

TÖÖVÕTULEPING nr 2-1/10/2021

**Mineraalmuldadel asuvatel põllumajandusmaade mulla orgaanilise süsiniku
varu muutuse hindamine simulatsioonimudeliga**

Lõpparuanne

Töö teostajad:

Karin Kauer, Alar Astover, Jordi Escuer (Eesti Maaülikool)

Elsa Putku, Priit Penu, Tambet Kikas (Põllumajandusuuringute Keskus)

Sisukord

Lähteülesanne	3
Mudelite kirjeldused	4
Mudel RothC.....	4
Mudel Yasso07	6
Uuringu meetodika	8
Andmed	8
Eesti riikliku keskkonnaseire mullaseire andmebaas	8
Andmebaas PANDA	11
Ilmastikuandmed.....	15
Süsiniku sisendite arvutamine.....	15
Mulla Corg varu arvutamine.....	22
Mudelite lähtestamine	22
Mudel Roth C.....	22
Mudel Yasso07	24
Tulemused	25
Seirealade muldade mõõdetud ja prognoositud orgaanilise süsinikuvarud.....	25
Eesti mineraalsete põllumuldade keskmine mulla Corg varu ja muutus perioodil 2015–2020.....	32
Mineraalsete põllumuldade Corg varu 1990–2020.....	37
Elva valla põllumuldade Corg varu asukohapõhine prognoos aastani 2040.....	39
Hinnang modelleerimiseks vajalike sisendandmete kättesaadavusele ja määramatusele	41
Kokkuvõte.....	46
Kasutatud kirjandus.....	48

Lähteülesanne

Hetkel maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (LULUCF) sektori all raporteeritavad mulla orgaanilise süsiniku (Corg) varu muutused põllumajandusmaadel arvutatakse kasutades Tier2 meetodikat, mis ei arvesta piisavalt piirkondlikke erisusi. Alternatiivne võimalus on LULUCF sektori CO₂ emissiooni hindamiseks rakendada Corg varu muutusi, mis on leitud kasutades vastavaid simulatsioonimudeleid. Soome kasvuhoonegaaside inventuuri raames kasutatakse mulla Corg varu muutuste modelleerimisel mudelit Yasso07, mis on välja töötatud metsamuldadel, kuid rakendatav ka haritavatel muldadel. Kuid näiteks Šveitsis kasutatakse simulatsioonimudelit RothC, mida rakendatakse ka FAO poolt väljatöötava globaalse mulla orgaanilise süsiniku sidumisvõime kaardi (*Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq)*¹) väljatöötamisel.

Sellest tulenevalt on antud tegevuse eesmärk testida eespool mainitud mudeleid Eesti mineraalsetel põllumuldadel ja kohendada vajadusel neis kasutatavaid koefitsiente Eesti tingimustele vastavaks. See loob võimaluse edasistes etappides põllumaa mineraalmuldade Corg varu dünaamika hindamine riikliku kasvuhoonegaaside inventuuri raames üle viia Tier3 tasemele.

Aruandes valideeritakse kahte simulatsioonimudelit (Yasso07 ja RothC) põllumuldade seirealade andmestiku alusel ning täpsustatakse vajaminevaid mudelite sisendparameetreid. Mudelit RothC rakendatakse põllumuldade Corg varu muutuste prognoosiks maakondlikul tasandil. Selleks koostatakse maakondade keskmiste sisendnäitajatega andmebaas, mis on vajalik simulatsioonimudeli rakendamiseks. Modelleeritakse maakondade keskmised mineraalmuldade Corg varu muutused põllumajandusmaadel perioodil 1990–2020. Põllu tasandil mulla Corg varu muutuse simulatsioonimudeli rakendamist näitlikustatakse pilootpiirkonna põllumajandusmaa näitel.

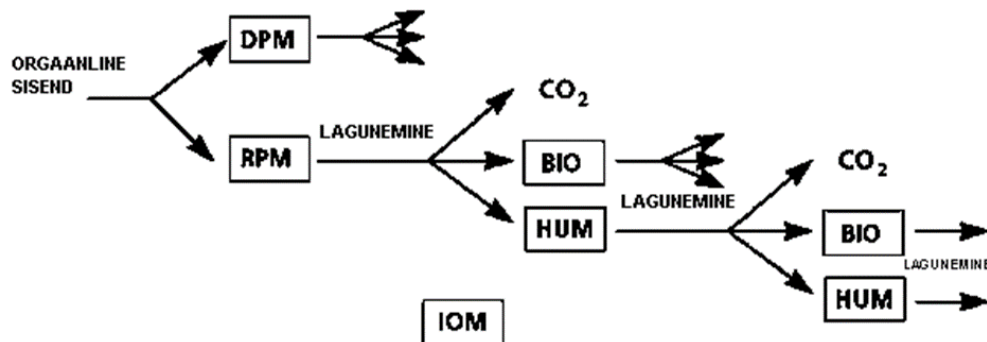
¹ <https://www.fao.org/global-soil-partnership/gsocseq-map/en/>

Mudelite kirjeldused

Mudel RothC

Mudel RothC modelleerib C ringlust kuivades ja parasniisketes mullas, võttes arvesse erinevaid mullatüüpe (peamiselt savisisalduse alusel), õhutemperatuuri, -niiskuse sisaldust ning kasvavat taimestikku. Antud mudelit saab kasutada erinevates ilmastikutingimustes ja lisaks põllumuldadele ka rohumaadel ja puistudel (Coleman ja Jenkinson, 1999).

Mudel jagab mulla orgaanilise aine neljaks aktiivseks osaks ning üheks püsivaks (inertseks) osaks (IOM) (joonis 1).



Joonis 1. Mulla orgaanilise aine jagunemine vastavalt RothC mudelile (Coleman ja Jenkinson, 1999) (DPM – kergesti lagunev taimne materjal; RPM – vastupidav taimne materjal; BIO – mikroobne biomass; HUM – humifitseerunud orgaaniline aine; IOM – inertne orgaaniline aine)

Mulda minev orgaaniline aine jaguneb kahe fraktsiooni vahel (kergesti ja raskesti laguneva taimse materjali vahel), millest osa laguneb CO₂-ks ning osa (46%) läheb üle mikroobsesse biomassi ja osa (54%) humifitseerunud orgaanilisse ainesse, mille jagunemist mõjutab mulla savisisaldus. Sõnniku puhul eeldatakse, et sõnnik on rohkem lagunenud, kui tavaline taimne materjal, mis mulda läheb ning seetõttu mudelis sõnnik jaguneb mullas selliselt, et mulda viidavast orgaanilisest ainest 49% läheb kergesti lagunevasse taimse materjali fraktsiooni, 49% raskesti lagunevasse taimse materjali fraktsiooni ja 2% humifitseerunud orgaanilisse ainesse.

Erinevate fraktsioonide lagunemiskonstandid (1/aasta) on järgmised: kergesti lagunev taimne materjal: 10,0, raskesti lagunev orgaaniline materjal: 0,3, mikrobiaalne biomass: 0,66, humifitseerunud orgaaniline aine: 0,02. Kui algse orgaanilise materjali kogus on Y (t/ha), siis ühe kuu jooksul laguneb

ära $Y(1-e^{-abct})$, kus k on lagunemiskonstant; t on 1/12, kui k on lagunemiskonstant aasta kohta; a on temperatuuri faktor; b niiskuse faktor (kirjeldab ülemise mullakihi niiskusedefitsiiti; c taimkatte faktor (kasvavad taimed aeglustavad lagunemist; kui muld on taimestikuga, siis $c=0,6$; kui taimestikuta, siis $c=1,0$).

Prognoosimiseks vajalikud sisendid:

- Ilmastikuandmed: igakuine keskmine õhutemperatuur (°C), igakuine sademete hulk (mm), igakuine evaporatsioon (mm); sademete ja evaporatsiooni andmeid kasutatakse mullaniiskuse defitsiidi arvutamiseks; õhutemperatuuri kaudu arvutatakse mullatemperatuur.

- Mulla andmed: savisisaldus (%), algne Corg varu (t/ha), uuritava mullakihi tusedus (cm); inertse orgaanilise aine (IOM) sisaldus, mida defineeritakse, kui mulla orgaanilise aine osa, mis on bioloogiliselt püsiv ning millel on suurem kui 50 000 aasta ekvivalentne radioaktiivse C vanus. Mulla savisisaldust kasutatakse arvutuse juures, kus leitakse, kui palju taimedele kättesaadavat vett suudab ülemine mullakiht kinni hoida; lisaks see mõjutab orgaanilise aine lagunemise kulgu: mida suurem on savisisaldus, seda aeglasemalt orgaaniline aine laguneb.

- Maakasutuse andmed: taimestik, igakuine mulda lisanduva orgaanilise aine (taimejätmete) kogus (t/ha), igakuine lisanduva sõnniku kogus (t/ha), mulda lisanduva taimse materjali kergesti ja raskesti laguneva taimse materjali (DPM/RPM) suhe, mis kirjeldab mulda mineva orgaanilise materjali lagundatavust. Tavaliste põllukultuuridega ja parandatud rohumaadel on see suhe 1,44, mis tähendab, et taimsest materjalist 59% on kergesti lagunev ja 41% on raskesti lagunev.

Mudeli väljunditeks on mulla Corg varu erinevatel ajahetkedel (vajadusel ka kuu intervalliga, kuid antud uuringus esitati tulemused aastase intervalliga st uuritava perioodi lõppaasta tulemused) ja Corg varu fraktsiooniline koostis (DPM, RPM, BIO, HUM, IOM).

Antud mudel võimaldab testida järgmiste faktorite mõjusid Corg varu muutusele:

- mulla savisisaldus
- õhutemperatuur
- mullaniiskuse sisaldus
- taimkatte olemasolu või puudumine.

Mudel Yasso07

Mudel Yasso07 (Tuomi et al., 2009, 2011a, 2011b) on dünaamiline mudel, mis on varasema mudeli Yasso (Liski et al., 2005) edasiarendus. Selle mudeliga on võimalik arvutada mulla orgaanilise Corg varu, muutusi Corg varus ja CO₂ emissiooni. Mudel oli algselt arendatud metsamuldade Corg varu prognoosimiseks Soomes, kuid on leidnud rakendamist ka põllumuldadel, sest mudel sisaldab lisaks metsavarise andmetele orgaanilise aine lagunemise andmeid ka põllumuldadel (Trofymow et al., 1998; Karhu et al., 2012). Käesolevas uuringus testiti mudeli versiooni Yasso07, kuigi hetkeks on mudelit edasiarendatud ja olemas on versioon Yasso20. Võrreldes versiooniga Yasso07, on viimases versioonis rohkem andmeid erinevate fraktsioonide lagunemiskiiruste kohta (algselt moodustasid andmebaasi 10 000, nüüd siis 18 000 mõõtmistulemust orgaanilise aine lagunemise kohta), lisaks arvestatakse oluliselt rohkem ilmastiku (temperatuuri) mõju orgaanilise aine lagunemisele. Need edasiarendused võiksid võimaldada paremat prognoositulemust võrreldes reaalselt mõõdetud tulemusega (Viskari et al., 2022). Viskari et al. (2022) hinnangul Yasso07 prognoosib samade sisendandmetega suuremat mulla Corg varu võrreldes versiooniga Yasso20. Kuid näiteks Eesti Keskkonnaagentuuri tellimustöö tulemuse alusel (KAUR, 2018) Yasso07 vastupidiselt alahindas mulla Corg varu Eesti tingimustes.

Mudel tugineb eeldusel, et orgaanilise aine lagunemine sõltub orgaanilise aine keemilisest koostisest ja kliimatilistest tingimustest. Mudel eeldab:

- Orgaanilise aine keemilist koostist on võimalik kirjeldada jagades orgaanilise aine nelja gruppi: mittepolaarses solvendis (etanoolis) lahustuvad ühendid (nt. vahad) (E), polaarses lahuses (vees) lahustuvad ühendid (nt. suhkrud) (W), happes hüdrolüüsuvad ühendid (nt. tselluloos) (A) ja mittelahustuvad ühendid (N). Iga grupp omab oma lagunemiskiirust: A: 0,73, W: 5,8; E: 0,29; N: 0,031 aastas (Heikkinen et al., 2021);
- Nende gruppide lagunemise tulemusena mass väheneb ja toimub C vood erinevate gruppide vahel ning moodustub stabiilne huumus (H) (Tuomi et al., 2009);
- Kliimatiliste tingimuste mõju lagunemiskiirustele on võimalik modelleerida kasutades õhutemperatuuri ja sademete andmeid.

Mudeli sisenditeks on C sisend (varis, taimejätmed, sõnnik), C sisendi keemiline koostis (AWEN fraktsioonide osakaalud) ja võimalusel ka nende näitajate keskmiste väärtuste standardvead. Mudel arvutab mulla Corg varu, Corg varu muutuse ja CO₂ emissiooni. Ilmastikuandmetest on vaja teada: aastast sademete kogust, aasta keskmist õhutemperatuuri, lisaks ka aasta kõige soojema ja külmema kuu keskmisi temperatuure, et arvutada temperatuuri amplituud $(T_{\max}-T_{\min})/2$ kirjeldamiseks aastasisest

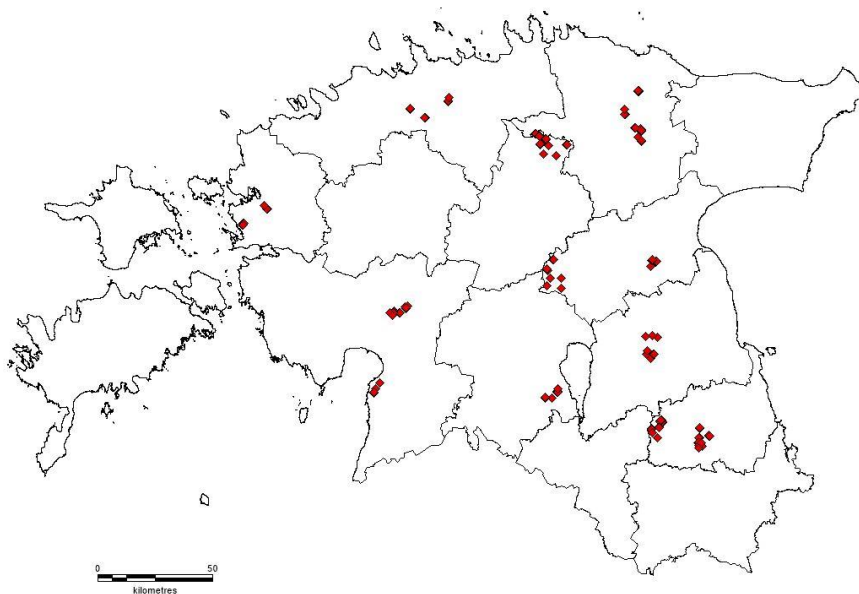
temperatuuri variatsiooni. Parameetrite väärtused (lagunemisastmed, C vood erinevate gruppide vahel ning temperatuurist ja sademetest sõltuvused) on iseloomustatud tõenäosusjaotusega, mis on arvutatud Markovi ahelate Monte Carlo meetodil (Toumi et al., 2009). Ka mudeli väljundid esitatakse tõenäosusnäitajaga, mis kirjeldab parameetri, süsteemi algse seisundi, C sisendi koguse ja omaduste ebamäärasust (*uncertainty*) mudelis (Liski et al., 2005). Parameetri näitajad on sõltumatud C sisendi tüübist, ökosüsteemi liigist ja kliimatilistest tingimustest s.t., et sama parameeter on kasutatav kõikides süsteemides (Toumi et al., 2009). AWEN fraktsioonide vahelised osakaalud on leitud tuginedes paljudele uurimustöödele, kus on uuritud orgaanilise aine lagunemist (allikad loetletud Liski et al. (2005)) uurimustöös.

Uuringu metoodika

Andmed

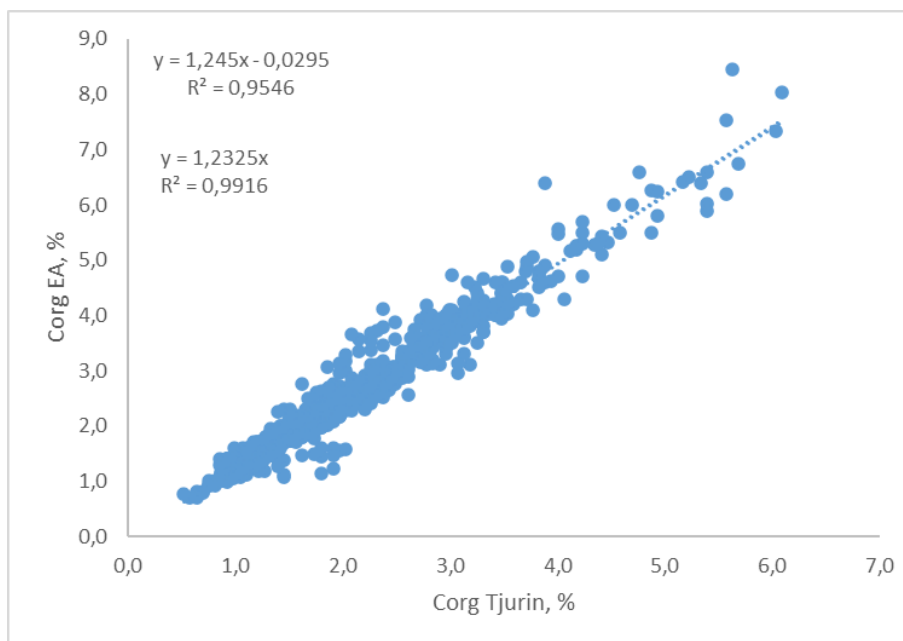
Eesti riikliku keskkonnaseire mullaseire andmebaas

Mudelite valideerimiseks Eesti tingimustes kasutati Eesti riikliku keskkonnaseire mullaseire andmebaasi, mis sisaldab lisaks muudele näitajatele mulla Corg sisalduse dünaamikat ajas. Seirealad hakati rajama 1983. aastast. Algselt oli seirealad kokku 79 üle Eesti, kuid pärast 1992. aastat seire katkes. 2002. aastal alustati seirega uuesti 21 alal. Maaeluministeeriumi poolt finantseeritud projekti „Mulla süsinikuvarude seis ja dünaamika“ (RUP, 2019) raames otsiti üles 58 endist püsiseire alt välja jäänud ala ning nendelt (v.a. ühelt alalt, mis oli nüüdseks asfalteeritud) koguti 2015–2016. aastatel uued mullaproovid. Kuus ala nendest olid perioodil 1992–2016 väga muutlikku maakasutusega (püsirohuma ja põllumaa vaheldumisi) ning edasisest analüüsist jäeti need alad välja. Ülejäänud 72 ala paiknemine on esitatud joonisel 2.



Joonis 2. Seirealade paiknemine (seirealade asukohad on tähistatud rombidega)

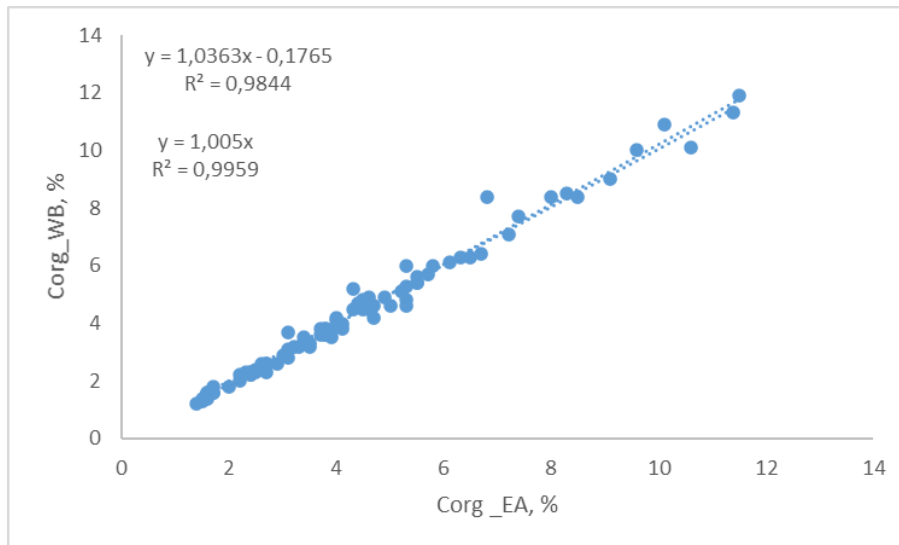
Seda andmebaasi kasutati käesolevas projektis hindamaks põllumuldade Corg varu muutust perioodil 1990-2015. 1990. a seisundi kirjeldamiseks kasutati andmeid, mis olid kogutud aastatel 1988-1992 (64 põldu, n=2480). 2015. aasta mulla Corg varu leiti samade põldude kohta aastatel 2015-2016 kogutud proovitulemustele tuginedes (n=786). Mulla Corg varu leidmiseks tuli arvestada antud perioodi jooksul toimunud mitmeid muutusi mulla Corg määramise meetodikas. Selleks viidi läbi Corg sisalduse väärtuste mitmesammuline korrigeerimine. Seire algusaegadel oli kasutusel Tjurini meetod, mis kujutab endast Corg oksüdeerimist väävelhappedikromaadilahusega lahuse vesivannil kuumutamise. Oksüdeerunud Corg sisaldus määrati tiitrimisel Mohri soola lahusega. Uuel seireperioodil alates 2002. aastast asendus tiitrimine spektrofotomeetrilise määramisega ning sellest erisusest tingitud erinevus on keskmiselt 11%. Tiitrimisel alahinnatakse Corg sisaldust võrreldes spektrofotomeetrilise määramisega. Seega, selleks et erinevatel perioodidel laborianalüüsi väärtused oleksid võrreldavad, siis enne 2002. aastat kogutud mullaproovide Corg sisaldused korrutati läbi koefitsiendiga 1,11. 2007. aastast on seirealade mulla Corg sisalduse määramiseks kasutusel elementanalüsaator (EA) (Dumas kuivpõletusmeetod, eelnevalt on anorgaanilise C (karbonaadid) happega eemaldatud). Leidmaks väärtus, mis oleks võrreldav EA-ga määratud Corg sisaldusega, kasutati PMK laboris läbiviidud analüüside tulemusi määrares samadest mullaproovidest Corg sisaldus nii EA kui Tjurini (spektrofotomeetriliselt) meetodil. EA-ga määratud Corg tulemuste saamiseks kasutati võrrandit $Corg_{EA} = 1,245 * Corg_{Tjurin} - 0,0295$ (joonis 3).



Joonis 3. Seos EA-ga ja Tjurini meetodil määratud Corg sisalduste vahel (n=1042; PMK labor)

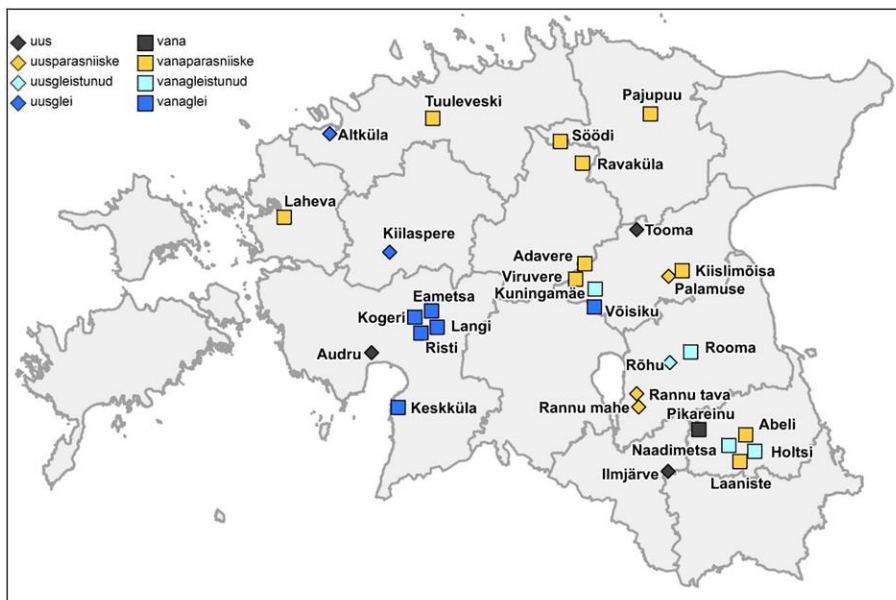
Järgmise sammuna arvestati, et alates 2014. a määratakse PMK laboris Maaeluarengukava 2014–2020 toetuse raames makstavate toetustele kvalifitseerumiseks mulla Corg sisaldus Walkley-Black (WB)

meetodil. Et seirealade proovide tulemused oleksid võrreldavad WB meetodil analüüsitud tulemustega, siis EA-ga määratud Corg sisalduselt üleminekul WB tulemustele kasutati võrrandit $Corg_WB = 1,0363 * Corg_EA - 0,1765$ (joonis 4).



Joonis 4. Seos elementanalüsaatoriga (EA) ja Walkley-Black (WB) meetodil määratud Corg sisalduste vahel (n=86; PMK labor)

Tänaseks on jätkuvalt seire all 21 ala, lisaks on seire alla võetud veel 9 uut ala (joonis 5), millel teostatakse 5-aastase rotatsiooniga kordusmõõtmisi.



Joonis 5. Riikliku keskkonnaseire allprogrammi mullaseire 30 püsivaatlusala (joonis pärit PMK koondaruandest 'Põllumuldade seire 1983–2017').

Nagu eelnevalt kirjeldatud, siis seirealade muldade Corg sisalduse määramiseks kasutatud analüütilises meetodis toimus seire ajal muutus. Mudelite RothC ja Yasso07 valideerimiseks kasutati ainult ühe meetodiga määratud mulla Corg sisaldust ehk siis proove, mis on kogutud pärast 2007. aastat ja mulla Corg sisaldus on määratud EA-ga. Sellest tulenevalt erinevate seirealade uuritavate perioodide pikkused varieerusid vahemikus 10–12 aastat.

Mudelite valideerimiseks kaasati 12 seireala tulemused (tabel 1). Valik tehti selle järgi, kui palju oli olemas põlluraamatust pärinevaid andmeid seirealadel kasvatatud kultuuride, nende saagikuste ja orgaanilise väetise (sh sõnniku, kompost vms) kasutamise kohta. Vajalik info oli ka see, mida tehti koristusjärgselt põhuga: kas jäeti põllule või viidi põllult ära. Aruande koostamise ajal olid andmed olemas 12 seireala kultuuri ja saagikuse kohta, orgaanilise väetise ja põhu info oli olemas aastani 2016.

Mulla Corg varu modelleeriti nõ lõppaasta 'aasta2' kohta, et saaks võrrelda mõõdetud ja modelleeritud mulla Corg varu näitajaid.

Tabel 1. Seirealade kirjeldused

Seireala	Maakond	Mullaliik ¹	Lõimis ²	Savi, % (FAO ³)	Algaasta (aasta0)	Lõppaasta (aasta2)	Corg, % (aasta0)	Corg, % (aasta2)
Naadimetsa	Põlva	LPg	sl	7	2007	2017	1,46	1,46
Kogeri	Pärnu	GI	ls3	26	2009	2020	3,19	3,20
Rooma	Tartu	Ko/Kog	ls1	12	2008	2018	1,95	2,25
Eametsa	Pärnu	Gk	ls1	15	2009	2020	4,27	4,42
Viruvere	Jõgeva	Ko	ls2	12	2008	2018	2,23	2,52
Rõhu	Tartu	Klg	sl/ls1	10	2011	2021	1,46	1,64
Adavere	Jõgeva	Ko/KI	ls2	11	2008	2018	2,35	2,31
Langi	Pärnu	Go/Gk	ls2	17	2008	2020	3,62	3,49
Söödi	Järva	KI/Ko	ls1	11	2009	2020	1,66	1,80
Keskküla	Pärnu	G(I)	l	4	2008	2018	5,72	5,28
Abeli	Põlva	LP	sl	7	2008	2018	1,88	1,79
Palamuse	Jõgeva	LP	ls1	9	2008	2018	1,74	1,99

¹Mullaliigi šifrite selgitused: LPg – gleistunud näivleetunud muld, GI – leetjas gleimuld, Ko – leostunud muld, Kog – gleistunud leostunud muld; Gk – rähkne gleimuld, Klg – gleistunud leetjas muld, KI – leetjas muld, Go – leostunud gleimuld, G(I) – küllastunud gleimuld, LP – näivleetunud muld; ²Mulla lõimise lühendite selgitus: liiv; sl – saviliiv; ls1 – kerge liivsavi; ls2 – keskmine liivsavi; ls3 – raske liivsavi; ³Food and Agriculture Organization of the United Nations (ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon)

Andmebaas PANDA

Maakondlikul tasandil mulla Corg varu muutuste hindamiseks kasutati põllumajandustootjate põldudel Maaeluarengukava 2014-2020 toetuse raames makstavate toetustele kvalifitseerumiseks kogutud mullaproovide tulemusi, mis on nüüdseks koondatud andmebaasi koondnimega PANDA. Antud uuringus kasutatud andmete puhul arvestati, et:

- mulla Corg sisaldus on määratud ühe ja sama analüüsimetoodikaga. See tähendas seda, et antud analüüsis kasutati mullaproovide tulemusi, mis on kogutud alates 2014. aastast, sest varasemalt olid põllumajandustootjate põldudelt kogutud proovidest Corg sisalduse määramiseks kasutatud NIRS (*Near-infrared spectroscopy*) meetodit. Alates 2014. aastast on mulla Corg sisaldus määratud sulfokroom meetodil. NIRS meetod alahindab mulla Corg sisaldust kõrgematel Corg sisalduste juures, mille tulemusena avaldusid ebamõistlikult suured mulla Corg varu suurenemised uuritud perioodi jooksul;
- mullaproovid on võetud kahel ajahetkel (intervalliga vähemalt 3 aastat) ühelt ja samalt põllumassiivilt;
- andmebaas sisaldab andmeid ainult sellistelt mullaareaalidelt, kus proovivõtupunkt paiknes nõ puhvrialal (läbimõõduga 98 m), kus ühe mullaliigi osatähtsus 75% (ehk proovivõtupunkti ümber paiknevad sarnased mullad);
- andmebaas sisaldab andmeid ainult mineraalmuldade kohta (andmebaasist jäeti välja need proovivõtupunktid, kus mulla Corg sisaldus oli üle 12%²);
- mulla Corg varu muutus aastas uuritud perioodi jooksul ei ületaks ± 5 t/ha aastas. Need proovivõtupunktid, kus muutused olid suuremad, jäeti antud töös andmebaasist välja. Samuti jäeti andmebaasist välja need proovivõtupunktid, kus mulla pH oli vähenenud ühe ühiku võrra.

Need välistamised olid vajalikud, et saada modelleerimiseks võimalikult korrektne andmestik. Sellega välistati uurimisperioodi jooksul toimunud ebausutavalt suured muutused, mis võivad olla tingitud ebapiisavast asukohatäpsusest välitöödel, mistõttu algselt ja hiljem kogutud mullaproovid ei pruukinud asuda samaväärsel mullastikul.

Tulemusena moodustus andmebaas, mis sisaldas mulla Corg sisaldust esimesel ja teisel ajahetkel 3433 proovivõtupunktis. Esimene ring teostati aastatel 2014-2017 ning antud projektis võrdsustati see periood mulla Corg varu seisundiga 2015. aastal. Teine proovivõturing teostati aastatel 2017-2021 ja need vastavad käesolevas töös mulla Corg seisundile aastal 2020. Enamikes proovivõtupunktides (n=2447) oli kahe proovivõturingide vaheline periood 5 aastat, kuid esines ka lühemaid perioode (3 aastat: 165 punktis; 4 aastat: 401 punktis) ja pikemaid perioode (6 aastat=364 punktis; 7 aastat=56 punktis). Antud andmebaas sisaldas mulla Corg andmeid 75 proovivõtukohest, kus maakasutuseks oli märgitud püsirohumaat. Nende proovivõtukohtadele (n=75) tuginedes oli Corg varu muutus -0,15 t/ha aastas. Kuna nende proovikohtade osakaal kogu andmebaasist oli väike (2,2%), siis edasises analüüsis

² WRB (WRB (World Reference Base) mullaklassifikatsiooni järgi klassifitseeruvad mullad suurema kui 12% Corg sisaldusega turvasmuldadeks

neid punkte eraldi ei käsitletud. See väike valmi ei võimalda teha usaldusväärset modelleerimist püsirohumaadele.

Iga proovivõtupunkti kohta oli esitatud ka lõimiseklass ja korese sisaldus. Mudeliga RothC mulla Corg varu prognoosimiseks on üks vajalik sisendnäitaja savi sisaldus (osakesed suurusega alla 0,002 mm) FAO järgi (%). Kuna valdavalt pole mulla lõimist FAO meetodika järgi Eesti muldades määratud, siis igale lõimiseklassile lisati juurde ligikaudne savisisaldus, mida on kasutanud oma uurimustöös ka Kmoch et al. (2021). Lõimis FAO järgi tähendab seda, et mulla lõimis määratakse kolme osakese suuruse fraktsiooni järgi (liiv: 2–0063 mm; ibe: 0,002–0,063 mm; savi: <0,002 mm), olemasoleva Eesti mullakaardil on esitatud lõimised, mille määramiseks on kasutatud Katšinski klassifikatsiooni.

Selliselt moodustus kuus savisisalduse klassi, mida arvestati igas maakonnas mulla Corg varu modelleerimisel ja sellest tingituna ka maakondade keskmiste mulla Corg varu arvutamisel.

Maakondades esinevate lõimiseklasside pindalad

Kogu maakonna keskmise põllumuldade Corg varu muutuse leidmiseks, on vaja arvestada erinevate lõimiseklassidega (antud projektis savisisalduseklassidega) seotud muldade osakaalusid maakondades. Maakondade keskmine mulla Corg varu leiti mineraalmuldadega põllumaa kohta ehk kogu põllumaa pindalast oli eelnevalt maha lahutatud turvasmuldade osakaal. Turvasmuldi ei arvestatud, sest mudel RothC on väljatöötatud modelleerimaks Corg varu muutusi ainult mineraalmuldades. Põllumaa (v.a. turvasmuldadega alad) pindalaid kasutati erinevate savisisalduseklassidega muldadel paiknevate Corg koguse leidmiseks ja neid summeerides leiti kogu Corg hulk maakonna erinevate savisisaldustega põllumuldade 0–30 cm mullakihi. Antud arvutuskäik tehti läbi nii 2015. (alg-), kui 2020. (lõpp-) aasta kohta. Kui maakonnas mõne savisisalduseklassi kohta mõõdetud mulla Corg sisalduse valim puudus või oli liiga väike, siis sel juhul kasutati savisisalduseklassi Eesti keskmist näitajat, mis eristati omakorda mulla karbonaatsuse alusel jagades Eesti kahte piirkonda. Kuna karbonaatsel lähtekivimil kujunenud mullad on suurema Corg varuga, siis Eesti keskmine näitaja leiti nii karbonaatsel kui mittekarbonaatsel lähtekivimil kujunenud muldade kohta eraldi.

Eesti keskmine mulla Corg varu 2015. ja 2020. aastal leiti andmebaasis olevate proovikohtade kaudu (n=3433) arvestades savisisalduseklasse ja erinevate savisisalduseklassidega põllumuldade (v.a. turvas) pindalaid. Võrdluseks leiti ka Eesti kaalutud keskmine mulla Corg varu maakondade keskmiste Corg

varude kaudu. Mulla Corg varu muutus leiti ühe aasta kohta lahutades lõppaasta maakonna või Eesti keskmise mulla Corg varust maha algaasta mulla Corg varu ja saadud tulemus jagati läbi viie aastaga.

Maakondade keskmise Corg varu arvutamisel arvestati ka seda, et 2015. ja 2020. aasta põllumaade pindalad maakondades muutusid (tabel 2). Mulla Corg varu prognoosimisel 2040. aastani eeldati, et põllumaa pindala ei muutu võrreldes 2020. aastaga.

Tabel 2. Maakondade põllumaa ja turvasmuldade pindalad aastatel 2015 ja 2020

Maakond	Põllumaa, ha (Stat ¹)	Turvasmulla	Põllumaa	Põllumaa, ha (Stat)	Turvasmulla	Põllumaa
		pindala, ha (PMK ²)	(v.a. turvas), ha (Stat)		pindala, ha (PMK)	(v.a. turvas), ha (Stat)
		2015			2020	
Harju maakond	40 400	4 804	3 5596	42 340	5 072	37 268
Hiiu maakond	3 245	105	3 140	3 738	103	3 635
Ida-Virumaa	22 044	699	21 345	23 307	1 071	22 236
Jõgeva maakond	66 018	2 688	63 330	67 626	3 106	64 520
Järva maakond	59 768	2 660	57 108	57 994	2 529	55 465
Lääne maakond	24 650	1 742	22 908	19 195	1 840	17 355
Lääne-Viru maakond	86 633	2 399	84 234	89 726	2 464	87 262
Põlva maakond	54 006	1 227	52 779	62 535	1 352	61 183
Pärnu maakond	42 506	2 348	40 158	39 180	1 932	37 248
Rapla maakond	42 142	2 199	39 943	45 671	2 608	43 063
Saare maakond	15 628	682	14 946	18 418	1 304	17 114
Tartu maakond	76 312	3 145	73 167	85 925	3 361	82 564
Valga maakond	26 784	1 275	25 509	26 695	1 210	25 485
Viljandi maakond	72 252	3 365	68 887	69 326	3 067	66 259
Võru maakond	33 514	1 070	32 444	41 963	1 166	40 797
Eesti	665 902	30 408	635 494	693 639	32 186	661 453

¹Statistikaamet; ²Põllumajandusuuringute Keskus

Maa-ameti haritava maa andmebaas

1990. aastate alguses toimus Eestis põllumaade boniteedi hindamine. Selle käigus koostati Maa-ameti poolt kõiki Eesti põlluüksusi koondav andmebaas, mis sisaldab endas 280 711 kirjet mulla lõimiseklassi, korese ja mulla Corg sisalduse kohta huumushorisondist. Toona määrati mullaproovidest Corg sisaldus Tjurini meetodil. Selleks, et tulemused oleks võrreldavad Walkley-Black meetodi väärtustega (meetod, mida kasutatakse 2014.aastast PMK laboris Corg määramiseks) arvestati eelpool mainitud korrektsioone.

Ilmastikuandmed

Seirealadel RothC mudeliga modelleerimiseks kasutati seirealale kõige lähema vaatluspunkti ilmastikuandmeid, mis saadi Keskkonnaagentuurist. Iga ala kohta leiti kahe erineva perioodi kuu keskmised õhutemperatuurid, sademete kogused ja evaporatsioonid. Kaks erinevat perioodi olid järgmised: aasta0: 20 kuni aasta0 ja aasta0+1 kuni aasta2. Näiteks Naadimetsa ala puhul: I periood: 2007-20=1987 kuni 2007; II periood: 2007+1=2008 kuni 2017.

Yasso07 mudeliga modelleerimiseks kasutati II perioodi keskmist õhutemperatuuri ja aastast sademete kogust, lisaks leiti aastasisene temperatuuri amplituud.

Põllumajandustootjate põldudel mulla Corg varu modelleerimiseks kasutati kahe perioodi (1995–2014 ja 2015–2020) ilmastikuandmeid. Ilmastikuandmed leiti iga maakonna kohta kasutades maakonnas asuva või lähedal asuva maakonnas asuva ilmajaama andmeid (tabel 3).

Tabel 3. Maakondade ilmastikuandmete ilmajaamad

Maakond	Ilmajaam
Jõgeva	Jõgeva
Ida-Viru	Jõhvi
Rapla	Kuusiku
Lääne	Lääne-Nigula
Hiiu	Ristna
Pärnu	Pärnu
Saare	Roomassaare
Harju	Tallinn-Harku
Tartu	Tartu-Tõravere
Järva	Türi
Valga	Valga
Viljandi	Viljandi
Põlva	Võru
Võru	Võru
Lääne-Viru	Väike-Maarja

Süsiniku sisendite arvutamine

Keskmised süsiniku sisendid seirealadel

C sisenditeks ehk mulla orgaanilise aine allikateks on peamiselt taimejätmed (juured ja juureeritised), lisaks põhk, kui põhk jäetakse põllule. C sisendiks on ka orgaanilised väetised (sõnnik, kompost,

digestaat). Seetõttu on oluline teada, mida konkreetsel seirealal põhuga tehakse ja kas kasutatakse orgaanilisi väetisi, kui jah, siis milliseid ja kui palju. Vastavaid andmeid on võimalik leida põllumajandustootja poolt täidetud põlluraamatust, kes antud seireala oma tootmistegevuses kasutab. Aruande koostamise käigus selgus, et vastupidiselt ootusele, ei ole põlluraamatud sageli korralikult täidetud, eriti tihti puudub info selle kohta, mida tehakse põhuga. Seetõttu kasutati C sisendi arvutamisel kahte erinevat lähenemist: a) põhk jäeti põllule; b) põhk viidi põllult ära ning eeldati, et orgaanilist väetist mulda ei viidud. Kui mõne kultuuri puhul saagikuse andmed puudusid, siis kasutati vastava kultuuri Statistikaameti poolt esitatud konkreetse aasta maakonna keskmist saagikuse näitajat. Modelleerimiseks kasutati uuritud perioodi keskmist C sisendi väärtust.

Täiendavad eeldused, mida kasutati C sisendi arvutamisel:

- Kui külvikorras oleva lühiajalise rohumaa saagikuse andmed puudusid, siis eeldati, et rohumaa haljasmassi saagikus on keskmiselt 20 t/ha.
- Rohumaade puhul arvestati, et maapealne biomass viidi põllult ära (nt. siloks), kui ei olnud märgitud teisiti.
- C sisend leiti kuivainesaagi kohta, selleks arvestati, et teraviljade jm. üheaastaste kultuuride saagikuse näitaja oli esitatud 14% niiskusesisalduse juures ja mitmeaastaste rohumaa kultuuride saagikus 30% kuivaine sisalduse juures.
- Vedelsõnniku kuivaine sisalduseks eeldati olevat 6%.
- Taimse biomassi C sisaldus on keskmiselt 45% ja orgaanilise väetise C sisaldus 40%.

Taimede maapealsed ja -alused C sisendid arvutati välja produktiivsaagi järgi. Produktiivsaagi (nt. terad või muu maapealne biomass, mis eemaldati põllult) järgi arvutati välja mulda minev C sisend kasutades C jaotumise koefitsiente (tabel 4).

Tabel 4. Seirealadel kasvatatud kultuuride süsiniku jaotumiskoefitsiendid (Bolinder et al., 2007; Begna & Angadi, 2016; Svecnjak & Rengel, 2006)

Kultuur	Produktiivsaak (terad jm. maapealne biomass, mis viidi põllult ära)	Muu maapealne osa (nt. põhk)	Juured	Juure-eritised
Nisu	0,322	0,482	0,118	0,078
Suvioder	0,451	0,400	0,090	0,059
Raps	0,186	0,530	0,172	0,112
Rukis, tritikale	0,260	0,506	0,142	0,092
Kaer	0,319	0,283	0,241	0,092
Põlduba	0,243	0,500	0,156	0,101
Hernes	0,233	0,557	0,115	0,075
Mais	0,722	0,000	0,138	0,090
Liblikõielised	0,571	0,000	0,260	0,169
Lühiajaline rohumaa	0,298	0,000	0,426	0,277
Püsirohumaa	0,233	0,000	0,465	0,302

Süsiniku sisendid taimejätmetest

Maakondade keskmiste C sisendite leidmiseks kasutati Statistikaameti poolt esitatud 2015–2020 maakondade andmeid (PM0281): kasvatatud kultuuride kasvupinnad ja saagikused. Maakondade keskmised C sisendid leiti peamiste põllumaal kasvatatud kultuuride kaudu, välja jäeti need kultuurid, mille puhul 2020. aastal kultuuri kasvupinna osakaal kogu Eesti põllumaa pindalast (694 394 ha) jäi alla 0,5% (tabel 5).

Tabel 5. Kultuuride (sh kesa) kasvupinnad ja osakaalud Eestis 2020. aastal (Statistikamet)

Kultuur (sh kesa)	Pindala, ha	Osakaal, %
Talinisu	117 951	17,0
Suvinisu	50 087	7,2
Rukis	20 689	3,0
Talioder	22 439	3,2
Suvioder	108 287	15,6
Kaer	41 027	5,9
Suviseteraviljade segu	401	0,1
Tritik	5 944	0,9
Tatar	3 293	0,5
Põldhernes	35 641	5,1
Põlduba	13 833	2,0
Muu kaunvili	61	0,0
Kartul	3 639	0,5
Söödajuurvili	270	0,0
Taliraps ja -rüps	57 312	8,3
Suviraps ja -rüps	13 614	2,0
Õlilina	73	0,0
Kanep	5 161	0,7
Ravim- ja maitsetaimed	2 863	0,4
Muud tehnilised kultuurid	769	0,1
Söödakultuurid põllumaal v.a. mais	161 428	23,2
Haljasmais	13 596	2,0
Köögivilid ja maasikad	3 022	0,4
Seemnekasvatus	3 075	0,4
Mustkesa	9 906	1,4

Kultuuri kasvupinna (ha) ja saagikuse (t/ha) näitajate kaudu leiti kultuuri kogu saak (t) maakonnas. Sellist lähenemist kasutati seetõttu (mitte ei kasutatud Statistikaameti PM0281 esitatud saakide (t) andmeid), et mõnede kultuuride puhul andmed puudusid nii kasvupindade (ha) ja/või saagikuste (t/ha) osas. Kui kultuuri saagikuse näitajad puudusid, siis kasutati kultuuri Eesti keskmist näitajat konkreetsel

aastal. Kui kultuuri kasvupind maakonnas puudus, siis leiti see arvestades seda, kui suur oli kultuuri kasvupind kogu Eesti kokku (need olid üldjuhul alati olemas) ja kui suur oli kultuuri kasvupind teistes maakondades kokku (kultuuri kasvupind maakonnas = kultuuri kasvupind Eestis – kultuuri kasvupind teistes maakondades kokku). Antud vahest oli võimalik leida puuduolev kasvupind maakonnas. Kui kasvupind ühe kultuuri kohta puudus mitmes maakonnas, siis leiti kultuuri ligikaudne kasvupind arvestades kultuuri kasvupinda maakonnas eelnevatel ja/või järgnevatel aastatel. Selliselt puuduolevad kohad täites ja seejärel kultuuri kasvupinnad maakondades summeerides, siis saadud maakonna põllumaa pindala erines veidi statistikaametis esitatud maakondade põllumaa pindaladest (-1,5 kuni 2,8% ehk -600 kuni 500 ha maakonnas), kuid seda erinevust ei peetud märkimisväärseks.

Leides kultuuride kogusaagid maakondades, leiti kogu C sisend maakonnas kasutades eelmises punktis kasutatud meetodikat ja C jaotuskoefitsiente, mis on esitatud tabelis 4 ja tabel 6. Tabelis 6 on esitatud nende kultuuride C jaotumiskoefitsiendid, mida põllumajandustootjate põldudel kasvatati lisaks nendele kultuuridele, mida kasvatati seirealade põldudel (tabel 6).

Tabel 6. Süsiniku jaotumiskoefitsiendid (Bolinder et al., 2007; 2012)

Kultuur	Produktiivsaak (terad jm maapealne biomass, mis viidi põllult ära)	Muu maapealne osa (nt. põhk)	Juured	Juure- eritised	Kuivaine, %
Kartul	0,739	0,236	0,015	0,01	0,22
Kanep	0,110	0,701	0,114	0,074	0,30
Mitmeaastased söödakultuurid	0,492	0	0,308	0,2	0,30
Haljasmais	0,772	0	0,138	0,09	0,31

C sisend leiti kuivainesaagi kohta arvestades mitmeaastaste söödakultuuride, kanepi ja haljasmaisi saagikust 30% ja kartuli puhul 22% kuivaine sisalduse juures. Arvestati, et taimse biomassi C sisaldus on keskmiselt 45% ja eeldati, et põhk tagastati mulda. Mitmeaastaste söödakultuuride puhul eeldati, et maapealne biomass viidi põllult ära (nt. siloks).

Pärast seda, kui oli arvatud kogu C sisend maakonnas, siis C sisendi leidmiseks ühe hektari kohta, jagati kogu C sisend maakonna põllumaa Statistikaameti poolt esitatud pindalaga.

Modelleerides mudeliga RothC tuleb arvestada, kas maapind on talvisel perioodil taimkattega kaetud või mitte. Seega esimese variandina modelleeriti mulla Corg varu nii, et arvestati, et muld on taimestikuga kaetud maist-septembrini (Stsenaarium A). Selleks kasutati C sisendeid eelnevalt kirjeldatud lähenemisega. Viimastel aastatel on talviljade kasvatamise osakaal suurenenud: 2020. aastal oli see osakaal 52% kogu Eesti põllumaast, eelnevatel aastatel (2015–2019) varieerus osakaal vahemikus 41–45%. Seega arvestati tali- ja suviljade kasvupindade osakaalusid maakonnas ja C

sisendeid sõltuvalt suvi- ja taliviljast. Selleks liideti suviviljade kasvupindalad maakonnas kokku ja leiti suviviljade kasvupindalade osakaalud maakondades kogu maakonna põllumaa pindalast. Ülejäänud pindala moodustas seega kasvupind taliviljade (sh. mitmeaastased söödakultuurid) all. Kasutades saadud pindalaid ja C kogusisendeid nii suvi-, kui taliviljade kohta, leiti C sisendid ühe hektari kohta maakonnas perioodi 2015–2020 jooksul (Stsenaarium B). Perioodi 1990–2014 sisendite leidmiseks kasutati Statistikaameti andmeid (PM03 kasvupind; PM04 saak).

Süsiniku sisend orgaanilisest väetisest perioodil 2015-2020

Orgaanilise väetise puhul eeldati, et see on peamiselt loomakasvatusest pärinev sõnnik. Tekkiva sõnniku koguse leidmiseks kasutati Statistikaameti 2015–2020 andmeid maakondade kohta (PM091), kus saadi andmed maakondade looma- ja linnuliikide ja nende arvude kohta. Looma- ja linnuliigid grupeeriti vastavalt sellele, millist jaotust kasutatakse välisõhu saasteainete inventuuris. Tulemusena moodustus veiste kohta 6, sigade kohta 4 ja lindude kohta 3 gruppi (tabel 7). Tekkivad sõnnikukogused looma/linnu kohta leiti Põllumajandusministri 14.07.2014 määruse nr 71 „Eri tüüpi sõnniku toitainete sisalduse arvestuslikud väärtused, sõnnikuhoidlate mahu arvutamise meetodika ja põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsiendid” Lisa 1 ja Eesti Maaülikooli kaasprofessori Allan Kaasiku³ abil (tabel 7).

Perioodi 2015–2020 kohta puudusid andmed maakondade sigade ja lindude arvude kohta, 2019–2020 aastate kohta lisaks ka hobuste arvu kohta. Lisapäring Statistikaametist täiendust ei toonud, sest viidati andmete konfidentsiaalsusele. Puuduolevate andmete asendamiseks leiti eelnevate aastatele tuginedes erinevate loomaliikide sõnniku jaotus maakondades ehk siis kuidas jaotus kogu Eesti sõnniku kogus (mis oli esitatud iga aasta kohta) erinevate maakondade vahel: sigade puhul kasutati olemasolevate aastate 2004–2014, lindude puhul aastate 2009–2013 ja hobuste puhul aastate 2004–2018 keskmist sõnnikujaotust. Seejärel arvestati karjatamisel tekkiva sõnnikukoguse osakaalu ja eeldati, et loomi karjatati ainult püsirohumaadel ehk siis karjatamisel tekkiv sõnnik põllumaale ei satu ja see arvestati tekkivast sõnniku kogusest maha. Karjatamisel tekkiva sõnniku osakaalud loomaliigi kohta on esitatud tabelis 7. Sigade ja lindude puhul püsirohumaale jäävat sõnnikut ei tekkinud. Tabelis 7 on esitatud ka sõnnikujaotus looma liigiti sõnniku kuivaine sisalduse järgi. C sisendi arvutamisel eeldati, et C sisaldus kuivaines on tahe- ja vedelsõnnikus 40% ja sügavallapanusõnnikus on 24%. Kui oli leitud C sisend sõnnikust kõikide loomaliikide kaupa maakonnas, siis seejärel need kogused summeeriti

³ https://www.etis.ee/CV/Allan_Kaasik/est#

esitades kogu maakonna C sisendi sõnnikust. Kõige lõpuks jagati C kogus läbi Statistikametis esitatud maakondade põllumaa pindaladega leides sõnnikuga mulda viidud C sisendi maakonnas ühe hektari kohta.

Tabel 7. Summaarne väljaheidete kogus looma kohta, sõnniku jaotus karjamaale jääva sõnnikuna ja erineva kuivaine (KA) sisaldusega sõnnikute vahel (KOTKAS andmebaas; A. Kaasiku poolt jagatud materjalid)

Looma/linnuliik	Sõnniku kogus looma kohta t aastas	Sõnnik karjamaale	Tahesõnnik		Sügavallapanusõnnik		Vedelsõnnik	
		Osakaal	Osakaal	KA	Osakaal	KA	Osakaal	KA
					%			
Piimalehmad	25	1,59	5,4	20,3	2,5	27,3	90,5	5,9
Ammlehmad	8,3	44,2	0	24,6	52,6	38,3	3,1	5,9
Pullid	8,3	44,2	0	24,6	52,6	38,2	3,1	5,9
Mullikad (1–2 aastased)	10,7	13,6	4,7	24,6	42,5	33,0	43,6	7,6
Vasikad (kuni 1-aastased)	2,55	17,2	0	24,6	69,1	29,2	19,1	7,6
Mullikad (2-aastased ja vanemad)	8,3	11,12	4,1	24,6	33,5	33,0	51,2	7,6
Lambad	2,30	46,6	0	-	53,4	41,6	0	-
Kitsed	2,20	25,8	0	-	74,2	42,0	0	-
Hobused	4,40	22,6	0	-	77,4	35,2	0	-
Nuumsead	0,5	0	0	-	7,8	26,6	92,3	7,3
Võõrdepörsad	0,07	0	0	-	0	-	100	4,9
Põhikarjaemised	4,0	0	6,8	20,4	0	-	93,2	4,3
Nooremised	1,30	0	0	-	0	-	100	5,5
Broilerid	0,0037	0	0	-	100	39,5	0	-
Munakanad	0,044	0	0	-	100	54,4	0	-
Noorkanad	0,006	0	0	-	100	36,8	0	-

Eesti keskmise sõnnikust pärineva C sisendi leidmiseks summeeriti maakondades tekkiv sõnnikust pärinev C sisend ja jagati läbi kogu Eesti põllumaa (v.a. koduaiad) pindaladega. Arvutused tehti aastate 2015. kuni 2020 kohta.

Süsiniku sisend orgaanilisest väetisest perioodil 1990-2015

Perioodi 1990-2015 sõnnikukoguste saamiseks kasutati A. Kaasiku ja M. Mölsi poolt Keskkonnaministeeriumi tellimisel koostatud aruannet „Loomakasvatusest eralduvate saasteainete

heitkoguste inventuurimetoodikate täiendamine ja heite vähendamistehnoloogiate kaardistamine“ (tabel 8).

Tabel 8. Loomade liik, koguarv (tk) ja sõnniku kogus (t aastas) (Kaasik ja Möls, 2018)

Aasta	Looma liik	Loomade koguarv	Sõnnik	Tahe-sõnnik	Sügavallapanu-sõnnik	Vedel-sõnnik
1990	Veised	7 57 800	4 697 579	4 697 579	- ¹	-
	Sead	959 900	609 376	83 593	-	525 783
	Lambad ja kitsed	139 464	199 810	-	199 810	-
	Linnud	6 536 500	115 610	115 610	-	-
	Hobused	8 600	35 260	-	35 260	-
1995	Veised	370 400	2 263 730	2 263 730	-	-
	Sead	448 800	286 640	60 221	-	226 419
	Lambad ja kitsed	49 800	71 428	-	71 428	-
	Linnud	2 911 300	51 492	51 492	-	-
	Hobused	4 600	18 860	-	18 860	-
2000	Veised	252 800	1 850 212	1 850 212	-	-
	Sead	300 200	193 192	44 578	-	148 614
	Lambad ja kitsed	32 200	46 184	-	46 184	-
	Linnud	2 366 400	41 854	41 854	-	-
	Hobused	4 200	17 220	-	17 220	-
2005	Veised	249 500	2 063 764	1 624 059	73 484	366 221
	Sead	346 500	221 742	48 882	-	172 860
	Lambad ja kitsed	52 400	75 320	-	75 320	-
	Linnud	1 878 700	33 228	33 228	-	-
	Hobused	4 800	19 680	-	19 680	-
2010	Veised	241 025	1 877 555	959 220	89 277	829 058
	Sead	371 700	238 730	50 017	-	188 712
	Lambad ja kitsed	90 809	129 701	-	129 701	-
	Linnud	2 046 400	45 865	45 865	-	-
	Hobused	6 737	27 622	-	27 622	-
2015	Veised	256 200	2 970 705	632 929	245 412	2 093 472
	Sead	304 500	177 863	5 909	6 586	164 283
	Lambad ja kitsed	90 900	128 636	-	128 636	-
	Linnud	2 161 800	41 130	18 828	-	22 302
	Hobused	6 300	25 830	-	25 830	-

¹ puudub

Arvestati, et vedelsõnniku kuivaine sisaldus oli kõikide loomaliikide puhul 7,9%, sügavallapanusõnniku kuivaine sisalduse varieerumine vahemikus 25-42% sõltuvalt loomaliigist (tabel 9). Veiste tahesõnniku kuivaine sisaldus oli keskmiselt 23% arvestades loomavanusest tingitud erinevusi, ülejäänud loomaliikide sõnniku kuivaine sisaldus oli 20%. C kontsentratsioon oli tahe- ja vedelsõnniku kuivaines 40%, sügavallapanusõnnikus 24%.

Tabel 9. Sõnniku kuivaine sisaldused (%) sõltuvalt loomaliigist (Põllumajandusministri 14.07.2014 määruse nr 71 Lisa 1)

Loomaliik	Tahesõnnik	Sügavallapanusõnnik	Vedelsõnnik
Veised	23	25	7,9
Sead	20	25	7,9
Lambad ja kitsed	20	42	7,9
Linnud	20	25	7,9
Hobused	20	35	7,9

Mulla Corg varu arvutamine

Mulla Corg varu (t/ha) arvutati välja Corg sisalduse, lasuvustiheduse ja mullakihi tuseduse kaudu:

$$\text{Mulla C varu} = \text{BD} \times \text{Corg} \times \text{D},$$

kus BD on mulla lasuvustihedus (g/cm^3), Corg on orgaanilise süsiniku sisaldus (%), D on mullakihi tusedus (30 cm). Arvestati ka mulla korese sisaldust, mille maht arvutati mullamassist mahaLasuvustiheduse arvutamiseks kasutati valemit (Adams, 1973):

$$\text{BD} = 100 / \{ (\text{OM} / 0,244) + [(100 - (\text{OM} / 1,64)] \}$$

kus OM on orgaanilise aine sisaldus mullas (%), 0,244 on orgaanilise aine lasuvustihedus, 1,64 on mulla mineraalse osa lasuvustihedus. Eeldati, et mineraalmulla orgaaniline aine sisaldab 58% orgaanilist süsinikku (De Brogniez et al., 2015).

Mudelite lähtestamine

Mudel Roth C

Mudeli sisenditeks olid järgmised andmed:

Savisisaldus: sõltuvalt seirealast erinev (tabel 1).

Mullakihi tusedus: 30 cm.

Taimkate: eeldati, et seirealad olid taimestikuga kaetud maist-septembrini. PANDA andmebaasi puhul arvestati ühe variandina ka taliviljade osakaalu ja selle puhul oli muld taimestikuga kaetud aastaringselt.

RothC mudeli lähtestamiseks kasutati FAO poolt Euroopa süsiniku sidumise kaardi koostamiseks väljatöötatud lähenemist (FAO, 2020). Eeldati, et aastal aasta0, mille kohta olid olemas usaldusväärsed mulla Corg varu andmed, oli muld tasakaaluseisundis. Seirealade aasta0 ja aasta2 on esitatud tabelis 1. Põllumajandustootjate põldude (PANDA) andmebaasi puhul aasta0=2015 ja aasta2=2020.

Algselt mudel 'jooksutati' *inverse mode* tasakaalupunktini. Mudeli *Inverse mode* võimaldab leida C sisendi koguse, mis on vajalik tasakaalupunkti Corg varu saavutamiseks, tuginedes teadaolevale Corg varu ja savisisaldusele, inertsele orgaanilise aine (IOM) sisaldusele, ilmastiku näitajatele ja mulla taimestikuga katvusele erinevates kuudes. Mudel kalibreeriti iga seireala (seirealade andmebaas) ja maakonna (PANDA andmebaas) jaoks eraldi, sest iga seireala ja maakond omas iseloomulikke parameetreid (algne mulla Corg varu aastal aasta0, ilmastikunäitajad). Maakondade puhul arvestati ka savisisalduseklasse (neid oli igas maakonnas kokku 6) modelleerides kokku 15 maakonda x 6 savisisalduseklassi = 90 kombinatsiooni.

Esimeses käivitamise astmes 'jooksutati' mudelit igas seirealal või maakonna-savisisalduse kombinatsiooni kohta 10 000 aastat esimese tasakaalupunktini (*super-spin up*). Selleks kasutati aastale aasta0 eelnenud 20 aasta keskmisi ilmastikuandmeid. Eeldati, et C sisend on sel perioodil 1 t/ha aastas ja muld on taimestikuga kaetud maist septembrini. Pärast seda C sisend optimeeriti selliselt, et aastaks aasta0 oli saavutatud teise tasakaalupunkti mulla Corg varu aastal aasta0, milleks on mulla mõõdetud Corg varu esimesel ajahetkel. Tasakaaluseisundi C sisend (Ceq) leiti kasutades valemist:

$$Ceq = Ci \times [(C \text{ varu}_{\text{aasta0}} - IOM) / (C \text{ varu}_{\text{tasa}} - IOM)],$$

kus Ceq on C sisend, mis on vajalik Corg varu saavutamiseks ajahetkel aasta0, Ci on 1 t/ha, Corg varu_aasta0 on mulla Corg varu ajahetkel aasta0 ja Corg varu_tasa on Corg varu pärast 10 000 aastat. IOM on inertne mulla orgaanilise aine fraktsioon ja seda on võimalik leida tuginedes Falloon et al. (1998) valemile:

$$IOM = 0,049 \times (C \text{ varu}_{\text{aasta0}})^{1,139}.$$

Teise tasakaalupunkti saavutamiseks on vaja vähemalt 1000 aastat ehk kui muld on tasakaaluseisundis aastal 2015, siis on vaja modelleerida Corg varu sellele aastale eelneva 1000 aasta jooksul, kasutades C sisendina Ceq väärtust (*long-spin up*). See on vajalik, et leida mulla orgaaniline aine erinevate fraktsioonide sisaldused (RPM, DPM, BIO, HUM).

Seejärel modelleeritakse mulla Corg varu muutus ajahetkeni aasta2 (*short-spin up*), kasutades II perioodi keskmist C sisendit (saakide andmete põhjal arvutatud C sisendid) ja II perioodi ilmastikuandmeid. Ajahetke aasta2 mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vaheliste seoste hindamiseks kasutati regressioonanalüüsi.

PANDA andmebaasi kasutati ka tulevikuprognooosi tegemiseks ehk prognoositi mulla Corg varu muutust aastani 2040, eeldusel, et C sisendi kogus, ilmastikutingimused ja põllumaa pindala ei muutu.

Maakondade 1990. aastate mineraalsete põllumuldade keskmiste Corg varude modelleerimisel kasutati mulla Corg varu dünaamikat teise tasakaalupunktini 2015. aastal (*long-spin up*) antud aastale eelnenud 1000 aasta jooksul.

Põllu tasandil toimuva mulla Corg varu muutust näitlikustatakse Elva valla näitel prognoosides Corg varu muutust perioodil 2020–2040. Modelleerimiseks kasutatakse PMK poolt välja töötatud Eesti mineraalsete põllumuldade Corg varu kaardikihti (piksel 40 x 40 m), kuhu on koondatud aastatel 2015–2020 põllumajandustootjate põldudelt kogutud mullaproovidest määratud Corg sisaldused (PANDA andmebaas). Antud kaardikiht kirjeldab 2020. aasta seisundit. Iga 40 x 40 m ruutu (piksel) iseloomustab ruudu (piksli) asukohale iseloomulik mulla Corg varu ja savisisalduseklass, mis võimaldab mulla Corg varu prognoosida iga 40 x 40 m ruudu kohta ja seejärel on võimalik leida pilootpiirkonna keskmine mulla Corg varu ja prognoositud muutus järgmiste aastate jooksul. Mulla Corg varu prognoosimisel kasutati maakondade keskmisi II perioodi ilmastikuandmeid ja stsenaariumi A (talviljade osakaalu ja talvist taimkatet ei arvestata).

Maakondade keskmise Corg varu modelleerimiseks kasutati R programmeerimiskeelt. Eesti keskmiste Corg varude prognoosimiseks kasutati RothC 26.3 Windows versiooni.

Mudel Yasso07

Yasso07 mudeli puhul eeldati, et ajahetkel aasta0 oli muld tasakaaluseisundis ning eelnevalt oli muld kasutuses põlluna, kus oli kasvatatud peamiselt teravilja. See on oluline, sest selle kaudu hinnatakse mulla orgaanilise aine koostist. Seejärel leitakse keskmised C sisendid üheaastastest kultuuridest (eeldame, et peamiselt teraviljadest) ja mitmeaastastest kultuuridest (rohumaad) ja orgaanilistest väetisest. C sisendid leiti vastavalt meetodikale, mida on kirjeldatud eelnevalt peatükis [Süsiniku sisendite arvutamine](#). C sisendi keemilise koostise hindamisel kasutati kirjandusest leitud andmeid (tabel 10).

Tabel 10. Süsinikusisendi fraktsiooniline koostis (Karhu et al., 2012)

Kultuur	A ¹	W ²	E ³	Ns ⁴	Allikas
Teravili	0,71	0,08	0,03	0,18	Karhu et al., 2012
Rohumaataimed	0,46	0,32	0,04	0,18	Jensen et al., 2005; Liski et al., 2013
Orgaaniline väetis	0,645	0,123	0,072	0,161	Karhu et al., 2012

¹happes hüdrolüüsuvad ühendid (nt. tselluloos); ²polaarses lahuses (vees) lahustuvad ühendid (nt. suhkrud);

³mittepolaarses solvendis (etanoolis) lahustuvad ühendid (nt. vahad); ⁴mittelahustuvad ühendid.

Mudelit Yasso07 kasutati mulla Corg varu modelleerimiseks ainult seirealadel. Kuna projekti esimeses etapis selgus, et võrreldes RothC mudeliga oli Yasso prognoositäpsus viletsam, siis loobuti selle rakendamisest maakonna ja riigi tasandil modelleerimiseks.

Tulemused

Seirealade muldade mõõdetud ja prognoositud orgaanilise süsinikuvarud

Uuritava perioodi keskmised C sisendid aladel varieerusid vahemikus 1,67–5,89 t/ha aastas (tabelid 11–12). Sõnnikust tulenevad C sisendid võivad olla alahinnatud, sest andmed orgaanilisest väetise kasutamise kohta aastast 2016 puuduvad. Kolmel alal uuritava perioodi jooksul orgaanilisi väetisi ei kasutatud (täpsemalt on teada, et perioodi esimeses pooles ei kasutatud, hiljem andmed puuduvad).

Kõige suurema C sisendiga oli Keskküla ala, mis viimastel aastatel on olnud kasutuses püsirohumaana (tabelid 11–13).

Tabel 11. Seirealade keskmised süsinikusisendid (t/ha) aastas sõltuvalt allikast RothC mudeli jaoks

Ala	Maa-alune biomass	Maa-alune biomass koos põhuga	Sõnnik
Naadimetsa	3,12	4,47	0,1
Kogeri	1,89	2,01	0,14
Rooma	1,47	3,98	0,19
Eametsa	0,87	2,39	0
Viruvere	2,24	3,69	0,54
Rõhu	2,07	4,91	0,06
Adavere	1,45	2,76	0,11
Langi	0,99	2,83	0,1
Söödi	2,89	3,61	0,12
Keskküla	5,18	5,89	0
Abeli	2,58	3,4	0,29
Palamuse	1,37	1,67	0
keskmine	2,18	3,47	0,14

Modelleerides mulla Corg varu, ilmses, et mõlemad kasutatud mudelid alahindasid alade keskmist Corg varu ajahetkel aasta2 (RothC keskmiselt -2,33% ja Yasso07 -12,2%), kuid esines erinevusi ka sõltuvalt mudelist (tabelid 14–15; joonised 6–7). Ajahetkel aasta2 oli seirealade keskmine mõõdetud Corg varu 99,6 t/ha ning keskmine Corg varu muutus oli 0,23 t/ha aastas. Mudeliga RothC prognoositi keskmiseks Corg varuks 96,3 t/ha ning keskmine Corg varu muutus oli -0,07 t/ha aastas. Mudel Yasso07 alahindas Corg varu kõikidel seirealadel, kuid mudel RothC prognoosis mõnel seirealal Corg varu ka

suuremaks võrreldes mõõdetud Corg varuga. **Naadimetsa alal** prognoosis mudel RothC mulla Corg varu realselt mõõdetust suuremaks (69,0 ja 62,8 t/ha, vastavalt) (tabel 14). See võib olla tingitud ülehinnatud põldheina saagikusest, mille tegelikud andmed põlluraamatus puudusid ja eeldati, et keskmine haljasmassi saagikus oli 20 t/ha.

Tabel 12. Seirealade keskmised süsinikusisendid (t/ha) aastas sõltuvalt allikast Yasso07 mudeli jaoks

Ala	Rohumaa maa-alune biomass	Üheaastaste kultuuride (nt teravili jm) maa-alune biomass	Üheaastaste kultuuride (nt teravili jm) maa-alune biomass koos põhuga	Sõnnik
Naadimetsa	2,55	0,51	1,09	0,1
Kogeri	1,11	0,78	0,9	0,14
Rooma	0	1,47	3,98	0,19
Eametsa	0,07	0,8	2,32	0
Viruvere	1,61	0,63	2,08	0,54
Rõhu	0,4	1,67	4,51	0,06
Adavere	0,89	0,56	1,87	0,11
Langi	0,26	0,73	2,57	0,1
Söödi	2,6	0,28	1,01	0,12
Keskküla	4,67	0,51	1,22	0
Abeli	1,91	0,66	1,49	0,29
Palamuse	1,22	0,15	0,45	0
keskmine	1,44	0,73	1,96	0,14

Kogeri alal kasvatati heintaimi külvikorras uuritava perioodi viimastel aastatel, põlluraamatu andmetel oli heintaimede saagikuseks 10 t/ha ja sealt tulenevalt oli väiksem ka C sisend ja mõju prognoositud Corg varule võrreldes Naadimetsa alaga, mille tulemusena mudeliga RothC prognoositud Corg varu vähenes (-0,94 t/ha aastas), kuid mõõdetud Corg varu ajas ei muutunud. **Rooma alal** tegeleti peamiselt teravilja ja õlikultuuride kasvatamisega, lühiajalisi rohumaid külvikorras ei olnud. Põlluraamatu andmetel enne 2016. aastat viidi põhk põllult ära ja üle ühe aasta viidi mulda seavedelsõnnikut. Arvestades põhu mulda viimist, prognoositud Corg varu oli mõõdetud tulemustest ligi 10% väiksem. Kui ka järgnevatel aastatel oleks seavedelsõnnikut mulda viidud ja sellega umbes kaks korda C sisendi kogust orgaanilisest väetisest suurendanud, siis sellest ei oleks piisanud modelleeritud Corg varu suurenemist mõõdetud Corg varu väärtuseni. Teisalt jääb selgusetuks, millest on tingitud ka mõõdetud Corg varu suurenemine 1,21 t/ha aastas eeldades, et peamine C sisend põhu näol viidi põllult ära. **Eametsa alal** kasvatati peamiselt suviteravilju, andmed põhu ja orgaanilise väetise kohta puuduvad kogu uuritud perioodi kohta. Mõõdetud Corg varu näitab ajas suurenemist, kuid mudel RothC prognoosis olulist Corg varu vähenemist nii põhu mulda tagastamisel kui eemaldamisel. **Viruvere alal** kasvatati põldheina uuritud perioodi kolmel esimesel aastal, keskmine haljasmassi saagikus oli põlluraamatu andmetel 17 t/ha aasta.

Tabel 13. Seirealade külvikorrad

Aasta	Rõhu	Naadimetsa	Viruvere	Adavere	Keskküla	Langi	Söödi	Kogeri	Eametsa	Abeli	Palamuse	Rooma
2008		suvioder										
2009		põldhein	põldhein, liblikõielised	suvinisu	kaer/oder	ristik +kõrrelised				suvinisu	põldhein (ristikurikas)	oder
2010		põldhein	põldhein, liblikõielised	kõrrelised heintaimed	kaer/oder	oder	oder	kaer		oder	suvioder	suviraps
2011		põldhein	põldhein, liblikõielised	kõrrelised heintaimed	oder	raps	oder	nisu		oder	suvioder	talinisu
2012	Talinisu	talinisu	talinisu	kõrrelised heintaimed	põldhein	nisu	niidusegu	oder	hein- taimed	põldhein	valge mesikas	oder
2013	oder	suviraps	oder	talinisu	põldhein	nisu	niidusegu	raps	nisu	põldhein	valge mesikas	oder
2014	oder	suvinisu	suviraps	talirukis	rohttaimed	oder	niidusegu	oder	oder	põldhein	tritikale	suviraps
2015	hein- taimed	suvioder	suvinisu	oder	rohttaimed	hernes	talinisu	liblikõieliste kõrreliste segu	suvioder	taliraps	kaer	talinisu
2016	taliraps	suvioder	oder	taliraps	rohttaimed	nisu	suvioder	liblikõieliste kõrreliste segu	suvioder	mais	ristik	tritikale
2017	Talinisu	põldhein	talinisu	suvinisu	rohttaimed	oder	talinisu	heintaimed, liblikõielised, kõrrelised	suvinisu	mais	ristik	mais
2018	suvinisu		suviraps	liblikõielised	rohttaimed	talinisu	liblikõieliste kõrreliste segu	heintaimed, liblikõielised, kõrrelised	suvinisu	suvioder	ristik	suvinisu
2019	Tritikale					hernes	liblikõieliste kõrreliste segu	heintaimed, liblikõielised, kõrrelised	kaer			
2020	põlduba					talinisu		mustkesa	suvinisu			
2021	suvinisu											

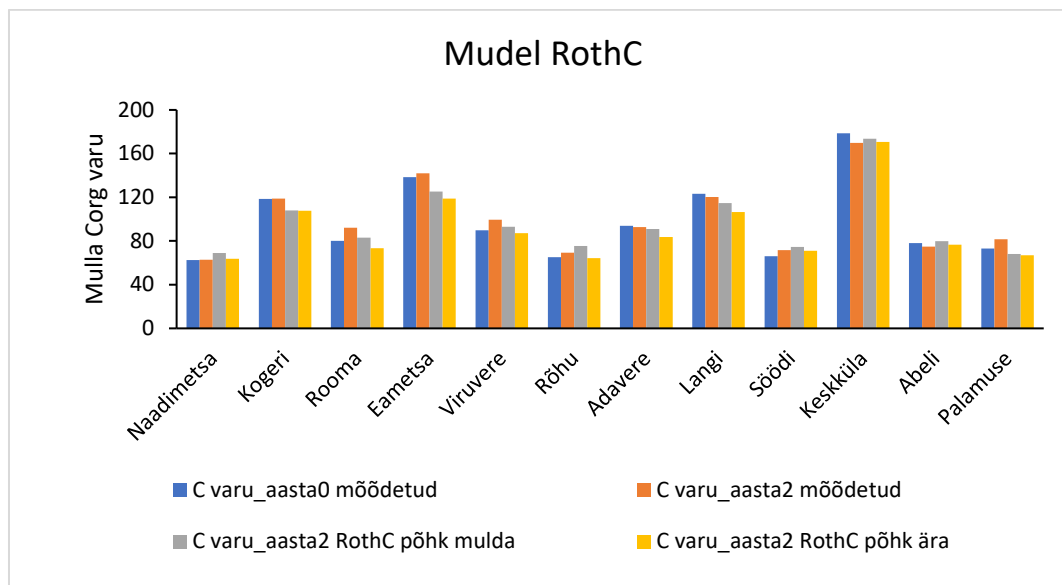
Kui mõõdetud Corg varu muutus oli 0,31 t/ha aastas, siis mudel RothC prognoosis muutuseks väiksema väärtuse (0,33 t/ha aastas). **Rõhu seirealal** kasvatati peamiselt teravilju, kuid esines ühel aastal ka heintaimi (haljasmassi saak 10 t/ha) ja põlduba. Teadaolevalt viidi mulda ka üks kord 23 t/ha vedelsõnnikut. Mudel RothC prognoosis aastaseks muutuseks 1,03 t/ha, kuid mõõdetud muutus oli väiksem (0,42 t/ha aastas).

Tabel 14. Mulla mõõdetud ja mudeliga RothC modelleeritud orgaanilise süsiniku (Corg) varud (t/ha) ja muutused (t/ha aastas)

Ala			Mõõdetud Corg varu			RothC Corg varu ¹		Erinevus mõõdetud ja modelleeritud Corg varu vahel, %
	aasta0	aasta2	aasta0	aasta2	Muutus aastas	aasta2	Muutus aastas	
Naadimetsa	2007	2017	62,6	62,8	0,02	69,0	0,64	9,9
Kogeri	2009	2020	118,5	118,8	0,03	108,1	-0,94	-9,0
Rooma	2008	2018	80,1	92,2	1,21	83,1	0,30	-9,9
Eametsa	2009	2020	138,5	141,8	0,31	125,2	-1,20	-11,7
Viruvere	2008	2018	89,9	99,4	0,95	93,2	0,33	-6,3
Rõhu	2011	2021	65,2	69,4	0,42	75,5	1,03	8,9
Adavere	2008	2018	93,9	92,6	-0,13	90,9	-0,30	-1,9
Langi	2008	2020	123,2	120,2	-0,25	114,6	-0,71	-4,6
Söödi	2009	2020	66,0	71,7	0,52	74,5	0,77	3,9
Keskküla	2008	2018	178,5	169,9	-0,86	173,7	-0,49	2,2
Abeli	2008	2018	78,0	74,9	-0,31	80,0	0,20	6,8
Palamuse	2008	2018	73,0	81,6	0,86	68,2	-0,47	-16,3
keskmine			97,3	99,6	0,23	96,3	-0,07	-2,33

¹põhk mulda tagasi

Adavere alal kasvatati uuritud perioodi alguses kolmel aastal heintaimi (keskmise haljasmassi saagikus 13 t/ha), järgnevatel aastatel kasvatati teravilju ja õlikultuuri, perioodi viimasel aastal külvati jälle heintaimed. Perioodi alguses teadaolevalt põhk viidi põllult allapanuks ära, orgaanilist väetist anti teadaolevalt üks kord (45 t/ha vedelsõnnikut). Mõõdetud Corg varu aastane muutus (-0,13 t/ha) oli sarnane mudel RothC saadud tulemusega (-0,30 t/ha). **Langi alal** kasvatati heintaimi ainult uuritud perioodi alguses, pärast seda kasvatati teravilju, õlikultuuri ja hernest. Varasemalt viidi põhk põlluraamatu andmetel põllult ära. Nii mõõdetud, kui ka mudel RothC prognoositud Corg varu muutus oli negatiivne, kui mudel prognoosis veidi suurema vähenemise (-0,25 ja -0,71 t/ha, vastavalt). **Söödi ala** külvikorras esines nii teravilju, kui heintaimi pooleks. Teraviljade kohta kolme aasta saaginumbrid puudusid ja nende asemel kasutati Statistikaameti maakonna keskmist vastava kultuuri saagikuse näitajat. Mõõdetud ja prognoositud Corg varu suurenesid aja jooksul ja väärtused olid sarnased (0,52 ja 0,77 t/ha aastas, vastavalt). **Keskküla ala** eristus teistest aladest selle poolest, et selle ala oli kõige suurem C sisend. Uuritava perioodi viimasel 7 aastal oli ala püsirohuma ja prognoosimisel eeldati, et



Joonis 6. Mulla mõõdetud ja mudeliga RothC modelleeritud orgaanilise süsiniku (Corg) varu (t/ha)

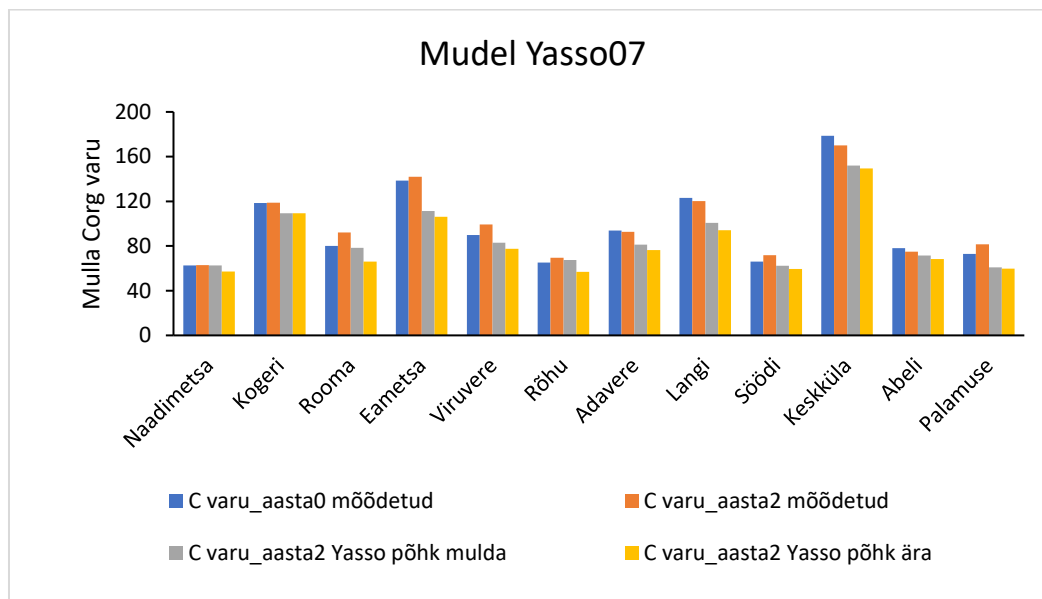
haljasmassi saagikus oli keskmiselt 15 t/ha ja maapealne biomass viidi põllult ära. Seda arvestades mudel RothC prognoosis Corg varu vähenemise -0,49 t/ha aastas ning ka mõõdetud Corg varu vähenes (-0,86 t/ha aastas), kuigi oleks eeldanud püsirohuma positiivset mõju mulla Corg varule.

Tabel 15. Mulla mõõdetud ja mudeliga Yasso07 modelleeritud orgaanilise süsiniku (Corg) varud (t/ha) ja muutused (t/ha aastas)

Ala	Mõõdetud Corg varu		Yasso07		Muutus aastas	Muutus aastas	Erinevus mõõdetud ja modelleeritud Corg varu vahel, %	
	aasta0	aasta2	aasta0	aasta2				
Naadimetsa	2007	2017	62,6	62,8	0,02	62,5	-0,01	-0,5
Kogeri	2009	2020	118,5	118,8	0,03	109,2	-0,85	-8,1
Rooma	2008	2018	80,1	92,2	1,21	78,4	-0,17	-15,0
Eametsa	2009	2020	138,5	141,8	0,31	111,4	-2,46	-21,5
Viruvere	2008	2018	89,9	99,4	0,95	82,9	-0,70	-16,6
Rõhu	2011	2021	65,2	69,4	0,42	67,4	0,22	-2,9
Adavere	2008	2018	93,9	92,6	-0,13	81,2	-1,27	-12,3
Langi	2008	2020	123,2	120,2	-0,25	100,7	-1,87	-16,2
Söödi	2009	2020	66,0	71,7	0,52	62,4	-0,33	-13,0
Keskküla	2008	2018	178,5	169,9	-0,86	152,1	-2,65	-10,5
Abeli	2008	2018	78,0	74,9	-0,31	71,4	-0,66	-4,7
Palamuse	2008	2018	73,0	81,6	0,86	60,8	-1,22	-25,5
keskmine			97,3	99,6	0,23	86,7	-1,00	-12,2

Corg varu ei pruukinud suurenda, sest Keskküla ala puhul on tegemist liigniisketes tingimustes kujunenud kuivendatud mullaga, mille Corg varu ajahetkel aasta0 võrreldes teiste aladega oli oluliselt

suurem. Muld võib olla orgaanilise ainega küllastunud ning suur osa orgaanilisest ainest on labiilses vormis ning soodsatel tingimustel toimub kiire orgaanilise aine lagunemine ja Corg varu vähenemine, mida soodustab ka mulla kerge lõimis (peamisel liiv).

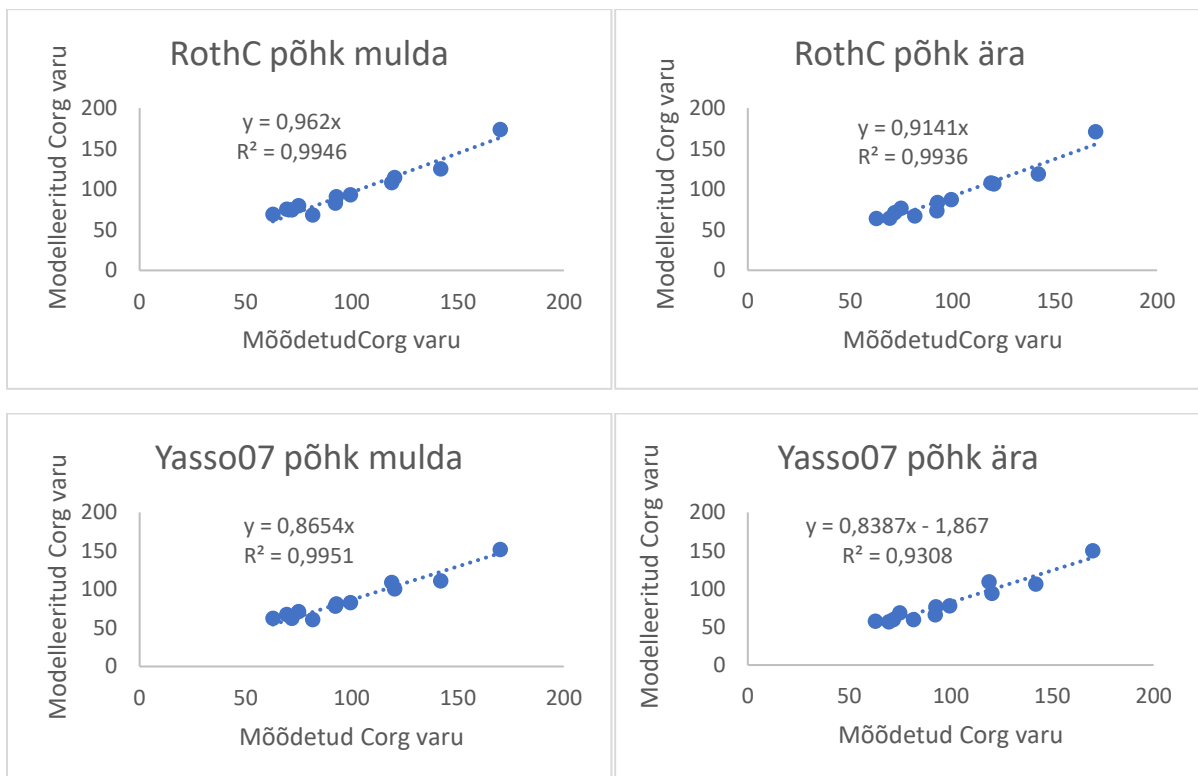


Joonis 7. Mulla mõõdetud ja mudeliga Yasso07 modelleeritud orgaanilise süsiniku Corg varud (t/ha)

Mudel RothC on väljatöötatud parasniisketel muldadel Corg varu prognoosimiseks, mistõttu vajab edasist uurimist, kuidas RothC prognoosib Corg varu Eestis asuvatel niiskusrežiimilt märgadel muldadel. **Abeli alal** kasvatati nii teravilju, kui põldheina, mille tulemusena mõõdetud Corg varu vähenes (-0,31 t/ha aastas), kuid mudel RothC prognoosis Corg varu tõusu (0,20 t/ha aastas), mistõttu võib eeldada, et modelleerimiseks kasutatud C sisendi kogus võib olla ülehinnatud. **Palamuse alal** kasvatati peamiselt erinevaid liblikõielisi, lisaks ka teravilja. Mulda viidud C sisendi kogus oli võrreldes teiste seirealadega kõige väiksem, kuid mõõdetud Corg varu suurenes 0,86 t/ha aastas, mis võib olla tingitud liblikõieliste positiivsest mõjust mulla Corg varule. Mudel RothC prognoosis negatiivse Corg varu muutuse (-0,47 t/ha aastas). Negatiivne muutus võib olla tingitud sellest, et prognoosimisel eeldati, et põld on taimestikuga kaetud maikuust oktoobrini, kuid tegelikult suurem osa uuritavast perioodist oli põld taimestikuga kaetud ka talvekuudel ning see avaldab positiivset mõju mulla Corg varule. Mudeliga Yasso07 prognoositud alade keskmine Corg varu oli väiksem, kui mõõdetud ja mudeliga RothC modelleeritud Corg varu (tabel 15). Saadud tulemused on sarnased 2018. aastal EMÜ poolt Keskkonnaagentuuri tellimisel teostatud uuringu tulemustele, kus leiti samuti, et pikaajalistel katsetel mudeliga Yasso07 modelleeritud tulemused olid võrreldes mõõdetud tulemustega madalamad (KAUR, 2018). Mudeliga Yasso07 prognoositud keskmine Corg varu oli 86,7 t/ha ja keskmine aastane muutus -1,00 t/ha aastas.

Mõõdetud ja mudeliga Yasso07 modelleeritud tulemused erinesid omavahel -0,5 kuni -21,5%. Väiksemad olid muutused Naadimetsa, Rõhu ja Abeli aladel, kus mudeliga RothC prognoositud Corg varu oli mõõdetud Corg varust suurem, mis võib tingitud olla C sisendist. Samuti eristuvad need alad teistest kergema lõimise ja algselt väiksema Corg varu poolest. Kõige suurem erinevus mõõdetud ja mudeliga Yasso07 modelleeritud Corg varu vahel esines Palamuse seireala. Mudeliga Yasso07 prognoosimisel kasutati C sisendite juures kolme erinevat keemilist koostist: teraviljad, rohumaataimed ja sõnnik. Palamuse alal kasvatati külvikorras valget mesikat ja ristikut. Nende keemiline koostis võib olla erinev rohumaataimede üldiselt keemisest koostisest ning nende positiivne mõju mulla Corg varule ei avaldu, mistõttu tuleks erinevate kultuuride keemilised koostised detailselt üle vaadata. Lisaks tuleks ilmselt arvestada ka seda, et maapealse ja -aluse biomassi koostis on erinev. Maa-alune biomass (juured) erineb veidi oma keemisest koostiselt maapealsest biomassist, mistõttu võib ka mõju mulla Corg varule olla erinev. See võib olla ka põhjus, miks mudel Yasso07 mulla Corg varu alahindab, sest käesoleva uuringu raames seda erinevust ei arvestatud.

Kuigi mõnede alade erinevused mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vahel olid suured, siis seosed mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vahel olid väga tugevad (joonis 8) osutades sellele, et ka olemasolevate C sisendandmetega on võimalik mulla Corg varu esmase hinnangu andmiseks üsna hea täpsusega kasutada.



Joonis 8. Seosed mulla mõõdetud ja modelleeritud orgaanilise süsiniku (Corg) varude (t/ha) vahel

Eesti mineraalsete põllumuldade keskmine mulla Corg varu ja muutus perioodil 2015–2020

Eesti mineraalsete põllumuldade keskmine Corg varu oli 2015. aastal 89,7 t/ha ja 2020. aastal 88,2 t/ha vähenedes 5 aasta jooksul keskmiselt -0,31 t/ha aastas (tabel 16). Maakondade kaupa leitud Eesti kaalutud keskmine mulla Corg varu oli 2015. aastal 88,3 t/ha ja 2020. aastal 86,0 vähenedes -0,46 t/ha aastas. Saadud tulemus on sarnane Eesti keskmisele näidule, mistõttu väljendamaks mulla Corg varu muutust kogu Eesti mineraalsete põllumuldade kohta piisab kogu Eestit katvast andmebaasist, mille põhjal teha üldistavaid järeldusi Eesti mineraalsete põllumuldade Corg varu muutuste kohta.

Tabel 16. Eesti ja maakondade mõõdetud keskmised mineraalsete põllumuldade orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldused ja varud ning muutused perioodil 2015–2020

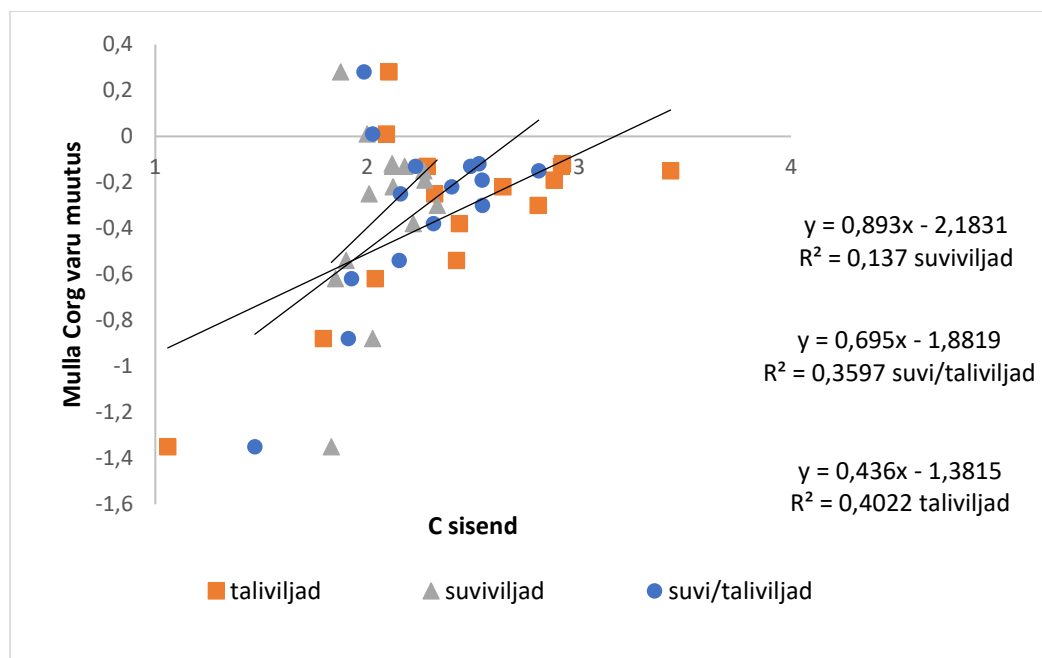
Maakond	Proovikohtade arv	Mulla Corg varu, t/ha		C varu muutus, t/ha aastas
		2015	2020	
Harju maakond	228	111,5	108,8	-0,54
Hiiu maakond	11	127,4	120,6	-1,35
Ida-Virumaa	207	105,7	105,7	0,01
Jõgeva maakond	202	88,1	87,4	-0,15
Järva maakond	366	94,7	93,7	-0,22
Lääne maakond	50	117	115,7	-0,25
Lääne-Viru maakond	467	85,8	85,2	-0,12
Põlva maakond	226	61,5	60,8	-0,13
Pärnu maakond	282	112,5	108,1	-0,88
Rapla maakond	398	97,7	97,1	-0,13
Saare maakond	50	98,0	99,4	0,28
Tartu maakond	427	75,0	74,1	-0,19
Valga maakond	108	68,8	66,9	-0,38
Viljandi maakond	246	85,9	84,4	-0,30
Võru maakond	165	70,7	67,6	-0,62
Maakondade kaalutud keskmine		88,3	86,0	-0,45
Eesti kokku	3433	89,7	88,2	-0,31

Maakondade mineraalsete põllumuldade keskmised Corg varud 2015. aastal varieerusid vahemikus 61,5–127 t/ha (tabel 16). Kõige suurema muldade Corg varuga oli Hiiu maakond (127,4 t/ha). Hiiu maakonna kõrge mulla Corg varu tingitud seal valdavalt esinevatest gleimuldadest, kus liigniiskusest tingituna on aegade jooksul toimunud orgaanilise aine kuhjumine mulda. Ka Pärnu ja Saare maakonna

kõrge mulla Corg varu mullas on tingitud suurest gleimuldade osakaalust. Väiksemate mulla Corg varuga maakonnad asuvad peamiselt Kagu-Eestis.

Uuritud perioodi (2015–2020) jooksul maakondade mulla Corg varu üldiselt vähenes vahemikus -1,35 kuni -0,12 t/ha aastas. Kõige rohkem vähenes Corg varu Hiiu maakonnas (-1,35 t/ha a), mis on küll tingitud väikesest C sisendist (tabel 17) ja väikesest taliviljade osakaalust, kuid teisalt ei pruugi valimi suurus (n=11) olla piisav, et teha usaldusväärseid järeldusi. Ida-Virumaa maakonnas mulla Corg varu püsis stabiilsena ning Saare maakonnas suurenes (0,28 t/ha aastas). Suuresti oli Saare maakonna Corg varu suurenemine tingitud sellest, et põllumaa pindala suurenes (tabel 2), maakonna keskmine Corg varu suurenes vähemal määral, kui põllumaa pindala muutust ei arvesta (0,13 t/ha a; LISA 1).

Mulla Corg varu muutus oli seotud C sisendi suurusega. Mida suurem oli C sisend mulda, seda väiksem oli Corg varu vähenemine (joonis 9).



Joonis 9. Seosed süsiniku (C) sisendi ja mulla mõõdetud orgaanilise süsiniku (Corg) varu muutuste vahel sõltuvalt suvi- ja taliviljade arvestusest

Eesti keskmine C sisend taimejätmetest aastatel 2015–2020 oli 2,30 t/ha a ja sõnnikust 0,20 t/ha a (tabel 17). Maakondade keskmised C sisendid varieerusid vahemikus 1,47–2,81 t/ha aastas. Sõnnikust pärineva C sisendi kogus varieerus maakondades vahemikus 0,08–0,56 t/ha aastas. Kõige väiksem C sisend oli Hiiu maakonnas ning selles maakonnas oli ka kõige suurem mulla Corg vähenemine aastas (-1,35 t/ha). Suviviljadest pärinev C sisend on üldiselt väiksem, sest suvililjade saagikused on taliviljade saagikustest väiksemad, lisaks on taliviljade hulka arvestatud ka mitmeaastastest söödakultuuridest (peamiselt lühiajalised rohumaad) pärinev C sisend. Eesti keskmine mineraalsete põllumuldade

prognoositud Corg varu ja muutus sõltus sellest, millist stsenaariumi oli modelleerimisel kasutatud: suvi/taliviljad koos ja suvine taimkate vs suvi- ja taliviljade sisend ja taimkate arvestus eraldi (suviviljadel suvine taimkate; taliviljadel taimkate jaanuarist-detsembrini).

Tabel 17. Maakondade ja Eesti keskmised süsiniku sisendid (t/ha aastas) perioodil 2015–2020

Maakond	Suvi-/taliviljad	Suviviljad	Taliviljad (sh mitmeaastased söödakultuurid)	Sõnnik
Harju maakond	2,15	1,90	2,42	0,20
Hiiu maakond	1,47	1,83	1,06	0,56
Ida-Viru maakond	2,03	2,00	2,09	0,10
Jõgeva maakond	2,81	2,27	3,43	0,15
Järva maakond	2,40	2,12	2,64	0,21
Lääne maakond	2,16	2,01	2,32	0,17
Lääne-Viru maakond	2,53	2,12	2,92	0,14
Põlva maakond	2,49	2,12	2,92	0,19
Pärnu maakond	1,91	2,02	1,79	0,22
Rapla maakond	2,23	2,18	2,28	0,19
Saare maakond	1,98	1,87	2,10	0,53
Tartu maakond	2,54	2,27	2,88	0,08
Valga maakond	2,31	2,22	2,43	0,22
Viljandi maakond	2,54	2,33	2,81	0,14
Võru maakond	1,93	1,85	2,04	0,12
Eesti kaalutud keskmine	2,30	1,90	2,80	0,20

Mõõdetud tulemusele (-0,31 t/ha aastas, tabel 16) oli sarnasem tulemus, mis saadi, kui suvi- ja taliviljade sisendit ja taimkatet arvestati eraldi (-0,43 t/ha) (tabel 18), neid mitte arvestades mudel ülehindas Corg varu vähenemist ja mulla Corg varu vähenes -0,61 t/ha aastas.

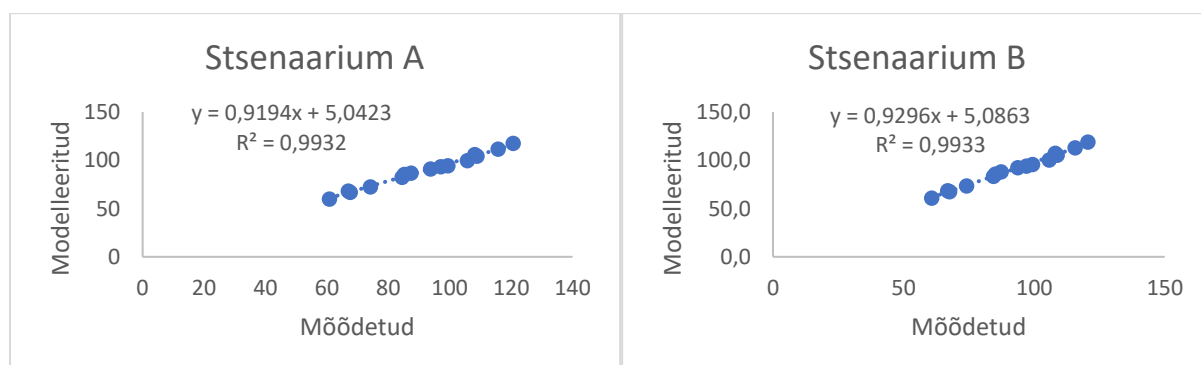
Eesti keskmiste mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vaheline erinevus oli väiksem stsenaariumi B puhul, kui C sisendi arvutamisel arvestati suvi- ja talivilju eraldi (samuti taimkatte aastaringset olemasolu). See näitab, et talviste taliviljade ja talvise taimkatte mõju arvestamine mulla Corg varu prognoosimisel Eesti mineraalsetes põllumuldades on õigustatud. Suurimad erinevused mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vahel esinesid Ida-Viru ja Saare maakondades osutades tõenäoliselt mõningatele puudujääkidele mudeli sisendandmetes. Nendes maakondades mõõdetud mulla Corg varu püsis ajas stabiilsena (Ida-Viru maakond) või suurenes (Saare maakond), kuid modelleeritud Corg varu vähenes, sest maakondade keskmise C sisend ei olnud piisav, et mudel oleks prognoosinud mulla Corg varu suurenemist.

Tabel 18. Maakondade keskmised mineraalmuldade modelleeritud orgaanilise süsiniku (Corg) varud ja muutused

Maakond	Stsenaarium A ¹			Stsenaarium B ²		
	RothC_Corg ³ varu 2020, t/ha	Erinevus mõõdetud tulemusega, %	Corg varu muutus ⁴ , t/ha a	RothC_Corg varu 2020, t/ha	Erinevus mõõdetud tulemusega, %	Corg varu muutus, t/ha a
Harju maakond	104,3	4,1	-1,43	105,4	3,1	-1,22
Hiiu maakond	117,6	2,5	-1,96	119,0	1,2	-1,66
Ida Virumaa	99,6	5,8	-1,21	100,4	5,0	-1,04
Jõgeva maakond	86,7	0,8	-0,28	87,9	-0,6	-0,04
Järva maakond	91,2	2,6	-0,70	92,4	1,4	-0,47
Lääne maakond	111,5	3,6	-1,10	112,8	2,4	-0,83
Lääne-Viru maakond	85,4	-0,2	-0,08	85,9	-0,8	0,01
Põlva maakond	60,0	1,3	-0,30	60,9	-0,1	-0,12
Pärnu maakond	106,2	1,8	-1,27	107,2	0,8	-1,05
Rapla maakond	93,3	3,9	-0,88	94,2	3,0	-0,71
Saare maakond	94,4	5,0	-0,72	95,7	3,8	-0,46
Tartu maakond	72,5	2,1	-0,50	73,4	0,9	-0,32
Valga maakond	68,1	-1,7	-0,15	68,7	-2,6	-0,03
Viljandi maakond	82,5	2,2	-0,67	83,5	1,1	-0,48
Võru maakond	66,9	1,0	-0,76	67,6	0,0	-0,63
Eesti kaalutud keskmine	84,3	2,9	-0,79	85,2	1,7	-0,61
Eesti	86,3	2,2	-0,68	87,5	0,7	-0,43

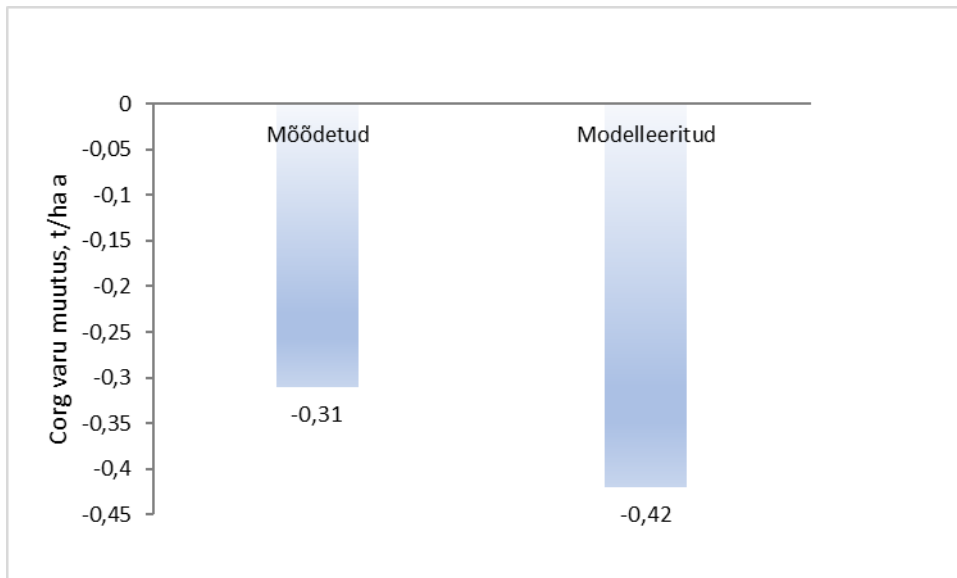
¹suvi- ja taliviljade C sisendid koos, taimkate maist-septembrini; ²suvi- ja taliviljade C sisendid eraldi, taimkate suviljade puhul maist-septembrini, taliviljade puhul jaanuarist-detsembrini; ³ mudeliga RothC modelleeritud mulla Corg varu; ⁴muutus võrreldes mõõdetud mulla Corg varuga 2015. aastal

Seosed mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vahel olid tugevad mõlema stsenaariumi puhul, kuid suvi- ja taliviljade mõju eraldi arvestamisel oli seos veidi parem (joonis 10), mis avaldus ka keskmiste tulemuste omavahelisel võrdlemisel.



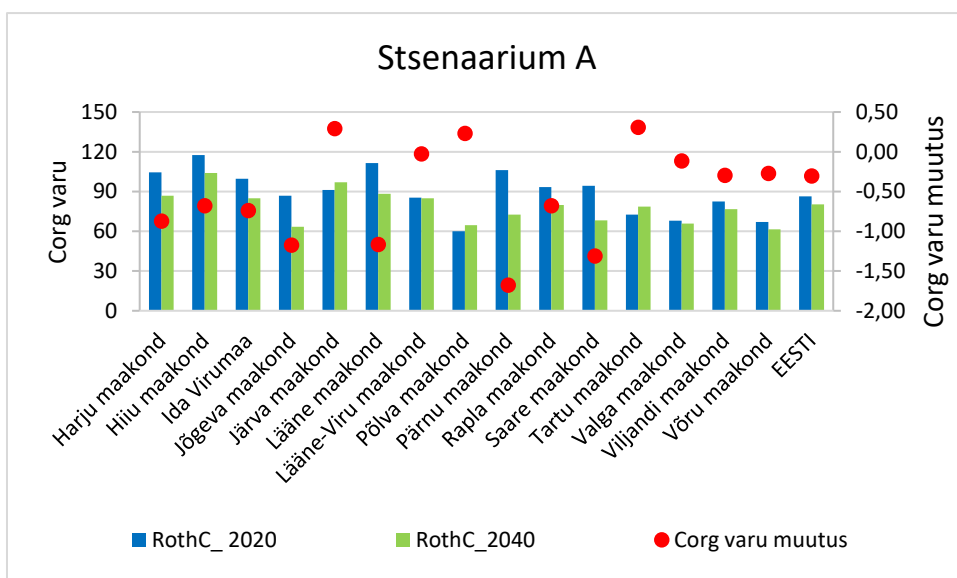
Joonis 10. Seosed 2020. aasta mulla modelleeritud ja mõõdetud orgaanilise süsiniku (Corg) varude (t/ha) vahel erinevate stsenaariumite puhul (Stsenaarium A: suvi- ja taliviljade C sisendid koos, taimkate maist-septembrini; Stsenaarium B: suvi- ja taliviljade C sisendid eraldi, taimkate suviljade puhul maist-septembrini, taliviljade puhul jaanuarist-detsembrini)

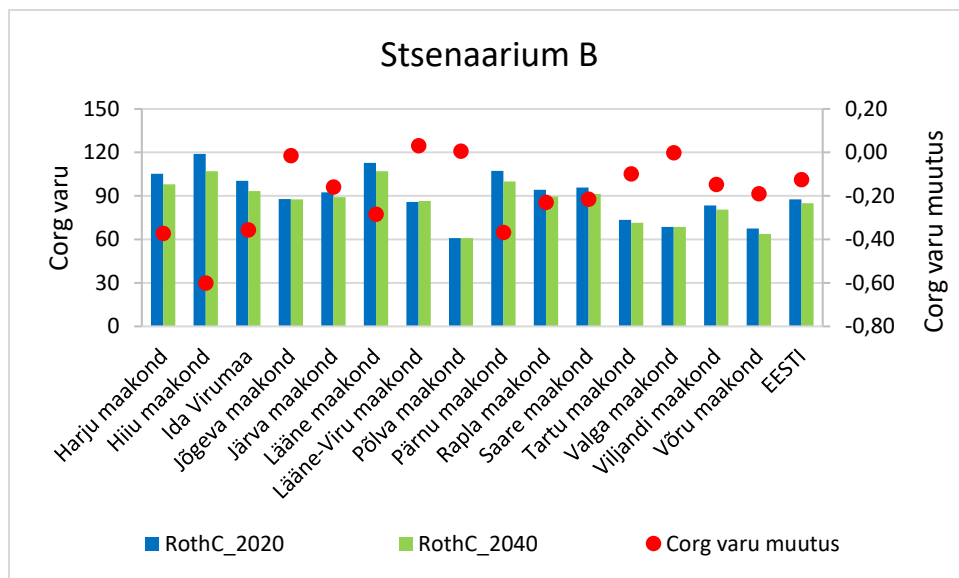
Eesti keskmisena olid mineraalsete põllumaad Corg varu mõõdetud ja modelleeritud muutused perioodil 2025-2020 samaväärses suurusjärgus (joonis 11). Roth-C mudel hindas võrreldes tegelikkusega varu kahenemist natuke suuremaks.



Joonis 11. Eesti keskmised mõõdetud (tabel 16) ja modelleeritud (tabel 18) mulla orgaanilise süsiniku (Corg) varu muutused perioodil 2015-2020

Tulevikuprognosis 2040. aastani näeb ette, et Eesti mineraalsete põllumuldade Corg varu jätkab vähenemist (joonis 12). Mulla Corg varu vähenemine on väiksem, kui kasvatatakse külvikorras talivilju ja/või mitmeaastaseid heintaimi, sel juhul näiteks Lääne-Viru maakonnas mulla Corg varu püsib järgmiste aastate jooksul stabiilsena, kuid Eesti keskmisena väheneb mulla Corg varu -0,19 t/ha aastas. Mulla Corg varu vähenemine on väiksem maakondades, kus keskmine mulla Corg varu on väiksem (Põlva, Valga, Võru).

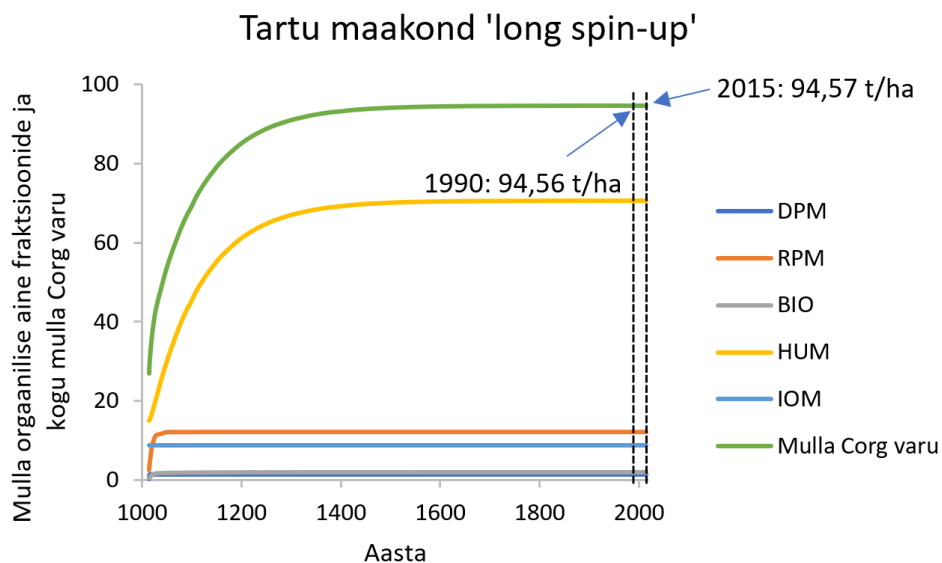




Joonis 12. Maakondade keskmised mulla prognoositud orgaanilise süsiniku (Corg) varud (t/ha) ja muutused (t/ha aastas) 2020 ja 2040. aastal (Stsenaarium A: suvi- ja taliviljade süsiniku (C) sisendid koos, taimkate maist-septembrini; Stsenaarium B: suvi- ja taliviljade C sisendid eraldi, taimkate suviljade puhul maist-septembrini, taliviljade puhul jaanuarist-detsembrini)

Mineraalsete põllumuldade Corg varu 1990–2020

Antud uuringus mulla Corg varu prognoosimisel RothC mudeliga eeldati, et muld on algaastal (2015. a) tasakaaluseisundis. Tasakaalupunktini jõudmiseks mudel prognoosib mulla Corg varu 1000 aasta jooksul, mis eelneb algaastale. 1000 aastat on aeg, mille jooksul muld jõuab tasakaalupunktini, kuid olulised muutused mulla Corg varus toimuvad esimese 400 aasta jooksul ja selle aja jooksul on mulla Corg varu peaaegu jõudnud tasakaaluseisundisse (joonis 13). Mudel näitas, et mulla Corg varu muutus perioodi 1990–2015 aasta jooksul on olnud peaaegu olematu (sõltuvalt maakonnast 0 kuni 0,0312 t/ha; 0–0,0012 t/ha aastas), seega antud uuringu meetodikale tuginedes maakondade keskmine mineraalsete põllumuldade Corg varu (t/ha) ei ole aastatel 1990–2015 muutunud. Selline järeldus tuleneb mudeli eripärast ning ilmselgelt ei vasta see tegelikkusele. Prognoosimaks mulla Corg varu alates 1990. a. on vaja samaväärse valimi ja meetodikaga analüüsitud mulla Corg sisaldusi 1990ndate alguse kohta, kuid Eesti kohta need puuduvad.



Joonis 13. Tartu maakonna (savisalduseklass =45%) mulla orgaanilise aine erinevate fraktsioonide ja mulla Corg varu (t/ha) dünaamika 1000 enne algaastat (DPM – kergesti lagunev taimne materjal; RPM – vastupidav taimne materjal; BIO – mikroobne biomass; HUM – humifitseerunud orgaaniline aine; IOM – inertne orgaaniline aine)

Tuginedes Maa-ameti haritava maa andmebaasile leiti pärast laborianalüüsi erinevuste ümberarvutusi, et Eesti keskmine 0-30 cm kihi mulla Corg varu 1990. aastal oli 76,9 t/ha (tabel 19). Statistikaameti poolt esitatud saagiandmetele tuginedes leitud Eesti keskmine C sisend perioodil 1990–2015 oli suviviljadest 1,36 t/ha aastas ja taliviljadest (sh mitmeaastased söodakultuurid) 2,06 t/ha aastas, sõnnikuga viidi mulda sel perioodil keskmiselt 0,29 t/ha aastas. Nende lähteandmete alusel modelleeritud Corg varu oleks 2015. aastaks 71,6 t/ha ehk Corg varu muutus oli -0,21 t/ha aastas. Modelleeritud Corg varu 2020. aastaks oleks 74,1 t/ha (Corg varu muutus -0,11 t/ha aastas). Perioodi 1990–2020 C sisend oli suviviljadest 0,74 t/ha aastas, taliviljadest 1,90 t/ha aastas ja sõnnikust 0,27 t/ha aastas. PANDA andmebaasi alusel oli 2015. aasta keskmine Corg varu oli 89,7 t/ha, mis on suurusjärgu suurem võrreldes 1990ndate algseisu hinnanguga. Selline kasv ei ole mitte kuidagi sisuliselt põhjendatav. See võrdlus näitab, et meil puudub ühtse metoodika ja valimiga andmestik katmaks kogu uurimisperioodi (1990–2000) võrreldavalt tõendatud mõõtmistulemustega. Kuna laborianalüüsi metoodika korrigeerimised on arvutustesse sisse viidud, siis võib järeldada, et kõige suurem mõju Corg varude võrreldamatusele erinevatel ajaperioodidel tuleb valimi (nt suuruse ja katvuse) erinevustes. 1990ndate alguses oli põllukultuuridega maa pindala suurem (1 116 300 ha; Statistikaamet PM03) võrreldes aastatega 2015–2020 (665 892–693 460 ha; Statistikaamet PM028). PANDA andmebaasi moodustavad mullaproovid, mis on kogutud keskmiselt üks proov 5 ha alalt. Antud töös on kasutatud PANDA andmebaasist andmeid 3 433 proovikoha kohta üle Eesti (valimisse jäeti alad, kus olime kindlad, et proovivõtualad olid perioodi alguses ja lõpus võrreldavad), mis kajastab u 15 000 kuni 20

000 ha põllumaad, mille alusel on tehtud järeldused kogu Eesti mineraalsete põllumuldade keskmise Corg varu ja seal toimunud muutuste kohta.

Tabel 19. Mulla orgaanilise süsiniku (Corg) varu prognoos kasutades Maa-ameti haritava maa andmebaasi ja süsiniku (C) sisendid

Näitaja	Väärtus
Perioodi 1990–2015 C sisend (suviviljad/taliviljad/sõnnik), t/ha a	1,36/2,06/0,29
Perioodi 1990–2020 C sisend (suviviljad/taliviljad/sõnnik), t/ha a	1,46/2,20/0,27
Mõõdetud Corg varu 1990. a., t/ha	76,9
Modelleeritud Corg varu 2015.a., t/ha	71,6
Modelleeritud Corg varu 2020.a., t/ha	74,1

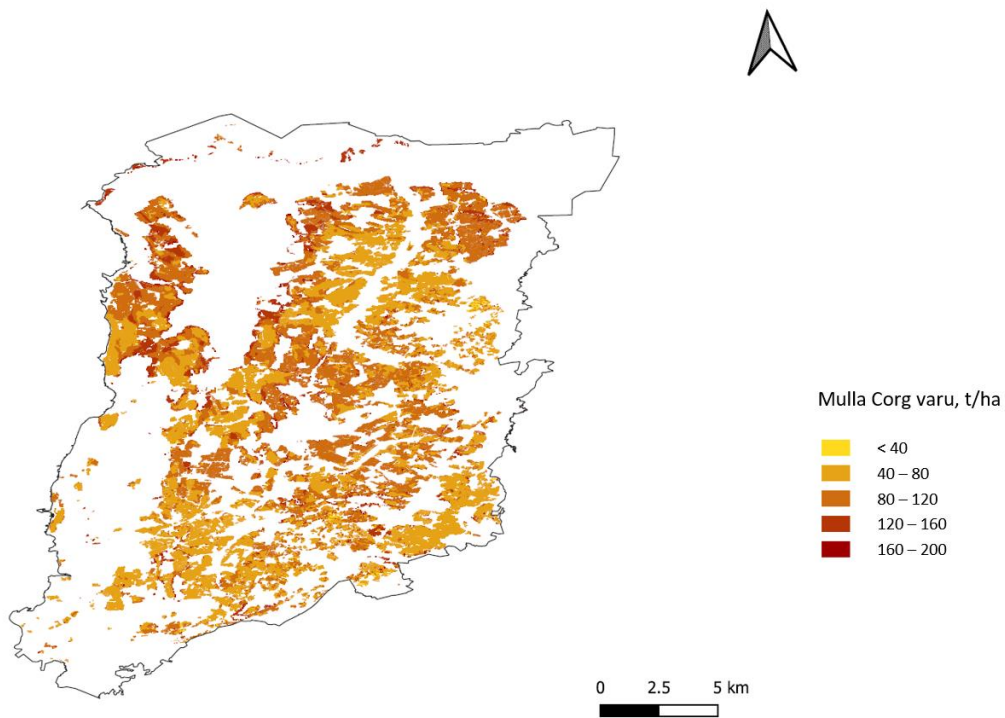
Lisaks kontrollisime tegelikke Corg varude muutusi perioodil 1990–2015 püsiseirealade põhjal. Selle arvutuse valimisse saime kaasata 64 seirepõldu. Arvestades eelpool mainitud teisendusi (üleminek Tjurini meetodil määratud Corg sisalduselt Walkley-Black meetodil määratud sisaldusele), oli perioodil 1988–1992 kogutud proovide põhjal mulla keskmine Corg varu 80,0 t/ha. 2015–2016. aastate kogutud proovide tulemusel oli keskmine Corg varu 76,2 t/ha. Seega oli aastane Corg muutus -0,15 t/ha aastas. See ootuspärane muutuse suund ning üldises kooskõlas ka RothC mudeli hinnanguga.

Kokkuvõtvalt saame järeldada, et olemasolevad andmebaasid ei võimalda korrektselt moodustada ühtselt võrreldavat andmestikku põllumaa Corg varu kohta alates 1990. aastast. Varasemad analüüsid põldkatsete ja püsiseirealade andmetel tuginedes annavad kinnitust, et Roth-C mudeli hinnangud Corg varu muutuse kohta on kooskõlas empiiriliste mõõtmistega. Seega meie hinnangul on Roth-C mudeli rakendamine põllumaa muldade Corg varu muutuste hindamiseks KHG inventuuris võimalik ning see üldistab toimivaid muutusi oluliselt paremini kui üksiku aasta empiirilistel Corg sisalduste mõõtmistel tuginevad arvutused, mis on tugevasti mõjutatud konkreetse aasta piiratud mahuga valimist. Tegelike muutuste mõõtmine seirealadel ja tootmispõldudel on jätkuvalt vajalik, et teatud ajaperioodi järel (5–10 aasta intervalliga) valideerida ja mudeli hinnanguid ning viia sisse täiendusi mudeli sisendandmetes ja parameetrite lähtestamises.

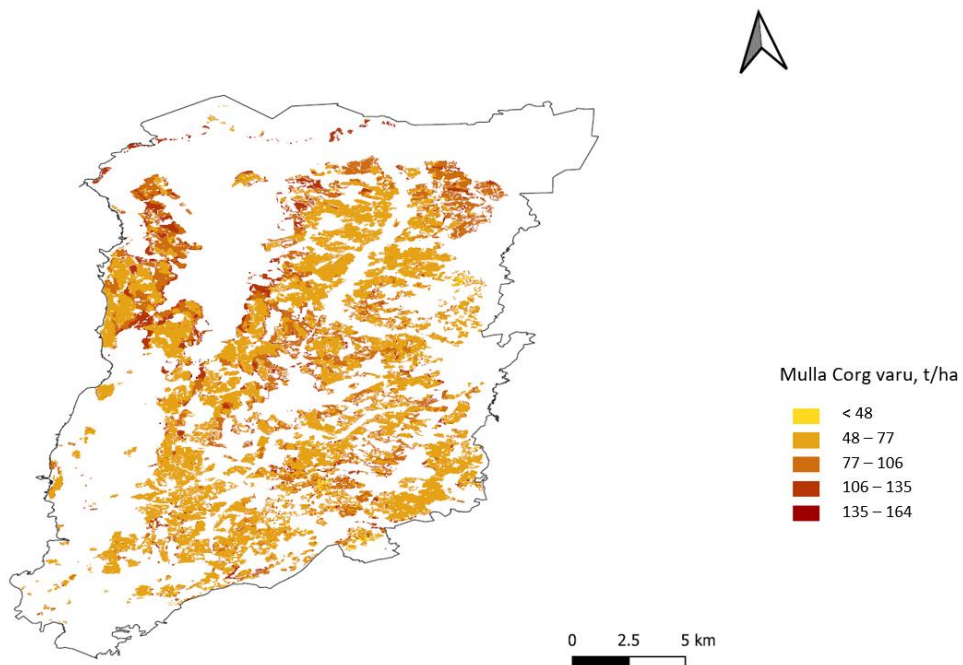
Elva valla põllumuldade Corg varu asukohapõhine prognoos aastani 2040

Tuginedes mulla Corg varu kaardirakendusele Elva maakonna mineraalsete põllumuldade kaalutud keskmine mulla Corg varu oli 75,9 t/ha. Hetkeseisuga esineb vallas põllumuldi, kus Corg varu ulatub 200 t/ha (joonis 14). Modelleerides mulla Corg varu aastani 2040 eeldusel, et aastane C sisendi kogus ei muutu võrreldes perioodiga 2015–2020, siis põllumuldade kaalutud keskmine Corg varu väheneb

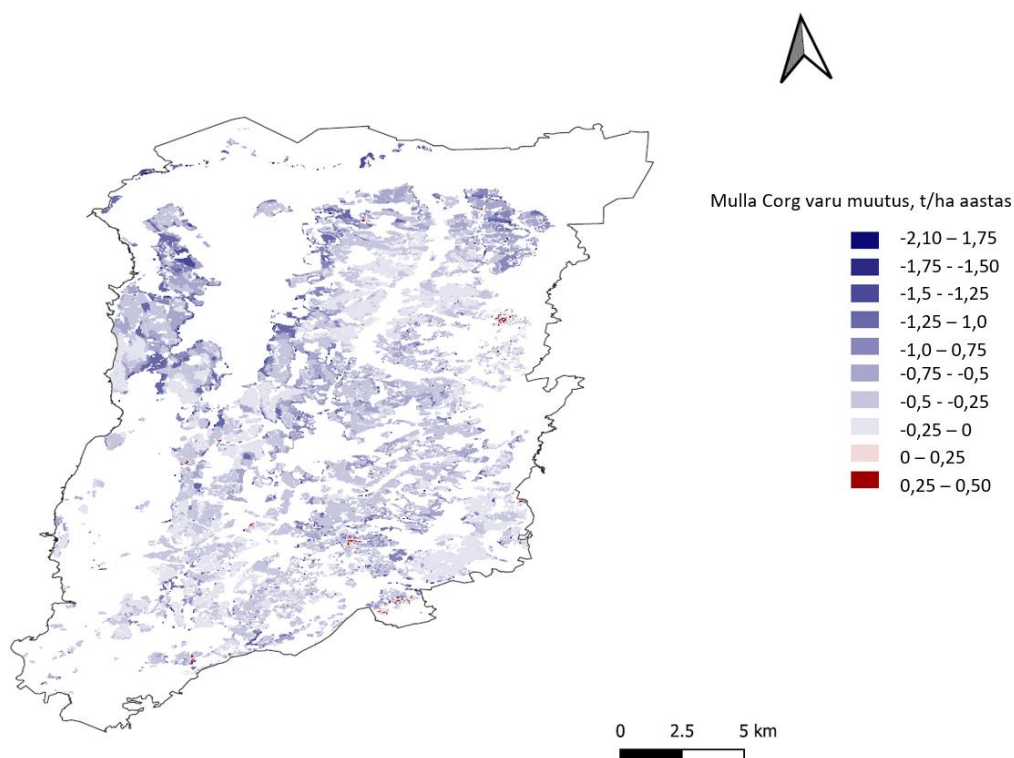
kuni 69,0 t/ha, ulatudes mõningates punktides kuni 164 t/ha (joonis 15). Keskmiselt väheneb prognoosi järgi Elva valla põllumuldade Corg varu -0,35 t/ha aastas.



Joonis 14. Elva valla mineraalsete põllumuldade mõõdetud Corg varu kaart 2020. a kohta



Joonis 15. Elva valla mineraalsete põllumuldade modelleeritud Corg varu kaart 2040. a kohta



Joonis 16. Elva valla mineraalsete põllumuldade Corg varu muutused perioodil 2020–2040

Mulla Corg varu väheneb märgatavalt Loode-Elva valla põldudel, kus paiknevad suures osas gleimullad. Mõnedes üksikutes kohtades toimub prognoosi järgi mulla Corg varu suurenemine ja seda peamiselt põldudel, mis 2020. a olid madala Corg varuga (joonis 16). Mulla modelleeritud Corg varu muutused varieerusid vahemikus -2,1 kuni 0,25 t/ha aastas. Antud juhul tuleb meeles pidada, et tõenäoliselt on Elva valla modelleeritud Corg varu 2040. aastal alahinnatud, sest modelleerimisel talvise taimkatte esinemist mudelis ei arvestatud. Ka joonisel 8 on näha, et nt. Tartu maakonna põllumuldade Corg varu väheneb stsenaariumi B (suvi- ja taliviljad, aastaringne taimkate) puhul vähem võrreldes stsenaariumiga A (suviviljad, suvine taimkate).

Hinnang modelleerimiseks vajalike sisendandmete kättesaadavusele ja määramatusele

Käesolevas uuringus mulla Corg varu prognoosimiseks kasutati andmeid, mis saadi Statistikaametist, Keskkonnaagentuurist, Maa-ametist ja Põllumajandusuuringute Keskusest.

Mulla Corg varu muutuse modelleerimise juures on kõige olulisem sisendnäitaja algne mulla Corg varu. Riigi või mingi piirkonna tasemel sõltub keskmine Corg varu väärtus olulisel määral arvutuse aluseks

oleva valimi esinduslikkusest. Käesolevas uuringus piiritleti mulla Corg varu arvutuse valim aastate 2015–2020 kohta põhjusel, et aja jooksul on mulla Corg sisalduse määramisel kasutatud erinevaid määramismeetodeid ning varasemad andmed pole otseselt võrreldavad. Kuigi 1990ndate algusest on olemas mahukas haritava maa kvaliteedi andmebaas (sh Corg % väärtustega), siis meie täiendav analüüs näitas, et hoolimata erineva ajastu laborianalüüsi tulemuste korrigeerimisest ei ole meil võimalik saada tänasega võrreldavat Corg varu aegrida. Eeldavalt seisneb põhjus valimite suures erinevuses. Põllumajandustootjate põldudelt on mulla Corg sisaldust määratud 2004. aastast, mille tulemusena on moodustunud mahukas andmebaas, mis esialgsel vaatlusel oleks võimaldanud modelleeritud mulla Corg varu võrrelda mõõdetud tulemustega oluliselt pikema perioodi jooksul. Kuid tulemuste valideerimine tõi välja erinevast mulla Corg sisalduse määramise laborimeetodikast tingitud ebarealistlikud muutused mulla Corg varus, mistõttu tekkis vajadus uuringuvalim piiritleda oluliselt lühema perioodiga (alates 2015. aasta). Samuti on oluline valimi suurus ja paiknemine. Mulla Corg sisalduse valimid osade lõimiseklasside kaupa maakondades jäid väikseks või olid täiesti esindamata. Valimi suurusest võis olla tingitud ka see, miks erinesid mõõdetud ja modelleeritud tulemused omavahel rohkem siis, kui muutuse leidmiseks kasutati maakondade keskmiste kaudu leitud mulla Corg varu. Eesti mineraalsete põllumuldade Corg varu kaardikihi koostamisel kasutati aastatel 2015–2020 kogutud mullaproovide tulemusi luues laiapõhjalise ja suure katvusega kaardikiht, mis võimaldab erinevate stsenaariumite prognooside tegemist arvestades Eesti mullastiku kirjusust. Lisaks peab Corg varu kaardikihi ja selle taustal oleva PANDA andmebaasi juures arvestama, et täna on see väga esinduslik aktiivses kasutuses oleva põllumaa osas, ent püsirohumaadelt on Corg sisalduse mõõtmiste valim väga väike. Et saada edaspidi paremat hinnangut kogu põllumajandusmaal toimuvate muutuste kohta on vaja tegelike Corg sisalduse mõõtmisi laiendada senisest enam püsirohumaadele.

Kuigi ühtset kogu perioodi katvat aegrida põllumaa Corg varu väärtuste kohta polnud võimalik koostada, siis edaspidi on õigem muutuste modelleerimiseks lähtuda viimase perioodi (alates 2015.a.) kaardikihist (METK mulla valdkonna tööühm). Seda Corg varu kaardikihti peaks 5–10-aastase intervalliga uuendada ning see on aluseks mudeli hinnangute valideerimiseks ja täiustamiseks.

Oluline mudelisisend on mulla savisisaldus FAO järgi (osakesed läbimõõduga alla 0,002 mm), mis maakondade keskmiste Corg varu prognoosimise juures osutus näitajaks, mida meie muldade puhul lauspinnaliselt pole määratud, sest Maa-ameti mullakaardirakendusel esitatavad lõimised on varasemalt määratud Katšinski meetodil. Katšinski klassifikatsioonis esitatav füüsikalise savi fraktsioon (osakesed läbimõõduga alla 0,01 mm) ülehindab saviosakeste sisaldust FAO järgi. Seega ülehindab ka muldade C sidumisvõime, mistõttu on õigustatud kasutada Kmoch et al (2020) järgi ligilähedaste FAO savisisalduste kasutamine erinevate lõimiste puhul. Kuid peab arvestama, et mõningane määramatus võib ka sellest sisendist põhjustatud olla.

Teise olulise sisendi, taimejätmetest ja sõnnikust pärineva C sisendi, arvutamiseks kasutati Statistikaameti andmeid (kasvupind, saagikus, loomade arvukus). Eelkõige esineb suurem määramatus saagikuse andmete osas. Lisaks esines mitmeid küsitavusi maakondade kohta esitatud andmete osas. C sisendi leidmise puhul on olulised andmed kultuuride, saagikuste ja kasvupinna kohta. Samuti on oluline info põhu tagastamise või eemaldamise kohta põllult, kuid seda infot Statistikaameti andmebaasides ei kajastu. Põhk moodustab teraviljade puhul 40–50% kogu netoproduktisioonist, mistõttu moodustab see suure osa mulda viidavast C sisendist. Kui info selle kohta on puudulik, siis mulla Corg varu tulevikuproгноosid sõltuvad peamiselt eeldustest selle kohta, kas põhk on tagastatud või eemaldatud. Käesolevas uuringus maakondade põllumuldade Corg varu modelleerimisel perioodi 2015–2020 kohta eeldati, et põhk tagastati mulda. Vastupidine eeldus (põhk eemaldati) oleks põhjutanud suuremaid erinevusi mõõdetud ja modelleeritud Corg varu tulemuste vahel, sest mudel oleks Corg varu märkimisväärselt alahinnanud.

Oluliseks C sisendiks on ka sõnniku või muu orgaanilise väetise kasutamine. Kuigi antud projekti tulemusena selgus, et Eesti keskmiselt on C sisend sõnnikust väike (0,20 t C/ha aastas) varieerudes sõltuvalt maakonnast vahemikus 0,08–0,56 t C/ha aastas, siis on teada, et maakonnas tekkivat sõnnikut ei laotata maakonnas paiknevatele põldudele ühtlaselt: sõnnikut saavad rohkem loomakasvatushoonete lähedal asuvad põllud. Lähtuvalt veeseadusega kehtestatud piirnormidest sõnnikuga mulda viidavale lämmastikule ja fosforile, on loomakasvatusega tegelevate suurtootjate tavapärane sõnnikunorm põllule eeldatavasti ligikaudu 40 t/ha. Kui tegemist on vedelsõnnikuga, mille kuivaine sisaldus on 5,9% ja sisaldab 42% C kuivaines, siis sõnnikuga on võimalik põllule viia 0,99 t C/ha aastas, sama koguse tahesõnnikuga (20% kuivainet, 42% C) viiakse põllule oluliselt rohkem sõnnikust pärinevat C (3,4 t C/ha). Ehk siis tegelikult viiakse sõnnikuga ühele põllule rohkem C kui maakondade keskmisest (tabel 17) on näha. Samas on suur osa põlde, kuhu sõnnikut üldse ei anta. Muldade C sidumisvõime sõltub mulla algsest Corg varust ning mida madalama mulla Corg sisaldusega mullad on, seda rohkem on nad võimelised püsivalt süsinikku siduma. See on mõjutatud oluliselt mulla lõimisest, täpsemalt saviosakeste sisaldusest mullas ning see seab piirid, kui palju on muld võimeline C stabiilselt endasse siduma. Seega mullad, mis on saanud aastate jooksul rohkem sõnnikut, on tõenäoliselt suurema Corg varuga ning nende edasine C sidumisvõime on väiksem, samas mullad, mis on orgaanilist väetist vähem saanud, võivad olla oluliselt madalama mulla Corg varuga olles samaaegselt suurema C sidumisvõimega. Maakondade keskmiste C sisendite kasutamise puhul käesolevas projektis seda võimalust ei arvestatud, millest tulenevalt võib toimuda modelleeritud mulla Corg varu üle- või alahindamine.

Antud projektitulemused näitasid, et modelleeritud Corg varu sõltus talvise taimkatte esinemisest ning ka suvi- ja taliviljade C sisendi tingitud erinevusest. Samuti oli oluline, kas põhk tagastati mulda või

eemaldati põllult. Näiteks kui põhk põllult eemaldati, siis keskmine C sisend oli 1,1 t/ha väiksem võrreldes põhu tagastamisega põllule. Põhu eemaldamisest tingitud C sisendi vähenemine 1,1 t/ha põhjustas suvise taimkatte puhul mõõdetud ja modelleeritud mulla Corg varu erinevuseks 7,2 t/ha, mis on 2,8 t/ha võrra suurem, kui C sisendi arvutamisel eeldati, et põhk tagastati põllule (tabel 20).

Tabel 20. Süsiniku (C) sisendi suuruselt ja taimkatte esinemisest tingitud erinevused mulla mõõdetud ja modelleeritud orgaanilise süsiniku (Corg) varu tulemuste vahel

Taimkate	Mõõdetud mulla Corg varu (2015)	Põhk	C sisend		Mõõdetud mulla orgC varu (2020)	RothC_ Corg ¹ varu (2020)	Erinevus mõõdetud ja modelleeritud tulemuse vahel
			Taimejääkidest	sõnnikust			
					t/ha		
Mai–sept	94,7	+ ²	2,0	0,17	93,0	88,6	4,4
	94,7	- ³	0,9	0,17	93,0	85,8	7,2
Jaan–dets	94,7	+	2,0	0,17	93,0	90,7	2,3
	94,7	-	0,9	0,17	93,0	87,6	5,4

¹modeliga RothC modelleeritud mulla Corg varu, ²põhk tagastati põllule; ³põhk eemaldati põllult

Erinevus mõõdetud ja modelleeritud tulemuse vahel oli väiksem, kui eeldati, et põhk tagastati põllule ja talvistel perioodidel oli muld taimestikuga kaetud vähemalt pooltest põldudest. Eelnevast järeldub, et põllupõhine informatsioon on väga oluline mulla Corg varu mudeli valideerimiseks, kalibreerimiseks ja prognooside tegemiseks. Neid andmeid on võimalik saada põllumajandustootjate põlluraamatutest, mis osutab vajadusele automatiseerida ja lihtsustada põlluraamatu andmete kasutust.

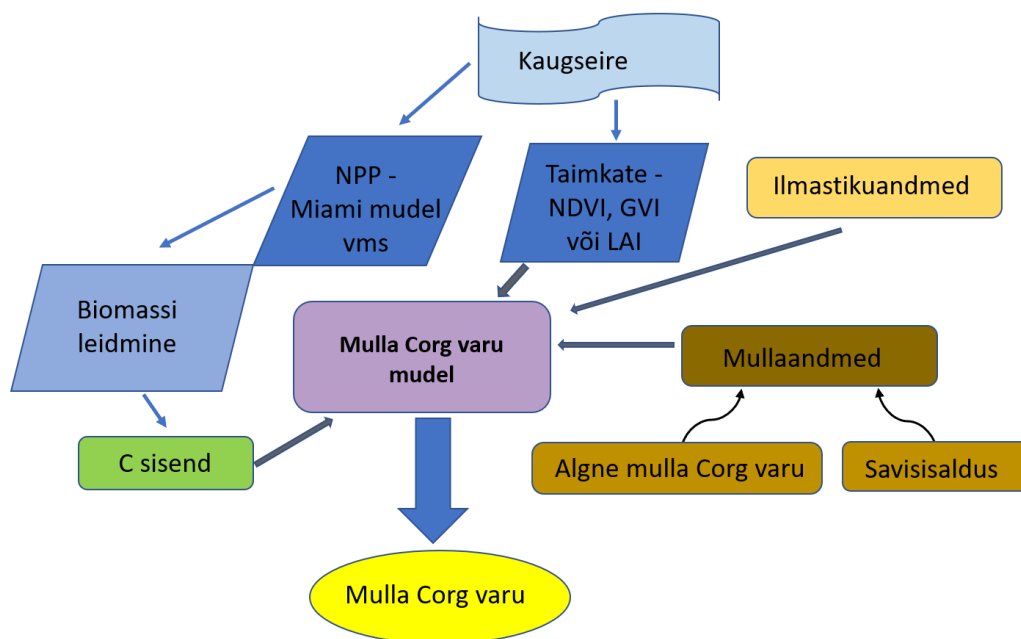
Tabel 21. Andmevajadus efektiivsemate tulevikuprognoside tegemiseks

Sisend		Andmeallikas uuringus	Alternatiiv
Ilmastikuandmed	temperatuur sademed evaporatsioon	Päring Keskonnaagentuurist; Evaporatsioon arutati teiste ilmastikunäitajate kaudu (FAO/Penman meetod ⁴)	Koordinaatvõrgustikulised meteoroloogilised andmed (25 x 25 km või väiksema ala kohta)
	algne Corg varu	Väljavõte PANDA andmebaasist/ Eesti põllumuldade Corg varu kaardikiht	Eesti põllumuldade Corg varu kaardikiht (PMK/METK)
Mullaandmed	savisisaldus FAO järgi	Olemasolev mullakaart/Savisisalduse kaardikiht	Savisisalduse kaardikiht
Mulla kaetus taimestikuga		Ekspert hinnang (suviviljad: mai–sept; taliviljad: jaan–dets)	Põlluraamat; NDVI, GVI, LAI
C sisend	taimejätmetest	Statistikaamet (PM0281)	Põlluraamat; MIAMI vms mudel
	orgaanilisest väetisest	Statistikaamet (PM091)	Põlluraamat

⁴ <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e08.htm#penman%20monteith%20equation>

Modelleerimiseks vajalike maakondade keskmiste näitajate leidmine ja ümberarvutamine on ajakulukas protsess. Efektivsemat ajakasutust võimaldaksid kaugseire või muude asukohapõhiste andmete kaasamine (tabel 21; joonis 17).

Näiteks taimkatte olemasolu hindamiseks võib kasutada satelliidi piltidelt kogutud infole tuginedes leitud NDVI indeksit (normaliseeritud erinevus vegetatsiooniindeksis (*Normalized Differential Vegetation Index*)), GVI indeksit (roheline taimestiku indeks (*Green Vegetation Index*)), LAI indeksit (lehepinna indeks (*Leaf Area Index*)) vms.



Joonis 17. Mulla Corg varu modelleerimise skeem sisendandmetega (NPP – netoproduktsoon; NDVI normaliseeritud erinevus vegetatsiooniindeksis, GVI - roheline taimestiku indeks, LAI - lehepinna indeks)

Taimedest pärineva C sisendi leidmiseks on võimalik kasutada erinevaid mudeleid, mis võimaldavad leida netoproduktiooni ja sealt kaudu C sisendi. Näiteks MIAMI mudel leiab taimede netoproduktiooni (NPP) õhutemperatuuri ja sademete kaudu eeldades, et NPP suureneb temperatuuri ja sademete tõusuga ning kui üks faktoritest (temperatuur või sademed) on limiteerivaks, siis NPP ja seeläbi ka C sisend väheneb (Lieth, 1995).

Ilmastikuandmete puhul on võimalik kasutada nt andmebaasi „Euroopa koordinaatvõrgustikulised agrometeoroloogilised andmed“ (*Joint Research Centre MARS Meteorological Database*⁵), mis sisaldab

⁵ <https://agri4cast.jrc.ec.europa.eu/DataPortal/Index.aspx>

ilmastikuandmeid alates 1979. aastast. Andmebaasis on ilmajaamade andmed interpoleeritud 25 x 25 km koordinaatvõrgustikule võimaldades kergemini ja automatiseeritult ilmastikuandmeid kasutada.

Kokkuvõte

Eesti mineraalsete põllumuldade Corg varu muutust kogu perioodi 1990–2020 kohta ei olnud võimalik usaldusväärselt leida, sest selleks puuduvad ühtse meetodika ja valimiga andmestikud. Kui mulla Corg sisalduse määramise laborimetoodikast tulenevaid erisusi oli võimalik teisendada võrreldavamaks, siis valimi erisused põhjustavad võrreldamatu Corg varu perioodi alguse (76,9 t/ha 1990. a.) ja 2015. a. (89,7 t/ha) vahel. Selline mulla Corg varude kasv ei loogiliselt põhjendatav. Põllumuldade püsiseirealadel toimus samaaegselt Corg varu vähenemine muutus -0,15 t/ha aastas. See on ootuspärane muutus ning üldises kooskõlas ka RothC mudeli prognoosiga.

Mudelipõhised prognoosid põllumuldade Corg varu muutuse hindamiseks on hoolimata mõnede sisendandmete määramatusest rahuldava täpsusastmega. Parema tulemuse andis RothC mudeli rakendamine. Seirealade keskmisena oli RothC mudeli hinnang mõõdetud Corg varu tulemusest ainult 2,3% erinev, kuid Yasso07 mudeli puhul oli erinevus 12,2%. Samas üksikute seirealade vahel esinesid siiski märkimisväärsed erinevused ka mudeli RothC kasutamisel.

Eesti mineraalsete põllumuldade mõõdetud Corg varu muutus oli Eestis keskmisena perioodil 2015 kuni 2020 -0,31 t/ha aastas. Uuringus kasutatud RothC mudeli prognoos (-0,43 t/ha aastas) oli samasuunaline ning võrreldavas suurusjärgus. Mudelprognoos mõnevõrra ülehindas Corg varu vähenemist. Mõõdetud ja modelleeritud Eesti keskmine mulla Corg varu hea omavaheline võrreldavus viitab sellele, et ehkki C sisendite kogustes võib esineda suur määramatus, siis riigi ja maakondade keskmiste statistika andmete alusel (saagikus, sõnnik loomade arvust lähtuvalt jm) on võimalik prognoosida Corg varu muutuseid.

Maakondade kaalutud keskmisena oli mõõdetud Corg varu vähenemine veidi suurem (-0,45 t/ha aastas). Mudeliprognosis maakondade kaalutud keskmise kohta ülehindas mulla Corg varu vähenemist (-0,61 t/ha a), mis osutab täpsematele asukohapõhiste sisendandmete vajadusele (nt. põllupõhine C sisendi leidmine põllumajandustootjate põlluraamatute abil). Kuid maakondades toimunud muutuste erinevused mõõdetud ja modelleeritud tulemuste vahel osutavad vajadusele modelleerimiseks vajaminevate sisendandmete täpsustamiseks, et vältida mulla Corg varu üle- ja/või ülehindamist. Arvestades hetkel kättesaadavaid lähteandmeid ei anna maakonna tasemel Corg varu muutuste

modelleerimine ja selle ümberarvutus riigi tasandi KHG inventuuri jaoks suuremat täpsust kui prognoosid, mis leitud riigi keskmisena.

Riigi keskmise mineraalsete põllumuldade Corg varu muutuse hindamiseks ei ole hetkel vajadust seda prognoosida maakondades toimunud muutuste kaudu. Piisab kui KHG inventuuri jaoks rakendada Roth-C mudelprognoosi riigi keskmisena. Mudeli hinnang sobib muutuste üldise trendi hindamisel paremini kui üksiku aasta piiratud valimiga empiirilistel andmetel tuginevad arvutused. Edaspidi on otstarbekas viia mudeliprognosid põllu tasandile, ent see eeldab seostamist põllumajanduse suurandmete ning e-põlluraamatute arendustesse, et automatiseerida vajalike lähteandmete kättesaadavus. See loob perspektiivis otsese kasu mitte ainult KHG inventuuri täpsustamiseks, vaid toetab eelkõige kestliku põllumajanduse (sh süsinikupõllundus) arengut ning aitab tootjatel asukohapõhiselt hinnata süsiniku jalajälge nii toote, põllu kui ta ettevõtte tasandil.

Selleks, et riigi tasemel KHG inventuuris rakendada mineraalmuldadel paiknevate põllumaade Corg varu muutuse hindamiseks Roth-C mudelprognoosi on vaja läbida järgmised etapid ja edasiarendused:

- Määratleda hindamise aluseks olev põllumajandusmaa ning leida sellele vastav mullastiku jaotus ja Corg varu algseis. Hetkel on otstarbekas võtta rakendamise lähteaastaks 2015, mille Corg algvaru tugineks 2015–2020. aasta empiiriliste andmete üldistusel.
- Lähteaastale järgnevalt (alates 2016. a) kasutatakse mudeli sisendiks eelmise aasta muutusega korrigeeritud Corg varu. 5–10-aastase intervalli järel tuleb mudelprognoosi valideerida tegelike mõõtmistulemustega ning selle alusel viia sisse täiendusi mudeli parameetrite lähtestamises. Mulla Corg sisalduse mõõtmiste valimit tuleb edaspidi suurendada eelkõige püsirohumaadel.
- Olemasolevad andmebaasid ei võimalda perioodi 1990 kuni 2015 kohta tõenduspõhiselt moodustada ühtselt võrreldavat esinduslikku andmestikku riigi tasandi põllumaa Corg varu ja selle muutuste kohta. Seetõttu tuleb see periood katta mudelprognoosiga, mille metoodiline lahendus vajab välja töötamist.
- Mudeli sisendandmete osas on kõige vajalikum täpsustada taimede biomassi osa arvestust. Prognoosimudeli hinnanguid võiks parendada rohumaadel juurte ning põllukultuuridel maapealsete taimejäänuste (kõrretüü) süsinikusisendi arvestuse täpsustamise kaudu.
- Roth-C mudeli lähtestamiseks kasutatava tasakaaluseisundi mulla orgaanilise fraktsioonide jaotust on vaja täpsustada vastavalt kohalike seire- ja katseandmetele. See võimaldab edaspidi kohandada Roth-C mudelit meie mullastik-kliimaatilistele tingimustele vastavamaks.

Kasutatud kirjandus

- Adams, W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *Journal of Soil Science* 10:10–17.
- Begna, S.H., Angadi, S. 2016. Effects of Planting Date on Winter Canola Growth and Yield in the Southwestern U.S. *American Journal of Plant Sciences* 07(01):201–217.
- De Brogniez, D., Ballabio, C., Stevens, A., Jones, R.J.A., Montanarella, L., van Wesemael, B. 2015. A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. *European Journal of Soil Science* 66:121–134.
- FAO. 2020. Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq). Rome.
- Falloon, P., Smith, P., Coleman, K., Marshall, S. 1998. Estimating the size of the inert organic matter pool for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry* 30:1207–1211.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., Van den Bygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:29–42.
- Bolinder, M.A., Kätterer, T., Andrén, O., Parent, L.E. 2012. Estimating carbon inputs to soil in forage-based crop rotations and modeling the effects on soil carbon dynamics in a Swedish long-term field experiment. *Canadian Journal of Soil Science* 92:821–833.
- Coleman, K., Jenkinson, D.S. 1996. RothC-26.3-A model for the turnover of carbon in soil. In: Powelson, D.S., Smith, P., and Smith, J.U. (Eds.), *Evaluation of soil organic matter models using existing, long-term datasets*. NATO ASI series 1, vol. 38. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 237–246.
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Seppänen, L., Luostarinen, S., Fritze, H., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Hanajik P., Regina, K. 2021. Chemical composition controls the decomposition of organic amendments and influences the microbial community structure in agricultural soils, *Carbon Management* 12(4):359–376, DOI: 10.1080/17583004.2021.1947386
- Jacobs, A., Poeplau, C., Weiser, C., Fahrion-Nitschke, A., Don, A. 2020. Exports and inputs of organic carbon on agricultural soils in Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 118:249–271.
- Jensen, L.S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T.A., Henriksen, T.M., Stenberg, B., Pedersen, A., Lundstrom, C., Esala, M. 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil* 273: 307–326.
- Kaasik, A., Möls, M. 2018. Loomakasvatusest eralduvate saasteainete heitkoguste inventuurimetoodikate täiendamine ja heite vähendamistehnoloogiate kaardistamine. Aruanne. Keskkonnaministeeriumi tellimusel.
- Karhu, K., Gärdenäs, A.I., Heikkinen, J., Vanhala, P., Tuomi, M., Liski, J. 2012. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil — Comparison of modelsimulations to measurements. *Geoderma* 189–190: 606–616.
- KAUR, 2018. Eesti põllumajandusmuldade süsinikuvaru ja selle muutuste modelleerimine riikliku kasvuhoonegaaside inventuuri jaoks. Eesti Keskkonnaagentuuri tellimus.

- Kmoch, A., Kanal, A., Astover, A., Kull, A., Virro, H., Helm, A., Pärtel, M., Ostonen, I., Uuemaa, E. 2021. EstSoil-EH: a high-resolution eco-hydrological modelling parameters dataset for Estonia. *Earth System Science Data*, 13:83–97. doi.org/10.5194/essd-13-83-2021
- Lieth, H. 1975. Modeling the primary productivity of the world. In: *Primary productivity of the Biosphere*, edited by: Lieth, H., and Whittaker, R. H., Springer-Verlag, New York, 237–263.
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling* 189:168–182.
- Liski, J., Repo, A., Tuomi, M., Vanhala, P. 2013. Organic chemical characterization of decomposing plant litter: a comparison of methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44:3310–3316.
- RUP, 2019. <https://www.pikk.ee/wp-content/uploads/2020/09/Mulla-susinikuvaru.pdf?x70788&x49907>
- Svečnjak, Z., Rengel, Z. 2006. Nitrogen utilization efficiency in canola cultivars at grain harvest. *Plant and Soil*, 283:299–307.
- Trofymow, J.A., the CIDET Working Group, 1998. The Canadian Intersite Decomposition Experiment (CIDET): project and site establishment report. Information Report BC-X-378. Pacific Forestry Centre, Victoria, Canada.
- Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J.A., Sevanto, S., Liski, J., 2009. Leaf litter decomposition — estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecological Modelling* 220:3362–3371.
- Viskari, T., Pusa, J., Fer, I., Repo, A., Vira, J., Liski, J. 2022. Calibrating the soil organic carbon model Yasso20 with multiple datasets, *Geoscientific Model Development* 15:1735–1752.

LISA 1. Eesti ja maakondade keskmised mineraalsete põllumuldade Corg varud ja muutused perioodil 2015–2020 kui põllumaa pindala uuritava perioodi jooksul ei muutu

Maakond	Mulla Corg, %		Mulla Corg varu, t/ha		C varu muutus, t/ha a
	2015	2020	2015	2020	
Harju maakond	3,44	3,34	111,5	108,9	-0,51
Hiiu maakond	3,63	3,46	127,4	120,5	-1,37
Ida Virumaa	3,15	3,16	105,7	105,5	-0,02
Jõgeva maakond	2,56	2,53	88,1	87,1	-0,21
Järva maakond	2,67	2,62	94,7	93,4	-0,26
Lääne maakond	3,69	3,62	117	115,9	-0,21
Lääne-Viru maakond	2,51	2,49	85,8	85,2	-0,11
Põlva maakond	1,52	1,53	61,5	61,4	-0,02
Pärnu maakond	3,18	3,01	112,5	107,9	-0,91
Rapla maakond	2,72	2,69	97,7	97,0	-0,15
Saare maakond	2,96	2,99	98,0	98,7	0,13
Tartu maakond	2,04	2,00	75,0	73,9	-0,21
Valga maakond	1,73	1,68	68,8	66,9	-0,39
Viljandi maakond	2,28	2,23	85,9	84,3	-0,31
Võru maakond	1,76	1,68	70,7	67,7	-0,59
Eesti	2,54	2,49	89,7	88,4	-0,26
Eesti kaalutud keskmine maakondade kaudu			88,3	86,9	-0,27

