

## Projekti „Mulla süsinikuvarude seis ja dünaamika,, lõpparuanne

Kestvus: 2015-2019

Projektijuht: Karin Kauer

Asutus: Eesti Maaülikool põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Projektijuhi kontaktandmed: +372 7313547 Kreutzwaldi 5, Tartu 51014 karin.kauer@emu.ee

### Projektitulemuste lühikokkuvõte:

Käesoleva uuringutulemused näitavad, et Eesti põllumajanduslikus kasutuses olevate muldade huumushorisondi süsiniku (C) varu on viimase 26-35 aasta jooksul suurenenud, keskmiselt 0,22 t ha<sup>-1</sup> aastas, kuid C varu suurenemine on seotud peamiselt huumushorisondi tüsenemisega, sest mulla C<sub>org</sub> sisaldus ei ole suurenenud, millest tulenevalt ei ole muutunud ka 0-20 cm kihi C varu. Kõige tundlikumad on olnud gleimullad, sest nendes muldades on C<sub>org</sub> sisaldus ja C varu on vähenenud ka 0-20 cm kihis.

Proovivõtmise metodoloogia ja erinevad arvutuskäigud C varu arvutamisel avaldasid C varu väärtustele vähe mõju, kuid arvestama peab, et mõned mullaomadused (muldade niiskuserežiim, lõimis) võivad teatud tingimustel mõju avaldada. Uuritud omadustest kõige suuremaks mõjutajaks oli mulla niiskuserežiim, mida tuleks alati tulevikus arvestada tehes lõplike järeldusi C varu dünaamika kohta.

### Projektitulemuste lühikokkuvõte inglise keeles:

The results of this study show that C stock in Estonian agricultural soils has increased in the humus horizon during last 26-35 years, with an average of 0.22 t ha<sup>-1</sup> per year, but the increase in the C stock is mainly related to the thickened humus horizon, consequently, the C stock of 0-20 cm layer has not changed. The gley soils have been most sensitive because soil C<sub>org</sub> content in humus horizon and C stock in the 0-20 cm layer has decreased.

The sampling methodology and different calculations used to calculate the C stock had little effect on the C stock values, but it should be taken into account that some soil properties (soil moisture regime, soil texture) may have an impact under certain conditions. The most influential of the investigated properties was the soil moisture regime, which should always be considered in the future when drawing definitive conclusions about the C stock dynamics.

### Projektis esitatud eesmärkide saavutamine (sh kasutatud meetoodika):

#### 1. Mullaproovide võtmise metodoloogia

Käesoleva uuringu raames keskenduti peamiselt 1983.a. rajatud „Eesti Põllumajandusprojekti“ poolt rajatud seirealadele, mis paiknesid üle Eesti (LISA 1). Algselt oli rajatud tootmispõldudele 79 vaatlusväljakut, kust koguti kordusproove 3 aastase intervalliga. 1990ndate alguses seire katkes, kuid 2001. aastal hakkas Põllumajandusuuringute Keskus varasemaid seirealasid taastama ning käesoleval ajal on neist seire all 21. Antud projekti raames otsiti aastatel 2015-2018 üles 58 endist seireala ning nendelt aladelt (v.a. ühelt alalt, mis oli nüüdseks asfalteeritud) koguti mullaproovid kahel erineval meetodil:

1. meetod: igal seirealal fikseeriti üks transekt, kust koguti 10 punktist mullaproovid huumushorisondist (ühelt alalt kokku 10 proovi), määrates samal ajal ka huumushorisondi tuseduse; transekti 2. ja 9. punktis määrati mulla lasuvustihedus 5-10 (n=73) ja 15-20 (n=113) cm kihis tehes sinna huumuskaeve;

2. meetod: esimese transekti läheduses fikseeriti neli 100 m pikkust transekti, milledelt võeti transekti 10 punkti (punktide vahe 10 m) keskmised mullaproovid kahelt sügavuselt 0-15 cm ja 15-20 cm (kokku 8 keskmist proovi ühelt alalt: 4 ülemisest ja 4 alumisest kihist). Uurimisalade muldade (täpsemalt proovivõtupunktide) niiskuserežiim, lõimis ja lähtekivimi karbonaatsus/mittekarbonaatsus, oli määratud seire alguses. Igale seirealale rajati seire esimese ringi ajal (aastatel 1983-1987) neli 90-180 m pikkust transekti (A, B, C, D), millede vahekaugus on 20 m. Igal transektil oli 10 proovivõtukoha (punktid 1-10, punktide vahekaugus 10-20 m). Aastatel 2015-2018 ülesotsitud seirealadelt koguti mullaproovid ühelt endiselt transektilt

salvestatud koordinaadipunktide alusel täpselt vanadest proovivõtukohtadest, mistõttu võib eeldada, et nendes punktides mullaliik jm mullaandmed pole muutunud. Mulla niiskusežiim, lähtekivimi karbonaatsus/mittekarbonaatsus ja lõimis olid ühe ala piires stabiilsemad näitajad võrreldes mullaliigi näitajaga, mis võis ka transektil muutuda, seetõttu erinevate proovivõtumeetodite võrdlemisel mullaliigi põhisealt andmeanalüüsi ei tehtud.

Kogutud mullaproovidest määrati orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisaldus Tjurini meetodil. C varu arvutati välja kasutades valemit:

$$C \text{ varu} = C_{org} * D * Dm,$$

kus  $C_{org}$  on mulla orgaanilise süsiniku sisaldus (%); D on mullakihi tusedus (cm), mille kohta C varu arvutatakse ja Dm on mulla lasuvustihedus ( $g \text{ cm}^{-3}$ ).

1. proovivõtumeetodil võetud proovidele tuginedes arvutati huumushorisoni C varu kasutades

- a) 5-10 cm kihi mõõdetud Dm
- b) 15-20 cm kihi mõõdetud Dm

Neid väärtusi võrreldi C varu väärtustega, mis saadi, kui C varu arvutamisel kasutati Adamsi valemiga (Adams, 1973) arvutatud lasuvustihedust ( $Dm(Adams)$ ):

$$Dm(Adams) = 100 / \{ (OA/10/0,244) + [(100-OA)/1,64] \},$$

kus OA on orgaanilise aine sisaldus ( $g \text{ kg}^{-1}$ ). Konstandid 1,64 ning 0,244 tähistavad vastavalt mulla mineraalosa ning orgaanilise aine lasuvustihedust (eeldades, et mulla orgaaniline aine sisaldab 58%  $C_{org}$  (Mann, 1986)).

Ülemisest ja alumisest mullakihist mõõdetud lasuvustiheduste valimid ( $n$ ) olid erinevad (LISA 2): ülemisest kihist oli määratud lasuvustihedust 73 punktis ( $n=73$ ) ja alumisest kihist 113 punktis ( $n=113$ ). Edasises analüüsis kasutati ainult neid proovivõtupunkte, kus Dm oli määratud nii ülemises, kui alumises kihis ( $n=72$ ; kokku 38 ala). Lisaks arvutati nende punktide ( $n=72$ ) kohta erinevate Dm ( $Dm(5-10 \text{ cm})$ ;  $Dm(15-20 \text{ cm})$ ;  $Dm(Adams)$ ) kaudu välja ka 0-20 cm kihi C varud.

Nelja transekti keskmiste mullaproovide alusel arvutati 0-20 cm kihi C varu välja kasutades kolme lähenemist:

#### 1. Arvutuskäik I

Arvutati välja ülemise (0-15 cm) ja alumise (15-20 cm) kihi C varu, kasutades selleks määratud  $C_{org}$  sisaldusi ja Adamsi valemiga leitud Dm. 0-20 cm kihi C varu saamiseks liideti mõlema kihi varud kokku ( $n=224$ ).

#### 2. Arvutuskäik II

Arvutati välja 0-20 cm mullakihi kaalutud keskmine  $C_{org}$  kontsentratsioon, kasutades selleks erinevates kihtides määratud  $C_{org}$  sisaldusi, seejärel arvutati Adamsi valemiga 0-20 cm kihi Dm ja seejärel 0-20 cm kihi C varu ( $n=224$ ).

#### 3. Arvutuskäik III

0-20 cm kihi C varu arvutamiseks kasutati 1. proovivõtumeetodil huumushorisonist kogutud proovide  $C_{org}$  sisaldust ja Adamsi valemiga leitud Dm ( $n=575$ ).

### 2. C varu muutus ajas

C varu ajalise muutuse väljaselgitamiseks kaasati analüüsi ka esimesed seireringi (1983-1987) tulemused ning ka siiani seire all olevad 21 ala. Lisaks jäi lõplikult analüüsist välja veel üks ala, mis polnud enam otseses põllumajanduslikus kasutuses. Uurimisperioodi kestvus erinevatel aladel varieerus 26-35 aastat ning antud uuringus võrreldi aastatel 1983-1987 (esimene seirering) ja 2012-2018 (viimane seirering) kogutud proovide tulemusi. Kui 2000ndate aastate alguses 21 ala uuesti seire alla võeti, siis koguti proovid ainult kahelt transektilt (esialgse nelja asemel). Proovide võtmisel ajaloolisi proovivõtupunkte ei järgitud, kuid transektid paiknesid vanade transektide läheduses (LISA 3). Kuna Eesti mullastik on heterogeenne ja mullaliik võib muutuda ühe transekti piires, siis andmebaas, mis sisaldas kõiki seirealasid (77 ala), ei võimaldanud teha C varu muutuse analüüsi sõltuvalt mullaomadustest, sest proovid olid küll kogutud samalt seirealalt, kuid mõningase nihkega võrreldes esialgsest punktist. Nendele aladele tuginedes leiti iga ala C varu (nii huumushorisoni, kui 0-20 cm mullakihi kohta) ning teades igal alal seire kestvuse aega, arvutati välja C varu aastane muutus iga ala kohta, mille alusel arvutati välja keskmine C varu muutus. Mullaomaduste põhisealt analüüsi teostati andmetega, mis olid kogutud 2015-2018. aastatel ülesotsitud seirealadel (56 ala). Antud

andmebaas võimaldas teha nn 'punkt-punkti' võrdlust, et selgitada välja, milline on C varu muutus mõõdetuna C varu nõ 'enne ja pärast' võimalikult täpselt ühest ja samast kohast. Täpsuse suurendamiseks andmebaas korrastati. Selleks vaadati üle vanad ortofotod, et tuvastada alad, mis on olnud koguaeg põllumajanduslikus kasutuses. Nt alad, mis uurimisperioodi jooksul olid näiteks tehnoradade või sõnnikuhoidlate all, jäeti välja. Välja jäeti ka erodeeritud mullad ning proovivõtupunktid, kus huumushorisoni tüsedus oli muutunud rohkem, kui 1,5 korda ja  $C_{org}$  sisaldus muutunud 2 korda võrreldes uurimisperioodi algusega 1980ndatel. Tulemuseks saadi andmebaas, mis sisaldas 40 seireala 331 proovivõtupunktiga, kus oli  $C_{org}$  sisaldus ja huumushorisoni tüsedus määratud nii seire alguses, kui hiljem. C varu arvutati välja nii huumushorisoni, kui 0-20 cm mullakihi kohta kasutades Adamsi valemiga leitud Dm. C varu muutus arvutati välja iga proovivõtupunkti kohta. Maakasutuse mõju (põllumaa vs püsirohuma) selgitati välja kogu andmebaasi põhjal, mis sisaldas 77 ala, neist 68 ala olid jätkuvalt põllumaad, kuid 9 olid muutunud püsirohumaaks.

### 3. Eesti põllumuldade orgaanilise aine labiilsus

Suur osa mulla orgaanilisest ainest on suhteliselt inertne (Powlson, 1996 ref Kaiser et al., 2007). Märgatavad muutused mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisalduses võivad võtta aastaid (Wander, 2004), mistõttu kogu mulla  $C_{org}$  sisalduse määramine erinevate majandamisvõtete mõjude tuvastamisel ei pruugi olla piisavalt tundlik (Kaiser et al., 2007). Muutused avalduvad kiiremini mulla orgaanilise aine selles fraktsioonis, mille püsivusaeg mullas on lühike (kuni viis aastat) ehk labiilses fraktsioonis (Culman et al., 2012). Labiilse fraktsiooni kirjeldamiseks kasutatakse kõige sagedamini vees lahustunud C määramist (veega ekstraheerimine). Külma veega ekstraheeritud C ( $C_{eks}$ ) peetakse kõige labiilsemaks ja mikroobidele kättesaadavaks C fraktsiooniks mullas (Zhang et al., 2011). Käesoleva uuringu raames määrati veega ekstraheeritav C sisaldus 73 seireala ühe transekti (peamiselt B aga ka A või C) kolme punkti (2, 5, 9) mullaproovidest. Mulla labiilsuse hindamisel arvutati mulla  $C_{eks}$  osakaal (p- $C_{eks}$ ) (%) kogu mulla  $C_{org}$  kontsentratsioonist kasutades valemit:

$$p-C_{eks} = 100 * (C_{eks}/C_{org} * 10),$$

kus  $C_{eks}$  on veega ekstraheeritud C (mg g<sup>-1</sup>) ja  $C_{org}$  on mulla orgaaniline süsinik (%).

Statistiliseks andmetöötluseks kasutati programmi STATISTICA ver 13.2. Erinevate faktorite (mullaliik, mullakihi sügavused, niiskusrežiimid, lõimiseklassid, lähtekivimi karbonaatsus jne) mõjude välja selgitamisel kasutati ühe- või kahefaktorilist ANOVA dispersioonanalüüsi. Statistiliselt oluliste erinevuste leidmisel keskmiste näitajate vahel kasutati Fisher LSD testi, kus statistiline tõenäosusmäär oli  $p < 0,05$ .

Küsimused, millele antud uuringuga vastuseid leiti:

*Kas ja kui palju mõjutab erinevatest mullakihtidest Dm määramine huumushorisoni ja 0-20 cm kihi C varu tulemust?*

*Kui hästi on omavahel võrreldavad mõõdetud ja valemiga arvutatud Dm näitajad ning neile tuginedes leitud huumushorisoni ja 0-20 cm kihi C varu tulemused?*

*Kuidas erineb ülemise (0-15 cm) ja alumise (15-20 cm) kihi  $C_{org}$  sisaldus? Kui erinevad on need huumushorisoni  $C_{org}$  sisaldusest?*

*Kas 0-20 cm kihi C varu sõltub, millise lähenemisega C varu kahe erineva kihi tulemustele tuginedes arvutatakse?*

*Kui hästi on omavahel võrreldavad erinevate proovivõtumeetoditega võetud C varud?*

*Milline on olnud Eesti põllumuldade C varu muutus? Kui sarnased on tulemused kasutades analüüsiks erinevat lähenemist Eesti põllumuldade C varu muutuste leidmisel?*

*Kuidas mõjutavad C varu muutusi mullaomadused (niiskusrežiim, lõimis, lähtekivim)?*

#### Uuringu tulemused:

##### 1. Lasuvustihedus erinevas mullakihi sügavuses ning mõju C varule

Mõõdetud Dm sõltus sellest, millisest kihist Dm määrati (tabel 1). Ülemise kihi Dm oli

statistiliselt oluliselt väiksem alumise kihi Dm-st, kuid erinevus polnud piisavalt suur, et oleks ilmnenud statistiliselt usutav erinevus erinevate kihtide (huumushorisoni ja 0-20 cm kihi) C varus. Valimis olevate alade keskmine huumushorisoni tusedus oli 29,8 cm ning  $C_{org}$  sisaldus 1,62%, millest tulenevalt varieerus uuritavate alade keskmine huumushorisoni C varu 62,1-64,9 t ha<sup>-1</sup> sõltuvalt Dm määramise sügavusest. Adamsi valemiga arvutatud Dm väärtusi kasutades on erinevate kihtide C varu suurem, kuid statistiliselt oluline erinevus esines ainult juhul, kui huumushorisoni C varu arvutamiseks kasutati ülemise (5-10 cm kihi) Dm. 0-20 cm kihi puhul Dm määramise sügavus mõju ei avaldanud, ning mõõdetud Dm-ga leitud C varu varieerus 41,9-43,7 t ha<sup>-1</sup>, Adamsi valemiga arvutatud Dm-ga oli C varu 45,3 t ha<sup>-1</sup>.

Tabel 1. Süsinikuvaru (C varu) sõltuvalt lasuvustihedusest (Dm) (keskmine ± standardviga)

| Näitaja                                                   | Dm määramise sügavus     |                          |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                                           | 5-10 cm (n=72)           | 15-20 cm (n=72)          |
| Mõõdetud Dm, g cm <sup>-3</sup>                           | 1,33 <sup>a</sup> ±0,02  | 1,39 <sup>b1</sup> ±0,02 |
| Huumushorisoni C varu mõõdetud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup>  | 62,1±2,40                | 64,9±2,37                |
| Huumushorisoni C varu arvutatud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup> | 67,4 <sup>*2</sup> ±2,74 | 67,4±2,74                |
| 0-20 cm kihi C varu mõõdetud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup>    | 41,9±1,51                | 43,7±1,44                |
| 0-20 cm kihi C varu arvutatud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup>   | 45,3±1,62                | 45,3±1,62                |
| Huumushorisoni tusedus, cm                                | 29,8±0,63                |                          |
| Huumushorisoni $C_{org}$ , %                              | 1,62±0,07                |                          |
| Arvutatud Dm, g cm <sup>-3</sup>                          | 1,42±0,01                |                          |

<sup>1</sup> erinevad tähed reas näitavad statistiliselt usutavat ( $p<0,05$ ) Dm määramise sügavuse mõju;

<sup>2</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p<0,05$ ) erinevust mõõdetud ja arvutatud Dm-ga leitud C varude vahel konkreetses mullakihis (huumushorisoni või 0-20 cm mullakiht).

### 1.1. Niiskusrežiim

Lasuvustiheduse määramise sügavus avaldas statistiliselt usutavat mõju Dm-le ainult parasniiskete muldade puhul, kuid huumushorisoni ja 0-20 cm kihi C varu Dm määramise sügavusest ei sõltunud (tabel 2).

Tabel 2. Süsinikuvaru (C varu) sõltuvalt lasuvustihedusest (Dm) ja mulla niiskurežiimist (keskmine ± standardviga)

| Näitaja                                                     | Dm mõõtmise sügavus          |                              |                             |                              |                             |                            |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                                                             | 5-10 cm                      |                              |                             | 15-20 cm                     |                             |                            |
|                                                             | Parasniiske<br>(n=55)        | Gleistunud<br>(n=6)          | Glei<br>(n=11)              | Parasniiske<br>(n=55)        | Gleistunud<br>(n=6)         | Glei<br>(n=11)             |
| Mõõdetud Dm, g cm <sup>-3</sup>                             | 1,38 <sup>bA1</sup><br>±0,02 | 1,13 <sup>a</sup><br>±0,04   | 1,15 <sup>a</sup><br>±0,06  | 1,44 <sup>bB2</sup><br>±0,02 | 1,19 <sup>a</sup><br>±0,03  | 1,24 <sup>a</sup><br>±0,05 |
| Huumushorisoni C varu<br>(mõõdetud Dm), t ha <sup>-1</sup>  | 57,5 <sup>a</sup><br>±2,59   | 81,4 <sup>b</sup><br>±3,59   | 74,5 <sup>b</sup><br>±6,06  | 59,6 <sup>a</sup><br>±2,41   | 85,8 <sup>b</sup><br>±4,50  | 79,9 <sup>b</sup><br>±6,12 |
| Huumushorisoni C varu<br>(arvutatud Dm), t ha <sup>-1</sup> | 60,2 <sup>a</sup><br>±2,52   | 97,8 <sup>b*3</sup><br>±4,95 | 86,9 <sup>b*</sup><br>±7,46 | 60,2 <sup>a</sup><br>±2,52   | 97,8 <sup>b*</sup><br>±4,95 | 86,9 <sup>b</sup><br>±7,46 |
| 0-20 cm kihi C varu<br>(mõõdetud Dm), t ha <sup>-1</sup>    | 38,6 <sup>a</sup><br>±1,53   | 48,4 <sup>ab</sup><br>±1,84  | 54,9 <sup>b</sup><br>±4,11  | 40,0 <sup>a</sup><br>±1,38   | 51,1 <sup>b</sup><br>±2,91  | 58,5 <sup>b</sup><br>±3,31 |
| 0-20 cm kihi C varu<br>(arvutatud Dm), t ha <sup>-1</sup>   | 40,2 <sup>a</sup><br>±1,37   | 58,2 <sup>b*</sup><br>±2,85  | 63,4 <sup>b*</sup><br>±3,85 | 40,2 <sup>a</sup><br>±1,37   | 58,2 <sup>b*</sup><br>±2,85 | 63,4 <sup>b</sup><br>±3,85 |
| Huumushorisoni tusedus,<br>cm                               | 29,8 <sup>ab</sup><br>±0,71  | 33,7 <sup>b</sup><br>±0,76   | 27,4 <sup>a</sup><br>±1,88  |                              |                             |                            |
| Huumushorisoni $C_{org}$ , %                                | 1,41 <sup>a</sup><br>±0,05   | 2,16 <sup>b</sup><br>±0,13   | 2,41 <sup>b</sup><br>±0,19  |                              |                             |                            |
| Arvutatud Dm, g cm <sup>-3</sup>                            | 1,44 <sup>b</sup><br>±0,01   | 1,35 <sup>a</sup><br>±0,02   | 1,33 <sup>a</sup><br>±0,01  |                              |                             |                            |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p<0,05$ ) erinevust mulla niiskusrežiimide vahel ühe Dm määramise sügavuse piires; <sup>2</sup> erinevad suured tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p<0,05$ ) Dm määramise sügavuse mõju ühe niiskusrežiimi piires; <sup>3</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p<0,05$ ) erinevust mõõdetud ja arvutatud Dm-ga leitud C varude vahel konkreetses mullakihis (huumushorisoni või 0-20

cm mullakiht) ühe niiskuse režiimi piires.

Kõige suurem mõõdetud Dm väärtus ( $1,44 \text{ g cm}^{-3}$ ) oli määratud parasniiskete muldade alumisest kihist. Huumushorisont oli kõige õhem ( $27,4 \text{ cm}$ ) gleimuldades ja kõige tusedam gleistunud muldades ( $33,7 \text{ cm}$ ). Teisalt oli gleistunud ja gleimuldades  $C_{\text{org}}$  sisaldus suurem parasniiskete muldade  $C_{\text{org}}$  sisaldusest. Mõõdetud Dm-ga leitud huumushorisondi C varu oli väiksem parasniiskes muldades ( $57,5\text{-}59,6 \text{ t ha}^{-1}$ ) ja suurem gleistunud ja gleimuldades ( $75,5\text{-}85,8 \text{ t ha}^{-1}$ ). Adamsi valemiga leitud Dm kaudu arvutatud huumushorisondi C varu oli usutavalt suurem mõõdetud Dm-ga arvutatud varust peamiselt gleistunud ja gleimuldades, mis osutab sellele, et Adamsi valemiga leitud Dm kaudu C varu arvutamisel hinnatakse tegelik C varu üle, sest tegelik Dm on oluliselt väiksem, kui mõõdetud Dm.

## 1.2. Lõimimine

Ülemises mullakihis ( $5\text{-}10 \text{ cm}$ ) määratud Dm oli kõige väiksem liivmullas ( $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ ) ja kõige tihedam oli muld saviliivmullas ( $1,42 \text{ g cm}^{-3}$ ) (tabel 3).

Tabel 3. Süsinikuvaru (C varu) sõltuvalt lasuvustihedusest (Dm) ja mulla lõimiseklassidest (l – liiv, sl – saviliiv, ls1 – kerge liivsavi, ls2 – keskmine liivsavi, s – savi) (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Näitaja                                                   | Dm mõõtmise sügavus    |                      |                       |                      |                      |
|-----------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                                                           | 5-10 cm                |                      |                       |                      |                      |
|                                                           | l (n=29)               | sl (n=26)            | ls1 (n=6)             | ls2 (n=5)            | s (n=6)              |
| Mõõdetud Dm, $\text{g cm}^{-3}$                           | $1,09^{a1A2} \pm 0,08$ | $1,42^{cA} \pm 0,03$ | $1,30^{bcA} \pm 0,03$ | $1,29^{bc} \pm 0,06$ | $1,20^{ab} \pm 0,10$ |
| Huumushorisondi C varu (mõõdetud Dm), $\text{t ha}^{-1}$  | $64,8^{ab} \pm 10,7$   | $48,9^a \pm 3,86$    | $71,0^b \pm 2,45$     | $64,8^b \pm 4,13$    | $82,6^b \pm 5,38$    |
| Huumushorisondi C varu (arvutatud Dm), $\text{t ha}^{-1}$ | $81,1^{bc} \pm 12,5$   | $50,3^a \pm 3,32$    | $77,7^{bc*} \pm 3,41$ | $69,7^b \pm 2,98$    | $91,7^c \pm 9,50$    |
| 0-20 cm kihi C varu (mõõdetud Dm), $\text{t ha}^{-1}$     | $42,6^{ab} \pm 4,01$   | $33,8^a \pm 2,29$    | $44,5^b \pm 1,33$     | $46,5^b \pm 3,21$    | $65,2^c \pm 2,21$    |
| 0-20 cm kihi C varu (arvutatud Dm), $\text{t ha}^{-1}$    | $53,6^{b*} \pm 1,97$   | $34,6^a \pm 1,82$    | $48,4^{b*} \pm 1,65$  | $49,9^b \pm 1,52$    | $71,6^c \pm 4,75$    |
| 15-20 cm                                                  |                        |                      |                       |                      |                      |
| Mõõdetud Dm, $\text{g cm}^{-3}$                           | $1,27^{abB} \pm 0,07$  | $1,48^{cB} \pm 0,03$ | $1,36^{bB} \pm 0,03$  | $1,32^{ab} \pm 0,03$ | $1,21^a \pm 0,08$    |
| Huumushorisondi C varu (mõõdetud Dm), $\text{t ha}^{-1}$  | $75,0^b \pm 11,6$      | $50,3^a \pm 3,34$    | $74,6^b \pm 2,51$     | $65,7^b \pm 2,69$    | $84,0^b \pm 6,29$    |
| Huumushorisondi C varu (arvutatud Dm), $\text{t ha}^{-1}$ | $81,1^{bc} \pm 12,4$   | $50,3^a \pm 3,32$    | $77,7^{bc} \pm 3,41$  | $69,7^b \pm 2,98$    | $91,7^c \pm 9,50$    |
| 0-20 cm kihi C varu (mõõdetud Dm), $\text{t ha}^{-1}$     | $49,4^b \pm 3,45$      | $34,8^a \pm 1,98$    | $46,6^b \pm 1,27$     | $47,2^b \pm 2,30$    | $66,1^c \pm 2,63$    |
| 0-20 cm kihi C varu (arvutatud Dm), $\text{t ha}^{-1}$    | $53,6^{b*} \pm 1,97$   | $34,6^a \pm 1,82$    | $48,4^{b*} \pm 1,65$  | $49,9^b \pm 1,52$    | $71,6^c \pm 4,75$    |
| Huumushorisondi tusedus, cm                               | $29,8^{ab} \pm 3,71$   | $28,9^a \pm 1,07$    | $32,1^b \pm 0,80$     | $28,0^{ab} \pm 1,26$ | $25,3^a \pm 1,38$    |
| Huumushorisondi $C_{\text{org}}$ , %                      | $1,95^b \pm 0,09$      | $1,19^a \pm 0,07$    | $1,74^b \pm 0,07$     | $1,79^b \pm 0,06$    | $2,80^c \pm 0,24$    |
| Arvutatud Dm, $\text{g cm}^{-3}$                          | $1,38^b \pm 0,01$      | $1,47^c \pm 0,01$    | $1,40^b \pm 0,01$     | $1,39^b \pm 0,01$    | $1,29^a \pm 0,02$    |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed reas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust erinevate mulla lõimiseklasside vahel; <sup>2</sup> erinevad suured tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) Dm määramise sügavuse mõju ühe lõimiseklassi piires; <sup>3</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust mõõdetud ja arvutatud Dm-ga leitud C varude vahel konkreetsetes mullakihis (huumushorisont või 0-20 cm mullakiht) ühe lõimiseklassi piires.

Alumise kihi Dm varieerus piirides  $1,21\text{-}1,48 \text{ g cm}^{-3}$ . Dm määramise sügavus oli oluline vaid kergema lõimisega muldades (liiv, saviliiv, kerge liivsavi). Kõige suurema  $C_{\text{org}}$  sisaldusega olid liiv- ja savimullad, kuid see võis olla tingitud mullaniiskuse režiimi mõjust, sest kõik liiv- ja savimullad olid antud valimis gleimullad. Gleimuldade C varu on kõrgem võrreldes

parasniiskete ja gleistunud muldade C varust, sest mulla orgaanilise aine lagunemine liigniisketes muldades on aeglane ja toimub orgaanilise aine kuhjumine mulda. Liivmullad seovad orgaanilist ainet mulda halvasti, seetõttu on parasniiskete liivmuldade  $C_{org}$  sisaldus tavaliselt madal. Kõige väiksema  $C_{org}$  sisaldusega olid saviliivmullad, mis olid peamiselt mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud parasniiske niiskuse režiimiga kahkjad mullad.

Dm määramise sügavus usutavat mõju C varule erinevates lõimise klassides ei avaldanud, kuigi nt liivmullas oli sõltuvalt Dm määramise sügavusest huumushorisoni C varude erinevus  $10,2 \text{ t ha}^{-1}$  ja 0-20 cm kihis  $6,8 \text{ t ha}^{-1}$ , olles suurem alumise kihi Dm-ga arvatult. Kuid huumushorisoni C varude keskmiste näitajate varieeruvused liivmuldades oli liiga suured (standardviga  $\pm 10,7-12,5 \text{ t ha}^{-1}$ ), et oleks tekkinud usutavaid erinevusi sõltuvalt Dm määramise sügavusest või kasutatud Dm-st. Mõõdetud ja arvatud Dm kaudu leitud C varu statistiliselt ei erinenud omavahel. 0-20 cm kihis olid varieeruvused väiksemad ning mõnede lõimise klasside (liiv, kerge liivsavi) C varu oli Adamsi valemiga leitud Dm-le tuginedes suurem mõõdetud Dm arvatud C varust.

### 1.3. Lähtekivim

Dm määramise sügavus mullas sõltuvalt lähtekivimi karbonaatsusest Dm-i ei mõjutanud ning ka huumushorisoni C varu ei sõltunud lähtekivimist ja Dm mõõtmise sügavusest. Kuid  $C_{org}$  sisaldus oli karbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldades oluliselt kõrgem võrreldes mittekarbonaatsel lähtekivimil väljakujunenud muldadega (tabel 4), millest tulenevalt oli ka 0-20 cm kihi C varu karbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldades suurem võrreldes mittekarbonaatsel lähtekivimiga. Mõõdetud ja arvatud Dm kaudu leitud C varu statistiliselt ei erinenud omavahel ka sõltuvalt lähtekivimi karbonaatsusest.

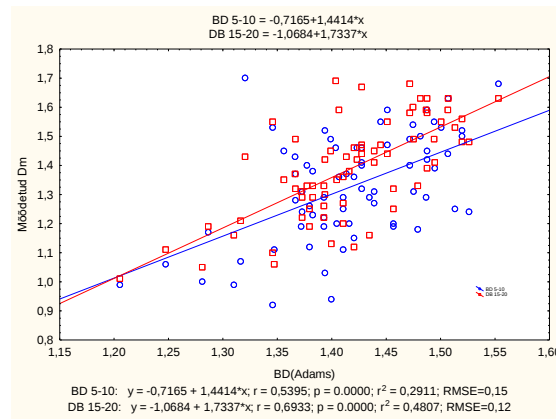
Tabel 4. Süsinikuvaru (C varu) sõltuvalt lasuvustihedusest (Dm) ja lähtekivimist (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Näitaja                                                    | Dm mõõtmise sügavus   |                            |                       |                            |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
|                                                            | 5-10 cm               |                            | 15-20 cm              |                            |
|                                                            | Karbonaatne<br>(n=43) | Mittekarbonaatne<br>(n=29) | Karbonaatne<br>(n=43) | Mittekarbonaatne<br>(n=29) |
| Mõõdetud Dm, $\text{g cm}^{-3}$                            | $1,32^a \pm 0,03$     | $1,33^a \pm 0,04$          | $1,38^a \pm 0,02$     | $1,40^a \pm 0,03$          |
| Huumushorisoni C varu<br>(mõõdetud Dm), $\text{t ha}^{-1}$ | $64,9^a \pm 2,79$     | $58,1^a \pm 4,22$          | $67,9^a \pm 2,94$     | $60,5^a \pm 3,85$          |
| Huumushorisoni C varu<br>(arvatud Dm), $\text{t ha}^{-1}$  | $70,2^a \pm 3,51$     | $63,3^a \pm 4,33$          | $70,2^a \pm 3,51$     | $63,3^a \pm 4,33$          |
| 0-20 cm kihi C varu (mõõdetud<br>Dm), $\text{t ha}^{-1}$   | $45,2^b \pm 1,81$     | $37,2^a \pm 2,40$          | $47,1^b \pm 1,77$     | $38,8^a \pm 2,15$          |
| 0-20 cm kihi C varu (arvatud<br>Dm), $\text{t ha}^{-1}$    | $48,5^b \pm 2,14$     | $40,4^a \pm 2,23$          | $48,5^b \pm 2,14$     | $40,4^a \pm 2,23$          |
| Huumushorisoni tusedus, cm                                 | $28,8^a \pm 0,81$     | $31,2^a \pm 0,97$          |                       |                            |
| Huumushorisoni $C_{org}$ , %                               | $1,76^b \pm 0,09$     | $1,42^a \pm 0,09$          |                       |                            |
| Arvatud Dm, $\text{g cm}^{-3}$                             | $1,40^a \pm 0,01$     | $1,44^b \pm 0,01$          |                       |                            |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust mulla lähtekivimi vahel ühe Dm määramise sügavuse piires.

### 1.4. Mõõdetud ja Adamsi valemiga leitud lasuvustiheduse kaudu arvatud C varude vahelised seosed

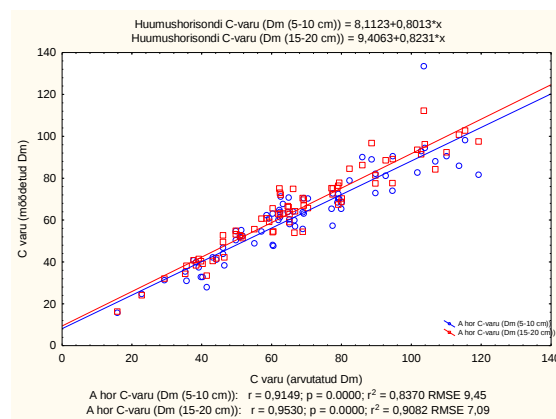
Mõõdetud ja arvatud Dm vahel esinevad usutavad seosed (joonis 1).



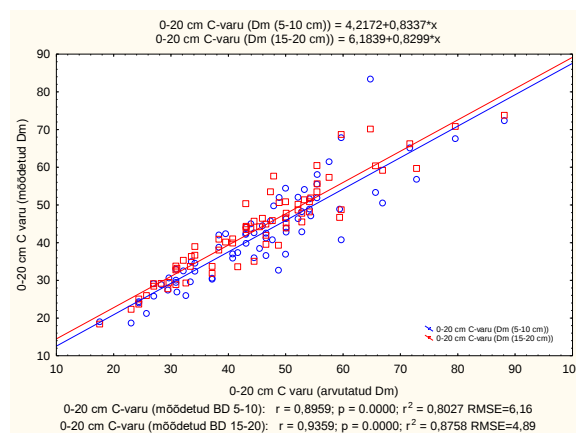
Joonis 1. Seos mõõdetud ja arvutatud lasuvustiheduse (Dm) vahel

Suurem determinatsioonikordaja ( $r^2$ ) ja väiksem jääkide summa (RMSE) näitab, et Adamsi valemiga leitud Dm on tugevamas seoses alumises kihis (15-20 cm) mõõdetud Dm-ga.

Mõõdetud ja arvutatud Dm kaudu leitud huumushorisondi C varude vahel esinevad tugevad seosed ning alumise kihi Dm-ga arvutatud C varu oli tugevamas seoses arvutatud Dm-ga leitud C varuga (joonis 2). Tugevad seosed esinesid ka 0-20 cm kihi tulemuste vahel (joonis 3).



Joonis 2. Seos mõõdetud ja arvutatud lasuvustiheduse (Dm) kaudu arvutatud huumushorisondi (A hor) C varude ( $t \cdot ha^{-1}$ ) vahel



Joonis 3. Seos mõõdetud ja arvutatud lasuvustiheduse kaudu arvutatud 0-20 cm mullakihi C varude ( $t \cdot ha^{-1}$ ) vahel

2. Mulla orgaanilise süsiniku sisaldus ülemises (0-15 cm) ja alumises (15-20 cm) mullakihis ning 0-20 cm kihi C varu

Mullaproovid koguti 0-15 cm (ülemine) ja 15-20 cm (alumine) sügavuselt. Ülemise kihi mulla  $C_{org}$  sisaldus oli oluliselt kõrgem alumise kihi mulla  $C_{org}$  sisaldusest (tabel 5). 0-20 cm kihi kaalutud keskmine  $C_{org}$  sisaldus oli 1,60% ja see ei erinenud oluliselt huumushorisondi  $C_{org}$  sisaldusest.

Tabel 5. Mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisaldus sõltuvalt mullaproovi võtmise sügavusest (keskmine  $\pm$  standardviga)

|               | Mullaproovi võtmise sügavus   |                              |                                |                              |
|---------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|               | 0-15 cm<br>(n=224)            | 15-20 cm<br>(n=224)          | 0-20 cm<br>keskmine<br>(n=224) | Huumushorisont<br>(n=575)    |
| $C_{org}$ , % | 1,67 <sup>c1</sup> $\pm$ 0,04 | 1,51 <sup>a</sup> $\pm$ 0,04 | 1,60 <sup>b</sup> $\pm$ 0,03   | 1,57 <sup>b</sup> $\pm$ 0,03 |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed reas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel.

Ülemise kihi  $C_{org}$  sisaldus oli kõrgem parasniiskes ja gleimullas, gleistunud mullas erinevus puudus (tabel 6).

Tabel 6. Mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisaldus sõltuvalt mullaproovi võtmise sügavusest ja niiskuse režiimist (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Sügavus, cm | Mulla niiskuse režiim | $C_{org}$ , %                  | n   |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|-----|
| 0-15        | parasniiske           | 1,51 <sup>a1</sup> $\pm$ 0,04  | 172 |
| 15-20       | parasniiske           | 1,32 <sup>b*2</sup> $\pm$ 0,03 | 172 |
| 0-15        | gleistunud            | 2,18 <sup>c</sup> $\pm$ 0,16   | 28  |
| 15-20       | gleistunud            | 2,09 <sup>c</sup> $\pm$ 0,12   | 28  |
| 0-15        | glei                  | 2,47 <sup>d</sup> $\pm$ 0,12   | 24  |
| 15-20       | glei                  | 2,23 <sup>cd*</sup> $\pm$ 0,12 | 24  |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel;

<sup>2</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) proovivõtmise sügavuse mõju ühe niiskuse režiimi piires.

Mulla  $C_{org}$  sisaldus oli suurem ülemises kihis ka sõltuvalt lõimisest (tabel 7) ja lähtekivimist (tabel 8).

Tabel 7. Mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisaldus sõltuvalt mullaproovi võtmise sügavusest ja lõimisest (keskmine  $\pm$  standardviga) lõimise klassidest (l – liiv, sl – saviliiv, ls1 – kerge liivsavi, ls2 – keskmine liivsavi, s – savi)

| Sügavus  | Mulla lõimis | $C_{org}$ , %                  | n  |
|----------|--------------|--------------------------------|----|
| 0-15 cm  | l            | 2,00 <sup>c</sup> $\pm$ 0,14   | 12 |
| 15-20 cm | l            | 1,90 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,17  | 12 |
| 0-15 cm  | sl           | 1,28 <sup>a</sup> $\pm$ 0,05   | 96 |
| 15-20 cm | sl           | 1,16 <sup>a*</sup> $\pm$ 0,05  | 96 |
| 0-15 cm  | ls1          | 1,88 <sup>c</sup> $\pm$ 0,06   | 80 |
| 15-20 cm | ls1          | 1,63 <sup>b*</sup> $\pm$ 0,04  | 80 |
| 0-15 cm  | ls2          | 2,01 <sup>c</sup> $\pm$ 0,05   | 24 |
| 15-20 cm | ls2          | 1,81 <sup>bc*</sup> $\pm$ 0,08 | 24 |
| 0-15 cm  | s            | 2,94 <sup>e</sup> $\pm$ 0,08   | 12 |
| 15-20 cm | s            | 2,55 <sup>d*</sup> $\pm$ 0,09  | 12 |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel;

<sup>2</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) proovivõtmise sügavuse mõju ühe lõimise klassi piires.

Tabel 8. Mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisaldus sõltuvalt mullaproovi võtmise sügavusest ja lähtekivimist (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Sügavus  | Lähtekivim       | $C_{org}$ , %          | $n$ |
|----------|------------------|------------------------|-----|
| 0-15 cm  | Karbonaatne      | $1,84^{c1*2} \pm 0,05$ | 136 |
| 15-20 cm | Karbonaatne      | $1,59^b \pm 0,04$      | 136 |
| 0-15 cm  | Mittekarbonaatne | $1,47^{ab} \pm 0,07$   | 88  |
| 15-20 cm | Mittekarbonaatne | $1,39^a \pm 0,07$      | 88  |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel;<sup>2</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) proovivõtmise sügavuse mõju lähtekivimi piires.

Erinevate mullakihtide  $C_{org}$  sisalduste kaudu arvutati välja 0-20 cm kihi C varud. Nelja transekti keskmiste proovide tulemused näitasid, et 0-20 cm C varu ei sõltunud arvutamiseks kasutatud lähenemisest varieerudes 43,8-45,8 t ha<sup>-1</sup> (tabel 9).

Tabel 9. 0-20 cm mullakihi C varu sõltuvalt arvutuskäigust (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Arvutuskäik                                                            | C varu, t ha <sup>-1</sup> | $n$  |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|
| I (C varu leiti erinevate kihtide C varude summana)                    | $45,8^{a1} \pm 0,95$       | 224  |
| II (C varu leiti erinevate kihtide keskmise $C_{org}$ sisalduse kaudu) | $44,8^a \pm 0,92$          | 224  |
| III (C varu arvutamiseks kasutati huumushorisoni $C_{org}$ sisaldust)  | $43,8^a \pm 0,58$          | 575  |
| Keskmine                                                               | $44,5 \pm 0,44$            | 1023 |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel.

Arvutuskäik avaldas mõju parasniisketes muldades, kus huumushorisoni  $C_{org}$  sisaldust kasutades saadi oluliselt väiksem C varu võrreldes konkreetse kihis määratud  $C_{org}$  sisaldusega (tabel 10). Arvutuskäigul III saadud C varu oli oluliselt väiksem võrreldes I arvutuskäiguga, mis on tingitud sellest, et parasniiskete muldade huumushorisoni keskmine  $C_{org}$  sisaldus oli väiksem (1,37%;  $n=445$ ) 0-20 cm kihi  $C_{org}$  sisaldusest. Gleistunud ja gleimuldade puhul arvutuskäik mõju ei avaldanud, mis osutab sellele, et neil muldades  $C_{org}$  sisaldus mulla huumushorisoni piires ei muutu.

Tabel 10. 0-20 cm mullakihi C varu sõltuvalt arvutuskäigust ja mulla niiskusraajimist (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Arvutuskäik/niiskusraajim | C varu, t ha <sup>-1</sup> | $n$ |
|---------------------------|----------------------------|-----|
|                           | Parasniiske                |     |
| I                         | $41,4^{b1} \pm 0,85$       | 172 |
| II                        | $40,3^{ab} \pm 0,80$       | 172 |
| III                       | $39,3^a \pm 0,47$          | 445 |
| Keskmine                  | $40,0^{A2} \pm 0,37$       | 789 |
| Gleistunud                |                            |     |
| I                         | $57,7^a \pm 2,67$          | 28  |
| II                        | $57,2^a \pm 2,68$          | 28  |
| III                       | $56,7^a \pm 1,83$          | 70  |
| Keskmine                  | $57,0^B \pm 1,31$          | 126 |
| Glei                      |                            |     |
| I                         | $63,2^a \pm 2,64$          | 24  |
| II                        | $62,0^a \pm 2,60$          | 24  |
| III                       | $62,5^a \pm 1,84$          | 60  |
| Keskmine                  | $62,6^C \pm 1,30$          | 108 |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel ühe niiskusraajimist piires; <sup>2</sup> erinevad suured tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust arvutuskäikude keskmiste vahel sõltuvalt niiskusraajimist.

Ka kerge liivsaviilõimisega mullas võib huumushorisondi  $C_{org}$  sisalduse kaudu 0-20 cm kihi C varu olla väiksem, kui see tegelikult on (tabel 11), kuid üldiselt lõimise mõju puudub.

Tabel 11. 0-20 cm mullakihi C varu sõltuvalt arvutuskäigust ja mulla lõimisest (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Arvutuskäik/lõimis | C varu, t ha <sup>-1</sup>    |     |
|--------------------|-------------------------------|-----|
|                    | Liiv                          | n   |
| I                  | 53,8 <sup>a1</sup> $\pm$ 3,22 | 12  |
| II                 | 53,2 <sup>a</sup> $\pm$ 3,39  | 12  |
| III                | 52,2 <sup>a</sup> $\pm$ 2,08  | 30  |
| Keskmine           | 52,8 <sup>C2</sup> $\pm$ 1,53 | 54  |
| Saviliiv           |                               |     |
| I                  | 35,9 <sup>a</sup> $\pm$ 1,20  | 96  |
| II                 | 35,2 <sup>a</sup> $\pm$ 1,18  | 96  |
| III                | 34,9 <sup>a</sup> $\pm$ 0,72  | 255 |
| Keskmine           | 35,2 <sup>A</sup> $\pm$ 0,55  | 447 |
| Kerge liivsavi     |                               |     |
| I                  | 50,0 <sup>b</sup> $\pm$ 1,10  | 80  |
| II                 | 47,5 <sup>ab</sup> $\pm$ 1,03 | 80  |
| III                | 47,2 <sup>a</sup> $\pm$ 0,61  | 200 |
| Keskmine           | 48,2 <sup>B</sup> $\pm$ 0,48  | 360 |
| Keskmine liivsavi  |                               |     |
| I                  | 53,7 <sup>a</sup> $\pm$ 1,26  | 24  |
| II                 | 52,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,39  | 24  |
| III                | 52,1 <sup>a</sup> $\pm$ 1,20  | 60  |
| Keskmine           | 52,5 <sup>C</sup> $\pm$ 0,78  | 108 |
| Savi               |                               |     |
| I                  | 72,7 <sup>a</sup> $\pm$ 1,62  | 12  |
| II                 | 70,9 <sup>a</sup> $\pm$ 1,67  | 12  |
| III                | 72,9 <sup>a</sup> $\pm$ 1,45  | 30  |
| Keskmine           | 72,4 <sup>D</sup> $\pm$ 0,95  | 54  |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel ühe lõimiseklassi piires; <sup>2</sup> erinevad suured tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust arvutuskäikude keskmiste vahel sõltuvalt lõimisest.

Lähtekivimi puhul arvutuskäigust C varu ei sõltunud ning karbonaatsete muldade C varu oli oluliselt kõrgem mittekarbonaatsetest muldadest (tabel 12).

Tabel 12. 0-20 cm mullakihi C varu sõltuvalt arvutuskäigust ja mulla lähtekivimi karbonaatsusest (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Arvutuskäik | C varu, t ha <sup>-1</sup>   |     |                              |     |
|-------------|------------------------------|-----|------------------------------|-----|
|             | Karbonaatne                  | n   | Mittekarbonaatne             | n   |
| I           | 49,0 <sup>a</sup> $\pm$ 1,09 | 136 | 40,8 <sup>a</sup> $\pm$ 1,61 | 88  |
| II          | 47,6 <sup>a</sup> $\pm$ 1,05 | 136 | 40,3 <sup>a</sup> $\pm$ 1,52 | 88  |
| III         | 46,9 <sup>a</sup> $\pm$ 0,67 | 344 | 39,3 <sup>a</sup> $\pm$ 0,91 | 231 |
| Keskmine    | 47,5 <sup>B</sup> $\pm$ 0,50 | 616 | 39,9 <sup>A</sup> $\pm$ 0,75 | 407 |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel;

<sup>2</sup> erinevad suured tähed näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) arvutuskäikude keskmiste vahel sõltuvalt lähtekivimi karbonaatsusest.

## 3. Eesti põllumuldade C varu muutus

Algne andmebaas esimese seireringi andmetega sisaldas andmeid 77 ala kohta ( $n=2999$ ) (tabel 13). Muldade  $C_{org}$  sisaldus varieerus vahemikus 0,41-7,85% ning kõige suurema  $C_{org}$  sisaldusega olid gleimullad. Gleimullad olid ka kõige suurema C varuga nii huumushorisondis, kui 0-20 cm mullakihis.

Tabel 13. Esimese seireringi andmed mullaliikide kaupa (mullaliigi šifrite seletus on esitatud LISA 4) (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Mulla-<br>šiffer | $n$ | Huumushorisont                 |                                |                                | 0-20 cm                        |
|------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                  |     | $C_{org}$                      | Tüsedus                        | C varu                         | C varu                         |
|                  |     | %                              | cm                             | t ha <sup>-1</sup>             | t ha <sup>-1</sup>             |
| K                | 609 | 1,82 <sup>fg</sup> $\pm$ 0,02  | 26,0 <sup>fi</sup> $\pm$ 0,18  | 66,0 <sup>d</sup> $\pm$ 0,90   | 50,1 <sup>g</sup> $\pm$ 0,46   |
| Kr               | 44  | 2,00 <sup>gh</sup> $\pm$ 0,05  | 24,5 <sup>def</sup> $\pm$ 0,61 | 66,8 <sup>ef</sup> $\pm$ 2,37  | 54,6 <sup>h</sup> $\pm$ 1,24   |
| Ko               | 247 | 1,48 <sup>cde</sup> $\pm$ 0,02 | 27,1 <sup>gh</sup> $\pm$ 0,27  | 57,2 <sup>d</sup> $\pm$ 1,13   | 41,8 <sup>ef</sup> $\pm$ 0,59  |
| Kor              | 5   | 1,21 <sup>a-e</sup> $\pm$ 0,05 | 25,2 <sup>b-j</sup> $\pm$ 0,73 | 44,7 <sup>ef</sup> $\pm$ 2,68  | 35,4 <sup>a-e</sup> $\pm$ 1,30 |
| KI               | 403 | 1,41 <sup>cde</sup> $\pm$ 0,02 | 28,0 <sup>ij</sup> $\pm$ 0,25  | 56,5 <sup>d</sup> $\pm$ 0,98   | 40,1 <sup>de</sup> $\pm$ 0,51  |
| LP               | 633 | 1,10 <sup>a</sup> $\pm$ 0,01   | 27,7 <sup>hi</sup> $\pm$ 0,16  | 44,9 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,54  | 32,3 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,28  |
| Lk               | 20  | 0,97 <sup>a</sup> $\pm$ 0,03   | 28,8 <sup>hij</sup> $\pm$ 1,13 | 41,5 <sup>abc</sup> $\pm$ 1,80 | 29,0 <sup>a</sup> $\pm$ 0,76   |
| Kg               | 2   | 2,24 <sup>e-i</sup> $\pm$ 0,15 | 23,0 <sup>a-j</sup>            | 69,1 <sup>c-h</sup> $\pm$ 3,67 | 60,1 <sup>f-j</sup> $\pm$ 3,19 |
| Kog              | 102 | 2,09 <sup>h</sup> $\pm$ 0,08   | 26,2 <sup>fg</sup> $\pm$ 0,39  | 74,7 <sup>fg</sup> $\pm$ 2,89  | 55,8 <sup>h</sup> $\pm$ 1,67   |
| KIg              | 178 | 2,09 <sup>h</sup> $\pm$ 0,07   | 27,9 <sup>hij</sup> $\pm$ 0,34 | 78,8 <sup>g</sup> $\pm$ 2,68   | 55,2 <sup>h</sup> $\pm$ 1,51   |
| LPg              | 165 | 1,40 <sup>b-e</sup> $\pm$ 0,06 | 27,6 <sup>hi</sup> $\pm$ 0,35  | 55,0 <sup>d</sup> $\pm$ 2,20   | 39,4 <sup>cde</sup> $\pm$ 1,30 |
| Gk               | 130 | 3,48 <sup>i</sup> $\pm$ 0,08   | 25,8 <sup>i</sup> $\pm$ 0,47   | 106,1 <sup>ij</sup> $\pm$ 2,39 | 82,3 <sup>k</sup> $\pm$ 1,18   |
| Go               | 102 | 3,16 <sup>i</sup> $\pm$ 0,07   | 23,6 <sup>cd</sup> $\pm$ 0,50  | 91,6 <sup>h</sup> $\pm$ 2,33   | 77,9 <sup>j</sup> $\pm$ 1,23   |
| GI               | 145 | 3,15 <sup>i</sup> $\pm$ 0,09   | 25,2 <sup>ef</sup> $\pm$ 0,49  | 94,1 <sup>h</sup> $\pm$ 2,41   | 77,0 <sup>j</sup> $\pm$ 1,78   |
| LKG              | 107 | 3,01 <sup>i</sup> $\pm$ 0,16   | 29,0 <sup>j</sup> $\pm$ 0,54   | 103,6 <sup>i</sup> $\pm$ 4,11  | 72,4 <sup>i</sup> $\pm$ 2,84   |
| Ke               | 13  | 1,27 <sup>a-e</sup> $\pm$ 0,38 | 20,5 <sup>ab</sup> $\pm$ 1,17  | 29,7 <sup>a</sup> $\pm$ 4,12   | 32,9 <sup>a-c</sup> $\pm$ 7,87 |
| Koe              | 8   | 1,01 <sup>abc</sup> $\pm$ 0,08 | 21,9 <sup>b-e</sup> $\pm$ 1,36 | 33,0 <sup>abc</sup> $\pm$ 3,77 | 30,0 <sup>abc</sup> $\pm$ 2,28 |
| KIe              | 10  | 1,16 <sup>a-d</sup> $\pm$ 0,24 | 20,8 <sup>abc</sup> $\pm$ 0,73 | 35,1 <sup>abc</sup> $\pm$ 7,51 | 32,9 <sup>a-c</sup> $\pm$ 5,66 |
| LPe              | 12  | 1,01 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,08  | 21,2 <sup>bcd</sup> $\pm$ 0,89 | 32,0 <sup>ab</sup> $\pm$ 3,08  | 30,0 <sup>ab</sup> $\pm$ 2,16  |
| E                | 30  | 1,43 <sup>c-e</sup> $\pm$ 0,28 | 17,3 <sup>a</sup> $\pm$ 0,64   | 31,4 <sup>a</sup> $\pm$ 4,10   | 37,1 <sup>b-e</sup> $\pm$ 5,29 |
| D                | 32  | 1,63 <sup>def</sup> $\pm$ 0,22 | 56,8 <sup>k</sup> $\pm$ 4,06   | 124,0 <sup>k</sup> $\pm$ 12,9  | 43,6 <sup>ef</sup> $\pm$ 4,12  |
| DG               | 2   | 1,24 <sup>a-h</sup> $\pm$ 0,07 | 75,0 <sup>l</sup> $\pm$ 25,0   | 138,6 <sup>jk</sup> $\pm$ 52,5 | 36,3 <sup>a-h</sup> $\pm$ 1,89 |
| Min/Max          |     | 0,41/7,85                      | 8/100                          | 10,5/338,5                     | 12,2/145,1                     |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p<0,05$ ) erinevust näitajate vahel.

Viimasel proovivõtu- (seire-) ringil koguti proove 986 punktist ( $n=986$ ). Uurimisperioodi jooksul keskmine mulla  $C_{org}$  sisaldus oluliselt ei muutunud (tabel 14), millest tulenevalt ei muutunud ka 0-20 cm kihi C varu. Huumushorisont tüsenes aja jooksul oluliselt, millest tulenevalt suurenes ka C varu huumushorisondis. Tuginedes 77 ala keskmistele C varu näitajatele Eesti põllumuldade huumushorisondi C varu suurenes 0,31 t ha<sup>-1</sup> aastas.

Tabel 14. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Seire-ring | n    | C <sub>org</sub> , %             | Huumushorizont                  |                                 | 0-20 cm                                  |                                 |                                          |
|------------|------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
|            |      |                                  | Tüsedus, cm                     | C varu, t ha <sup>-1</sup>      | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas | C varu, t ha <sup>-1</sup>      | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas |
| I          | 2999 | 1,79 <sup>a1</sup><br>$\pm 0,16$ | 27,1 <sup>a</sup><br>$\pm 0,04$ | 65,0 <sup>a</sup><br>$\pm 0,46$ | 0,31 $\pm 0,01$                          | 47,7 <sup>a</sup><br>$\pm 0,34$ | 0,01 $\pm 0,001$                         |
| II         | 986  | 1,78 <sup>a</sup><br>$\pm 0,12$  | 32,0 <sup>b</sup><br>$\pm 0,07$ | 78,0 <sup>b</sup><br>$\pm 0,47$ |                                          | 48,4 <sup>a</sup><br>$\pm 0,28$ |                                          |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust näitajate vahel.

Uuritud aladest 9 olid viimasel seireringil kasutuses püsirohumaadena, kuid rohumaade täpset vanust on keeruline hinnata. Nende alade huumushorisoni C varu muutus oli väga väike, samas kui põllumuldadel oli C varu suurenenud 0,36 t ha<sup>-1</sup> aastas (tabel 15). Mulla C<sub>org</sub> sisaldus rohumaadel oli pigem vähenenud, millest tulenevalt vähenes ka 0-20 cm kihi C varu.

Tabel 15. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed (keskmine  $\pm$  standardviga) sõltuvalt maakasutusest

| Maa-kasutus | Seire-ring | n    | C <sub>org</sub> , %             | Huumushorizont                  |                                 | 0-20 cm                                  |                                 |                                          |
|-------------|------------|------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
|             |            |      |                                  | Tüsedus, cm                     | C varu, t ha <sup>-1</sup>      | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas | C varu, t ha <sup>-1</sup>      | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas |
| Põllumaa    | I          | 2639 | 1,77 <sup>a1</sup><br>$\pm 0,02$ | 26,9 <sup>a</sup><br>$\pm 0,12$ | 63,5 <sup>a</sup><br>$\pm 0,61$ | 0,36 <sup>B2</sup> $\pm 0,01$            | 47,4 <sup>a</sup><br>$\pm 0,41$ | 0,01 <sup>B</sup> $\pm 0,01$             |
|             | II         | 907  | 1,79 <sup>a</sup><br>$\pm 0,03$  | 32,1 <sup>b</sup><br>$\pm 0,21$ | 78,2 <sup>b</sup><br>$\pm 1,40$ |                                          | 48,6 <sup>a</sup><br>$\pm 0,76$ |                                          |
| Rohumaa     | I          | 360  | 1,96 <sup>b</sup><br>$\pm 0,03$  | 28,4 <sup>a</sup><br>$\pm 0,21$ | 75,5 <sup>a</sup><br>$\pm 1,13$ | -0,02 <sup>A</sup> $\pm 0,02$            | 53,1 <sup>b</sup><br>$\pm 0,60$ | -0,15 <sup>A</sup> $\pm 0,02$            |
|             | II         | 79   | 1,75 <sup>a</sup><br>$\pm 0,06$  | 30,9 <sup>b</sup><br>$\pm 0,69$ | 75,1 <sup>a</sup><br>$\pm 3,00$ |                                          | 48,3 <sup>a</sup><br>$\pm 1,44$ |                                          |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust esimese ja viimase seireringil mõõdetud näitajate vahel ühe maakasutuse piires; <sup>2</sup> erinevad suured tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust maakasutuste vahel.

Tuginedes andmemahult väiksemale andmebaasile ( $n=331$ ), kus on leitud C varu nõ 'punkt-punkti' võrdlusena, siis keskmine huumusvaru C varu suurenemine on mõnevõrra väiksem, kuid siiski on muutus olnud positiivne (0,22 t ha<sup>-1</sup> aastas) (tabel 16). Kuid nii nagu suurema andmebaasi puhul, siis ka selle andmebaasi puhul on näha, et huumushorisoni C varu muutus on peamiselt seotud huumushorisoni tüsenemisega, sest mulla C<sub>org</sub> sisaldus aja jooksul ei suurenenud, mistõttu konkreetsetes mullakihis (nt 0-20 cm nagu siin uuringus) C varu püsis stabiilsena.

Tabel 16. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed ('punkt-punkti' andmebaas)

| Seire-ring | n   | C <sub>org</sub> , %             | Huumushorizont                  |                                 | 0-20 cm                                  |                                 |                                          |
|------------|-----|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
|            |     |                                  | Tüsedus, cm                     | C varu, t ha <sup>-1</sup>      | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas | C varu, t ha <sup>-1</sup>      | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas |
| I          | 331 | 1,65 <sup>a1</sup><br>$\pm 0,05$ | 26,9 <sup>a</sup><br>$\pm 0,22$ | 57,8 <sup>a</sup><br>$\pm 1,33$ | 0,22 $\pm 0,03$                          | 43,0 <sup>a</sup><br>$\pm 0,86$ | -0,02 $\pm 0,02$                         |
| II         | 331 | 1,61 <sup>a</sup><br>$\pm 0,03$  | 30,3 <sup>b</sup><br>$\pm 0,22$ | 64,8 <sup>b</sup><br>$\pm 1,09$ |                                          | 42,9 <sup>a</sup><br>$\pm 0,66$ |                                          |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust esimese ja viimase seireringil mõõdetud näitajate vahel.

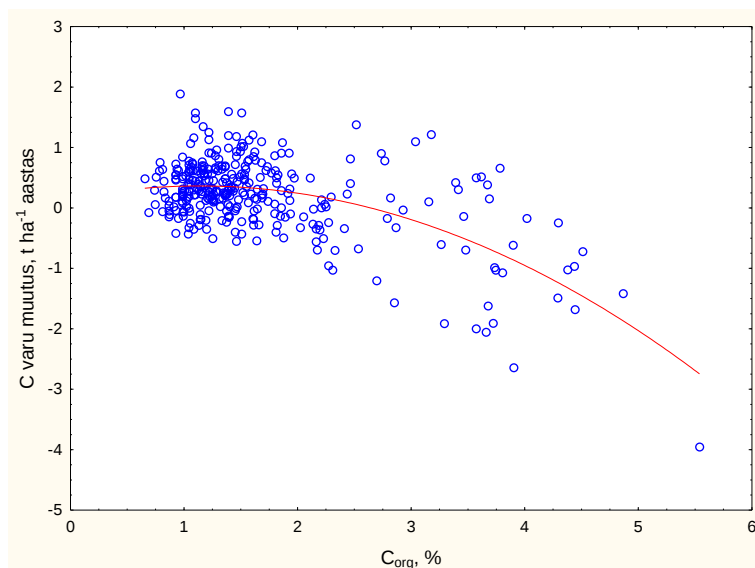
Kõige rohkem suurenes C varu leostunud mullas ja kõige rohkem vähenes leetjas gleimullas (tabel 17).

Tabel 17. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed (keskmine  $\pm$  standardviga) ('punkt-punkti' andmebaas) mullaliikide kaupa (mullašifrite seletused on esitatud LISA 4)

| Mulla-šiffer | Seire-ring | n  | Huumushorisont                   |                     |                            |                                          | 0-20 cm                    |                                          |
|--------------|------------|----|----------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
|              |            |    | C <sub>org</sub> , %             | Tüsedus, cm         | C varu, t ha <sup>-1</sup> | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas | C varu, t ha <sup>-1</sup> | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas |
| K            | I          | 85 | 1,70<br>$\pm 0,05$               | 26,3<br>$\pm 0,04$  | 56,1<br>$\pm 1,93$         | 0,19 <sup>C2</sup> $\pm 0,04$            | 42,0<br>$\pm 0,93$         | -0,04 <sup>B</sup> $\pm 0,02$            |
|              | II         | 85 | 1,63* <sup>1</sup><br>$\pm 0,03$ | 30,1*<br>$\pm 0,45$ | 61,7*<br>$\pm 1,57$        |                                          | 40,8<br>$\pm 0,64$         |                                          |
| Ko           | I          | 25 | 1,22<br>$\pm 0,05$               | 26,4<br>$\pm 0,49$  | 45,3<br>$\pm 1,17$         | 0,43 <sup>C</sup> $\pm 0,06$             | 34,1<br>$\pm 1,17$         | 0,14 <sup>D</sup> $\pm 0,03$             |
|              | II         | 25 | 1,39*<br>$\pm 0,06$              | 30,6*<br>$\pm 0,63$ | 58,9*<br>$\pm 2,69$        |                                          | 38,5*<br>$\pm 1,47$        |                                          |
| Kog          | I          | 9  | 2,02<br>$\pm 0,20$               | 26,9<br>$\pm 1,54$  | 75,4<br>$\pm 10,1$         | 0,36 <sup>C</sup> $\pm 0,17$             | 54,6<br>$\pm 4,39$         | 0,01 <sup>BCD</sup> $\pm 0,05$           |
|              | II         | 9  | 2,02<br>$\pm 0,14$               | 31,5*<br>$\pm 1,59$ | 87,3*<br>$\pm 7,63$        |                                          | 55,0<br>$\pm 3,27$         |                                          |
| KI           | I          | 66 | 1,42<br>$\pm 0,04$               | 28,0<br>$\pm 0,46$  | 54,8<br>$\pm 1,61$         | 0,24 <sup>C</sup> $\pm 0,06$             | 39,0<br>$\pm 0,85$         | 0,07 <sup>CD</sup> $\pm 0,03$            |
|              | II         | 66 | 1,51*<br>$\pm 0,04$              | 30,1*<br>$\pm 0,48$ | 62,4*<br>$\pm 2,08$        |                                          | 41,2<br>$\pm 0,98$         |                                          |
| KIg          | I          | 15 | 2,04<br>$\pm 0,26$               | 30,6<br>$\pm 1,36$  | 87,3<br>$\pm 12,9$         | 0,16 <sup>C</sup> $\pm 0,34$             | 54,0<br>$\pm 5,62$         | 0,11 <sup>CD</sup> $\pm 0,12$            |
|              | II         | 15 | 2,15<br>$\pm 0,12$               | 32,1<br>$\pm 0,90$  | 92,8<br>$\pm 4,95$         |                                          | 57,9<br>$\pm 2,57$         |                                          |
| LP           | I          | 81 | 1,06<br>$\pm 0,02$               | 27,5<br>$\pm 0,31$  | 42,9<br>$\pm 0,88$         | 0,30 <sup>A</sup> $\pm 0,05$             | 31,2<br>$\pm 0,52$         | 0,05 <sup>CD</sup> $\pm 0,02$            |
|              | II         | 81 | 1,13<br>$\pm 0,03$               | 31,6*<br>$\pm 0,41$ | 52,2*<br>$\pm 1,72$        |                                          | 32,9<br>$\pm 0,91$         |                                          |
| LPg          | I          | 20 | 1,70<br>$\pm 0,19$               | 27,4<br>$\pm 0,95$  | 66,6<br>$\pm 8,28$         | 0,31 <sup>C</sup> $\pm 0,22$             | 46,5<br>$\pm 4,17$         | 0,11 <sup>CD</sup> $\pm 0,09$            |
|              | II         | 20 | 1,76<br>$\pm 0,10$               | 31,2*<br>$\pm 0,61$ | 77,2*<br>$\pm 5,02$        |                                          | 48,8<br>$\pm 2,48$         |                                          |
| Gk           | I          | 1  | 3,16<br>$\pm 0,19$               | 22,0<br>$\pm 0,86$  | 81,6<br>$\pm 4,80$         | -0,10 <sup>ABC</sup>                     | 74,2<br>$\pm 2,67$         | -0,44 <sup>ABC</sup>                     |
|              | II         | 1  | 2,44<br>$\pm 0,11$               | 28,0<br>$\pm 0,87$  | 84,8<br>$\pm 5,11$         |                                          | 60,6<br>$\pm 2,74$         |                                          |
| Go           | I          | 9  | 3,24<br>$\pm 0,19$               | 21,8<br>$\pm 0,86$  | 84,7<br>$\pm 4,80$         | 0,49 <sup>C</sup> $\pm 0,27$             | 77,7<br>$\pm 2,67$         | -0,22 <sup>B</sup> $\pm 0,15$            |
|              | II         | 9  | 2,85*<br>$\pm 0,11$              | 28,1*<br>$\pm 0,87$ | 99,8*<br>$\pm 5,11$        |                                          | 71,0*<br>$\pm 2,74$        |                                          |
| GI           | I          | 19 | 4,04<br>$\pm 0,13$               | 22,3<br>$\pm 0,79$  | 105,9<br>$\pm 5,44$        | -0,79 <sup>AB</sup> $\pm 0,29$           | 94,3<br>$\pm 2,05$         | -0,82 <sup>A</sup> $\pm 0,13$            |
|              | II         | 19 | 2,74*<br>$\pm 0,13$              | 23,6<br>$\pm 0,80$  | 82,9*<br>$\pm 4,13$        |                                          | 70,4*<br>$\pm 2,72$        |                                          |
| LkG          | I          | 1  | 2,85<br>$\pm 0,13$               | 32,0<br>$\pm 0,80$  | 116,9<br>$\pm 4,13$        | -1,57 <sup>A</sup>                       | 73,0<br>$\pm 2,72$         | -0,88 <sup>A</sup>                       |
|              | II         | 1  | 1,65<br>$\pm 0,13$               | 30,0<br>$\pm 0,80$  | 69,8<br>$\pm 4,13$         |                                          | 46,6<br>$\pm 2,72$         |                                          |

<sup>1</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust esimese ja viimase seireringil mõõdetud näitajate vahel mullaliikide kaupa; <sup>2</sup> erinevad suured tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust mullaliikide vahel.

Seos esimesel seireringil mõõdetud mulla  $C_{org}$  sisalduse ja huumushorisoni C varu aastase muutuse vahel näitab, et C varu suurenemine toimus peamiselt muldades, kus algne  $C_{org}$  sisaldus varieerus 1-3% piires (joonis 4). Kui mulla  $C_{org}$  sisaldus oli suurem kui 3%, siis aja jooksul toimus nendes muldades C varu vähenemine.



Joonis 4. Seos C varu muutuse ja algse orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) sisalduse vahel

Need mullad, kus algselt oli  $C_{org}$  sisaldus suurem kui 3%, olid peamiselt gleimullad (tabel 18). Gleimuldade huumushorisoni C varu vähenes keskmiselt  $-0,40 \text{ t ha}^{-1}$  aastas ning see vähenemine võib olla seotud gleimuldade kuivendussüsteemide rajamisega 1980ndatel aastatel, sest kuivendamine soodustab mulla orgaanilise aine lagunemist. Parasniisketes ja gleistunud muldades huumushorisoni C varu suurenes.

Tabel 18. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed (keskmine  $\pm$  standardviga) ('punkt-punkti' andmebaas) sõltuvalt mulla niiskuse režiimist

| Niiskus-režiim | Seire-ring | n   | Huumushorison            |                           |                            | 0-20 cm                                  |                            |                                          |
|----------------|------------|-----|--------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
|                |            |     | $C_{org}$ , %            | Tüsedus, cm               | C varu, $\text{t ha}^{-1}$ | C varu muutus, $\text{t ha}^{-1}$ aastas | C varu, $\text{t ha}^{-1}$ | C varu muutus, $\text{t ha}^{-1}$ aastas |
| Parasniiske    | I          | 257 | 1,38<br>$\pm 0,03$       | 27,2<br>$\pm 0,22$        | $0,26^{A2} \pm 0,03$       | 50,6<br>$\pm 0,91$                       | 37,1<br>$\pm 0,51$         | $0,03^A \pm 0,01$                        |
|                | II         | 257 | 1,42<br>$\pm 0,02$       | $30,6^{*1}$<br>$\pm 0,24$ |                            | 58,6*<br>$\pm 0,99$                      | 38,2<br>$\pm 0,51$         |                                          |
| Gleistunud     | I          | 44  | 1,85<br>$\pm 0,13$       | 28,3<br>$\pm 0,74$        | $0,31^A \pm 0,15$          | 74,3<br>$\pm 6,22$                       | 50,1<br>$\pm 2,86$         | $0,09^A \pm 0,06$                        |
|                | II         | 44  | 1,95<br>$\pm 0,08$       | $31,6^{*}$<br>$\pm 0,52$  |                            | 87,6*<br>$\pm 3,40$                      | 53,2<br>$\pm 2,06$         |                                          |
| Glei           | I          | 30  | 3,73<br>$\pm 0,12$       | 22,5<br>$\pm 0,65$        | $-0,40^B \pm 0,19$         | 99,1<br>$\pm 4,17$                       | 88,0<br>$\pm 2,16$         | $-0,62^B \pm 0,11$                       |
|                | II         | 30  | $2,73^{*}$<br>$\pm 0,10$ | $25,3^{*}$<br>$\pm 0,70$  |                            | 87,6*<br>$\pm 3,36$                      | 69,4*<br>$\pm 2,06$        |                                          |

<sup>1</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust esimese ja viimase seireringil mõõdetud näitajate vahel niiskuse režiimide kaupa; <sup>2</sup> suured tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust niiskuse režiimide vahel.

Karbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldade  $C_{org}$  sisaldus oli suurem mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldadest (tabel 19).

Tabel 19. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed (keskmine  $\pm$  standardviga) ('punkt-punkti' andmebaas) sõltuvalt lähtekivimi karbonaatsusest

| Lähtekivim        | Seire-ring | n   | Huumushorisont      |                                  |                            | 0-20 cm                                  |                            |                                          |
|-------------------|------------|-----|---------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
|                   |            |     | $C_{org}$ , %       | Tüsedus, cm                      | C varu, t ha <sup>-1</sup> | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas | C varu, t ha <sup>-1</sup> | C varu muutus, t ha <sup>-1</sup> aastas |
| Karbonaatne       | I          | 229 | 1,83<br>$\pm 0,06$  | 26,6<br>$\pm 0,28$               | 62,7<br>$\pm 1,75$         | 0,16 <sup>A2</sup> $\pm 0,04$            | 47,5<br>$\pm 1,27$         | -0,05 <sup>A</sup> $\pm 0,0$             |
|                   | II         | 102 | 1,76<br>$\pm 0,04$  | 29,7* <sup>1</sup><br>$\pm 0,28$ | 68,0*<br>$\pm 1,32$        |                                          | 46,1<br>$\pm 0,86$         |                                          |
| Mitte-karbonaatne | I          | 229 | 1,19<br>$\pm 0,03$  | 27,5<br>$\pm 0,31$               | 47,8<br>$\pm 2,05$         | 0,30 <sup>A</sup> $\pm 0,05$             | 34,4 $\pm 1,12$            | 0,05 <sup>B</sup> $\pm 0,03$             |
|                   | II         | 102 | 1,26*<br>$\pm 0,06$ | 31,5*<br>$\pm 0,34$              | 57,4*<br>$\pm 2,00$        |                                          | 36,1<br>$\pm 1,09$         |                                          |

<sup>1</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust esimese ja viimase seireringil mõõdetud näitajate vahel lähtekivimi kaupa; <sup>2</sup> suured tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust lähtekivimi karbonaatsuse vahel.

Mullas on peamiselt kaltsium- ja magneesiumkarbonaadid ning kaltsiumkarbonaatide sisaldus mullas soodustab mullaagregaatide moodustumist (Šimanský et al., 2014; Uzarowicz et al., 2017), sest kaltsiumioon moodustab mulla orgaanilise ainega sidemeid (Kobiersky et al., 2018). Orgaaniline aine jääb mullaagregaatide vahele ning on kaitstud edasise lagunemise eest (Rice, 2002). Samas muldade harimine soodustab mullaagregaatide lõhkumist ning agregaatide vahel olnud orgaaniline aine muutub lagundajatele (mikroobidele) kättesaadavaks. On leitud, et mullaagregaatide vahel olev orgaaniline aine on labiilse ehk kergesti laguneva koostisega (Haynes, 2005). Käesolevas uuringus hinnati mulla labiilse orgaanilise aine osakaalu määrares veega ekstraheeruva süsiniku ( $C_{eks}$ ) sisalduse ja seejärel leides  $C_{eks}$  osakaalu kogu mullas olevast süsinikust. Karbonaatsete muldade  $C_{eks}$  sisaldus oli karbonaatsetes muldades suurem (tabel 20), kuid  $C_{eks}$  osakaal kogu mulla  $C_{org}$  sisaldusest (ehk mulla orgaanilise aine labiilsus) oli mittekarbonaatses muldades suurem. Antud teemat on käsitletud põhjalikult S. Pärnpuu 2019.aastal Eesti Maaülikoolis kaitstud magistritöös teemal „Mulla orgaanilise aine koostis sõltuvalt mullaliigist ja väetamisest“ (Pärnpuu, 2019).

Tabel 20. Mulla orgaanilise süsiniku ( $C_{org}$ ) ja veega ekstraheeruva süsiniku ( $C_{eks}$ ) sisaldus ning  $C_{eks}$  osakaal mulla  $C_{org}$  sisaldusest ( $p-C_{eks}$ ) sõltuvalt lähtekivimi karbonaatsusest (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Lähtekivim       | n  | $C_{org}$ , %                | $C_{eks}$ , mg g <sup>-1</sup> | $p-C_{eks}$ , %              |
|------------------|----|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Karbonaatne      | 72 | 2,25 <sup>b</sup> $\pm 0,09$ | 0,27 <sup>b</sup> $\pm 0,01$   | 1,30 <sup>a</sup> $\pm 0,05$ |
| Mittekarbonaatne | 41 | 1,36 <sup>a</sup> $\pm 0,13$ | 0,18 <sup>a</sup> $\pm 0,01$   | 1,51 <sup>b</sup> $\pm 0,09$ |

<sup>1</sup> erinevad väiksed tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust.

$C_{org}$  sisaldused ja C varu muutused sõltusid ka mulla lõimisest (tabel 21). Savimuldade kõrge  $C_{org}$  sisaldus on seotud mullaagregaatide moodustumise ja stabiliseerumisega (Balesdent et al., 2000), sest saviosakeste pinna ja orgaanilise aine vahelised sidemed (moodustunud organomineraalsed kompleksid) aeglustavad lagunemisprotsessi. Lisaks suurendavad kõrgema savisisaldusega mullad mullaagregaatide moodustumise potentsiaali (Bot & Benites, 2005).

Seires olevate liivmuldade kõrge  $C_{org}$  sisaldus niiskusežiimide keskmisena on tingitud (nagu juba eelnevalt mainitud) sellest, et antud valimis esinevad peamiselt liivlõimisega gleimullad, mis on kõrgema  $C_{org}$  sisaldusega (tabel 18). Aja jooksul vähenes C varu kõige rohkem savimuldades, mis osutab sellele, et gleimuldade kuivendamise mõju ületas saviosakestest tingitud mõju. Kergema lõimisega muldades huumushorisondi C varu suurenes.

Tabel 21. Esimese (I) ja viimase (II) seireringi andmed (keskmine  $\pm$  standardviga) ('punkt-punkti' andmebaas) sõltuvalt lõimisest (l – liiv, sl – saviliiv, ls1 – kerge liivsavi, ls2 – keskmine liivsavi, s – savi)

| Lõimis | Seire-ring | n  | Huumushorisont |             |                      | 0-20 cm                             |                      |                                     |
|--------|------------|----|----------------|-------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
|        |            |    | $C_{org}, \%$  | Tüsedus, cm | C varu, $t\ ha^{-1}$ | C varu muutus, $t\ ha^{-1}\ aastat$ | C varu, $t\ ha^{-1}$ | C varu muutus, $t\ ha^{-1}\ aastat$ |
| l      | I          | 5  | 0,94           | 26,0        | 36,6                 | $0,02^{AB1} \pm 0,0$                | 28,3                 | $-0,17^B \pm 0,02$                  |
|        |            |    | $\pm 0,02$     | $\pm 1,14$  | $\pm 1,79$           | 7                                   | $\pm 0,67$           |                                     |
|        | II         | 5  | $0,76^{*1}$    | $32,0^*$    | 37,2                 |                                     | $23,3^*$             |                                     |
| sl     | I          | 12 | $\pm 0,04$     | $\pm 0,77$  | $\pm 1,70$           |                                     | $\pm 1,07$           |                                     |
|        |            |    | 1,21           | 27,3        | 47,6                 | $0,24^B \pm 0,06$                   | 34,3                 | $0,04^B \pm 0,03$                   |
|        | II         | 4  | $\pm 0,05$     | $\pm 0,29$  | $\pm 2,15$           |                                     | $\pm 1,17$           |                                     |
| ls1    | I          | 12 | 1,25           | $30,9^*$    | $55,1^*$             |                                     | 35,6                 |                                     |
|        |            |    | $\pm 0,03$     | $\pm 0,34$  | $\pm 1,45$           |                                     | $\pm 0,81$           |                                     |
|        | II         | 4  | 1,68           | 27,8        | 61,8                 | $0,23^B \pm 0,05$                   | 43,7                 | $0,02^B \pm 0,02$                   |
| ls2    | I          | 15 | $\pm 0,04$     | $\pm 0,33$  | $\pm 1,81$           |                                     | $\pm 0,87$           |                                     |
|        |            |    | 1,70           | $30,8^*$    | $69,2^*$             |                                     | 44,6                 |                                     |
|        | II         | 6  | $\pm 0,03$     | $\pm 0,31$  | $\pm 1,54$           |                                     | $\pm 0,73$           |                                     |
| s      | I          | 23 | 2,06           | 22,9        | 56,9                 | $0,31^B \pm 0,10$                   | 50,0                 | $-0,10^B \pm 0,07$                  |
|        |            |    | $\pm 0,19$     | $\pm 0,48$  | $\pm 4,46$           |                                     | $\pm 3,96$           |                                     |
|        | II         | 23 | $1,88^*$       | $28,5^*$    | $66,4^*$             |                                     | 47,0                 |                                     |
| s      | I          | 23 | $\pm 0,12$     | $\pm 0,64$  | $\pm 3,75$           |                                     | $\pm 2,79$           |                                     |
|        |            |    | 3,66           | 22,0        | 96,0                 | -                                   | 87,4                 | $-0,52^A \pm 0,11$                  |
|        | II         | 23 | $\pm 0,15$     | $\pm 0,62$  | $\pm 4,05$           | $0,21^A \pm 0,23$                   | $\pm 2,92$           |                                     |
|        |            |    | $2,83^*$       | $25,0^*$    | 90,6                 |                                     | $72,4^*$             |                                     |
|        |            |    | $\pm 0,09$     | $\pm 0,95$  | $\pm 4,15$           |                                     | $\pm 1,79$           |                                     |

<sup>1</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust esimese ja viimase seireringil mõõdetud näitajate vahel lõimiseklasside kaupa;

<sup>2</sup> suured tähed tulbas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust lõimiseklasside vahel.

## Kokkuvõte

Käesoleva uuringutulemused näitavad, et Eesti põllumajanduslikus kasutuses olevate muldade C varu huumushorisondis on viimase 26-35 aasta jooksul suurenenud, keskmiselt  $0,22\ t\ ha^{-1}$  aastas, kuid C varu suurenemine on seotud peamiselt huumushorisondi tüsenemisega, sest mulla  $C_{org}$  sisaldus ei ole suurenenud, millest tulenevalt ei ole muutunud ka 0-20 cm kihi C varu. Kõige tundlikumad on olnud gleimullad, kus on mulla  $C_{org}$  sisaldus ja C varu on vähenenud ka 0-20 cm kihis.

Proovivõtmise metodoloogia ja erinevad arvutuskäigud C varu arvutamisel avaldasid C varu väärtustele vähe mõju, kuid arvestama peab, et mõned mullaomadused (muldade niiskusežiim, lõimis) võivad teatud tingimustel mõju avaldada. Uuritud omadustest kõige suuremaks

mõjutajaks oli mulla niiskusrežiim, mida tuleks alati tulevikus arvestada tehes lõplike järeldusi C varu dünaamika kohta.

Mulla lasuvustiheduse määramine välitingimustes on aega nõudev protsess ning antud uuringu tulemused näitavad, et kasutades C varu arvutamiseks mujal väljatöötatud lasuvustiheduse valemit, mis tugineb mulla  $C_{org}$  sisaldusele, on võimalik edukalt kasutada parasniiskete muldade C varu arvutamisel. Gleistunud ja gleimuldades kasutatud valem ülehindas C varu, mistõttu tuleks antud valemi kasutamisel neis muldades olla ettevaatlik. Gleistunud ja gleimuldade  $C_{org}$  sisaldus huumushorisoni piires muutus vähe, seega võib nende muldade huumushorisoni  $C_{org}$  sisaldust kasutada konkreetse tusedusega mullakihi (nt 0-20 cm) C varu arvutamisel. Kuid parasniiskete muldade 0-20 cm kihi  $C_{org}$  sisaldus on kõrgem huumushorisoni  $C_{org}$  sisaldusest, mistõttu võib toimuda C varu valesti hindamine, kasutades erinevate mullakihtide  $C_{org}$  näitajaid.

## Kasutatud kirjandus

- Adams, W.A. (1973). The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *European Journal of Soil Science* 10:10–17.
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53:215–230.
- Bot, A., Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International government publication. 80 p.
- Culman, S.W., S.S. Snapp, M.A. Freeman, M.E. Schipanski, J. Beniston, R. Lal, L.E. Drinkwater, A.J. Franzluebbers, J.D. Glover, A.S. Grandy, J. Lee, J. Six, J.E. Maul, S.B. Mirksy, J.T. Spargo, Wander, M.M. (2012). Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of America Journal* 76:494–504.
- Haynes, R.J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Advances in Agronomy* 85:221–268.
- Kaiser, M., Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H. (2007). Long-term effects of crop rotation and fertilization on soil organic matter composition. *European Journal of Soil Science* 58:1460–1470.
- Kobierski, M., Kondratowicz-Maciejewska, K., Banach-Szott, M., Wojewódzki, P., Castejón, J.M.P. (2018). Humic substances and aggregate stability in rhizospheric and non-rhizospheric soil. *Journal of Soils and Sediments* 18:2777–2789.
- Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* 142:279–288.
- Pärnpuu, S. (2019). Mulla orgaanilise aine koostis sõltuvalt mullaliigist ja väetamisest. Magistritöö, Eesti Maaülikool, Tartu.  
([http://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4976/Sandra\\_P%c3%a4rnpuu\\_2019MA\\_PS\\_t%c3%a4stekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4976/Sandra_P%c3%a4rnpuu_2019MA_PS_t%c3%a4stekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y))
- Powlson, D.S. (1996). Why evaluating soil organic matter model? In: Powlson, D.S. Smith, P., Smith, J.U. (eds.) *Evaluation of soil organic matter models*. Springer Verlag, Berlin 3–12 viidatud: Kaiser, M., Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H. (2007). Long-term effects of crop rotation and fertilization on soil organic matter composition. *European Journal of Soil Science* 58:1460–1470 vahendusel.
- Rice, C.W. (2002). Organic matter and nutrient dynamics. In: *Encyclopedia of soil science*, pp. 925–928. New York, USA, Marcel Dekker Inc.
- Uzarowicz, Ł., Zagórski, Z., Mendak, E., Bartmiński, P., Szara, E., Kondras, M., Oktaba, L., Turek, A., Rogoziński, R. (2017). Technogenic soils (Technosols) developed from fly ash and bottom ash from thermal power stations combusting bituminous coal and lignite. Part I. Properties, classification, and indicators of early pedogenesis. *Catena* 157C, 75–89.
- Šimanský, V., Horák, J., Clothier, B., Buchina, N., Igaz, D. (2017). Soil organic-matter in water-stable aggregates under different soil-management practices. *Agriculture* 63:151–162.

- Zhang, M., Zhang, H., Zhao, A., Endale, D.M. (2011). Water-extractable soil organic carbon and nitrogen affected by tillage and manure application. *Soil Science* 176:307–312.
- Wander, M. (2004). Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: Magdoff, F., Weil, R. (eds.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*, CRC Press. pp. 67–102.

**Projekti elluviimiseks kasutatud töökohtade arv, tööülesannete kirjeldus ja jaotus uurimisgrupi liikmete vahel:**

Projekti tegevustes osalenud inimesed:

Teadur Karin Kauer – projektil 0,2 koormusega (metoodika väljaarendamine, andmeanalüüs, publitseerimine, aruandlus);

Priit Penu (Põllumajandusuuringute Keskus) – sõlmitud töövõtulepingud (uuritavate alade valimine; mullaseire andmete analüüs);

Kadri Allik või Elsa Putku (Põllumajandusuuringute Keskus) – sõlmitud töövõtulepingud (seniste seiretulemuste analüüs, proovialade valik ja nende ettevalmistus).

**Projektiga seotud taristu kasutamine projekti elluviimisel:**

Projekti täitjatel olid olemas vahendid igapäevatöö tegemiseks (töökoht, arvuti kontoritarkvara ja veebiühendusega, liikumisvahendite kasutamise võimalus).

**Projekti tegevuste ja tulemuste levitamise kava:**

Antud projekti tulemustel (ka osalised tulemused) on kaitstud 2 magistritööd:

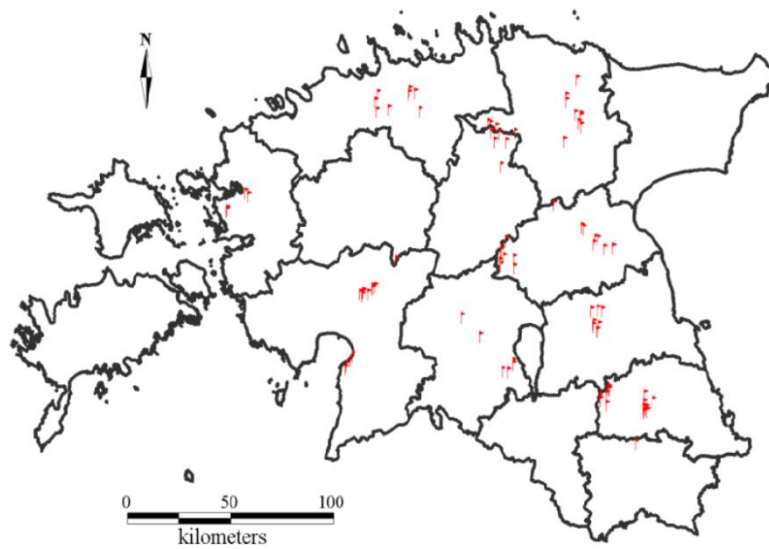
Tammik, K. 2016. Eesti põllumuldade süsinikuvaru olukord, dünaamika ja modelleerimine. Eesti Maaülikool, Tartu. (juhendaja K. Kauer)

Pärnpuu, S. 2019. Mulla orgaanilise aine koostis sõltuvalt mullaliigist ja väetamisest. Magistritöö, Eesti Maaülikool, Tartu. (juhendaja K. Kauer)

Suuline ettekanne: Eesti põllumuldade süsinikuvaru dünaamika aastatel 1983–2015. Ettekandja K. Tammik (Eesti Maaülikool), VII Mullapäev, 5. detsember 2016. Tartu, Eesti.

Posterettekanne: Kauer, K., Pärnpuu, S., Tõnu Tõnutare. *FTIR spectroscopy as a tool for characterization of soil organic matter depending on soil type and texture*. Humic Conference, 5-8. juuni 2019. Riia, Läti.

LISA 1. Seirealade paiknemine

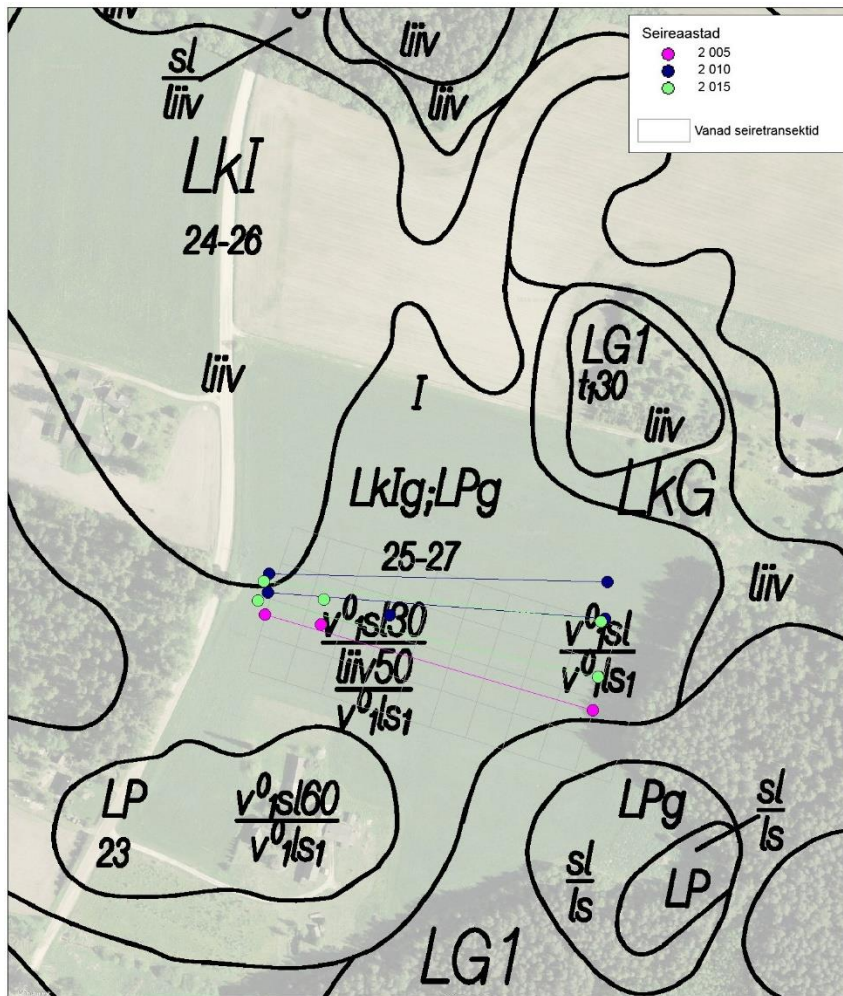


LISA 2. Süsinikuvaru (C varu) sõltuvalt lasuvustihedusest (Dm) (keskmine  $\pm$  standardviga)

| Näitaja                                                    | Dm mõõtmise sügavus          |                              |
|------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                                            | 5-10 cm                      | 15-20 cm                     |
| Mõõdetud Dm, g cm <sup>-3</sup>                            | 1,32 <sup>a</sup> $\pm$ 0,02 | 1,41 <sup>b</sup> $\pm$ 0,02 |
| Huumushorisondi C varu mõõdetud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup>  | 61,6 $\pm$ 2,43              | 65,2 <sup>A</sup> $\pm$ 1,92 |
| Huumushorisondi C varu arvutatud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup> | 66,8* $\pm$ 2,76             | 66,7 <sup>B</sup> $\pm$ 2,16 |
| 0-20 cm kihi C varu mõõdetud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup>     | 42,0 $\pm$ 1,49              | 43,7 $\pm$ 1,44              |
| 0-20 cm kihi C varu arvutatud Dm-ga, t ha <sup>-1</sup>    | 44,4 $\pm$ 1,18              | 43,8 $\pm$ 1,32              |
| Huumushorisondi tusedus, cm                                | 29,5 $\pm$ 0,68              | 30,1 $\pm$ 0,48              |
| Huumushorisondi C <sub>org</sub> , %                       | 1,63 $\pm$ 0,07              | 1,56 $\pm$ 0,05              |
| Arvutatud Dm, g cm <sup>-3</sup>                           | 1,42 $\pm$ 0,01              | 1,42 $\pm$ 0,01              |
| n                                                          | 73                           | 113                          |

<sup>1</sup> erinevad tähed reas näitavad statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) Dm määramise sügavuse mõju; <sup>2</sup> \* näitab statistiliselt usutavat ( $p < 0,05$ ) erinevust mõõdetud ja arvutatud Dm-ga leitud C varude vahel konkreetses mullakihis (huumushorisont või 0-20 cm mullakiht).

LISA 3. Proovivõtmise transekdid erinevatel aastatel



#### LISA 4. Mullašifrite seletused

K - rähkmuld

Kr – koreserikas rähkmuld

Ko – leostunud muld

Kor – koreserikas rähkmuld

KI – leetjas muld

LP – kahkjas muld

Lk – leetunud muld

Kg – gleistunud rähkmuld

Kog – gleistunud leostunud muld

KIg – gleistunud leetjas muld

LPg – gleistunud kahkjas muld

Gk – rähkne gleimuld

Go – leostunud gleimuld

GI – leetjas gleimuld

LKG – leetunud gleimuld

Ke – nõrgalt erodeeritud rähkmuld

Koe – nõrgalt erodeeritud leostunud muld

KIe – nõrgalt erodeeritud leetjas muld

LPe – nõrgalt erodeeritud kahkjas muld

E – erodeeritud muld

D – deluviaalmuld

DG – deluviaal-gleimuld