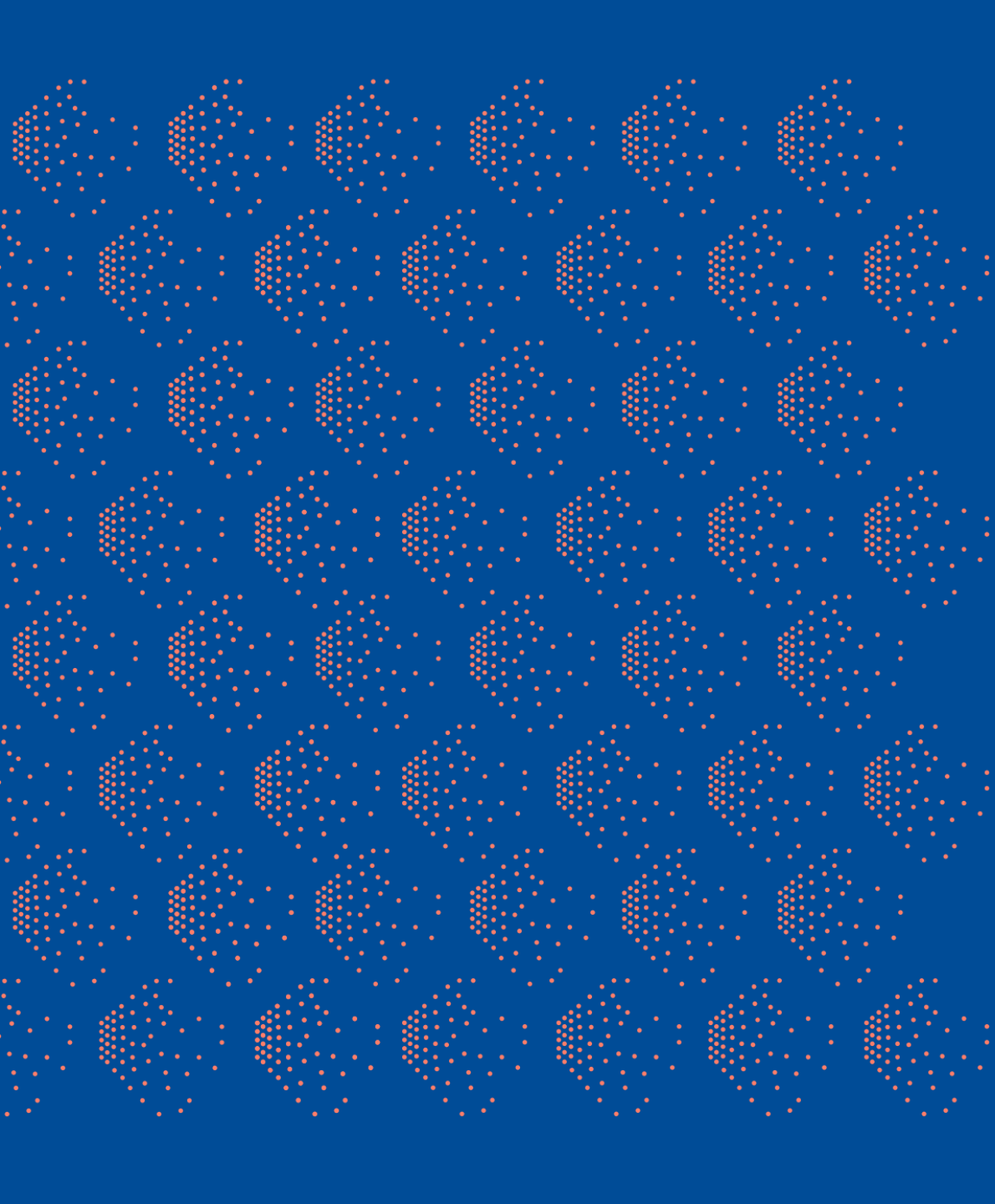




Hindrer salt sirkulære verdikjeder i havbruk?

Prosjektrapport

Hindrer salt sirkulære verdikjeder i havbruk?

Sirkularitet med utgangspunkt i slam Slam fra havbruk pekes på som en ressurs som i dag går til spille. Dersom man lykkes med å etablere en sirkulær utnyttelse av slammet, kan det gi gevinster. Dersom slammet salmes opp og går inn i nye prosesser som skaper verdi, unngår man samtidig negativ påvirkning på det marine økosystemet, samt at verdifulle næringsstoffer kan gjenbrukes.

Saltets påvirkning. De store volumene av slam kommer fra produksjonsfasen i saltvann. Mens det meste a oppsamling og forsøk på en sirkulær anvendelse er utført på slm fra ferskvannsdelen av produksjonen (settefisk). Det mangler dokumentasjon på hvordan slammet påvirker prosesser og bruksområder for slammet. I dette prosjektet har vi undersøkt hvordan saltet påvirker anvendelsen av biokull.

Prosjektet er levert av:

Prosjekteier:
NCE Seafood Innovation,

Prosjektleder:
Elise Sæle Dahle, And Friends AS

Prosjektet er finansiert av Vestland Fylkeskommune

Prosjektdeltakere:

Anna Dysvik, Rasmus Juhl Simensen, Kenneth Børø, **Pelagia**
Knut Møyner Hohle, Hans Anders Kjos, Hege Tøien, **Bioland**
Siri Lohne, **Bolaks Group AS**
Jørn Erik Toppe, **Toppe Gartneri / Green House AS**
Nicholas Clarke, **Nibio**
Matthew Coffay, **NHH**
Kirsty Mckinnon, **Norsøk**

PROSJEKTDeltakere



NHH



PROSJEKTET ER FINANSIERT AV



Kan pyrolysing skape muligheter?

Dette prosjektet følger opp resultatene fra prosjektet 2023-0430 Industriell symbiose fra landbasert oppdrett, som så på mulighetene for å bygge en regional sirkulær verdikjede basert på pyrolysing av slam fra et landbasert postsmolt-anlegg. Der ble saltet avdekket som en stor barriere for videre utnyttelse av biokull.

Selv om pyrolyse er en etablert teknologi er det nytt å bruke det på fiskeslam.

Ved pyrolyse omdannes slammet til energi og biokull. Karbonet bindes i biokullet, dersom det lagres, er dette regnet som karbonlagring. Biokull kan ha svært gode effekter som jordforbedrer, brukes til fordrøyning – gjør grunnen i stand til å håndtere større mengder nedbør/flom, og har god effekt på mikrolivet i jorda. Hvordan saltet påvirker biokullet er ukjent.

Blågrønt samarbeid Prosjektpartnere består av aktører på tvers av grønn og blå sektor. Vi har med oss hele verdikjeden fra oppdretter (Bolaks), via aktører for slamhåndtering og pyrolyse (Pelagia, Bioland, Biomeacon), til gartneri (Toppe Gartneri). NCE Seafood Innovation er prosjekteier.

Flere mulige markeder Biokull er attraktivt både for metallurgisk industri, der det erstatter fossilt kull i den industrielle prosessen, og som karbonlagringsmedium for karbonkreditter. Flere internasjonale aktører leter etter steder der det er store strømmer av en type biomasse. I Europa fokuserer de på landbasert biomasse, få har indentifisert slam som en mulighet. I vår region er slam fra oppdrett en ressursstrøm med et stort potensielt volum. Nasjonalt estimeres volumet til å være 600 000 tonn (2022-tall).

Mat først Sirkulære verdikjeder vil være essensielt i omleggingen til nullutslippssamfunnet. Våre fornybare ressurser fra hav, jordbruk og skogbruk må anvendes på best mulig måte. Både målt i økonomisk verdi, men også sett i lys av verdihierarkiet for bioråstoff, der vi etterstreber at alt som kan gå tilbake til matssystemet, går tilbake til matssystemet (BioDigSirk 2022).

Systemskift

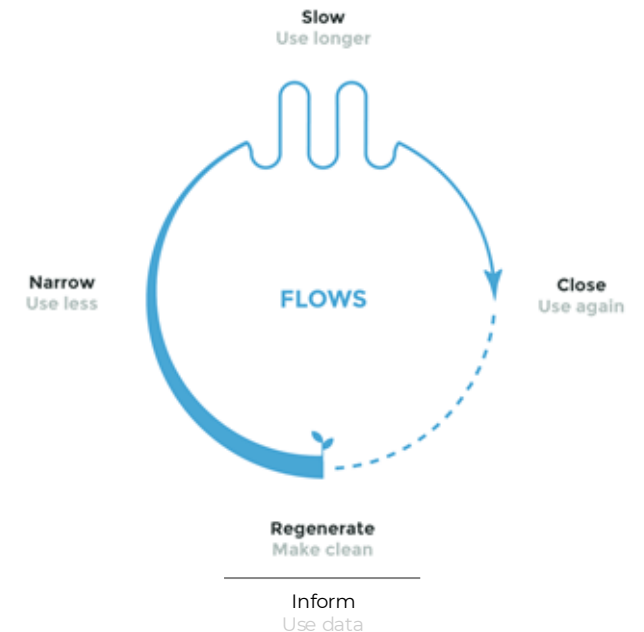
Et av de store skiftene som må skje, er at omstillingsarbeidet går fra å reparere det lineære systemet, til å designe de nye sirkulære systemene.

Det meste av næringslivet vårt er i dag organisert i lineære verdikjeder der vi henter naturressurser, produserer produkter, selger, bruker og kaster.



Sirkulærøkonomi

Sirkulære prinsipper handler om å bruke mindre – slanke, holde ressursene i bruk lengre – senke, unngå å lekke ressurser – lukke, og til sist gjenoppbygge ressursgrunnlaget slik at man kan hente ut ressurser på nytt – regenerere. Illustrert i figuren under.





Testpyrolysering av slam til biokull

Februar 2026



Testpyrolysering

Prosjektet gjennomførte en testpyrolysering av salt slam ved Risa sitt anlegg på Nærbø i Rogaland. Pyrolyseanlegget som ble benyttet til testen er fra Biomeacon, levert av Bioland. Anlegget er optimalisert for å pyrolysere trevirke (flis). Kapasiteten på anlegget er 160kW termisk effekt og 146 tonn/år med biokull. Ved normal drift går der 2240 kg flis pr døgn.

Slam har høyere tetthet. Slam fra oppdrett er annerledes i materialiteten enn treflis. Slammet vi testet hadde en tørrstoffgrad på ca 86%. Det er mer tettpakket, omtrent som en fôr-pellets. Slammet har en vesentlig høyere tetthet enn flis. Vekten pr kubikkmeter tørket slam er dermed høyere enn for treflis.

Slammet ble tømt manuelt på løfteskruen. Der ble laget en korridor av tørket slam for å redusere smitte fra flis. I løpet av testen ble en big bag med tørket slam pyrolysert.

Under selve pyrolyseringen ble det undertrykk og høyere gassifisering i prosessen. Gassifiseringen var høyere enn anlegget klarte å brenne. Dette resulterte i røykutvikling og utslipp av røykgasser.

Etter flere timer med nedkjøling var fremdeles temperaturen i kjelen i pyrolysen 400° grader. Grovt estimert kan dette tilsa at én kubikkmeter med slam inneholdt 3-4000 kWh energi.

En høy brennverdi. Energiinnholdet i slammet var vesentlig høyere enn forventet. Annen litteratur har beskrevet fiskeslam som en ressurs med lavere brennverdi og karboninnhold. Testen som ble gjennomført i dette prosjektet avdekket en høy brennverdi for dette slammet.

Under testen varierte pyrolysen. I perioder gikk prosessen jevnt, uten røykutvikling. All gassen ble brent. Men med jevne mellomrom ble det en kraftigere forbrenning og høyere gassifisering enn anlegget klarte å ta unna.

En hypotese er at skruen matet for mye slam inn i pyrolysen. Slammet har en høyere tetthet enn flis. Der ble dermed for høy energitetthet i kammeret, som igjen førte til for høy gassifisering.

Dersom hastigheten på innmatingen ble redusert, antar man at pyrolyseprosessen vil bli jevnere.

Betydelig reduksjon i volum. Volumet av massene ble betydelig redusert gjennom pyrolyseprosessen. Etter testen satt vi igjen med under en ti-del av volumet. Biokull fra én full big bag med slam fylte mindre enn en ti-del av en big bag.

Etter testen ble prøver av slammet og biokullet sendt til Eurofins for testing.

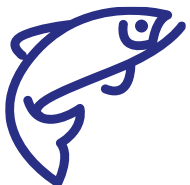




Dokumentasjon:

- Fiskeslam
- Biokull

Mai 2026



Slam

86,8% TS

Karboninnhold: 43,7%

Nitrogeninnhold: 5,5%

Fosforinnhold: 31 000 mg/kg, 3,1%

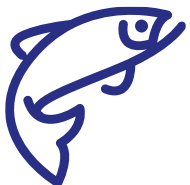
Slam fra landbasert oppdrett. Slammet som ble teste i prosjektet er hentet fra et landbasert anlegg. Slammet er fra den delen av produksjonsfasen som foregår i saltvann, postsmolt – matfisk (fra 200 g til 4,5 kg). Analysen er utført for å forstå slammets kjemiske sammensetning, næringsverdi og energipotensial før pyrolysering. Prosjektet har kun testet en batch med slam. Slammets sammensetning varierer gjennom produksjonsfasene til laksen. Det vil derfor være gunstig å dokumentere opp hvordan variasjonen i slammet er, både i produksjonssyklusen, samt i ulike lokasjoner og med ulik fôrsammensetning. Analysene i dette prosjektet er utført av Eurofins

Resultatene viser at slammet inneholder store mengder organisk materiale, betydelige næringsstoffressurser og en overraskende høy brennverdi.

Prøven har et totalt tørrstoffinnhold på 86,8 %. Slammet allerede er godt avvannet og relativt tørt. Slammet har et høyt glødetapt, hele 80,1 % av tørrstoffet består av organisk materiale. Det er denne delen av slammet som kan utnyttes videre enten til energi eller til produksjon av biokull. Askeinnholdet er målt til rundt 18–20 %, som er relativt moderat og bekrefter at en stor del av materialet består av energi- og karbonholdige forbindelser.

Høyt karboninnhold. Karboninnholdet er høyt, med totalt karbon på 43,7 % og totalt organisk karbon (TOC) på 43,4 %. Dette viser at nesten alt karbonet i prøven er organisk bundet karbon, noe som er svært positivt for pyrolyse. Nitrogeninnholdet er også høyt, med totalt nitrogen på 5,5 %, noe som gjør fiskeslammet interessant både som næringsressurs og som utgangspunkt for gjødselprodukter. Oksygeninnholdet er beregnet til 23,6 %, mens hydrogeninnholdet er 6,1 %, som samlet viser at slammet har et høyt energiinnhold og gode forutsetninger for termisk behandling .

Høy fosforinnhold. Fosforinnholdet er særlig høyt, med 31 000 mg/kg tørrstoff, tilsvarende 3,1 %. Dette er som forventet, og er en av dei viktigste grunner til hvorfor slam bør utnyttes i en sirkulær prosess. Fosfor er en kritisk ressurs i global matproduksjon og i dag hovedsakelig kommer fra begrensede fosfatreserver. I tillegg inneholder slammet store mengder kalsium (45 000 mg/kg), magnesium (5000 mg/kg), natrium (7900 mg/kg) og kalium (1400 mg/kg). Dette viser at fiskeslammet ikke bare har energiverdi, men kan ha en verdi som kilde til plantenæringsstoffer som kan tilbakeføres til landbruket gjennom sirkulære løsninger.



Salt slam:

Natrium (Na) 7 900 mg/kg TS
Klor (Cl) 7 320 mg/kg

Høy energi

3-4000 kWh pr m³
17,7 MJ/kg
6 MWh per tonn

Betydelige mengder salt. Saltinnholdet er en sentral faktor i prosjektet, og analysen bekrefter at dette er en reell utfordring. Natriuminnholdet er høyt, og totalt klorinnhold er målt til 0,73 %, noe som viser at betydelige mengder salt følger med slammet fra sjøbasert oppdrett. Konduktiviteten er også høy, med 330 mS/m, som understøtter at slammet inneholder mye oppløste salter. Dette er viktig fordi høyt saltinnhold kan skape utfordringer både i pyrolyseprosessen og ved bruk av biokull i dyrking, spesielt dersom biokullet skal brukes direkte i jord eller vekstmedium.

Høyere varmeverdi enn forventet. Varmeverdien i slammet var høyere enn forventet. Effektiv varmeverdi for tørr prøve er målt til 17,7 MJ/kg, mens askefri tørr prøve når hele 22,1 MJ/kg, tilsvarende over 6 MWh per tonn. Dette bekrefter at fiskeslammet har et betydelig energipotensial og kan fungere godt som råstoff i pyrolyseprosesser. Dette samsvarer også med erfaringene fra testpyrolyseringen, hvor det ble observert høy gassifisering og kraftig energiutvikling.

Lavere nivåer av tungmetaller. Når det gjelder tungmetaller, viser analysen generelt lave nivåer. Kobber (23 mg/kg), sink (470 mg/kg), kadmium (0,29 mg/kg), bly (0,55 mg/kg) og nikkel (1,5 mg/kg) ligger på moderate eller lave nivåer, og kvikksølv er under deteksjonsgrensen. Dette er positivt med tanke på videre bruk i jordbruk eller som innsatsfaktor i andre sirkulære prosesser.

Saltinnholdet begrenser bruksområdene. Samlet viser analysen at fiskeslammet representerer en betydelig ressurs både som energibærer og som kilde til karbon og næringsstoffer. Den største utfordringen er saltinnholdet, som kan begrense bruksområder. Dyrkningsforsøkene i prosjektet bekrefter denne utfordringen.



Biokull

Karbon: 44%
Hydrogen: 2,5%
Kalsium (CaO): 34,1%
Fosforoksid (P_2O_5): 33,1%
PH 8,2

Biokull fra fiskeslam. Analysene av biokull, eller forkullet fiskeslam viser næringsinnholdet, den kjemiske sammensetningen og egenskaper til biokull som er fra pyrolysert fiskeslam. Analysen er gjennomført av Eurofins.

Høyt karboninnhold. Biokullet har et høyt karboninnhold, med totalt karbon på omtrent 44 % og organisk karbon på mellom 42,8 og 43,7 %. Dette viser at en stor andel av karbonet fra fiskeslammet er bevart gjennom pyrolyseprosessen, noe som er positivt både med tanke på karbonlagring og jordforbedring. Hydrogeninnholdet er lavt (2,5–2,6 %), og H/C-forholdet er målt til 0,69–0,71, noe som indikerer et relativt stabilt biokull med god varighet i jord. O/C-forholdet på 0,181 understøtter også at materialet har høy grad av karbonisering og dermed egner seg godt som langsiktig karbonlager .

Høy askeandel. Askeinnholdet er høyt, på rundt 38 %, noe som er forventet for biokull fra fiskeslam siden slammet inneholder store mengder mineraler og næringsstoffer. Analysen viser spesielt høye nivåer av kalsium, med 34,1 % CaO, samt betydelige mengder fosfor, med 33,1 % fosforoksid (P_2O_5). I tillegg inneholder biokullet nitrogen på omtrent 4,3 %, magnesiumoksid (3,7 %), natriumoksid (3,9 %) og mindre mengder kaliumoksid (1,0 %). Dette viser at materialet har verdi som potensiell jordforbedrer og næringskilde i landbruket .

pH-verdien er målt til 8,2, som betyr at biokullet er basisk. Dette kan være positivt i sure jordtyper, hvor biokull kan bidra til å stabilisere pH og forbedre jordstruktur.

Vannholdingskapasiteten er også høy, med 237,5 %, noe som betyr at materialet kan holde på store mengder vann og dermed bidra som fordrøyningsmediu,, håndtering av overvann og en bedre jordfuktighet.



Biokull

Natrium (Na) 8,77 g/kg
Klorr (Cl) 6500 mg/kg

Saltet blir værende. Samtidig viser analysen at saltinnholdet fortsatt er betydelig. Målt saltinnhold er 2,99 g/l, tilsvarende 8,77 g/kg, og totalt klorinnhold er hele 6500 mg/kg . Dette bekrefter at salt fra sjøbasert fiskeslam i stor grad følger med inn i biokullet. Dette er særlig viktig fordi høyt saltinnhold kan hemme spiring og plantevekst, noe som også ble observert i dyrkingsforsøkene i prosjektet. Resultatene viser derfor at saltreducerende tiltak, som utvasking eller optimalisering av prosessen, vil være avgjørende dersom biokullet skal brukes direkte i jordbruk.

Håndterbartnivå av tungmetaller. Når det gjelder tungmetaller, viser analysen generelt lave og håndterbare nivåer. Kobber (61 mg/kg), sink (706 mg/kg), mangan (487 mg/kg) og nikkel (24 mg/kg) er de mest fremtredende metallene, mens blant annet kvikksølv, sølv og flere andre problematiske metaller ligger svært lavt eller under deteksjonsgrensen. PAH-forbindelser (polysykliske aromatiske hydrokarboner) er også lave, med samlet PAH(16) på 4,7 mg/kg, noe som indikerer at pyrolyseprosessen ikke har gitt høye nivåer av uønskede organiske miljøgifter.

Samlet viser analysen at forkullet fiskeslam har høy verdi som karbonlager og som kilde til viktige næringsstoffer, særlig fosfor og kalsium. Den største utfordringen er fortsatt saltinnholdet, som begrenser direkte bruk i planteproduksjon.



Dyrkningsforsøk i biokull

Våren 2025



Dyrkingsforsøk fra salt biokull

I en verden hvor bærekraftig ressursutnyttelse blir stadig viktigere, har vi utforsket bruken av pyrolysert fiskeslam til bruk i vekstmedie, biokull fra fiskeslam. En av de mest lovende tilnærmingene er bruken av biokull, et karbonrikt materiale som kan forbedre jordkvaliteten og øke avlingene. Biokull produseres ved pyrolyse av organisk materiale, og det har vist seg å ha flere fordeler, inkludert forbedret jordstruktur, økt vannholdingsevne og redusert behov for gjødsel. I dette forsøket har vi ikke hatt fokus på de positive sidene med biokull, men på hvordan saltinnhold i biokull eventuelt hemmer/reduserer plantevekst.

I dette forsøket har vi fokusert på en spesifikk type biokull, nemlig biokull produsert fra fiskeslam. Fiskeslam er en biprodukt fra akvakulturindustrien, og det inneholder naturlig høye nivåer av salt så lenge det er fiskeslam fra matfisk. For å kunne utnytte denne ressursen til jordbruk, er det nødvendig å undersøke om det er mulig å dyrke planter i jordblandinger som inneholder salt biokull. Målet med dette forsøket er derfor å evaluere effekten av ulike typer salt biokull på spiring og plantevekst.

Vi har brukt tre ulike typer biokull i vårt forsøk: biokull fra treflis, biokull fra salt fiskeslam, og biokull fra svært salt fiskeslam. Hver av disse biokulltypene ble testet i to forskjellige blandingsforhold: 10% biokull og 90% jord, samt 25% biokull og 75% jord. I tillegg har vi inkludert en kontrollgruppe med kun vanlig jord (veksttorv) for å kunne sammenligne resultatene.

For å få et bredt spekter av data, har vi dyrket seks ulike vekster som alle har forskjellige egenskaper når det gjelder saltresistens. Disse vekstene inkluderer kålrot, grønnkål, som er eksempler på grønnsaker som skal tåle litt salt. Kålvekster skal generelt ha høyere toleranse for salt enn mange andre grønnsaker. Vi har også dyrket bygg og raigras, som skal gi oss en indikasjon på om gress og korn kan tåle saltmengdene. Teoretisk skal disse være dem som tåler mest. Det kan også være enklere å få lov til å spre salt biokull i grasareal, som ikke skal benyttes direkte til menneskemat, som grønnsaker. Vi har også dyrket to ulike typer ekebladsalat, som vi forventer har lav toleranse for salt. Dyrkingen har foregått i et drivhus hvor temperaturen har vært stabil mellom 16 og 22 grader Celsius, noe som gir optimale vekstforhold for plantene.

Gjennom dette forsøket håper vi å kunne gi verdifull innsikt i hvordan salt biokull påvirker plantevekst og om det kan være en bærekraftig løsning for å utnytte fiskeslam i landbruket. Resultatene fra dette forsøket vil kunne bidra til å utvikle nye metoder for utnyttelse av fiskeslam fra matfisk.



Foto: Elise Dahle

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold
Ekebladsalat 1	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv
Ekebladsalat 1	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv
Ekebladsalat 1	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Ekebladsalat 1	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Ekebladsalat 1	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Ekebladsalat 1	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Ekebladsalat 1	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv
Ekebladsalat 2	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv
Ekebladsalat 2	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv
Ekebladsalat 2	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Ekebladsalat 2	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Ekebladsalat 2	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Ekebladsalat 2	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Ekebladsalat 2	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv

Metode

For å undersøke effekten av salt biokull på plantevekst, ble veksttorv og biokull blandet i 12 cm store potters. Disse pottene ble deretter plassert i egne plantebrett for å kunne følge vekstene i de ulike blandingene lettere. Dette oppsettet gjorde det mulig å overvåke og sammenligne vekstforholdene på en systematisk måte.

I starten av forsøket ble det benyttet flo og fjære-vanning etter første oppvanning. Dette innebærer at vann slippes inn i brettene plantene står på fra bunnen, slik at plantene kan suge opp vannet med røttene. Denne metoden ble valgt for å sikre jevn vanning og er også den mest aktuelle vanningen benyttet i dyrking i veksthus.

Etter ca tre uker ble det imidlertid tydelig at noen av vekstene ikke spirte som forventet. For å adressere dette problemet, gikk vi over til å bruke brusevanning, som etterligner naturlig regn. Denne metoden innebærer at vann sprøytes over plantene fra toppen, noe som kan bidra til å vaske ut noe av saltet fra biokullet. Vi antok at dette kunne forbedre spiringen og veksten i plantene.

Forsøksoppsett

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold
Kålrot	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv
Kålrot	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv
Kålrot	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Kålrot	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Kålrot	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Kålrot	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Kålrot	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv
Grønnkål	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv
Grønnkål	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv
Grønnkål	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Grønnkål	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Grønnkål	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Grønnkål	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Grønnkål	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold
Bygg	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv
Bygg	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv
Bygg	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Bygg	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Bygg	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Bygg	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Bygg	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv
Raigras	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv
Raigras	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv
Raigras	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Raigras	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Raigras	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv
Raigras	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv
Raigras	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv

Etter seks uker med dyrking i drivhus, observerte vi følgende resultater:

1

Biokull fra svært salt fiskeslam:

Ingen av vekstene vokste fram. Det var nesten ingen antydning til spiring i noen av pottene. Vi ser noen få frø med raigras og bygg som spirer, i blandingen med 10% svært salt biokull. Ingen ting spirer i blandingen med 25%.

2

Biokull fra salt fiskeslam: .

I starten skjedde det lite etter spiring, men etter at vi begynte med brusevanning, fikk vi god vekst i raigras og bygg først, deretter kålvekstene og til slutt salatene. Plantene vokste først fram i blandingen med 10% biokull, og deretter i blandingen med 25% biokull. Det er tydelig at disse vekstene er noe mindre enn de i kontrollgruppen.

3

Biokull fra treflis (uten salt):

Veksten var lik som i kontrollgruppen, med god spiring og vekst for alle vekstene.

4

Kontrollgruppe (veksttorv):

Vekstene spirte og vokste som forventet, og fungerte som referanse for sammenligning.

Det var raigras og bygg som spirte først i blandingene med salt biokull, og det er derfor tydelig at disse vekstene sannsynligvis er dem som tåler mest. Deretter kom kålvekstene og til slutt litt salat også. Det betyr at resultatene er som forventet når det kommer til hva vi forventet fra plantene.



Forsøket pågikk over en periode på seks uker. I løpet av de første tre ukene ble flo og fjære-vanning benyttet, mens de siste tre ukene ble brusevanning brukt. For å sikre at plantene fikk tilstrekkelig næring, ble det tilsatt næringsstoffer i vannet som plantene mottok. Dette for å sikre optimale vekstforhold og ga oss muligheten til å observere hvordan de ulike saltet i biokullblandingerne påvirket planteveksten.

Gjennom hele forsøksperioden ble temperatur og andre miljøforhold nøye overvåket for å sikre konsistens og pålitelighet i resultatene. Temperaturen i drivhuset ble holdt mellom 16 og 22 grader Celsius, noe som gir ideelle vekstforhold for de fleste planter.

Målet med forsøket var å sammenligne veksten til plantene mot kontrollgruppen for å se om salt biokull hemmer spiring eller vekst. Vi fokuserte ikke på avlingsresultater, da veksten mot kontrollgruppen gir gode indikasjoner på biokullets effekt på plantevekst.

Denne metodiske tilnærmingen gir oss et solid grunnlag for å evaluere effekten av salt biokull på plantevekst og jordkvalitet, og vil bidra til å gi verdifull innsikt i potensialet for å bruke fiskeslambasert biokull i jordbruket.



Saltinnholdet hemmer plantevekst

Forsøket med å dyrke planter i jordblandinger som inneholder salt biokull har gitt oss verdifull innsikt i hvordan ulike typer biokull påvirker plantevekst. Resultatene viser tydelig at biokull fra svært salt fiskeslam ikke er egnet for plantevekst, da ingen av vekstene vokser i disse blandingene. Dette indikerer at høye nivåer av salt i biokull vil hemme spiring og vekst betydelig.

Biokull fra salt fiskeslam viste (overraskende) god vekst etter at vi gikk over til brusevanning, men vekstene var fortsatt mindre enn de i kontrollgruppen. Dette tyder på at selv moderate nivåer av salt i biokull kan ha en negativ effekt på plantevekst, selv om brusevanning kan bidra til å forbedre spiringen. Det kan derfor tenkes at i et utendørs forsøk et sted med mye regn, vil vise mindre og mindre forskjeller over lengre tid. Det ble også observert at pottene med 10% biokull begynte å vokse før pottene med 25% biokull, noe som antyder at lavere konsentrasjoner av salt biokull er mindre skadelige for plantene. Forskjellen i vekst er minst for blandingen med raigras og bygg, noe som indikerer at det er disse sortene hvor man først bør benytte biokull fra salt fiskeslam.

Resultatene per vekst.

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold	Resultat
Kålrot	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Kålrot	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Kålrot	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning.
Kålrot	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning. Kom i gang etter blandingen med 10%.
Kålrot	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Ingen spiring
Kålrot	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Ingen spiring
Kålrot	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv	God spiring og vekst

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold	Resultat
Grønnskål	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Grønnskål	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Grønnskål	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning
Grønnskål	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning. Kom i gang etter 10%-blanding.
Grønnskål	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Ingen spiring
Grønnskål	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Ingen spiring
Grønnskål	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv	God spiring og vekst
Grønnskål	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen

Resultatene per vekst.

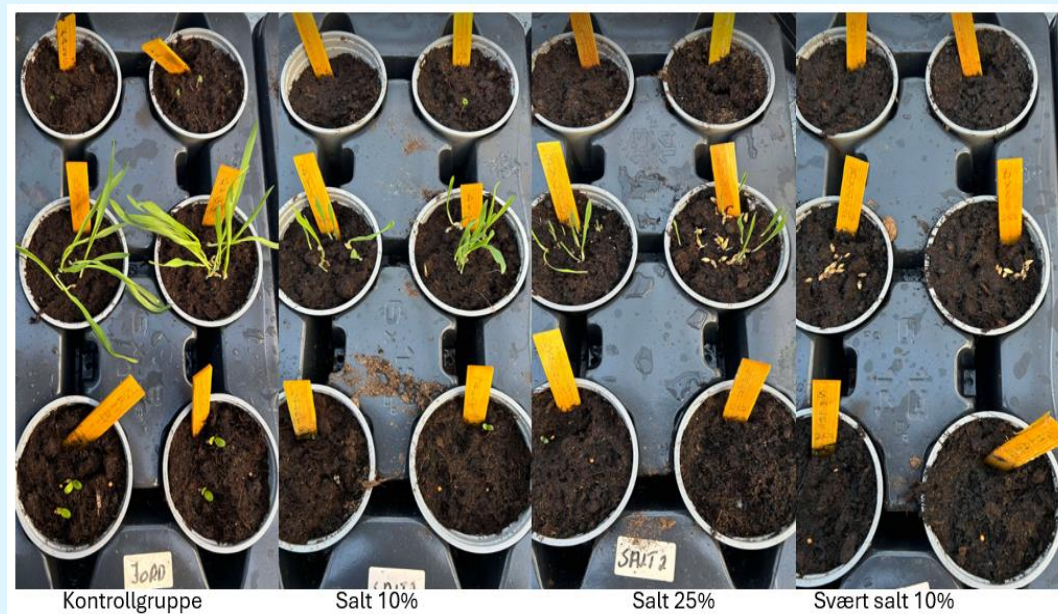
Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold	Resultat
Bygg	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Bygg	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Bygg	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning
Bygg	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning. Liten forskjell mellom 10% og 25%.
Bygg	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Ingen spiring i starten, noen få korn spirer mot slutten av forsøket.
Bygg	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Ingen spiring
Bygg	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv	God spiring og vekst

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold	Resultat
Raigras	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Raigras	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Raigras	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, lite vekst før brusevanning.
Raigras	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, lite vekst før brusevanning. Ikke forskjell mellom 10% og 25%.
Raigras	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Ingen spiring i starten, noen få frø spirer mot slutten av forsøket.
Raigras	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Ingen spiring
Raigras	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv	God spiring og vekst
Raigras	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen

Resultatene per vekst.

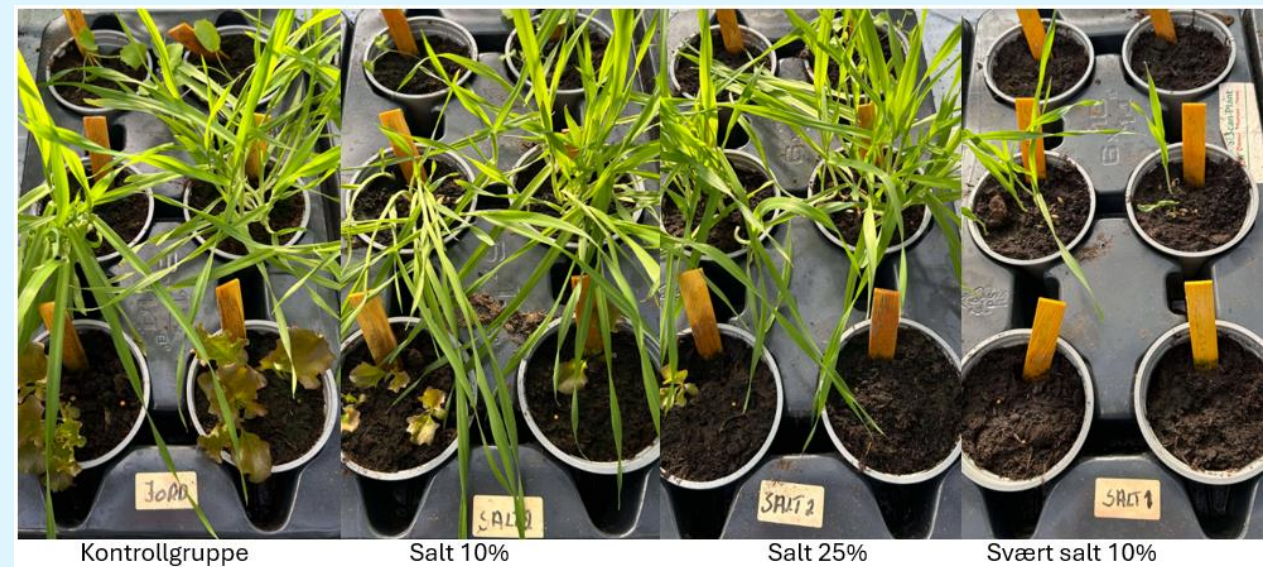
Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold	Resultat
Ekebladsalat 1	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Ekebladsalat 1	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Ekebladsalat 1	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning
Ekebladsalat 1	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, generelt dårlig vekst, nesten ikke vekst før brusevanning
Ekebladsalat 1	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Ingen spiring
Ekebladsalat 1	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Ingen spiring
Ekebladsalat 1	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv	God spiring og vekst
Ekebladsalat 1	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen

Vekst	Biokulltype	Blandingsforhold	Resultat
Ekebladsalat 2	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Ekebladsalat 2	Biokull fra treflis	25% biokull, 75% veksttorv	Lik kontrollgruppen
Ekebladsalat 2	Biokull fra salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, nesten ikke vekst før brusevanning
Ekebladsalat 2	Biokull fra salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Mindre enn kontrollgruppen, generelt dårlig vekst, nesten ikke vekst før brusevanning
Ekebladsalat 2	Biokull fra svært salt fiskeslam	10% biokull, 90% veksttorv	Ingen spiring
Ekebladsalat 2	Biokull fra svært salt fiskeslam	25% biokull, 75% veksttorv	Ingen spiring
Ekebladsalat 2	Kontrollgruppe (veksttorv)	100% veksttorv	God spiring og vekst
Ekebladsalat 2	Biokull fra treflis	10% biokull, 90% veksttorv	Lik kontrollgruppen



Ca 10 dager inn i vekstforsøket:

Det var ingen spiring i det hele tatt på Svært salt 25%, og det er derfor utelatt. Blandingen med biokull fra treflis er også utelatt i sammenligningen, da den er identiske med kontrollgruppen.



Mot slutten av forsøket

Det var ingen spiring i det hele tatt på Svært salt 25%, og det er derfor utelatt. Blandingen med biokull fra treflis er også utelatt i sammenligningen, da den er identiske med kontrollgruppen.



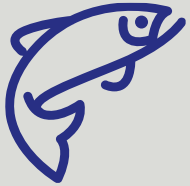
Biokull fra trellis, som ikke inneholder salt, viste lik vekst som kontrollgruppen. Dette bekrefter at biokull uten salt kan være en effektiv jordforbedrer som ikke hemmer plantevekst. I dette forsøket er det altså ikke sett på de positive effektene av biokull, og denne blandingen har derfor fått lite oppmerksomhet. Den ble tatt med for å ha en ekstra kontrollgruppe, for å sikre at ikke det at blandingen inneholder biokull utgjør noen egen forskjell.

Samlet sett viser forsøket at saltinnholdet i biokull har en betydelig innvirkning på plantevekst. For å kunne utnytte fiskeslambasert biokull i jordbruket, må saltinnholdet reduseres til et nivå som ikke hemmer spiring og vekst. Videre forskning kan fokusere på metoder for å redusere saltinnholdet i biokull, samt undersøke langtidseffektene av salt biokull på jordkvalitet og plantehelse. Her har vi særlig tro på utvaskingseffekten gjennom regn (eller brusevanning).



Veien videre

Mai 2026



Ubesvarte spørsmål

Bedre datagrunnlag: Slammets sammensetning varierer gjennom produksjonsfasene til laksen. Det vil derfor være gunstig å dokumentere opp hvordan variasjonen i slammet er, både i produksjonssyklusen, samt i ulike lokasjoner og med ulik førsammensetning.

Videre forskning er nødvendig for å optimalisere prosessene og sikre trygg bruk av dette biokull i jordbruket.

Europeisk forskning. Der pågår forskning på biokull fra ulike restressurser, blant annet i Scotland og på Island. Det er viktig at Norge samarbeider om dette med landene rundt oss.



NIBIO

Biokull produsert
på salt fiskeslam
for bruk i jord

Nicholas Clarke



NCE Seafood
Innovation

Innledning

Biokull er et karbonrikt materiale produsert gjennom pyrolyse av biomasse. Bruken av biokull i jordbruk har fått økt oppmerksomhet som et bærekraftig jordforbedringsmiddel og karbonlagringsverktøy (Miljødirektoratet m.fl. 2020, Norges bondelag 2024). Bruk av biokull kan forbedre jordstruktur, vannholdingskapasitet og kationbyttekapasitet.

Denne rapport setter søkelys på biokull produsert fra salt fiskeslam, en avfallsressurs fra oppdrettsnæringen, og dets mulige bruk i jordbruk. Når fiskeslam som inneholder salt brukes som råmateriale, oppstår spesifikke muligheter og utfordringer, som er forskjellige fra biokull basert på annet råstoff. Denne rapporten utforsker disse aspekter, inkludert biokullets innhold, dess bruk i jord, og relevante reguleringer.

Spørsmålene vi prøver å besvare er:

- Hva er mulighetene og utfordringene knyttet til bruk av biokull produsert på fiskeslam med salt som benyttes i jord?
- Hvordan endres biokullets karakter på grunn av saltet? Hvordan bindes det til biokullet?
- Hva er karbonandelen i dette biokullet?
- Kan biokull produsert på fiskeslam med salt benyttes i jord? Hvis ja, hvor mye av dette biokullet kan man tilføre per dekar?
- Hva påvirker hvilke typer jord som vil tåle saltholdig biokull?
- Hvilke planter kan dyrkes i jord hvor dette biokullet er tilført?
- Er det andre utfordringer enn salt knyttet til å bruke dette biokullet i jord, for eksempel tungmetaller?
- Hvilke prosesser må eventuelt til for å fjerne eller redusere saltinnholdet fra biokullet?
- Er det ulike krav knyttet til landbruksjord og f.eks. jord i tilknytning til veibygging og anlegg? Kan biokullet benyttes i anleggsjord?
- Hvilke reguleringer finnes for bruk av biokull fra fiskeslam i jord?

Bakgrunn

Fiskeslam er et biprodukt fra fiskeoppdrett som inneholder ekskrementer og fôrrester. Det er rikt på næringsstoffer som nitrogen og fosfor, men også på salt og tungmetaller. Pyrolyse av fiskeslam kan omdanne dette avfallet til biokull, som skulle eventuelt kunne brukes som jordforbedringsmiddel. Dette kan bidra til bærekraftig avfallshåndtering og forbedre jordens fruktbarhet, men den høye saltkonsentrasjonen og tungmetallene kan skape utfordringer. Det mangler dokumentasjon på hvor brukbar dette biokull blir som jordforbedringsmiddel, når man pyrolyserer saltholdig slam

Prosjektgjennomføring

Vi gjennomfører litteratursøk og ser på hvilke regulatoriske begrensninger som finnes for å benytte slam, spesielt opp mot den nye gjødselsvareforskriften. Det er ikke mye publisert frem til nå om biokull med høy saltkonsentrasjon og dets effekt på jord og avlinger, men det er også data for upyrolysert fiskeslam og annet som kan være relevant.

Ressurstilgang

Tall fra 2017 anslår at Norge produserer mer enn to millioner tonn fiskeslam per år, og om lag 25 % av dette slippes ut i sjøen (<https://biogassbransjen.no/2022/06/03/fiskeslam-for-okt-energiproduksjon/>). Imidlertid, må landbaserte anlegg samle inn fiskeslam for at det ikke skal forurense naturen (Brod og Øgaard 2021).

Produksjon av biokull fra fiskeslam

Produksjonen av biokull fra fiskeslam skjer gjennom pyrolyse, en prosess der biomasse varmes opp i fravær av oksygen. Dette resulterer i et karbonrikt produkt med stabil struktur. Materialer som skal pyrolyseres bør ha en innebygget porøsitet for å fungere godt som biokull i jord. Pyrolyseprosessen kan tilpasses for å optimalisere utbyttet og kvaliteten på biokullet. Blant annet har pyrolysetemperaturen stor effekt på biokullets egenskaper.

Kjemisk innhold av biokull fra fiskeslam

Karbonandelen i biokull fra fiskeslam varierer, men kan være betydelig, noe som gjør det effektivt for karbonlagring. Karbonandelen i prøvene fra Pelagia var mellom 18% og 75%.

Biokull produsert fra fiskeslam inneholder varierende mengder salt, næringsstoffer og tungmetaller. Saltinnholdet kan påvirke jordens salinitet, mens næringsstoffer i fiskeslam som fosfor og nitrogen skulle kunne forbedre jordens fruktbarhet (Brod m.fl. 2017). Tungmetaller som sink og kadmium kan oppkonsentreres i biokullet, noe som kan begrense dets bruk i jordbruk (Brod m.fl. 2017).

Næringsstoffer

Fiskeslam er rikt på næringsstoffer som nitrogen, fosfor og kalium, som er viktige for plantevekst. Imidlertid, kan konsentrasjonene av disse næringsstoffer være ubalansert i henhold til plantenes behov (Brod m.fl. 2023). Når fiskeslam gjennomgår pyrolyse for å bli til biokull, vil mye av nitrogenet forsvinne, mens fosforet blir igjen i biokullet som tungt løselige kalsiumfosfater (Brod og Øgaard 2021). Dette betyr at fosforet i biokullet ikke er like lett tilgjengelig for planter som i sin opprinnelige form (Brod og Øgaard 2021). Det er mulig at mer fosfor er tilgjengelig for planten hvis pyrolysetemperaturen er lavere (Brod og Øgaard 2021). Avvanning av fiskeslam kan lede til reduserte mengder av lettløselig kalium (Brod og Øgaard 2021). Det er ofte høye konsentrasjoner av tilgjengelig kalsium og magnesium i biokull.

Salt

Høy saltkonsentrasjon i biokull fra fiskeslam er sannsynligvis en utfordring når biokullet brukes i jordbruk. Hvor stor utfordringen blir, er avhengig av bl.a. jordtype. En sandjord kan være mindre utsatt enn en leirjord, fordi vann renner lettere gjennom og kan vaske ut salter. Mens sandjord kan vannes med brakkvann hvis vekstene tåler det, er dette ikke anbefalt for organisk jord eller leirjord (SalFar 2022).

Saltinnholdet i fiskeslam påvirker biokullets pH og ionebyttekapasitet. Dette ble undersøkt av Lee m.fl. (2017) i saltholdig biokull fra matavfall i Sør-Korea. Saltet kan binde seg til biokullet gjennom ionebytteprosesser (Lee m.fl. 2017), noe som kan endre biokullets evne til å binde næringsstoffer. Dette skulle kunne føre til redusert plantevekst og avling (SalFar 2022).

Høyere saltinnhold i matavfall kan påvirke binding til aromatiske ketoner som blir dannet under pyrolysen, med usikker effekter på jorda (Lee m.fl. 2017), og man kan kanskje forvente det samme for saltholdig biokull fra fiskeslam.

Saltkonsentrasjonen i biokull kan reduseres med å vaske det med vann; spesielt kloridkonsentrasjonen ble redusert, mens natriumkonsentrasjonen ble ikke redusert like mye, sannsynligvis grunnet adsorpsjon av natriumioner (Lee m.fl. 2017).

De høyeste saltkonsentrasjonene i biokullprøvene til Pelagia var i størrelsesorden 10-12% for både Na og Cl (analysert av Fertilib). Disse konsentrasjoner er nokså høye; til sammenligning, var de høyeste saltkonsentrasjonene i forsøkene til Lee m.fl. (2017) 16,53% for Na og 13,80% for Cl. Man kan altså forvente effekter fra saltet i Pelagias biokull som er sammenlignbare med det som ble funnet av Lee m.fl. (2017).

For dyrking i saltpåvirket jord, trengs avlinger og planter som tåler salt, enten saltet kommer fra saltholdig biokull eller annen kilde f.eks. brakt grunnvann (SalFar 2022). I rapporten til SalFar (2022), vises det til resultater fra feltforsøk med vanning med saltholdig vann. Biokull ble ikke brukt, men forsøkene kan likevel gi indikasjoner om hvilke planter tåler salt godt. Forsøkene ble gjennomført i Norge (Jæren), Nederland, Danmark og Storbritannia. Et feltforsøk på Jæren viste at vanning med 25 dS/m saltholdig vann hadde ikke noen signifikant effekt på avlingen av poteter (SalFar 2022), og liknende resultater ble funnet i tester i andre land. Også betes, kålvekster, noen gulrotsorter og noen hvetesorter virker å kunne tåle høy salinitet nokså bra (SalFar 2022). Det er viktig å teste sorter som

er normalt brukt i området der de skal dyrkes. Noen gressorter brukt i beitemark viste seg å ha akseptabel avling og ingen til liten effekt av vanning med 25 dS/m brakkvann i forsøk på Jæren (SalFar 2022). Det ser altså ut, at det er flere salt-tolerante planter som kan eventuelt dyrkes i saltholdig jord. Imidlertid, bør det gjennomføres flere forsøk på disse, fordi de ovennevnte forsøk har brukt brakkvann til vanning men ikke testet effekten av saltholdig biokull, og fordi sorter som ble brukt kunne være annerledes enn sortene som blir brukt i norsk jordbruk.

Sannsynligvis er mengden biokull som kan tilføres per dekar avhengig av både jordtypen og saltinnholdet. Generelt bør biokullet brukes i moderasjon for å unngå saltoppbygging. For å minimere problemene, er det viktig å teste biokullets kvalitet og saltinnhold før bruk, og eventuelt blande det med andre materialer, behandle det med kjemiske prosesser eller vasker det med vann (Lee m.fl. 2017) for å redusere saltinnholdet. Imidlertid, kan dette også være et kostnadsspørsmål.

Det finnes plantearter som tåler salt godt, kjent som halofytter. De fleste av disse er normalt ikke brukt i norsk jordbruk, men noen spiselige planter forekommer på våre strender og det kan tenkes at de kan brukes i jordbruk i fremtida. Sukkerbeter har av og til blitt betraktet som halofytter (SalFar 2022).

Hverken gjødselvarforkriften (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-29-116>), gjødselbruksforskriften (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-29-115>) (kap. 7.1), EUs regler (kap. 7.1), eller sertifiseringsordninger (kap. 7.2) inneholder grenseverdier for saltinnhold i biokull. Imidlertid, kan ledningsevne i et vannekstrakt brukes som en indirekte måte å bestemme saltinnholdet i biokull (EBC 2012-2024).

Dette betyr, at det er ikke saltinnholdet i det faste biokullet som er avgjørende i seg, men hvor mye som kommer ut i vannløsning, noe som kan variere mye avhengig ikke kun av biokullet men også av vannmengden. I analysemetoden som er beskrevet av European Biochar Certificate (EBC 2012-2024) er 20 g prøve tilsatt 200 mL vann. Drikkevannsforskriften (Forskrift om vannforsyning og drikkevann <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>) har tiltaksgrenser knyttet til drikkevann (men egne regler gjelder for kildevann og naturlig mineralvann). I denne forskrift, er tiltaksgrensen for ledningsevne i drikkevann gitt som 250 mS/m ved 20°C, mens tiltaksgrensene for de viktigste stoffene i sjøsalt, klorid og natrium, er gitt som 250 respektive 200 mg/L. Det bør understrekes at disse tiltaksgrenser gjelder for drikkevann og ikke for markvann.

Tungmetaller etc.

Fiskeslam kan inneholde for høye konsentrasjoner av f.eks. kadmium og arsenikk i henhold til EUs maksimumsverdier (Sele m.fl. 2024). En annen utfordring er at metaller som sink og kadmium kan oppkonsentreres i biokullet under pyrolysen. Dette skjer fordi en del av tørrstoffet i fiskeslam blir til gass under pyrolyseprosessen, mens de fleste tungmetallene forblir i stor grad i det faste biokullet med f.eks. over 70% fiksering (Sørmo m.fl. 2024). Imidlertid, kan noen tungmetaller, som Cd and Pb, bli mer lettflyktige gjennom reaksjoner med C-matrisen, men tilstedeværelsen av Cl kan redusere dette gjennom dannelsen av mer lettflyktige Cl-forbindelser (Sørmo m.fl. 2024). Også halvmetallen As kan stabiliseres gjennom dannelsen av f.eks. CaAsO₂ (Sørmo m.fl. 2024). Tungmetaller blir generelt mindre flyktige med økt pyrolysetemperatur (Sørmo m.fl. 2024).

Selv om tungmetallene oppkonsentreres under pyrolyse, kan deres biotilgjengelighet reduseres som et resultat av kjemiske endringer (f.eks. det relativt høye pH i biokull grunnet askeinnhold); dette betyr at de blir mindre tilgjengelige for opptak av planter (Wang m.fl. 2019), noe som kan redusere risikoen for tungmetallforurensning i matvekster. Det ser ut, at jo høyere pyrolysetemperatur jo høyere andel av tungmetallene i stabile fraksjoner med lav biotilgjengelighet (Wang m.fl. 2019). Man bør likevel være forsiktig, fordi fremtidige endringer i jordkjemi skulle i noen tilfeller kunne lede til omdanninger av disse tungmetallfraksjoner til mer lett tilgjengelige fraksjoner.

I Forskriften om produksjon, omsetning og import av gjødselvarer av organisk opphav og visse uorganiske gjødselvarer (gjødselvareforskriften, <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-29-116>, kap. 7.1) klassifiseres gjødselvarer etter tungmetallkonsentrasjoner (Tabell 1). Disse grenseverdier skal ikke overskrides. Det bør noteres at grenseverdiene er for konsentrasjoner i gjødselvaren, ikke for hvor mye kan spredes per dekar. Biokull fra fiskeslam kan havne i tungmetallklasse III i henhold til gjødselvareforskriften, noe som begrenser dets bruk i jordbruk. Noen biokull kan til og med havne utenfor kvalitetsklasse III, og dermed være helt uegnet for bruk i matproduksjon. Sammenligning av analyseresultatene for Pelagias prøver viser, at nesten alle prøver ligger innenfor i hvert fall kvalitetsklasse III.

Tungmetallklasse grenseverdi (mg/kg tørrstoff)				
	0	I	II	III
Cd	0,4	0,8	2	5
Pb	40	60	80	160
Pb i dyrkingsmedier	40	52	52	52
Hg	0,2	0,6	3	5
Ni	20	30	50	80
Zn	150	400	800	1500
Cu	50	150	650	1000

Tabell 1. Tungmetallklasser til klassifisering av gjødselvarer, etter gjødselvareforskriften.

For å redusere tungmetallinnholdet kan biokullet behandles. Dette kan bidra til å gjøre biokullet tryggere for bruk i jordbruket, men kan bli et kostnadsspørsmål.

Regulering – Lovverk

Norge har reguleringer som kan påvirke pyrolyseprosesser, spesielt innenfor avfallshåndtering og miljøvern. For eksempel, endringer i avfallsforskriften fra 1. januar 2025 inkluderer krav til utsortering og materialgjenvinning av avfall. Dette kan påvirke hvordan pyrolyse brukes til å behandle avfallsmaterialer. Det er også generelle krav til forurensende virksomhet som kan gjelde for pyrolyseanlegg. Disse reguleringene sikrer at miljøpåvirkningen fra slike prosesser blir minimert. Det er flere spesifikke lover og forskrifter i Norge som kan være relevante for bruk av biokull og pyrolyse. Viktigst er forskriften om produksjon, omsetning og import av gjødselvarer av organisk opphav og visse uorganiske gjødselvarer.

1. Forskrift om produksjon, omsetning og import av gjødselvarer av organisk opphav og visse uorganiske gjødselvarer (gjødselwareforskriften, <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-29-116>) skal sikre kvalitet og tilrettelegge for bruk av sirkulære råvarer ved produksjon, omsetning og import av gjødselvarer, samtidig som miljøhensyn og hensynet til planter, dyrs og menneskers helse ivaretas. Bruken av biokull i norsk jordbruk reguleres av gjødselwareforskriften, som setter krav til innholdet av næringsstoffer og tungmetaller i gjødselvarer. Biokull som skal brukes som gjødsel må oppfylle kravene til kvalitet og sikkerhet, inkludert grenseverdier for tungmetaller i § 21, samt polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH16) og polyklorerte dibenzo-p-dioksiner og dibenzofuraner (PCDD/F) i § 27. I landbruket må biokull, inklusive biokull fra fiskeslam, oppfylle kvalitetskrav for å unngå forurensning. Det kan havne i tungmetallklasse III, som ikke får brukes i jordbruk eller i private hager men får brukes i grøntarealer og parkanlegg (<https://www.nibio.no/tema/jord/organisk-avfall-som-gjodsel/kvalitetskrav?locationfilter=true>). Det kan til og med havne utenfor kvalitetsklasse III, og dermed være helt uegnet for bruk i matproduksjon. Det er spesielle krav til tungmetallinnhold i anleggsjord (§ 23).
2. Forskrift om lagring og bruk av gjødsel mv (gjødselbrukforskriften, <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-29-115>) har som formål å legge til rette for at gjødselvarer kan utnyttes som en ressurs samtidig som forurensningsmessige, helsemessige og hygieniske ulemper ved lagring og bruk forebygges. Den inkluderer bestemmelser om bruk av gjødselvarer på dyrket jord ut fra tungmetallinnhold (§ 25).
3. Forurensningsloven: Denne loven (<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6>) regulerer utslipp til luft, vann og jord, og vil være relevant for alle pyrolyseanlegg som kan generere forurensning.
4. Avfallsforskriften: Denne forskriften (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-930>) inneholder regler om håndtering av avfall, inkludert krav til utsortering og materialgjenvinning. Pyrolyse kan brukes som en metode for å behandle avfall, og derfor vil disse reglene være viktige.
5. Produktkontrollloven: Denne loven (<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1976-06-11-79>) regulerer bruk og håndtering av kjemikalier og farlige stoffer, noe som kan være relevante for pyrolyseprosesser.
6. Plan- og bygningsloven: Denne loven (<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>) regulerer bygging og drift av anlegg (inklusive pyrolyseanlegg), inkludert miljøkrav og sikkerhetsstandarder.

EUs regler for gjødselvarer gjelder også for Norge (European Parliament and Council 2019).

Sertifisering

European Biochar Certification (EBC, <https://www.european-biochar.org/en>) er en frivillig europeisk sertifiseringsordning. EBC-sertifisering dokumenterer at biokullproduksjon er bærekraftig og at biokullet har en forutsigbar kvalitet (<https://www.mattilsynet.no/planter-og-dyrking/gjodsel-jord-og-dyrkingsmedier/den-europeiske-sertifiseringsordningen-for-biokull-8ebc>). EBC har laget retningslinjer for standardisering av tillatte råvarer, pyrolyseprosesser og produktkvaliteter. Standarden er forskningsbasert og under kontinuerlig utvikling. Sertifiseringsordningen angir hvilke råvarer som kan brukes til å produsere biokull til ulike formål eller bruksklasser. Bruksklassene er fôr, økologisk produksjon, konvensjonelt landbruk og såkalt urban klasse til bruk i bybeplantning, park og anlegg. Videre har standarden klasser for biokull til industrielle formål.

Ved import av biokullprodukter med EBC-sertifikat må det kontrolleres om kravene til produktkvalitet etter nasjonalt regelverk er oppfylt. De ulike EBC-bruysklassene samsvarer ikke med kvalitetsklassene etter nasjonalt regelverk.

Biokull sertifisert i EBC-bruysklassene EBC-Agro og EBC-AgroOrganic tilfredsstiller alle krav i EU-gjødsevareregelverket, men må registreres i REACH og søke om CE-merking for å omsettes som et EU-gjødsevarer. Flere EU-land, eksempelvis Sverige og Danmark, har anerkjent biokull i klassen EBC-Agro til bruk på jord, men har i tillegg laget egne vedlegg (Country Annex) hvor landets tilleggskrav til biokull fremgår. I Sveits tillates kun rent trevirke i klassen EBC-AgroOrganic til bruk på jord. Et biokull i klassen EBC-AgroOrganic tilfredsstiller kravene gitt i økologiforordningen.

World Biochar Certificate (WBC, https://www.carbon-standards.com/docs/7559c8e1c37551fdb0713b7c20347a9c_Pr%C3%A4sentation_WBC_V3.pdf) er likt EBC og gjelder i resten av verden utenfor EU/EFTA.

Biochar Quality Mandate (BQM, https://www.pure.ed.ac.uk/ws/portalfiles/portal/17910590/BQM_V1.0.pdf) er en britisk kvalitetsprotokoll.

Internasjonale standarder

Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen ISO holder på å utvikle to standarder relatert til biokull. Disse er: ISO/CD TS 21251 «Methods to estimate biochemical stability or residence time of organic carbon in soils» og ISO/AWI 8228 «Sludge/biosolids toxicological evaluation and classification in land application» (https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=biochar).

Den europeiske standardiseringsorganisasjon CEN har foreløpig ikke utviklet noen standard relatert til biokull (<https://www.en-standard.eu/search/?q=biochar>).

Diskusjon

Biokull fra fiskeslam representerer en lovende løsning for bærekraftig jordforbedring og karbonlagring, men det er viktig å håndtere utfordringene knyttet til salt og tungmetaller. Videre forskning og utvikling av behandlingsmetoder er nødvendig for å optimalisere bruken av dette biokullet i ulike jordtyper og bruksområder.

Strengt reguleringer og sertifiseringer kan sikre at biokullet kan brukes trygt og effektivt som jordforbedringsmiddel.

Muligheter:

- 1. Næringsrik ressurs:** Fiskeslam er rikt på næringsstoffer som nitrogen og fosfor, som er essensielle for plantevekst. Imidlertid, kan mye nitrogen bli borte under pyrolysen, mens fosforet kan bli mindre tilgjengelig for planter.
- 2. Karbonlagring:** Biokull kan bidra til karbonlagring i jord, noe som er viktig for å redusere klimagassutslipp.
- 3. Jordforbedring:** Biokull forbedrer jordstruktur, vannholdingskapasitet og kationbyttekapasitet.

Utfordringer:

- 1. Saltinnhold:** Høyt saltinnhold i biokullet kan påvirke jordens struktur og fruktbarhet negativt, samt skade plantene ved å forstyrre deres evne til å ta opp vann og næringsstoffer. For å redusere saltinnholdet kan biokullet vaskes med vann (Lee m.fl. 2017) eller behandles med kjemiske prosesser. Forsøk har vist, at mange av plantene som er brukt i jordbruk, tåler høyt saltinnhold vel.
- 2. Næringsstoffer:** Under pyrolyseprosessen forsvinner mye av nitrogenet, mens fosforet blir omdannet til tungt løselige kalsiumfosfater, som ikke er lett tilgjengelige for planter.
- 3. Tungmetaller:** Fiskeslam kan inneholde tungmetaller som konsentreres i biokullet under pyrolyse. Tungmetaller i biokull fra fiskeslam representerer en utfordring, men det ser ut, som de kan bli mindre biotilgjengelig som et resultat av pyrolysen, og med riktig behandling (f.eks. høy pyrolysetemperatur) og regulering kan risikoen reduseres.
- 4. Regulatoriske begrensninger:** Biokull fra fiskeslam kan havne i tungmetallklasse III i henhold til gjødselvareforskriften, noe som begrenser dess bruk i jordbruket.

Videre forskning er nødvendig for å optimalisere prosessene og sikre trygg bruk av dette biokull i jordbruket.

Anbefalinger og konklusjoner

Biokull fra fiskeslam med salt bør kunne brukes i jord, men det er viktig å være forsiktig, med kun moderate mengder per dekar for å unngå saltoppbygging. Det blir også avhengig av jordtype: Jord med god drenering og høyt innhold av organisk materiale kommer til å tåle saltholdig biokull bedre, mens leirjord kan være mer utsatt for saltoppbygging. Det er flere salt-tolerante planter som kan eventuelt dyrkes i saltholdig jord. Imidlertid, bør det gjennomføres forsøk på disse, fordi tidligere forsøk har brukt brakkvann til vanning, men ikke saltholdig biokull.

Det er viktig å teste biokullets kvalitet og følge gjeldende forskrifter for å sikre at det er trygt og effektivt å bruke i jordbruket.

Referanser

Brod E, Henriksen TK, Ørnsrud R, Eggen T (2023) Quality of fish sludge as fertiliser to spring cereals: Nitrogen effects and environmental pollutants. *Science of the Total Environment* 875: 162541. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162541>.

Brod E, Oppen J, Kristoffersen AØ, Haraldsen TK, Krogstad T (2017) Drying or anaerobic digestion of fish sludge: Nitrogen fertilisation effects and logistics. *Ambio* 46: 852–864. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0927-5>.

Brod E, Øgaard AF (2021) Closing global P cycles: The effect of dewatered fish sludge and manure solids as P fertiliser. *Waste Management* 135: 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.041>.

EBC (2012-2024) European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. Carbon Standards International (CSI), Frick, Sveits. (<http://european-biochar.org>). V. 10.4 fra 20. desember 2024

European Parliament and Council (2019) Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>.

Lee Y-E, Jo J-H, Kim I-T, Yoo Y-S (2017) Chemical Characteristics and NaCl Component Behavior of Biochar Derived from the Salty Food Waste by Water Flushing. *Energies* 10: 1555. <https://doi.org/10.3390/en10101555>.

Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Enova (2020) Klimakur 2030. Tiltak og virkemidler mot 2030. Rapport M-1625. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1625/m1625.pdf>.

Norges bondelag (2024) Landbrukets klimaplan 2021-2030. <https://www.bondelaget.no/bondelaget-mener/miljo-og-klima/klima/landbrukets-klimaplan-pdf/>.

SalFar (2022) Inspirasjonsguide for saltpåvirket jordbruk. Interreg North Sea Region. https://northsearegion.eu/media/21059/salfar_ig_norsk.pdf.

Sele V, Ali A, Liland N, Lundebye A-K, Tibon J, Araujo P, Sindre H, Nilsen H, Hagemann A, Belghit I (2024) Characterization of nutrients and contaminants in fish sludge from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) production sites - A future resource. *Journal of Environmental Management* 360: 121103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121103>.

Sørmo E, Dublet-Adli G, Menlah G, Flatabo GØ, Zivanovic V, Carlsson P, Almas Å, Cornelissen G (2024) Heavy Metals in Pyrolysis of Contaminated Wastes: Phase Distribution and Leaching Behaviour. *Environments* 11: 130. <https://doi.org/10.3390/environments11060130>.

Wang X, Li C, Li Z, Yu G, Wang Y (2019) Effect of pyrolysis temperature on characteristics, chemical speciation and risk evaluation of heavy metals in biochar derived from textile dyeing sludge. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 168: 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.022>.