



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Heiko Viksi

SÜSINIKUBILANSS

MAHEPÕLLUMAJANDUSETTEVÕTTE VIKSI OÜ

PÕLDUDEL

**CARBON BALANCE ON FIELDS OF ORGANIC FARM VIKSI
OÜ**

Bakalaureusetöö

Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendaja: vanemteadur Karin Kauer, *PhD*

Tartu 2022

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Heiko Viksi		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Süsinikubilanss mahepõllumajandusettevõtte Viksi OÜ põldudel			
Lehekülgi: 37	Jooniseid: 3	Tabeleid: 5	Lisasid: 0
Osakond: Mullateaduse õppetool			
Uurimisvaldkond: B410 Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia			
Juhendaja: Karin Kauer, PhD			
Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2022			
<p>Süsiniku sidumisele pühendatakse aasta-aastalt järjest rohkem tähelepanu ning põllumajandusel on siinkohal mängida väga tähtis roll, kuna muldades peitub suur osa maismaa süsinikust. Töö eesmärgiks oli uurida, kuidas on perioodi 2016–2021 jooksul ettevõtte Viksi OÜ põldudel mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldus muutunud, kui suured on olnud süsinikusisendid mulda ja millised kultuurid on suurima süsinikusisendiga, lisaks uuriti, milline on süsinikusisendi ja süsinikuvaru muutuse vaheline seos. Töö viidi läbi empiirilise uurimusena, materjalidena kasutati veebiartikleid, kirjallikke allikaid, Viksi OÜ põlluraamatute andmeid ja mullaproovide analüüsitulemusi. Süsinikusisendid varieerusid vahemikus 0,16 t/ha (madala saagikusega suvioder) aastas kuni 7,88 t/ha (punane ristik) aastas. Suurima süsinikusisendiga kultuurideks osutusid punane ristik, talirukis, põldhernes ja kaer. Väiksema süsinikusisendiga kultuurid olid suvioder, talinisu ja tatar. Viksi OÜ põldudel on kuue aasta jooksul üheksast põllust kuuel C_{org} sisaldus tõusnud, ühel jäänud samaks ja kahel langenud. Süsinikusisendi ja -varu muutuse vahel esines positiivne seos. Käesolev töö võiks aidata põllumajandustootjatel teha otsuseid, milliseid kultuure on mõistlik kasvatada süsinikusisalduse tõstmiseks mullas ning näidata, kuidas saagikus mõjutab erinevate kultuuride puhul süsinikusisendit.</p>			
Märksõnad: süsinikusisend, mulla orgaaniline süsinik, süsinikuvaru muutus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Heiko Viksi		Specialty: Production and marketing of agricultural products	
Title: Carbon balance on fields of organic farm Viksi OÜ			
Pages: 37	Figures: 3	Tables: 5	Appendixes: 0
<p>Department: Chair of Soil Science</p> <p>Field of research: B410 Soil science, agricultural hydrology</p> <p>Supervisor: Karin Kauer, PhD</p> <p>Place and date: Tartu, 2022</p>			
<p>More and more attention is being paid to carbon sequestration every year and agriculture has a very important role to play here, as soils contain a large proportion of Earth's carbon. The aim of the study was to investigate how the content of soil organic carbon (C_{org}) has changed in the fields of Viksi OÜ during the period of 2016–2021, how large the carbon inputs have been and which crops have the highest carbon input. In addition, the relationship between carbon input and changes in the soil carbon stock was investigated. The work was carried out as an empirical study. Web materials, written sources, data from Viksi OÜ field books and analysis results of soil samples were used as information sources. Carbon inputs ranged from 0.16 t/ha (low yield spring barley) per year to 7.88 t/ha (red clover) per year. The crops with the highest carbon input were red clover, winter rye, field peas and oats. The lower carbon crops were spring barley, winter wheat and buckwheat. In the fields of Viksi OÜ, the soil stock of C_{org} in six of the nine fields has increased in six years, remained the same in one and decreased in two. There was a positive relationship between the change in carbon input and change of soil carbon stocks. This work could help farmers to decide which crops are wise to grow to increase the carbon content of the soil and to show how yields affect the carbon input of different crops.</p>			
Keywords: soil carbon, carbon sequestration efficiency, carbon stock change			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1. Mulla orgaaniline aine ja selle tähtsus	7
1.2. Mulla orgaanilise aine allikad.....	8
1.3. Süsiniku mulda sidumist mõjutavad faktorid.....	10
1.3.1. Mulla süsinikusidumise ja -hoiu võime	11
2. MATERJAL JA METOODIKA	13
2.1. Ettevõtte tutvustus.....	13
2.2. Viksi OÜ põldude mullastik	13
2.2.1. Põld Murukikka	14
2.2.2. Põld Arja.....	15
2.2.3. Põld Uus saun.....	16
2.2.4. Põld Trafo.....	16
2.2.5. Põld Tagalauda	16
2.2.6. Põld Pung	17
2.2.7. Põld Külvi tall.....	17
2.2.8. Põld Sepa	17
2.2.9. Põld Sepa kolmnurk.....	17
2.3. Kasvatatud kultuurid, saagikused, agrotehnoloogia	18
2.4. Mullaproovide võtmine	20
2.5. Süsinikusisendi arvutamine.....	20
2.6. Mulla süsinikuvaru ja varu muutuse arvutamine.....	21
3. TULEMUSED	23
3.1. Süsinikusisendid	23
3.2. Külvikorra keskmised süsinikusisendid ja C varu muutused	26
4. ARUTELU.....	29
KOKKUVÕTE.....	32
KASUTATUD KIRJANDUS	34

SISSEJUHATUS

Süsinik (C), selle atmosfääri paiskamine süsinikidioksiidina (CO₂), sidumine mulda ja biomassi ning pikemaajaks seotud kujul säilitamine, on viimastel aastatel seoses eesmärgiga pidurdada kliimamuutuste negatiivseid mõjusid, üha enam tähelepanu pälvinud valdkond. Süsinikuneutraalsus ning pikemas perspektiivis isegi -negatiivsus on arengusuunad, mille poole püüeldakse ja majanduse dekarboniseerimise kaudu loodetakse ära hoida halvimal kliimamuutustest tingitud stsenaariumid. Selle saavutamiseks peab olema atmosfääri paisatud kasvuhoonegaaside (KHG) ekvivalent võrdne või väiksem seotud kasvuhoonegaaside ekvivalendiga. Süsiniku sidumisel nähakse lisaks tööstuslikele võimalustele ja märgalade taastamisele suurt potentsiaali ka metsandusel ja põllumajandusel. Viimaste abil on võimalik C talletada nii biomassi kui ka mulda. (Euroopa Parlament, 2019)

Põllumajanduse suuremat potentsiaali nähakse just C pikemaajaks talletamisel mulla orgaanilise aine koostisesse. Lisaks on paljudel põllumeestel isiklik huvi mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldust tõsta, sest see on otseses seoses mullaviljakusega, mis omakorda tagab head majanduslikud tulemused ja ettevõtte toimimise jätkusuutlikkuse. (Corning et al., 2016)

Erinevad harimisviisid, külvikorrad, põllumajanduslikud sisendid (orgaanilised ja mineraalsed väetised) ja muud agrotehnoloogilised võtted määravad ära selle, kui palju tootmise käigus mullast C orgaanilise aine lagunemise teel vabaneb ja kui palju seda mulda seotakse. Levinud tõeks on saanud, et mida vähem mulda liigutada (harida) ja mida suurem on saagikus, seda rohkem on võimalik mulla C_{org} sisaldust mullas tõsta. (Mullaviljakuse põhitõed, 2022)

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida kuue aasta jooksul toimunud mulla C_{org} varu muutusi Tartumaal asuva mahepõllumajandusliku ettevõtte Viksi OÜ põldudel ning selgitada välja mulda mineva C sisendi koguse ja mullas toimunud C_{org} varu muutuste vahelised seosed. Tulemuste analüüsimine võimaldab saada infot selle kohta, millised

agrotehnoloogilised lahendused on/ei ole abiks C mulda sidumisel. Tulemuste põhjal saab järeldada, kas ettevõtte agronoomilise poole juhtimises on vaja teha suuremaid muutuseid, et tagada ka tulevikuks viljakate muldade olemasolu. Kuna mahepõllumajanduses on umbrohtude tõrjeks vajalik suhteliselt intensiivne mullaharimine ja saagikused on tavatootmisest väiksemad, siis töö hüpoteesiks on püstitatud eeldus, et muldade C_{org} varu Viksi OÜ põldudel on viimase viie aasta jooksul langenud.

Mahepõllumajanduslik tootmine nõuab palju rohkem eriteadmisi, kui tavatootmine, sest kasutatavate sisendite hulk on väiksem ning nende soetusmaksumused on kõrgemad. Seega tuleb leida võimalikult mõistlikke majandamisviise majandusliku jätkusuutlikkuse tagamiseks. Ühtegi konkreetset valemit ei ole, mis igas ettevõttes töötaks ja seega tuleb kõige efektiivsemad viisid leida ise, kohalikes tingimustes.

Viksi OÜ-l on tuleviku suhtes ambitsioonikad plaanid. Erinevatelt paljudest väiketootjatest, ei plaani ettevõtte põllumajanduslike tegevuste osakaalu vähendada või kaotada. Otsitakse uusi võimalusi maafondi suurendamiseks, tootmise laiendamiseks, omatoodetud saaduste väärindamiseks, tegeletakse võimalikult palju otseturundusega ja üritatakse tootlikkust suurendada sel viisil, et jätkusuutlikkus oleks tagatud nii looduslikult kui ka majanduslikult. Antud töö raames soovitakse leida viimaste tingimuste tagamiseks sobivaid agrotehnoloogiaid.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Mulla orgaaniline aine ja selle tähtsus

Mulla orgaaniline aine (MOA) koosneb suuremas osas mullas erinevas lagunemisastmes olevast surnud taimede ja loomade jäänustest, huumushapetest ja humiainetest (Astover et al., 2012), sisaldades keskmiselt 58% C. Peamine osa MOA-st paikneb mineraalmuldade puhul huumushorisondis (sisaldus kuni ca 5%) või mullapinnal olevas kõduhorisondis, turvasmuldade puhul koosnebki suurem osa mullast orgaanilisest ainest (Fageria, 2012).

Keskkonnakaitsel (nt CO₂ sidumisel) ja mullaviljakuse säilitamisel omab MOA väga tähtsat rolli, kuna vähendab lasuvustihedust, parandab mulla veerežiimi ja poorsust, mis suurendab põuakindlust ning lihtsustab harimist. Samuti vabaneb orgaanilise aine mineraliseerumisel taimedele omastatavat lämmastikku (N) ning paraneb teiste vajalike toitainete kättesaadavus taimedele. (Körschens, 2002)

Orgaaniline aine parandab mulla keemilist ja bioloogilist seisundit, absorbeerib taimekaitsevahendite jääke ja seeläbi vähendab riski pinna- ja põhjavee saastamiseks. Lisaks suudab MOA siduda raskemetalle, mis takistavad taimekasvu ja ohustavad samuti pinna- ja põhjavett. MOA on väga vajalik ka mullaelustikule, kellele orgaaniline aine on toiduks. Selle abil elavneb mulla mikrobioloogiline keskkond, mis omakorda parandab toitainete tasakaalu, omastamist ja mineralisatsiooni ning aitab MOA lagunemise ja tekke vahelist tasakaalu hoida. (Fageria, 2012)

Mulla orgaanilise aine puhul eristatakse stabiilset ja labiilset vormi. Stabiilne vorm võib mullas püsida muutumatuna aastaid ja isegi aastakümneid, samas kui labiilne vorm on mullaelustiku toimele väga kiiresti lagunev. Labiilne vorm koosneb peamiselt kiiresti lagunevatest aminohapetest ja -suhkrutest, süsivesikutest, peptiididest ja lipiididest ning aeglasemalt lagunevast ligniinist, tselluloosist ja hemitselluloosist. (Tirol-Padre & Ladha, 2004)

1.2. Mulla orgaanilise aine allikad

Mulla orgaanilise aine sisalduse tõstmiseks ja säilitamiseks saab kasutada erinevaid agrotehnoloogilisi võtteid. Minimeeritud harimine, mitmekesised külvikorrad, suure biomassiga kultuuride kasvatamine, vahekultuurid, orgaanilised väetised (sõnnik ja kompostid), mineraalväetised (nende abil taimekasvu suurendamine ja seeläbi suurema koguse biomassi põllule jätmine), koristusjätmete põllule jätmine, aeg-ajalt loomade karjatamine ning happeliste muldade lupjamine on peamised võtted, mida on võimalik põllumajanduslikus tootmises rakendada, et tagada muldade pikaajaline viljakus. Nende praktikate rakendamine / mitte rakendamine, mullastiku eripärad sõltuvalt asukohast ja intensiivse maakasutuse ajaline kestus määravad, milline on MOA sisaldus. Pidev ja intensiivne harimine kiirendab orgaanilise aine mineralisatsiooniprotsessi ja orgaanilist ainet võib laguneda rohkem, kui juurde tekib. (Fageria, 2012) Kogu MOA-s paiknev C_{org} omab väga tähtsat osa globaalsest C ringest (Corning et al., 2016).

Kõige enam mõjutab mullas oleva orgaanilise aine kogust sinna viidava C sisendi hulk (Berti et al., 2016). Heaks vahendiks mulla C_{org} sisalduse suurendamiseks on sõnniku ja/või teiste orgaaniliste väetiste mulda viimine, mis sisaldavad lisaks suurele kogusele C-le ka peaaegu kõiki teisi taimekasvuks vajalikke toitaineid. On täheldatud, et künnipõhise harimise puhul on mulda viidava sõnniku mõju mulla C_{org} sisalduse tõusule suurem, kui minimeeritud harimise puhul. Samas otsekülvi tehnoloogiate rakendamine oluliselt mulla C_{org} sisaldust ei tõsta. Kombineerides sõnniku ja mineraalväetiste kasutamist, on võimalik veelgi mulda viidava orgaanilise C koguseid suurendada, sest mineraalväetised tagavad taimedele kiiresti omastatavate toitainete olemasolu ning seeläbi suureneb nende netoproduktioon, mis omakorda suurendab C sisendit. Sõnnikud ja kompostid omavad C mulda viimisel suuremat efekti, kui vahekultuuride kasutamine ja koristusjätmete põllule jätmine. Vahekultuuride kasutamise puhul on täheldatud C_{org} suurenemist mullas 9–10%. (Gross & Glaser, 2021) Seetõttu ei saa ka vahekultuuride kasutamist alahinnata ning kuna mullas on ligikaudu 3,2 korda rohkem C kui atmosfääris ja 4 korda rohkem kui kogu Maa biotilises süsteemis, siis tuleks kasutada kõiki võimalikke meetodeid, et muldade C_{org} sisaldusi suurendada, sest sellest on võita nii keskkonnale kui ka põllumehel endal. Vahekultuurid on viimasel ajal esile tõusnud ka C kaubanduses, kus C ühendite jt kasvuhoonegaaside emiteerija toetab finantsiliste vahenditega tootjaid, kes suudavad C siduda. Selle kaudu soovib emiteerija enda

C jalajälge vähendada ning heitmete siduja saab sellest majanduslikku lisakasut, mis omakorda motiveerib astuma rohkem samme C sidumise suurendamise osas. Kuna mitmesuguste külvikordade puhul ei ole põllumaa 100% aastast taimikuga kaetud, siis vahekultuuride kasvatamise abil saab seda lihtsasti muuta ning seeläbi C sisendit suurendada. (Chahal et al., 2020)

Eesti tingimustes sobivad vahekultuuridena kasvatamiseks nt valge sinep, kesaredis (*tillage radish*), aleksandria ristik, talivikk ja tatar. Katsete põhjal osutus Eestis parimaks N, fosfori (P) ja kaaliumi (K) sidujaks kesaredis (Klammer, 2017). Siiski tuleb jälgida kohalikke tingimusi ja põldude eripärasid, et leida sinna sobivaimad vahekultuurid, tagamaks võimalikult suurt potentsiaalset C sisendit (Chahal et al., 2020).

Lisaks on võimalik vahekultuuride abil põllul umbrohtumust ning tuule- ja vee-erosiooni vähendada, liblikõieliste vahekultuuride puhul saab mulda rikastada N-ga. On ka täheldatud erinevate patogeenide ja kahjurite esinemise vähenemist põllul, mis vähendab tulevikus pestitsiidide kasutamist. Samuti on võimalus loomakasvatustalude puhul vahekultuuridega põldudel loomi karjatada või vahekultuuride maapealne biomass loomasöödana kokku koguda. (Walia, 2019)

Sõnniku näol on tegu väga hea C sisalduse tõstjaga mullas, kuid tuleb tähele panna, et suurema N sisalduse ehk madala C:N suhtega sõnnik võib mullas kiiresti laguneda ning mitte stabiilsesse vormi jõuda. Jahedamates piirkondades on sõnniku potentsiaal mulla C_{org} varusid tõsta suurem kui troopilistes piirkondades. Samuti on täheldatud, et väiksemate igaaastaste sõnnikunormide puhul on protsentuaalne C orgaanilisse ainesse sidumine kõige suurem. Samas on sel juhul koguseliselt mulda viidava C kogus väike. Suuremate normidega on võimalik küll kiirelt rohkem C mulda viia, kuid stabiilsesse faasi jõuab protsentuaalselt väiksem osa C-st, kui väiksemate normide puhul ja domineerima jääb labiilne osa, mis kiiresti laguneb. Näiteks kasutades sõnnikunorme kuni 25 t/ha aastas, on C sidumine MOA-sse ligikaudu poole suurem, kui normidega üle 100 t/ha aastas¹. (Gross & Glaser, 2021)

¹ - NB! Jälgida hetkel kehtiva Veeseaduse paragrahve, et mitte ületada sõnniku laotamisel seadusega lubatud kogust!

Sõnniku kasutamise puhul on ettevõttesisese loomakasvatuse puudumise korral paljudel juhtudel probleemiks kvaliteetse sõnniku piisavas koguses leidmine, kuna suurte mahtude transport on kulukas. Veel enam, kui ka sõnniku enda eest tuleb maksta, siis ei pruugi tegu olla majanduslikult otstarbeka tegevusega.

Heaks C allikaks on ka koristusjäätmete (nt põhu) põllule jätmine. Põhu abil on võimalik suurendada lisaks labiilsele C-le ka stabiilse C osakaalu mullas. On täheldatud, et põhu mulda viimisega suureneb mullas ka mikrobiaalse biomassi C. Soojemates kliimaatilistes tingimustes on mullas mikrobiaalse C kasv olnud isegi suurem, kui mulla C_{org} kasv. Samas on ka leitud, et liigne põhu mulda viimine koos mineraalsete väetistega põhjustab põhus oleva C emissiooni kasvuhoonegaaside näol atmosfääri ning sel viisil tekivad suuremad C kaod. Hiinas tehtud katsete põhjal selgus, et viies põhku mulda vahemikus 4–8 t/ha aastas on mõju mulla C_{org} ja mikrobiaalse C suurenemisele kõige suurem. Väiksemate normide puhul on mõju kasvule väiksem, suuremate normide puhul mõju mulla C_{org} suurenemist ei muuda ning mikrobiaalse C suurenemine hakkab suuremate põhunormide puhul, kui 8 t/ha aastas, hoopis kiirelt langema. (Wang et al., 2021)

1.3. Süsiniku mulda sidumist mõjutavad faktorid

Süsiniku mulda sidumine kätkeb endas taimede abil atmosfääris oleva CO_2 sidumist mulda orgaanilisel kujul. Fotosüntees on CO_2 sidumisel võtmeprotsessiks. Teatud kliimaatilistes tingimustes on väiksemal määral võimalik ka mullaõhus olevat CO_2 -te muuta otse, ilma taime abita, sekundaarseteks C ühenditeks, näiteks karbonaatideks (Ontl & Schulte, 2012).

Süsiniku sidumise efektiivsus sõltub väga paljudest faktoritest: nt kasvava taimestiku biomassi suurusest, geograafilis-kliimaatilistest tingimustest, veerežiimist, mulla lõimisest, inimtegevuse intensiivsusest, pH-st ja mulla mikrobiaalsest aktiivsusest. Inimtegevuse tugev surve ja kliimaatiliste tingimuste kiire muutumine on olnud peamised põhjused, miks väga suur osa MOA-st on viimaste aastakümnete jooksul lagunenud ning CO_2 –na jt KHG–dena atmosfääri paiskunud. Peamiselt seisneb selle taga muldade niiskusrežiimi muutmine (kuivendamine), intensiivne mineraalväetiste kasutamine ja monokultuuride kasvatamine,

mis põhjustab pH langust ehk muldade hapestumist ja ka mullaelustiku aktiivsuse vähenemist. (Chen et al., 2018)

Uuringutes on täheldatud, et mullad, mis asuvad jahedamates ja niiskemates piirkondades, omavad võrreldes kuivemate ja soojemate piirkondadega suuremat potentsiaali talletada C_{org} , sest C akumulatsioon mulda on suurem kui lagunemine (Gross & Glaser, 2021). Kliima soojenemine võib kiirendada MOA lagunemist ja seeläbi suurendada C heidet, mis omakorda kiirendab kliima soojenemist ja MOA lagunemist (Melillo & Gribkoff, 2021).

1.4. Mulla süsinikusidumise ja -hoiu võime

Eduka põllumajandusettevõtte majandamise eelduseks on see, et suudetakse mullas oleva C_{org} sisaldust tõsta või vähemalt eelnevat taset hoida.

Mulla C sidumise võimet piirab seal eelnevalt oleva C_{org} hulk. Igal mullaliigil on oma teatud küllastatuse piir, millest ülespoole enam ei ole võimalik C stabiilselt (püsivusaeg rohkem kui 50 aastat) mulda siduda. Mida väiksem on algne C_{org} sisaldus mullas, seda parem on mulla C sidumise võime ning C_{org} sisalduse tõustes võime stabiilsel kujul C siduda väheneb. Küllastusastmele lähenemise korral jääb mulda viidav orgaaniline aine labiilsesse vormi, mis laguneb mullaelustiku toimel suhteliselt kiiresti. Siiski on intensiivselt kasutuses olevate põllumaade puhul keeruline küllastusastmeni jõuda, kuna harimine soodustab MOA lagunemist. (Stewart et al., 2007)

Süsinikuhoiuvõimet mõjutab väga palju ka mullastiku veerežiim. Märgalad katavad ca 5–8% maismaast, kuid hoiustavad ligikaudu 15–30% kogu muldades olevast C_{org} varust. Kuna liigniisketes tingimustes on orgaanilise aine lagunemine puuduliku mullaelustiku aktiivsuse tõttu häiritud, siis aastate jooksul on keskmine MOA kuhjumine suurem, kui lagunemine ning seega on märgalade muldadest saanud väga tähtsad C reservuaarid. Märgalade kuivendamisel veerežiim muutub, orgaanilise aine lagunemistingimused paranevad, MOA sisaldus väheneb ning mullast võib saada hoopis C emiteerija, mitte siduja. (Zhu et al., 2019)

Samuti mõjutab mulla C hoiuvõimet lõimis ehk saviosakeste osakaal. On täheldatud, et mulla C_{org} ja saviosakeste sisalduse vahel on lineaarne seos. Saviosakeste osakaalu tõustes tõuseb mulla võime C siduda. Samas on täheldatud, et väga suurt mõju saviosakeste C hoiuvõimele omavad ka kliimaatilised tingimused. Seega tuleb vaadata igat piirkonda ja mullastiku individuaalse pilgu läbi. (Zhong et al., 2018)

Mulla võimet C siduda mõjutab ka mulla pH. Madalama pH puhul on mullaelustiku elutegevus häiritud ning orgaanilist ainet ei lagundata nii efektiivselt kui neutraalsetes muldades. Seetõttu võib tuua muldade lupjamine kaasa mõningase C_{org} varu vähenemise, kuid on seni teadmata, kas neutraalsel mullal kasvanud taime suurem netoproduksioon ja seekaudu ka suurem C sisend võiks kompenseerida selle orgaanilise aine osa, mis mullaelustiku aktiivsema elu tõttu laguneb. Samas on lubi kaltsiumirikas ning vabad kaltsiumiioonid mullas võivad moodustada erinevaid orgaanilis-mineraalseid ühendeid, mis aitavad samuti C stabiilsemal kujul mullas hoida. Uuringutes on leitud, et sõnniku kasutamine C_{org} tõstmiseks ongi just kõige efektiivsem happelistel muldadel, sest et orgaanilise aine lagunemine on takistatud. (Gross & Glaser, 2021)

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Ettevõtte tutvustus

Viksi OÜ on Tartumaal, Elva vallas tegutsev mahepõllumajanduslik ettevõtte. Koos FIE Hillar Viksi-ga moodustatakse ühine põllumajanduslik majapidamine (edaspidi koondatult Viksi OÜ), mis on teravilja kasvatusena tegelenud juba aastast 1992. Otsus alustada tootmist suuremas mahus mahepõllumajanduslikult tuli aastal 2009, kuid juba eelnevalt kasutati võimalikult minimaalselt nii mineraalväetiseid kui ka keemilisi taimekaitsevahendeid ning teatud põllud vastasid majandamisviisilt juba väga pikka aega mahepõllumajanduslikele nõuetele. Puudus ainult sellekohane sertifikaat.

Hetkel kasvatab Viksi OÜ maheteravilja ligikaudu sajalt hektaril. Lisaks majandatakse Valguta poldril ca 150 ha ulatuses püsirohumaid. Omandis on 80% maafondist. Ülejäänud osa rendivad ettevõttele välja kohalikud elanikud, kes ei soovi enda kodude ümber intensiivset tavatootmist. Läbi aegade on Viksi OÜ-s kasvatatud nisu, rukist, otra, kaera, põldhernest, põlduba, tatart, punast ristikut, speltanisu, kanepit, mesikat, pruuni sinepit, põldheina ning erinevaid liblikõieliste kultuuride segusid. Harimisviisid on olnud valdavalt künnipõhised, kuid viimaste aastate jooksul on olnud võimalus teatud põldudel rakendada minimeeritud harimist, kus randaalimise ja äestamisega suudetakse tagada kvaliteetne külvipinnas ning umbrohtudest puhtad põllud.

2.2. Viksi OÜ põldude mullastik

Käesolevas uuringus keskendutakse ettevõtte üheksale põllumassiivile. Põldudel esinevate mullaliikide, lõimiste, huumushorisoni tüseduse ja boniteedi määramiseks kasutati Maa-ameti geoportaali mullastikukaarti andmeid.

Enamustel põldudel on peamisteks mullaliikideks leetjas muld (KI) või leostunud muld (Ko) (Tabel 1). Paiguti on eespool nimetatud mullad esindatud ka ajutiselt liigniiskete ehk gleistunud vormidena (KIg, Kog).

Valdavalt on Viksi OÜ põllud kergete muldadega. Kõige enam on huumushorisondis levinud kerge liivsavi (ls₁), seejärel saviliiv (sl). Üksikute põldude teatud osades leidub ka natuke raskemat lõimist nagu keskmine liivsavi (ls₂). Huumushorisoni tusedus varieerub uuritud põldudel vahemikus 22–28 cm. Perspektiivsed boniteedid jäävad vahemikku 39–53, mis näitab, et valdavalt on tegu põllumajanduslikuks tootmiseks sobivate muldadega. Põllud, mis on suuremad kui 5 ha, on jaotatud kuni 5 ha suurusteks proovivõtualadeks ja töö käigus analüüsitakse põllu kohta ühte proovivõtuala.

Tabel 1. Põlde kirjeldavad näitajad

Põld	Mullaliik	Lõimis	Huumushorison (cm)	Perspektiivne boniteet (punkti)	Pindala (ha)
Murukikka	KI ¹	sl ⁴	27	50	9,72
Arja	KI ²	ls ₁ ⁵	22	39	3,44
Uus saun	KI ²	sl	28	43	3,34
Trafo	Ko ³	sl	25	53	15,07
Tagalauda	KI ²	ls ₁	25	45	2,71
Pung	KI	ls ₁	25	53	1,44
Külvi tall	KI	sl	23	43	1,60
Sepa	KI ²	ls ₁	25	45	12,03
Sepa kolmnurk	KI ²	ls ₁	25	45	1,17

¹ KI – leetjas muld; ² KI² – gleistunud leetjas muld; ³ Ko – leostunud muld; ⁴ sl – saviliiv; ⁵ ls₁ – kerge liivsavi

2.2.1. Põld Murukikka

Põllul Murukikka esineb suuremas osas leetjas muld, mis on Eestis, eriti just Tartumaal, võrdlemisi levinud. Tegemine on karbonaatsel moreenil kujunenud mullaga, kus esineb 60–90 cm sügavusel keemist. Aluselisel lähtekivimil tekkinud põllumuldade pH võib jääda vahemikku 5,8–6,1, kuid see sõltub agrotehnoloogiast. (Astover et al., 2012)

Kõige tüüpilisemalt esineb antud mulla puhul huumushorisoni all väljauhtehorison, kust on laskuva veega selle all asuvasse sisseuhtehorisoni tolmu ja savi osakesi ümber kantud.

See tekitab lõimiste erinevuse erinevate horisontide vahel. Sisseuhtehorisondi all paikneb lähtekivim. (*Ibid.*: 2012)

Leetjad põllumullad sisaldavad keskmiselt ligikaudu 1,5% C_{org}. Mulla C_{org} sisaldus võib olla suurem või väiksem, sõltuvalt rakendatavast agrotehnoloogiast. (*Ibid.*: 2012)

Huumushorizont on Murukikka põllul ca 27 cm түsedune, lõimis varieerub ühe meetrise sügavkaeve¹ lõikes saviliiva ja kerge liivsavi vahel. Alumistes kihtides on lõimis võrreldes huumushorisondiga raskem. Põllu kõrgus merepinnast on ida-läänesuunaliselt langev ning 300 meetri jooksul muutub maastiku kõrgus merepinnast umbes 10 meetrit. Väga üksikutel kohtadel esineb ka ajutist liigniiskust, millele viitavad gleilaigud 30–50 cm sügavuses kihis. Perspektiivne boniteet ca 50.

2.2.2. Põld Arja

Põllul Arja on levinud gleistunud leetjas muld, mis on omadustelt võrdlemisi sarnane leetja mullaga, kuid nende puhul võib esineda ajutist liigniiskust varakevadel ja hilissügisel ajal. Sisseuhtehorisondis esineb sinakas-hallikaid gleilaike ja nende olemasolu/mitte olemasolu abil on võimalik eristada, kas tegu on gleistunud leetja või lihtsalt leetja mullaga. (Astover et al., 2012)

Huumushorizont on Arja põllul keskmiselt 22 cm түsedune, lõimiseks kerge liivsavi. Põld on piiratud igast küljest kasvava metsaga, reljeef on lääne-idasuunaliselt langev, üks külг piirneb osaliselt kuivenduskraaviga, mis suubub samal kinnistul asuvasse tiiki. Idapoolsel küljel esineb paiguti rohkelt liigniiskust ning mullaproovide võtmisel on seda kohta välditud. Perspektiivne boniteet on põllul 39.

¹ - Sügavkaeve teostati töö autori poolt 3. mail 2020, õppeaine „Mullateaduse alused“ raames. Teistel põldudel sügavkaeveid ei tehtud

2.2.3. Põld Uus saun

Põllul Uus saun on mullaliigiks gleistunud leetjas muld. Huumushorisoni tüseduseks on ca 28 cm, lõimiseks saviliiv. Põllu läänepoolses küljes esineb rohkem liigniiskust, kui idapoolses. Piirneb ühest küljest kuivenduskraavi, kahest küljest teise tootja põldudega. Perspektiivne boniteet 43.

2.2.4. Põld Trafo

Põllul Trafo esinevat leostunud mulda leidub Eestis peamiselt Pandivere kõrgustikul ja Saaremaal, väiksemal määral kohati ka mujal Eestis. Karbonaatsel lähtekivimil tekkinud põllumuldade pH jääb üldjuhul vahemikku 6,5–7,0 ja on kõrgeim alumistes kihtides. Keemist võib esineda juba 30 cm sügavusel. Huumushorisoni all paikneb metamorfne sisseuhtehorisoni ning läbilõige lõpeb lähtekivimiga. (Astover et al., 2012)

Tegu on võrdlemisi viljaka mullaga ja seetõttu on nad põllumaana laialdaselt kasutusele võetud. Põllumuldade C_{org} sisaldus võib olla isegi 1,7%. Mullaelustiku aktiivsus on neutraalse reaktsiooni tõttu üpriski suur. (*Ibid.*: 2012)

Trafo põld on üks suurematest Viksi OÜ põldudest kogupinnaga 15,07 ha. Keskmine huumushorisoni tüsedus on ca 25 cm, lõimiseks huumushorisonis saviliiv, perspektiivne boniteet vahemikus 53–60. Läbilõikes allapoole liikudes muutub lõimis raskemaks (Is1). Massiiv ei asu tasasel pinnal, kõrgeima ja madalaima punkti kõrguste vahe on 6 meetrit, piirneb kahest küljest maanteega, ülejäänud osas teise tootja põlluga.

2.2.5. Põld Tagalauda

Põld Tagalauda oli kuni 2015. aastani püsirohuma, mida ei niidetud ega haritud aastakümneid. Põld asub endise Suurfarmi kõrval, mistõttu kasutati seda omal ajal karjamaana. Terve põllu ulatuses on levinud gleistunud leetjas muld, lõimiseks

huumushorisondis kerge liivsavi (Is_1), huumushorisoni tusedus 25 cm, perspektiivne boniteet 45.

2.2.6. Põld Pung

Põllu Pung näol on tegemist vana talu aiamaaga, mis piirneb ühest küljest metsa, kahest võsastunud püsirohumaaga, neljandast elamutega. Terve põllu ulatuses on levinud leetjas muld kerge liivsavi lõimisega. Huumuskihi tusedus on 25 cm, perspektiivne boniteet 53.

2.2.7. Põld Külvi tall

Põld Külvi tall asub endise talli kõrval. Samuti leidnud kasutust minevikus karjamaana. Kogu põllu ulatuses on levinud leetjas muld saviliiva lõimisega. Huumuskihi tusedus 23 cm, perspektiivne boniteet 43.

2.2.8. Põld Sepa

Põld Sepa on teine suurim põld, mida ettevõtte majandab. Kogupindala on ligikaudu 12 ha. Kogu põllu ulatuses on levinud gleistunud leetjas muld kerge liivsavi lõimisega. Üksikutes kohtades esineb ajutist liigniiskust. Põld piirneb kruusateega, teise tootja põllu ja metsaga. Huumuskihi tusedus 25 cm, perspektiivne boniteet 45.

2.2.9. Põld Sepa kolmnurk

Põld Sepa kolmnurk asub Sepa põllu kõrval ja ka siin on levinud gleistunud leetjas muld kerge liivsavi lõimisega. Põld piirneb maantee, teise tootja põllu ja kuivenduskraaviga. Huumuskihi tusedus ja perspektiivne boniteet on Sepa põlluga samad.

2.3. Kasvatatud kultuurid, saagikused, agrotehnoloogia

Iga põllu kohta koguti kokku põlluraamatute andmed, millest tähtsaimad on kasvatatud kultuurid, nende saagikus, koristusjätmete põllule jätmine/mitte jätmine, harimisviis ja kasutatud väetiste kogused.

Tabelis 2 on välja toodud uurimistöös kasutatud põldude põlluraamatute andmed aastate 2016–2021 kohta. Kui allakülvile järgneval aastal punast ristikut külvikorras ei ole, siis künti järgmisel kevadel ädal haljasväetisena enne järgneva kultuuri külvi mulda.

Saagikuse all on kõikidel kultuuridel (v.a. punase ristik) välja toodud koristatud ja põllult ära veetud seemne mass kuivainesisaldusega 86%. Kuna punase ristiku biomassi tootmispõldudel ei määratud, siis on välja toodud keskmine haljasmassi saagikus vastavalt Salf (2018) andmetele.

„Põhk põllule“ lahter tähistab seda, kas koristusjätmed on jäetud purustatud kujul põllule (Jah) või on need kokku koristatud ja põllult ära veetud (Ei).

Harimisviisid on olnud valdavalt künnipõhised. Minimeeritud harimise all on mõeldud kahekordset randaalimist enne põhikultuuri külvi ning „Ei haritud“ tähistab, et lisaharimist antud kultuuri külvamiseks ei toimunud.

Väetisena on kasutatud Belgia päritolu *FertiPure* NPK 4-3-3+1MgO orgaanilist väetist, mis on peamiselt toodetud veise- ja kodulinnusõnnikust. Väetise lisamine toimus paisklaotusena suviviljadel vahetult enne kultuuri külvi, taliviljadel sügisese väetisena enne külvi ja/või kevadise pealtväetamisena. Väetusnormid varieerusid vahemikus 200–890 kg/ha.

Tabel 2. Põldude külvikorrad, saagikused ja agrotehnoloogia

Aasta	Kultuur	Saagikus (t/ha)	Põhk põllule	Harimine	Orgaaniline väetis ¹ (kg/ha)
Põld Murukikka					
2016	Tatar	1,2	Jah	Künd	- ²
2017	Suvioder a.k ³	1,8	Jah	Künd	-
2018	Punane ristik	10 ⁴	Jah	Ei haritud	-
2019	Talirukis	2,0	Jah	Künd	560
2020	Põldhernes	2,6	Jah	Künd	320
2021	Talinisu	2,5	Jah	Künd	-
Põld Arja					
2016	Speltanisu	1,9	Jah	Künd	-
2017	Põldhernes	2,5 ⁵	Jah	Künd	-
2018	Kaer	1,85	Jah	Künd	-
2019	Suvioder	2,0	Jah	Künd	700
2020	Kaer	3,5	Jah	Künd	550
2021	Põldhernes	1,2	Jah	Minimeeritud	-
Uus saun					
2016	Punane ristik	10	Jah	Ei haritud	-
2017	Talinisu	2,3	Jah	Künd	-
2018	Tatar	1,0	Jah	Künd	-
2019	Suvioder a.k	1,8	Jah	Künd	560
2020	Punane ristik	10	Jah	Ei haritud	-
2021	Suvioder	1,1	Jah	Künd	-
Trafo					
2016	Kaer	2,0	Jah	Künd	-
2017	Suvioder a.k	2,0	Jah	Künd	-
2018	Punane ristik	10	Jah	Ei haritud	-
2019	Kaer	3,5	Jah	Künd	-
2020	Talinisu	2,0	Jah	Künd	800
2021	Põldhernes	1,3	Jah	Künd	-
Tagalauda					
2016	Talinisu	3,5	Jah	Künd	-
2017	Talirukis	4,0	Ei	Künd	-
2018	Põldhernes	2,5	Jah	Künd	-
2019	Suvioder	3,0	Jah	Künd	890
2020	Kaer a.k	4,0	Jah	Künd	630
2021	Tatar	0,9	Jah	Künd	-
Pung					
2016	Suvioder	1,8	Jah	Künd	-
2017	Talirukis	2,1	Jah	Künd	-
2018	Talinisu	1,4	Jah	Künd	200
2019	Põldhernes	2,1	Jah	Künd	420
2020	Suvioder a.k.	2,2	Jah	Künd	600
2021	Punane ristik	10	Jah	Ei haritud	-
Külvi tall					
2016	Suvioder	1,2 ⁶	Ei	Künd	-
2017	Talinisu	1,7	Jah	Künd	-
2018	Tatar	1 ⁵	Jah	Künd	-
2019	Tatar	1,0	Jah	Künd	-
2020	Kaer a.k.	3,3	Jah	Künd	640
2021	Punane ristik	0	Jah	Ei haritud	-

Tabeli 2 järg

Sepa					
2016	Tatar	1,1	Jah	Künd	-
2017	Pölduba	1,2	Jah	Künd	-
2018	Suvioder a.k	0,3	Jah	Künd	-
2019	Kaer	2,1	Jah	Künd	-
2020	Talirukis	2,6	Jah	Künd	660
2021	Tatar	1,0	Jah	Künd	-
Sepa kolmnurk					
2016	Suvioder	1,1	Jah	Künd	-
2017	Talirukis	1,9	Jah	Künd	-
2018	Talinisu	1,3	Jah	Künd	200
2019	Tatar	1,0	Jah	Künd	-
2020	Suvioder a.k	2,2	Jah	Minimeeritud	430
2021	Punane ristik	10	Jah	Ei haritud	-

¹ – FertiPure NPK 4-3-3+1MgO; ² – orgaanilist väetist ei antud; ³ – allakülv; ⁴ – Salf (2018) andmetel;

⁵ – kogu tera- ja põhusaak jäi põllule (ligikaudne); ⁶ – tervikkoristus

2.4. Mullaproovide võtmine

Mullaproovid koguti 2016. ja 2021. aastal vastavalt Põllumajandusuuringute Keskuse (PMK) proovivõtmise juhendile (Põllumajandusuuringute Keskus, 2021).

Proovid on võetud erinevate inimeste poolt, kuid sama tehnikaga ja jälgides eelnevaid proovivõturadasid. Proovid koguti 0–20 cm mullakihist. 2016. aasta mullaproovid on võetud suvel, kasvuperioodi keskel, 2021. aasta proovid sügisel peale saagikoristust.

Mulla C_{org} sisaldus määrati PMK agrokeemia laboris ISO 10694 nõuetele vastavuse järgi, mis sisaldab karbonaatsete ühendite välja lahustamist soolhappega enne mullaproovi kuivtuhastamist ja siis juba otsest C_{org} mõtmist proovist (ISO, 1995).

2.5. Süsinikusisendi arvutamine

Kultuuridega mulda viidavate C sisalduse koguste arvutamiseks kasutati nelja C jaotuskoefitsienti, millest üks määrab ära produktiivsaagi (nt terade) osakaalu kogu taime biomassist (R_p), teine põhu ja koristusjäätmete (R_s), kolmas juurestiku (R_r) ja neljas lisajuurestiku osakaalu (R_e), mille all mõeldakse juureeritisi ja muud juurestikust tulenevat

materjali, mis on lisaks põhijuurestikule (Tabel 3). Nelja koefitsiendi kogusumma $R_p + R_s + R_r + R_e$ peab võrduma ühega. Korrutades koefitsiendid sajaga, saab protsentuaalse arvu, mis iseloomustab, kui palju konkreetse osa C moodustab kogu taimes olevast C-st (NPP-st ehk netoproduksioonist). Erinevate kultuuride koefitsiendid on esitatud tabelis 3. Nisu, odra ja kaera C jaotuskoefitsiendid pärinevad Bolinder et al. (2007) ja põldherne ning punase ristiku omad Kauer et al. (2015) töödest. Tatra ja rukki puhul arvutati C jaotuskoefitsiendid välja, arvestades, et maapealse biomassi ja juurte suhe on tatra puhul 2,8 (Boglaienko, 2013) ja rukki puhul 2,5 (Patel, 2015) ning koristusindeksid vastavalt 0,51 (Brunori et al., 2005) ja 0,44 (Ellen, 1993). Arvutamiseks kasutati Bolinder et al. (2007) esitatud valemeid. Eeldati, et taimede C sisaldus oli 45% (Bolinder et al., 2007).

Orgaanilise väetisega *FertiPure* mulda viidud C sisendi arvutamiseks määrati väetise C sisaldus kuivaines ning tuginedes väetusnormile arvutati välja C sisend kasutades valemit: orgaanilise väetise C sisend (kg/ha) = $((KA * B)/100) * C/100$, kus KA on orgaanilise väetise kuivaine sisaldus (%), B orgaanilise väetise norm (kg/ha) ja C orgaanilise väetise C sisaldus (%). *FertiPure* kuivainesisaldus oli 93,2% ning C sisaldus kuivaines 37,6%.

Tabel 3. Kultuuride C jaotuskoefitsiendid

Kultuur	R_p	R_s	R_r	R_e
Nisu	0,322	0,482	0,118	0,078
Rukis	0,261	0,336	0,244	0,159
Oder	0,451	0,400	0,090	0,059
Kaer	0,319	0,283	0,241	0,157
Põldhernes	0,233	0,577	0,115	0,075
Tatar	0,322	0,307	0,225	0,146
Punane ristik	0 ¹	0,571	0,260	0,169

¹ – ristiku biomass künti mulda

2.6. Mulla süsinikuvaru ja varu muutuse arvutamine

Mulla C_{org} varu (t/ha) leidmiseks kasutati valemit, kus C_{org} sisaldus korrutati lasuvustiheduse ja huumushorisoni tusedusega. Kuna põldudel lasuvustiheduse otsest mõõtmist ei toimunud, siis kasutati selle leidmiseks valemit $BD = 1/(0,03476 \times MOA + 0,6098)$, kus BD

tähistab lasuvustihedust (g/cm^3) ja MOA mulla orgaanilise aine sisaldust (%), mis on tuletatud C_{org} kaudu, arvestades, et MOA sisaldab 58% C (Kauer et al., 2021).

Mulla C_{org} varud arvutati nii 2016. kui ka 2021. aasta kohta ning varude vahe jagati kuue aasta peale, et saada teada keskmised C_{org} varu muutused ühe aasta kohta. Mulla C_{org} varu muutuseid võrreldi põllu keskmiste C sisenditega aastas. Erinevate näitajate vaheliste seoste välja selgitamiseks kasutati lineaarset regressioonanalüüsi ja seose tugevust hinnati korrelatsioonikordaja r kaudu ($r \leq 0,3$ – nõrk seos; $0,3 < r < 0,7$ keskmine seos; $r \geq 0,7$ – tugev seos).

Leidmaks protsentuaalset osakaalu, kui suur osa C sisendist seoti MOA-sse, jagati C varude suurenemine aastas keskmise C sisendi väärtusega ning korrutati 100%-ga.

3. TULEMUSED

Käesolev peatükk keskendub tulemuste analüüsile, kuidas on kuue aasta jooksul Viksi OÜ põldudel toimunud C_{org} sisalduste ja varude muutused, milline on olnud keskmine C-sisend ja C_{org} varude muutus.

3.1. Süsinikusisendid

Keskmine C sisendi kogus, mis taimedega mulda uuritud põldudel tagastati, oli 2,72 t/ha varieerudes vahemikus 0,16–7,88 t/ha (Tabel 4). Kõige väiksema C sisendiga oli suvioder (0,16 t/ha) põllul Sepa 2018. aastal, samuti oli suviotra perioodi 2016–2021 keskmine C sisend kõige madalam ehk 0,90 t/ha aastas võrreldes teiste kultuuridega (Tabel 4). Kõige suurem C sisend oli külvikorras punase ristiku kasvatamisel (7,88 t/ha). Taliteraviljade (talirukis ja -nisu) keskmised C sisendid olid keskmiselt 3,21 ja 1,99 t/ha. Talirukki puhul varieerusid C sisendid vahemikus 2,4–5,1 t/ha ja talinisu puhul vahemikus 1,2–3,3 t/ha. Põldherne keskmiseks C sisendiks oli 3,0 t/ha, mis ületab kõikide kultuuride C sisendit v.a. punase ristiku ja talirukki oma. Põldherne kõrgeim C sisend oli Arja põllul aastal 2017 ehk 4,83 t/ha, madalaim samuti Arja põllul, aastal 2021 C sisendiga 1,78 t/ha. Põldherne C sisendile jäi napilt alla kaer, mille keskmiseks C sisendiks kujunes 2,78 t/ha. Kaera maksimaalne sisend (3,84 t/ha) oli aastal 2020 põllul Tagalauda ja minimaalne Arja põllul aastal 2018, 1,78 t/ha. Tatra keskmine C sisend oli perioodil 2016–2021 1,08 t/ha, suurim 2018. aastal põllul Külvi tall, tootlikkusega 1,85 t/ha, väikseim 2021. aastal põllul Tagalauda, 0,85 t/ha.

Tabel 4. Kultuuride süsiniku (C) sisendid erinevatel põldudel

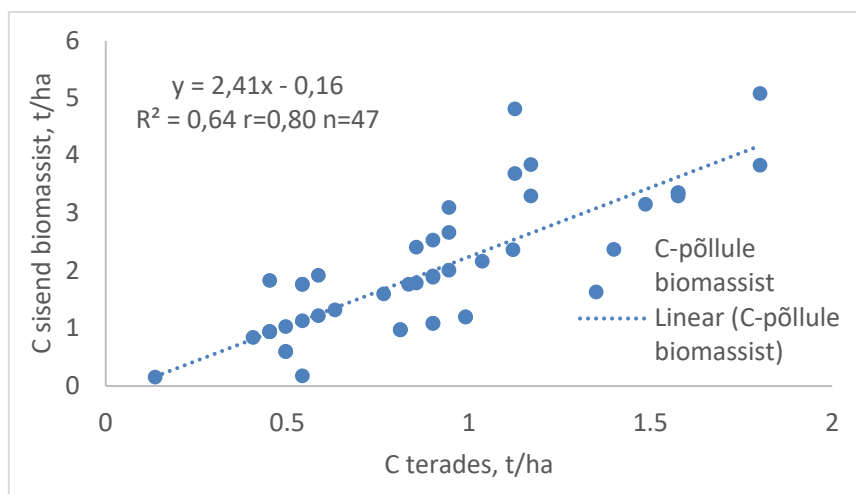
Aasta	Kultuur	C NPP-s ¹	C terades	C sisend biomassist	C sisend väetisest	C sisend kokku
t C/ha						
Murukikka						
2016	Tatar	1,677	0,540	1,137	0	1,137
2017	Suvioder a.k ²	1,796	0,810	0,986	0	0,986
2018	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881
2019	Talirukis	3,447	0,900	2,547	0,196	2,743
2020	Põldhernes	5,021	1,170	3,851	0,112	3,963
2021	Talinisu	3,494	1,120	2,374	0	2,374
Arja						
2016	Speltanisu	2,655	0,855	1,800	0	1,800
2017	Põldhernes ²	4,828	1,125	4,828	0	4,828
2018	Kaer	2,610	0,833	1,777	0	1,778
2019	Suvioder	1,996	0,900	1,096	0,245	1,341
2020	Kaer	4,937	1,575	3,362	0,193	3,555
2021	Põldhernes	2,318	0,540	1,778	0	1,778
Uus saun						
2016	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881
2017	Talinisu	3,214	1,035	2,179	0	2,179
2018	Tatar	1,397	0,450	0,947	0	0,947
2019	Suvioder a.k	1,796	0,810	0,986	0,196	1,182
2020	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881
2021	Suvioder	1,098	0,495	0,603	0	0,603
Trafo						
2016	Kaer	2,821	0,9	1,921	0	1,921
2017	Suvioder a.k	1,996	0,9	1,096	0	1,096
2018	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881
2019	Kaer	4,937	1,575	3,362	0	3,362
2020	Talinisu	2,795	0,9	1,895	0,28	2,175
2021	Põldhernes	2,511	0,585	1,926	0	1,926
Tagalauda						
2016	Talinisu	4,891	1,575	3,316	0	3,316
2017	Talirukis	6,893	1,800	5,093	0	5,093
2018	Põldhernes	4,828	1,125	3,703	0	3,703
2019	Suvioder	2,993	1,350	1,643	0,312	1,955
2020	Kaer a.k	5,643	1,8	3,843	0,221	4,064
2021	Tatar	1,258	0,405	0,853	0	0,853
Pung						
2016	Suvioder	1,796	0,810	0,986	0	0,986
2017	Talirukis	3,619	0,945	2,674	0	2,674
2018	Talinisu	1,957	0,630	1,327	0,070	1,397
2019	Põldhernes	4,056	0,945	3,111	0,147	3,258
2020	Suvioder a.k	2,195	0,990	1,205	0,210	1,415
2021	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881
Külvi tall						
2016	Suvioder ³	1,197	0,540	0,178	0	0,178
2017	Talinisu	2,376	0,765	1,611	0	1,611
2018	Tatar ¹	1,397	0,450	1,847	0	1,847
2019	Tatar	1,397	0,450	0,947	0	0,947
2020	Kaer a.k	4,655	1,485	3,170	0,224	3,394
2021	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881

Tabeli 4 järg

Põld Sepa						
2016	Tatar	1,537	0,495	1,042	0	1,042
2017	Põldhernes	2,318	0,540	1,778	0	1,778
2018	Suvioder a.k	0,299	0,135	0,164	0	0,164
2019	Kaer	2,962	0,945	2,017	0	2,017
2020	Talirukis	4,480	1,170	3,31	0,231	3,541
2021	Tatar	1,397	0,45	0,947	0	0,947
Sepa kolmnurk						
2016	Suvioder	1,098	0,495	0,603	0	0,603
2017	Talirukis	3,274	0,855	2,419	0	2,419
2018	Talinisu	1,817	0,585	1,232	0,070	1,302
2019	Tatar	1,397	0,450	0,947	0	0,947
2020	Suvioder a.k	2,195	0,99	1,205	0,151	1,356
2021	Punane ristik	7,881	0	7,881	0	7,881
Põldude keskmine 2016–2021						
	Tatar	1,43	0,46	1,08		1,08
	Suvioder	1,70	0,77	0,90		0,99
	Punane ristik	7,88	0,00	7,88		7,88
	Talirukis	4,34	1,13	3,21		3,29
	Põldhernes	3,70	0,86	3,00		3,03
	Talinisu	2,90	0,93	1,97		2,02
	Kaer	4,08	1,30	2,78		2,87

¹ – netoproduktiioon; ² – kogu saak jäi põllule; ³ – tervikkoristus

Üldiselt, mida suurem oli produktiivsaak (terade saak), seda suurem oli taimejääkidega tagastatav C kogus ($r > 0,7$ ehk tugev seos) (Joonis 1).



Joonis 1. Produktiivsaagiga põllult ära viidava süsiniku (C terades) ja taimejääkidega mulda viidud süsiniku (C sisend biomassist) koguse vaheline seos.

Orgaanilise väetisega viidi mulda keskmiselt 0,19 t C/ha varieerudes erinevatel põldudel vahemikus 0,07–0,31 t C/ha (Tabel 4).

3.2. Külvikorra keskmised süsinikusisendid ja C varu muutused

Murukikka põllul tõusis mulla C_{org} sisaldus kuue aasta jooksul 0,5 ühiku võrra (Tabel 5). Keskmiselt on mulla C_{org} varu täienenud 2,83 t/ha aastas. Perioodi 2016–2021 keskmine C sisend oli 3,18 t/ha. Orgaanilist väetist on antud kahel aastal ja see moodustab 1,6% perioodi 2016–2021 C sisendist. Ligikaudu 89% kogu C sisendist on liikunud C varude täienemisse.

Arja põllul tõusis mulla C_{org} sisaldus 1,6%-lt 1,9%-le ehk 0,3 ühiku võrra. Keskmiselt suurenes mulla C_{org} varu 1,31 t/ha aastas ning keskmiseks C sisendiks oli 2,51 t/ha aastas. Orgaanilist väetist kasutati kahel aastal ning see moodustas ca 3% kogu C sisendist. Kogu C sisendist ligikaudu 52% liikus mullavarude täienemisse.

Põllul Uus saun mulla C_{org} sisaldus ja varu ei muutunud, kuigi keskmine C sisend on olnud Viksi OÜ põldude lõikes kõige suurem just antud põllul (3,45 t/ha aastas). Väetis andis ca 0,9% kogu C sisendist.

Trafo põllul tõusis perioodil 2016–2021 mulla C_{org} sisaldus 1,3%-lt 1,5%-le ehk 0,2 ühiku võrra, mille tulemusena suurenes mulla C_{org} varu 1,06 t/ha aastas. Keskmine C sisend oli 3,06 t/ha aastas. *FertiPure* väetist kasutati ühel aastal ning see moodustas 1,5% kogu C sisendist. Umbes 35% põllule jäetud C-st mobiliseerus mullavarudesse.

Põllul Tagalauda mulla C_{org} sisaldus perioodil 2016–2021 vähenes 0,2 ühiku võrra (3,1%-lt 2,9%-le). Keskmiseks C sisendiks oli aastas 3,16 t/ha, mis on samuti üks suurimatest Viksi OÜ põldude lõikes, kuid samas on toimunud mulla C_{org} varude vähenemine 0,82 t/ha aastas. *FertiPure* moodustas 2,8% kogu C sisendist.

Põld Pung on teine Viksi OÜ põld, kus on toimunud mulla C_{org} sisalduse vähenemine 1,6%-lt 1,4%-le (0,2 ühiku võrra). Keskmine C sisend on olnud aastas võrdlemisi suur (2,94 t/ha), kuid selle kõrvalt on siiski toimunud mulla C_{org} varude vähenemine aastas 1,04 t/ha. Antud põllule anti uuritud perioodi jooksul kolmel aastal orgaanilist väetist *FertiPure*, millega antav C sisend moodustas 2,4% kogu perioodi (2016–2021) C sisendist.

Põllul Külvi tall mulla C_{org} sisaldus suurenes 0,2 ühiku võrra (2,0%-lt 2,2%-le). Keskmise C sisendi oli aastas 2,64 t/ha ning mulla C_{org} varu suurenes 0,86 t/ha aastas. Ühel aastal orgaanilise väetise mulda viidud C sisend moodustas 1,4% kogu perioodi C sisendist. Põllule jäetud C-st 32% läks mullavarude täienemisse.

Sepa põllul on mulla C_{org} sisaldus vaatlusperioodi jooksul tõusnud 0,1 ühiku võrra. Keskmise C sisendi oli 1,58 t/ha aastas ja sellest ligikaudu kolmandik (0,52 t/ha) on seotud MOA koostisesse ning kuue aasta jooksul on mulla C_{org} varu suurenenud 3,12 t/ha aastas. Orgaanilist väetist on kasutatud ühel aastal ning see annab 2,4% kogu C sisendist, mis kuue aasta jooksul põllule jäetud on.

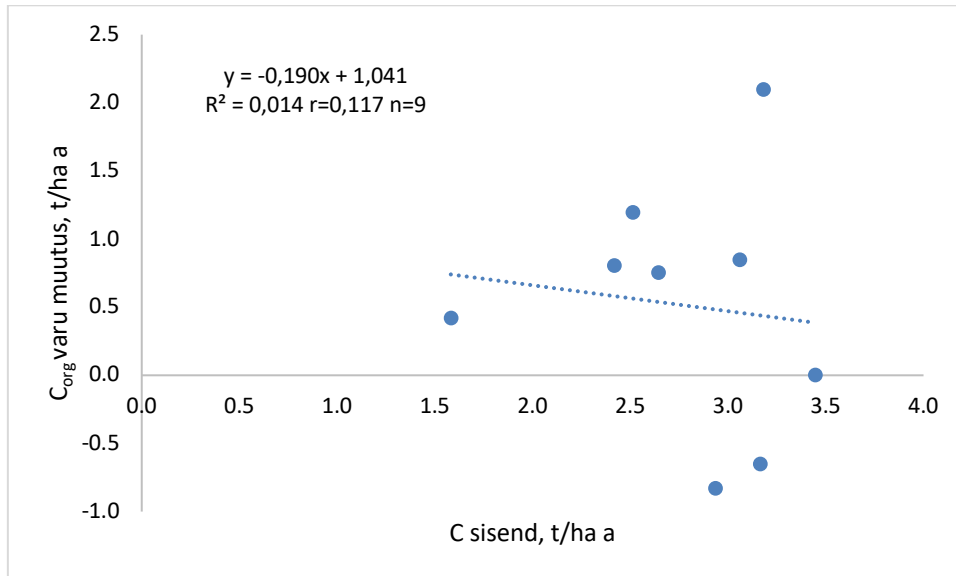
Põllul Sepa kolmnurk on mulla C_{org} sisaldus perioodil 2016–2021 tõusnud 0,2 ühiku võrra (1,6%-lt 1,8%-le). Keskmise C sisendi oli 2,42 t/ha aastas ning sellest 1 t/ha seoti mulda. Kahel aastal kasutatud orgaaniline väetis moodustas 1,5% kogu kuue aasta C sisendist. 41% C sisendist läks mullavarude täienemisse.

Tabel 5. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisalduse ja varu muutused ning keskmised süsiniku (C) sisendid põldudel perioodil 2016–2021

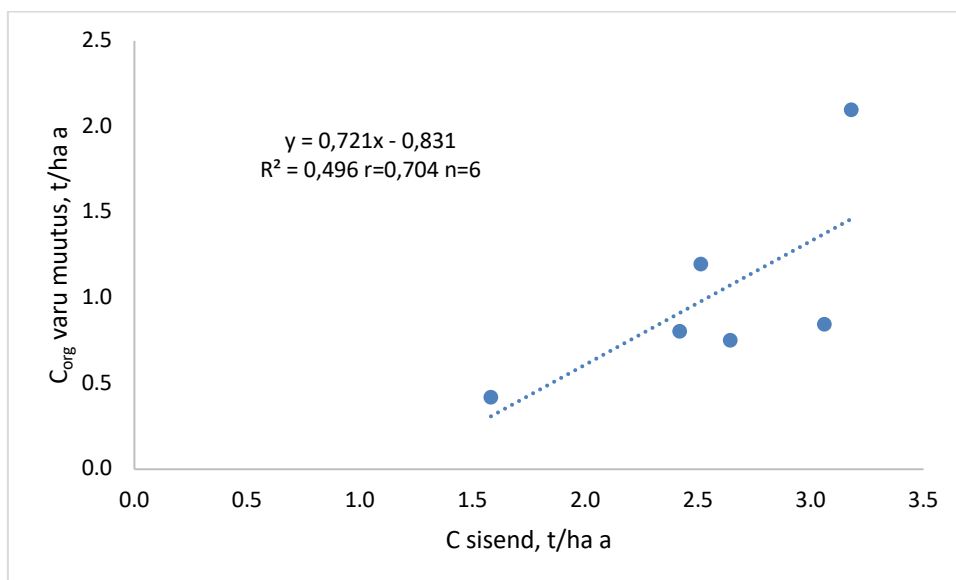
Põld	C_{org} (%)		C_{org} varu (t/ha)		C_{org} muutus	C_{org} varu muutus (t/ha aastas)	Keskmise C-sisend (t/ha aastas)
	2016	2021	2016	2021			
Murukikka	1,2	1,7	47,5	64,5	+0,5	2,83	3,18
Arja	1,6	1,9	49,9	57,8	+0,3	1,31	2,51
Uus saun	2,9	2,9	103,7	103,7	0,0	0,00	3,45
Trafo	1,3	1,5	47,3	53,6	+0,2	1,06	3,06
Tagalauda	3,1	2,9	97,5	92,6	-0,2	-0,82	3,16
Pung	1,6	1,4	56,7	50,5	-0,2	-1,04	2,94
Külvi tall	2,0	2,2	63,1	68,3	+0,2	0,86	2,64
Sepa	1,4	1,5	50,5	53,6	+0,1	0,52	1,58
Sepa Δ	1,6	1,8	56,7	62,7	+0,2	1,00	2,42

Kõikide uuritud põldude keskmiste C sisendite ja mulla C_{org} varu muutuste vahel seos puudub (Joonis 2). Kui aga jätta valimist välja kolm põldu: Tagalauda, Pung ja Uus saun, siis selgub, et näitajate vahel esineb keskmise tugevusega ($r=0,70$) lineaarne korrelatsioon (Joonis 3) ehk suurema C sisendi puhul on ka mulla C_{org} varu muutus olnud suurem. Analüüsist välja jäetud põldudel on toimunud mulla C_{org} varu vähenemine (Tagalauda ja

Pung) või stabiilsena püsimine (Uus saun). Põld Tagalauda oli eelnevalt püsirohuma, põld Pung oli kaua aiamaa ning põld Uus saun on kuivendatud, kerge lõimise ja juba eelnevalt kõrge C_{org} varuga (74,1 t/ha) muld.



Joonis 2. Süsiniku (C) sisendi ja mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) varu muutuste vaheline seos (valimis kõik põllud; n=9)



Joonis 3. Süsiniku (C) sisendi ja mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) varu muutuste vaheline seos (valimis kõik põllud, v.a Tagalauda, Pung, Uus saun; n=6)

ARUTELU

Kokku on kuue aasta jooksul kuue Viksi OÜ põllu muldadesse atmosfäärist seotud ligikaudu 352,7 tonni C ja kahelt põllult atmosfääri paisatud 22,3 tonni C. Seega on seotud netokoguseks 330,4 tonni süsinikku. Antud kogus kompenseerib ligikaudselt CO₂ heitme, mille tekitab keskmine Euroopa Liidu sõiduauto 10,23 miljoni kilomeetri läbimisel. (Euroopa Parlament, 2018)

Uuritud põldude läbivaks tendentsiks on, et mulda viidud C kogused on suuremad, kui mulda seotud / talletatud C kogused. See tuleneb sellest, et harimise käigus osa MOA-st laguneb, mille käigus C emiteerub CO₂-na ja MOA-s olevad toiteelemendid muutuvad taimedele kättesaadavateks ning see tarbitakse taimede poolt ära (Haddaway et al., 2017). Osa mulda viidud C-st on labiilses vormis, mis pikaajaliselt püsima ei jää (Zhang et al., 2020) ja osa C-st lendub mullast selle liigutamise käigus atmosfääri tagasi (Lam et al., 2021).

Efektiivsemad C mulda viijad olid suurema biomassiga (nt rukis ja kaer) ning liblikõielised kultuurid (nt punane ristik ja hernes). Kaera (Wang et al., 2018) ja rukki (Álvarez-Ayuso et al., 2016) näol on tegu vähemnõudlikumate kultuuridega, mis suudavad ka tagasihoidlikumates kasvutingimustes anda suuremat saaki ning biomassi ja seega on nendega mulda viidava C kogused suuremad.

Näiteks kaer saagikusega 1,85 t/ha viis mulda ligikaudu 1,33 korda rohkem C, kui oder saagikusega 2 t/ha. Samas suudab põldhernes juba saagikusega 1,2 t/ha viia mulda sama palju C, kui kaer saagikusega 1,85 t/ha. Seda seetõttu, et herne produktiivse osa (tera) osakaal kogu taime netoproduksioonist on väiksem kui kaeral. Seega on põllule jäävate taimejäänuste ja juurestiku osa ühe kilo produktiivsaagi kohta suurem. Punase ristiku haljasmassi puhul piisab juba ca 2,26 t/ha, et viia mulda sama kogus C. Arvestades seda, et punase ristiku puhul jääb kogu taimik põllule, on efekt selle võrra lihtsamini saavutatav.

Herne keskmist C sisendit suurendas ka Arja 2017. aasta erand, kus kogu hernesaaq jäi vihmase sügise tõttu põllule. 2017. aasta näol oli tegu jahedamapoolse suve ja vihmase sügisega, kus kultuuride kasv oli aeglane ning koristusperiood jäi suurte vihmade kätte. Samas 2021. aasta herne C sisend jäi põua tõttu keskmisest väiksemaks. 2021. aasta puhul võib täheldada ka teiste kultuuride keskmisest väiksemaid C sisendeid (nt suvioder, põldhernes ja tatar)

Kõige väiksem suviodes C sisend Sepa põllul 2018. aastal oli tingitud hilisest külvist ja põuasest suvest, sisuliselt oder ikaldus ning taimik oli põllul väike. Aastal 2018 võib täheldada ka teiste põldude keskmisest väiksemat C sisendit (nt kaer, talinisu ja põllu Uus saun tatar).

Väiksemate saagikuste puhul on hea C siduja ka tatar, mis suudab saagikusega 1 t/ha siduda mulda 1,6 korda rohkem C, kui oder saagikusega 1,1 t/ha.

Punasele ristikule jõudis Viksi OÜ põldudel mulda viidava C sisendi koguse poolest kõige lähemale Tagalauda talirukis saagikusega 4 t/ha. Samas jäi rukki C sisend siiski 1,5 korda alla punase ristikuga mulda viidavale C sisendi kogusele. Kui suuta tõsta rukki saagikust kaks korda ehk 8 tonnini hektarilt, siis ületaks juba rukkiga mulda viidava C kogus punase ristiku oma ligikaudu 1,3 korda.

Samas tuleb tähele panna, et suure koguse põhu lagundamiseks vajab mullaelustik lämmastikku (Akhtar et al., 2019) ning mahepõllumajanduslikes tingimustes on liblikõielised kultuurid külvikorras seetõttu siiski väga olulised (Lauringson & Talgre, 2014).

Põllud Tagalauda ja Uus saun olid suurimate C sisenditega põllud, kuid ometigi toimus nendel põldudel vaatlusperioodi jooksul mulla C_{org} varu langus. Põllul Tagalauda toimunud langus on tingitud sellest, et põld oli eelnevalt püsirohumaa ning harimise tõttu on osa MOA-st lagunenuid ning osa lendunud atmosfääri. See on tavaline tendents, mis esineb rohumaade põlluks tegemisel (Yee Lam et al., 2021). Põllul Uus saun oli eelnevalt juba mulla C_{org} varu kõrgem võrreldes teiste põldudega ning tegu on kerge lõimisega mullaga, mille C sidumisvõime on väike ehk eelduste kohaselt võib antud põllul olla C-ga küllastatuse piir

lähedal. Lisaks on tegu kuivendatava põlluga, kuna põllul esineb ajutist liigniiskust, mis omakorda soodustab orgaanilise aine kuhjumist (Ontl & Schulte, 2012).

Põllul Murukikka on olnud mulla C_{org} tõus perioodil 2016–2021 kõige suurem võrreldes teiste põldudega. Keskmise C sisend on olnud samuti võrdlemisi suur, kuid mitte kõige suurem. Ligikaudu 89% põllule jäetud C -st on läinud mullavarude täienemisse, samas kui mõnel teisel põllul on protsendiks ainult 52% (põld Arja) või nt 41% (põld Sepa kolmnurk). Autori eelduste kohaselt võiks nii suure mulla C_{org} mobiliseerituse osakaalu taga olla mitmekesine külvikord, võttes arvesse, et Murukikka põllul kasvas kõigil kuuel aastal erinev kultuur, teravili ei järgnenud kordagi teraviljale ja kahel aastal kasvatati liblikõielisi. Mitmekesiste külvikordade (Al-Kaisi, 2008) ja liblikõieliste positiivset mõju mulla C_{org} sisalduse tõstmisele on ka teaduslikult tõestatud (Kumar et al., 2018).

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli uurida, kas ja kuidas on Viksi OÜ põldudel kuue aasta jooksul muldade C_{org} sisaldus muutunud, kas kultuuride külvikorda valikul on tehtud õiged otsused, milline on C sisendi ja C varu vaheline seos ning millised kultuurid on suurima C sisendiga. Jõuti järeldusele, et valdaval osal põldudel on C_{org} sisaldus vaatlusperioodi jooksul tõusnud, jäänud samaks või vähenenud põldudel, kus seda eelneva põllu ajaloo ja mullastiku andmete põhjal oodata oli. Hüpootees, et muldade C_{org} sisaldus Viksi OÜ põldudel on kuue aasta jooksul langenud, lükati ümber. Leiti, et C sisendi ja mulla C_{org} varu muutuste vahel esineb positiivne seos ning suurima C sisendiga kultuurid on punane ristik, põldhernes, kaer ja rukis. Liblikõieliste suur C sisend tuleb sellest, kuna toodangu (*product*) osakaal, mis põllusüsteemist välja viiakse, on suhteliselt väike. Rukki ja kaera suur C sisend tuleb peamiselt juurestiku suurest osakaalust taimikus. Väiksema C sisendiga kultuurideks osutusid talinisu, suvioder ja tatar. Seda ka osaliselt seepärast, kuna mahepõllumajanduslikes tingimustes jääb viimaste kultuuride saak tagasihoidlikuks ja seetõttu on koristusjäätmatega mulda viidava C hulk väiksem. Kasutatud orgaanilise väetise *FertiPure* efekt jäi mulla C_{org} sisalduse tõstmisel samuti tagasihoidlikuks, sest väetusnormid olid tagasihoidlikud ja väetist hakati kasutama alles aastast 2018. Suurema efekti saavutamiseks tuleks väetist kasutada iga-aastaselt ning suurendatud normidega. Samuti saavutaks kiirema ja tugevama efekti sõnniku kasutamisega.

Tulevikus tuleks rohkem rõhku panna liblikõieliste osakaalu suurendamisele külvikorras, et lisälämmastiku näol oleks võimalik ka eelmiste kultuuride koristusjäätmelid lagundada selliselt, et nad jõuaksid MOA koosseisu ning ka C sisendit oleks võimalik suurendada. Lisaks suurendavad liblikõielised kultuurid järelkultuuride saagikust ja biomassi, mis omakorda tõstab nende C sisendit.

Samuti ei tohiks loobuda külvikorras kaerast ja rukkist, kuna antud kultuurid suudavad ka ilma täiendava väetamiseta anda kõrgemat saaki ja C sisendit kui näiteks nisu ja oder ning lisaks tuleks kasvatada talviseid vahekultuure, üritamaks hoida põldu aasta läbi taimkatte

all, et suurendada C sisendit, surumaks looduslikult alla umbrohtumust, et oleks vaja teha vähem mullaharimistöid, mis omakorda aeglustab C_{org} lagunemist ja vähendab C emissiooni.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Álvarez-Ayuso, E., Abad-Valle, P., Murciego, A., & Villar-Alonso, P. (2016). Arsenic distribution in soils and rye plants of a cropland located in an abandoned mining area. *Science of The Total Environment* 542, Part A, 238-246.
- Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Feng, Y., Yang, G., & Wang, H. (2019). Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production. *Environment International* 132, 1-10.
- Al-Kaisi, M. (2008). Impact of tillage and crop rotation systems on soil carbon sequestration. *Agronomy* 8, 1-6.
- Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., & Leedu, E. (2012). *Mullateadus. Õpik kõrgkoolidele*. Tartu: Eesti Maaülikool. 486 lk.
- Berti, A., Morario, F., Dal Ferro, N., Simonetti, G., & Polese, R. (2016). Organic input quality is more important than its quantity: C turnover coefficients in different cropping systems. *European Journal of Agronomy* 77, 138-145.
- Boglaienko, D. (2013). Buckwheat as a cover crop in Florida: Mycorrhizal status, Soil analysis, and economic assessment. *Electronic Theses and Dissertations*. 921, 1-66.
- Brunori, A., Brunori, A., Baviello, G., Marconi, E., Colonna, M., & Ricci, M. (2005). The yield of five buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) varieties grown in Central and Southern Italy. *Fagopyrum* 22, 98-102.
- Chahal, I., Vyn, R. J., Mayers, D., & Van Eerd, L. L. (2020). Cumulative impact of cover crops on soil carbon sequestration and profitability in a temperate humid climate. *Scientific Reports* 10, 13381.
- Chen, S., Wantong, W., Wenting, X., Yang, W., Hongwei, W., Dima, C., . . . Xuli, T. (2018). Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *National Academy of Science* 115 (16), 4027-4032.
- Corning, E., Sadeghpour, A., Ketterings, Q., & Czymmek, K. (2016). The carbon cycle and soil organic carbon. *Agronomy Fact Sheet Series; Fact Sheet* 91, 1-2.
- Ellen, J. (1993). Growth, yield and composition of four winter cereals. I. Biomass, grain yield and yield formation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 41, 153-165.
- Euroopa Parlament. (19. oktoober 2018. a.). *Euroopa Parlament*. Allikas: Euroopa Parlamendi veebileht: <https://www.europarl.europa.eu/news/et/headlines/society/20180920STO14027/soi>

duautode-heitkoguste-vahendamise-selgitus-autode-uute-co2-sihttasemete-kohta
(10.05.2022)

- Euroopa Parlament.** (4. oktoober 2019. a.). *Euroopa Parlament*. Allikas: Euroopa Parlamendi veebileht: <https://www.europarl.europa.eu/news/et/headlines/society/20190926STO62270/mis-on-susiniku-neutraalsus-ja-kuidas-seda-saavutada-aastaks-2050> (10.05.2022)
- Fageria, N. K.** (2012). Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. rmt: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43(16), 2063-2113.
- Gross, A., & Glaser, B.** (2021). Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage. *Scientific Reports* 11, 5516..
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., . . . Isberg, P.-E.** (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence* 6(30), 2-48.
- ISO.** (märts 1995. a.). Allikas: ISO Standardite veebileht: <https://www.iso.org/standard/18782.html>
- Körschens, M.** (2002). Importance of Soil Organic Matter (SOM) for Biomass Production and Environment (a review). rmt: *Archives of Agronomy and Soil Science* (lk 90-94).
- Kauer, K., Pärnpuu, S., Talgre, L., Eremeev, V., & Luik, A.** (2021). Soil particulate and mineral-associated organic matter increases in organic farming under cover cropping and manure addition. *Agriculture*, 11, 903.
- Kauer, K., Tein, B., de Cima, D. S., Talgre, L., Eremeev, V., Loit, E., & Luik, A.** (2015). Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate. *Soil & Tillage Research* 154, 53-63.
- Klammer, H.** (2017). Vahekultuuride biomassi moodustamine, toitainete sidumine ja agrotehnika. Bakalaureusetöö. Tartu: Eesti Maaülikool.
- Kumar, S., Meena, R. S., Lal, R., Yadav, G. S., Mitran, T., Meena, B. L., & EL-Sabagh, A.** (2018). Role of legumes in soil carbon sequestration. In: Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds) *Legumes for soil health and sustainable management*. Springer, Singapore. pp 109–138.
- Lam, W. Y., Chatterton, J., Sim, S., Kulak, M., Beltran, A. M., & Huijbregts, M. A.** (2021). Estimating greenhouse gas emissions from direct land use change due to crop production in multiple countries. *Science of the Total Environment* 755, 143338.

- Lauringson, E., & Talgre, L.** (juuli 2014. a.). *Maaelu Edendamise Sihtasutus*. Allikas: Maaelu Edendamise Sihtasutuse veebileht: <https://www.pikk.ee/valdkonnad/taimekasvatus/kulvikord/haljasvaetised-kulvikorras/> (10.05.2022)
- Melillo, J., & Gribkoff, E.** (15. aprill 2021. a.). *Massachusetts Institute of Technology*. Allikas: Massachusetts Institute of Technology veebileht: <https://climate.mit.edu/explainers/soil-based-carbon-sequestration> (10.05.2022)
- Ontl, T. A., & Schulte, L.** (2012). Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge* 3(10), 35.
- Organic Research Centre.** (8. märts 2022. a.). Mullaviljakuse põhitõed. Allikas: Eesti Mahepõllumajanduse Sihtasutuse veebileht: http://www.maheklubi.ee/upload/Editor/Mullaviljakuse_pohitoeed_fibl_orc.pdf (10.05.2022)
- Patel, S.** (2015). Root and shoot biomass and nutrient composition in a winter rye cover crop. North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. Des Moines, IA, 31, 114-116.
- Põllumajandusuuringute Keskus.** (17. aprill 2021. a.). *Põllumajandusuuringute Keskus*. Allikas: Põllumajandusuuringute Keskuse veebileht: <https://pmk.agri.ee/et/tellimislehed/agrokeemialabor/mullaproovi-juhend> (10.05.2022)
- Salf, D.** (2018). Väetamise mõju suviadra terasaagile ning allakülvatud punase ristiku biomassi saagile. Magistritöö. Tartu: Eesti Maaülikool.
- Stewart, C. E., Paustian, K., Conant, R. T., Plante, A. F., & Six, J.** (2007). Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry volume* 86, 19-31.
- Tirol-Padre, A., & Ladha, J. K.** (2004). Assessing the Reliability of Permanganate-Oxidizable carbon as an Index of soil labile carbon. *Soil Science Society of America Journal* 68(3), 969-978.
- Walia, M. K.** (2019). Benefits of cover crops. *University of Nevada, Reno, Extension, FS-19-11*, 1-4.
- Wang, Q., Liu, X., Li, J., Yang, X., & Guo, Z.** (2021). Straw application and soil organic carbon change: A meta-analysis. *Soil and Water Research*, 16 (2), 112-120.
- Wang, Y., Lysøe, E., Armarego-Marriott, T., Erban, A., Paruch, L., van Eerde, A., . . . Liu-Clarke, J.** (2018). Transcriptome and metabolome analyses provide insights

into root and root-released organic anion responses to phosphorus deficiency in oat. *Journal of Experimental Botany* 69(15), 3759-3771.

- Yee Lam, W., Chatterton, J., Sim, S., Kulak, M., Beltran, A. M., & Huijbregts, M. A.** (2021). Estimating greenhouse gas emissions from direct land use change due to crop production in multiple countries. *Science of The Total Environment* 755, 143338.
- Zhang, L., Chen, X., Xu, Y., Jin, M., Ye, X., Gao, H., . . . Thompson, M. L.** (2020). Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation. *Scientific Reports* 10, 11318.
- Zhong, Z., Chen, Z., Xu, Y., Ren, C., Yang, G., Han, X., . . . Feng, Y.** (2018). Relationship between soil organic carbon stocks and clay content under different climatic conditions in Central China. *Forests* 9, 598.
- Zhu, X., al., e., Yu, P., Li, L., Su, J., & Jia, H.** (2019). Effect of the water regime on the soil carbon fractions at Swan Lake Alpine Wetland in Tianshan mountain, China. *Fresenius Environmental Bulletin*, 4529-4536.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Heiko Viksi,

(17.09.2000)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Süsinikubilanss mahepõllumajandusettevõtte Viksi OÜ põldudel,

mille juhendaja on vanemteadur Karin Kauer, *PhD*

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni 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, 23.05.2022

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Karin Kauer

23.05.2022

/allkirjastatud digitaalselt/

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)