



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Biokull som et flytedekkemateriale på lagret husdyrgjødsel: Effekt på CH<sub>4</sub>-utslipp

Forsøksrapport for prosjektet RESTORE

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 103 | 2023

Adam O'Toole

Divisjon for miljø og naturressurser, Avdeling Biogeokjemi og jordkvalitet

**TITTEL/TITLE**

Biokull som et flytedekkemateriale på lagret husdyrgjødsel: Effekt på CH<sub>4</sub>-utslipp. Forsøksrapport for prosjektet RESTORE.

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

Adam O'Toole

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
09.08.2023	9/103/2023	Åpen	52481	21/00776
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03338-7	2464-1162	20	0	

**OPPDRAGSGIVER/EMPLOYER:**

Mære LBS, Trøndelag fylkeskommune –  
RESTORE-prosjektet

**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

Tove Hatling Jystad

**STIKKORD/KEYWORDS:**

Biokull, metan, husdyrgjødsel

Biochar, methane emissions, animal manure

**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Klimagasser i landbruket

Greenhouse gasses in agriculture

**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

Metan er en kraftig klimagass, og den største klimagassutslippsposten for norsk landbruk. Tekniske tiltak kan igangsettes for reduksjon av metanutslipp fra lagret husdyrgjødsel. I dette forsøket testet vi ulike oppsett med biokull som et flytedekkemateriale for reduksjon av metan fra grisemøkk over en 75-dagers periode sommeren 2022. Biokull reduserte metanutslippet signifikant med 28%, men kun når det var holdt kunstig flytende på overflaten ved hjelp av en flytende membran. Metanutslipp ved bruk av biokull som var tilsatt uten hjelp fra flytemembran var ikke annerledes fra metanutslipp ved bruk av grisemøkk uten biokull. Metanutslipp var positivt korrelert med møkkas temperatur, men tilsetning av biokull ga en svakere positiv korrelasjon med temperatur sammenlignet med grisemøkk uten biokull. Forsøket gir motivasjon for videre forsøk på større skala hvor biokull kan brukes som metanbiofilter og senere blandes med møkk før det tilsettes til jorda.

**LAND/COUNTRY:**

Norge

**FYLKE/COUNTY:**

Trøndelag

**KOMMUNE/MUNICIPALITY:**

Steinkjer

**STED/LOKALITET:**

Mære

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

GODKJENT / APPROVED



---

DANIEL RASSE

PROSJEKTLEDER / PROJECT LEADER



---

ADAM OTOOLE



# Forord

Mære LBS opererer som et senter for energi og klima i landbruket. De er både en utdanningsinstitusjon for landbruksfag, og en demonstrasjonsgård som viser fram den nyeste kunnskapen innenfor landbruksteknikk, agri-tech, og bærekraftig forvaltning av jord og andre naturressurser på gården. I 2020 flagget fylkeskommunen at Mære LBS skulle få finansiering for et biokullanlegg for å demonstrere for bønder hvordan man kan produsere biokull på gården og ta det i bruk i ulike sammenhenger. Som en forberedelse til biokullanlegget (som fortsatt er i planleggingsfasen) har RESTORE-prosjektet foretatt en evaluering av biomassereserver på gården, og kommet med anbefalinger om hva de kan brukes til (Olsen og O'Toole, 2022). Produksjon av biokull fra trevirke var påpekt som ett av tiltakene. RESTORE-prosjektet undersøker ulike bruksområder for biokull når det blir tilgjengelig fra biokullanlegget. Ett av bruksområdene som beskrives i denne rapporten er bruk av biokull som flytedekkemateriale for lagret husdyrgjødsel, noe som muligens kan redusere lukt og utslipp av klimagasser.

Steinkjer, 04.08.23

Adam O'Toole, Forsker, NIBIO

# Innhold

1	Innledning.....	6
1.1	Bakgrunn om klimagassutslipp i norsk landbruk.....	6
1.2	Bruk av flytedekke for å redusere CH <sub>4</sub> fra gjødsellageret.....	6
1.3	Bruk av biokull som flytedekke.....	6
1.4	Forsøksmål.....	7
2	Metoder.....	8
2.1	Biokullets egenskaper.....	8
2.2	Grisemøkkas egenskaper.....	9
2.3	Forsøksdesign.....	9
2.4	Prøvetaking.....	10
2.5	Statistisk analyse.....	11
3	Resultater.....	12
3.1	Temperatur.....	12
3.2	Metanutslipp fra lagret grisemøkk.....	13
3.3	CO <sub>2</sub> -utslipp fra lagret grisemøkk.....	14
3.4	Klimagassreduksjonseffekt.....	15
3.5	Andre observasjoner.....	15
4	Diskusjon.....	17
	Litteraturreferanser.....	18

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn om klimagassutslipp i norsk landbruk

Metan er en kraftig klimagass med et globalt oppvarmingspotensial som er 28 ganger større enn for CO<sub>2</sub> i hundreårsperspektiv, og 72 ganger større i tjuenårig perspektiv (IPCC, 2014). I 2021 slapp landbrukssektoren ut 4.6 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som sto for 9,4% av klimagassutslipp i Norge (Miljøstatus, 2023). Metanutslipp fra fordøyelsesprosessen i husdyr (enterisk metan) står for omtrent halvparten av utslippene fra landbrukssektoren. Husdyrgjødsel under lagring er den nest største kilden til metanutslipp i landbrukssektoren, og tiltak på dette området kan anses som en lavt hengende frukt for å redusere klimagassutslippene fra landbrukssektoren. Metanutslipp fra lagring av husdyrgjødsel er estimert til 360 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekv. (eller 7.8% av utslippene fra landbrukssektoren) (Miljøstatus, 2023). Det mest lovende tekniske tiltaket er å legge husdyrgjødselen i biogassreaktor, slik at metanet kan utnyttes til energiproduksjon. Til tross for et statlig mål om at 30% av husdyrgjødselen skal gå til biogassanlegg innen 2020, var imidlertid kun 1% brukt på denne måten ut året 2020. Flere anlegg er under planlegging, men inntil videre må norske bønder se på alternative løsninger for å redusere metanutslipp fra lagret husdyrgjødsel.

## 1.2 Bruk av flytedekke for å redusere CH<sub>4</sub> fra gjødsellageret

En alternativt løsning for å redusere CH<sub>4</sub> fra lagret husdyrgjødsel (særlig når det er langt til biogassanlegg) er bygging av tak over eller bruk av flytedekke over husdyrgjødsellageret. Dette kan skape en fysisk hindring for gassutslipp. Flere flytedekker er kommersielt tilgjengelig eller har vært utprøvd (Ebbesvik m.fl. 2021). Det finnes plastflytedekker, som danner en fysisk hindring for utslipp, og biologiske flytedekker, f.eks. oppkuttet halm, som kan danne både fysisk hindring og et biologisk miljø som fremmer økt nedbrytning via metanoksidierende bakterier (metanotrofer). Ebbesvik 2021 gjorde en oppsummering av tidligere forskning utført i Sverige (Rodhe mfl., 2012, 2015 og 2018), og fant at metanutslipp kan dempes hvis man holder gjødsla kjølig og/eller surt. Bruk av tett tak, duk på gjødselen og en porøs skorpe har vist variende effekt. De foretok også egne målinger av fem gjødsellagre i Norge, og fant at CH<sub>4</sub>-utslipp generelt var lave når lufttemperaturen var under 14°C. En av deres anbefalinger var å plassere gjødsellageret i skygge eller grave det ned i jorda, slik at man holde gjødsla så kjølig som mulig. De fant ingen CH<sub>4</sub>-dempende effekt fra naturlig skorpe, sannsynligvis fordi skorpen var for bløt og tett for å støtte metanotrofiske bakteriepopulasjoner. Nielsen mfl. 2013 fant at det kreves opp til 4 måneder for at skorpen dannes på toppen av grisemøkk slik at den kan støtte en fungerende populasjon av metanotrofer som kan oksidere CH<sub>4</sub>. I og med at gjødsellageret ofte er tomt på våren, kan det bety at skorpen er lite utviklet når den trengs mest – nemlig om sommeren når CH<sub>4</sub> er på sitt høyeste (på grunn av varmen). Som en mulig løsning på dette har vi i dette forsøket undersøkt om tilførsel av biokull som flytedekke materiale kan fungere som en kunstig skorpe som demper utslipp av metan gjennom sommerperioden. Grunnen til at vi valgte biokull som flytedekke og ikke andre materialer, er fordi prosjektet har bakgrunn i å finne ulike bruksområder for biokull på Mære LBS, og vi har grunn til å tro at biokull er særlig egnet for denne typen bruksområde.

## 1.3 Bruk av biokull som flytedekke

I forkant av eksperimentet foretok vi en kort gjennomgang av tidligere forskning på bruk av biokull som flytedekke materiale på lagret husdyrgjødsel. Flere studier viser at biokull kan skape et passende miljø for metanotrofe bakterier som kan oksidere CH<sub>4</sub>, for eksempel på rismarker (Jeffery m.fl. 2016, Wu m.fl. 2019), som filtermateriale i biofilter for metanutslipp fra olje- og gasssektoren (La m.fl. 2018), og som filtermateriale på deponier (Reddy m.fl. 2015). Meiriirhanuly m.fl. 2020 brukte biokull som flytedekke over lagret grismøkk og målte klimagassutslipp og ammoniakk over 30 dager. De observerte at CH<sub>4</sub>-utslipp ble redusert med 33% de første to ukene av eksperimentet, i behandlingen hvor biokull

fra eik var påført gjødseloverflaten (2 kg/m<sup>2</sup>) . Etter to uker steg imidlertid CH<sub>4</sub>-utslippene med 38% sammenlignet med kontrollen (Meiirkhanuly m.fl. 2020). De observerte også at jo lenger forsøket pågikk, desto mer biokull sank til bunnen. Observasjonen om at biokull produserer mer CH<sub>4</sub> når det bunnfelles er ikke overraskende mtp. at biokull har vist evne til å øke CH<sub>4</sub>-utbytte når det er tilsatt til en biogassreaktor (Li m.fl. 2021), hvor metanogeniske bakterier bruker biokull som bosted. I vårt forsøk, ønsket vi å finne ut om det var noen forskjell i CH<sub>4</sub>-utslipp når biokull blir holdt kunstig flytende på toppen av gjødselen, sammenlignet med når det bare blir spredt på overflaten uten noe flytestøtte. Vi antok at biokullets porøse og luftige struktur ville være en viktig egenskap for at det skulle kunne fungere som en luftig gjødselskorpe, som er et passende bomiljø for O<sub>2</sub>-krevende metanotrofe bakterier.

## 1.4 Forsøksmål

Målet med forsøket var å teste biokullets evne til å fungere som flytedekke materiale for reduksjon av CH<sub>4</sub>-utslipp fra grismøkk. Et sekundært mål var å observere klimagassutslipp når biokull er tilsatt til husdyrgjødsel.

## 2 Metoder

### 2.1 Biokullets egenskaper

Biokull brukt i forsøket var laget av furu av Oplandske Bioenergi AS ([www.obio.no](http://www.obio.no)). Kjemiske og fysiske egenskaper til biokullet, prøvetatt **2022-04-19** og analysert av Eurofins Umwelt GmbH, er beskrevet i Tabell 1.

Tabell 1. Egenskaper -OBIO Furu Biokull

ANALYSE	ENHET	Verdi
Fukt	%	41,9
Aske	% (TS)	3,5
Flytige stoffer (vm)	% (TS)	7,7
Fiksert C	% (TS)	88,8
C	% (TS)	91,7
H	% (TS)	1,7
N	% (TS)	0,32
O (beregnet)	% (TS)	4,1
S	% (TS)	0,04
H/Corg ratio	molar	0,22
pH	in CaCl <sub>2</sub>	8,5
Ca	% (TS)	0,91
K	% (TS)	0,36
Mg	% (TS)	0,13
Si	% (TS)	0,47
Na	% (TS)	0,03
P	% (TS)	0,08
Fe	% (TS)	0,03
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	571
B	mg kg <sup>-1</sup>	9
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	38
Cr	mg kg <sup>-1</sup>	3
Hg	mg kg <sup>-1</sup>	<0,07
Ni	mg kg <sup>-1</sup>	3
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	3
Cd	mg kg <sup>-1</sup>	<0,2
Pb	mg kg <sup>-1</sup>	<2
As	mg kg <sup>-1</sup>	<0,8
vannholdningskapasitet <2mm	%	451
Egenvekt <2mm	kg m <sup>-3</sup>	207
Overflate	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	361
Total 16 EPA-PAH	mg kg <sup>-1</sup>	1,2



## 2.2 Grisemøkkas egenskaper

Flytende grisemøkk ble hentet fra gjødsellager på Mære LBS i mai 2022. En IBC-tank ble fylt med møkk, og 16 plasttønne av 60 L (Felleskjøpet AS) ble fylt med ca. 50 L møkk i hvert fat. IBC-tankens innhold ble blandet med en mekanisk blander, mens dosering foregikk slik at møkka var av homogen konsistens i alle tønner. De kjemiske egenskapene til grisemøkka, analysert av Eurofins (Kambo), er beskrevet i tabell 2.

Tabell 2. Egenskaper til grisemøkk, mai 2022 - Mære

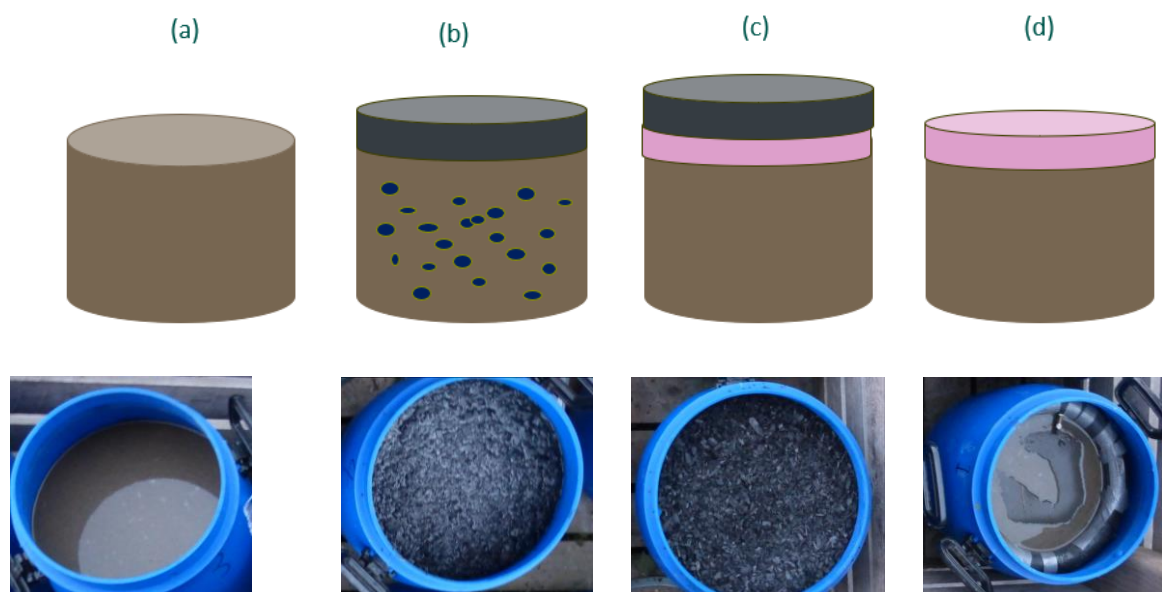
Analyse	ENHET	VERDI
TS	%	1,9
Totalt N (mod. Kjeldahl)	kg tonn <sup>-1</sup>	2,2
NH <sub>4</sub> -N	kg tonn <sup>-1</sup>	1,43
P	kg tonn <sup>-1</sup>	0,3
K	kg tonn <sup>-1</sup>	1,7
S	kg tonn <sup>-1</sup>	0,11
pH		7,7
Mg	kg tonn <sup>-1</sup>	0,15
Ca	kg tonn <sup>-1</sup>	0,38
Na	kg tonn <sup>-1</sup>	0,44
B	mg kg <sup>-1</sup> (TS)	38
Mn	mg kg <sup>-1</sup> (TS)	370
Fe	mg kg <sup>-1</sup> (TS)	930
Cu	mg kg <sup>-1</sup> (TS)	120
Zn	mg kg <sup>-1</sup> (TS)	520
Egenvekt	kg m <sup>-3</sup>	990

## 2.3 Forsøksdesign

Forsøket inkluderte fire behandlinger (Fig 1) med fire gjentak (totalt 16 plasttønner):

- Kontroll – 50 L grisemøkk
- 50 L grisemøkk og 150 g (3 kg/m<sup>2</sup> @ 30% fuktinnhold) med biokull tilsatt på overflaten
- 50 L grisemøkk og 150 g (3 kg/m<sup>2</sup> @ 30% fuktinnhold) biokull tilsatt på en flytende membran
- 50 L grisemøkk med en flytende membran lagt på overflaten uten biokull.

Tønnene ble plassert i en pallekasse slik at de var sikret for velting. Tønnene ble plassert mot veggen på skyggesiden av fjøset for å minimere solinnstråling og oppvarming av tønnene.



**Fig. 1. Behandlinger i forsøket: (a) Kontroll ledd: 50 L med grisemøkk uten biokull (b) 50 L med grisemøkk og 150 g med biokull tilsatt på overflate (c) 50 L grisemøkk og 150 g (10 cm eller 3kg/m<sup>2</sup> @ 30% fuktinnhold) biokull tilsatt på en flytende membran (d) 50 L grisemøkk med en flytende membran lagt på overflaten uten biokull.**

Den flytende membranen var laget av fluenetting og et sykkeldekk som var limt og teipet sammen (Fig. 2). Det ble laget en treveis ventil for gassprøvetaking som ble montert på toppen av lokket. En batteristyrt vifte ble montert på undersiden av lokket og drevet i 20 sekunder rett før gassprøvetaking, slik at gassene i tomrommet mellom møkka og tønnelokket var godt blandet og gassprøvene innholdt gass som var representativ for hele overflaten av møkka (Fig. 2).

## 2.4 Prøvetaking

Prøvetakingsperioden var fra 1/6/22 – 08/8/22, og vi tok gassprøver i 10 dager i løpet av perioden. Den varmeste delen av sommeren var valgt som prøvetakingsperiode for å fange opp perioden i året hvor det forventes at CH<sub>4</sub>-utslipp er høyest (mikrobiell aktivitet øker med temperatur). Lufttemperatur ble målt med et digitalt termometer 5 cm over gjødseltønnene, og møkkas temperatur ble målt med et stikktermometer 1 cm under møkkas overflate inntil tønneveggen. Ved prøvetaking ble lokket satt på tønnene, og gassprøver ble tatt 0, 15, 30 og 45 minutter etter at lokket ble satt på. Gassprøvene ble tatt med en 20 ml sprøyte koblet til en plastslange og en treveisventil (Fig. 2) etter at vifta hadde vært slått på i 20 sekunder for blanding av gassprøven i tomrommet over gjødselen.



**Fig. 2** Treveisventil til gassprøvetaking (til venstre), batteristyrte vifte til blanding av gassene før prøvetaking (midten), en gjennomtrengelig membran laget av fluenetting (vanskelig å se i bilde) og sykkeldekk som ble brukt for å sørge for at biokullet holdt seg flytende (til høyre)

## 2.5 Statistisk analyse

Alle statistiske analyser ble utført ved bruk av Excel og R Software v4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Østerrike). Gjentatte målinger av CH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub> ble analysert med en generalized linear modell (GzLM) og utført ved bruk av glmer funksjon fra LME4 pakke i R (Bates m.fl. 2015). Gassfluks var brukt som fixed factor, og målingsdag var inkludert i modellen som en tilfeldig faktor.

## 3 Resultater

### 3.1 Temperatur

Lufttemperaturen varierte mellom 12-23 °C, og møkktemperaturen var mellom 0-6 °C lavere enn lufttemperaturen gjennom prøvetakingsperioden (Fig. 3). Det var ingen signifikant forskjell mellom møkktemperaturen i ulikt behandlede tønner (Fig. 4).

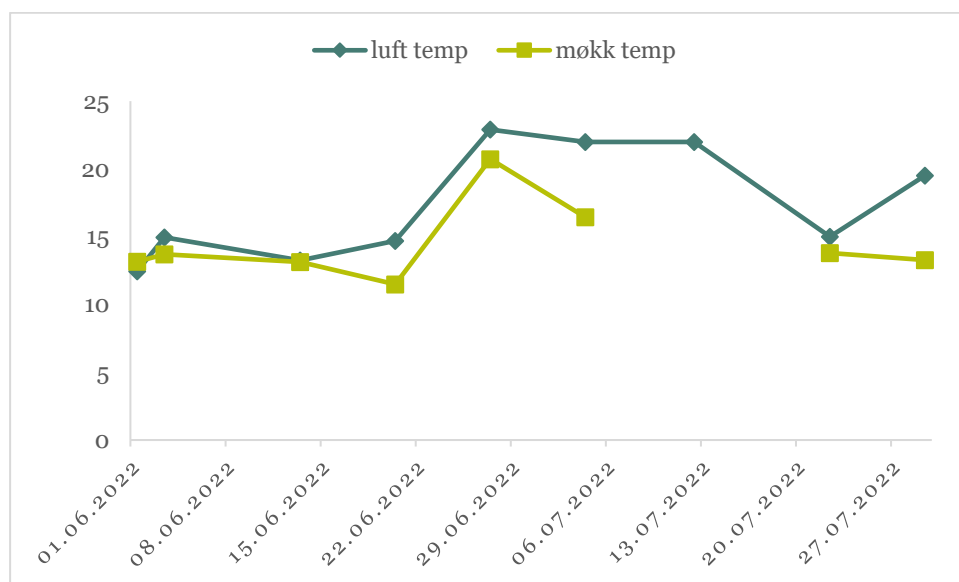


Fig. 3 Luft- og møkktemperatur gjennom prøvetakingsperioden i sommer 2022

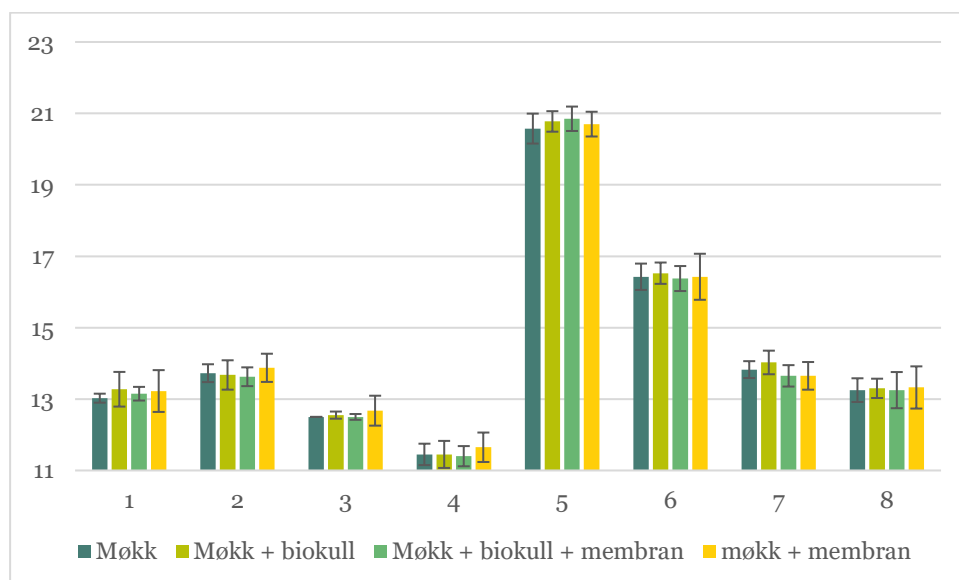


Fig.4 Temperatur °C 1 cm under møkkskorpe eller membran i 8 målingsdager i juni-juli 2022

(±SD, n=4)

Metanutslipp hadde en moderat positiv korrelasjon med møkktemperatur (Pearson  $R = 0.48$ ,  $p < 0.001$ ) og en svak korrelasjon med lufttemperatur (Pearson  $R = 0.28$ ,  $p = 0.002$ ). Vi fant en svakere

positiv korrelasjon mellom CH<sub>4</sub>-utslipp og temperatur når biokull var tilsatt (Fig. 7). Det betyr at CH<sub>4</sub>-utslipp har en mildere respons på temperaturstigning når biokull er tilsatt møkka.

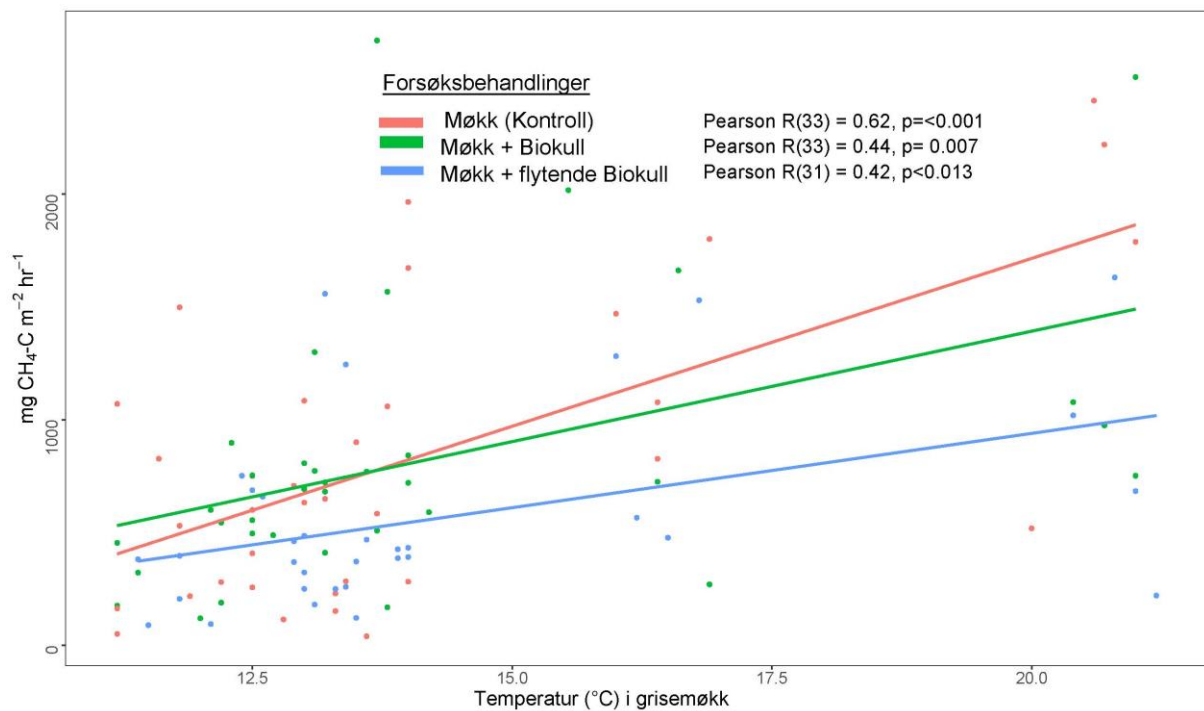


Fig. 5. Korrelasjon mellom temperatur i grisemøkk og metanutslipp. Fargede linjer er regresjonslinjer for hver behandling

### 3.2 Metanutslipp fra lagret grisemøkk

Analyse av data fra de gjentatte gassmålingene (Fig. 6) med Generalisert Lineær Modell (GLM) visste at CH<sub>4</sub>-utslipp fra grisemøkk ble signifikant redusert med 28% (p=0.03) ved bruk av biokull + flytende membran, mens biokull alene ikke var signifikant forskjellig fra møkk-kontrollen (Fig. 7).

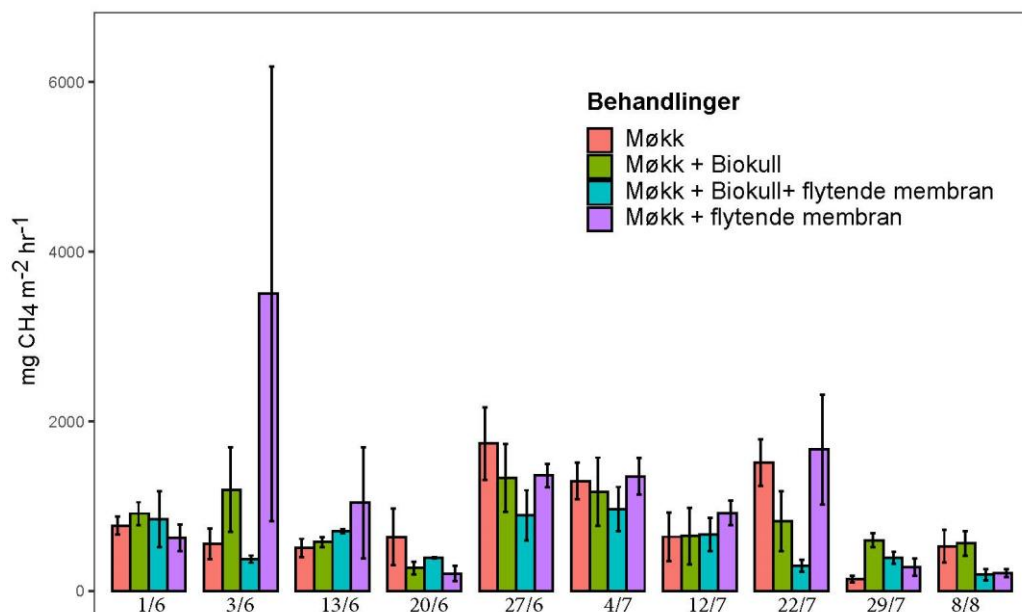


Fig. 6. Metanutslipp målt gjennom juni-aug 2022 fra 60 L plasttønner fylt med grisemøkk, grisemøkk + biokull, og grisemøkk med en kunstig flytende membran

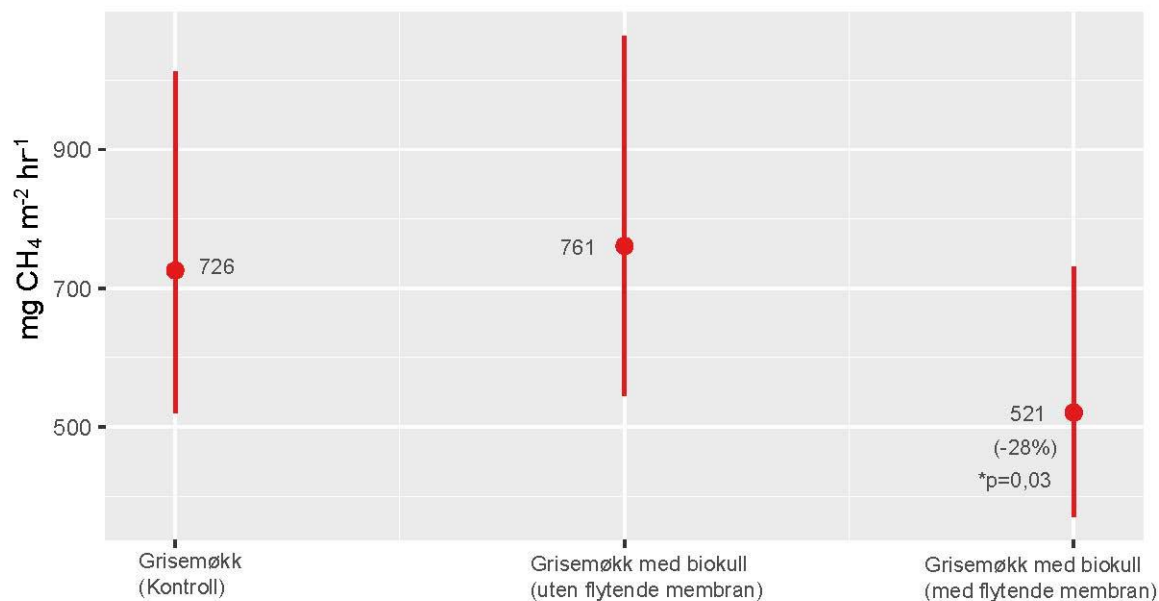


Fig. 7. Gjennomsnitt for metanutslipp fra grisemøkk ved bruk av biokull med og uten en flytende membran

### 3.3 CO<sub>2</sub>-utslipp fra lagret grisemøkk

Utslipp av karbondioksid ble signifikant redusert med biokullbehandlingene (Fig. 8). Generalisert Lineær Modell analyse viser signifikant reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp med 26% ved bruk av biokull uten flytende membran, og med 67% ved bruk av biokull med flytende membran (Fig. 9).

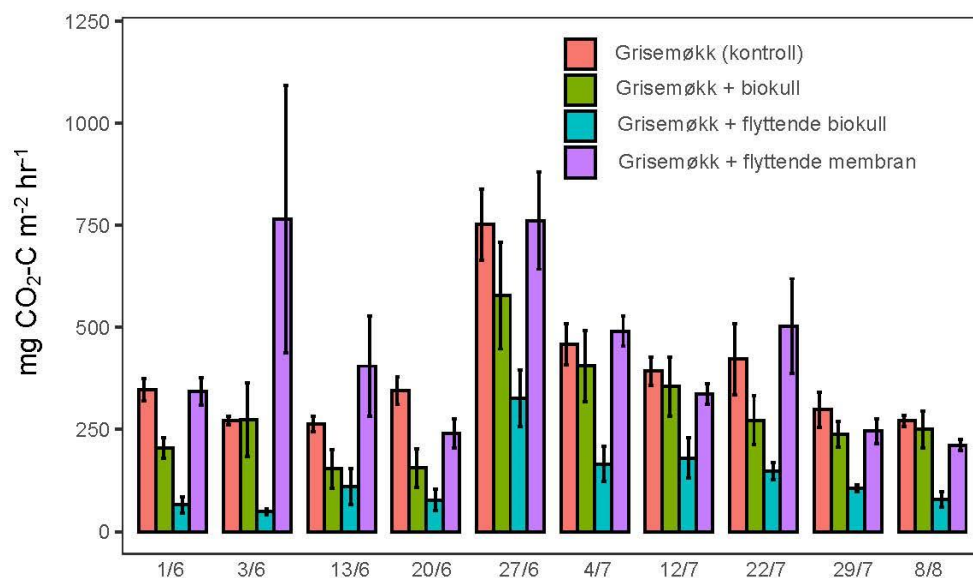


Fig. 8. CO<sub>2</sub>-utslipp fra lagret grismøkk. Grisemøkk uten biokull (røde søyler), grisemøkk med biokull uten flytende membran (grønne søyler), grisemøkk med biokull på flytende membran (blå søyler) og flytemembran uten biokull (lilla søyler)

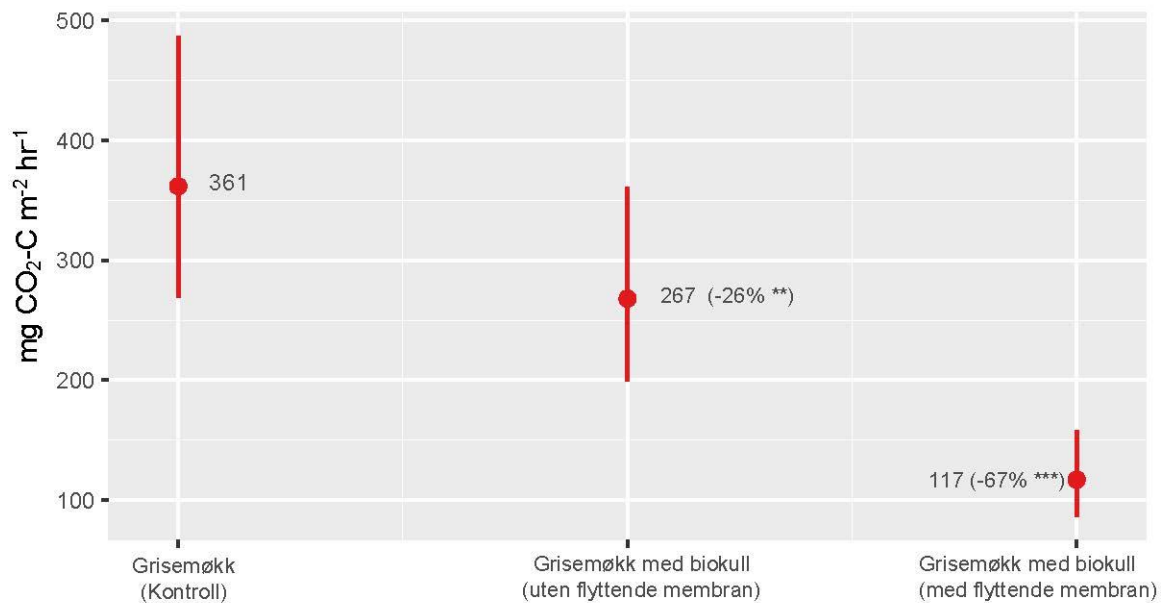


Fig. 9 Gjennomsnittlig CO<sub>2</sub>-utslipp fra lagret grisemøkk med og uten biokull (som sitter på flyttende membran eller ikke)

### 3.4 Klimagassreduksjonseffekt

I prøvetakingsperioden (juni-juli 2022) besto klimagassutslipp fra lagret grisemøkk av 74% CH<sub>4</sub>, 25% CO<sub>2</sub> og <1% N<sub>2</sub>O. Omregnet til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter sto CH<sub>4</sub> for hele 98% av det globale oppvarmingspotensialet til lagret grisemøkk i forsøksperioden, og biokull + flyttende membran hadde 31% mindre klimagassutslipp (CO<sub>2</sub>-ekv.) enn grisemøkk (kontroll).

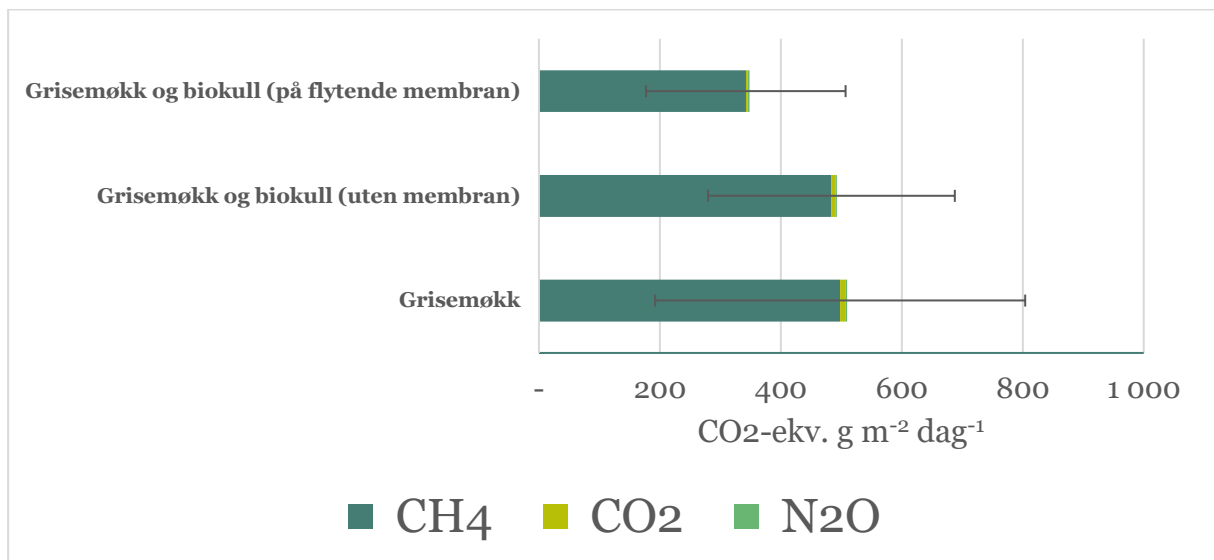


Fig. 10. Klimagasser fra de ulike behandlingene omregnet til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

### 3.5 Andre observasjoner

Den flyttende membranen holdt seg flyttende uten problemer i løpet av eksperimentets 74 dager, og biokullet med flyttende membran fungerte som planlagt og holdt seg flyttende under hele



forsøksperioden (Fig. 11 A-C). Grisemøkk alene uten biokull dannet en 5 cm tykk skorpe midt i eksperimentperioden, men var borte igjen etter 74 dager (Fig. 11 G-I). Vi målte ikke hvor mye biokull som falt til bunns gjennom forsøket, men overflaten var fortsatt helt dekket av flytende biokull (også uten flytemembran) etter 74 dager (Fig. 11 D-F)

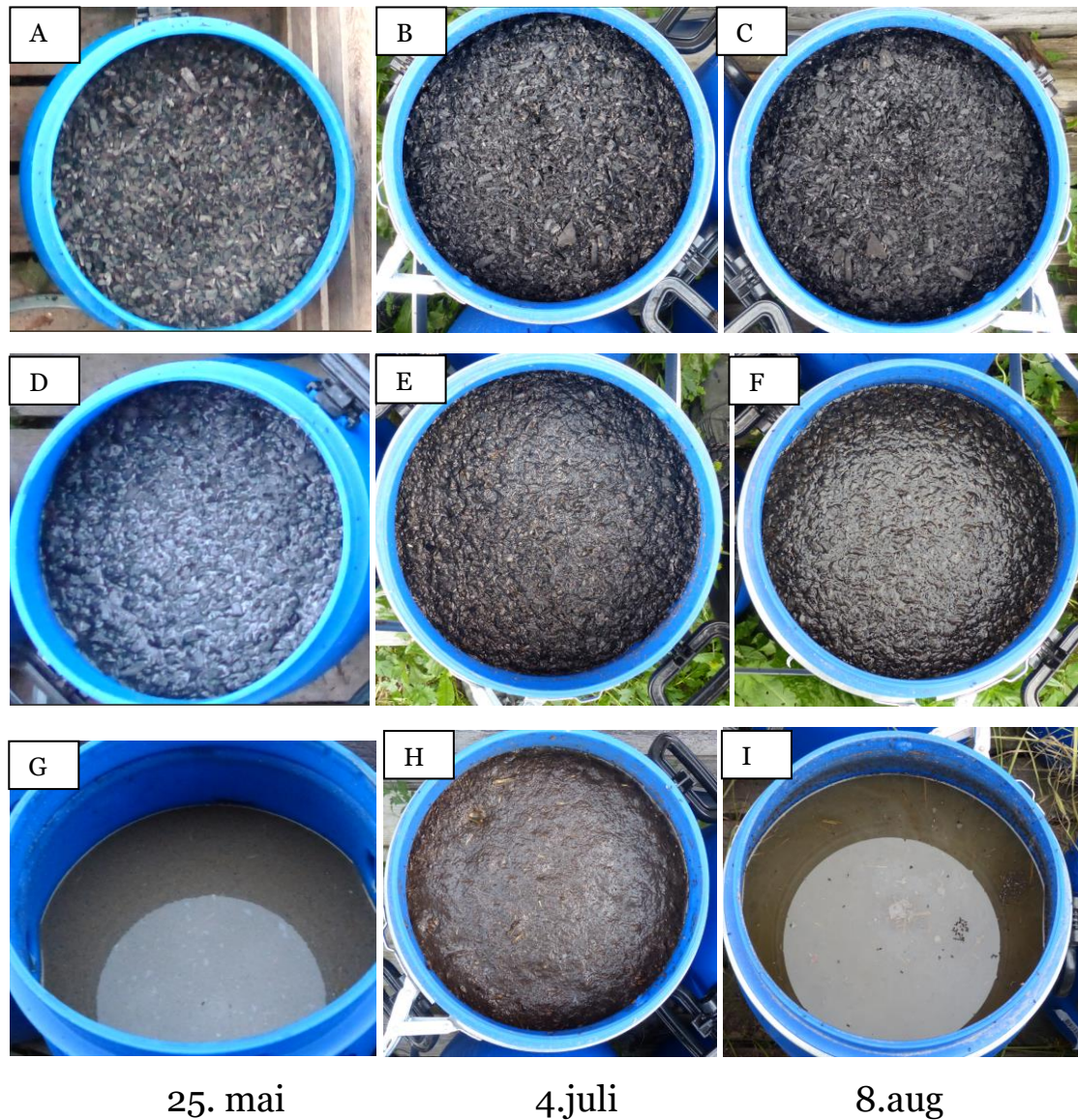


Fig. 11. Bilder av møkktønner tatt på begynnelsen av (25.mai), midt i (4.juli) og ved slutten av eksperimentet (8.aug), fra høyre til venstre. Biokull med flytende membran (A-C), biokull uten flytende membran (D-F) og grisemøkk uten biokull (G-I)



## 4 Diskusjon

Forsøket vårt viste at furubiokull kan redusere metanutslipp med opptil 28% i lagret grisemøkk, men kun når biokullet holdes flytende på toppen av møkka ved hjelp av en flytende membran. Membranen sørget for at biokullet beholdt en luftig struktur utover i eksperimentet. Vi hadde ikke budsjett i forsøket til mikrobiell analyse for å bekrefte tilstedeværelsen av metanotrofiske bakterier, men dette er noe vi ønsker å følge opp i videre undersøkelser. Flytemembranen i seg selv hadde ingen effekt på klimagassutslipp, men var avgjørende for at biokullet skulle ha en reduserende effekt på metan. I motsetning til Meirikhuanuly m.fl. 2020 fant vi ikke at biokull stimulerte ekstra CH<sub>4</sub>-utslipp når det fikk synke ned i møkka. I studien til Meirikhuanuly m.fl. 2020 sank biokull fra maishalm fullstendig etter 8 dager, og biokull fra eik sank etter 2 uker. I vår studie var biokull (uten flytemembran) fortsatt synlig på overflaten etter 74 dager (25.mai-08.aug) (Fig. 11 D-F). De forskjellige erfaringene i studiene kan muligens skyldes ulik porøsitet og massetetthet i ulike typer biokull.

Karbondioksid ble signifikant redusert med biokulltilsetning, også for biokull uten flytende membran. Det kan være flere mekanismer i spill her. En årsak kan være at biokull har en høy adsorpsjonsevne for oppløst organisk karbon (DOC), som kan hindre mikrobers tilgang til karbon (Mukherjee m.fl. 2016). En annen årsak er at CO<sub>2</sub> kan adsorberes direkte i mikroporer i biokullet, noe som gjør at det blir brukt som CO<sub>2</sub>-fangstmateriale i industrisammenheng.

Oppskalering og implementering av dette konseptet krever testing på gårdsnivå. Implementering i kommersiell drift vil kreve innkjøp av en passende flytende membran som kan bære vekten av biokull. Vi målte ikke NH<sub>3</sub>-utslipp i dette forsøket, men forskning tilsier at biokull også kan adsorbere NH<sub>3</sub>, særlig hvis det brukes forsuret biokull (Baral m.fl. 2023). En fordel med et kombinert filter for CH<sub>4</sub> og NH<sub>3</sub> blir i teorien at når biokullet har gjort jobben sin som gassfilter, kunne det bidra som gjødsel for plantevekst.

# Litteraturreferanser

- Baral, K.R., McIlroy, J., Lyons, G. & Johnston, C. 2023. The effect of biochar and acid activated biochar on ammonia emissions during manure storage. *Environ. Pollut.* 317, 120815. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120815>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Ebbesvik, M., Kvande, I., Rodhe, L. & Morken, J. 2021. Klimagassutslipp fra utendørslager for bløtgjødsel fra storfe. NORSØK Rapport, 6 (9) 2021.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., Kammann, C. & Abalos, D. 2016. Biochar effects on methane emissions from soils: A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 101, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.07.021>
- La, H., Hettiaratchi, J.P.A., Achari, G., Verbeke, T.J. & Dunfield, P.F. 2018. Biofiltration of methane using hybrid mixtures of biochar, lava rock and compost. *Environ. Pollut.* 241, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.039>
- Li, Q., Liu, Y., Gao, W., Wang, G., Dzakpasu, M., Li, Y.-Y. & Chen, R. 2021. New insights into the mechanisms underlying biochar-assisted sustained high-efficient co-digestion: Reducing thermodynamic constraints and enhancing extracellular electron transfer flux. *Sci. Total Environ.* 151416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151416>
- Meiirkhanuly, Z., Koziel, J.A., Chen, B., Białowiec, A., Lee, M., Wi, J., Banik, C., Brown, R.C. & Bakshi, S. 2020. Mitigation of gaseous emissions from swine manure with the surficial application of biochars. *Atmosphere (Basel)*. 11, 1–17. <https://doi.org/10.3390/atmos1111179>
- Miljøstatus. 2023. Klimagassutslipp fra jordbruk i Norge <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-jordbruk>
- Mukherjee, S., Weihermueller, L., Tappe, W., Vereecken, H. & Buraue, P. 2016. Microbial respiration of biochar- and digestate-based mixtures. *Biol. Fertil. Soils* 52, 151–164. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1060-x>
- Nielsen, D.A., Schramm, A., Nielsen, L.P. & Revsbech, N.P. 2013. Seasonal Methane Oxidation Potential in Manure Crusts 79, 407–410. <https://doi.org/10.1128/AEM.02278-12>
- Olsen, M. & O'Toole, A. 2022. Rapport om lokalt tilgjengelige råvarer og avfallsstrømmer på Mære og deres karakteristiske egenskaper. SINTEF Rapport 2022:00099 <https://hdl.handle.net/11250/3029890>
- Reddy, K.R., Yaghoubi, P. & Yukselen-Aksoy, Y. 2015. Effects of biochar amendment on geotechnical properties of landfill cover soil. *Waste Manag. Res.* 33, 524–532. <https://doi.org/10.1177/0734242X15580192>
- Rodhe, L., Baky, A., Olsson, J. & Nordberg, Å. 2012a. Vexthushgasser fra stallgjødning – Litteraturgenomgang og modellberegninger. Rapport 402, Lantbruk & Industri. JTI – Institutet for jordbruks- og miljøteknik, Uppsala. ISSN-1401-4963
- Rodhe L.K.K., Abubaker J., Ascue J., Pell M. & Nordberg Å. 2012b. Greenhouse gas emissions from pig slurry during storage and after field application in northern European conditions. *Biosystems engineering* 113, 379-394
- Rodhe L.K.K., Ascue J., Willén A., Vegerfors Persson B. & Nordberg Å. 2015. Greenhouse gas emissions from storage and field application of anaerobically digested and non-digested cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 199, 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.004>
- Wu Z, Song Y, Shen H, Jiang X, Li B, Xiong Z. 2019. Biochar can mitigate methane emissions by improving methanotrophs for prolonged period in fertilized paddy soils. *Environ Pollut* 253: 1038–1046. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.073>



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.