



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa investeringud
maapiirkondadesse

Mulla orgaanilise süsinikuvaru suurendamine (soodustavad praktikad põllumajanduses)

Karin Kauer

Vanemteadur, PhD

Mullateaduse õppetool

Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda

Infopäev

„Loomakasvatust mõjutavad kliimapolitika arengud“

7. oktoober 2021

Süsinikupõllundus

- Mulla viljakus on seotud mulla orgaaniline ainega, mis sisaldab keskmiselt 58% C.
 - Mulla orgaaniline aine mõjutab mulla omadusi (agregaatide stabiilsust, struktuursust, lasuvustihedust, veehoiuvõimet, toitainete ringlust, katioonide neelamismahutavust, puhverdusvõimet jms).
- Mulla C varu muutuse kaudu on võimalik hinnata CO₂ emissiooni :

$$\text{C varu muutus} * 3,67 (44/12) = \text{CO}_2 \text{ emissioon}$$

- Süsinikupõllunduse (ingl. *carbon farming*) eesmärk suunata põllumajandustootjaid rakendama praktikaid, mis aitavad atmosfääri süsihappegaasi (CO₂) taimede vahendusel mulla püsiva orgaanilise aine koostisse siduda.

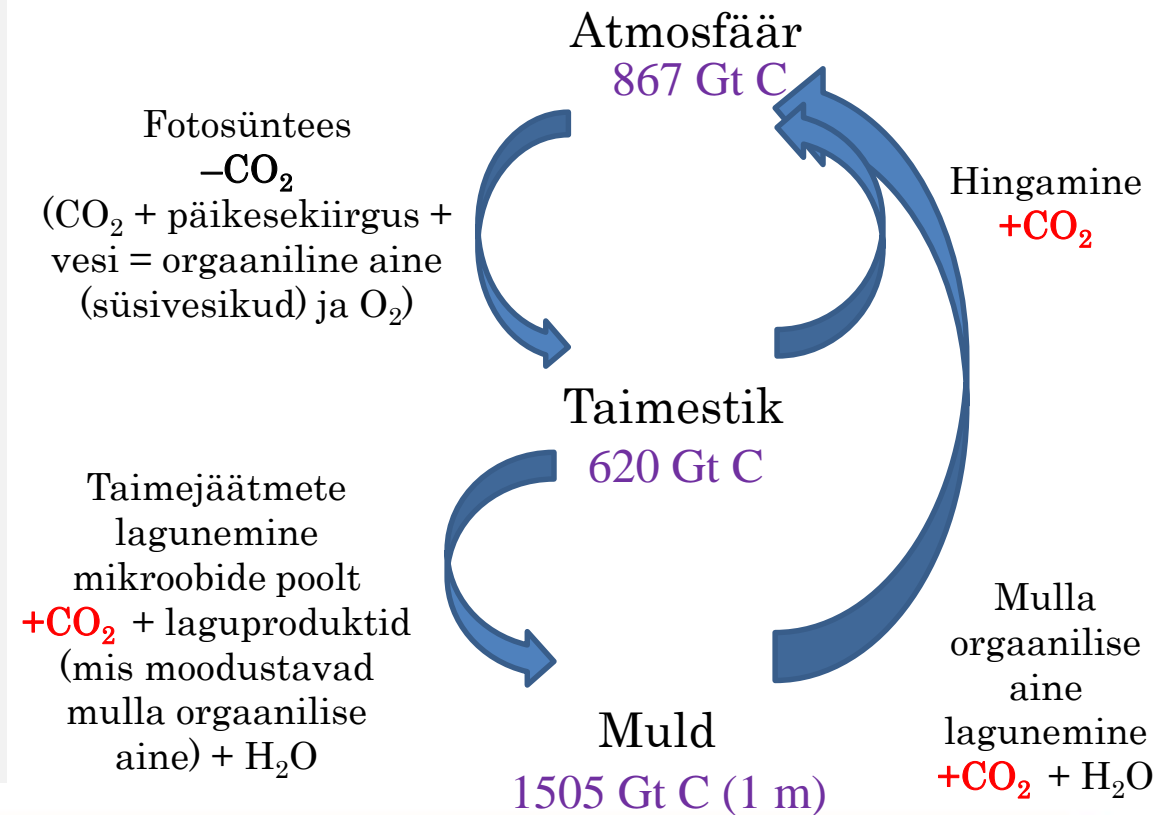
$$\text{mullaviljakus} = \text{saagikus} = \text{lisaboonus}$$

- C sidumise käigus paraneb ka mulla üldine tervis ja kvaliteet.

Mulla orgaaniline aine

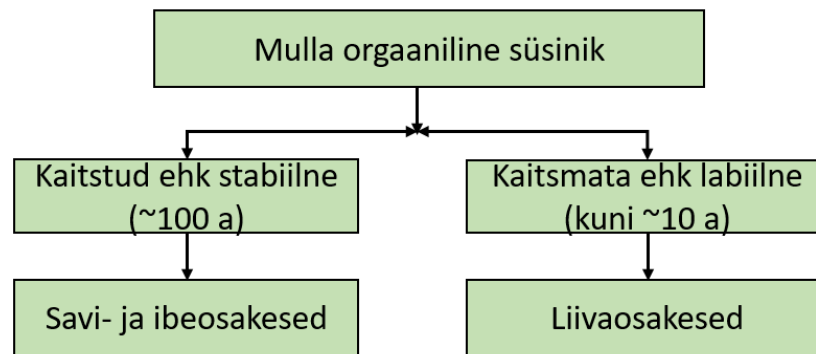
- Igal aastal seotakse 30% atmosfääris olevast CO₂ fotosünteesi kaudu taimedesse.
- Muld on suurim C siduja/talletaja (C varu) või kui CO₂ allikas.
- Väike muutus C varus avaldab suurt mõju CO₂ kontsentratsioonile atmosfääris.
- Mullad on kaotanud 30-50% (135 Gt) oma esialgsest süsinikuvarust
 - nt 40-50 t C ha⁻¹ algsetelt rohumaadelt (1 m mullakihist)
- Suur potentsiaal C sidumiseks (Rattar Lal, 2018)
 - 1,45-3,44 Gt C aastas
 - põllumaad: 0,25-0,75 t C ha⁻¹ a⁻¹
 - rohumaad: 0,1-0,17 t C ha⁻¹ a⁻¹

Muld on oluline komponent maismaa C ringluses



Mulla süsinikuvaru

- Tasakaal mulda mineva ja ära lagunenenud mulla orgaanilise aine vahel.
- Kui mulda mineva orgaanilise aine kogus on suurem ära lagunenenud orgaanilise aine kogusest, siis süsinikubilanss on **positiivne**.
- Seega, mulla süsinikuvaru suurendamiseks on 2 (või 3?) võimalust:
 - Suurendada mulda mineva orgaanilise aine kogust
 - Pärssida mulla orgaanilise aine lagunemist
 - suurendada *C* stabiliseerumist mullas



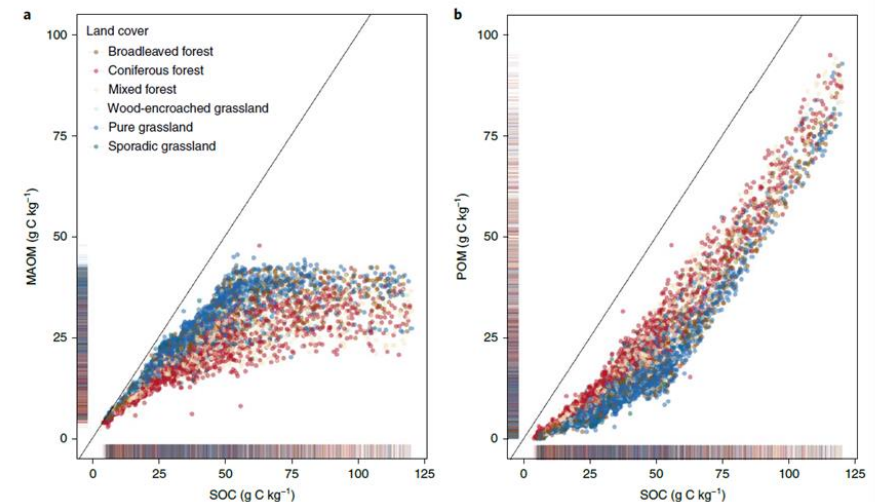
Stabiilselt seotakse C savi- ja ibeosakeste külge;
Stabiliseerumiseefektiivsus väheneb, kui orgaanilise aine sidumiseks vaba pinda on savi- ja ibeosakestel vähe – muld läheneb küllastumisele.

Igal mullal on talle omane C sidumis/hoiuvõime!

7. okt. 2021 K. Kauer

Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter

M. Francesca Cotrufo^{1*}, Maria Giovanna Ranalli², Michelle L. Haddix¹, Johan Six³ and Emanuele Lugato⁴



MAOM (mineral associated organic matter) – stabiilne;
POM (particulate organic matter) – labiilne

Süsinikusisendi suurendamine

- Mida suurem on põllukultuuri saagikus, seda suurem on teatud piirini taimejätmete näol tagastatav süsinikusisend
 - Saagikust saab tõsta väetamisega, kuid mineraalsed väetised võivad soodustada orgaaniline aine lagunemist
 - Limiteerivad toitained vähendavad saaki ja C sidumist mulda (C sidumiseefektiivsus väheneb)
- Orgaanilised väetised
 - Taimejätmed (juured, põhk, vahekultuurid, haljasväetised) (40-45% C)
 - Sõnnik, kompost, digestaat (8-40% C)
- Biosüsi (kuni 80% C)



Image by Kondor83



Foto: Karin Kauer

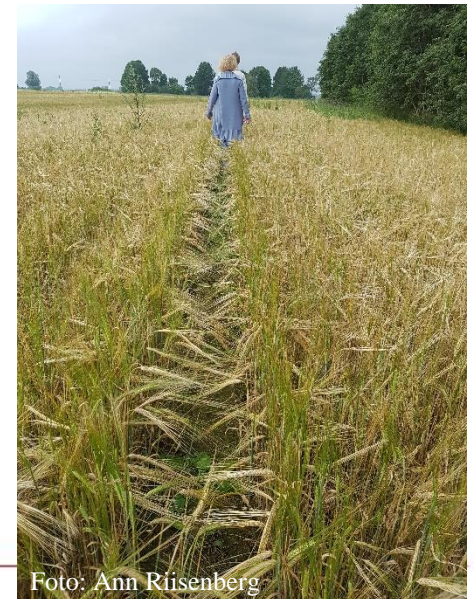
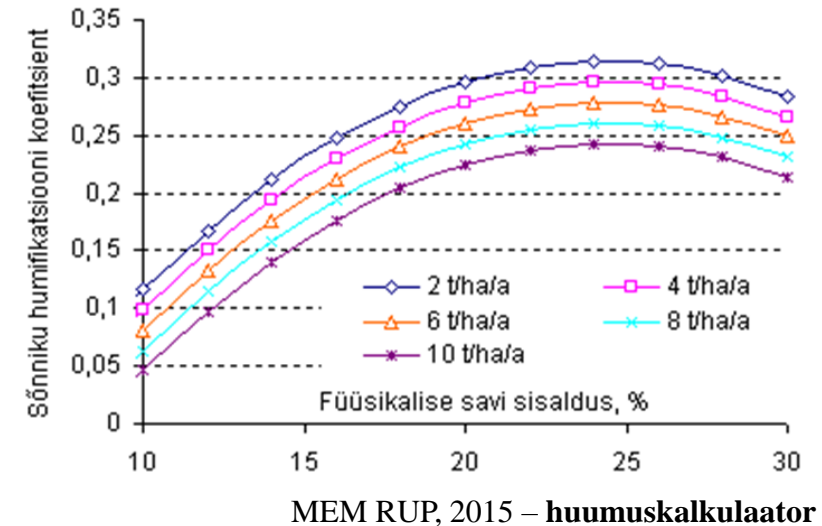


Foto: Ann Rüsenberg

www.emu.ee

C mulda sidumise efektiivsus (humifikatsioonikoefitsient)

- Näitab, kui palju mulda viidud C-st mulda seotakse.
- Sõltub mulda viidava orgaanilise aine omadustest (N sisaldus, C/N), kogusest, mullaomadustest (lõimis, niiskusrežiim, algne C varu) ja keskkonnatingimustest.
- C sisendi päritolu:
 - Taimejätmed (taimejuured, sh põhk), vahekultuurid: -11 kuni 64%
 - Sõnnik: kuni 30% (Henin & Dupuis, 1945); 5 kuni 38% (MEM RUP, 2015 - huumuskalkulaator)
- Liigniisketes tingimustes toimub orgaanilise aine kuhjumine; muldade kuivendamine soodustab lagunemist
 - Püsirohumaade rajamine (kuivendatud turvas ja/või turvastunud muldadega põldudele harimisintensiivsuse vähendamiseks ja mulla orgaanilise aine lagunemise pärssimiseks).

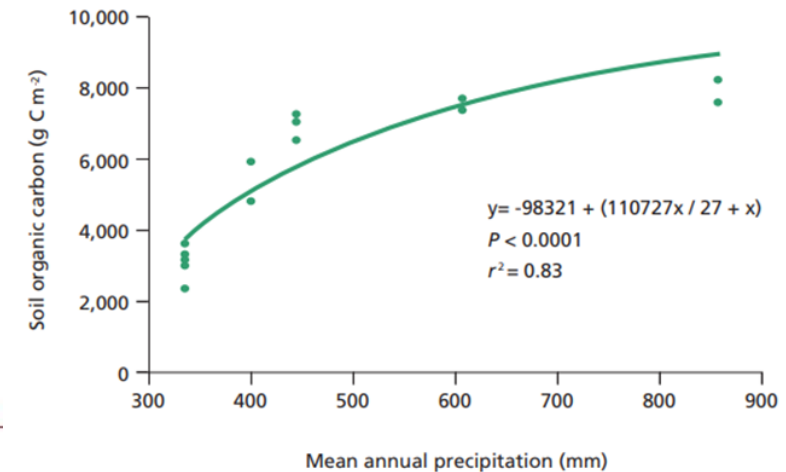
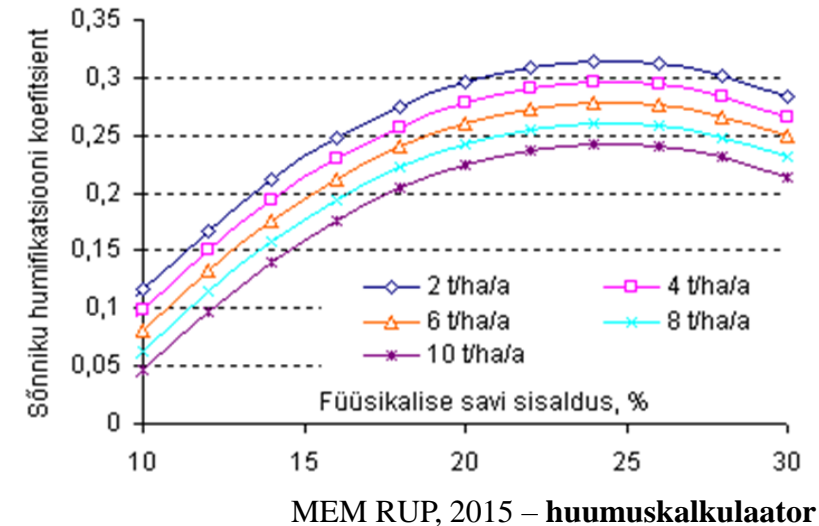


C mulda sidumise efektiivsus (humifikatsioonikoefitsient)

- Näitab, kui palju mulda viidud C-st mulda seotakse.
- Sõltub mulda viidava orgaanilise aine omadustest (N sisaldus, C/N), kogusest, mullaomadustest (lõimis, niiskusrežiim, algne C varu) ja keskkonnatingimustest.
- C sisendi päritolu:
 - Taimejätmed (taimejuured, sh põhk), vahekultuurid: -11 kuni 64%
 - Sõnnik: kuni 30% (Henin & Dupuis, 1945); 5 kuni 38% (MEM RUP, 2015 - huumuskalkulaator)
- Liigniisketes tingimustes toimub orgaanilise aine kuhjumine; muldade kuivendamine soodustab lagunemist
 - Püsirohumaade rajamine (kuivendatud turvas ja/või turvastunud muldadega põldudele harimisintensiivsuse vähendamiseks ja mulla orgaanilise aine lagunemise pärssimiseks).
- Minimaalne C sisend

$$C_{\text{sisend_min}} = C_{\text{varu_alg}} \times (0,016 - 0,00035 \times \text{savi} + 0,0025 \times \text{temp} + 0,042 \times \text{sademed} - 0,0023 \times \text{temp} \times \text{sademed}) = \mathbf{1,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}} \text{ (Wang et al. 2016)}$$

C varu_{alg}: 40,6 t ha⁻¹ ; savi: 9,5%; temp: 6,4 °C; sademed: 0,662 m



Sources: Soil organic carbon pools to 30 cm depth across a mean annual precipitation gradient in the North American Great Plains.

Sõnnik

- Veeseadusega kehtestatud nõuded!
 - orgaaniliste väetistega antavad N ja P kogused ei tohi aastas ületada 170 ja 25 kg ha⁻¹ a⁻¹ (viie aasta keskmisena), vastavalt.
- Suurema kuivaine sisaldusega tahesõnnik suurendab süsinikuvaru rohkem, sest mulda viiakse rohkem süsiniku võrreldes vedelsõnnikuga
 - **Vedelsõnnik:** nt. 5,9% KA, 42% C kuivaines; N sisaldus 4,74 kg m⁻³) on võimalik põllule viia **0,89 t C ha⁻¹ a⁻¹** (laotusnorm 36 m³ ha⁻¹ a⁻¹).
 - **Tahesõnnik:** nt 20,3% KA, 42% C kuivaines; N sisaldus 4,36 kg t⁻¹) on võimalik mulda viia keskmiselt **3,3 t C ha⁻¹ a⁻¹** (laotamisnorm 39 t ha⁻¹ a⁻¹).

Sõnnikunorm, t ha ⁻¹ a ⁻¹	Periood aastates	C varu muutus, t ha ⁻¹ a ⁻¹	Allikas
15	69	0,13-0,30	Poulton et al. 2018
25	18	0,40	Poulton et al. 2018
30	23	0,21	Taghizadeh-Toosi et al. 2016



Foto: Karin Kauer

Vahekultuurid

- Kasvatatakse kahe põhikultuuri vahel
 - kevadel talivilja eelselt
 - põhikultuuri järgselt (hilissügisene või kevadine sissekünd = talvine taimkate)
 - Nt: kesaredis, valge sinep, keerispea, tatar, talivikk, talirüps, talirukis (Liina Talgre, Enn Lauringson, EMÜ)
- Vahekultuuride biomass sõltuvalt kultuurist 1,3-3,3 t ha⁻¹ (Merili Toom doktoritöö 2021)
 - mulda võimalik viia 0,52-1,32 t ha⁻¹ (eeldusel, et 40% C)
- C varu suurenes keskmiselt
 - 0,31 t ha⁻¹ a⁻¹ (Poeplau & Don 2015)
 - 0,19–0,75 t ha⁻¹ a⁻¹ (Poulton et al. 2018).
- Leitud ka, et C varu vähenes -0,55 t ha⁻¹ a⁻¹ (Poulton et al. 2018)
 - *Priming effect*
- Lisaks vahekultuurid
 - Aitavad vähendada toitainete leostumist, mullaerosiooni ja umbrohutumist
 - Parandavad mullastruktuursust
 - Võivad põhjustada N₂O emissiooni mullast (eriti liblikõielised)

Keerispea põld



Bianca Mikovit, Delfi/Eesti Ajalehed

EMÜ mahe- ja tavaviljeluse võrdluskatse

- Rajatud 2008. aastal
- Külvikord: oder ristiku allakülviga-ristik-talinisu-hernes-kartul
- Näivleetunud muld, kerge liivsavi
- Algne C varu 44,9–52,6 t ha⁻¹ (0–25 cm kihis)



Foto: Indrek Keres

Variant	C varu, t ha ⁻¹		C sisend, t ha ⁻¹ a ⁻¹		C varu muutus, t ha ⁻¹ a ⁻¹	
	2008	2018	2008–2018	2008–2013	2013–2018	2008–2018
N0 - N ₀ P ₀ K ₀	46,6	47,2	3,1			0,06
N1 - N ₄₀₋₅₀ P ₂₅ K ₉₅	51,1	53,4	3,9			0,23
N2 - N ₈₀₋₁₀₀ P ₂₅ K ₉₅	51,5	50,9	3,8			-0,06
N3 - N ₁₂₀₋₁₅₀ P ₂₅ K ₉₅	51,4	50,1	3,8			-0,13
M0 - N ₀ P ₀ K ₀	-	52,7	3,2			-
M1 (vahekultuurid)	52,6	53,7	3,8			0,11
M2 (vahekultuurid+S)	44,9	57,5	4,2			1,26

M2 variant: komposteeritud sõnniku (S) norm 40 t ha⁻¹ külvikorras ehk 40/5=8 t ha⁻¹ a⁻¹

Vahekultuurid: rukki/talirapsi/(keerispea) segu (pärast talinisu); talirüps/(keerispea) (pärast hernes); rukis (pärast kartulit)

Kauer et al. 2021

EMÜ mahe- ja tavaviljeluse võrdluskatse

- Rajatud 2008. aastal
- Külvikord: oder ristiku allakülviga-ristik-talinisu-hernes-kartul
- Näivleetunud muld, kerge liivsavi
- Algne C varu 44,9–52,6 t ha⁻¹ (0–25 cm kihis)



Foto: Indrek Keres

Variant	C varu, t ha ⁻¹		C sisend, t ha ⁻¹ a ⁻¹	C varu muutus, t ha ⁻¹ a ⁻¹		
	2008	2018	2008–2018	2008–2013	2013–2018	2008–2018
N0 - N ₀ P ₀ K ₀	46,6	47,2	3,1	0,08	0,04	0,06
N1 - N ₄₀₋₅₀ P ₂₅ K ₉₅	51,1	53,4	3,9	-0,25	0,71	0,23
N2 - N ₈₀₋₁₀₀ P ₂₅ K ₉₅	51,5	50,9	3,8	-0,47	0,34	-0,06
N3 - N ₁₂₀₋₁₅₀ P ₂₅ K ₉₅	51,4	50,1	3,8	0,20	-0,23	-0,13
M0 - N ₀ P ₀ K ₀	-	52,7	3,2	-	-0,84	-
M1 (vahekultuurid)	52,6	53,7	3,8	0,91	-0,70	0,11
M2 (vahekultuurid+S)	44,9	57,5	4,2	2,73	-0,21	1,26

M2 variant: komposteeritud sõnniku (S) norm 40 t ha⁻¹ külvikorras ehk 40/5=8 t ha⁻¹ a⁻¹

Vahekultuurid: rukki/talirapsi/(keerispea) segu (pärast talinisu); talirüps/(keerispea) (pärast hernes); rukis (pärast kartulit)

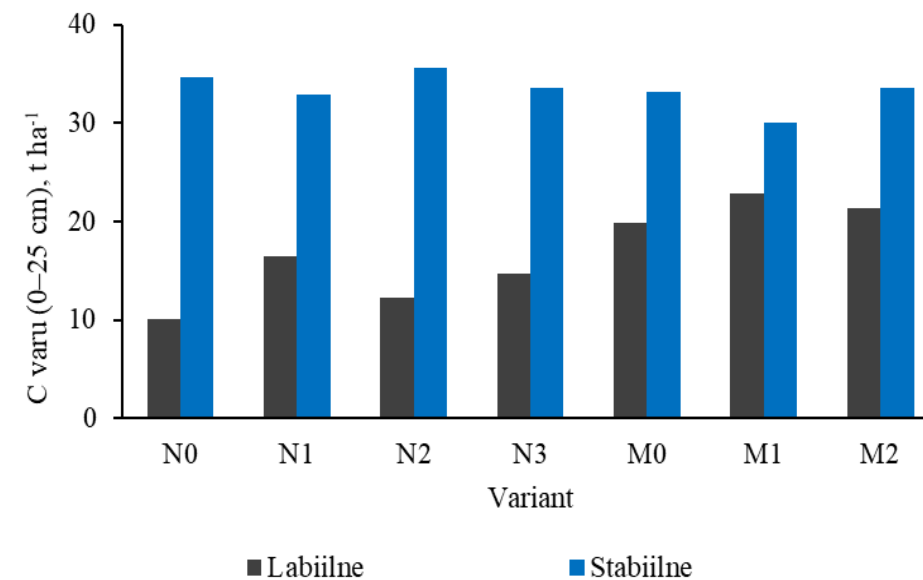
Kauer et al. 2021

EMÜ mahe- ja tavaviljeluse võrdluskatse

- Rajatud 2008. aastal
- Külvikord: oder ristiku allakülviga-ristik-talinisu-hernes-kartul
- Näivleetunud muld, kerge liivsavi
- Algne C varu 44,9–52,6 t ha⁻¹ (0–25 cm kihis)



Variant	C varu, t ha ⁻¹		C sisend, t ha ⁻¹ a ⁻¹		C varu muutus, t ha ⁻¹ a ⁻¹	
	2008	2018	2008–2018	2008–2013	2013–2018	2008–2018
N0 - N ₀ P ₀ K ₀	46,6	47,2	3,1	0,08	0,04	0,06
N1 - N ₄₀₋₅₀ P ₂₅ K ₉₅	51,1	53,4	3,9	-0,25	0,71	0,23
N2 - N ₈₀₋₁₀₀ P ₂₅ K ₉₅	51,5	50,9	3,8	-0,47	0,34	-0,06
N3 - N ₁₂₀₋₁₅₀ P ₂₅ K ₉₅	51,4	50,1	3,8	0,20	-0,23	-0,13
M0 - N ₀ P ₀ K ₀	-	52,7	3,2	-	-0,84	-
M1 (vahekultuurid)	52,6	53,7	3,8	0,91	-0,70	0,11
M2 (vahekultuurid+S)	44,9	57,5	4,2	2,73	-0,21	1,26



C varust

- 31–42% seotud stabiilselt; 30,0–35,6 t ha⁻¹
- 58–69% seotud labiilselt; 10,1–22,9 t ha⁻¹

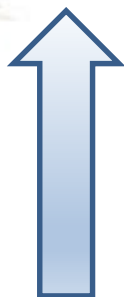
M2 variant: komposteeritud sõnniku (S) norm 40 t ha⁻¹ külvikorras ehk 40/5=8 t ha⁻¹ a⁻¹

Vahekultuurid: rukki/talirapsi/(keerispea) segu (pärast talinisu); talirüps/(keerispea) (pärast hernes); rukis (pärast kartulit)

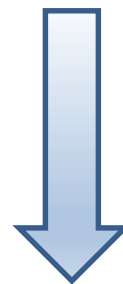
Kauer et al. 2021

Mitmekesisemad külvikorrad

- Viljavahelduse (kultuuride ajaline vaheldumine põllul; üksikpõllu külvikord) järgimine

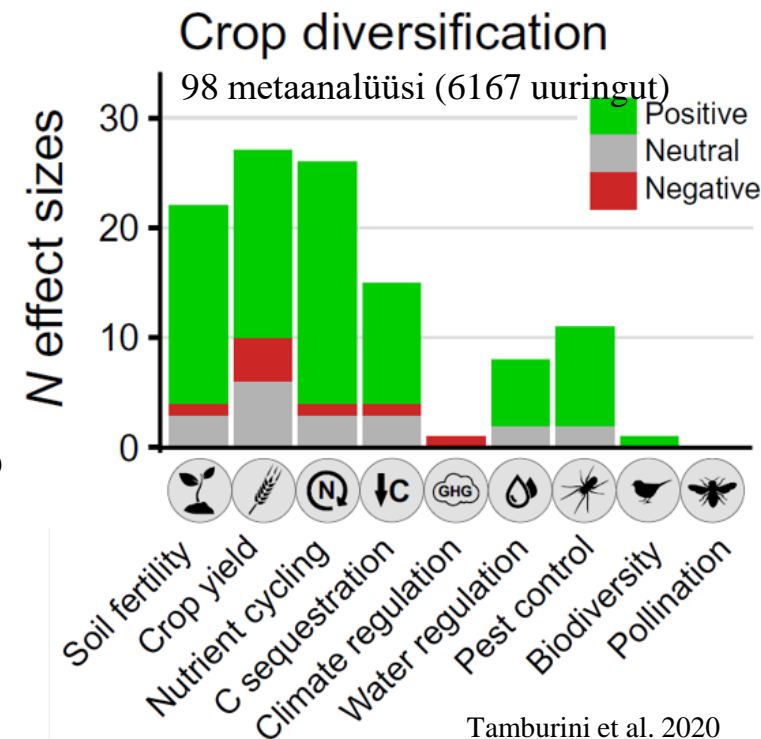


mulla struktuursus
taimede varustus toitainete ja veega
bioloogiline mitmekesisus
saagikindlus
toitainete kasutamiseefektiivsus



taimehaiguste ja kahjurite levik
umbrohtude arvukus
saagiikalduse risk
erosioon

- Parem kasvutingimus taimedele suurendavad saagikust ja seeläbi mulda mineva C sisendit.
- Saagikus suureneb
 - kuni 13% (Abdalla et al., 2019); mediaanväärtusena +14% (Beillouin et al. 2020)
- tava- ja maheviljeluse tingitud saagikuse erinevus vähenes kuni 8%-ni (algelt 19%) (Poisio et al., 2015)
- Suurem rohumaade osakaal külvikorras
 - Harimisintensiivsus ja mulla orgaanilise aine lagunemine väheneb
 - Suurem C sisend
 - Eelistada liblikõieliste-kõrrelistega taimikuid, et vältida leostumise riski ja N₂O emissiooni.



Erinevate orgaaniliste väetiste prognoositud mõju

Töövahendiks EMÜ-s väljatöötatud **huumuskalkulaator** (MS Excel baasil) - mineraalmuldade C bilansi ja varu arvutamiseks. Lähteandmetena on vaja sisestada huumuskihi tusedus, C_{org} kontsentratsioon, mulla lõimis, kultuuri valik, põhisaagi suurus ning väetamise andmed. Leitav siit: <https://pk.emu.ee/struktuur/mullateadus/teadustoo/mullakalkulaatorid/>

	C sisendid erinevatest allikatest, t C ha ⁻¹ a ⁻¹						C sisend kokku, t ha ⁻¹ a ⁻¹	C varu muutus, t ha ⁻¹ a ⁻¹
	Juured	Põhk	Vahe- kultuurid	Sõnnik	Vedel- sõnnik	Digestaat		
-põhk	1,0						1,0	-0,21
+põhk	1,0	2,3					3,3	-0,07
+sõnnik	1,0			3,3			4,3	0,51
+vedelsõnnik	1,0				0,89		1,9	0,04
+digestaat	1,0					0,98	2,0	0,12
+põhk+sõnnik	1,0	2,3		3,3			6,6	0,65
+vahekultuurid	1,0		1,0				1,9	-0,17
+põhk+vahekultuurid	1,0	2,3	1,0				4,2	-0,02
+põhk+vahekultuurid+sõnnik	1,0	2,3	1,0	3,3			7,5	0,69

Nisusaak: 3,4 t ha⁻¹ (Statistikaamet, 2017).

Muld: kerge liivsavi, 1,15% C, C varu 51,1 t ha⁻¹ (0-30 cm)

Vahekultuuri NPP: 2,0 t ha⁻¹; sõnniku laotusnorm: 39 t ha⁻¹; vedelsõnniku laotusnorm: 36 t ha⁻¹; digestaadi laotusnorm: 44 t ha⁻¹

Erinevate 5-väljaliste külvikordade mõju prognoositud C varu muutusele

Agrotehnilised tegevused	Prognoositud C _{org} varu muutus, t ha ⁻¹ a ⁻¹		
	Talinisu-taliraps- <i>talini</i> su-suvioder- hernes	Talinisu-taliraps- <i>ristik</i> -suvioder- hernes	Talinisu-taliraps- <i>talini</i> su-suvioder- <i>mustkesa</i>
Põhk viiakse põllult ära	-0,17	0,12	-0,21
Põhk küntakse mulda	-0,07	0,19	-0,10
Põhk küntakse mulda ja kasvatatakse vahekultuure suviotra järgselt	-0,06	0,20	-0,09
Põhk küntakse mulda ja tehakse allakülv suviotra eelselt	-0,04	0,22	-0,08
Põhk küntakse mulda ja antakse sõnnikut (40 t ha ⁻¹) talirapsi järgselt	0,07	0,33	0,04
Põhk küntakse mulda ja antakse sõnnikut (40 t ha ⁻¹) talirapsi ja suviotra järgselt	0,22	0,47	0,18

Valgepea, M., Raudsaar, M., Karu, H., Suursild, E., Pärt, E., Sims, A., Kauer, K., Astover, A., Maasik, M., Vaasa, A., Kaimre, P. 2021. Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse sektori sidumisvõimekuse analüüs kuni aastani 2050. Keskkonnaagentuur, Eesti Maaülikool. 164 lk.

Minimeeritud harimine

- Haritakse 10...18 cm sügavuselt
- Pärsib mulla orgaanilise aine lagunemist (eriti pindmises kihis)
- Sügaval kihis võib lagunemine jätkuda
- Mõju võib puududa
 - kui algselt on muld suure C varuga (orgaanilise ainega küllastunud)
 - kehvematest seemne idanemistingimustest tingitud saagikus väheneb (C sisend väheneb)
- Mõju võib olla suurem
 - kui rakendatakse mitmekesist külvikorda
 - kuivamates piirkondades, Põhja-Euroopas ei pruugi positiivne mõju avalduda
- Teatud aastate järel tuleks rakendada sügavkündi, et viia orgaanilise aine rikas pindmine kiht mullaprofiilis allapoole.

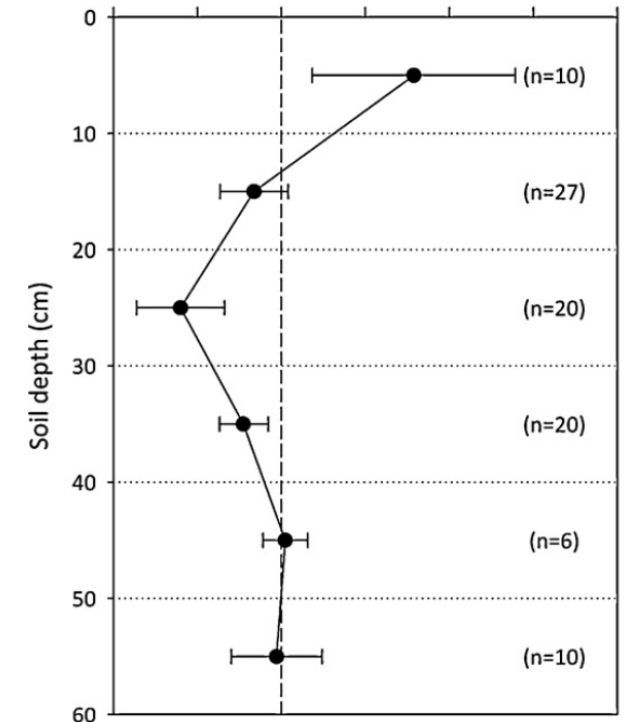


<https://precisionagriculture.no-tillage-farming>



Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils?
A meta-analysis of paired experiments

Zhongkui Luo^{a,b}, Enli Wang^{b,*}, Osbert J. Sun^c



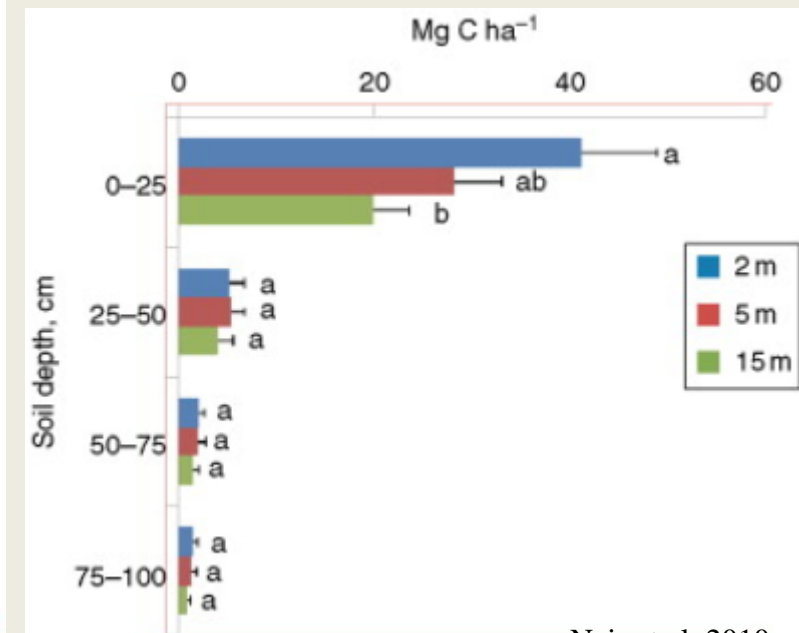
Minimeeritud harimise mõju mulla C varule võrreldes sügavkünniga

Agrometsandus

- Põllumajanduse ja metsanduse omavaheline kombineerimine ehk puu- ja/või põõsaste ribade rajamine põllumajandusmaadele
- Puud ja põõsad seovad rohkem C biomassi
 - agrometsanduse C sidumise potentsiaal maapealsesse biomassi võib varieeruda vahemikus 0,09–7,29 t C ha⁻¹ a⁻¹ (Kay et al. 2019).
 - sõltub puude/hekkide ribade osakaaludest kogu põllu- või rohumaa pindalast, puude-põõsaste istutustihedusest ja kestvusest, lisaks milliseid puu- ja põõsaliike kasutatakse.
- Raske prognoosida, kui palju C mulda seotakse
- Mõju avaldavad ka konkreetsel põllul rakendatud harimisvõtted (Feliciano et al. 2019).
 - ‘puud/põõsad-põllumaal’ süsteemis: -8,0 kuni 3,7 t C ha⁻¹ a⁻¹
 - ‘puud/põõsad-rohumaal’ süsteemis: -0,45 kuni 9,4 t C ha⁻¹ a⁻¹
 - muutus sõltus kliimatilistest tingimustest ja eelnevast majandamisest rohkem, kui konkreetselt agrometsanduse süsteemist
- Lisandväärtuseks on suurem bioloogiline mitmekesisus.



Mulla C varu suureneb rohkem puu- ja/või põõsariba vahetus läheduses



Nair et al. 2010

Kokkuvõte

- Mulla süsinikuvaru suurenemine sõltub paljudest teguritest
 - Süsinikusisendi omadustest ja kogusest
 - Majandamisvõtetest
 - Mulla omadustest (sh olemasolev süsinikuvaru)
- Süsinikuvaru suurendamist soodustavad võtted parandavad ka mulla üldist tervist ja toimimist.
- Tuleks kaardistada, kui palju on Eestis põllumajanduslikus kasutuses olevaid muldi, mis on kaotanud osa antud mullaliigile iseloomulikust süsinikuvarust.
 - Harimisvõtete mõju mulla süsinikuvarule võimaldab arvutada ka EMÜ huumuskalkulaator.
 - EMÜ ja PMK osalevad Horisont2020 projektis EJP Soil, mille raames koostatakse detailsed põllumuldade süsinikuvaru ja süsiniku täiendava sidumisvõime kaardikihid.





Täna kuulamast!
