

Til Departementet

Følgebreve

Dato 31. august 2020

Journal 2020-0055171

— **Levering på bestillingen "Forsuring af flydende husdyrgødning og afgasset biomasse ifbm. udbringning"**

Departementet har i en bestilling sendt d. 24 april 2020 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at svare på en række spørgsmål vedr. forsuring af husdyrgødning i forbindelse med udbringning.

— Besvarelsen i form af vedlagte notat er udarbejdet af Seniorforsker Anders Peter Adamsen, professor Sven G Sommer, lektor Anders Feilberg og seniorrådgiver Tavs Nyord fra Institut for Ingeniørvidenskab ved Aarhus Universitet. Seniorforsker Henrik Bjarne Møller fra Institut for Ingeniørvidenskab har været fagfællebedømmer, og notatet er revideret i lyset af hans kommentarer.

Miljø- og Fødevarerministeriet har kommenteret på et udkast til dette notat. Kommentarket kan findes via dette [LINK](#).

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevarerministeriet og Aarhus Universitet" som en ny opgave under Indsatsområde 4 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2020-2023".

— Venlig hilsen

Lene Hegelund
Specialkonsulent, kvalitetssikrer f. DCA-centerenheden



Forsuring af flydende husdyrgødning og afgasset biomasse ifbm. udbringning

Af Anders Peter Adamsen, Sven G Sommer, Anders Feilberg og Tavs Nyord. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet

Fagfællebedømt af Henrik Bjarne Møller, Institut for Ingeniørvidenskab, AU

Baggrund

Landbrugsstyrelsen har i en bestilling dateret 24.06.2020 ønsket svar på en række spørgsmål vedrørende forsuring af flydende husdyrgødning og afgasset biomasse i forbindelse med udbringning.

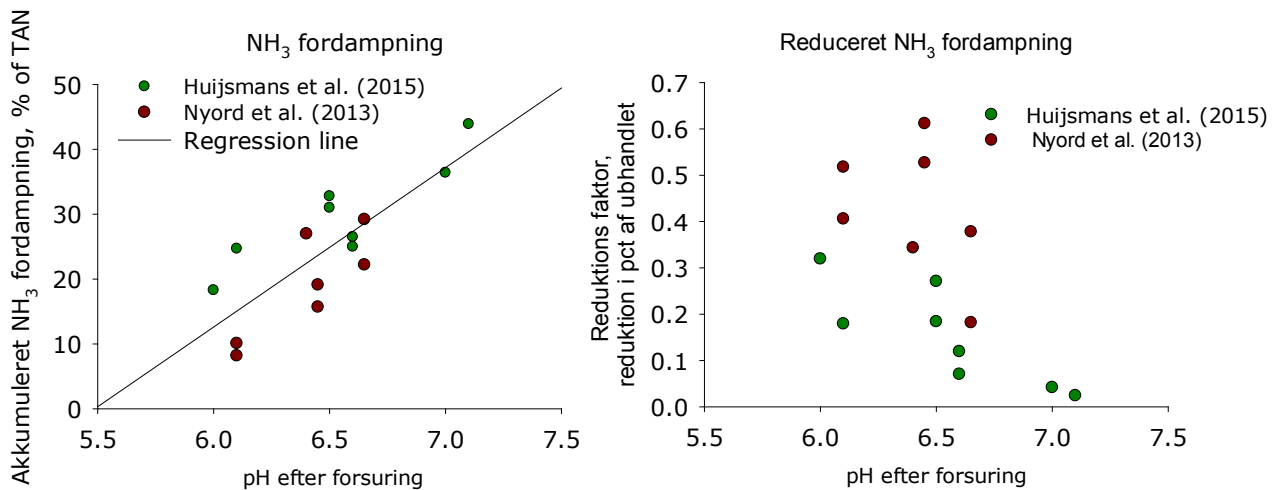
Spørgsmål og underspørgsmål fremsat i bestilling fremgår i besvarelse. Den anvendte nummerering i besvarelsen henviser til spørgsmålets nummer i bestillingen.

I bestillingen ønskes at svaret i relevant omfang koordineres med DCE. Dette er sket derved at udvalgte svar har været præsenteret for DCE, som dog ikke har fundet anledning til yderligere bidrag til denne besvarelse

Besvarelse

- 1. Kan den ammoniakbegrænsende effekt (minimum 25 %) af tankforsuring ved udbringning sikres ved at stille et ensartet krav om pH ved *udbringning* uafhængigt af gødningstypen, og i så fald hvilken pH?**

Som det fremgår af Figur 1, er der en rimelig god relation mellem ammoniaktabet fra udbragt gylle målt med mikrometeorologisk massebalance-metode og gyllens pH målt umiddelbart efter gyllen har forladt gyllevognen, men inden den lander på jorden (Figur 1, venstre diagram). Dog er reduktionen i ammoniakfordampning ikke lineært faldende med pH i forsuret gylle i de danske og hollandske studier.



Figur 1. Akkumuleret ammoniakfordampning i procent af udbragt ammonium (TAN=total ammonium nitrogen) i forsuret gylle i perioden fra udbringning til 6 dage senere. Venstre: Akkumuleret ammoniaktab som funktion af forsuret gylles pH målt ved udbringning, og højre: Reduktion i ammoniaktabet som funktion af forsuret gylles pH (Reduktionsfaktor = $[\text{NH}_3 \text{ tab (ubehandlet)} - \text{NH}_3 \text{ tab (forsuret)}] / \text{NH}_3 \text{ tab (ubehandlet)}$).

Det er kendt, at målingerne fra Holland afviger fra resultater i studier fra andre lande (Hafner et al. 2018), hvilket kan skyldes forskel i gyllens sammensætning (fodring), jordbundsforhold, målemetode etc. Reduktionen i ammoniakfordampningen er større end 0,27 når pH reduceres til under 6,5, hvis der ses bort fra en måling fra Holland, hvor reduktionen var 0,18 ved reduktion af pH til 6,1. Dog er der i senere danske og tyske forsøg målt lavere reduktion ved $\text{pH} < 6,5$ (Seidel et al., 2016; Hafner et al., upublicerede data), hvor det dog skal understreges, at de tyske forsøg er foretaget ved forsuring i gyllevognen (altså ikke under udbringning) og at i både de danske og tyske forsøg er ammoniakfordampningen målt med en teknik, hvor man kombinerer små dynamiske kamre og mikrometeorologiske målinger. Sidstnævnte metode er efterfølgende blevet kritiseret for under visse vejr-mæssige betingelser ikke at give valide estimater for ammoniaktabet. I et nyligt gennemført tysk studie (hvor samme kombinerede målemetode anvendes til bestemmelse af ammoniaktabet) af forsuring af gylle før udbringning, udbragt med slæbeslanger, var reduktionsfaktoren 0,45 – 0,61 ved tilsætning af syre til gyllen. Mængden af tilsat svovlsyre var 13 til 16 Ltr. H_2SO_4 per 1000 Ltr. gylle og målet var at sænke pH til 6,0. Resultater af studierne er endnu ikke analyseret og projektlederen kan derfor ikke oplyse målt pH ved udbringning (Reinsch et al. 2019).

Det er derfor opfattelsen at ved tankforsuring til pH 6,0 eller derunder kan ammoniaktabet reduceres med minimum en faktor 0,25 i forhold til ubehandlet gylle udlagt med slæbeslange.

1. Vil der alternativt kunne stilles et krav om opnået pH i forbindelse med selve nedforsuringen i tanken, og vil det i så fald være nødvendigt at sætte en frist for, hvornår der senest skal udbringes, efter tankforsuringen har fundet sted (i dag er pH-kravet 6,0 ved udbringning og 5,5 ved nedforsuring op til hhv. 3 uger og 3 mdr. før udbringning. Målingen af pH i forbindelse med udbringning skal ske højst 24 timer før udbringning)?

Ja, der kan stilles krav til pH i gylle efter tankforsuring, som vil sikre effekt på ammoniakfordampningen i marken. Hvis kravet er pH 5,5 er det vist i forsøg udført af AgroTech (Birkmose 2012), at pH ikke stiger til over 6,0 selv 3 uger efter forsuring. Vi mener derfor at så længe der ikke tilføres frisk gylle og hele gyllemængden er forsuret ned til pH 5,5, kan gyllen lagres i endnu længere tid efter tankforsuringen, uden at pH stiger nævneværdigt over 6,0. Det er vanskeligt at fastsætte hvor lang tid der må gå fra forsuring (pH 5,5) til udbringning for at undgå at pH overstiger 6,0, da det sandsynligvis vil variere fra gylletype til gylletype. Hvis der indføres krav om at der skal måles pH i et vist antal gylleprøver, umiddelbart inden udbringning påbegyndes, og disse skal vise pH under et givent niveau, vil dette kunne erstatte begrænsningen for periodens længde.

2. Kan den ammoniakbegrænsende effekt (minimum 25 %) af markforsuring ved udbringning sikres ved at stille et ensartet krav om pH ved udbringning uafhængigt af gødningstypen?

a. Hvad skal en ensartet pH-værdi i så fald være?

Det er aftalt med MFVM at besvarelse af spørgsmål 2a udgår af dette notat.

b. Er pH en sikker parameter at regulere efter ved markforsuring?

i. Hvilke praktiske problemer kan vise sig i forhold til at anvende pH-meter monteret på udbringningsudstyr til markforsuring af husdyrgødning i forhold til at opnå en valid pH-måling?

Det er muligt at måle pH i gylle med et pH-målesystem der er monteret på udbringningsudstyret, men der er mange praktiske problemer forbundet hermed, såsom tilsvining af selve elektroden, samt hvordan elektroden kalibreres og valideres. Desuden er det ønskeligt med et system der logger målte pH-værdier, tidspunkter og GPS-koordinater, i lighed med det som allerede findes for SyreN systemet og administreres af firmaet Biocover.

Det vil sige at der skal monteres et pH-målesystem med repræsentativ udtagning af gylle fra udbringningsudstyret, eventuel frafiltrering af partikler i gylle før det føres til pH-elektroden, jævnlige rensninger af pH-elektrode, samt jævnlige kontrolmålinger af pH-system. Det skal sikre at evt. skumdannelse kan ledes væk fra elektroden, således at god kontakt mellem væsken og elektroden sikres. Udover dette skal systemet kunne holde til vibrationer og være meget servicevenlig (eller let at udskifte).

Der bør derfor stilles krav om et godkendt dokumentationssystem. Materialet for godkendelse kan være at et målesystem gennem et stykke tid, for eksempel 1 – 3 måneder, har målt pH i gylle med tilsvarende resultater som udtagne og manuelt målte prøver udført af akkrediterede testorganisationer.

ii. Hvad er AU's erfaringer med validiteten af pH-målinger foretaget af pH-meter monteret på udbringningsudstyr til markforsuring af husdyrgødning?

Ved gennemførelse af markforsøg med både SyreN systemet fra Biocover og Kyndestoft markforsuringssystemet, blev der en del tilfælde af AU registreret markant forskel mellem systemernes automatiske måling af pH og den målte pH i gylleprøver udtaget og analyseret i marken. Forskellen mellem pH måling foretaget af udbringningsmaskinen og målt med pH elektrode umiddelbart efter gylle havde forladt maskinen (måling foretaget inden for 1 min.), var op til 1 pH enhed, hvor markforsuringssystemet målte lavere end den pH som AU registrerede. Dog var denne forskel meget varierende, afhængig af især gylletype. Umiddelbart vurderet var forskellen størst for svin, mink og biogasgylle og mindst for kvæg og separeret gylle. I hollandske forsøg blev der registreret fra 0,3 til 0,7 pH enhed til forskel mellem målinger foretaget af SyreN systemet og målinger foretaget umiddelbart efter gylle havde forladt udbringningsmaskinen, hvor SyreN systemet målte lavere end man gjorde med traditionel målemetode (Huijsmans et al., 2015). Som tilfældet var for de danske forsøg blev gylle opsamlet i en beholder i forbindelse med udbringning og analyseret med det samme. Forklaringen på denne forskel mellem pH målinger foretaget af udbringningsmaskinen og målinger foretaget umiddelbart efter udbringning er uafklaret. Dog har vi en hypotese om, at der i forbindelse med tilsætning af syren i afgangsrøret på gyllevognen, sker en så kraftig skumdannelse for visse gylletyper, at den elektrode der måler pH i "gyllestrengen" ikke er i konstant kontakt med væsken, men derimod med gasfasen (skum) hvor CO₂ koncentrationen sandsynligvis er høj. Dette vil føre til en lavere pH måling end hvis elektroden er i konstant kontakt med væsken.

iii. Hvad er mulighederne for at sikre og øge validiteten af pH-målingerne på udbringningsudstyr til forsuret husdyrgødning?

Måling af pH bør ske på en måde, hvor der sikres konstant god kontakt af elektroden med væskefasen. Målinger skal ske med kalibreret elektrode (der bør være en grænse for hvor lang tid der må være mellem kalibreringerne). Ideelt set bør der udtages gylleprøver i forbindelse med udbringning til kontrolmåling foretaget af et autoriseret laboratorium i marken.

3. Hvordan kan et ensartet krav om et mindste syreforbrug uafhængigt af gylletypen til supplement eller erstatning for et krav om opnået pH-værdi formuleres, f.eks. som et krav relateret til pr. m³/tons gylle eller pr. ha uafhængigt af gødningstypen?

For at svare fyldestgørende på dette, kræver det et større studie med udtagelse af mange gylleprøver, som titreres med svovlsyre og på den måde kunne et gennemsnitligt "syrebehov"/tons gylle estimeres. En igangværende analyse af data baseret på kvæggylle tyder foreløbig på, at der ikke er en enkel sammenhæng mellem syreforbrug og opnået pH på tværs af gylleprøver og -typer.

Det kræver ligeledes et større arbejde at modellere sig til sådan et "syrebehov" ud fra gyllens sammensætning. Der er flere studier som har vist, at gylles pH er relateret til de vigtigste pH-bufferkomponenter som organiske syrer (VFA), ammonium/ammoniak, bikarbonat og syregrupper på organisk dispergeret stof. Denne sammensætning varierer meget som funktion af fodring, håndtering og lagring af gylle. Det er muligt at beregne gyllens pH, men beregningerne forudsætter at man har målt indholdet af pH bufferkomponenter og indholdet af anioner og kationer. Det bliver derfor om-

stændeligt at simulere pH med kendte pH-modeller, og p.t. er der ikke udviklet simuleringer, som ved anvendelse af få let tilgængelige data, vil give et retvisende udtryk for pH eller pH reduktion ved tilsætning af syre. Det er p.t. ikke muligt at beregne mængden af syre, som skal anvendes for at sænke pH til et givent niveau, fordi mængden i så høj grad afhænger af gyllens sammensætning.

Det er helt sikkert, at fastsætter man et generelt krav om at sænke pH i gyllen til 6,0, da vil der skulle tilsættes så meget svovlsyre, at man vil overgødske afgrøderne med svovl, hvorfor man må påregne en stor udvaskning af sulfat. Ved tilførsel af 30 ton gylle/ha vil tilsætning af 1 l svovlsyre per ton gylle svare til ca. 15 kg svovl tilført afgrøden. Da mange afgrøder har et svovlbehov på 15-20 kg S/ha/år vil man ved tilsætning af f.eks. 3-5 l svovlsyre/ton gylle og tilførsel af 30 ton gylle/ha, overdosere 2-3 gange med svovl, i forhold til afgrødens behov.

3. Tag evt. udgangspunkt i overordnede scenarier med og uden afgasset biomasse, herunder afgasset vegetabilsk biomasse.

a. Hvilket mindsteforbrug af syre vil det være relevant at kræve? Der ønskes en vurdering af to forskellige scenarier:

- i. Alle gylletyper, der er udbragt med markforsuring, opnår som minimum den forudsatte ammoniakbegrænsende effekt på 25 %.**

Se det generelle svar ovenfor.

- ii. Der opnås samlet set en ammoniakbegrænsende effekt på 25 % på landsplan ved udbringning af markforsuret gylle, således at der ved nogle gylletyper opnås en højere effekt, mens der med andre opnås en lavere effekt.**

Se det generelle svar ovenfor.

b. Er der miljømæssige konsekvenser, man skal være opmærksom på herved ud over den ammoniakbegrænsende effekt?

De miljømæssige konsekvenser af tilførsel af forsuret gylle på marker er behandlet i DCE rapport 257, 2018:

”Et mindre og midlertidigt pH fald i jorden som følge af gødskning med forsuret gylle forventes ikke at have de store direkte konsekvenser for den mikrobielle omsætning eller andre jordbundsorganismer. Gylleforsuring kan dog medføre en øget mobilitet af fosfor i gyllen, og dermed øget risiko for fosfortab. Udvasning af overskydende svovl kan desuden påvirke mobiliteten af fosfor hvis sulfat reduceres og binder jern, og derved mobiliserer fosfatforbindelser. Viden om den kvantitative betydning af disse processer er dog begrænset. For en række metaller, specielt nikkel og zink, kan der ligeledes forventes en øget mobilitet ved faldende pH. Modelberegninger tyder på en tredobling og fordobling af nikkel og zink i jordvæsken ved et fald i jordens pH på 0,5. Effekterne vil dog bl.a. afhænge af jordens bufferkapacitet. Endelig konkluderes det, at den nødvendige ekstra brug af kalk på marker gødet med forsuret husdyrgødning vil øge til-

førslen af tungmetaller. Det vil dog umiddelbart kun være målbart for cadmium.” Endvidere skrives der i rapporten nederst på side 13: ”der et teoretisk potentiale for øget produktion af lattergas i forsuret gylle sammenlignet med ubehandlet gylle, som bør afklares”.

Den anvendte syre bør være teknisk ren syre med et minimalt indhold af tungmetaller. Da cadmium både kan tilføres via den anvendte syre og fra tilsætning af kalk vil cadmium og andre tungmetaller kunne være noget man skal være opmærksom på.

Forsuring af gylle vil alt andet lige føre til en øget fordampning af svovlbrinte og carboxylsyrer, for eksempel smørsyre. Dette vil medføre øgede lugtgener i forbindelse med udbringning. Der er kun få undersøgelser af dette, men et enkelt studie har påvist en højere emission af carboxylsyrer og svovlbrinte fra forsuret kvæggylle i overensstemmelse med det teoretisk forventede (Liu & Nyord, 2015). Yderligere kontrollerede undersøgelser med flere gentagelser er nødvendige for at kunne kvantificere i hvor høj grad forsuring fører til øgede lugtgener ved udbringning.

4. Skal der stilles særlige krav om et mindste syreforbrug, f.eks. pr. m³/tons gylle eller pr. ha afhængig af, om der tilføres handelsgødning-N til gyllen?

I forbindelse med det udviklingsprojekt som Biocover, Seges, Agrodan og AU arbejdede sammen om i 2013-14, kaldet SyreN+ projektet, blev der udført forsøg med tilsætning af flydende ammoniak til gylle. pH i gyllen steg konsekvent ved tilsætningen af flydende ammoniak i mængder der svarede til hvad man kunne forvente i praksis. Derfor må ammoniaktabet fra udbringningen af gylle beriget med kvælstof fra flydende ammoniak, forventes at stige, hvis gyllen overfladeudbringes eller nedfældes i åbne render. Ved tilsætning af andre handelsgødninger end flydende ammoniak, vil pH stigningen være anderledes, men det vil dog formodentligt ved brug af de fleste typer handelsgødning, medføre øget ammoniaktab, se evt. Birkmose og Sommer (2014) for yderligere information.

5. Er det muligt at opgøre syreforbruget i svovlsyreækvivalenter, således at det ikke på forhånd er defineret, at der specifikt skal være tale om svovlsyre?

Ja. Der er ca. 19,5 mol H⁺/kg 96 % svovlsyre.

c. Kan der være andre miljømæssige konsekvenser ud over den ammoniakbegrænsende effekt, man skal være opmærksom på herved, som ikke er dækket af pkt. 3. b?

Se svaret for 3b.

6. Hvis muligt ønskes også anvisninger/forslag til, hvordan det evt. kunne være teknisk muligt at kontrollere krav til pH, syreforbrug eller andet.

Her har vi ingen yderligere forslag.

Referencer

- Birkmose T. Testrapport for Harsø Tankforsuring, 2012, Århus.
- Birkmose T. og Sommer S.G. Ammoniaktab ved udbringning af forsuret gylle tilsat kvælstof i handelsgødning. AgroTech, 2013, Århus.
- Hafner, S. D. , Pacholski, A. , Bittman, S. , Burchill, W. , Bussink, W. , Chantigny, M. , Carozzi, M. , Générumont, S. , Häni, C. , Hansen, M. N. , Huijsmans, J. , Hunt, D. , Kupper, T. , Lanigan, G. , Loubet, B., Misselbrook, T. , Meisinger, J. J. , Neftel, A. , Nyord, T. , Vilms Pedersen, S. , Sintermann, J., Thompson, R. B., Vermeulen, B., Vestergaard, A. V., Voylokov, P., Williams, J. R. & Sommer, S. G. 2018. The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*. 258, 66-79. doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.027
- Huijsmans J.F.M., Hol J.M.G , van SchootenNyord H.A. 2015. Toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland. *Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde*. Rapport 629. April 2015
- Kai, P., Pedersen P., Jensen J.E., Hansen M.N. and Sommer S.G. 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*. 28. 148-154
- Liu D. and Nyord T. Emissions of odorous compounds in air following land spreading of animal slurry. *Conference proceedings for 16th Ramiran conference, Hamburg, Germany*. 8-10 of September 2015. <http://ramiran.uvlf.sk/>
- Nyord, Tavs; Liu, Dezhaoh; Eriksen, Jørgen; Adamsen, Anders Peter S. Effect of acidification and soil injection of animal slurry on ammonia and odour emission. *Conference proceedings for 15th Ramiran conference, Versailles, France*, 3-5 of June 2013. <http://ramiran.uvlf.sk/>
- Reinsch T., Zutz M., Biernat L. 2019. Effiziente Ausbringung von Wirtschaftsdünger. *BAUERNBLATT*. 33-34.
- Seidel A., Pacholski A., Nyord T., Vestergaard A., Pahlmann I., Herrmann A.e, Kage H. 2017. Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N₂O emissions and crop N uptake. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 247, 23-32. dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.030.