



Plantedirektoratet

Vedrørende notat om forskellige forhold i forbindelse med forsuring ved nedfældning

Susanne Elmholt

Koordinator for
myndighedsrådgivning

Dato: 15. september 2011

Direkte tlf.: 8999 1858
E-mail:
Susanne.Elmholt@agrsci.dk

Afs. CVR-nr.: 57607556

Side 1/1

Plantedirektoratet (PD) har i henvendelse af 1. juli 2011 efterspurgt et fagligt bidrag vedrørende gylleforsuring. Baggrunden er, at økologiske landmænd har en dispensation fra kravet om nedfældning på sort jord eller græs i forårsmånederne, som er tidsbegrænset. Alternativer til nedfældning efter udløbet af denne dispensation overvejes, og blandt mulighederne er gylleforsuring, som dog ikke aktuelt må anvendes inden for økologisk jordbrug. PD overvejer, om der skal arbejdes for at dette i fremtiden accepteres.

I den forbindelse har PD med udgangspunkt i en række konkrete spørgsmål bedt om et kort notat, som følger herunder.

Notatet er udarbejdet af Søren O. Petersen, Jørgen Eriksen, Peter Sørensen og Lars Elsgaard, alle seniorforskere ved Institut for Agroøkologi, samt adjunkt Tavs Nyord, Institut for Ingeniørvidenskab.

Med venlig hilsen

Susanne Elmholt
Seniorforsker, koordinator for myndighedsrådgivning

Notat vedrørende forsuring af gylle til planteproduktion

Af Søren O. Petersen¹, Tavs Nyord², Jørgen Eriksen¹, Peter Sørensen¹ og Lars Elsgaard¹

¹ Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

² Institut for ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet

Plantedirektoratet (PD) har i henvendelse af 1. juli 2011 efterspurgt et fagligt bidrag vedrørende forskellige forhold i forbindelse med forsuring af gylle til planteproduktion.

Efter en kort indledning gives i det følgende korte svar på rækken af stillede spørgsmål. Flere spørgsmål vedrørende fremstilling, håndtering og forbrug af relevante syrer besvares dog samlet under det første punkt.

Indledning

Forsuring af gylle er udviklet som en strategi til at forbedre udnyttelsen af kvælstof i husdyrgødning. Ved forsuring af gylle i stalden sker der også en forbedring af luftkvaliteten, hvis indhold af ammoniak kan skade luftveje hos dyr og mennesker (Donham et al., 1977).

Gylleforsuring er ikke nogen ny opfindelse. Undersøgelser i forskellige dele af verden har dokumenteret effekter af gylleforsuring mht. reduktion af ammoniaktab (Ndegwa et al., 2008) og N-udnyttelse i marken (Schils et al., 1999; Sørensen & Eriksen, 2009). De indsamlede erfaringer er dog først i det seneste år blevet omsat i praktiske løsninger, et område hvor danske virksomheder har været pionerer. Teknologier er udviklet til forsuring i stalden, til forsuring i gyllelageret, og til forsuring under udbringning. Nogle af disse teknologier er i øjeblikket optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste¹, mens andre er under afprøvning.

Markforsøg i 2010 viste samme reduktionseffektivitet (omkring 50%) ved udbringning af staldforsuret gylle og gylle, som blev forsuret i forb. m. selve udbringningen (Nyord et al., 2010), se figur 1. En effektiv overdækning kan i væsentligt omfang forhindre ammoniaktab fra et udendørs lager, men ikke emissioner fra stalden. Generelt vil miljømæssige gevinster af gylleforsuring være størst ved forsuring tidligt i håndteringskæden.

• Redegørelse om relevante syrer til forsuring, deres fabrikation, håndtering og forventede forbrug

Svovlsyre (H_2SO_4) er i dag den eneste syre, der anvendes til forsuring af gylle. Denne syre fremstilles industrielt, men også som et affaldsprodukt fra røggrensning på kraft-varme værker. Sidstnævnte kilde dækker dog kun en mindre del af det nationale forbrug. Svovlsyre er stærkt ætsende, og derfor er der mange sikkerhedsforskrifter for brugen af H_2SO_4 , se f.eks. www.infarm.dk for yderligere information. En af de farligste sideeffekter ved tilsætning af H_2SO_4 til gylle er, at der kan dannes svovlbrinte (H_2S), som er en giftig gas (og ildelugtende). Der er dog fundet tekniske løsninger til at imødegå denne risiko, så syretilsætningen i dag vurderes at være sikkerhedsmæssigt forsvarlig.

Salpetersyre (HNO_3) er et potentielt alternativ til H_2SO_4 , da tilsætning af denne syre, ved at øge gyllens kvælstofindhold, giver et mere afbalanceret N/P-forhold i gyllen i forhold til planterens behov.

HNO_3 er en stærk syre. Den fremstilles ud fra ammoniak via en proces, der involverer kvælstofdioxid. Salpetersyre er en såkaldt monovalent syre, dvs. der frigives kun en brint-ion fra HNO_3 i modsætning til den

¹ http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Landbrug/Husdyrgodkendelser/bat/Teknologiliste_ny.htm

divalente H_2SO_4 , hvilket betyder at syreforbruget er større ved anvendelse af HNO_3 . Da massefylden for HNO_3 ydermere er mindre end for H_2SO_4 og kun leveres i en 66%-opløsning (mod 96% koncentreret H_2SO_4), ville der skulle tilsættes næsten 3 gange så stort et volumen HNO_3 for at opnå samme forsureffekt. Da salpetersyre også har en væsentligt højere indkøbspris (pers. medd., Chemark, 4682 Tureby), er brugen af HNO_3 fremfor H_2SO_4 ikke realistisk.

Det skal desuden nævnes, at HNO_3 er kraftigt iltende, og reaktioner med det organiske materiale i gylle kan føre til dannelse af kræftfremkaldende nitrøse gasser, som altså udgør en helbredsmæssig risiko, samt at HNO_3 er stærk korroderende overfor jern og derfor, hvis anvendt til gylleforsuring, kan medføre udgifter til at beskytte jernholdige konstruktioner i stalden.

Saltsyre (HCl) er, ligesom HNO_3 og H_2SO_4 , en stærk syre og i teorien også relevant at overveje til forsuring af gylle. I dag er den væsentligste kilde til HCl kloreringsprocesser i den organisk-kemiske industri. Her genanvendes affaldsproduktet HCl ganske vist i stort omfang af industrien selv i oxyklorerings- og hydrokloreringsprocesser, men den overskydende produktion anvendes til fremstilling af saltsyre. Yderligere fremstillingsprocesser af en vis betydning er dels absorption af hydrogenklorid fra forbrænding af klorholdigt affald (røggasrensning), dels absorption af HCl fremstillet ved forbrænding af brint i klor.

Behovet for syretilsætning er på niveau med HNO_3 , da også HCl er en monovalent syre. Dog leveres HCl "kun" i en 40 % opløsning, hvilket øger det volumen som skal tilsættes yderligere i forhold til H_2SO_4 . En markant egenskab ved HCl er, at syren vil berige gyllen med klorid, som ville blive tilført markerne, hvorpå gyllen spredes. Dette er ikke ønskeligt ud fra et miljømæssigt synspunkt, se Miljøstyrelsen Stofliste over uønskede stoffer i naturen.

Fosforsyre (H_3PO_4) ville i teorien også kunne bruges til at forsure gylle. Det er dog miljømæssigt og agronomisk særdeles u hensigtsmæssigt at tilføre landbrugsjorden mere fosfor, end der i forvejen tilføres med gyllen. Desuden er prisen for fosforsyre 5 gange højere end prisen for H_2SO_4 (pers. medd., Chemark, 4682 Tureby), hvilket umuliggør brugen af fosforsyre til gylleforsuring i praksis.

Endelig kunne organiske syrer, såsom eddikesyre (CH_3COOH), myresyre ($HCOOH$) og propionsyre (CH_3CH_2COOH), også anvendes til forsuring af gylle. Også her er prisen dog så meget højere – mindst 10 gange – end prisen for H_2SO_4 , at det ikke i praksis er muligt at bruge denne type syrer. Desuden må det forventes, at tilsætning af denne type organiske syrer kan bidrage til øgede lugtgener fra gyllen, såvel i stalden som under omrøring og udbringning.

- **Virkning på indeklima og dermed på dyr og mennesker**

Ved forsuring af gylle i stalden reduceres luftens koncentration af ammoniak, hvilket er til fordel for arbejdsmiljø og dyrevelfærd. Der forventes ingen effekt på støv eller smitterisiko. Det er dog vigtigt, at syretilsætning sker med autoriseret udstyr af hensyn til faren for svovlbrintedannelse (Miljøministeriet, 2004).

- **Virkning på inventar/materiel**

Gylleforsuring kan i teorien føre til nedbrydning af beton anvendt til gyllekanaler og lagring. Et pH-niveau på 5.5 er ikke kritisk, men ved brug af svovlsyre er niveauerne af sulfat høje. Cementfabrikkernes tekniske oplysningskontor har forestået omfattende undersøgelser af forsuret gylles påvirkning af forskellige betonkvaliteter.

Aalborg Portland har i et notat beskrevet kravene til betonkvalitet i forb. m. forsuring af gylle i stald eller lager med H_2SO_4 . Konklusionen for nybyggeri er, at ved brug af gængse betonkvaliteter tilsat 15% flyveaske forventes der ikke holdbarhedsmæssige problemer over en 25 års tidshorisont. For eksisterende staldanlæg

forventes der heller ikke at indebære nogen væsentlig risiko at ombygge til forsuret gylle, forudsat at betonen i øvrigt opfylder kravene i de relevante miljøklasser. Følges anbefalingerne heri, synes det altså muligt at undgå problemer med korrosion af opbevaringsfaciliteter (Aalborg Portland, udateret).

- **Krav til udstyr og faciliteter i forbindelse med forsuring ved nedfældning**

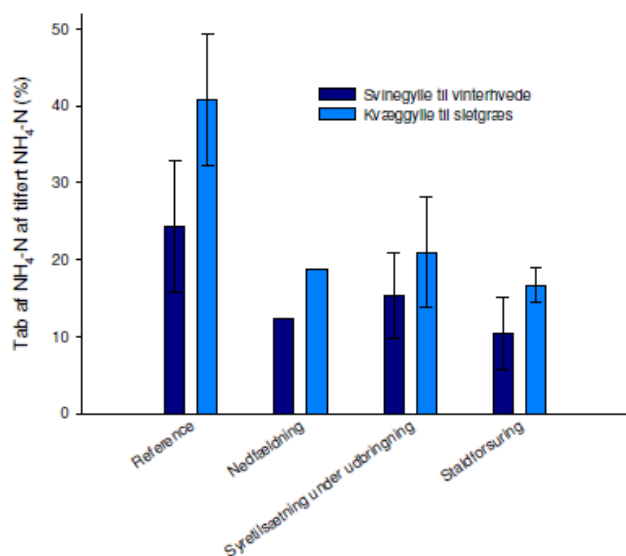
Gylle kan forsure i stalden, i lagertanken og direkte på gyllevognen i forbindelse med udbringning. Ved alle tre typer forsuring er det muligt at nedfælde gyllen efter forsuring. Alle tre behandlingsmetoder kræver særligt udstyr til gylleforsuringen, ligesom det er tilfældet på konventionelle bedrifter. Der vurderes ikke at være behov for særlige forholdsregler ved nedfældning af gylle forsuret i stald eller lager.

- **Tekniske muligheder for forsuring ved nedfældning**

Et væsentligt formål med nedfældning af gylle er at reducere ammoniakfordampningen. Forsuret gylle har en meget lav risiko for ammoniakfordampning, hvilket er baggrunden for den aktuelle dispensation fra kravet om nedfældning af gylle på græs, hvis gyllen er forsuret. Skal den forsurede gylle alligevel nedfældes, skal det ske ved tilsætning af syren i gyllevognens afgangsrør umiddelbart før fordeleren, der sørger for en ligelig fordeling af gylle til slanger som placerer gyllen på eller i jorden. Rent teknisk er det uproblematisk at kombinere forsuring og nedfældning, jfr. ovenstående afsnit.

- **Vurdering af effekten [på NH_3 -tab] ved forsuring umiddelbart før nedfældning**

Under forudsætning af, at forsuring sænker gyllens pH til maksimalt 6, har undersøgelser ved Århus Universitet vist en 50% reduktion af ammoniaktabet fra overfladeudbragt gylle sammenlignet med ubehandlet gylle udbragt med samme metode (Nyord et al., 2010), se figur 1. Denne reduktion svarer til den forventede reduktion ved nedfældning med en græsnedfælder (dobbeltskiveskærnedfælder) sammenlignet med overfladeudbragt gylle (Nyord et al., 2010). Det skønnes, at reduktionen af ammoniaktabet kan blive endnu større ved at kombinere nedfældning med forsuring, men det skal understreges at der ikke foreligger forsøgsresultater vedr. denne håndteringsstrategi.



Figur 1. Gennemsnitlig akkumuleret tab af ammoniak i procent af tilført NH_4^+ -N for kvæg- og svinegylle. Usikkerhedsintervaller angiver standardafvigelse, hvor mindst tre forsøg er gennemført. Kilde: Nyord et al., 2010.

- **Påvirkning af reaktionstal på kort og lang sigt**

Ved gylleforsuring reguleres pH i gyllen typisk til 5,5-6. Det betyder, at pH i den forsurede gylle ofte er tæt på jordens pH, hvorfor der ikke kan forventes nogen påvirkning af jordens reaktionstal på kort sigt.

Husdyrgødning har i sig selv en vis kalkvirkning, der helt eller delvist vil blive ophævet ved gylleforsuring. På længere sigt må der derfor, alt andet lige, forventes et lavere reaktionstal ved anvendelse af gylleforsuring.

- **I hvilket omfang opstår der behov for yderligere kalktilførsel**

Et forøget kalkbehov ved gylleforsuring antages at svare til mængden af kalk, der kan neutralisere den anvendte syre. Ammoniakfordampning har en forsuren effekt. En reduktion af ammoniaktabet gennem gylleforsuring vil mindske betydningen af denne naturlige forsuren effekt; dette er dog ikke indregnet herunder.

Behovet for syretilsætning varierer med gylletype og -sammensætning (Sørensen og Eriksen, 2009). Som eksempel kan følgende kalkbehov beregnes: Hvis det antages, at der skal anvendes 6 kg konc. svovlsyre/ton gylle, og at der tilføres 70 kg total N/ha/år i gylle, så vil behovet for ekstra kalktilførsel være 115 kg jordbrugskalk/ha/år ved tilførsel af svinogylle og 145 kg kalk/ha/år ved tilførsel af kvæggylle. Dette medfører endvidere en øget CO₂ emission fra kalken på 51-64 kg CO₂/ha/år.

- **Gødningsværdi af eventuelle syrer**

Under danske forhold er der kun lavet undersøgelser omkring udnyttelsen af svovl i gylle forsuret med svovlsyre. Undersøgelserne viser, at stort set alt tilsat svovl er plantetilgængeligt efter udbringning (Eriksen et al., 2008). Dette gælder også efter lagring af gyllen, forudsat at pH er lavt nok (omkring 5,5) til at hæmme sulfatreducerende bakterier effektivt. Ved højere pH omsættes sulfat til flygtige forbindelser (Eriksen et al., 2010), som kan fordampe og forårsage lugtgener, ligesom gødningsværdien reduceres.

- **I hvilket omfang kan et evt. øget svovlindhold give problemer?**

Ved typisk anvendte svovlsyredoseringer i stalden (5-7 kg/tons) tilføres gyllen svovlmængder i form af sulfat, som oftest overstiger en kornafgrødes behov. Den overskydende sulfat er mobil i jorden og vil kunne udvaskes. Det har ikke umiddelbart konsekvenser for drikkevandskvaliteten, idet koncentrationen forventes at være langt under grænseværdien for sulfat i drikkevand på 250 ppm. Sulfatudvaskning vil ikke direkte påvirke vandmiljøet, som ikke er sulfatbegrænset, men udenlandske undersøgelser har dog vist, at et forøget sulfatindhold i vådområder kan medføre eutrofiering pga. frigivelse af jernbundet fosfor (Lamers et al., 2002). Denne indirekte miljøeffekt er ikke undersøgt under danske forhold, men den vil sandsynligvis forekomme pga. høje niveauer af jernbundet fosfor i mange danske vådområder.

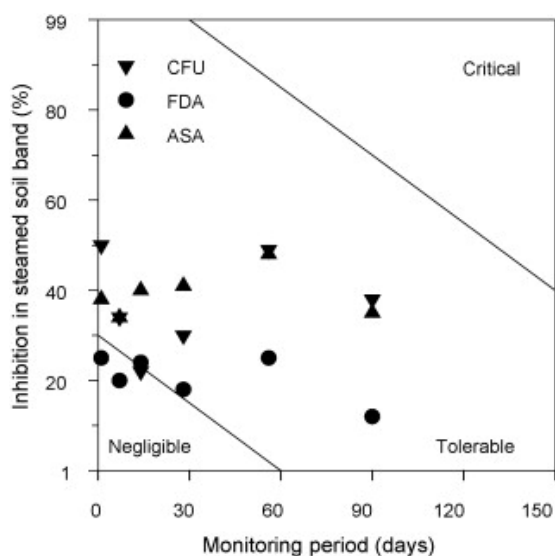
- **Eventuel mikrobiel påvirkning**

Der er ikke gennemført undersøgelser af økotoksikologiske virkninger af forsuret gylle på jordlevende organismer. Gyllens pH vil i mange tilfælde ikke være meget forskelligt fra jordens pH, og afgang af CO₂ som følge af pH-sænkningen vil føre til en stigning i pH, som modvirker afvigelse fra jordens pH. Gyllens indhold af lettilgængelige kulstofkilder og næringsstoffer vil desuden generelt hjælpe mikroorganismer til at modstå eventuelle stresseffekter.

Der er dog et klart vidensbehov mht. effekter af forsuring på jordlevende organismer. Gylletildeling sker med slæbeslanger, dvs. kun en del af jordvolumenet påvirkes direkte, og eventuelle negative effekter kan opvejes af rekolonisering. I mangel af konkret viden kan det være relevant at henvise til undersøgelser af

en anden teknik med lokal påvirkning af jordmiljøet, nemlig rækkedampning, hvor ca. 10 cm brede rækker af det øverste jordlag udsættes for en kortvarig stress-påvirkning i form af forhøjet temperatur (Elsgaard et al., 2010). Dette har en umiddelbar effekt på jordens mikroliv, hvilket er vist i en grundig undersøgelse af effekter på kvælstofdynamik og udvalgte mikrobiologiske indikatorer (respiration, enzymaktiviteter og mikroorganismer). For at vurdere betydningen af de påviste stress-effekter og deres varighed, blev resultaterne vurderet med udgangspunkt i en konceptuel model for vurdering af økotoksikologiske effekter (Domsch et al., 1983), som også inddrager tidsfaktoren, se figur 2. På den baggrund blev det konkluderet, at de observerede effekter var tolerable. Selvom der til at begynde med var hæmninger af jordens mikroliv, så var omfanget ikke alarmerende set i forhold til de stress-påvirkninger, jordens mikroliv udsættes for fra naturens side, såsom tørke, temperatursvingninger og begrænset forsyning med næringsstoffer. Det blev dog i undersøgelsen bemærket, at mikrolivets evne til at komme sig efter rækkedampningens påvirkning var langsommere, end det er tilfældet for naturlige stress-påvirkninger.

I relation til forsuret gylle er det sandsynligt, at der tilsvarende vil være en initial stress-påvirkning (af endnu ukendt omfang), efterfulgt af en gradvis tilbagevenden (recovery) til det oprindelige niveau for mikrolivet. I lighed med rækkedampning vil en konkret og konceptuel vurdering kunne gennemføres for forsuret gylle.



Figur 2. Effekter af rækkedampning på udvalgte mikrobielle indikatorer, CFU=colony forming units (bakterier+svampe), FDA=fluorescein diacetat hydrolyse (hydrolytisk aktivitet) og ASA=arylsulfatase aktivitet (specifik bakteriegruppe). Selvom tydelige effekter blev registreret, så aftog de med tiden og var derfor ikke alvorlige for jordens biologiske funktioner på langt sigt. Kilde: Elsgaard et al., 2010.

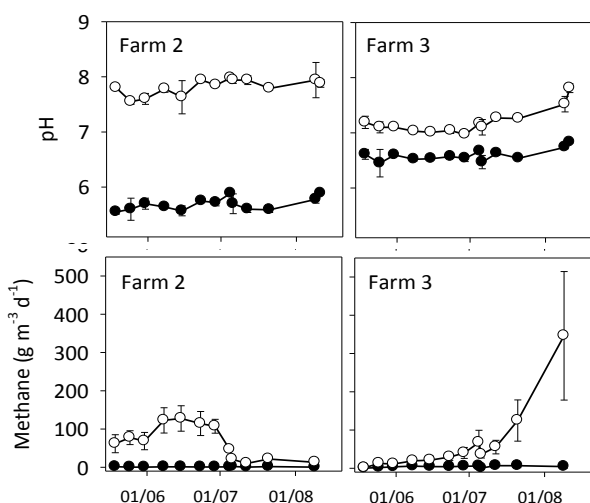
- **Anden påvirkning af jordbund, planter og omgivende miljø**

Mulige konsekvenser af svovltilsætning ved forsuring af gylle med svovlsyre, og det potentielle behov for kalkning, er allerede omtalt. Vi er ikke bekendt med andre dokumenterede effekter på jord eller planter i dyrkningssystemet.

Effekter af gylleforsuring på det omgivende miljø kan være betydelige. Forsuring vil medføre en øget kvælstofudnyttelse, i det omfang et mindsket ammoniaktab omsættes til større høstudbytter eller (på konventionelle bedrifter) til fortrængning af handelsgødning.

Forsuring påvirker også drivhusgasemissioner fra gyllen. Ammoniak er en indirekte kilde til lattergas, som er en meget kraftig drivhusgas. Derfor kan gylleforsuring forbedre drivhusgasbalancen, hvis det "sparede" kvælstof medfører større planteproduktion eller fortrænger handelsgødning, som nævnt ovenfor. Derudover er det nu veldokumenteret, at gylleforsuring reducerer udledningen af metan under lagring af gylle med 70-90% (Petersen et al., 2011). Et senere forsøg fra 2011 med lagring af svinegylle forsuret med

to forskellige teknologier (i stald, hhv. lager) viste en dramatisk reduktion af metanudledningen igennem knap 3 mdr., se figur 3.



Figur 3. Svinegylle forsuret med et staldforsuringsanlæg (Farm 2) eller et system til forsurening i gylletanken (Farm 3), blev lagret i 3 mdr. Figuren viser pH (øverst) og metanudledning (nederst) i perioden. Kilde: Petersen et al., ikke publiceret.

Håndtering af husdyrgødning som gylle kan medføre betydelige lugtgener. Gylleforsuring påvirker gyllens mikrobielle omsætning af organisk stof, herunder potentiale for dannelse af lugtstoffer. Ikke mindst ved forsurening med svovlsyre er der en risiko for øgede lugtgener, idet mange stærkt lugtende forbindelser er svovlholdige (Eriksen et al., 2010). De aktuelle begrænsninger mht. staldbyggeri, lagringsbetingelser og udbringning af gylle kan altså ikke forventes at blive mindre restriktive med anvendelse af gylleforsuring.

- **Alternativer til gylleforsuring [separation]**

Nedfældning af gylle kan i nogle situationer give afgrødeskader, og det er ikke mindst her, at ønsket om gylleforsuring i forbindelse med overfladeudbringning opstår. Et alternativ til gylleforsuring, som også kan begrænse ammoniaktabet ved gylleudbringning i voksende afgrøder, er gylleseparation. Ved separation af gylle opnås en tynd fraktion, der bedre infiltrerer i jorden, hvorved ammoniaktabet begrænses (Bittman et al., 2011). Gylleseparation producerer dog også en fiberfraktion med et stort potentiale for ammoniaktab og lattergasemission; Det er vigtigt at begrænse ammoniaktabet fra fiberfraktionen gennem et tæt overdækning under den efterfølgende lagring, og ved at sikre en hurtig nedpløjning efter udbringning, for at opnå en samlet reduktion i ammoniaktab ved gylleseparering.

Det er dog usikkert, om separation af rå kvæggylle har nogen tydelig effekt på ammoniaktabet, idet væskefraktionen af ren kvæggylle er relativt tyktflydende. I canadiske forsøg er opnået en høj N virkning af væskefraktion fra kvæggylle som følge af reduceret ammoniaktab og højere N tilgængelighed (Bittman, et al. 2011), men forsøgene blev gennemført med væskefraktion fra gyllelaguner med et meget lavt tørstofindhold, og resultaterne kan ikke direkte overføres til danske forhold.

Sammenfatning

Gylleforsuring kan ske i stald, lager eller under udbringning, afhængigt af valg af teknologi. Svovlsyre er i dag den eneste syre, der anvendes til forsurening; praktiske og økonomiske barrierer mod alternative kilder til syre blev gennemgået. Med anvendelse af godkendte teknologier og korrekt håndtering er risici for

mennesker og materiel små. Gylleforsuring kan have en positiv effekt på indeklima (ved staldforsuring) og kvælstofudnyttelse. Ved forsuring under udbringning er effekten sammenlignelig med effekten af nedfældning. Behovet for yderligere kalktilførsel, og gødningsværdien af svovl fra syren blev vurderet. Svovlindholdet vil typisk overstige kornafgrøders behov; udvaskning af sulfat til vådområder indebærer en risiko for fosformobilisering. Der findes ingen undersøgelser af, hvordan forsuret gylle påvirker jordlevende organismer; i stedet blev mulige effekter diskuteret på baggrund af række-dampning. Blandt øvrige effekter på dyrkningssystemet og det omgivende miljø blev det fremhævet, at gylleforsuring fører til en kraftig reduktion i udledningen af metan, som er en drivhusgas. Gylleseparation som alternativ til forsuring blev diskuteret, men det kan være svært at opnå en øget kvælstofudnyttelse med den metode.

Referencer

- Bittman, S., D.E. Hunt, C.G. Kowalenko, M. Chantigny, K. Buckley, and F. Bounaix 2011. Removing Solids Improves Response of Grass to Surface-Banded Dairy Manure Slurry: A Multiyear Study. *J. Environm. Qual.* 40, 393-401.
- Domsch, K.H., Jagnow, G. and Anderson, T.H., 1983. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. *Residue Reviews* 86, 65-105
- Donham, K.J., M. Rubino, T.D. Thedell, and J. Kammermeyer. 1977. Potential health hazards to agricultural workers in swine confinement buildings. *J. Occup. Med.* 19:383-387.
- Elsgaard, L. Jørgensen, M.H. and Elmholt, S., 2010. Effects of band-steaming on microbial activity and abundance in organic farming soil. *Agric. Ecosys. Environ.* 137: 223-230.
- Eriksen J., Sørensen P. & Elsgaard L. (2008) The fate of sulphate in acidified slurry during storage and following application to cropped soil. *Journal of Environmental Quality* 37: 280-286.
- Eriksen J., Adamsen A.P.S., Nørgaard J.V., Poulsen H.D., Jensen B.B. & Petersen S.O. (2010) Emissions of sulphur-containing odorants, ammonia and methane from pig slurry: Effects of dietary methionine and benzoic acid. *Journal of Environmental Quality* 39: 1097-1107.
- Lamers, L.P.M., Falla, S.-J., Samborska, E.M., van Dulken, I.A.R., van Hengstum, G., and Roelofs, J.G.M. (2002). Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulphate-polluted freshwater wetlands. *Limnol. Oceanogr.* 47: 585-593.
- Miljøministeriet, 2004. Svovlsyrebehandling af gylle. *Teknologiblad*, 3. udg., rev. 23. maj 2011. DOI: http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Landbrug/Husdyrgodkendelser/bat/Svovlsyrebehandling_af_kvaeggylle.htm
- Ndegwa, P.M., A.N. Hristov, J. Arogo, and R.E. Sheffield. 2008. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosyst. Engineer.* 100:453-469.
- Nyord, T, Adamsen, A.P.S., Liu, D., Petersen, S.O. & Hansen, M.N., 2010. Emission af ammoniak, lugt og lattergas ved udbringning af gylle med slæbeslange, nedfældning og forsuring med SyreN- og Infarmsystemer. Notat til Miljøstyrelsen, 18 pp. DOI: <http://pure.au.dk/portal/files/34654782/SyreN.pdf>
- Petersen, S.O., Andersen, A.J. & Eriksen, J., 2011. Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *J. Environ. Qual.* (accepted).
- Schils, R.L.M., H.G.v.d. Meer, A.P. Wouters, J.H. Geurink, and K. Sikkema. 1999. Nitrogen utilization from diluted and undiluted nitric acid treated cattle slurry following surface application to grassland. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 53:269-280.

Sørensen, P. & Eriksen, J. 2009. Effects of slurry acidification with sulfuric acid combined with aeration on the turnover and plant availability of nitrogen. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, 240-246.

Aalborg Portland (udateret). "Valg af betonkvalitet til gylleanlæg til forsuret gylle. Tilgængeligt via internettet: DOI: <http://www.infarm.dk/documents/00028.pdf>