



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Bioest fra marine råstoffer

Kjemisk sammensetning og gjødselkvalitet

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 140 | 2023



Eva Brod

Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL

Biorest fra marine råstoffer: Kjemisk sammensetning og gjødselkvalitet

FORFATTER

Eva Brod

DATO:	RAPPORT NR.:	TILGJENGELIGHET:	PROSJEKT NR.:	SAKSNR.:
05.12.2023	9/140/2023	Åpen	52317	20/01299
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER:	ANTALL VEDLEGG:	
978-82-17-03386-8	2464-1162	16	0	

OPPDRAUGSGIVER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON:

Rannveig Bø Fløystad

STIKKORD:

Organisk gjødsel, husdyrgjødsel, biogass, fiskeslam, fiskeensilasje, nitrogen, fosfor, tungmetaller

FAGOMRÅDE:

Gjødsling

SAMMENDRAG:

Rapporten viser effekten av marine råstoffer (fiskeslam og fiskeensilasje) på kvaliteten til biorest som gjødsel. Til sammen 33 biorestprøver ble kjemisk analysert og tre prøvegrupper ble sammenlignet: *Biorest fiskeslam* (n = 11; fiskeslam i sambehandling med husdyrgjødsel), *Biorest fiskeensilasje* (n = 9; fiskeensilasje i sambehandling med ulike substrater) og *Biorest referanse* (n = 13; matavfall og husdyrgjødsel). Analysene viser at fiskeslam og fiskeensilasje øker næringsinnholdet i biorest, men at forholdet mellom næringsstoffene i biorest blir 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 måleusikkerhet hos kommersielle laboratorier mht. analyse av totalnitrogen og ammonium i biorest. Videre bekrefter resultatene våre at gjeldende gjødselvereforskrift er en utfordring for bruken av biorest som gjødsel, og spesielt når marine råstoffer inngår som substrat i biogassanlegg. Forslaget til ny gjødselvereforskrift legger bedre til rette for utnyttelsen av biorest fra marine råstoffer som gjødsel.

GODKJENT

Erik Joner

NAVN

PROSJEKTLEDER

Eva Brod

NAVN

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Prosjektet «Biorest fra nye marine råstoffer og husdyrgjødsel: Bruksanbefalinger for landbruket» har vært et toårig samarbeid mellom NORSUS, NIBIO og Norges Bondelag finansiert av Landbruksdirektoratets Klima- og Miljøprogram. Biokraft, Renevo og Liholmen Biogass har vært industripartnere i prosjektet.

Hovedmålene med prosjektet har vært å bidra til økt kunnskap om hvordan bruk av nye marine råstoffer til biogassproduksjon (fiskeslam og fiskeensilasje) påvirker kvaliteten til biorest som gjødsel, og å kommunisere kunnskapen til landbruket.

Prosjektet har vært delt i fire aktiviteter:

- Aktivitet 1: Sammenstilling og systematisering av tilgjengelig informasjon om egenskaper til biorest fra eksisterende biogassanlegg
- Aktivitet 2: Kartlegging av biorestkvaliteten som effekt av ulike råstoffer gjennom prøvetaking og kjemisk analyse
- Aktivitet 3: Oppskalering og utvikling av nasjonal anbefaling
- Aktivitet 4: Formidling – Rapportering og utvikling av biorestguide

Denne rapporten presenterer resultater fra aktivitet 1 og 2.

Anne Falk Øgaard og Kari-Anne Lyng (NORSUS) har bidratt til kvalitetssikring av rapporten.

Ås, 28.11.2023

Eva Brod

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Materialer og metoder	6
2.1	Biorestprøver.....	6
2.2	Kjemiske analyser	6
2.3	Statistisk analyse	6
3	Resultater og diskusjon	8
3.1	Tungmetaller	8
3.2	Nitrogen.....	10
3.3	Fosfor.....	12
3.4	Kalium.....	13
4	Konklusjoner	14
5	Referanser	15

1 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 (fiskeslam og fiskeensilasje), i tillegg til matavfall og husdyrgjødsel. Fiskeslam 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 storfegjødsel (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 fiskeslam 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 fiskeslam og fiskeensilasje som substrat i biogassanlegg påvirker kvaliteten til biorest som gjødsel.

2 Materialer og metoder

2.1 Biorestprøver

Vi innhentet biorestprøver fra etablerte biogassanlegg som tar imot matavfall og husdyrgjødsel, og fra nye biogassanlegg som i tillegg tar imot fiskeslam eller fiskeensilasje. Vi inkluderte også relevante biorestprøver som ble fremstilt på NIBIO's egen biogasslab i andre prosjekter.

Til sammen 33 biorestprøver ble delt i tre grupper:

- *Biorest fiskeslam* (n = 11): Biorest fra fiskeslam (mellom 5 og 92 vol.-% av substratmiks) i sambehandling med husdyrgjødsel
- *Biorest fiskeensilasje* (n = 9): Biorest fra fiskeensilasje (mellom 2,5 og 11 vol.-% av substratmiks) i sambehandling med ulike substrater (f.eks. husdyrgjødsel, matavfall, industrislam mm.)
- *Biorest referanse* (n = 13): Biorest fra matavfall og husdyrgjødsel (opptil 25 vol.-% av substratmiks)

Alt fiskeslam kom fra smolt- og postsmoltanlegg, det vil si ingen av biogassanleggene tok imot marint fiskeslam 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 avløpsslam i datasettet vårt.

Alle biorestprøvene ble tatt før eventuell separering i fast og flytende fase.

2.2 Kjemiske analyser

Biorestprøvene ble sendt til kommersielle laboratorier for analyse.

Tørrestoff 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 (HNO₃) i mikrobølgeovn eller i aqua regia. Ammonium (NH₄-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 tørrestoffbasis (f.eks. g/kg tørrestoff). Noen få biorestprøver hadde derimot så lavt tørrestoffinnhold 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.

2.3 Statistisk analyse

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), ble 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 (normaltestplot) og konstant varians (fitted vs. residualt plot) 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.

3 Resultater og diskusjon

Tabell 1 viser kjemisk sammensetning til biorest fra marine råstoffer (*Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje*) sammenlignet med *Biorest referanse*.

Tørrestoffinnholdet i biorestene var i gjennomsnitt i underkant av 5 % (Tabell 1). I alle prøver var pH høy, rundt pH 8, men *Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje* hadde i gjennomsnitt signifikant høyere pH enn *Biorest referanse*.

Tabell 1. Gjennomsnitt og standardavvik for utvalgte parametere analysert i biorestprøver. TS = tørrestoff, n = antall prøver inkludert i gjennomsnittet. 0, I og II indikerer gjennomsnittlige kvalitetsklasser i henhold til gjeldende gjødselvereforskrift (FOR-2003-07-04-951).

Parameter	Enhet	Biorest fiskeslam ^a			Biorest fiskeensilasje ^a			Biorest referanse ^a		
		Gjennomsnitt	Standardavvik	n	Gjennomsnitt	Standardavvik	n	Gjennomsnitt	Standardavvik	n
Tørrestoff	%	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
Nitrogen	kg/tonn	5,1	1,8	11	4,4	1,7	8	3,9	1,1	13
NH ₄ -N	kg/tonn	2,8	1,3	10	3,3	1,4	7	2,2	0,8	13
NH ₄ -N	% av totalt N	56	26	11	84	32	7	59	19	11
Fosfor	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
Kalium	kg/tonn	2,9	2,0	11	1,9	0,8	7	1,7	0,8	13
Kalsium	kg/tonn	3,4	3,4	11	1,8	2,6	8	1,3	0,6	8
Kadmium	mg/kg TS	0,9 (II)	0,7	11	0,4 (I)	0,2	4	0,4 (I)	0,1	9
Bly	mg/kg TS	6 (0)	4	11	6 (0)	5	7	5 (0)	5	9
Kvikksølv	mg/kg TS	0,0 (0)	0,1	9	0,2 (I)	0,2	6	0,1 (0)	0,1	9
Nikkel	mg/kg TS	10 (0)	3	11	9 (0)	3	6	6 (0)	3	9
Sink	mg/kg TS	734 (II)	493	11	273 ^b (I)	111	7	261 (I)	135	11
Kobber	mg/kg TS	64 (I)	21	11	92 (I)	87	7	49 (0)	22	11
Krom	mg/kg TS	12 (0)	5	11	10 (0)	10	6	5 (0)	3	9

^a se avsnitt 2.1 Biorestprøver for informasjon om substratsammensetningen i de enkelte gruppene

^b gjennomsnitt uten outlier $x_1 = 2600$ mg Zn/kg tørrestoff

3.1 Tungmetaller

Våre resultater viser at gjeldende Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (gjødselvereforskrift, FOR-2003-07-04-951) kan være en utfordring for bruken av biorest fra marine råstoffer, særlig fiskeslam, som gjødsel i landbruket.

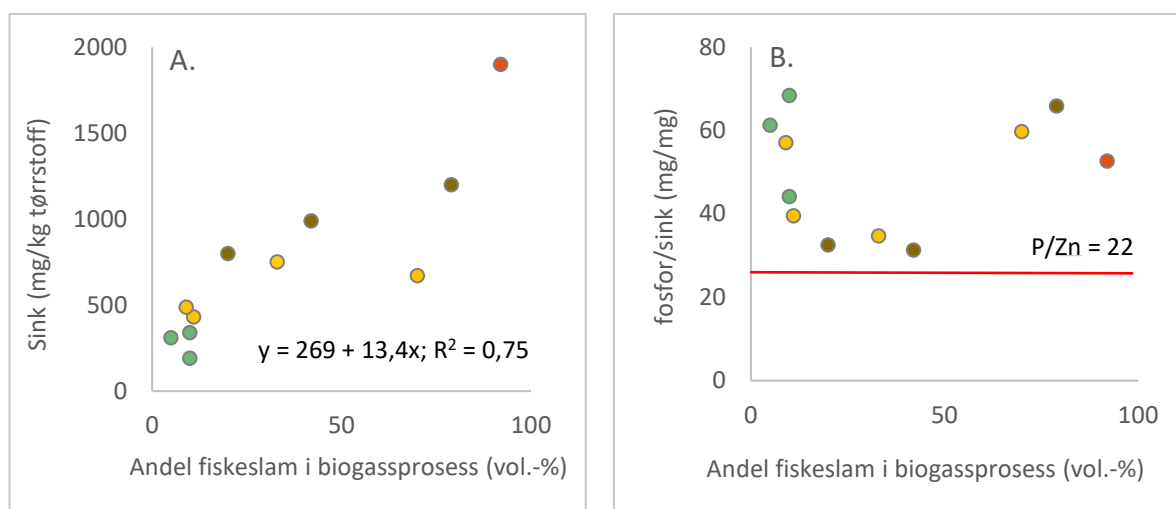
I henhold til gjeldende gjødselvereforskrift er mengden biorest som kan brukes per arealenhet regulert av tungmetallkonsentrasjonene i biorest på tørrestoffbasis. Tungmetallkonsentrasjonene på tørrestoffbasis bestemmer om et produkt kan brukes i fri mengde (klasse 0), med mengdebegrensninger (klasse 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 fiskeføret 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 føringrediensene.

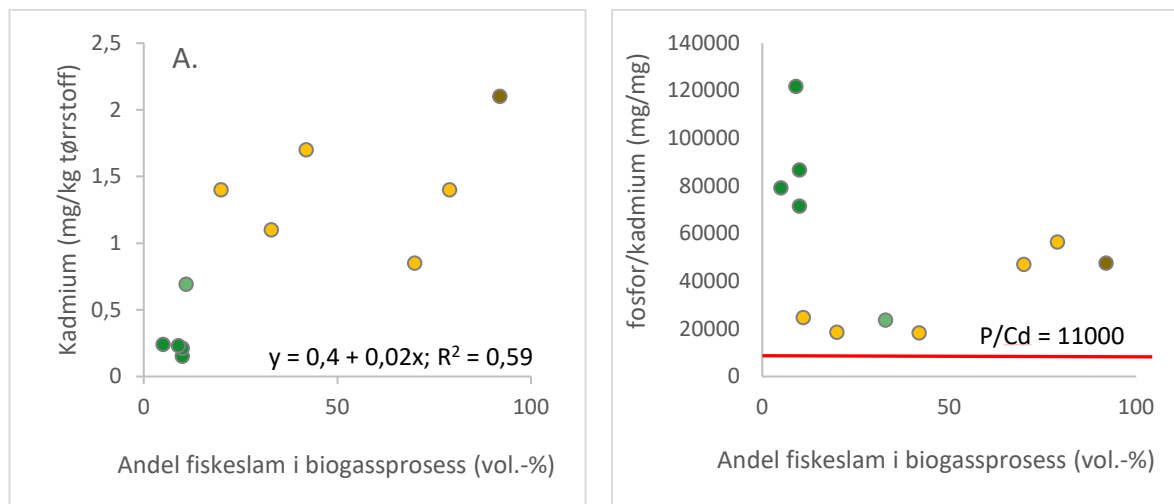
Under biogassprosessen blir omtrent halvparten av det organiske materialet brutt ned og tatt ut med biogassen. Dermed øker konsentrasjonene av tungmetaller i biorest på tørrstoffbasis sammenlignet med substrater som fiskeslam. Dagens gjødselvereforskrift tar ikke høyde for at også konsentrasjonene av 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 (Figur 2A).

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 (Figur 2B). 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.



Figur 1. A. Sinkkonsentrasjon (mg/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 for sink 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).



Figur 2. A. Kadmiumkonsentrasjon (mg/kg tørrstoff) og B. forhold mellom fosfor og kadmium (mg/mg) i Biorest fiskeslam som effekt av andel fiskeslam i biogassprosessen (vol.-%). Fargekodene viser kvalitetsklasser for kadmium i henhold til gjeldende gjødselvarerforskrift (FOR-2003-07-04-951), der mørkegrønn = klasse 0, grønn = klasse I, gul = klasse II og brun = klasse III. I B. viser den røde linjen fosforbasert grenseverdi for kadmium foreslått i utkast til ny, revidert gjødselvarerforskrift (Landbruksdirektoratet 2018).

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

Gjennomsnittlig konsentrasjon av nikkel og krom var signifikant høyere i *Biorest fiskeslam* enn i *Biorest referanse* uten å ha en effekt på kvalitetsklasse for noen av *Biorest fiskeslam*-produktene (Tabell 1).

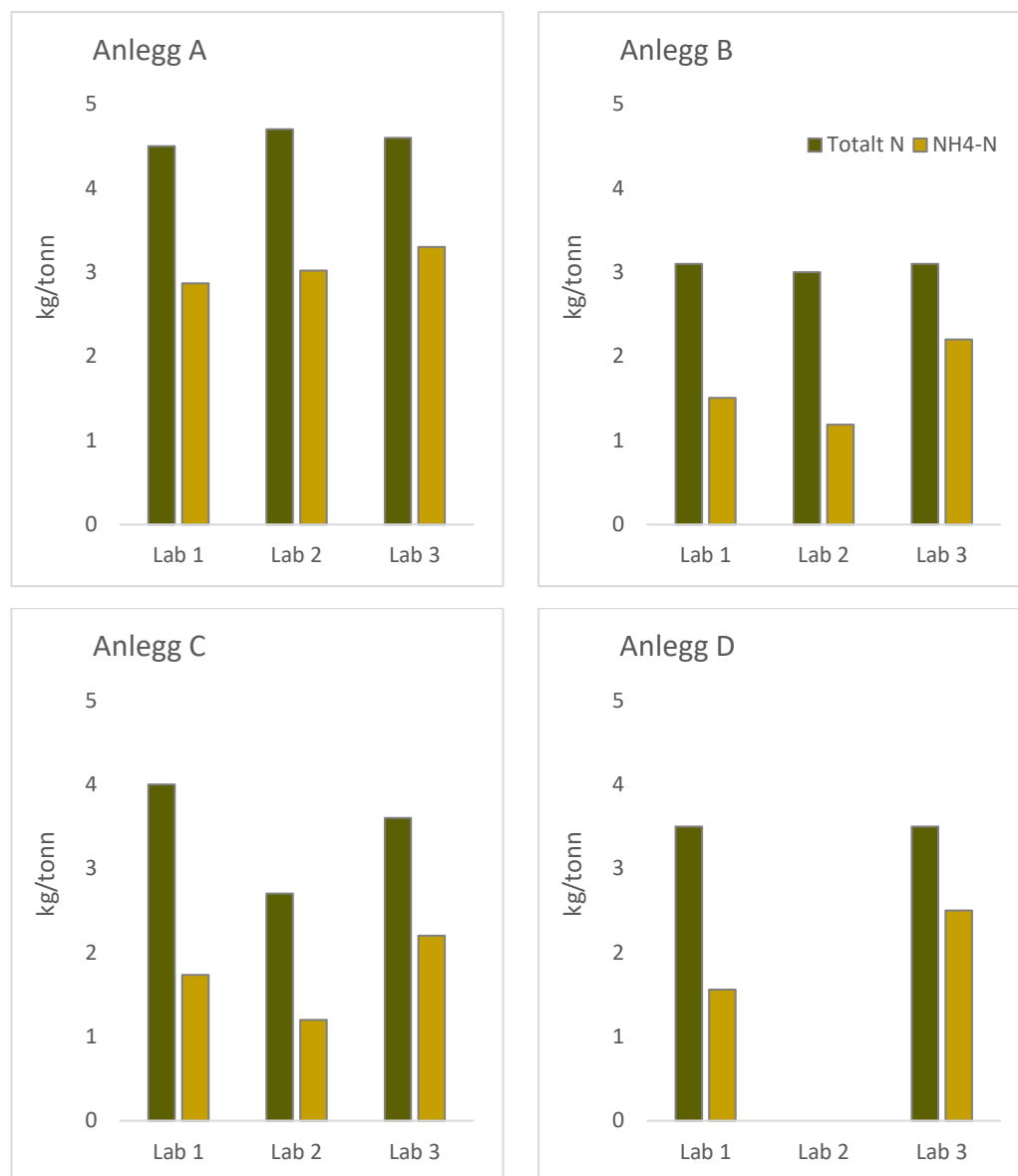
3.2 Nitrogen

Det var en tendens til høyere innhold av totalnitrogen i bioest 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/tonn ved gjennomsnittlig 15,3 % tørrstoff; Brod og Øgaard 2023) høyere enn nitrogeninnholdet i bløtgjødsel fra storfe ($3,0$ kg/tonn ved gjennomsnittlig 6 % tørrstoff; Daugstad m.fl. 2012). Nitrogeninnholdet i fiskeensilasje er mye høyere (f.eks. 64 kg/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 substratmikros i biogassprosessen til henholdsvis opp til 50 vol.-% (Solli 2022) og til mellom 5 og 10 vol.-%. Begrenset andel marine råstoffer av total substratmikros 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 (NH_4-N) av totalnitrogen i bioest er vanligvis høy. Vi fant også at gjennomsnittlig andel NH_4-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 NH_4-N , noe som tyder på stor måleusikkerhet av nitrogen og NH_4-N i bioest hos kommersielle laboratorier, som også beskrevet av Henriksen m.fl. (2023).

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 laboratoriene, bortsett fra for biorest fra Anlegg C (variasjon fra 2,7 til 4 kg N/tonn; Figur 3). Det var større variasjon mellom verdiene av NH₄-N for alle biorestene, f.eks. mellom 49 og 71 % av totalnitrogen for biorest fra Anlegg B (Figur 3).



Figur 3. 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 (Totalt N) og ammonium (NH₄-N) som kg/tonn.

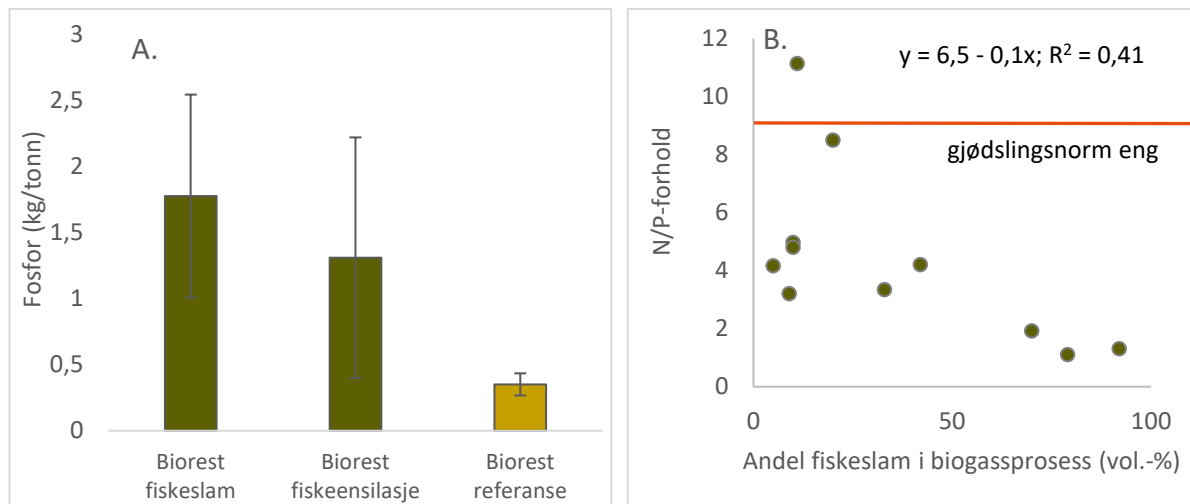
Måleusikkerheten hos kommersielle laboratorier mht. analyse av biorest og andre flytende organiske gjødselprodukter er en stor utfordring for praktisk bruk som gjødsel. Overestimering av totalnitrogen og NH₄-N i biorest vil kunne føre til avlingstap fordi en vil tilføre for lite nitrogen i forhold til plantenes behov. Underestimering av totalnitrogen og NH₄-N på den andre siden vil kunne føre til overgjødsling og potensiell nitrogenavrenning fra biorest. Det er derfor kritisk å klarlegge årsaken til måleusikkerheten hos kommersielle laboratorier mht. analyse av totalnitrogen og NH₄-N i flytende gjødselprodukter for at biorest kan doseres riktig.

3.3 Fosfor

Biorest fra marine råstoffer (*Biorest fiskeslam* og *Biorest fiskeensilasje*) hadde signifikant høyere fosforinnhold enn *Biorest referanse* (Figur 4A). 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 arealenhet basert på tungmetallkonsentrasjonene på tørrstoffbasis uten fosforbegrensning, som beskrevet under avsnitt 3.1 Tungmetaller. *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 avlinger trenger bare mellom 1,5 og 2 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).



Figur 4 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 eng med to høstinger (NIBIO 2023)

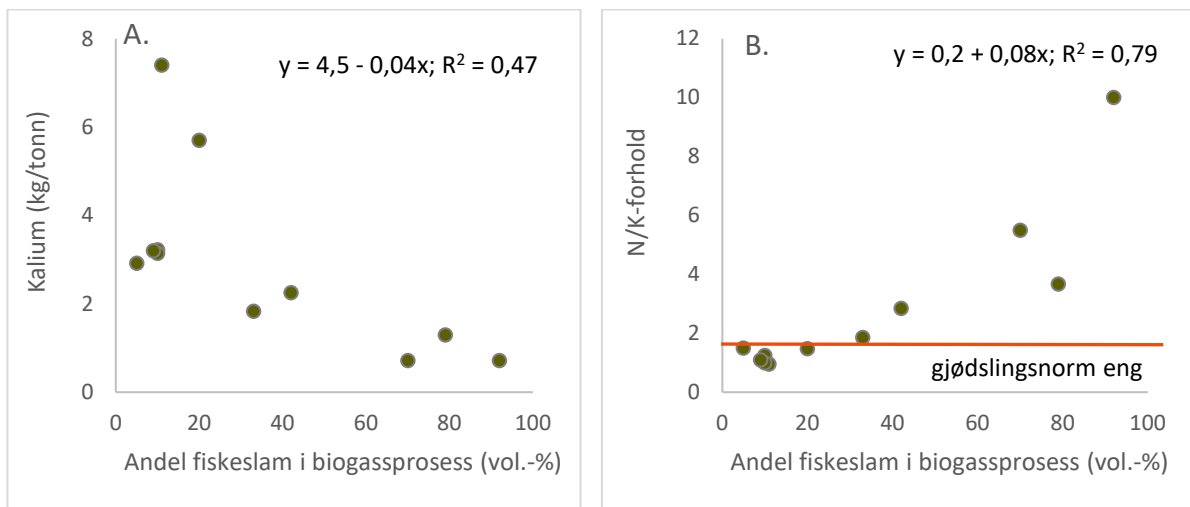
Med økende andel fiskeslam i bioresten avtok N/P-forholdet (Figur 4B). I henhold til NIBIO's gjødselingsnorm trenger f.eks. en eng som høstes to ganger i løpet av en sesong ni ganger så mye nitrogen som fosfor (N/P-forhold = 9,2). I *Biorest fiskeslam* derimot var gjennomsnittlig N/P-forhold ($4,4 \pm 3,0$) 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.

3.4 Kalium

Figur 5A 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 NIBIO's gjødslingsnorm trenger f.eks. en eng som høstes 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* ($1,7 \pm 0,4$).



Figur 5 A. Kaliuminnhold i *Biorest fiskeslam* som effekt av andel fiskeslam i biogassprosess (vol.-%). B. Forhold mellom nitrogen og kalium (N/K-forhold) i *Biorest fiskeslam* som effekt av andel fiskeslam i biogassprosess (vol.-%). Den røde linjen viser N/K-forhold i NIBIO's gjødslingsnorm til eng med to høstinger (NIBIO 2023)

4 Konklusjoner

Næringsinnhold

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).

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 transport av fosfor i biorest og husdyrgjødsel ut av regioner med overskudd.

Gjødselverforskrift

Resultatene våre bekrefter at gjeldende gjødselverforskrift (FOR-2003-07-04-951) er en utfordring for bruken av biorest som gjødsel, og spesielt når fosfor- og sinkrikt fiskeslam inngår som substrat i biogassanlegg.

Gjeldende gjødselverforskrift regulerer tillatt mengde av et organisk gjødselprodukt per arealenhet basert på tungmetallkonsentrasjonene på tørrstoffbasis. Gjødselverforskriften tar derfor ikke hensyn til at organisk materiale vil bli til biogass under en biogassprosess, og at tungmetallkonsentrasjonen i biorest dermed øker på tørrstoffbasis. Forholdet mellom næringsstoffene og tungmetallene vil likevel være uendret før og etter biogassbehandling.

Forslaget til revidert gjødselverforskrift 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.

Måleusikkerheten hos kommersielle laboratorier

Resultatene våre bekrefter videre at det er stor måleusikkerhet hos kommersielle laboratorier knyttet til totalnitrogen og ammonium i biorest. Måleusikkerheten 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 måleusikkerheten hos kommersielle laboratorier for at biorest kan doseres riktig.

5 Referanser

- Brod E, Øgaard AF (2023) Fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon som gjødsel. Vurdering av kjemiske analyser (2019 – 2023). NIBIO rapport 9 (123), 24 sider
- Gebauer R, Cabell JF, 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
- EN 13654-1 (2001) Soil improvers and growing media: determination of nitrogen. Part 1: modified Kjeldahl method. CEN, Brussels
- Henriksen T, Kristoffersen AØ, Øgaard AF, Brod E (2023) Organiske avfallsprodukt som gjødsel. Bestemmelse av nitrogeneffekten. NIBIO 9 (72), 50 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 MS, Kröckel S, Prabhu PAJ, 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
- Solli L (2022) Biogass fra fiskeslam. Kronikk på Biogassbransjen.no.
<https://biogassbransjen.no/2022/06/03/fiskeslam-for-okt-energiproduksjon/> (23.11.2023)
- Vivekanand V, Mulat DG, Eijssink 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

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.