

Põllumuldade süsinikuvaru muutused

Kestliku mulla- ja maakasutuse konverents

Karin Kauer

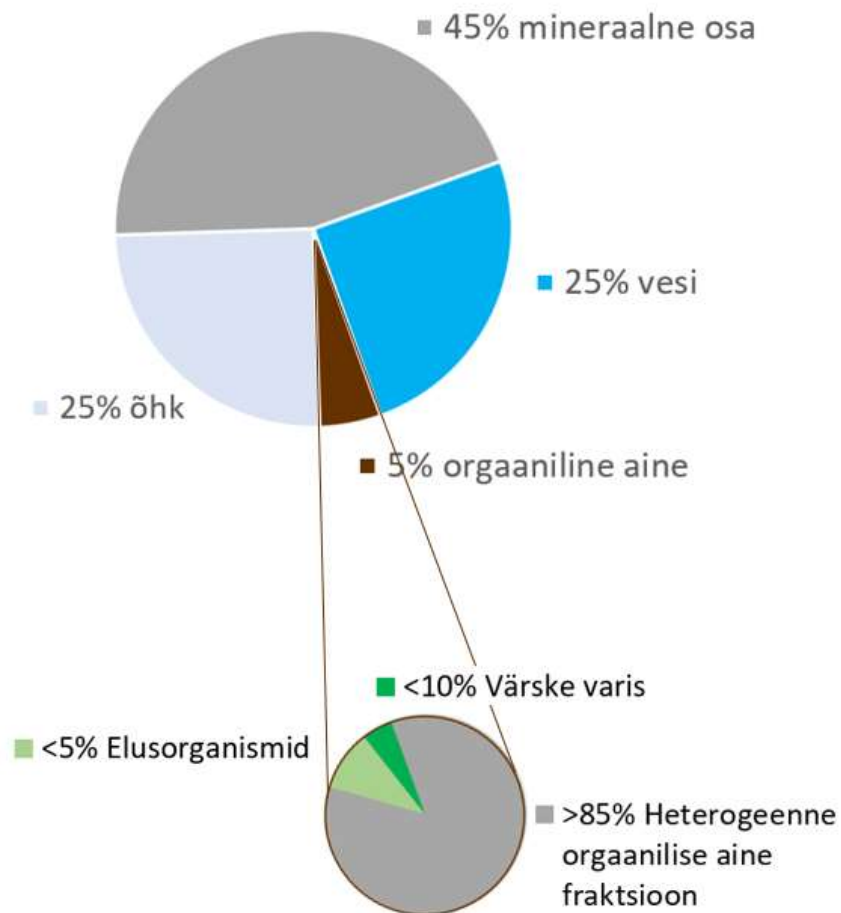
mullateaduse õppetool

karin.kauer@emu.ee

4. detsember 2025

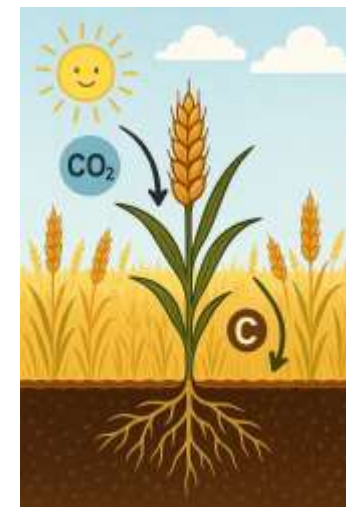


Mulla orgaaniline aine



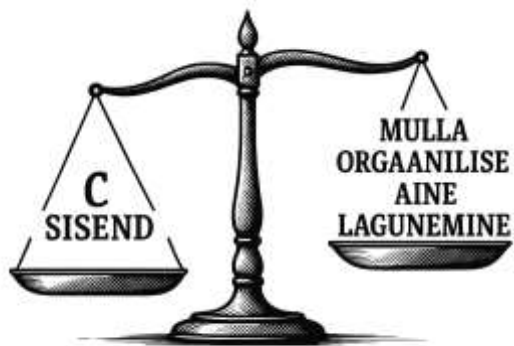
- sisaldab keskmiselt 58% C (45–60%)
- Bioloogilist päritolu C sisaldav materjal
 - Värske varis (~10%)
 - Elusorganismid (<5%)
 - Erinevates lagunemisastmetes olev materjal

Mulla orgaanilise aine peamiseks allikaks on taimne biomass
– 40–45% C kuivaines

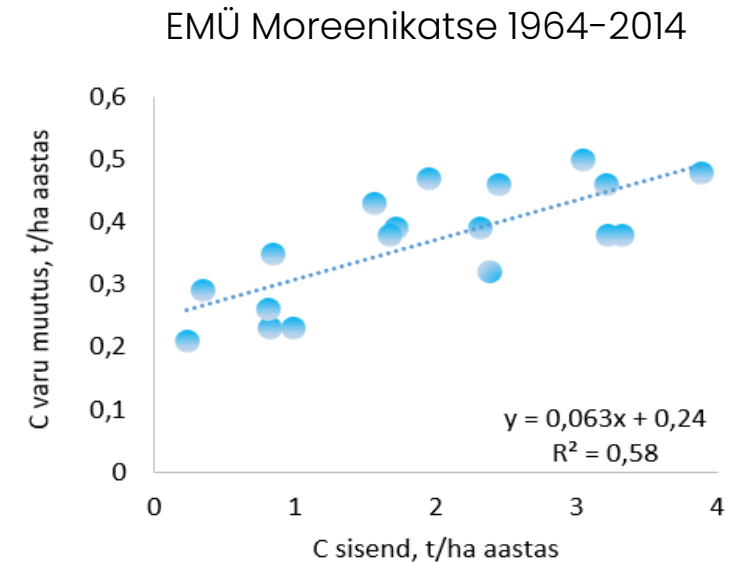


Mulla C varu muutus

- tasakaal mulda mineva (C sisend) ja ära lagunenud mulla orgaanilise aine vahel
- C sisend > lagunemine → C_{org} varu suureneb
- Rohkem C sisendeid → positiivne C bilanss mullas
 - eriti nendes muldades, mis on kaotanud suure osa mulla algsest (looduslikus/häirimata seisundis olevast) C_{org} varust



ChatGBT(OpenAI)





Mulla C_{org} varu suurendamiseks on 2 võimalust

- 1) Pärssida mulla orgaanilise aine lagunemist
 - Minimeeritud harimine
 - Otsekülv
- 2) Suurendada mulda mineva orgaanilise aine kogust (C sisendit)
 - Orgaanilised väetised (sh sõnnik, digestaat, biosüsi)
 - Vahekultuurid
 - Mitmekesisemad külvikorrad
 - Happeliste muldade lupjamine
 - Väetamine mineraalsete väetistega



Several reduced tillage practices include vertical-till, strip-till, no-till, and strip-till. (Source: Smith)

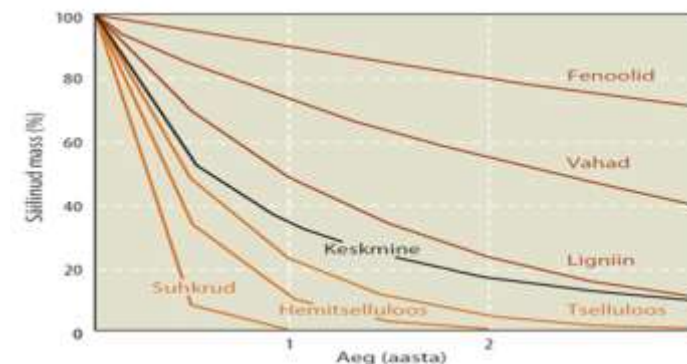
Kui palju C jääb mulda?

- C sisendi kogus
- C sisendi keemilised omadused (N, C/N, C ühendid)
 - Juured vs maapealne biomass
- Taimejätmed (sh vahekultuurid): -11% – 19%
- Sõnnik:
 - kuni 30% (Henin & Dupuis, 1945)
 - 5 kuni 38% (EMÜ huumuskalkulaator)
 - 22% (Kauer et al.,)

Labiilne fraktsioon mullas

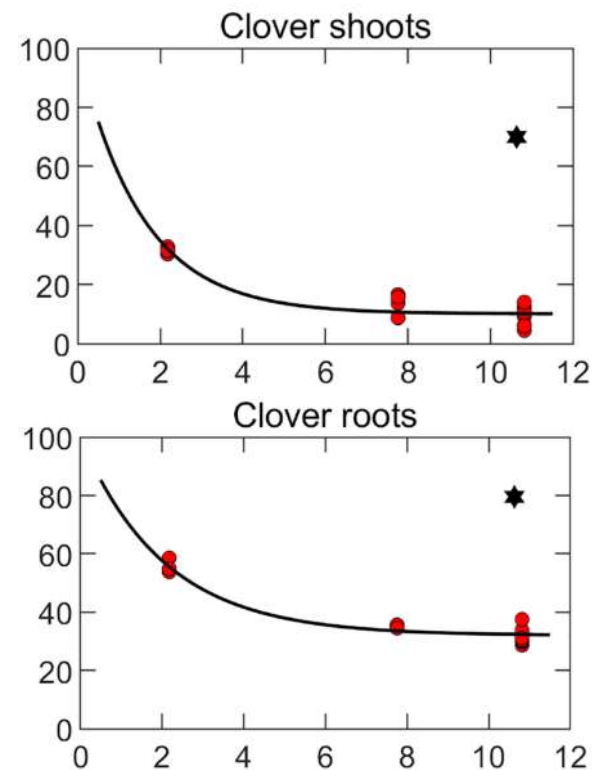
- püsivus mullas kuni 10 – ... aastat
- mikroorganismide põhiline toidu- ja energiaallikas
- bioloogiline aktiivsus ja toitainete kättesaadavus
- tundlik põllumajandustavade, harimise ja ilmastikutingimuste suhtes

C ühendite lagunemine 3 aasta jooksul



Astover et al., 2012

Lagunemise dünaamika 12 kuu jooksul



Heikkinen et al., 2021

Mulla lõimise mõju C sidumisele

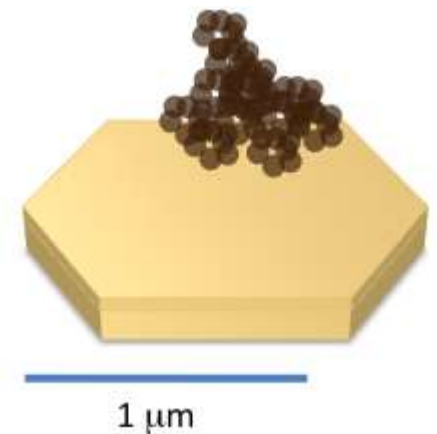
- Saviosakeste C sidumiseefektiivsus on suur
 - Eripind suur
 - Stabiilsed organo-mineraalsed kompleksid

Stabiilne fraktsioon mullas

- püsivus mullas 10–100 ... aastat
- pikaajaline C_{org} varu, mulla struktuursus ja viljakus
- mängib olulist rolli C sidumises

Põllumuldades 60–80% kogu mulla C_{org} varust.

Orgaanilise aine keemiline stabiliseerumine savi pinnal

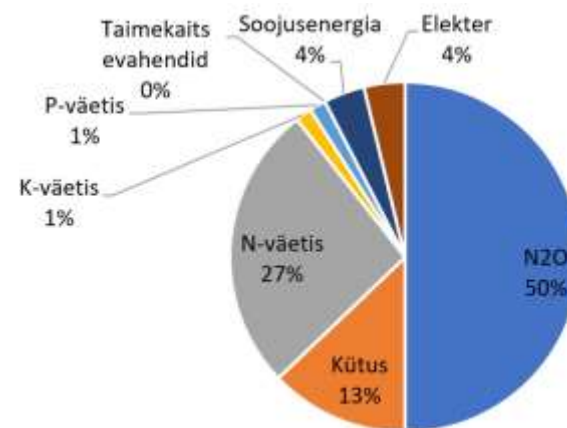


© Sylvie Quideau



Süsinikupöllumundus

- *Carbon farming*
- eesmärk on suunata põllumajandustootjaid rakendama praktikaid, mis **pikaajaliselt** suurendavad mulda ja biomassi talletuva C hulka võrreldes tavapärase majandamisega
- **Püsivalt vähemalt** (50)–100 aastaks
- Kliimaneutraalsus



S. Kuus, 2021

Kui teravilja saak on 5 t/ha, siis tuleb mulla C varu suurendada **0,46 t C/ha**, et teravilja C jalajälge neutraliseerida

$$5 \times 0,34 = 1,7 \text{ t CO}_2\text{-ekv/ha}$$

ehk

$$1,7 / 3,67 = 0,46 \text{ kg C/ha aastas.}$$



Mulla küllastumine C-ga

- kui orgaanilise aine sidumiseks vaba pinda on savi- ja ibeosakestel vähe

Igal mullal on talle omane C sidumisvõime!

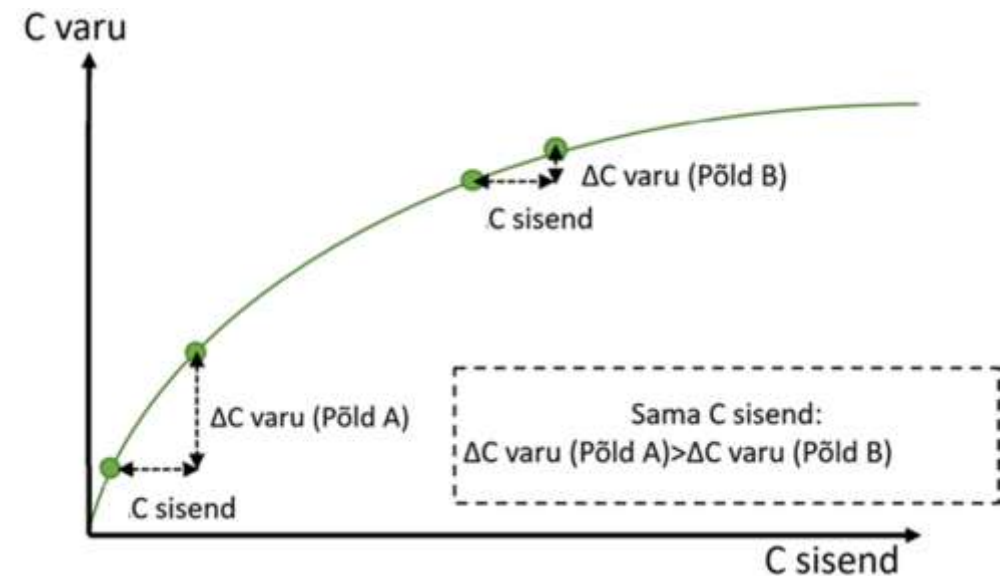
- suureneb mullas labiilsema fraktsiooni osakaal – mulla üldine orgaanilise aine koostis muutub labiilsemaks

50% labiilne + 50% stabiilne

vs

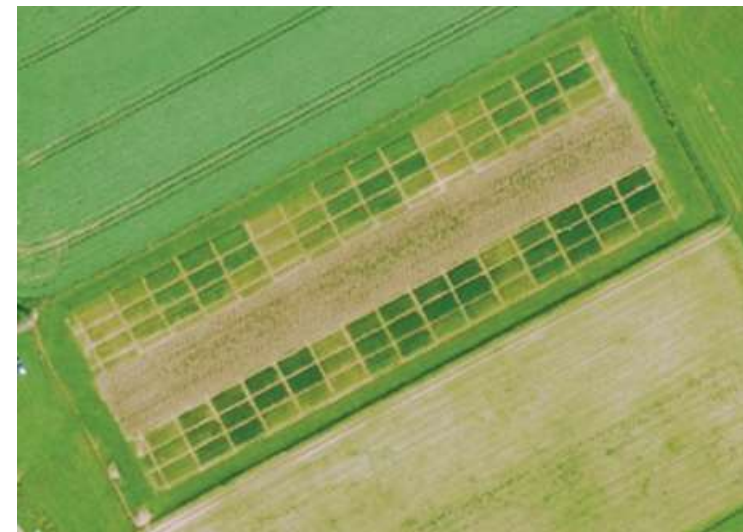
75% labiilne + 25% stabiilne

C sidumine mulda sõltub algsest mulla C_{org} varust

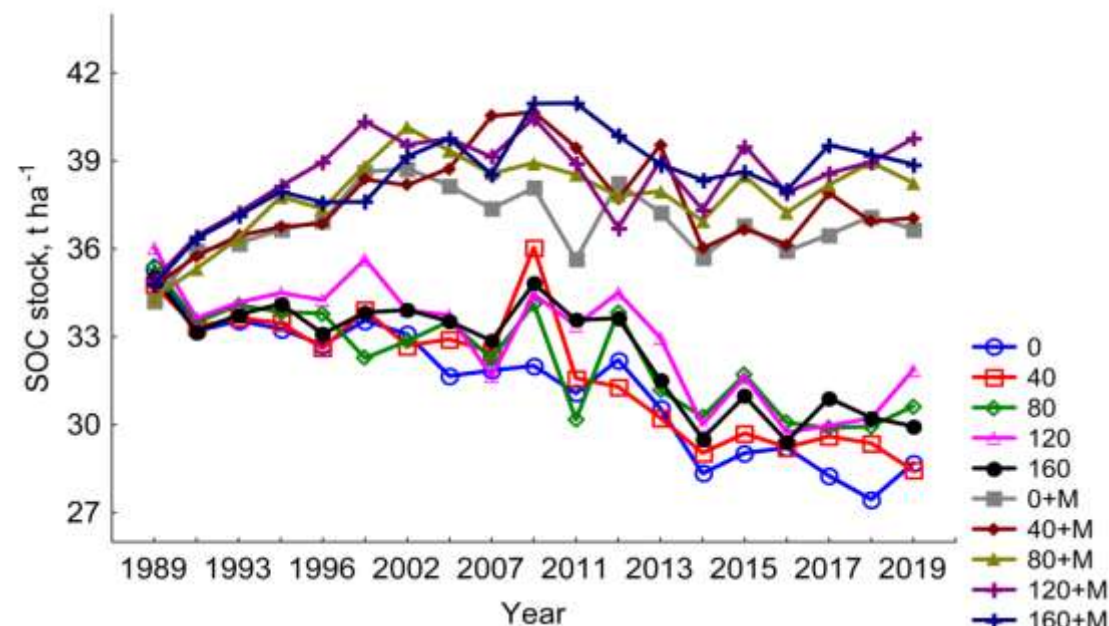


Mulla C varu muutus

- IOSDV katse, rajatud 1989
 - Näivleetunud kerge liivsavi muld (8,3% savi)
 - Külvikord: nisu – oder – kartul (alates 2019 sorgo)
 - Variandid:
 - 0, 40, 80, 120, 160 kg N/ha
 - Ilma orgaanilise väetiseta
 - Tahesõnnik 40 t/ha kartulieelselt
 - Põhk põllult ära
- Usaldusväärsed muutused mulla C_{org} varus on pikaajalised (<5 aastat)
- 10-15 aastaga uus tasakaaluline seisund



EMÜ IOSDV katse 1989–2019 (0–25 cm)





Kuidas mulla C_{org} varu muutust hinnata?

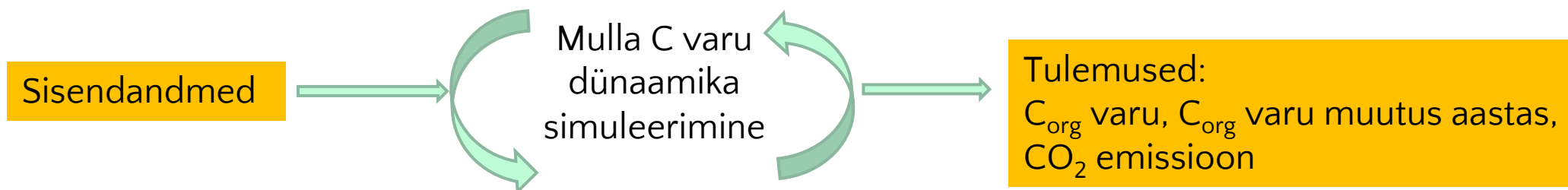
1. võimalus: määra ja määra uuesti 5 aasta pärast

- Töömahukas, aeganõudev ja kulukas

2. võimalus: modelleerimine

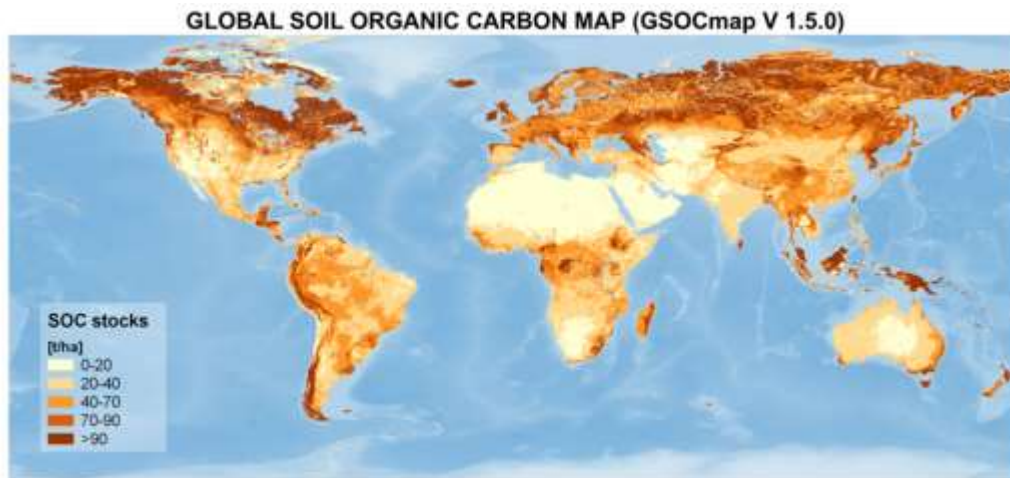
- suund (vähenemine vs suurenemine) ja ulatus (t/ha aastas) ajas
- sõltuvalt erinevatest faktoritest
 - C sisend (põhk ära, põhk mulda)
 - Orgaaniline väetis
 - Harimisviisid
 - Ilmastikutingimused

Roth-C
Yasso
ICBM
Century
C-Tool jne

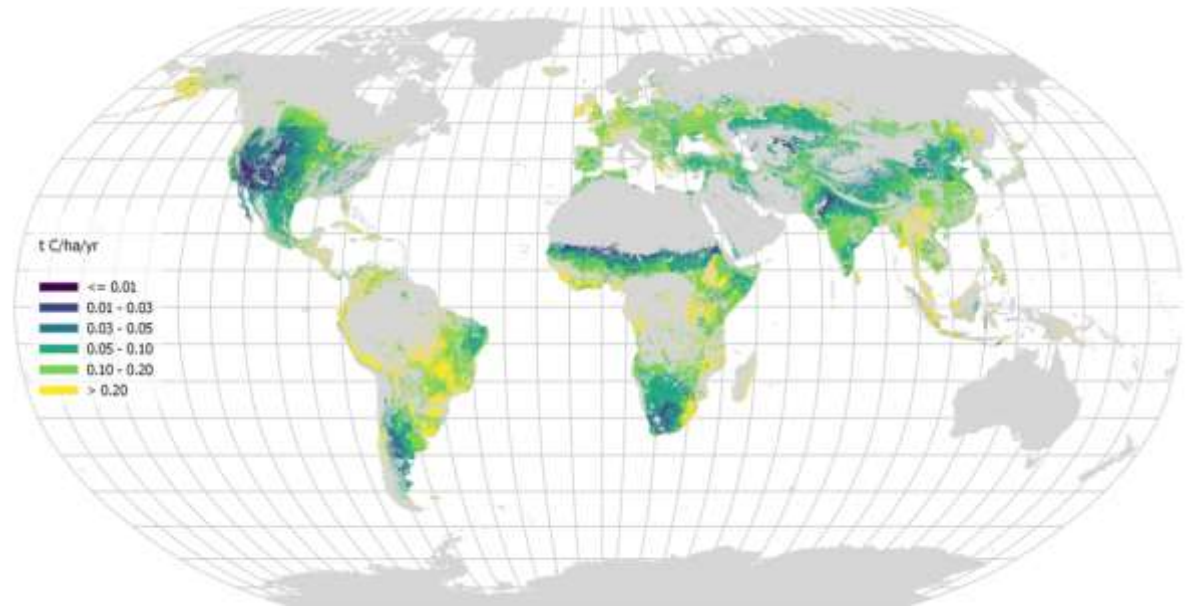


Globaalne C sidumise kaart

- FAO (2022), 1 x 1 km, 0–30 cm
- METK ja EMÜ osalus
- Roth-C
- 2020–2040



<https://data.apps.fao.org/glosis/?lang=en>



Põllumajandusmaa C_{org} varu muutus võrreldes BAU* stsenaariumiga, kui C sisend on 20% suurem, kui BAU-s.

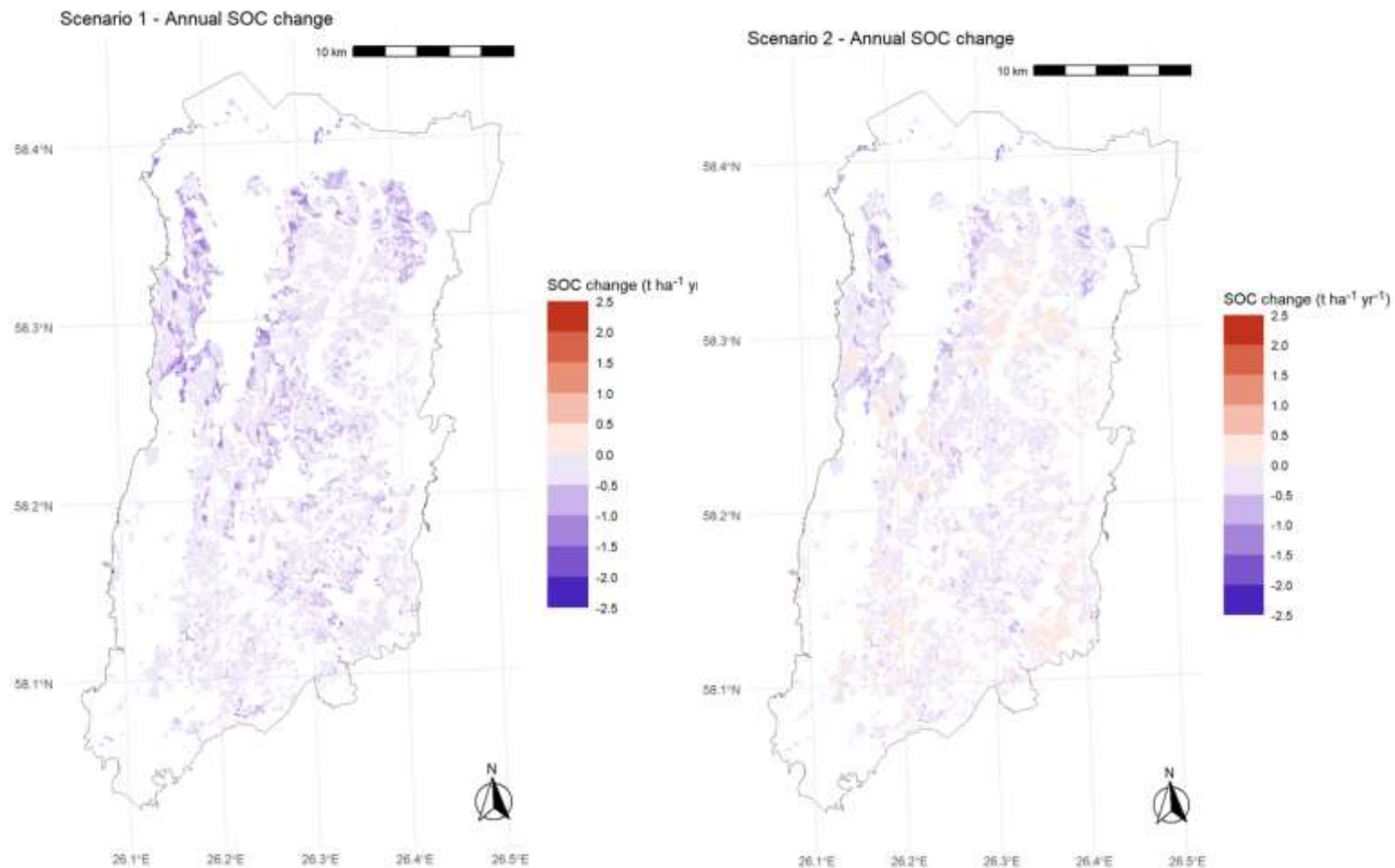
*BAU – business as usual

FAO. 2022. Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map – GSOCseq v.1.1. Technical report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9002en>



Elva valla põllumuldade C varu prognoos*

- Roth-C
- Periood 2020–2040
- Stsenariumid
 - 1. ainult suvine taimkate
 - 2. ainult talvine taimkate



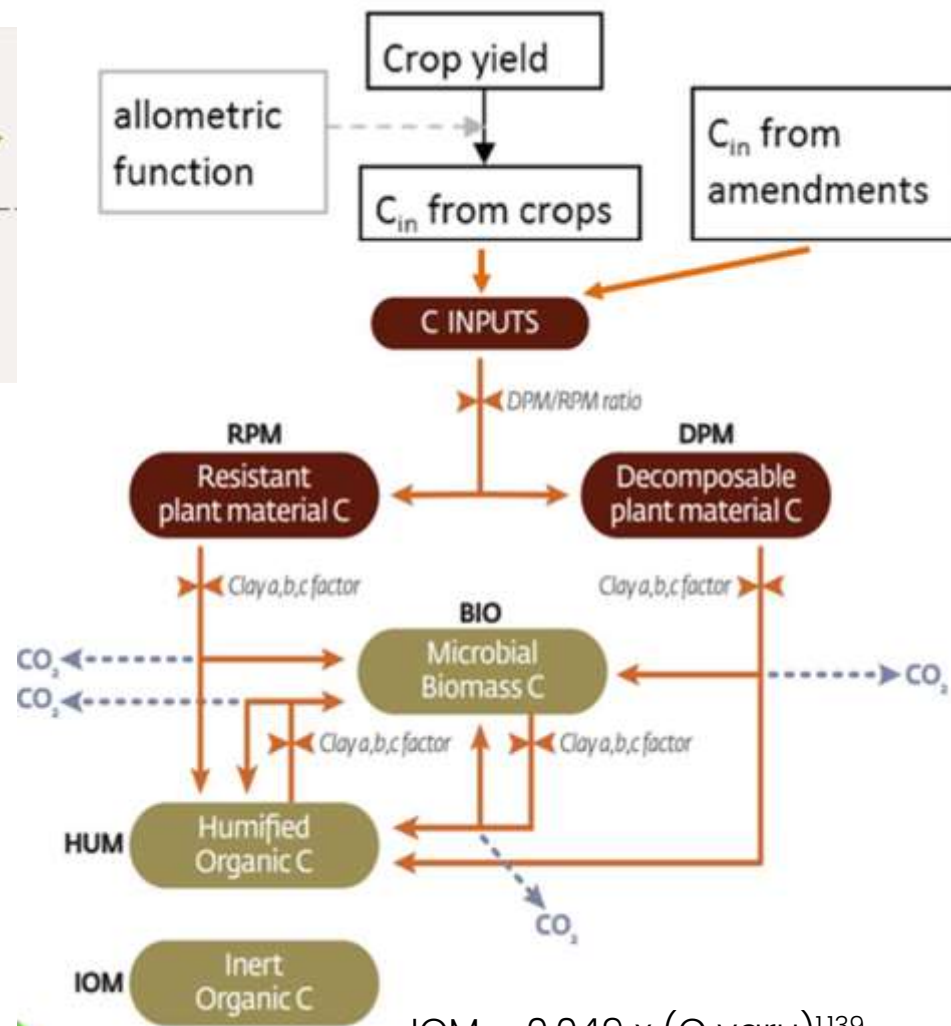
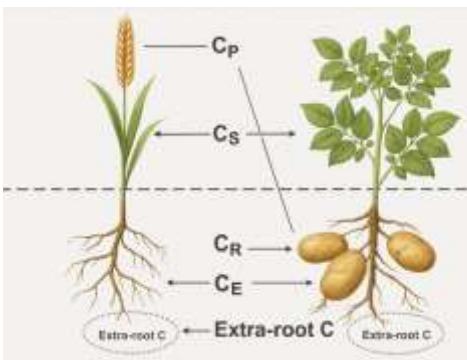
*Horizon 2020 EJP Soil Serena, 2024

Mudeli Roth-C ülesehitus

Sisendandmed

- C sisend (t/ha)
 - Taimejätmetest
 - Orgaanilisest väetisest
- Mullatüsedus (cm)
- Algne C_{org} varu (t/ha)
- Kuu keskmine õhutemperatuur, sademete kogus ja evapotranspiratsioon
- Saviosakeste sisaldus mullas (%)
- Taimkate – (jah/ei)

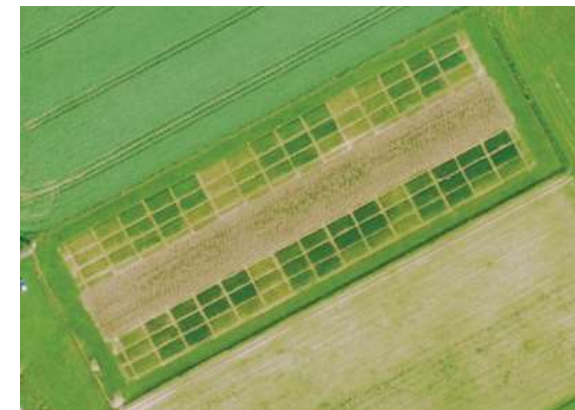
Lagunemist mõjutavad faktorid



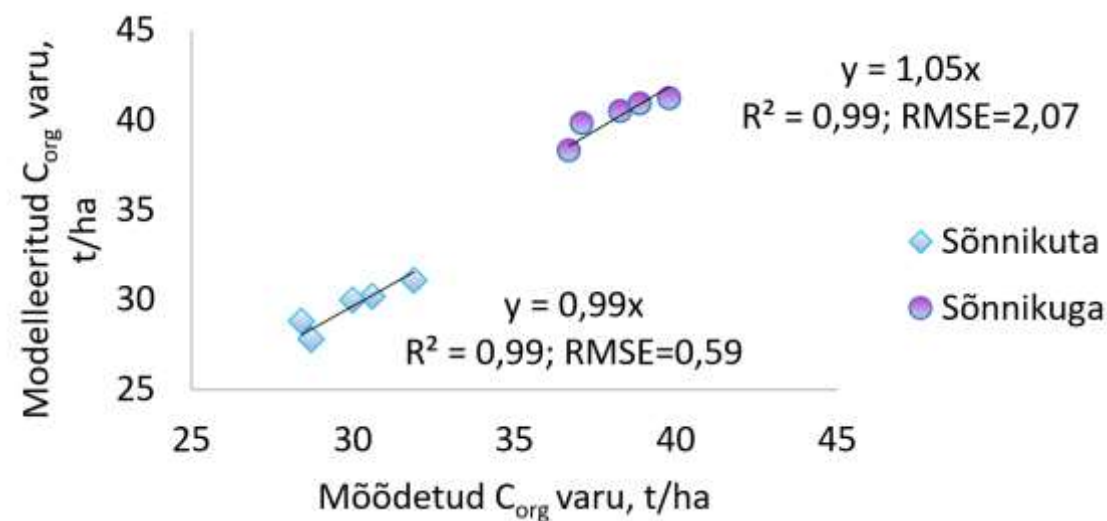
$$IOM = 0,049 \times (C \text{ varu})^{1,139}$$



Mõõdetud vs modelleeritud C_{org} varu muutus 1989–2019 (IOSDV)



Variant	C_{org} varu, t/ha				
	Mõõdetud		RothC	Mõõdetud	
	1989	2019	2019	muutus	RothC
N0	35,3	28,7	27,8	-0,21	-0,24
N40	34,8	28,4	28,8	-0,21	-0,19
N80	35,4	30,6	30,2	-0,15	-0,17
N120	36,0	31,9	31,1	-0,13	-0,16
N160	35,0	30,0	30	-0,16	-0,16
N0+M	34,2	36,7	38,3	0,08	0,13
N40+M	34,7	37,1	39,8	0,07	0,17
N80+M	34,3	38,3	40,5	0,13	0,20
N120+M	34,9	39,8	41,2	0,16	0,20
N160+M	34,8	38,9	40,9	0,13	0,20

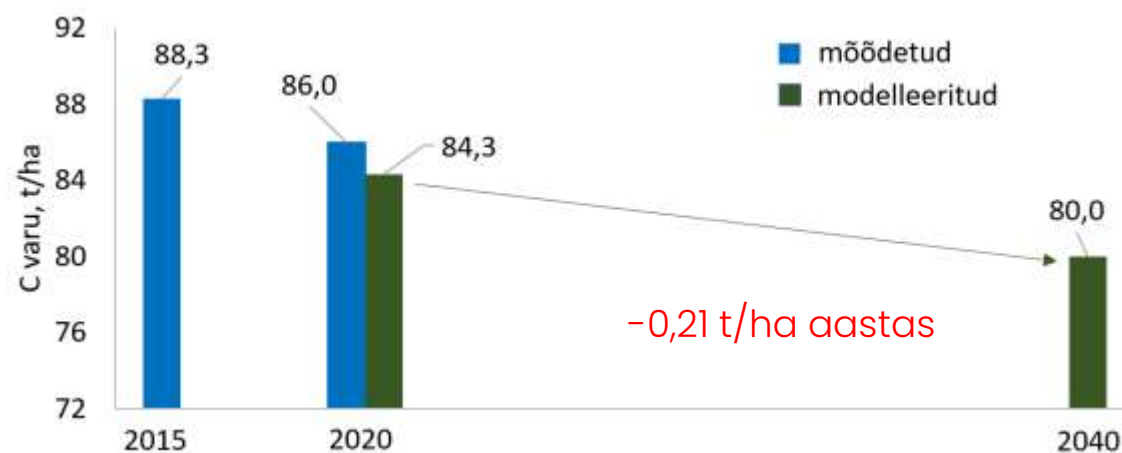
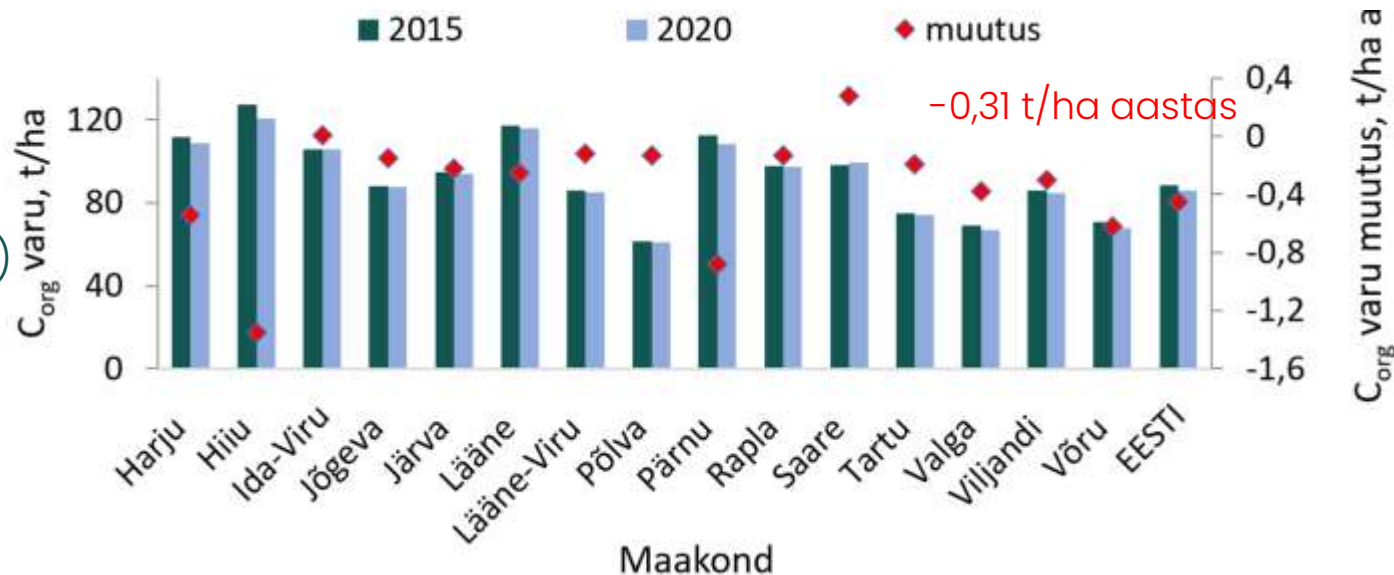


- Mudel ülehindab sõnniku (M) mõju
- Olemasoleva C_{org} varu säilitamiseks oleks piisanud põhu mulda tagastamisest.

Eesti põllumuldade C_{org} varu muutused*



- Periood 2015–2020
- Andmed:
 - C_{org} varu – Panda andmebaas (0–30 cm)
- 2 proovivõturingi
 - Algseis: 2014–2017 → 2015
 - Lõppseis: 2017–2021 → 2020
- Prognoos: 2020–2040
 - Mudel RothC
 - Ilmastik – Keskkonnaagentuur
 - C sisend – statistikaamet, maakonniti
 - Kultuuride saagid
 - Loomade/lindude arv
 - Valideerimine 2015–2020
 - $R^2=0,9997$ ($n=16$); $RMSE=3,03$

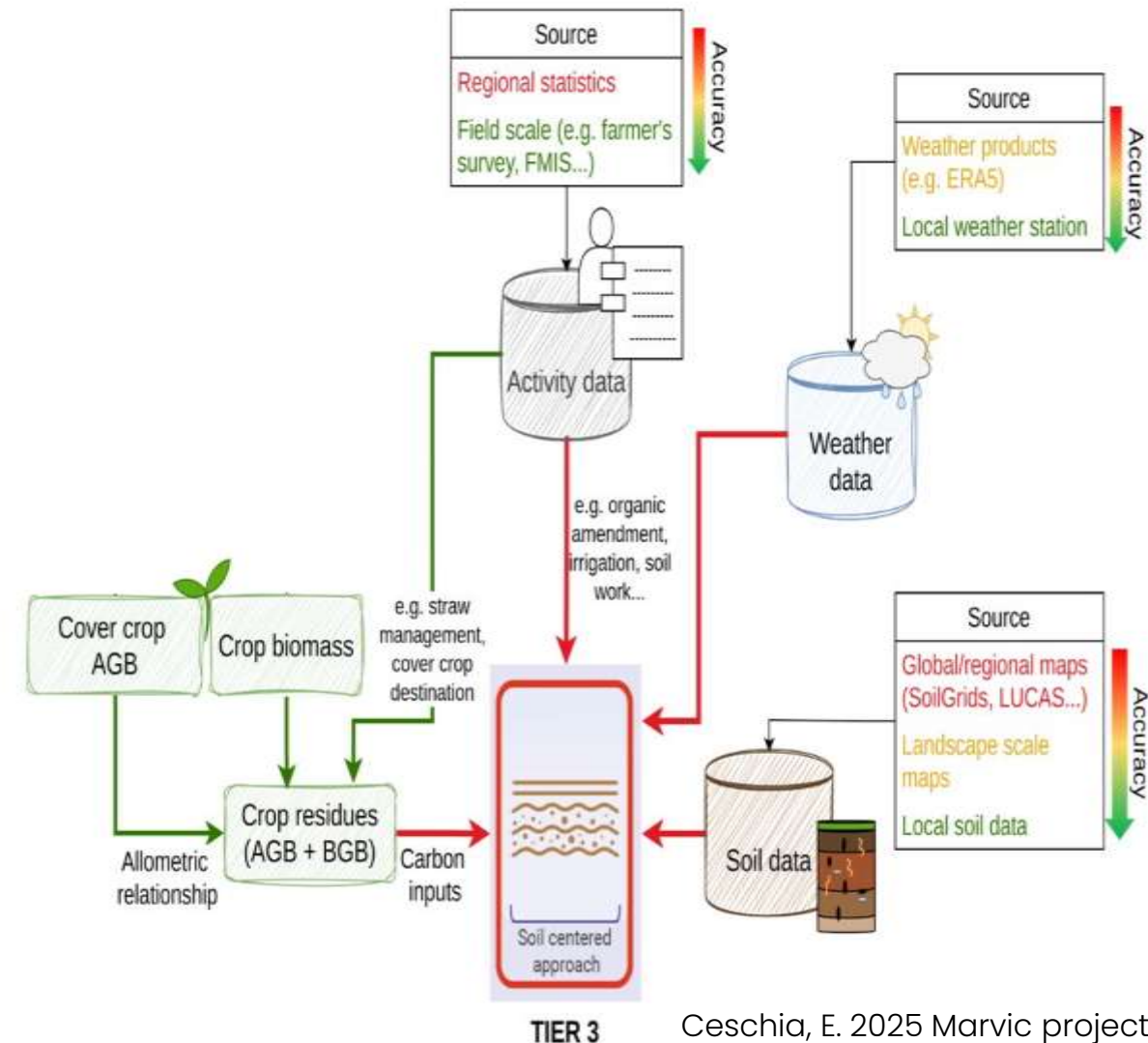


*Eesti Keskkonnauuringute Keskus tellitud aruanne, 2022



Sisendandmete vajadus Roth-C prognoosimudeli rakendamiseks

Näitajad	Andmeallikas hetkel	Alternatiiv / märkus
Temperatuur Sademed	Keskkonnaagentuurist	Koordinaatvõrgustikul põhinevad meteoroloogilised andmed
Evapotranspiratsioon	Arvutatakse ilmastikunäitajatest (FAO/Penman)	
Algne C _{org} varu	Eesti põllumuldade C _{org} varu kaardikiht	Arendus MUL22 projektis
Savisisaldus	Mullastikukaart / Savisisalduse kiht	
Taimestikuga kaetus	Ekspert hinnang (suvi/taliviljad)	E-Põlluraamat; Kaugseire (NDVI, GVI, LAI ...)
Taimejäätmed (põhk!)	Statistikaamet (PM0281)	E-põlluraamat; Kaugseire + MIAMI mudel
Orgaanilised väetised	Statistikaamet (PM091)	E-põlluraamat



Ceschia, E. 2025 Marvic project



emu.ee



maaylikool



maaylikool



AITÄH!