Euroopa vetikatööstuse väärtuse loomine ja ökosüsteemiteenused, vähendades ja käsitledes potentsiaalselt toksiliste elementide levikut mulda - SeaSoil

ERA-Net Cofund on Blue Bioeconomy projekt

vanemteadur Karin Kauer, professor Alar Astover

mullateaduse õppetool

20.10.2026

Eesti Maaülikool

REM - Välisteaduskoostöö pärastlõuna

Merevetikatest toodeteni – mis saab töötlemisjääkidest?

- Merevetikad kui taastuv bioressurss
  - toit, loomasööt, biostimulandid, bioaktiivsed ühendid jm
- Töötlemisel tekib jääkbiomass
  - sisaldab endiselt orgaanilist ainet, süsinikku ja taimetoitaineid → kas seda saab väärindada põllumajanduses?
- Võimalik keskkonna- ja kliimakasu
  - toitainete ringlussevõtt
  - mulla omaduste parandamine
  - süsiniku pikaajaline säilitamine mullas
- Võimalikud riskid:
  - Merevetikad võivad mereveest akumuleerida potentsiaalselt toksilisi elemente, arseeni (As), kaadmiumi (Cd) ja lisaks ka joodi (I)
  - Merevetikate ja nende töötlemisjääkide mulda viimisel võivad need elemendid jõuda mulda, sattuda taimedesse

SeaSoil

Kestvus: 10/2022-09/2025

Projekti koordinaator: Nofima (Norra toidu-, kalandus- ja vesiviljelusuuringute instituut)



Norway
- Nofima
- Norsøk
- NMBU
- Ocean Forest
- Algea
- Nutrimar

Croatia
- Fazos

Denmark
- Aarhus University

Estonia
- EMU

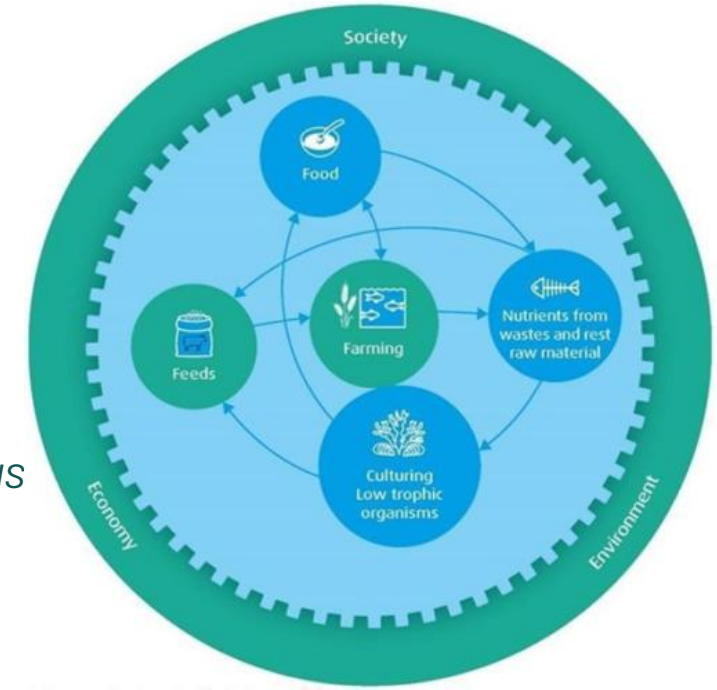
Ireland
- GMIT
- Donegal Seaweed
- OGT

Projekti eesmärgid

Projekti üldeesmärk: Toetada Euroopa merevetikatööstuse jätkusuutlikku arengut ja väärtuse loomist, tagades merevetikate ohutu kasutamise ning hinnates nende potentsiaali põllumajanduses ja süsiniku sidumisel.

Uurimusküsimused:

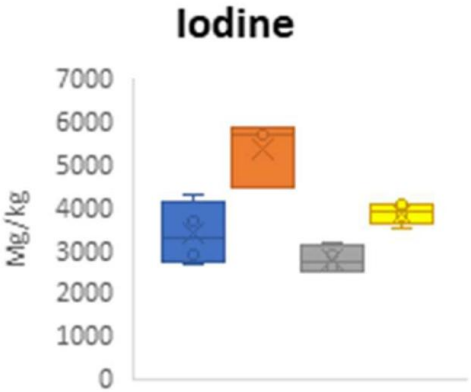
1. Kas vesiviljeluses kasvatatava merevetika (*Saccharina latissima*) ohutust saab parandada selektsiooni abil?
   As, Cd ja I sisaldus ning selle varieeruvus erineva päritoluga vetikates
2. Kas vetikatööstuse jääke saab ohutult põllumajandusmuldades kasutada?
   Potentsiaalselt toksiliste elementide sisaldus mullas ja taimede poolt omastamine
3. Kas vetikatööstuse jääkide mulda viimisel saab suurendada mulla süsiniku sisaldust?
   Mulla orgaanilise süsiniku sisalduse muutused ja süsiniku säilimimine mullas
4. Kas selline väärtusahel on keskkonna- ja majanduslikult jätkusuutlik?
   LCA, majanduslik teostatavus ja regulatiivsed piirangud

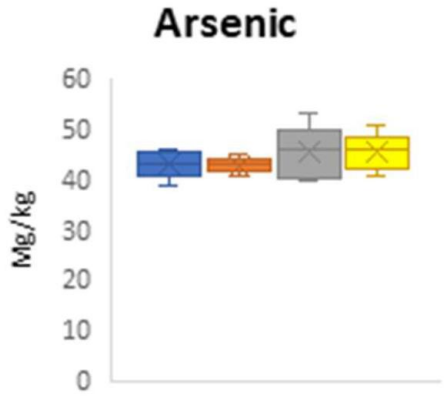


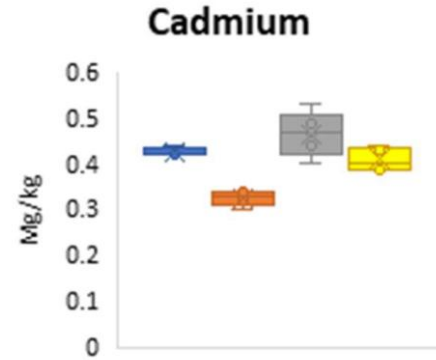
Kas vetika päritolu mõjutab As, Cd ja I sisaldust?

- *Saccharina latissima* on pruunvetikas, mida kasvatatakse meres spetsiaalsetel kasvatusköitel. Kasvatamiseks kasutatav paljundusmaterjal võib pärineda erinevatest looduslikest populatsioonidest.
- Katses võrreldi Bergenist ja Tromsøst pärit *Saccharina latissima* populatsioone, et selgitada, kas nende As, Cd ja I sisaldus erineb kontrollitud kasvutingimustes ja kahe valgusrežiimi korral.









Tulemused

- Elementide akumuleerumist mõjutasid nii vetika päritolu kui ka kasvutingimused
  - Cd ja I sisaldus sõltus vetikapopulatsiooni päritolust ja valgusrežiimist
  - As sisaldus oli erinevates katsevariantides suhteliselt sarnane ega sõltunud selgelt kummastki tegurist
- Populatsioonide geneetilisi erinevusi ei õnnestunud piisavalt hinnata, mistõttu selektiivse aretuse võimalused vajavad edasist uurimist.

Bergen: 8 h | 12 h Tromsø: 8 h | 12 h

As, Cd ja I sisaldus katse lõpus. Allikas: SeaSoil lõpparuanne.

Projektis kasutatud vetikatöötuse jääkide omadused

Journal of Applied Phycology (2026) 38:1667–1678
https://doi.org/10.1007/s10811-026-03817-9

RESEARCH

Elemental uptake in above-ground plant material of perennial ley after high application of seaweed materials

Anne-Kristin Løes[1] · Joshua Cabell[1] · Åsgeir R. Almås[2]

Table 1 Chemical characteristics of seven seaweed materials applied as soil amendments, and the applied rates in spring 2023. Dry matter (DM), loss on ignition (LOI), EC (electric conductivity), macro elements (N, P, K, Ca, Mg, S), carbon (C) and potentially toxic elements (Cd, As). The Class (I, II) of organic fertiliser is given with respect to concentration of Cd (FOR 2025)

Material	Sp.[1)]	DM %	LOI %DM	EC mS m^{-1}	pH (H_2O)	Tot N mg kg^{-1}	Tot C DM	P	K	Ca	Mg	S	Cd	As	Rate kg m^{-2}	Class
Sludge 1[2)]	AN	27	59	1500	9.3	5.3	300	3.6	53	110	15	8	2.0	17	6.2	II
Asco Sludge 2	AN	32	59	2300	9.1	15	290	2.1	100	50	23	11	1.3	30	8.0	II
Meal 1[3)]	AN	90	77	2600	5.9	12	330	1.0	28	16	8	25	0.19	25	4.4	I
Fucus Meal 2	FS	89	79	1700	6.1	10	340	0.7	24	18	8	30	0.56	27	2.1	I
Meal 3	AN	86	78	2600	5.9	11	340	1.0	28	16	8	26	0.18	25	2.2	I
Fresh[4)]	LH	13	60	2000	6.7	24	250	2.0	69	27	8	15	0.62	59	12.0	I
Fermented[5)]	SL	8	53	2000	3.9	14	210	1.3	93	14	11	10	0.24	52	20	I

[1)]Species (Sp.) abbreviations: AN = *Ascophyllum nodosum*, FS = *Fucus serratus*, LH = *Laminaria hyperborea*, SL = *Saccharina latissima*

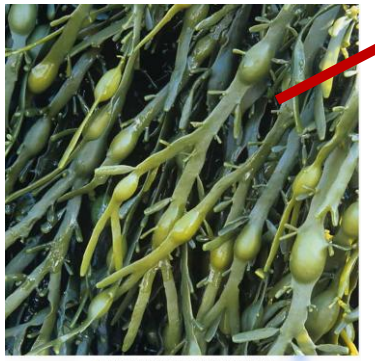
[2)]Sludge from acid/alkaline extraction of bioactive compounds; sludge 1 with low N content, sludge 2 with higher N content due to use of nitric acid

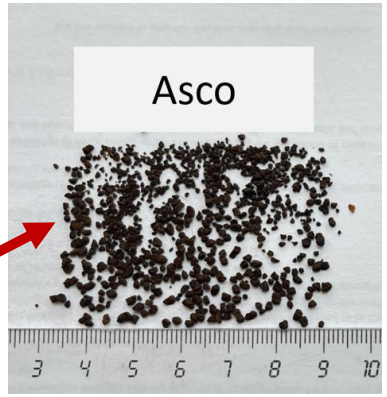
[3)]Meals are dried residues after amendment with water at high pressure and low temperature to extract bioactive compounds

[4)]Fronds taken off for application of stipes in alginate production

[5)]Natural fermentation + conserved with organic acid to pH < 4 for stability

Ascophyllum nodosum





Fucus serratus



Laminaria hyperborea





Vetikapõhiste mullaparandusainete kasutuspiirangud Norras

Kvaliteediklass	Cd piirväärtus (mg/kg KA)	Lubatud kogus põllumajandusmaal
0	0,4	Vastavalt väetamisvajadusele
I	0,8	Kuni 40 t KA/ha 10 aasta jooksul
II	2	Kuni 20 t KA/ha 10 aasta jooksul
III	5	Üldjuhul keelatud

Kas vetikatöötuse jääkide lisamine suurendab As ja Cd liikuvust mullas?

- *Laborikatse (üks vetikatöötuse jääk: Asco; 1 normi)* (Aarhus Ülikool)
  - As leostumine oli suurim vahetult pärast jäägi lisamist ja väheneb järgnevatel päevadel.
  - Leostumise ulatus erines kahe uuritud mulla vahel (saviliiv < kerge liivsavi.

- *Põldkatse (kaks vetikatöötuse jääki: Asco ja Fucus; 4 normi; kultuur: kaer) (NORSØK)*
  - *Fucus* ja *Asco* kasutusmäära kasvades suurenes As ja Cd sisaldus mullas.
  - As sisalduse suurenemisega mullas kaasnes märgatavalt suurem As-i sisaldus mullalahuses, Cd puhul oli seos nõrgem.
  - As liikuvus ja potentsiaalne kättesaadavus suurenesid selgemalt, kui Cd puhul.

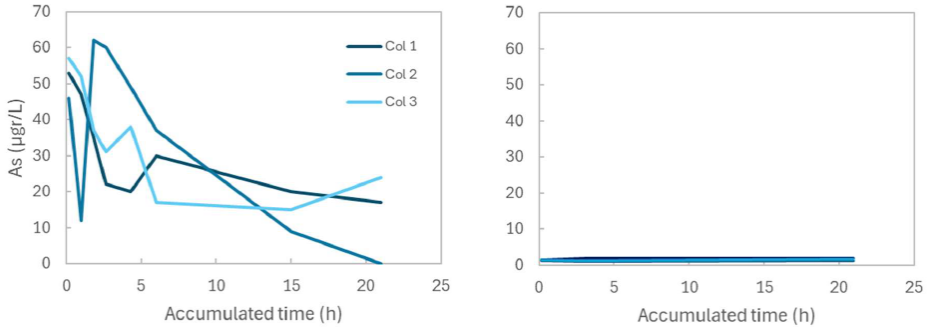


Figure 4: Arsenic (As) concentrations in leachate after 4 days for the loamy sand soil with (left) and without (right) new algae-derived fibre (AF) amendment. Different colours represent different soil columns for a given treatment (i.e. replicates).

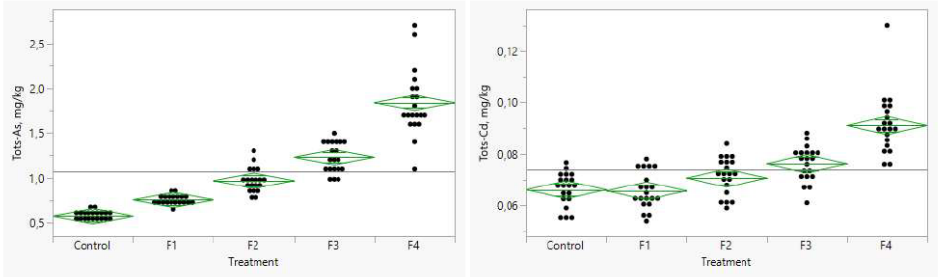


Figure 1 shows the effect of treatments F1-F4+ control, on total soil concentrations of As and Cd in soil (mg/kg) sampled during the season 2024. The green diamonds in figure show mean values and 95% confidence interval. Fields receiving the lowest dose are designated F1, increasing sequentially to F4 for the highest dose (n=20).

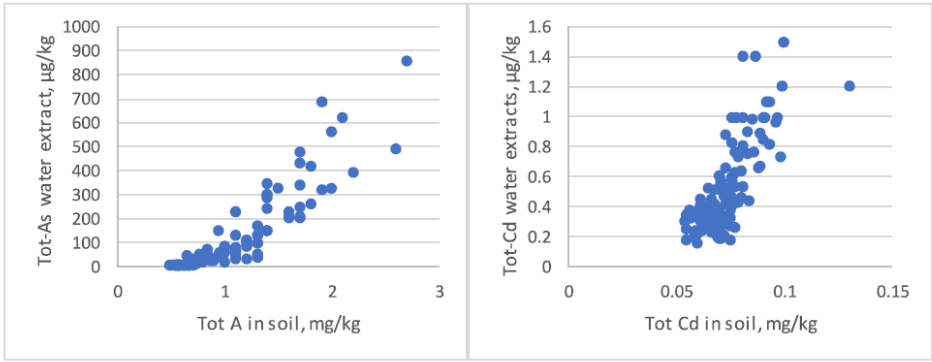


Figure 3. The figure shows the relationship between the resulting total concentration of As and Cd in soil with the concentrations in extracted soil water from the same soils. The concentrations of Cd in soil water were very low (n=100).

Jooniste allikas: Deliverables Unpublished (SeaSoil project)

Kas vetikajääkidega mulda viidud As ja Cd jõuavad taimedesse? 1/2

Põldkatse: kaks vetikatootmisjääki: *Asco* ja *Fucus*; 2 normi; kultuur: kaer) (NORSØK)

- Kaera põhus oli As sisaldus seotud As sisaldusega mullas, Cd puhul oli seos nõrk.
- Kaera terades ei leitud statistiliselt olulist seost mulla As ja Cd sisalduse ning nende elementide teradesse kogunemise vahel.
- As suurem liikuvus mullas ei tähendanud tingimata selle suuremat kogunemist kaera teradesse.

Kaerakatse



Kas vetikajääkidega mulda viidud As ja Cd jõuavad taimdesse? 2/2

Põldkatse: NORSØK, Norra 2023-2024

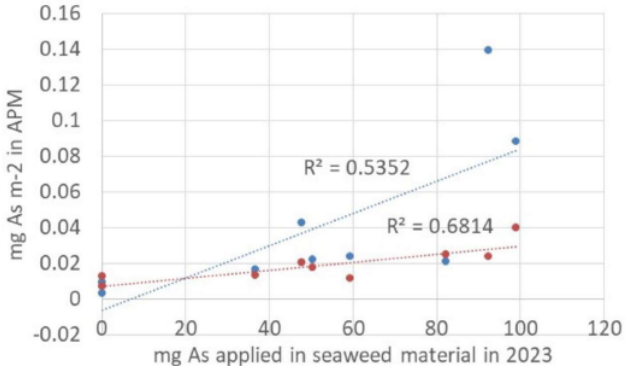
- Seitse erinevat jääki, üks kasutusnorm materjali kohta (16–40 t KA/ha).
- Katsekultuur: kõrreliste ja ristiku segu.
- Uuriti As-i ja Cd sisaldust rohumaa maapealses biomassis.

- Suurema As sisendiga kaasnes üldiselt suurem As sisaldus taimede maapealsesse biomassi.
- Kahe aasta jooksul moodustas rohumaa maapealsesse biomassi kogunenud As 0,1–0,3% vetikajääkidega lisatud As kogusest.
- Cd puhul ei leitud selget seost lisatud Cd koguse ja taimede Cd sisalduse või omastamise vahel.

Fig. 1 Drone photo of plots amended with seaweed materials, May 4, 2023. From left: AN-S2, AN-S1(*Ascophyllum* sludge, S), AN-M1(*Ascophyllum* meal, M), FS-M2 (*Fucus* meal, M), AN-M3 (*Ascophyllum* meal, M), LH-FR (*Laminaria* fronds, FR), SL-FE (fermented kelp (*Saccharina*), FE), C+ (amended with *A. nodosum* sludge in 2020), C0 (no seaweed amendment)



Fig. 6 Relationship between rate of As application in seaweed materials in spring 2023 and the uptake of As (mg As m^{-2}) in above-ground plant material (APM) in the 1st cut of grass-clover ley in 2023 (upper line, $R^2 = 0.53$) and 2024 (bottom line, $R^2 = 0.68$)



Journal of Applied Phycology (2026) 38:1667–1678
https://doi.org/10.1007/s10811-026-03817-9

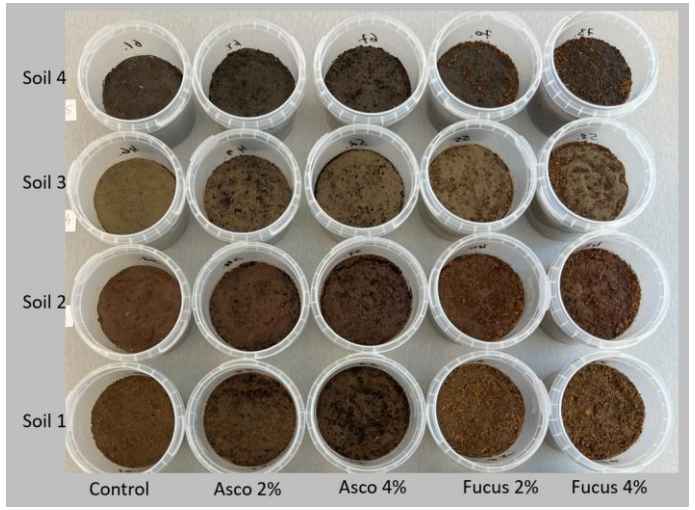
RESEARCH

Elemental uptake in above-ground plant material of perennial ley after high application of seaweed materials

Anne-Kristin Løes[1] · Joshua Cabell[1] · Åsgeir R. Almås[2]

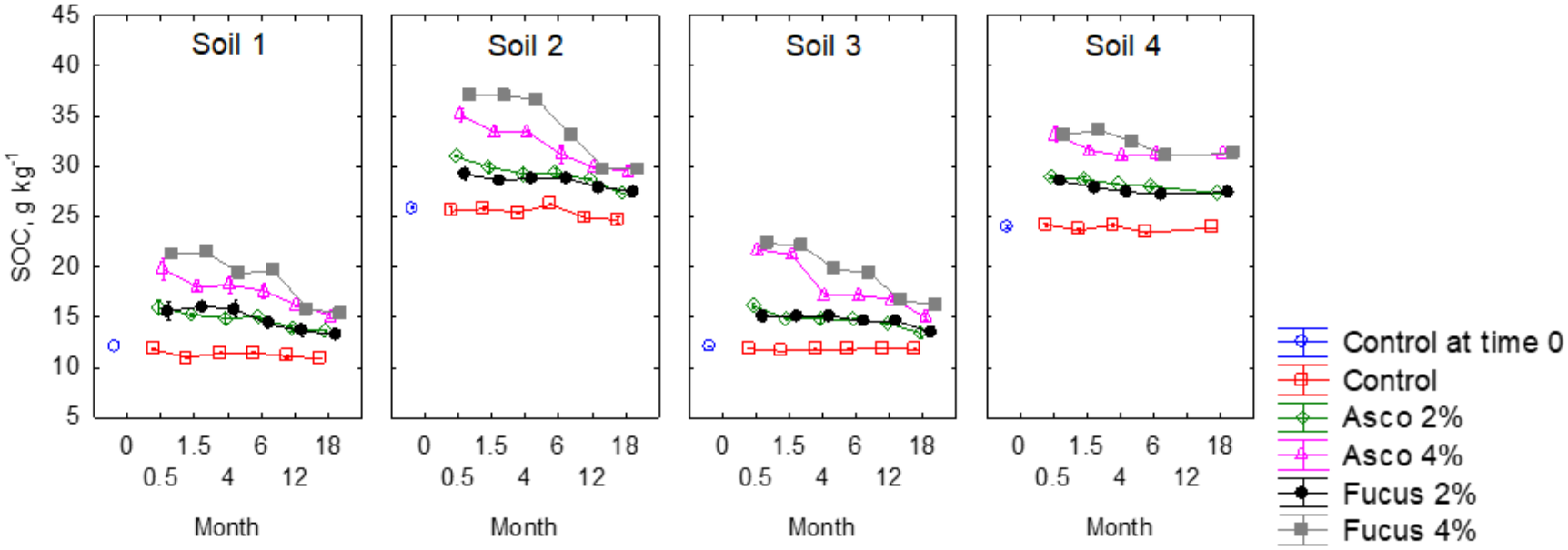
Kas töötlemisjääkide mulda viimisel saab suurendada mulla C_{org} sisaldust?

- Inkubatsioonikatse
- Kestus: 18 kuud (10.07.2023-26.12.2024)
- Taimedeta potikatse
- 4 erinevat mulda
- 2 vetikatööstuse jääki (Asco ja Fucus)
- Kasutusmäärad: 0%, 2% ja 4% mulla massist



Mulla C_{org} sisaldus

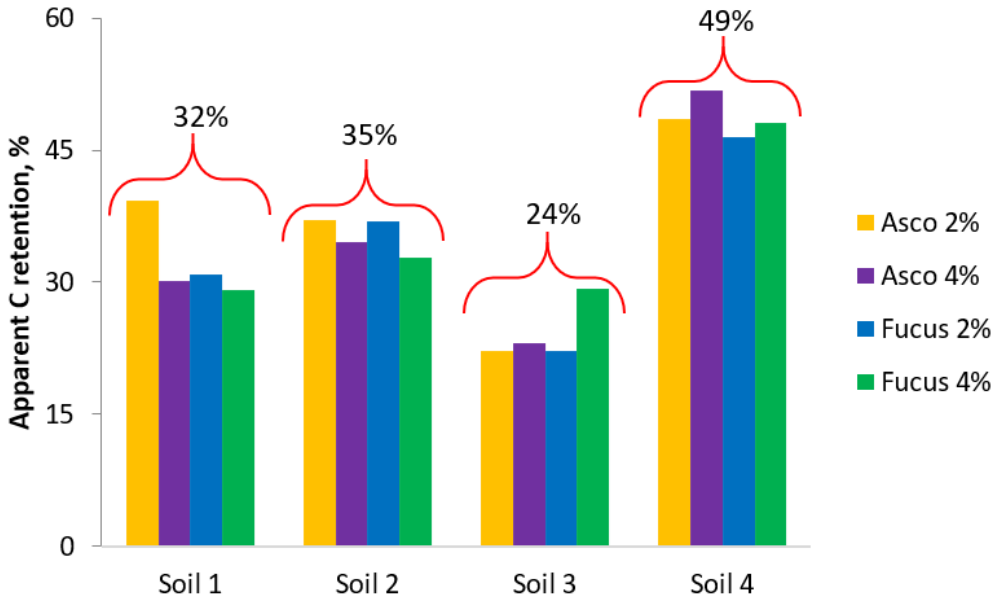
Slaidil SOC=C_{org}



- Vetikajääkide lisamine suurendas mulla C_{org} sisaldust kõigis neljas mullas võrreldes kontrolliga.
- Suurema kasutusmäära (4%) korral oli C_{org} sisaldus üldiselt kõrgem kui 2% korral.
- Katse jooksul mulla C_{org} sisaldus vähenes, mis viitab lisatud orgaanilise aine järkjärgulisele mineraliseerumisele. Asco puhul oli vähenemine üldiselt kiirem.
- Kõige väiksem oli C_{org} sisalduse vähenemine savirikkamas mullas 4, mis viitab C_{org} paremale säilimisele.

Kui palju lisatud C-st jääb mulda?

Vetikajäägi norm	C sisend, g kg^{-1}
2%	7,1-7,2
4%	14,1-14,2



18 kuu möödudes, „näiline“ C sidumine:

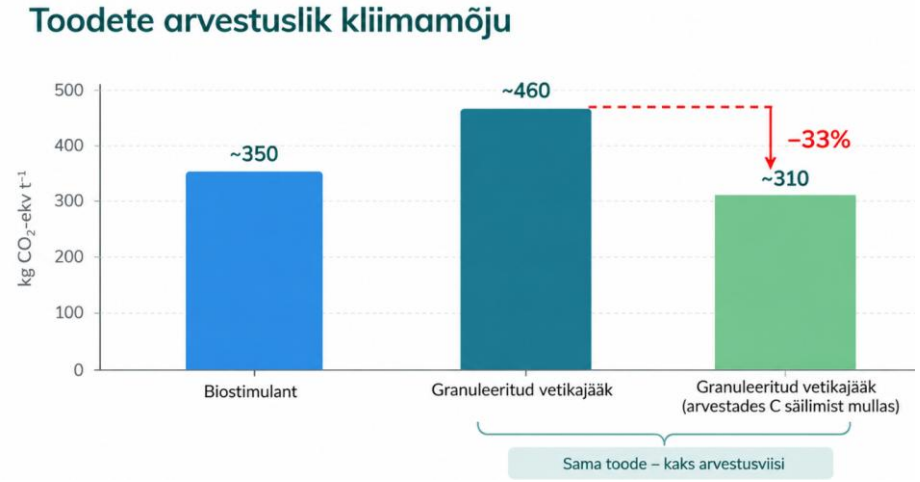
- Kõrgem muldades, kus oli suurem savisisaldus (muld 2 ja 4: 35–49%
- Madalam muldades 1 ja 3 (kerge liivsavi): 24–35%
- Ei olnud mõjutatud vetikajäägi normist ega tüübist

Kauer, K., Astover, A., Løes, A.-K., Kristić, M., Zebec, V., Jović, J., Ivezić, V. Seaweed residues as soil amendments: effects on soil organic carbon dynamics across contrasting soils. Applied and Environmental Soil Science (under minor revision)

Millest sõltub vetikapõhiste toodete väärtusahela jätkusuutlikkus?

- **Keskkonnamõju**: vetikapõhiste toodete kliimamõju sõltub suurel määral töötlemisprotsesside energiakasutusest. Mullas säiliva süsiniku arvestamine võib vähendada toodete arvestuslikku kliimamõju.
- **Majanduslik teostatavus**: vetikate töötlemise kõrvalsaaduste väärindamine võimaldab ressursse tõhusamalt kasutada, kuid uuritud väärtusahela tasuvust piiravad kõrged töötlemiskulud ja toodete madal turuhind.
- **Regulatiivsed piirangud**: vetikapõhiste toodete kasutamisele kehtivad erinevad nõuded sõltuvalt nende kasutusotstarbest (nt loomasööt, väetised), mis võivad piirata toodete turustamist.

Vetikate väärindamisel on potentsiaali, kuid keskkonnaalane kasu ei taga veel majanduslikku tasuvust. Jätkusuutlikkus sõltub kogu väärtusahelast.



SeaSoil LCA aruanne


Sustainable Production and Consumption 48 (2024) 123–142

Contents lists available at ScienceDirect

Sustainable Production and Consumption

journal homepage: www.elsevier.com/locate/spc

ELSEVIER

Review Article

Environmental performance of seaweed cultivation and use in different industries: A systematic review

Muhammad Ahmed Waqas [a,b,*], Fatemeh Hashemi [a,b], Lisbeth Mogensen [a], Marie Trydeman Knudsen [a,b]

emu.ee maaylikool maaylikool

Aitäh!

Eesti Maaülikool