulla profiilis. Suurem mulla kõvadus ja lasuvustihedus minimeeritud harimisega võib olla põhjustatud asjaolust, et mulda haritakse samal sügavusel ja võrreldes kündmisega ei toimu mullapööramist, mis ulatuslikumalt kobestaks mulda.

Minimeeritud harimise ja künni võrdluses leiti, et harimissüsteem mõjutas statistiliselt oluliselt veesisaldust mullas. Suurim veesisaldus leiti Min1 põllul ja väikseim Min2 variandil. Viimane erines statistiliselt usutavalt Min1 variandist ja kontrollvariandist. Sarnase tulemuseni jõudis Parvin (*et al.* 2014), kes leidis, et veesisaldus oli märkimisväärselt kõrgem künnivariandil nii 15...20 cm kui ka 25...30 cm sügavusel. Autor põhjendas, et kõrgem veesisaldus künnivariandil oli ilmselt tingitud suuremast poorsusest või madalamast lasuvustihedusest, mis kaasneb mulla pööramisega. Suurem veesisaldus K1 ja Min1 variandil võis olla tingitud ka suuremast maksimaalsest veemahutavusest. Visuaalse hindamisega hinnati kõrgemini kontrollvariandil ka poorsust võrreldes minimeeritud harimise variantidega. Suurem poorsus ilmselt põhjustas ka suuremat maksimaalset veemahutavust ja veesisaldust mullas. Samas suurim aeratsioonipoorus leiti Min2 variandil, mis tulenes ilmselt madalaimast lasuvustihedusest ja samuti oli antud variandil

väiksem füüsikalise savi sisaldus võrreldes teistega. Ent variantide vahelisi statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud.

Madalaim veeläbilaskvus minimeeritud harimise ja künni võrdluses leiti Min1 variandil, mis võis olla tingitud suuremast lasuvustihedusest. Mitmed autorid on jõudnud tulemuseni, et harimissügavuse vähendamisega suureneb lasuvustihedus ja väheneb veejuhtivus (Arvidsson *et al.* 2013; Yavuzcan *et al.* 2005). Käesolevas töös oli suurim veeläbilaskvus kontrollvariandil, mis oli ilmselt põhjustatud väiksemast mulla penetromeetrisest takistusest ja suuremast poorsusest võrreldes teiste variantidega. Ent statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel ei leitud. Samuti ei leitud erinevusi visuaalsel hindamisel, kui hinnati vee imendumist mulda ning variante hinnati ühtviisi kõrgelt. Saksamaal tehtud katses (Kuhwald *et al.* 2017) uuriti ühekordse kündmise mõju mulla füüsikalistele omadustele, kus oli eelnevalt rakendatud pikaajaliselt minimeeritud harimist. Katse tulemusena leiti, et pärast ühekordset kündmist oli antud alal suurem veejuhtivus ja filtratsiooni kiirus võrreldes põlluga, mida pidevalt künti. Autor rõhutas, et ühekordne kündmine võib olla võimaluseks saada üle mõningatest negatiivsetest mõjudest, mis kaasnevad minimeeritud harimisega, samal ajal säilitades positiivsed efektid teistes mulla omadustes.

Harimissüsteem avaldas statistiliselt olulist mõju vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldusele. Alla 2 mm vee suhtes stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus oli suurim Min2 põllul, mis erines statistiliselt usutavalt kontrollvariandist. Kõige väiksem vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldus oli künnivariandil. Laboritulemused ühtisid visuaalse hindamise tulemustega agregaatide stabiilsuse osas. Mitmed autorid on leidnud, et agregaatide stabiilsus on suurem minimeeritud harimisega (Riley 2014; Riley *et al.* 2008; Stenberg *et al.* 2000; Kaurin *et al.* 2015). Eelnimetatud autorite katsetest selgub, et struktuuriagregaatide stabiilsus on enamasti tingitud suuremast orgaanilise aine sisaldusest ja aktiivsemast mikroobsest biomassist. Riley (2014) põhjendas, et suurem agregaatide stabiilsus võis olla tingitud vihmausside aktiivsusest. Antud töö minimeeritud harimise põldudel oli suurem orgaanilise süsiniku sisaldus ja Min2 põllul vihmausside arvukus, millest võis tuleneda suurem agregaatide stabiilsus.

Harimissüsteemil oli statistiliselt oluline mõju üldise lämmastiku ja orgaanilise süsiniku sisaldusele ning nende suhtele. Antud tulemused olid suuremad ja ühtlasi ka optimaalsemad minimeeritud harimise variantidel võrreldes künniga, mis on põhjustatud sellest, et intensiivne mullaharimine kiirendab orgaanilise aine lagunemist. Süsiniku ja lämmastiku

suhte osas esinesid ka statistiliselt usutavad erinevuse künni ja minimeeritud harimise variantide vahel. Mitmed autorid on leidnud, et minimeeritud harimisega suureneb orgaanilise süsiniku ja lämmastiku sisaldus, kuid seda üldiselt ainult pindmises kihis (Heinze *et al.* 2010; Etana *et al.* 1999; Stockfisch *et al.* 1999). Madalaim süsiniku ja lämmastiku suhe künnivariandil on tingitud mullaharimisest, kuna sellega toimub intensiivsem orgaanilise aine lagunemine. Sarnase tulemuseni jõudis ka Stockfisch (*et al.* 1999), kes leidis, et minimeeritud harimisega oli süsiniku ja lämmastiku suhe kõrgem pindmises mullakihis, mis tulenes orgaanilise aine aeglasemast lagunemisest ja suuremast orgaanilise süsiniku kogusest võrreldes künniga. Samas mulla värvust hinnati kõige kõrgemalt Min1 variandil ning künni variandil. Madalaimad punktid sai Min2 variant, mis võis olla tingitud kergest erosioonist, mis on vähendanud mulla huumusesisaldust.

Visuaalsel hindamisel ei leitud erisusi harimissüsteemide vahel labiilse orgaanilise süsiniku hindamisel ja kõiki variante hinnati madalalt. Samas laborianalüüsides selgus, et suurim labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus oli Min2 variandil ja väikseim Min1 põllul. Statistiliselt usutav erinevus esines Min1 ja künni ning teise minimeeritud harimissüsteemi vahel, kuid ei leitud, et harimissüsteem oleks statistiliselt oluliselt mõjutanud antud näitajat. Suurem labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus künni variandil võrreldes Min1 variandiga oli ilmselt tingitud esimese suuremast bioloogilisest aktiivsusest, millele viitas ka suurem vihmausside arvukus. Suurem bioloogiline aktiivsus võis olla tingitud visuaalsel hindamisel määratud suuremast poorsusest ja aeratsioonipoorsusest, mis soodustasid mullaorganismide elutegevust. Min2 variandil oli statistiliselt usutavalt suurem labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus võrreldes Min1 tootmispõlluga, kusjuures orgaanilise süsiniku sisaldus oli neil mõlemal sama. Eeltoodud tulemused võivad viidata sellele, et Min1 variandil võib esineda orgaanilise süsiniku vähenemist, kuna labiilne fraktsioon mineraliseerub kiiresti.

Kõrgeim mullareaktsioon oli kontrollvariandil võrreldes minimeeritud harimise aladega. Samuti erines antud variant statistiliselt usutavalt Min2 põllust. Minimeeritud harimise variantide madalam reaktsioon võis olla tingitud suuremast mulla orgaanilise aine kogusest ja selle lagunemise tulemusena eralduvatest orgaanilistest hapetest, mis võivad alandada mulla reaktsiooni. Statistiliselt usutav erinevus leiti kontrollvariandi ja Min2 variandi vahel. Künni variandil oli ühtlasi ka suurem Ca ja Mg sisaldus mullas, mis võis tõsta selle pH-d. Ent dispersioonanalüüsiga ei leitud, et harimissüsteem mõjutaks mulla reaktsiooni. Samuti ei leitud, et harimisviis mõjutaks statistiliselt oluliselt toiteelementide sisaldust mullas.

Vakali (*et al.* 2015) leidis ka, et künnita harimissüsteem ei mõjutanud mulla fosfori ja kaaliumi sisaldust. Samas Norras tehtud katses leiti, et minimeeritud harimisega saavutati suuremad fosfori ja kaaliumi kontsentratsioonid mulla pindmises kihis võrreldes künniga ja pisut madalamad sügavamal mulla profiilis (Riley 2014). Suuremad toiteelementide sisaldused leiti Min1 põllul võrreldes teiste variantidega. Antud variandi fosforisisaldus erines statistiliselt usutavalt teisest minimeeritud harimise variandist ja kontrollist. Erisused toiteelementide sisalduses olid ilmselt tingitud pigem erinevast tootmispõldude väetamisest kui harimissüsteemist, kuna dispersioonanalüüsiga statistiliselt olulist mõju ei leitud.

Suurim vihmausside arvukus leiti Min2 alalt, millele järgnes kontrollvariant. Samas kontrollvariandil oli suurem vihmausside elusmass, mis tähendab, et mass vihmaussi kohta oli suurem ja võis olla rohkem täiskasvanud vihmausse. On leitud, et juveniilsed vihmaussid on tundlikumad maaharimise suhtes (Ulrich *et al.* 2010), mis tähendab, et intensiivse mullaharimisega võib suurenedä täiskasvanud isendite arvukus. Madalaim vihmausside arvukus ja sellest tulenevalt ka elusmass oli Min1 katsealal, mis võis olla tingitud suuremast mulla kõvadusest ja lasuvustihedusest, millega olid vihmaussidel kehvemad elutingimused. Prantsusmaal tehti katse, kus uuriti vihmausside rolli tihenend mullastruktuuri taastamisel (Capowiez *et al.* 2012). Tihenemisega suurenes mulla lasuvustihedus 1,46 g cm⁻³-lt 1,57 g cm⁻³-ni, mille tulemusena vähenes vihmausside arvukus -40% ja biomass -70%. Birkas (*et al.* 2004) leidis samuti, et tihenend muldades oli vähem vihmausse.

KOKKUVÕTE

Visuaalsel hindamisel sai gleistunud pruuni näivleeturud mullaga otsekülvi põld kõrgema mulla kvaliteedi koondhinnangu (1,63) võrreldes künniga (1,59). Pruuni näivleeturud mullaga sai otsekülvi samuti kõrgema koondhinnangu (1,59) võrreldes künniga (1,36). Seevastu minimeeritud harimise variandid said madalamad mulla kvaliteedi koondhinded (Min1 variandil 1,49 ja Min2 variandil 1,44) võrreldes künniga (1,62).

Otsekülvi põldudel olid optimaalsemad mulla füüsikalised omadused võrreldes künniga, eeskätt läbi suurema poorsuse ja parema struktuursuse ehk rohkem oli peenemaid agregate kui suuremaid. Samuti puudus otsekülvi tootmispõldudel künnitihes, mis kontrollvariantidel oli selgesti eristatav. Otsekülvi mullaharimissüsteem mõjus soodsalt ka aeratsioonipoorsusele. Antud näitaja oli statistiliselt oluliselt mõjutatud harimissüsteemist. Gleistunud pruuni näivleeturud mullaga oli 1,8% ja parasniiske mullaga 2,2% suurem aeratsioonipoorsus võrreldes künniga, ent statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud. Harimissüsteem mõjutas ka süsiniku ja lämmastiku suhet, millega otsekülvi variantidel olid madalamad suhted võrreldes künniga. Statistiliselt usutavad erinevused leiti gleistunud pruuni näivleeturud mullaga variantide vahel, kus otsekülvil oli süsiniku ja lämmastiku suhe 9,15 ja künnil 11,89. Vihmausside arvukus ja elusmass olid üldiselt madalamad otsekülvi tootmispõldudel võrreldes künniga. Ent statistiliselt usutavaid erinevusi ei leitud.

Valdavalt positiivsem mõju mulla füüsikalistele ja keemilistele omadustele leiti parasniiske mullaga otsekülvi tootmispõllul võrreldes künniga. Pruuni näivleeturud mullaga otsekülvi alal oli $0,07 \text{ g cm}^{-3}$ võrra madalam lasuvustihedus ja 7% suurem veesisaldus ning 4,5% suurem maksimaalne veehoiuvõime võrreldes künnipõhise maaharimise variandiga. Samuti leiti, et 30...40 cm sügavusel oli künni variandil suurem penetromeetriline takistus võrreldes otsekülviga. Eeltoodud parameetrite vahel esinesid ka statistiliselt usutavad erinevused. Parasniiske mullaga otsekülvi variandil leiti ka suurem üldlämmastiku (0,13%) ning orgaanilise süsiniku sisaldus (1,06%) otsekülvil võrreldes künniga (vastavalt 0,11% ja 1,01%). Ent statistiliselt usutavaid erinevusi variantide vahel ei leitud. Samas leiti statistiliselt usutavalt suurem labiilse orgaanilise süsiniku sisaldus otsekülvil (0,68%)

võrreldes künni variandiga (0,54%), mis ilmselt tulenes suuremast orgaanilise süsiniku sisaldusest.

Minimeeritud harimine soodustas muldade tihenemist, mida tõestas madalam poorsus ja halvem struktuursus ehk üldiselt oli rohkem suuremaid agregaatide kui peenemaid. Samuti kõrgem penetromeetiline takistus viitas tihenemisele, mis oli statistiliselt oluliselt mõjutatud harimissüsteemist. Statistiliselt usutavad erinevused esinesid künni ja mõlema minimeeritud harimise variandi vahel 10...30 cm sügavusel, millega minimeeritud harimise tootmispõldudel oli suurem penetromeetiline takistus ja 20 cm sügavuselt ületas mulla kõvadus 2 MPa. Harimissüsteem mõjutas statistiliselt oluliselt veesisaldust mullas. Usutavad erinevused leiti Min1 ja künni vahel, millega minimeeritud harimise variandil oli 0,6% suurem sisaldus võrreldes künniga. Ent Min2 variandil oli 4,6% madalam veesisaldus, mis erines usutavalt künni variandist. Künni ja Min1 variantide suurem veesisaldus oli ilmselt põhjustatud suuremast veemahutavusest. Minimeeritud harimine mõjus soodsalt vees stabiilsete struktuuriagregaatide sisaldusele. Min1 variandil oli 2% ja Min2 põllul 9,2% suurem sisaldus võrreldes künniga. Statistiliselt usutav erinevus leiti Min2 (51,2%) ja künni (42,0%) variantide vahel.

Harimissüsteemil oli statistiliselt usutav mõju üldise lämmastiku, orgaanilise süsiniku ja C:N suhtele. Minimeeritud harimise variantidel oli 0,03% suurem üldise lämmastiku ja 0,38% suurem orgaanilise süsiniku sisaldus võrreldes künniga. Samuti suuremad väärtused leiti süsiniku ja lämmastiku suhte osas Min1 (8,91) ja Min2 (9,43) variantidele võrreldes künniga (7,89). Seega minimeeritud harimisega olid optimaalsemad süsiniku ja lämmastiku suhted. Toiteelementide sisaldused olid ilmselt tingitud pigem erinevast väetamisest nii minimeeritud harimise kui ka otsekülvi tootmispõldudel, kuna üldiselt ei leitud, et harimissüsteem oleks nende sisaldust statistiliselt oluliselt mõjutanud.

Suurem vihmausside arvukus leiti Min2 (18,67 tk) alal võrreldes künniga (17,33) ja kõige väiksem arvukus oli Min1 (7,67 tk) põllul, mis oli viimasel võis olla tingitud suuremast tihenemisest. Ent statistiliselt usutavad erinevusi ei esinenud. Harimissüsteem mõjutas statistiliselt oluliselt vihmausside elumassi, kusjuures suurim vihmausside elumass oli künnivariandil, mis viitab suuremale täiskasvanud isendite arvule.

Käesoleva bakalaureusetöö tulemused andsid osaliselt kinnitust sissejuhatuses püstitatud hüpoteesidele. Visuaalsel hindamisel sai kõrgema koondhinde otsekülvi süsteem võrreldes

künniga ning künd võrreldes minimeeritud harimisega. Otsekülv üldiselt parandas mulla füüsikalist kvaliteeti, kuid keemilistele avaldas valdavalt mõju ka mullaliik ning vihmausse oli vähem võrreldes künniga. Minimeeritud harimisega ei paranenud mulla füüsikaline kvaliteet tihenemise tõttu, kuid soodustas suuremat agregaatide stabiilsust. Samuti soodustas minimeeritud harimine üldise lämmastiku, orgaanilise süsiniku suurenemist ning oli ka optimaalsem süsiniku ja lämmastiku suhe, mistõttu paranes mulla keemiline kvaliteet. Minimeeritud harimine mõjus positiivselt vihmausside arvukusele, kui ei olnud tegemist tihenend mullaga. Visuaalse hindamise meetodika oli üldiselt piisavalt tundlik harimissüsteemidest tulenevate erisuste kindlaks tegemisel ning need tulemused ühtisid laborianalüüsidega. Välitingimustes hinnatud tihese olemasolu, poorsuse, struktuursuse ja agregaatide stabiilsuse tulemused ühtisid laboris määratud tulemustega. Penetromeetrilise takistuse, happesuse ja labiilse orgaanilise süsiniku määramine eeldavad siiski spetsiifiliste vahendite olemasolu. Samuti teadmised muldade väliuurimisest ja eelnev kogemus on vajalikud visuaalse hindamise läbiviimiseks.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Abdollahi, L., Hansen, E.M., Rickson, R.J., Munkholm, L.J.** (2015). Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: Effects of location, rotation and tillage. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 145, pp. 29–36.
- Abid, M., Lal, R.** (2008). Tillage and drainage impact on soil quality: I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 100, issues 1–2, pp. 89–98.
- Eurostat. (2013). Agri-environmental indicator– tillage practices. [webpage] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_tillage_practices (25.02.2018).
- Alvarez, R., Steinbach, H.S.** (2009). A review of the effects of tillage systems, on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 103, issue 1, pp. 1–15.
- Arshad, M.A., Franzluebbbers, A.J., Azooz, R.H.** (1999). Components of soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 53, issue 1, pp. 41–47.
- Arvidsson, J.** (1998). Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. – *European Journal of Agronomy*. Vol. 9, issues 2–3, pp. 79–85.
- Arvidsson, J., Etana, A., Rydberg, T.** (2014). Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983-2012. – *European Journal of Agronomy*. Vol. 52, part B, pp. 307–315.
- Arvidsson, J., Westlin, A., Sörensson, F.** (2013). Working depth in non-inversion tillage-Effects on soil physical properties and crop yield in Swedish field experiments. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 126, pp. 259–266.
- Astover, A., Reintam, E., Leedu, E., Kölli, R.** (2013). Muldade väliuurimine. Tartu: Eesti Loodusfoto. 72 lk.
- Ball, B.C., Batey, T., Munkholm, L.J.** (2007). Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. – *Soil Use and Management*. Vol. 23, issue 4, pp. 329–337.
- Barthes, B., Roose, E.** (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. – *Catena*. Vol. 47, issue 2, pp. 133–149.
- Bauer, P.J., Frederick, J.R., Novak, J.M., Hunt, P.G.** (2006). Soil CO₂ flux from a Norfolk loamy sand after 25 years of conventional and conservation tillage. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 90, issues 1–2, pp. 205–211.

- Bengough, A.G., McKenzie, B.M., Hallett, P.D., Valentine, T.A.** (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. – *Journal of Experimental Botany*. Vol. 62, issue 1, pp. 59–68.
- Bhattacharyya, R., Prakash, V., Kundu, S., Gupta H.S.** (2006). Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 86, issue 2, pp. 129–140.
- Birkas, M., Jolankai, M., Gyuricza, C., Percze, A.** (2004). Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 78, issue 2, pp. 185–196.
- Bogunovic, I., Pereira, P., Kisic, I., Sajko, K., Sraka, M.** (2018). Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). – *Catena*. Vol. 160, pp. 376–384.
- Bottinelli, N., Hallaire, V., Menasseri-Aubry, S., Guillou, C.L., Cluzeau, D.** (2010). Abundance and stability of belowground earthworm casts influenced by tillage intensity and depth. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 106, issue 2, pp. 263–267.
- Bronick, C.J., Lal, R.** (2005). Soil structure and management: a review. – *Geoderma*. Vol. 124, issues 1–2, pp. 3–22.
- Buragiene, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Sasnauskiene, J., Masilionyte, L., Kriauciuniene, Z.** (2015). Experimental analysis of CO₂ emissions from agricultural soils subjected to five different tillage systems in Lithuania. – *Science of The Total Environment*. Vol. 514, pp. 1–9.
- Büchi, L., Wendling, M., Amosse, C., Jeangros, B., Sinaj, S., Charles, R.** (2017). Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 174, pp. 120–129.
- Capowiez Y., Cadoux, S., Bouchant, P., Ruy, S., Roger-Estrade, J., Richard G., Boizard, H.** (2009). The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 105, issue 2, pp. 209–216.
- Capowiez, Y., Samartino, S., Cadoux, S., Bouchant, P., Richard, G., Boizard, H.** (2012). Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. – *Soil Biology and Biochemistry*. Vol.55, pp. 93–103.
- Chan, K.Y.** (2001). An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity- implications for functioning in soils. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 57, issue 4, pp. 179–191.
- Chen, H., Hou, R., Gong, Y., Li, H., Fan, M., Kuzyakov, Y.** (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 106, issue 1, pp. 85–94.

- Chenu, C., Le Bissonnais, Y., Arrouays, D.** (2000). Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. – *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 64, issue 4, pp. 1479–1486.
- Crittenden, S.J., de Goede, R.G.M.** (2016) Integrating soil physical and biological properties in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. – *European Journal of Soil Biology*. Vol. 77, pp. 26–33.
- Crittenden, S.J., Poot, N., Heinen, M., van Balen, D.J.M., Pulleman, M.M.** (2015) Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 154, pp. 136–144.
- Daraghmeh, O.A., Jensen, R.J., Petersen, C.T.** (2009). Soil Structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. – *Geoderma*. Vol. 150, issues 1–2, pp. 64–71.
- Degrune, F., Theodorakopoulos, N., Dufrene, M., Colinet, G., Bodson, B., Hiel, M.P., Taminiau, B., Nezer, C., Daube, G., Vandenbol, M.** (2016). No favorable effect of reduced tillage on microbial community diversity in a silty loam soil (Belgium). – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 224, pp. 12–21.
- Dolan, M.S., Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Baker, J.M., Molina, J.A.E.** (2006). Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 89., issue 2, pp. 221–231.
- E-ilmajaam. (2016). – *Tartu Ülikooli füüsika instituut*. <http://meteo.physic.ut.ee/> (10.03.2018)
- Ekeberg, E., Riley, H.C.F.** (1997). Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in southeast Norway. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 42, issue 4, pp. 277–293.
- Elias, D., Wang, L., Jacinthe, P.A.** (2018). A meta-analysis of pesticide loss in runoff under conventional tillage and no-till management. – *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 190, issue 2, article no. 79.
- Erinevate viljelusmeetodite (sh. otsekülv) rakendusteaduslik kompleksuuring: Riikliku programmi „Põllumajanduslikud rakendusuurinud ja arendustegevus aastatel 2009–2014“ projekti lõpparuanne. (2015). Saku: Eesti Taimekasvatuse Instituut, Eesti Maaülikool, Põllumajandusuuringute keskus.
https://www.pikk.ee/upload/files/Erinevad_viljelusviisid_pikk_aruanne.pdf (10.04.2018).
- Ernst, G., Emmerling, C.** (2009). Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. – *European Journal of Soil Biology*. Vol. 45, issue 3, pp. 247–251.
- Estevez, B., N'Dayegamiye, A., Coderre, D.** (1996). The effect on earthworm abundance and selected soil properties after 14 years of solid cattle manure and NPKMg fertilizer application. – *Canadian Journal of Soil Science*. Vol. 76, issue 3, pp. 351–355.

- Etana, A., Hakansson, I., Zagal, E., Bucas, S.** (1999). Effects of tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 52, issues 3–4, pp. 129–139.
- FAO. 2016. – *AQUASTAT Main Database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html> (13.04.2018).
- Gajda, A.M., Przewloka, B.** (2012). Soil biological activity as affected by tillage intensity. – *International Agrophysics*. Vol. 26, issue 1, pp. 15–23.
- Garbout, A., Munkholm, L.J., Hansen, S.B.** (2013). Tillage effects on topsoil structural quality assessed using X-ray CT, soil cores and visual soil evaluation. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 128, pp. 104–109.
- Soil Science Society of America. (2018). Glossary of Soil Science Terms. [webpage] <https://www.soils.org/publications/soils-glossary> (26.02.2018).
- Green, V.S., Stott, D.E., Cruz, J.C., Curi, N.** (2007). Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 92, issues 1–2, pp. 114–121.
- Guimaraes, R.M.L., Ball, B.C., Tormena, C.A.** (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. – *Soil Use and Management*. Vol. 27, pp. 395–403.
- Håkansson, I., Myrbeck, A., Etana, A.** (2002). A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 64, issues 1–2, pp. 23–40.
- Hauben water permeameter: Operating instructions. (2014). *Giesbeek: Eijkelkamp*. <https://www.eijkelkamp.com/download.php?file=ecd93f65> (02.03.2018).
- Heinze, S., Rauber, R., Joergensen, R.G.**(2010). Influence of mouldboard plough and rotary harrow tillage on microbial biomass and nutrient stocks in two long-term experiments on loess derived Luvisols. – *Applied Soil Ecology*. Vol. 46, issue 3, pp. 405–412.
- Hermle, S., Anken, T., Leifeld, J., Weiskopf, P.** (2008). The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 98, issue 1, pp. 94–105.
- Hussain, I., Olson, K.R., Siemens, J.C.** (1998). Long-term tillage effects on soil physical properties of eroded soil. – *Soil Science*. Vol. 163, issue 12, pp. 970–981.
- Interactive Soil Quality Assessment. (2018). Information System. [webpage] <http://www.isqaper-is.eu/> (10.05.2018).
- Kabiri, V., Raiesi, F., Ghazavi, M.A.** (2016). Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 232, pp. 73–84.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Doran, J.W.** (2001). Soil quality: Current concepts and applications. – *Advances in Agronomy*. Vol. 74, pp. 1–40.

- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., Andrews, S.S.** (2003). Soil quality: why and how?. – *Geoderma*. Vol. 114, issues 3–4, pp. 145–156.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E.** (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). – *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 61, pp. 4–10.
- Kasper, M., Buchan, G.D., Mentler, A., Blum, W.E.H.** (2009). Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 105, issue 2, pp. 192–199.
- Kaurin, A., Mihelic, R., Kastelec, D., Schloter, M., Suhadolc, M., Grcman, H.** (2015). Consequences of minimum soil tillage on abiotic soil properties and composition of microbial communities in a shallow Cambisol originated from fluvio-glacial deposits. – *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 51, issue 8, pp. 923–933.
- Kiani, M., Hernandez-Ramirez, G., Quideau, S., Smith, E., Janzen, H., Larney, F.J., Puurveen, D.** (2017). Quantifying sensitive soil quality indicators across contrasting long-term land management systems: Crop rotations and nutrient regimes. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 248, pp. 123–135.
- Kuhwald, M., Blaschek, M., Brunotte, J., Duttmann, R.** (2017). Comparing soil physical properties from continuous conventional tillage with long-term reduced tillage affected by one-time inversion. – *Soil Use and Management*. Vol. 33, issue 4, pp. 611–619.
- Lal, R.** (1997). Degradation and resilience of soils. – *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*. Vol. 352, pp. 997–1010.
- Lauringson, E., Talgre, L., Kuht, J., Makke, A.** (2009). Liblikõieliste haljasvæetiskultuuride järelmõju mulla lasuvustihedusele ja vihmausside arvukusele. – *Agronomia 2009*. /Toim. S. Tamm, R. Schmidt. Jõgeva: PAAR OÜ, lk 48–53.
- Lilburne, L.R., Hewitt, A.E., Sparling, G.P., Selvarajah, N.** (2002). Soil quality in New Zealand: Policy and the science response. – *Journal of Environmental Quality*. Vol. 31, issue 6, pp. 1768–1773.
- Limousin, G., Tessier, D.** (2007). Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 92, issues 1–2, pp. 167–174.
- Lipiec, J., Kus, J., Slowinska-Jurkiewicz, A., Nosalewicz, A.** (2006). Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 89, issue 2, pp. 210–220.
- Liu, E., Tecler, S.G., Changrong, Y., Yu, J., Gu, R., Liu, S., He, W., Liu, Q.** (2014). Long-term effects of no-tillage management practice on soil organic carbon and its fractions in the northern China. – *Geoderma*. Vol. 213, pp. 379–384.

- Lopez-Fando, C., Pardo, M.T.** (2009). Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 104, issue 2, pp. 278–284.
- Malik, M.A., Khan, K.S., Marschner, P., Fayyaz-ul-Hassan.** (2013). Microbial biomass, nutrient availability, and nutrient uptake by wheat in two soils with organic amendments. – *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 13, issue 4, pp. 955–966.
- Martinez, E., Fuentes, J.P., Pino, V., Silva, P., Acevedo, E.** (2013). Chemical and biological properties as affected by no-tillage and conventional tillage systems in an irrigated Haploxeroll of Central Chile. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 126, pp. 238–245.
- Martinez, E., Fuentes, J.P., Silva, P., Valle, S., Acevedo, E.** (2008) Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 99, issue 2, pp. 232–244.
- Martinez, I., Chervet, A., Weiskopf, P., Sturny, W.G., Rek, J., Keller, T.** (2016). Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part II. Soil porosity and gas transport parameters. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 163, pp.130–140.
- McGarry, D.** (s.a). Visual Soil-Field Assessment Tool-The Methodology: A Methodology of a Visual Soil – Field Assessment Tool – to support, enhance and contribute to the LADA program. – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. http://www.fao.org/tempref/agl/emailconf/soilmoisture/t4_McGarry_3.pdf (14.04.2018).
- McKenzie, D.C.** (2001). Rapid assessment of soil compaction damage I. The SOILpak score, a semi-quantitative measure of soil structural form. – *Australian Journal of Soil Research*. Vol. 39, issue 1, pp. 117–125.
- Mehlich 3 extraction protocol. (2016). University of Maryland: Agroecology Lab. http://www.agroecologylab.com/uploads/2/7/2/8/27281831/mehlich3_extraction.pdf (08.03.2018).
- Mentges, M.I., Reichert, J.M., Rodrigues, M.F., Awe, G.O., Mentges, L.R.** (2016). Capacity and intensity soil aeration properties affected by granulometry, moisture and structure in no-tillage soils. – *Geoderma*. Vol. 263, pp. 47–59.
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbech, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Kurtz, K.S.M., Wolfe, D.W., Abawi, G.S.** (2016). Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework. Edition 3.2, 1–134 pp. <http://www.css.cornell.edu/extension/soil-health/manual.pdf> (25.02.2018).
- Moreira, W.H., Tormena, C.A., Karlen, D.L., da Silva, A.P., Keller, T., Betioli, E.** (2016). Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. – *Soil & Tillage Research*. Vol. 160, pp. 53–64.

- Mueller, L., Kay, B.D., Deen, B., Hu, C., Zhang, Y., Wolff, M., Eulenstein, F., Schindler, U.** (2009). Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. – *Soil and Tillage Research*. Vol.103, issue 1, pp. 188–196.
- Mujdeci, M., Simsek, S., Uygur, V.** (2017). The effects of organic amendments on soil water retention characteristics under conventional tillage systems. – *Fresenius Environmental Bulletin*. Vol. 26, issue 6, pp. 4075–4081.
- Munkholm, L.J., Heck, R.J., Deen, B.** (2013). Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 127, pp. 85–91.
- Munoz-Romero, V., Lopez-Bellido, R.J., Fernandez-Garcia, P., Redondo, R., Murillo, S., Lopez-Bellido, L.** (2017). Effects of tillage, crop rotation and N application rate on labile and recalcitrant soil carbon in a Mediterranean Vertisol. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 169, pp. 118–123.
- Muukkonen, P., Hartikainen, H., Lahti, K., Särkelä, A., Puustinen, M., Alakukku, L.** (2007). Influence of no-tillage on the distribution and lability of phosphorus in Finnish clay soils. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 120, issues 2–4, pp. 299–306.
- Nugis, E., Edesi L., Tamm, K., Kadaja, J., Akk, E., Viil, P., Ilumäe, E.** (2016a). Response of soil physical properties and dehydrogenase activity to contrasting tillage systems. – *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 103, No. 2, pp 123–128.
- Nugis, E., Velykis, A., Satkus, A.** (2016b). Estimation of soil structure and physical state in the seedbed under different tillage and environmental conditions. – *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 103, No. 3, pp. 243–250.
- Nyakatawa, E.Z., Reddy, K.C., Sistani, K.R.** (2001). Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 58, issues 1–2, pp. 69–79.
- Obour, A.K., Mikha, M.M., Holman, J.D., Stahlman, P.W.** (2017). Changes in soil surface chemistry after fifty years of tillage and nitrogen fertilization. – *Geoderma*. Vol. 308, pp. 46–53.
- Pandey, D., Agrawal, M., Bohra, J.S., Adhya, T.K., Bhattacharyya, P.** (2014). Recalcitrant and labile carbon pools in a sub-humid tropical soil under different tillage combinations: A case study of rice-wheat system. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 143, pp. 116–122.
- Paoletti, M.G.** (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 74, issues 1-3, pp. 137–155.
- Parihar, C.M., Yadav, M.R., Jat, S.L., Singh, A.K., Kumar, B., Pradhan, S., Chakraborty, D., Jat, M.L., Jat, R.K., Saharawat, Y.S., Yadav, O.P.** (2016). Long term effect of conservation agriculture in maize rotations on total organic carbon, physical and biological properties of a

- sandy loam soil in north-western Indo-Gangetic Plains. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 161, pp.116–128.
- Parvin, N., Parvage, M.M., Etana, A.** (2014). Effect of mouldboard ploughing and shallow tillage on sub-soil physical properties and crop performance. – *Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 60, issue 1, pp. 38–44.
- Pelosi, C., Toutous, L., Chiron, F., Dubs, F., Hedde, M., Muratet, A., Ponge, J.F., Salmon, S., Makowski, D.** (2013). Reduction of pesticide use can increase earthworm populations in wheat crops in a European temperate region. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 181, pp. 223–230.
- Petersona, G.A., Halvorsonb, A.D., Havlinc, J.L., Jonesd, O.R., Lyone, D.J., Tanakab, D.L.** (1998). Reduced tillage and increasing cropping intensity in the Great Plains conserves soil C. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 47, issues 3–4, pp. 207–218.
- Pires, L.F., Borges, J.A.R., Rosa, J.A., Cooper, M., Heck, R.J., Passoni, S., Roque, W.L.** (2017). Soil structure changes induced by tillage systems. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 165, pp. 66–79.
- PMS404: Põllumajanduslike majapidamiste maakasutus valdaja õigusliku vormi järgi. (andmed uuendatud 21.12.2017). – *Eesti Statistika Andmebaas*. <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp> (25.02.2018).
- PMS602: Maaharimine valdaja õigusliku vormi ja maaharimismeetodi järgi. (andmed uuendatud 16.10.2017). – *Eesti Statistika Andmebaas*. <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp> (25.02.2018).
- Procedures for soil analysis. (2002). Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. http://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf (02.03.2018).
- Raiesi, F., Kabiri, V.** (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. – *Ecological Indicators*. Vol. 71, pp. 198–207.
- Raiesi, F., Kabiri, V.** (2017). Carbon and nitrogen mineralization kinetics as affected by tillage systems in a calcareous loam soil. – *Ecological Engineering*. Vol. 106, part A, pp. 24–34.
- Regina, K., Alakukku, L.** (2010). Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 109, issue 2, pp 144–152.
- Riley, H.** (2014). Grain yields and soil properties on loam soil after three decades with conservation tillage in southeast Norway. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*. Vol. 64, issue 3, pp. 185–202.
- Riley, H., Pommeresche, R., Eltun, R., Hansen, S., Korsæth, A.** (2008). Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 124, issues 3–4, pp. 275–284.

- Romanekas, K., Šarauskis, E., Avižienyte, D., Buragiene, S., Arney., D.** (2015). The main physical properties of planosol in maize (*Zea mays* L.) cultivation under different long-term reduced tillage practices in the Baltic region. – *Journal of Integrative Agriculture*. Vol. 14, issue 7, pp. 1309–1320.
- Romanekas, K., Avižienyte, D., Bogužas, V., Šarauskis, E., Jasinskas, A., Marks, M.** (2016). Impact of tillage systems on chemical, biochemical and biological composition of the soil. – *Journal of Elementology*. Vol. 21, issue 2, pp. 513–526.
- Sanches de Cima, D., Tein, B., Eremeev, V., Luik, A., Kauer, K., Reintam, E. & Kahu, G.** (2015). Winter cover crops effects on soil structural stability and microbiological activity in organic farming. – *Biological Agriculture & Horticulture*. Vol. 32, issue 3, pp. 170–181.
- Schjonning, P., Thomsen, I.K.** (2013) Shallow tillage effects on soil properties for temperate-region hard-setting soils. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 132, pp. 12–20.
- Shepherd, G.** (2000). Visual soil assessment: field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Landcare Research. 84 pp. http://orgprints.org/30582/1/VSA_Volume1_smaller.pdf (25.02.2018).
- Shepherd, G., Stagnari, F., Pisante, M., Benites, J.** (2008). Visual Soil Assessment Field Guides: Annual Crops. – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. pp. 3–37. <http://www.fao.org/docrep/010/i0007e/i0007e00.htm> (25.02.2018).
- Soon, Y.K., Arshad, M.A., Haq, A., Lupwayi, N.** (2007). The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in a sandy loam soil. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 95, issues 1–2, pp. 38–46.
- Sparling, G., Lilburne, L., Vojvodic-Vukovic, M.** (2008). Provisional Targets for Soil Quality Indicators in New Zealand. 1–64 pp. https://www.landcareresearch.co.nz/publications/researchpubs/LRSS34_ProvisionalSoilTargets.pdf (25.02.2018).
- Staley, T.E., Boyer, D.G.** (1997). Short-term carbon, nitrogen and pH alterations in a hill-land Ultisol under maize silage relative to tillage method. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 42, issues 1–2, pp. 115–126.
- Stenberg, M., Stenberg, B., Rydberg, T.** (2000). Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. – *Applied Soil Ecology*. Vol. 14, issue 2, pp. 135–145.
- Stockfisch, N., Forstreuter, T., Ehlers, W.** (1999). Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 52, issues 1–2, pp. 91–101.
- Suuster, E., Ritz, C., Roostalu, H., Reintam, E., Kölli, R., Astover, A.** (2011). Soil bulk density pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils. – *Geoderma*. Vol. 163, issues 1–2, pp. 74–82.

- Šimanskaite, D.** (2008). The impact of soil tillage minimization on sandy light loam soil. – *Agronomy Research*. Issue 6, pp. 349–357.
- Zuber, S.M., Behnke, G.D., Nafziger, E.D., Villamil, M.B.** (2017). Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 174, pp. 147–155.
- Talgre, L., Ereemeev, V., Reintam, E., Tein, B., Sanches de Cima, D., Madsen, H., Alaru, M., Luik, A.** (2015). Talvised vahekultuurid parandavad mulda ja kultuuride saagikust. – *Agronomia 2015./Toim. M. Alaru, A. Astover, K. Karp, R. Viiralt, A. Must*. Tartu: Ecoprint AS, lk 40–44.
- Talgre, L., Lauringson, L., Roostalu, H., Astover, A., Ereemeev, V., Selge, A.** (2009). The effects of pure and undersowing green manures on yields of succeeding spring cereals. – *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*. Vol. 59, issue 1, pp. 70–76.
- Tebrügge, F., Düring, R.A.** (1999). Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 53, issue 1, pp. 15–28.
- Thomas, G.A., Dalal, R.C., Standley, J.** (2007). No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. – *Soil and Tillage Research*. Vol.94, issue 2, pp.295–304.
- Ulrich, S., Tischer, S., Hofmann, B., Christen, O.** (2010). Biological soil properties in a long-term tillage trial in Germany. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Vol.173, issue 4, pp. 483–489.
- United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute.** (2001). Soil Quality Test Kit Guide 1–88 pp. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050956.pdf (25.02.2018).
- United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute.** (1999). Soil Quality Card Design Guide: A guide to develop locally adapted conservation tools. 1–115 pp. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053165.pdf (25.02.2018).
- Vakali, C., Zaller, J.G., Köpke, U.** (2015). Reduced tillage in temperate organic farming: Effects on soil nutrients, nutrient content and yield of barley, rye and associated weeds. – *Renewable Agriculture and Food Systems*. Vol. 30, issue 3, pp. 270–279.
- Vetemaa, A., Mikk, M.** (2009). Mahepõllumajandus. Eesti Mahepõllumajanduse Sihtasutus. Põllumajandusministeerium. 20 lk.
- Vihmausside ja mulla biomassi aktiivsuse näitajate sõltuvus põllul läbi viidud tegevustest 2004. – 2008. aasta seireandmete põhjal. Eesti maaelu arengukava 2007–2013 II telje püsihindamine.

2010. – *Põllumajandusuuringute Keskus* <http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/Vihmauss2010.pdf> (12.04.2018).

Viil, P. (2017). Minimeeritud mullaharimine ja otsekülv. Eesti Taimakasvatuse Instituut. 100 lk.

Vorobyova, L.A. (1998). Chemical analysis of soils. Moscow: Moscow University Press. 272 pp.

Wang, Y., Li, C., Tu, C., Hoyt, G.D., DeForest, J.L., Hu, S. (2017). Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. – *Science of The Total Environment*. Vol. 609, pp. 341–347.

Wet sieving apparatus: Operating instructions. (2008). Giesbeek: Eijkelkamp. <https://www.eijkelkamp.com/download.php?file=fea78564> (02.03.2018).

Willekens, K., Vandecasteele, B., Buchan, D., Neve, S.D. (2014). Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. – *Applied Soil Ecology*. Vol. 82, pp. 61–71.

Wuest, S.B. (2001). Soil biopore estimation: effects of tillage, nitrogen, and photographic resolution. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 62, issues 3-4, pp. 111–116.

Yavuzcan, H.G., Matthies, D., Auernhammer, H. (2005). Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 84, issue 2, pp. 200–215.

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Merit Sutri,
(sünnipäev 01/01/1995)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Otsekülvi ja minimeeritud harimise mõju mulla kvaliteedile, mille juhendaja on Endla Reintam,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 23.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)