

# Effekt af overdækning på emissioner fra faste organiske gødninger

---

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Jesper N. Kamp, Yolanda M. Lemes og Anders Feilberg

Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

# Datablad

---

Titel:	Effekt af overdækning på emissioner fra faste organiske gødninger
Forfatter(e):	Post Doc Jesper Nørlem Kamp, ph.d.-studerende Yolanda M. Lemes og Lektor Anders Feilberg, Institut for Bio- og kemiteknologi, AU
Fagfællebedømmelse:	Post Doc Johanna Pedersen, Institut for Bio- og kemiteknologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Johanna Höglund og chefkonsulent Lene Hegelund, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Miljø og Fødevarerministeriet
Dato for bestilling/levering:	27.08.2019 / 28.10.2022
Journalnummer:	2019—760-001136
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 22-P7-27 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2019-2022".
Ekstern kommentering:	Nej.
Eksterne bidrag:	Nej.
Kommentarer til besvarelse:	<p>Notatet er et udvidet dansk sammendrag af en artikel, som ved notatets udgivelse er indsendt til et videnskabeligt tidsskrift, men som endnu ikke har gennemgået eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en senere publicering i et tidsskrift med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer. Artiklen kan pt. ikke formidles elektronisk af hensyn til mulighed for publikation, men kan tilsendes (som hard copy) ved henvendelse.</p> <p>Resultaterne fra nærværende notat er præsenteret for repræsentanter fra Miljøministeriet og Miljøstyrelsen ved løbende statusmøder. De foreløbige resultater, der er præsenteret på status møderne er ikke skriftligt udvekslet. Kommentarer fra statusmøder kan genfindes i referater. Der har desuden været personlig kommunikation mellem Jens Ole Christensen, MIM og AU i forbindelse med afklaring af, hvad der skulle undersøges i de forskellige forsøg.</p>
Citeres som:	Kamp J N. Lemes Y M. Feilberg A. 2022. Effekt af overdækning på emissioner fra faste organiske gødninger. 12 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 28.10.2022
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>

## Baggrund

Miljøministeriet og Miljøstyrelsen har i en bestilling sendt til DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug ønsket, at AU undersøger emissioner af ammoniak og metan fra lagring af forskellige faste gødnings typer som markstakke. I bestillingen angives at *for de inkluderede gødningstype ønskes de tilladte typer af overdækning/opbevaring i container el. gødningshus undersøgt gennem det forsøgsdesign som AU har præsenteret for Miljø- og Fødevareministeriet. Der gennemføres endvidere undersøgelser af opbevaring af gødningstypen uden overdækning og overdækning a la ensilagestak som referencescenarier for emissionen.* Det er aftalt at der fokuseres på dybstrøelse fra kvægstald samt oplagring af hestegødning i container med henblik på at MIM kan inkorporere byggebladet omkring opbevaring i containeren i bekendtgørelsen.

Ligeledes er aftalt at der udføres forsøg til at bestemme effekten af overdækning ligesom betydningen af tidspunkt for overdækning undersøges.

## Besvarelse

Lagret gødning er en kilde til metan-, lattergas- og ammoniakemissioner (Sommer et al., 2004, Hansen et al., 2006). En række faktorer påvirker emissionerne fra lagret fast gødning, bl.a. sammensætning og type af gødning, størrelse af markstakken og temperatur (Hansen et al., 2006, Bernal et al., 2017).

Det er vanskeligt at udføre emissionsmålinger på større markstakke (> 15 m<sup>3</sup>) og der findes i litteraturen stort set kun data fra målinger af metan- og ammoniakemissioner udført på mindre markstakke målt med dynamiske kamre eller vindtunneler, se f.eks. Hu et al. (2014). Kendetegnende ved disse metoder er, at de ikke egnede til at bestemme absolutte emissioner eller basisemissioner, da de påvirker kilden.

I et laboratoriestudie er det vist, at overdækning reducerer ammoniakemissioner (Portejoie et al., 2003), der er styret af overfladeudvekslingen. En tæt overdækning reducerer ammoniakemissioner ved at minimere den turbulente luftstrømning direkte over overfladen, som er kontrollerende for emissionen. Modsat dannes metan inde i markstakken ved mikrobiel omdannelse, og da metan er et langt mere flygtigt stof end ammoniak, vil emission af metan ske forholdsvis hurtigt, når først det er dannet. Det er dermed forskellige processor, der er styrende for hhv. metan- og ammoniakemissioner.

Der er tidligere observeret en 90% reduktion i ammoniakemission uden nogen klar effekt på metanemissionen målt på mindre markstakke med dynamiske kamre (Chadwick, 2005). Et andet studie med dynamiske kamre fandt imidlertid en reduktion på 12% for ammoniak og 88% for metan med tæt overdækning af den faste fraktion fra separeret svinegylle (Hansen et al., 2006). Årsagen til de markant forskellige resultater opnået af Chadwick (2005) og af Hansen et al. (2006) står ikke klart, men der er anvendt forskellige gødningstyper med hhv. kvægdybstrøelse og separeret afgangsgylle samtidig med, at der er større metode-mæssige forskelle i de to studier. Det kan dog bemærkes, at reduktionen for ammoniak var langt større (ca. 70-80% aflæst ved visuel inspektion af graf) i den første uge i studiet af Hansen et al. (2006).

Langt de fleste undersøgelser af markstakke er udført i nedskalerede forsøg, hvor markstakke er væsentligt mindre end for normal praksis. Der er kun fundet ét studie med emissionsmålinger fra markstakke i fuldskala. I det pågældende studie (Brown et al., 2002) er der målt lattergasemissioner med Integrated Horizontal Flux (IHF) metoden på 400 m<sup>3</sup> markstak med fast gødning fra malkekvæg. Der findes dermed meget få målinger på lagret fast gødning opbevaret på åben mark, hvilket gør, at der er stor usikkerhed omkring de faktiske effekter af overdækning, herunder timing og grundighed.

Formålet med undersøgelserne beskrevet i nærværende notat er 1) at vurdere effekten af overdækning på metan- og ammoniakemissioner, 2) at vurdere grundigheden af overdækningens betydning for metan- og ammoniakemissioner og 3) at sammenligne metan- og ammoniakemissioner fra fast gødning lagret i hhv. en markstak (fuldskala) og en container. Emissionsmålingerne bestemmes med invers dispersionsmetoden, som giver målinger med en høj tidsopløsning når der anvendes online måleudstyr som i disse forsøg.

## Oversigt over gennemførte aktiviteter

De eksperimentelle undersøgelser i projektet startede primo 2020 og er afsluttet i 2022. Den første målekampagne blev påvirket af COVID-19 nedlukningen i foråret 2020

Der er udført tre separate målekampanjer i 2020, 2021 og 2022, hvor dybstrøelse fra en kvægstald er undersøgt de første to år, mens dybstrøelse fra en rideskole er undersøgt i det sidste år. Der er i hvert af forsøgene målt semi-kontinuert på én markstak af gangen for at opnå så stor datadækning som muligt.

Der har været forskellige strategier til målekampanjerne de forskellige år efterhånden som resultaterne fra tidligere forsøg er analyseret.

I 2020 blev der opbygget tre markstakke, der var hhv. overdækket (totally covered, TC20), delvist overdækket (partially covered, PC20) og udækket (non-covered, NC20). Der var desværre kun begrænset data fra den overdækkede stak i disse forsøg, pga. forsøgsdesignet, hvor tre stakke blev målt samtidigt uden at flytte på måleudstyret. Ud fra disse erfaringer blev det tydeligt, at det kun er muligt at opnå god datadækning med samtidig måling af to stakke. Der blev målt i hhv. 53, 51 og 49 dage på de tre stakke inden forsøget desværre blev brat afbrudt pga. COVID-19 nedlukningen i foråret 2020.

I 2021 blev der opbygget to markstakke og overdækningen blev ændret undervejs. Den overdækkede markstak i 2021 (TC21) var overdækket de første 42 dage efter opbygning inden overdækningen blev fjernet de sidste 7 dage. Den ufuldstændigt overdækkede markstak (incompletely covered, IC21) startede med at være udækket de første 7 dage efter opbygning, hvorefter der blev lavet en ufuldstændig overdækning i 30 dage inden overdækningen blev fjernet de sidste 6 dage.

I 2022 blev der opbygget en markstak baseret på dybstrøelse fra en rideskole. Halvdelen af dybstrøelsen var overdækket (TC22) de første 40 dage efter opbygning før overdækningen blev fjernet de sidste 11 dage. Den anden halvdel blev opbevaret i en overdækket container (covered container, CC22) i 40 dage. Overdækningen bestod af en teltduk, der var spændt over containeren og antages at have sluttet tæt. Der var dermed luft mellem den faste gødning og teltdugen modsat alle tidligere forsøg, som havde overdækning direkte på dybstrøelsen. I de sidste 4 dage af forsøget blev overdækningen fjernet fra containeren. Derudover blev containerdøren åbnet 3 gange undervejs af 2-4 timers varighed mens containeren var overdækket.

Nøgleparametre for de forskellige forsøg er gengivet i Tabel 1, hvor tidspunktet for de enkelte forsøg også findes

## Metodevalg

Det er vanskeligt at bestemme repræsentative emissioner fra mindre afgrænsede kilder, og der er få metoder, der egner sig netop til det. Grundlæggende er der tre muligheder til at bestemme af emissioner fra en mindre afgrænset kilde: 1) masse-balance metoder, som f.eks. IHF, der også tidligere har været anvendt til at bestemme emissioner fra markstakke (Brown et al., 2002), 2) tracer-gas metoder, hvor en kendt mængde gas bliver udledt over en kortere tidsperiode (få timer) eller 3) inverse dispersion modelleringsmetoder, hvor koncentrationsmålinger kombineret med modellering af luftbevægelser udmunder i kilde-specifikke emissioner. Massebalance-metoder er forholdsvis arbejdskrævende og kræver hyppig omplacering af måleudstyr på grund af skiftende vindretning. Der er problemer med at måle ammoniak med denne metode, hvis der bruges online måleudstyr, da der er behov for meget kort responstid, hvilket er en udfordring pga. ammoniaks adsorption til prøveslanger o.l. Som alternativ til online-måleudstyr kan der anvendes vaskeflasker, men disse er arbejdskrævende og giver lavere tidsopløsning. Tracer-gas metoder er velegnede til at bestemme emissioner fra større såvel som mindre kilder, men har den ulempe, at de er forholdsvis arbejdskrævende og dyre, hvis der skal måles med en acceptabel hyppighed. Derfor bestemmes emissioner oftest kun i kortere tidsperioder ad gangen med tracer-gas metoder. Tracer-gas-metoder stiller desuden krav til omgivelserne, da det skal være muligt at foretage repræsentative målinger i en vis afstand nedstrøms fra kilden. Invers-dispersionsmetoder stiller forholdsvis store krav til omgivelserne, men giver til gengæld muligheden for kontinuerte emissionsmålinger med høj tidsopløsning når der måles i vindfanen fra markstakken.

Det er vores vurdering, at invers dispersionsmetoden, konkret backward Langrangian Stochastic (bLS) modellen, er en pålidelig metode til at bestemme emissioner fra mindre afgrænsede områder og derfor er bLS anvendt til at bestemme emissioner fra markstakke i disse undersøgelser. For yderligere redegørelse vedrørende metodevalget og bLS henvises til Feilberg et al. (2021) og Lemes et al. (2022), hvor metoden blev anvendt til bestemmelse af emissioner fra gylletanke.

Den anvendte bLS metode med en linjeintegreret målelinje er valideret i en række forsøg (Lemes et al., 2022).

## Materialer og metoder

I Tabel 1 ses nøgleparametre for de tre forsøgs år, hvor lagringsperioden sammen med antallet af målte halvtimes intervaller bl.a. findes.

**Tabel 1:** Information omkring forsøgene med markstakke udført i 2020 og 2021 med dybstrøelse fra kvæg og 2022 med dybstrøelse fra heste. TC referer til overdækkede, PC til delvist overdækkede, NC til ingen overdækning, IC til ufuldstændig overdækning og CC til overdækket container. Målte intervaller angiver antallet af halv times intervaller, hvor der er brugbart data for hhv. metan- ( $CH_4$ ) og ammoniakemissioner ( $NH_3$ ).

		2020			2021		2022	
Dybstrøelse		Kvægdybstrøelse			Kvægdybstrøelse		Hestedybstrøelse	
Temperaturdybder	[cm]	30, 100 og 150			0, 30, 100 og 150		0, 30 og 100	
Overdækningstype		TC	PC	NC	TC	IC	TC	CC
Længde	[m]	10.6	10.9	12.1	8.6	9.5	5	6
Brede	[m]	5	6.3	6	5.4	5.8	4	2.4
Højde	[m]	2.1	2.1	2.1	2.2	2.4	1.5	1.8
Masse	[t]	27.7	27.6	28.0	31.1	29.5	8.8	8.7
Opbygningsdato		20-01 2020	22-01 2020	24-01 2020	31-05 2021	07-06 2021	19-01 2022	26-01 2022
Lagringsperiode	[dage]	53	51	49	49	42	51	44
Tabt masse	[%]	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	11.2	22.3	11.6	2.3
Målte intervaller: $NH_3$		89	142	261	267	303	193	151
Målte intervaller: $CH_4$		58	122	258	337	341	215	370

<sup>a</sup> Ikke bestemt pga. COVID-19 nedlukningen i foråret 2020.

Der er til alle forsøgene benyttet Cavity Ring-Down Spektroskopi (CRDS) til måling af emissionerne, ligesom i tidligere undersøgelser (Feilberg et al., 2021). Instrumenter blev placeret både op- og nedstrøms fra kilden med det formål at bestemme emissionerne med bLS i halv-times intervaller. Der er anvendt en målelinje til at lave linjeintegreret koncentrationsbestemmelse nedstrøms af kilden. I forsøgene i 2020 blev der anvendt en punktmåling til koncentrationsmålingerne både op- og nedstrøm af kilden. Målepunktet var placeret det samme sted under hele forsøget, hvilket medførte, at der var begrænset data fra især den overdækkede markstak i 2020 (TC20). Derfor blev der i forsøgene i 2021 og 2022 anvendt målelinjer til at måle koncentrationen nedstrøms fra kilden. Målelinje og punktmåling for baggrund blev flyttet i forhold til den forudsagte vindretning for at sikre god datadækning for begge stakke. Målelinjen er valideret med kontrollerede udslip af ammoniak og metan (Lemes et al., 2022).

Der er udtaget blandingsprøver af strøelse både før og efter lagring med henblik på fysiske og kemiske bestemmelser af dybstrøelsen. Der blev på AU analyseret for bl.a. tørstofindhold, total ammoniak nitrogen (TAN) og total nitrogen (TN) (APHA, 2005). Markstakkene blev bygget op med frontlæsser, så de var trapezformede som en normal markstak i praksis opbygges. Til overdækningen blev en plastikdug af polyethylen

med en tykkelse af 0.14 mm anvendt og holdt nede med sandsække og halve dæksider, som normal praksis i det danske landbrug. Målene for de forskellige stakke ses i Tabel 1 sammen med informationer om bl.a. vægt og massetab.

## Resultater

Resultaterne fra forsøgene er gengivet herunder. Tabel 2 viser gennemsnitsværdier for temperatur, nedbør og vindhastighed for hvert af de tre år. Tabel 3 viser de gennemsnitlige temperaturer målt inde i de forskellige markstakke, hvor det ses, at der er en betydelig varmeudvikling i det meste af stakkenes volumen med en tendens til en lidt lavere temperatur nær overflade og nær jordunderlaget. Sammenligning af vinterdata (2020) og sommerdata (2021) tyder på, at udetemperaturen kun har begrænset indflydelse på temperaturudviklingen.

**Tabel 2:** Gennemsnitsværdier for temperatur, nedbør og vindhastighed i forsøgsperioden angivet med standardafvigelse som udtryk for variationen.

	Temperatur [°C]	Nedbør [mm time <sup>-1</sup> ]	Vindhastighed [m s <sup>-1</sup> ]
2020	5.0 ± 2.4	0.2 ± 0.5	3.8 ± 1.7
2021	16.5 ± 3.8	0.1 ± 1.0	1.8 ± 1.0
2022	3.3 ± 2.7	0.1 ± 0.4	3.0 ± 1.6

**Tabel 3:** Gennemsnitsværdier for temperatur (°C) i de forskellige markstakke i forskellige højder angivet med standard afvigelse. TC referer til overdækkede, PC til delvist overdækkede, NC til ingen overdækning, IC til ufuldstændig overdækning og CC til overdækket container.

	0 cm [°C]	30 cm [°C]	50 cm [°C]	100 cm [°C]	150 cm [°C]
TC20	-	40.8±7.6	-	46.0±3.3	36.7±2.8
PC20	-	62.8±10.5	-	57.8±4.3	44.1±3.9
NC20	-	56.3±8.7	-	57.5±4.3	-
TC21	39.3±8.2	54.7±7.6	-	47.6±4.3	38.9±2.0
IC21	38.8±8.8	52.5±19.3	-	62.9±5.3	51.3±3.3
TC22	15.4±9.8	40.5±5.5	31.2±2.3	-	-
CC22	10.2±6.4	39.6±4.1	30.5±2.2	-	-

Tabel 4 viser gennemsnits emissioner for ammoniak og metan delt op i de forskellige faser, som markstakene har gennemgået igennem hvert af forsøgene. De volumenbaserede metanemissioner er estimerede ud fra en approksimation af volumen ved starten af forsøgene.

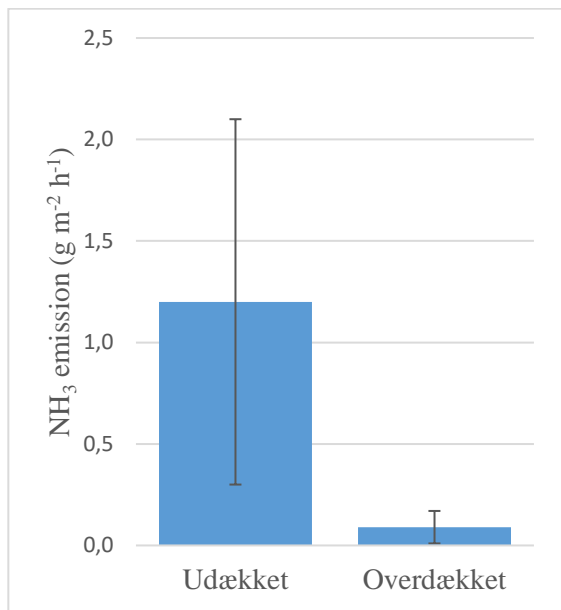
**Tabel 4:** Gennemsnitlige emissioner af ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) og metan ( $\text{CH}_4$ ) fra dybstrøelse fra kvæg (2020 og 2021) og dybstrøelse fra heste (2022). TC referer til overdækkede, PC til delvist overdækkede, NC til ingen overdækning, IC til ufuldstændig overdækning og CC til overdækket container. Tid angiver lagringstiden i dage (d) eller timer (h) mens n angiver antallet af målte halv times intervaller i den pågældende periode. For 2020 data er data delt op i perioder for at vise den tidlige forskel i lagringsperioden.

Type	Fase	Tid	$\text{NH}_3$ emission [g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	$\text{CH}_4$ emission [g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	$\text{CH}_4$ emission <sup>a</sup> [g m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> ]
TC20	Dag 0 - 53	53 d	0.2 ± 0.3 (n=89)	1.1 ± 2.5 (n=58)	1.0 ± 2.1 (n=58)
PC20	Dag 0 - 2	2 d	4.6 ± 5.7 (n=24)	0.3 ± 0.3 (n=19)	0.3 ± 0.3 (n=19)
PC20	Dag 2 - 12	10 d	1.7 ± 1.6 (n=14)	3.3 ± 2.5 (n=14)	2.9 ± 2.3 (n=14)
PC20	Dag 12 - 51	39 d	0.1 ± 0.2 (n=104)	2.3 ± 4.3 (n=89)	2.1 ± 3.9 (n=89)
NC20	Dag 0 - 2	2 d	3.5 ± 4.9 (n=34)	2.2 ± 3.5 (n=35)	2.3 ± 3.6 (n=35)
NC20	Dag 2 - 12	10 d	0.6 ± 0.6 (n=109)	1.7 ± 1.5 (n=109)	1.7 ± 1.5 (n=109)
NC20	Dag 12 - 49	37 d	0.1 ± 0.1 (n=118)	4.0 ± 5.6 (n=114)	4.1 ± 5.7 (n=114)
TC21	Opbygning	2 h	4.0 ± 0.5 (n=3)	2.2 (n=1)	2.0 (n=1)
TC21	Overdækket	42 d	0.1 ± 0.1 (n=232)	1.9 ± 1.1 (n=304)	1.7 ± 1.0 (n=304)
TC21	Udækket	7 d	0.4 ± 0.2 (n=29)	2.1 ± 1.8 (n=29)	1.9 ± 1.6 (n=29)
TC21	Fjernelse af stak	2 h	1.6 ± 1.6 (n=3)	7.1 ± 4.7 (n=3)	6.3 ± 4.2 (n=3)
IC21	Opbygning	2 h	4.0 ± 1.0 (n=3)	1.8 ± 0.9 (n=2)	2.0 ± 1.0 (n=2)
IC21	Udækket 1	7 d	1.2 ± 0.9 (n=99)	1.2 ± 0.5 (n=79)	1.3 ± 0.6 (n=79)
IC21	Overdækket	30 d	0.05 ± 0.05 (n=116)	2.5 ± 1.1 (n=167)	2.8 ± 1.2 (n=167)
IC21	Udækket 2	6 d	0.1 ± 0.1 (n=82)	2.1 ± 0.7 (n=90)	2.3 ± 0.8 (n=90)
IC21	Fjernelse af stak	2 h	1.8 ± 1.6 (n=3)	5.7 ± 3.6 (n=3)	6.4 ± 4.0 (n=3)
TC22	Overdækket alle dage	40 d	0.1 ± 0.1 (n=142)	5.2 ± 8.6 (n=167)	3.7 ± 6.1 (n=167)
TC22	Overdækket fra dag 5	35 d	0.1 ± 0.1 (n=89)	3.6 ± 2.2 (n=112)	2.5 ± 1.6 (n=112)
TC22	Udækket	11 d	0.1 ± 0.1 (n=51)	0.7 ± 0.5 (n=48)	0.5 ± 0.3 (n=48)
CC22	Overdækket alle dage	40 d	0.03 ± 0.04 (n=80)	2.4 ± 1.9 (n=299)	1.4 ± 1.0 (n=299)
CC22	Overdækket fra dag 5	35 d	0.02 ± 0.02 (n=61)	2.0 ± 1.5 (n=182)	1.1 ± 0.8 (n=182)
CC22	Udækket	4 d	0.2 ± 0.1 (n=71)	0.7 ± 0.5 (n=71)	0.4 ± 0.3 (n=71)

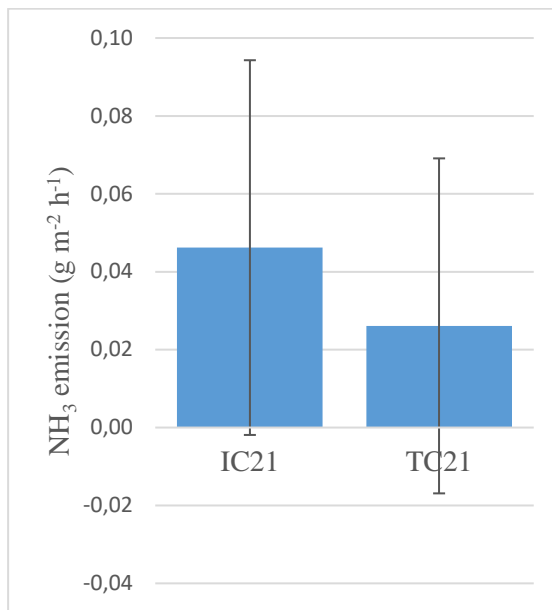
<sup>a</sup> Beregnet ud fra en approksimation af volumen af gødningsstakene på dag 0.



Figur 1 viser gennemsnits ammoniakemissionen for den første uges lagring hhv. med og uden overdækning, hvor der er en signifikant forskel (uparret t-test,  $P < 0.001$ ) med  $92 \pm 9\%$  reduktion i ammoniakemissionerne den første uge med overdækning. Figur 2 viser tilsvarende gennemsnits ammoniakemissioner efter den første uges lagring, hvor begge markstakke er overdækkede. Her er værdierne sammenlignelige selvom den ene stak startede med at være udækket den første uge.



**Figur 1:** Ammoniakemissioner i den første uge efter opbygning for IC21 (udækket) og TC21 (overdækket). Fejlbjælker angiver standardafvigelsen for målingerne som udtryk for variationen.



**Figur 2:** Ammoniakemissioner efter første uge for TC21, der er overdækket og IC21, der startede med at være udækket den første uge inden den blev overdækket. Fejlbjælker angiver standardafvigelsen for målingerne som udtryk for variationen. Bemærk y-aksens skala ift. Figur 1.

Tabel 5 angiver mængden af N, der er tabt fra stakken i form af fordampet ammoniak, relativt til mængden af total-N ved forsøgenes begyndelse. Det ses, at de målte værdier er sammenlignelige med værdierne fra Hansen et al. (2008).

**Tabel 5:** Tab af  $\text{NH}_3\text{-N}$  beregnet i forhold til total-N indholdet ved starten af lagringsperioden for dybstrøelse fra kvæg og heste med forskellige overdækninger og lagringsmetoder. Andre tab er udregnet ud fra forskellen i total-N ved start og afslutningen af forsøgene fraregnet den del, der er tabt som ammoniak, i forhold til start mængden af total N. Til sammenligning er værdierne fra Hansen (2008) angivet for  $\text{NH}_3\text{-N}$  tab og denitrifikation også anført. TC referer til fuldt overdækkede, PC til delvist overdækkede, NC til ingen overdækning, IC til ufuldstændig overdækning og CC til overdækket container.

Dyretype	Forsøg	$\text{NH}_3\text{-N}$ tab [%]		Andre N-tab <sup>a</sup> [%]		Denitrifikation <sup>b</sup> [%]	
		Dette studie	Hansen (2008)	Dette studie	Hansen (2008)		
Kvæg	TC20	5.3	3	-	5		
	TC21	2.9	3	2.6	5		
	IC21	5.4	(3) <sup>c</sup>	0.3	(5) <sup>c</sup>		
	NC20	11	5	-	5		
Hest	TC22	8.7	3	37.2	10		
	CC22	1.8	-	22.4	-		

<sup>a</sup> Andre tab såsom denitrifikation, udvaskning, etc. beregnet ud fra tabet i total-N i forhold til den oprindelig mængde total-N.

<sup>b</sup> Det er uklart om den udregnede værdi kun tager højde for denitrifikation eller om det også indeholder andre tab.

<sup>c</sup> Værdi for tildækket stak.

Tabel 6 angiver fire opstillede scenarier for, hvordan forskellige overdækningspraksis giver forskellige kumulative tab af ammoniak over en lagringsperiode på fire måneder. Scenarierne er udvalgt ud fra antagelser om praksis ved overdækning af markstakke. Alle scenarier har en opbygningstid på 4 timer og fjernelsen er ligeledes sat til 4 timer. Scenarie A er en ideel håndtering uden åbning efter etablering mens scenarie B er udækket i 7 dage efter opbygning. I scenarie C er overdækningen åben i 68 timer i løbet af lagringsperioden mens scenarie D er uden overdækning de sidste 14 dage. De beregnede værdier for scenarierne er fundet ved at bruge gennemsnitsværdier for de forskellige faser og lagringstiden med udgangspunkt i kvægdybstrøelse. Dette regneeksempel viser, at der tabes mest ammoniak når markstakke ikke overdækkes umiddelbart efter opbygning. Det skal fremhæves, at de beregnede kumulative emissioner, der er grundlag for beregningerne, baseres på gennemsnitsdata med en betydelig variation inden for de enkelte perioder.

**Tabel 6:** Kumulative metan- og ammoniakemissioner over fire måneders lagring ud fra fire sandsynlige scenarier for mulige håndteringer af overdækning af dybstrøelse fra kvæg.

		Scenarie			
		A	B	C	D
Lagringsfase	Enhed	Lagringstid			
Opbygning	[timer]	4	4	4	4
Udækket efter opbygning	[dage]	0	7	0	0
Overdækket	[dage]	122	115	119	108
Åben overdækning	[timer]	0	0	68	0
Udækket inden fjernelse	[dage]	0	0	0	14
Fjernelse	[timer]	4	4	4	4
		Kumulative emissioner			
NH <sub>3</sub>	[g m <sup>-2</sup> ]	179	364	194	253
CH <sub>4</sub>	[kg m <sup>-2</sup> ]	6.5	6.1	6.4	6.4

## Variation og usikkerhed

Som det fremgår af variationerne på gennemsnitsværdierne i Tabel 4 er der generelt observeret en stor tidlig variation i emissionerne af både ammoniak og metan. Dette gælder også for data på enkelte måledage. De beregnede gennemsnitlige tab og effekter dækker over en betydelig tidlig dynamik. Det skal bemærkes, at det ikke er muligt at lave simultane parallelle målinger med det anvendte måledesign for at dokumentere den overordnede præcision direkte ud fra målinger på tre ens stakke. Præcisionen for selve målemetoden kan imidlertid vurderes ud fra variationen på målinger i forbindelse med kontrollerede udslip med konstant kildestyrke (Lemes et al., 2022), hvor observerede variationer for en tidsserie af halv-timesværdier (på hinanden følgende målinger) ligger mellem 5% og 20% (relativ standardafvigelse). Ud fra forsøgene med kontrollerede udslip (Lemes et al., 2022) vurderes det, at den anvendte metodes præcision og nøjagtighed er acceptabel. Det må konstateres, at der er en stor naturlig variation i markstakkes emissioner af ammoniak og metan og at repræsentative data kræver kontinuerte eller semi-kontinuerte målinger, som i denne undersøgelse. Med det anvendte måledesign er der målt på hver stak hver anden uge (i 2021 og 2022) ud fra den antagelse, at emissioner og variationer inden for hver uge er repræsentative for de uger, hvor der ikke er målt.

## Sammenfattende konklusion

Overdækning af markstakke med dybstrøelse fra kvæg er en effektiv måde at reducere ammoniak emissioner, hvor en hurtig tildækning er yderst vigtig. En forsinkelse af overdækning (selv på få dage) giver væsentligt forøgede ammoniakemissioner set over hele lagringsperioden. Ammoniakemissionerne reduceres

med  $92 \pm 9\%$  i den første uges lagring ved at overdække markstakken i forhold til en udækket markstak. Derfor skal overdækningen udføres umiddelbart efter opbygning for at begrænse ammoniakudledningen.

Der blev ikke fundet nogen signifikant effekt af overdækning på metanemissioner på trods af, at overdækning medførte højere temperaturer i de udækkede stakke.

Dybstrøelse fra heste opbevaret i en container med overdækning havde  $50 \pm 58\%$  lavere metanemissioner og  $67 \pm 37\%$  lavere ammoniakemissioner sammenlignet med samme gødning opbevaret i en markstak med tæt overdækning. Det vurderes dermed, at emissioner af ammoniak og metan fra dybstrøelse fra heste reduceres ved opbevaring i en overdækket container.

## Referencer

APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Bernal, M. P., S. G. Sommer, D. Chadwick, C. Qing, L. Guoxue and F. C. Michel (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits.

Brown, H. A., C. Wagner-Riddle and G. W. Thurtell (2002). "Nitrous oxide flux from a solid dairy manure pile measured using a micrometeorological mass balance method." Nutrient Cycling in Agroecosystems **62**(1): 53-60.

Chadwick, D. R. (2005). "Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: Effect of compaction and covering." Atmospheric Environment **39**(4): 787-799.

Feilberg, A., J. Kamp, Y. M. L. Perschke and T. Nyord. (2021). Notat om lagerforsuring af gylle og effekt på emissioner af NH<sub>3</sub> og CH<sub>4</sub> målt i fuld skala ved hjælp af online spektroskopi og spredningsmodellering. [https://pure.au.dk/portal/files/225379056/Endelig\\_rapport\\_lagerforsuring\\_27102021.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/225379056/Endelig_rapport_lagerforsuring_27102021.pdf).

Hansen, M. N., K. Henriksen and S. G. Sommer (2006). "Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering." Atmospheric Environment **40**(22): 4172-4181.

Hansen, M. N., S. G. Sommer, N. J. Hutchings and P. Sørensen (2008). Emissionsfaktorer til beregning af ammoniak- fordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning. Danmarks Jordbrugs Forskning.

Hu, E., E. L. Babcock, S. E. Bialkowski, S. B. Jones and M. Tuller (2014). "Methods and Techniques for Measuring Gas Emissions from Agricultural and Animal Feeding Operations." Critical Reviews in Analytical Chemistry **44**(3): 200-219.

Lemes, Y. M., P. Garcia, T. Nyord, A. Feilberg and J. N. Kamp (2022). "Full-scale investigation of methane and ammonia mitigation by early single-dose slurry storage acidification." ACS Agricultural Science & Technology **Submitted**.

Lemes, Y. M., C. Häni, J. N. Kamp and A. Feilberg (2022). "Evaluation of open and closed path sampling systems for determination of emission rates of NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub> with inverse dispersion modelling." EGUsphere [preprint].

Portejoie, S., J. Martinez, F. Guiziou and C. M. Coste (2003). "Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes." Bioresource Technology **87**(3): 199-207.

Sommer, S. G., S. M. McGinn, X. Hao and F. J. Larney (2004). "Techniques for measuring gas emissions from a composting stockpile of cattle manure." Atmospheric Environment **38**(28): 4643-4652.