

# Biorest fra marine råstoffer

Eva Brod<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NIBIO Bioressurser og kretsløpsteknologi  
eva.brod@nibio.no

## Innledning

Biorest er det organiske restproduktet etter utvinning av biogass fra organisk materiale som matavfall og husdyrgjødsel. Biorest er næringsrik og kan nyttiggjøres som organisk gjødsel i landbruket.

Industrielle biogassanlegg viser nå økende interesse for å ta imot marine råstoffer (fiske slam og fiskeensilasje), i tillegg til matavfall og husdyrgjødsel. Fiske slam er en blanding av oppdrettsfiskens ekskrementer og fôrrester. Fiskeensilasje er kvernet fiskeavfall som er tilsatt syre før varmebehandling ved 85 °C i 25 minutter. Marine råstoffer er rike på protein og fett, og forsøk har vist at de derfor har stort biogasspotensial sammenlignet med storfe gjødsel (Solli *m.fl.* 2014; Gebauer *m.fl.* 2016). I praksis byr biogassbehandling av marine råstoffer på utfordringer: Ved anaerob nedbrytning av nitrogen- og fettrike substrater vil det dannes mye ammonium og fettsyrer som kan føre til at biogassprosessen blir ustabil og at metanproduksjonen kollapser. Det er derfor vanlig å kombinere fiske slam og fiskeensilasje med andre substrater som husdyrgjødsel, når de behandles i biogassanlegg.

Med økt nasjonal satsing på biogassproduksjon, vil også produksjon av næringsrik biorest øke. Usikkerhet rundt kvaliteten og potensielle miljøutfordringer ved bruk av biorest skaper skepsis mot å ta det i bruk som gjødsel, og er en stor barriere for økt nasjonal biogassproduksjon. Økt bruk av marine råstoffer i biogassanlegg kan ytterligere øke skepsis mot biorest.

I prosjektet *Biorest fra nye marine råstoffer og husdyrgjødsel: Bruksanbefalinger for landbruket*, finansiert av Landbruksdirektoratets Klima- og Miljøprogram har vi derfor sett på hvordan bruk av fiske slam og fiskeensilasje som substrat i biogassanlegg påvirker kvaliteten til biorest som gjødsel.

## Materiale og metoder

### Biorestprøver

Vi innhentet biorestprøver fra etablerte biogassanlegg som tar imot matavfall og husdyrgjødsel, og fra nye biogassanlegg som i tillegg tar imot marine råstoffer (fiske slam og fiskeensilasje). Vi inkluderte også relevante biorestprøver som ble fremstilt på NIBIOs egen biogasslab i andre prosjekter.

Til sammen 33 biorestprøver ble delt i tre grupper:

- *Biorest fiske slam* (n = 11): Biorest med fiske slam (mellom 5 og 92 vol.-% av substratmikts) i sambehandling med husdyrgjødsel
- *Biorest fiskeensilasje* (n = 9): Biorest med fiskeensilasje (mellom 2,5 og 11 vol.-% av substratmikts) i sambehandling med ulike substrater (f.eks. husdyrgjødsel, matavfall, industris lam mm.)
- *Biorest referanse* (n = 13): Biorest med matavfall og husdyrgjødsel (opptil 25 vol.-% av substratmikts)

Alt fiske slam kom fra smolt- og postsmoltanlegg, det vil si ingen av biogassanleggene tok imot marint fiske slam fra matfiskproduksjon. Effekten av salt i marint slam på kvaliteten til biorest som gjødsel var derfor ikke del av denne undersøkelsen. Vi inkluderte heller ikke biorest fra avløpslam i datasettet vårt. Alle biorestprøvene ble tatt før eventuell separering i fast og flytende fase.

### Kjemisk analyse

Biorestprøvene ble sendt til kommersielle laboratorier for analyse. Tørrstoff i prøvene ble bestemt ved tørking på 105 °C. Organisk materiale ble bestemt ved gløding på 550 °C (glødetap). pH ble målt direkte i de flytende prøvene. Totalnitrogen ble bestemt ved modifisert Kjeldahl metode (EN 13654-1 2001). Totalkonsentrasjonen av alle andre elementer ble målt på ICP-MS eller ICP-OES etter oppslutning i konsentrert salpetersyre (HNO<sub>3</sub>) i mikrobølgeovn eller i aqua regia. Ammonium (NH<sub>4</sub>-N) ble målt med ioneselektiv elektrode eller med kittet «Agros Nova

Mk3» direkte i de flytende prøvene, eller ble bestemt ved Kjeldahl metoden.

Ved prøvemottak på labben ble de fleste biorestprøvene kategorisert som «slamprøve», og kjemisk innhold ble rapportert på tørrstoffbasis (f.eks. g/kg tørrstoff). Noen få biorestprøver hadde derimot så lavt tørrstoffinnhold at de ble kategorisert som «vannprøve» og kjemisk innhold ble rapportert på volumbasis (f.eks. mg/L). Resultatene ble regnet om til samme enhet for å gjøre resultatene sammenlignbare.

### Dataanalyse

Resultater er vist som gjennomsnitt ± standardavvik. Ikke alle prøver ble analysert for alle parametere, og antall prøver (n) er derfor oppgitt hvis færre prøver enn totalt antall inngikk i gjennomsnittet. Ved konsentrasjoner lavere enn kvantifiseringsgrense (limit of quantification, LOQ), er konsentrasjonen satt lik LOQ.

Signifikansnivå ble satt til  $\alpha = 0,05$ . Vi gjennomførte t-tester for å sammenligne to grupper (*Biorest marine råstoffer* og *Biorest referanse*). For å sammenligne

flere produktgrupper (*Biorest fiskeslam*, *Biorest fiskeensilasje* og *Biorest referanse*), gjennomførte vi variansanalyse (ANOVA) etterfulgt av Tukey's post-hoc test for multiple sammenligninger ved signifikante effekter. Sammenhenger mellom ulike parametere ble undersøkt med lineær regresjon.

Antagelsen om normalfordeling og konstant varians ble vurdert for de enkelte analysene. Omvendte brøker eller kvadratroten ble brukt for den statistiske databehandlingen i situasjoner der forutsetningen om normalfordeling ikke var oppfylt.

### Resultater og diskusjon

Tabell 1 viser kjemisk sammensetning til biorest fra marine råstoffer (*Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje*) sammenlignet med *Biorest referanse*. Tørrstoffinnholdet i biorestene var i gjennomsnitt i underkant av 5 % (tabell 1).

### Tungmetaller

Våre resultater viser at gjeldende Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (gjødselvareforskrift, FOR-2003-07-04-951) kan

**Tabell 1.** Gjennomsnitt og standardavvik for utvalgte parametere analysert i biorestprøver. TS = tørrstoff, n = antall prøver inkludert i gjennomsnittet. Se avsnitt Biorestprøver for informasjon om substratsammensetningen i de enkelte gruppene (*Biorest fiskeslam*, *Biorest fiskeensilasje* og *Biorest referanse*)

Parameter	Enhet	Biorest fiskeslam			Biorest fiskeensilasje			Biorest referanse		
		Gjennomsnitt	Standardavvik	n	Gjennomsnitt	Standardavvik	n	Gjennomsnitt	Standardavvik	n
TS	%	4,7	0,9	11	3,6	1,1	9	3,8	1,4	13
Glødetap	% av TS	68,0	6,4	11	62,9	7,7	3	68,2	6,0	11
pH		8,5	0,1	11	8,3	0,2	7	7,9	0,4	13
Tot-N	kg/tonn	5,1	1,8	11	4,4	1,7	8	3,9	1,1	13
NH <sub>4</sub> -N	kg/tonn	2,8	1,3	10	3,3	1,4	7	2,2	0,8	13
NH <sub>4</sub> -N	% av N	56	26	11	84	32	7	59	19	11
P	kg/tonn	1,8	1,7	10	1,2	2,0	7	0,4	0,2	13
N/P		4,4	3,0	11	10,0	9,5	7	12,5	6,1	11
K	kg/tonn	2,9	2,0	11	1,9	0,8	7	1,7	0,8	13
Ca	kg/tonn	3,4	3,4	11	1,8	2,6	8	1,3	0,6	8
Cd	mg/kg TS	0,9	0,7	11	0,4	0,2	4	0,4	0,1	9
Pb	mg/kg TS	6	4	11	6	5	7	5	5	9
Hg	mg/kg TS	0,0	0,1	9	0,2	0,2	6	0,1	0,1	9
Ni	mg/kg TS	10	3	11	9	3	6	6	3	9
Zn	mg/kg TS	734	493	11	273 <sup>a</sup>	111	7	261	135	11
Cu	mg/kg TS	64	21	11	92	87	7	49	22	11
Cr	mg/kg TS	12	5	11	10	10	6	5	3	9

<sup>a</sup> gjennomsnitt uten outlier  $x_1 = 2600$  mg Zn/kg tørrstoff

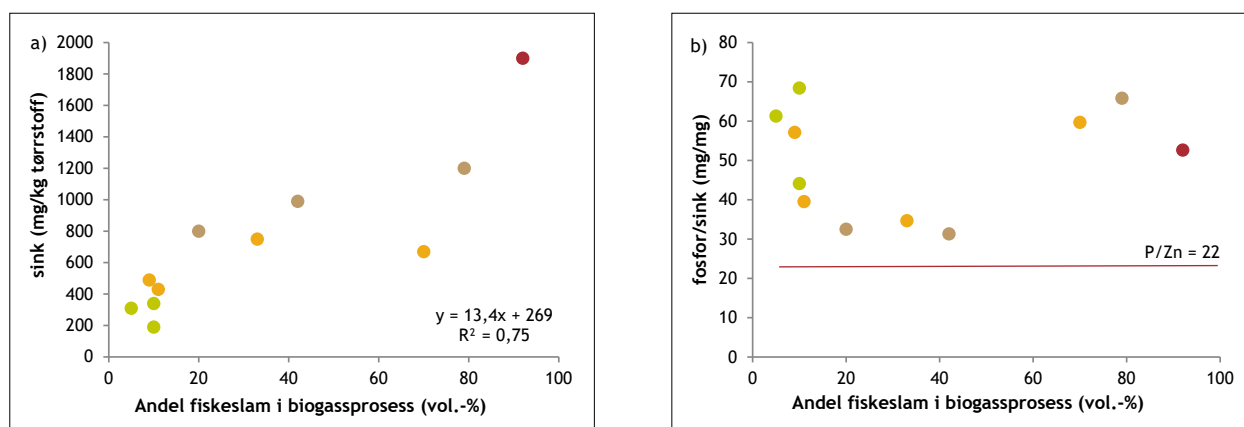
være en utfordring for bruken av biorest fra marine råstoffer, særlig fiskeslam, som gjødsel i landbruket. I henhold til gjeldende gjødselvereforskrift er mengden biorest som kan brukes per areal enhet regulert av tungmetallkonsentrasjonene i biorest på tørrstoffbasis. Tungmetallkonsentrasjonene på tørrstoffbasis bestemmer om et produkt kan brukes i fri mengde (klasse 0), med mengdebegrensninger (klasse I og II) eller ikke tillatt brukt på jordbruksareal (> klasse II), men tillatt på grøntarealer uten matproduksjon (klasse III). I gjennomsnitt var *Biorest fiskeslam* i kvalitetsklasse II på grunn av sink og kadmium, mens *Biorest fiskeensilasje* og *Biorest referanse* var i gjennomsnitt i kvalitetsklasse I (tabell 1).

Ubehandlet fiskeslam fra smolt- og postsmoltanlegg pleier å være i kvalitetsklasse I eller II pga. sink og/eller kadmium (Brod & Øgaard 2023). Sink er både et tungmetall hvor høye konsentrasjoner er uønsket, og et nødvendig næringsstoff. Det tilsettes fiskefôret for å sikre fiskens helse og for å erstatte antibiotika (Silva *m.fl.* 2019). Kadmium derimot er kun et uønsket og giftig tungmetall som kommer med de marine fôringrediensene.

Under biogassprosessen blir omtrent halvparten av det organiske materialet brutt ned og tatt ut med biogassen. Dermed øker konsentrasjonene av tungmetaller i biorest på tørrstoffbasis sammenlignet med substrater som fiskeslam. Dagens gjødselvereforskrift tar ikke høyde for at også konsentrasjonene av næringsstoffer øker på tørrstoffbasis gjennom biogassprosessen, og at forholdet mellom næringsstoffer og tungmetaller vil være uendret i substratmiksen og i bioresten.

Figur 1a viser at sinkkonsentrasjonen i *Biorest fiskeslam* økte med økende andel fiskeslam brukt som substrat i biogassprosessen. Også kadmiumkonsentrasjonen i *Biorest fiskeslam* økte med økende andel fiskeslam ( $y = 0,4 + 0,02x$ ;  $R^2 = 0,59$ ). Figur 1b viser at det ikke var noe lineær sammenheng mellom fosfor- og sink-forholdet (P/Zn) i *Biorest fiskeslam* og andel fiskeslam brukt som substrat i biogassprosessen. Det var heller ikke noe lineær sammenheng mellom fosfor- og kadmium-forholdet (P/Cd) i *Biorest fiskeslam* og andel fiskeslam brukt som substrat i biogassprosessen. Alle biorestprøver analysert her hadde et høyere forholdstall mellom henholdsvis fosfor og sink og fosfor og kadmium enn foreslått som minstekrav i utkast til revidert gjødselvereforskrift (> 22 mg P/mg Zn og > 11000 mg P/mg Cd; Landbruksdirektoratet 2018). Det bekrefter at regulering av bruk av biorest som gjødsel basert på forholdet mellom næringsstoffer og tungmetaller, kombinert med en begrensning på fosfortilførsel, ville legge bedre til rette for utnyttelsen av biorest fra marine råstoffer som gjødsel.

Gjennomsnittlig konsentrasjon av sink på tørrstoffbasis var signifikant høyere i *Biorest fiskeslam* ( $734 \pm 493$  mg Zn/kg tørrstoff) enn i *Biorest fiskeensilasje* ( $273 \pm 111$  mg Zn/kg tørrstoff) og i *Biorest referanse* ( $261 \pm 135$  mg Zn/kg tørrstoff) (tabell 1). Sinkkonsentrasjonen i *Biorest fiskeslam* var i samme størrelsesorden som gjennomsnittet for 14 prøver av svinogjødsel uten foregående biogassbehandling ( $637$  mg Zn/kg tørrstoff), rapportert av Daugstad *m.fl.* (2012).



**Figur 1.** a) Sinkkonsentrasjon (mg Zn/kg tørrstoff) og b) forhold mellom fosfor og sink (mg/mg) i *Biorest fiskeslam* som effekt av andel fiskeslam i biogassprosessen (vol.-%). Fargekodene viser kvalitetsklasser i henhold til gjeldende gjødselvereforskrift (FOR-2003-07-04-951), der grønn = klasse I, gul = klasse II, brun = klasse III og rød > klasse III. I b) viser den røde linjen fosforbasert grenseverdi for sink foreslått i utkast til ny, revidert gjødselvereforskrift (Landbruksdirektoratet 2018).

## Nitrogen

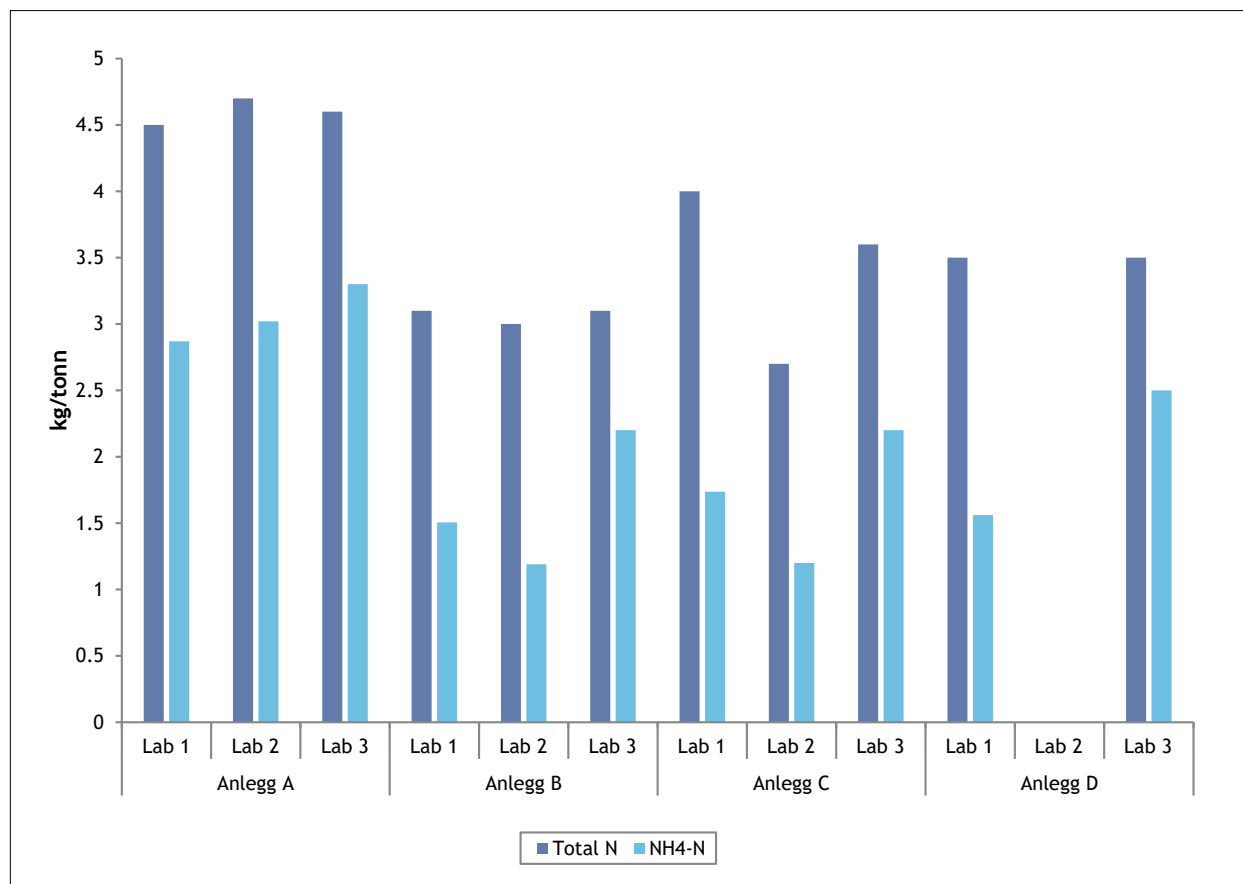
Det var en tendens til høyere innhold av totalnitrogen i biorest fra marine råstoffer (*Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje*;  $4,8 \pm 1,7$  kg N/tonn) sammenlignet med *Biorest referanse* ( $3,9 \pm 1,1$  kg N/tonn) men effekten var ikke signifikant (t-test; p-verdi = 0,1).

På volumbasis er gjennomsnittlig nitrogeninnhold i mekanisk avvannet fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon ( $10,5$  kg N/tonn ved gjennomsnittlig  $15,3$  % tørrstoff; Brod & Øgaard 2023) høyere enn nitrogeninnholdet i bløtgjødsel fra storfe ( $3,0$  kg N/tonn ved gjennomsnittlig  $6$  % tørrstoff; Daugstad *m.fl.* 2012). Nitrogeninnholdet i fiskeensilasje er mye høyere (f.eks.  $64$  kg N/tonn ved  $32,3$  % tørrstoff;  $n = 1$  i Vivekanand *m.fl.* 2018) enn nitrogeninnholdet i bløtgjødsel fra storfe. Det er nettopp det høye nitrogeninnholdet i fiskeslam og fiskeensilasje som begrenser andelen marine råstoffer av total substratmiks i biogassprosessen til henholdsvis opp til  $50$  vol.-% og til mellom  $5$  og  $10$  vol.-%. Begrenset andel marine råstoffer av total

substratmiks er med på å forklare at gjennomsnittlig nitrogeninnhold ikke var signifikant høyere i *Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje* sammenlignet med *Biorest referanse*.

Andelen direkte plantetilgjengelig ammoniumnitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) av totalnitrogen i biorest er vanligvis høy. Vi fant også at gjennomsnittlig andel  $\text{NH}_4\text{-N}$  av totalnitrogen var høy, både i *Biorest fiskeslam*, *Biorest fiskeensilasje* og *Biorest referanse* (Tabell 1), men det var stor forskjell mellom enkeltprøver (mellom  $11$  og  $151$  % av totalnitrogen). Det er selvsagt ikke mulig at  $> 100$  % av totalnitrogen foreligger som  $\text{NH}_4\text{-N}$ , noe som tyder på stor måleusikkerhet av nitrogen og  $\text{NH}_4\text{-N}$  i biorest hos kommersielle laboratorier.

Som del av dette prosjektet gjennomførte vi derfor en mini-ringtest der én biorestprøve fra hver av fire biogassanlegg (Anlegg A, B, C og D) ble splittet og sendt til tre kommersielle laboratorier for analyse. Resultatene viste relativt godt samsvar mellom verdiene av totalnitrogen fra de tre forskjellige



Figur 2. Resultater fra mini-ringtesten der én biorestprøve fra hver av henholdsvis Anlegg A, B, C og D ble splittet og sendt til analyse hos tre forskjellige kommersielle laboratorier (1, 2, og 3). Kolonnene viser innhold av totalnitrogen og ammonium som kg/tonn.

laboratoriene, bortsett fra for biorest fra Anlegg C (variasjon fra 2,7 til 4 kg N/tonn; figur 2). Det var større variasjon mellom verdiene av  $\text{NH}_4\text{-N}$  for alle biorestene, f.eks. mellom 49 og 71 % av totalnitrogen for biorest fra Anlegg B (figur 2).

Måleusikkerheten hos kommersielle laboratorier mht. analyse av biorest og andre flytende organiske gjødselprodukter er en stor utfordring for praktisk bruk som gjødsel. Overestimering av totalnitrogen og  $\text{NH}_4\text{-N}$  i biorest vil kunne føre til avlingstap fordi en vil tilføre for lite nitrogen i forhold til plantenes behov. Underestimering av totalnitrogen og  $\text{NH}_4\text{-N}$  på den andre siden vil kunne føre til overgjødning og potensiell nitrogenavrenning fra biorest. Det er derfor kritisk å klarlegge årsaken til måleusikkerheten hos kommersielle laboratorier mht. analyse av totalnitrogen og  $\text{NH}_4\text{-N}$  i flytende gjødselprodukter for at biorest kan doseres riktig.

## Fosfor

Biorest fra marine råstoffer (*Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje*) hadde signifikant høyere fosforinnhold enn *Biorest referanse* (figur 3a). Etter gjeldende gjødselverforskrift (FOR-2003-07-04-951) kan biorest fra marine råstoffer derfor gi overgjødning med fosfor.

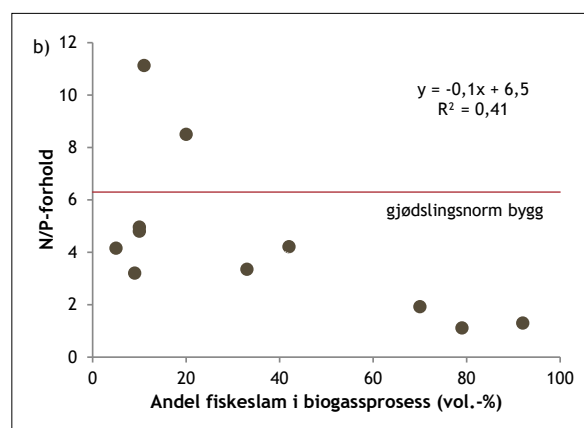
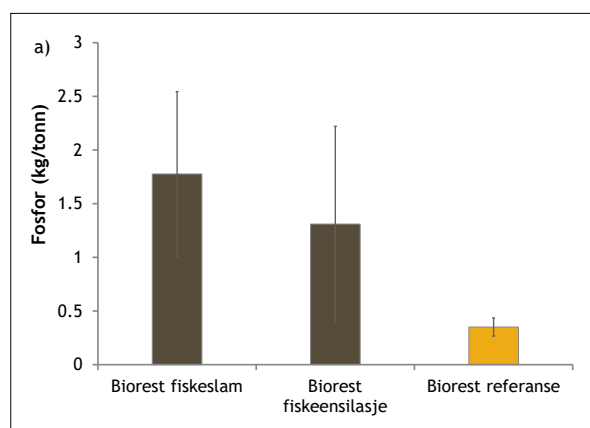
Gjeldende gjødselverforskrift regulerer mengden biorest som kan brukes per arealenheter basert på tungmetallkonsentrasjonene på tørrstoffbasis uten fosforbegrensning. *Biorest fiskeslam* ( $n = 7$ ), som i dag kan brukes med opptil 400 eller 200 kg tørrstoff/dekar og år avhengig av kvalitetsklasse, hadde i gjennomsnitt gitt  $5,9 \pm 1,4$  kg fosfor/dekar. *Biorest fiskeensilasje* ( $n = 6$ ) hadde i gjennomsnitt

gitt  $6,0 \pm 1,0$  kg fosfor/dekar. Vanlige kornavlinger trenger bare mellom 1,75 og 2,1 kg fosfor/dekar (NIBIO 2023).

I forslaget til revidert gjødselverforskrift er det en begrensning på hvor mye fosfor som kan tilføres på et areal (Landbruksdirektoratet 2018). Våre data viser at når ny gjødselverforskrift med forventet fosforbegrensning er på plass, vil tillatt tilførselsmengde av biorest fra marine råstoffer i de fleste tilfeller bli begrenset av fosfor istedenfor av tungmetaller. Det strengeste forslaget til fosforbegrensning i ny gjødselverforskrift er 2,1 kg fosfor/dekar/år, mens det minst strenge forslaget er satt til 3 kg fosfor/dekar/år (Landbruksdirektoratet 2018).

Med økende andel fiskeslam i bioresten avtok N/P-forholdet (figur 3b,  $R^2 = 0,5$ ,  $p$ -verdi = 0,02). I henhold til NIBIOs gjødselingsnorm trenger f.eks. bygg seks ganger så mye nitrogen som fosfor (N/P-forhold = 6,3). I *Biorest fiskeslam* derimot var gjennomsnittlig N/P-forhold ( $4,4 \pm 3,0$ ) signifikant lavere enn i *Biorest referanse* (N/P-forhold =  $12,5 \pm 6,1$ ). Dette betyr at gjødning med *Biorest fiskeslam* etter fosforbehov i henhold til ny revidert gjødselverforskrift vil gi for lite nitrogen.

Ubalansen mellom næringsstoffene i biorest fra marine råstoffer kan løses ved å kombinere biorest med mineralske gjødselkomponenter, enten ved separat tilførsel eller ved anrikning. I tillegg vil ny revidert gjødselverforskrift tvinge frem nye løsninger for fosfortransport ut av regioner med overskudd, enten i form av mekanisk separering av biorest og husdyrgjødsel eller i form av fosforekstraksjon f.eks. som struvitt.



**Figur 3.** a) Gjennomsnittlig fosforinnhold (kg/tonn) i *Biorest fiskeslam* ( $n = 11$ ), *Biorest fiskeensilasje* ( $n = 8$ ) og *Biorest referanse* ( $n = 13$ ). Feilfelt viser standardavvik. b) Forhold mellom nitrogen og fosfor (N/P-forhold) i *Biorest fiskeslam* som effekt av andel fiskeslam i biogassprosess (vol.-%). Den røde linjen viser N/P-forhold i NIBIO's gjødselingsnorm til bygg (NIBIO 2023).

## Kalium

Figur 4a viser at kaliuminnholdet i *Biorest fiskeslam* gikk ned som effekt av andel fiskeslam i biogassprosessen. Fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon inneholder lite kalium (Brod & Øgaard 2023), og kaliuminnholdet i fiskeensilasje er også lavt (Vivekanand *m.fl.* 2018;  $n = 1$ ), lavere enn i gylle av storfe og gris (Daugstad *m.fl.* 2012). Åtte av 11 biorestprøver med fiskeslam (*Biorest fiskeslam*) hadde likevel høyere kaliuminnhold enn gjennomsnittet i *Biorest referanse*, og gjennomsnittlig kaliuminnholdet i *Biorest fiskeensilasje* var i samme størrelsesorden som i *Biorest referanse* (tabell 1). Det kan forklares med at *Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje* også inneholder husdyrgjødsel som bidrar med kalium til sluttproduktet. I henhold til NIBIOs gjødslingsnorm trenger f.eks. bygg to ganger så mye nitrogen som kalium (N/K-forhold = 1,9). Det er i godt samsvar med gjennomsnittlig N/K-forhold i *Biorest fiskeslam* ( $3,0 \pm 2,8$ ) og *Biorest fiskeensilasje* ( $1,7 \pm 0,4$ ).

## Konklusjon

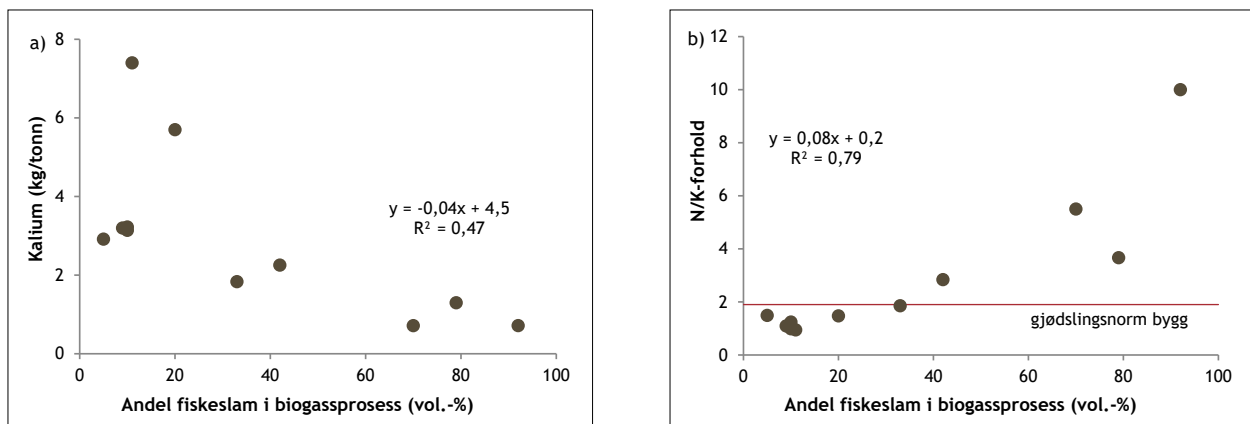
Kjemiske analyser av 33 biorestprøver viste at biorest fra marine råstoffer (fiskeslam og fiskeensilasje) er næringsrik, men at forholdet mellom næringsstoffene er ubalansert sammenlignet med plantenes behov. Spesielt fosforinnholdet i biorest fra marine råstoffer var høyt sammenlignet med innholdet av nitrogen og kalium (NPK 3-1-2).

En mini-ringtest viste stor målesikkerhet hos kommersielle laboratorier mht. analyse av totalnitrogen og ammonium i biorest. Målesikkerheten kan føre til avlingstap når

nitrogeninnhold i biorest overestimeres og til nitrogenavrenning når nitrogeninnhold i biorest underestimeres. Det er derfor kritisk å klarlegge årsaken til målesikkerheten hos kommersielle laboratorier for at biorest kan doseres riktig.

Videre bekrefter resultatene våre at gjeldende gjødselvereforskrift er en utfordring for bruken av biorest som gjødsel, og spesielt når fosfor- og sinkrikt fiskeslam inngår som substrat i biogassanlegg. Forslaget til revidert gjødselvereforskrift legger bedre til rette for bruk av biorest fra marine råstoffer som gjødsel, ved å regulere bruk av biorest som gjødsel basert på forholdet mellom næringsstoffer og tungmetaller, kombinert med en begrensning på fosfortilførsel.

Takk til Anne Falk Øgaard som har bidratt til kvalitetssikring av artikkelen.



**Figur 4.** a) Kaliuminnhold i *Biorest fiskeslam* som effekt av andel fiskeslam i biogassprosessen (vol.-%). b) Forhold mellom nitrogen og kalium (N/K-forhold) i *Biorest fiskeslam* som effekt av andel fiskeslam i biogassprosessen (vol.-%). Den røde linjen viser N/K-forhold i NIBIOs gjødslingsnorm til bygg (NIBIO 2023).

## Referanser

Brod, E., Øgaard A.F. (2023). Fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon som gjødsel. Vurdering av kjemiske analyser (2019 – 2023). NIBIO rapport 9 (123), 24 sider.

Daugstad, K., Kristoffersen, A.Ø., Nesheim, L. (2012) Næringsinnhold i husdyrgjødsel. Analyser av husdyrgjødsel frå storfe, sau og fjørfe 2006-2011. BIofoorsk Rapport 7 (24), 29 sider.

EN 13654-1 (2001). Soil improvers and growing media: determination of nitrogen. Part 1: modified Kjeldahl method. CEN, Brussels

Gebauer, R., Cabell, J.F., Ween, O. (2016). Biogassproduksjon fra settefiskslam i sentraliserte og desentraliserte biogassanlegg Rapport til AP3 i prosjektet "Fiskeslam som ressurs for bioenergi og plantevekst" (Slam BEP) finansiert av Regionalt Forskningsfond i Midt Norge med prosjektnummeret RFF 277401. NIBIO rapport 2 (121), 75 sider.

Landbruksdirektoratet (2018). Forslag til nytt gjødselregelverk. <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/miljo-og-klima/husdyrgjodsel-og-gjodsling/forslag-til-nytt-gjodselregelverk> (3.11.2023).

Lovdata (FOR-2003-07-04-951). Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951> (3.11.2023).

NIBIO (2023) Gjødslingshåndbok. <https://www.nibio.no/tema/jord/gjodslingshandbok?locationfilter=true> (3.11.2023).

Silva, M.S., Kröckel, S., Prabhu, P.A.J., Koppe, W., Ørnsrud, R., Waagbø, R., Araujo, P., Amlund, H. (2019). Apparent availability of zinc, selenium and manganese as inorganic metal salts or organic forms in plantbased diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Aquaculture* 503: 562-570.

Solli, L., Bergersen, O., Sørheim, R., Briseid, T. (2014). Effects of a gradually increased load of fish waste silage in co-digestion with cow manure on methane production. *Waste Management* 34 (8), 1553-1559.

Vivekanand, V., Mulat, D.G., Eijsink VGH, Horn SJ (2018). Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. *Bioresource Technology* 249, 35-41.