

Fordampning af ammoniak fra svinegylle udbragt på jordoverfladen

Volatilization of ammonia from surface-applied pig slurry

SVEN G. SOMMER og BENT T. CHRISTENSEN

Resumé

Ammoniaktabet fra svinegylle udbragt på jordfladen blev bestemt med et mobilt vindtunnelsystem, hvorved ammoniakfordampningen fra gødede arealer bestemtes direkte.

Fra oktober 1986 til juni 1988 blev der gennemført 39 forsøg (hver af seks døgn varighed) med forskellige typer af svinegylle udbragt på grov sandblandet lerjord (JB5) og grovsandet jord (JB1). Jordoverfladen var enten fræset stub eller ubehandlet stub, græs efter slæt, vinterhvede, rug eller majs. Forsøgsarealet var afskærmet mod nedbør, men vanding indgik i tre forsøg.

Fordampningen af ammoniak varierede med pH, temperatur og tørstofindhold, og der fandtes en betydelig vekselvirkning mellem disse faktorer. Den akkumulerede ammoniakfordampning over seks døgn varierede fra 10 til 60 pct. af ammoniumindholdet i den udbragte gylle.

De største tab fandt sted, når temperaturen var over 13°C og i frostvejr, hvor gyllens flydende fraktion ikke kunne sive ned i jorden. Ammoniakfordampningen var mindst ved temperaturer mellem 0°C og 7°C med gennemsnitlige ammoniaktab

over seks døgn på mindre end 30 pct. af gyllens ammoniumindhold.

Ved tørstofindhold lavere end 1,5 pct. var ammoniakfordampningen lav uanset gyllens pH-værdi. Effekten af vanding på ammoniaktabet var ikke målelig, fordi der i de gennemførte vandingsforsøg blev anvendt gylle med lavt tørstofindhold.

Fra gylle med pH lavere end 6,8 fordampede i løbet af seks døgn mindre end 12 pct. af ammoniumindholdet. Ved pH 7,5 – 7,7 varierede ammoniakfordampningen over 24 timer fra 7 til 48 pct. af ammoniumindholdet. De lave tab blev fundet ved udbringning af gylle med lavt tørstofindhold (<1,5 pct.) og ved temperaturer omkring 5°C.

Såfremt forårsudbragt gylle nedbringes i jorden inden 12 timer efter udbringningen, vil ammoniaktabet være mindre end 10 pct. af ammoniumindholdet. Om sommeren vil tabet over en tilsvarende periode være cirka dobbelt så stort.

Idet forsøgsarealerne var afskærmet mod nedbør i forsøgsperioden, vil der under almindelige markforhold forekomme lavere ammoniaktab end de her målte, såfremt det gødede areal udsættes for større mængde nedbør.

Nøgleord: Ammoniakfordampning, vindtunnelsystem, svinegylle, atmosfærisk ammoniakindhold, ammonium, stub, rug, hvede, slætgræs, majs og vanding.

Summary

A mobile wind tunnel system was used to determine the ammonia volatilization from surface-applied pig slurry under field conditions.

The ammonia loss from different types of pig slurry was measured in 39 experiments carried out from October 1986 to June 1988 on a sandy loam (JB5) and a coarse sand soil (JB1). The soil was rotavated or covered by intact stubble, grass cut for silage, winter wheat, rye or maize. The experimental area was not exposed to precipitation, but irrigation was included in three experiments. In each experiment, the ammonia loss was determined over a six day period.

Volatilization loss from pig slurry depended on pH, temperature and content of dry matter. The interaction between these parameters was strong. The cumulated loss of ammonia over six days varied from 10 to 60 per cent of the ammonium applied in slurry. The greatest loss was found in periods with frozen soil where the liquid fraction could not infiltrate the soil. The loss was also high during periods with temperatures above 13°C.

Key words: Volatilization of ammonia, wind tunnel system, pig slurry, atmospheric ammonia, ammonium, stubble, rye, winter wheat, grass cut for silage, maize, irrigation.

Indledning

I 1986 blev det ved bekendtgørelser fastsat, at flydende husdyrgødning udbragt på ubevokset jord skal nedbringes inden 24 timer (12). Dette krav er siden skærpet til nedbringning inden 12 timer (13) og i den seneste bekendtgørelse på området (14) kombineret med krav om 6–9 mdr's opbevaringskapacitet for gylle, samt forbud mod udbringning på ubevoksede arealer mellem høst og 1. november.

Hensigten med disse krav er blandt andet at opnå en forbedret udnyttelse af kvælstofindholdet i gylle, så indkøb af handelsgødning kan ned sættes og næringsstoffetab til det omgivende miljø begrænses.

I denne sammenhæng spiller ammoniaktabet ved håndteringen af gylle en vigtig rolle. Tidligere undersøgelser af ammoniakfordampning fra fast husdyrgødning og ajle har vist, at størrelsen af og variationen i tabet af ammoniak kan være betydeligt (3). Samtidigt viste en sammenligning af resultater for ammoniaktab opnået med forskellige

The lowest volatilization loss of ammonia was found when temperatures were between 0°C and 7°C. Under these temperature regimes, the average loss of ammonia over six days accounted for less than 30 per cent of the ammonium applied.

When the dry matter content was less than 1.5 per cent, the loss of ammonia was small regardless of pH. Due to the low content of dry matter, irrigation did not reduce the loss of ammonia.

The cumulated loss of ammonia during six days was less than 12 per cent for slurries with pH lower than 6.8. With pH of 7.5–7.7, the ammonia loss during 24 hours varied from 7 to 48 per cent of the ammonium applied. The lowest loss was found for slurries with low contents of dry matter (< 1.5 per cent) and slurry applied in periods with temperatures around 5°C.

When slurry is surface-applied in spring and incorporated into the soil within 12 hours, the loss of ammonia will be less than 10 per cent of the ammonium applied. The corresponding loss during the summer period will be twice as high.

metoder, at tab bestemt ved indirekte metoder (fx udbyttebestemmelser) synes at være betydeligt større end tab bestemt ved direkte målinger af ammoniakindhold i luft, der har passeret det gødede areal.

For at kunne kvantificere betydningen af de førnævnte krav i relation til tabet af ammoniak til omgivelserne, og for at kunne tilskrive gyllen en mere korrekt gødningsværdi, kræves mere detaljerede undersøgelser af størrelsen af ammoniakfordampningen fra gylle.

Det er blandt andet væsentligt, at kunne identificere parametre af overordnet betydning for ammoniaktabet, idet det vides, at tidsfaktoren ikke alene er bestemmende for tabets størrelse.

Ved Askov forsøgsstation er det siden 20'erne blevet undersøgt, hvorledes størrelsen af NH₃-fordampningen fra ajle og fast staldgødning afhænger af håndteringen, herunder nedbringningstidspunktet. I 1985 indledtes undersøgelser af NH₃-fordampningen fra gylle udspredd på jord-

overfladen. Til disse undersøgelser blev udviklet et vindtunnelsystem (4).

Denne beretning omhandler ammoniakfordampning fra en række forskellige typer af svinegylle, der blev overfladeudbragt på forskellige årstider.

Fordampningen fra gylle blev bestemt på to jordtyper med og uden afgrøde. Fordampningen fra stigende mængder af gylle pr. arealenhed blev undersøgt, og der blev benyttet gylle med forskelligt pH og tørstofindhold. Endvidere blev effekten af nedbør inddraget ved hjælp af vanding, idet forsøgsarealet under vindtunnelerne ikke blev udsat for nedbør i forsøgsperioden.

Materialer og metoder

Vindtunnel

Der benyttes fire vindtunneler (4) til måling af NH_3 -fordampningen. Heraf benyttes én til måling af NH_3 -koncentrationen i luft fra et ubehandlet areal og de tre øvrige til måling af forsøgsbehandlinger. Hver vindtunnel består af et metalrør med en ventilator, der skaber en luftstrøm gennem en omvendt u-formet tunnelenhed. Sidstnævnte er udført i klar polycarbonatplade og dækker selve forsøgsarealet ($0,5 \times 2$ m). I luftafkastet måles NH_3 -koncentrationen.

NH_3 -målinger

Efter ventilatoren, men inden luften forlader metalrøret, udtages i seks punkter delprøver af luftstrømmen med membranpumpe. Luften suges gennem en 100 ml gasvaskeflaske (5 l/min) indeholdende 50 ml 0,005 M H_3PO_4 , hvori NH_3 absorberes. NH_4^+ -koncentrationen i H_3PO_4 -opløsningen bestemmes ved en Berthelot reaktion og spektrofotometri. Hver tunnel er udstyret med fire gasvaskeflasker. Med et programmerbart magnetventilsystem skiftes automatisk mellem gasvaskeflaskerne, der derved opsamler NH_3 i fire forud fastlagte tidsrum.

Vindhastighed og temperaturmålinger

I metalrøret måles vindhastigheden med vindturbiner og lufttemperatur med termoelement. Jordtemperatur måles med termoelement anbragt 2 cm under jordoverfladen i tunnelenheden. Signalerne fra temperaturføleren og vindhastighedsmåleren lagres hver time i dataloger.

Forsøgsplan

Tabel 1 giver en beskrivelse af de anvendte typer af svinegylle. Der blev anvendt gylle med pH varierende fra 6,4 til 7,7, med tørstofindhold fra 0,70 til 7,87 pct., og med indhold af ammoniak og ammonium (herefter kaldet NH_4^+) varierende fra 0,18 til 0,56 pct. Total N-indholdet varierede fra 0,25 til 0,76 pct.

Der blev som regel tilført gylle svarende til 30 t pr. ha. I tre forsøg blev der tilført gylle svarende til 10, 20 og 30 t pr. ha, og i et enkelt forsøg mængder svarende til 30, 60 og 90 t pr. ha. Forsøgene blev gennemført i perioden oktober 1986 til juni 1988.

Gyllen blev udbragt på bar jord, ubehandlet stubmark, fræset stub, græs efter slæt, på hvede og rug i forskellige vækststadier eller på majs. Forsøgene blev gennemført på JB1 og JB5 jorde.

Nedbør blev simuleret ved vanding i tre forsøg (tabel 1). Den anvendte metode er beskrevet tidligere (4).

Luft hastigheden i vindtunnelerne var i forsøget indstillet til mellem 4,0 og 6,3 m/s (tabel 2). Der blev under målingerne registreret lufttemperaturer fra $-6,0^\circ\text{C}$ til $28,0^\circ\text{C}$ og jordtemperaturer fra $-2,0^\circ\text{C}$ til $24,8^\circ\text{C}$.

NH_3 -fordampningen blev de første to døgn målt i tidsrum af seks timers varighed og af 24 timers varighed de efterfølgende fire døgn.

Beregninger

Fordampningen af ammoniak blev beregnet ud fra følgende ligning:

$J(\text{time}) = K \times A \times U \times (\text{NH}_3 \text{ fs.} - \text{NH}_3 \text{ ref.})$, hvor

$J(\text{time}) = \text{NH}_3$ -fordampning, g NH_3 -N/time.

$K =$ Omregningskonstant, 3600 s/time.

$A =$ Afkastets tværsnitsareal, m^2 .

$U =$ Vindhastighed, m/s.

$\text{NH}_3 \text{ fs.} = \text{NH}_3$ koncentration i luftafkast fra forsøgsareal, g NH_3 -N/ m^3 .

$\text{NH}_3 \text{ ref.} = \text{NH}_3$ koncentration i luftafkast fra ubehandlet areal (reference), g NH_3 -N/ m^3 .

Ved denne beregning fratrækkes NH_3 -indholdet i luft fra ubehandlet areal (referencetunnel), hvorved netto-fordampningen fra de behandlede forsøgsarealer bestemmes.

Fordampningen er opgjort som NH_3 -N fordampet i procent af den udbragte mængde NH_4^+ -N. Derved muliggøres en sammenligning af NH_3 -tabet fra forskellige gylletyper uden hensyntagen til

Table 1. Kemisk sammensætning og mængde af den anvendte gylle, vanding, jordbundstype og overflade af forsøgsareal.

Chemical composition and amount of added slurry, irrigation, soil type and surface of experimental area.

Forsøgs- Periode <i>Experimental period</i>	Gylle t/ha <i>Slurry t/ha</i>	Total-N pct. <i>Total-N %</i>	NH ₄ ⁺⁺ pct. <i>NH₄⁺⁺ %</i>	pH	Tørstof pct. <i>Dry matter %</i>	Vanding mm <i>Irrigation mm</i>	Overflade <i>Soil surface</i>	Jordbunds typer <i>Soil type</i>
1986 08.10–14.10	30	0,55	0,37	7,2	4,46	0	Stub <i>Stubble</i>	JB 5 –
1986 14.10–20.10	30	0,55	0,37	7,2	4,46	0	Stub <i>Stubble</i>	JB 5 –
1986 30.10–04.11	90 60 30	0,55 – –	0,37 – –	7,2 – –	4,46 – –	0 0 0	Stub <i>Stubble</i>	JB 5 – –
1986 11.11–17.11	30 30 30	0,27 0,45 0,42	0,23 0,35 0,33	7,7 7,2 7,0	1,20 2,44 3,17	0 0 0	Stub <i>Stubble</i> –	JB 5 – –
1986 18.11–25.11	30 30 30	0,53 0,27 0,53	0,38 0,23 0,38	6,9 7,7 6,9	4,42 1,20 4,42	0 0 0	Vinter hvede <i>Winter wheat</i> (<10 cm)	JB 5 – –
1986 25.11–01.12	30 30 30	0,53 0,27 0,53	0,38 0,23 0,38	6,9 7,7 6,9	4,42 1,20 4,42	0 0 0	Vinter hvede <i>Winter wheat</i> (<10 cm)	JB 5 – –
1987 09.04–15.04	30 30	0,27 0,68	0,18 0,56	6,4 7,4	3,34 4,37	0 0	Græs <i>Grass</i>	JB 5 –
1987 22.04–28.04	30 30 30	0,30 0,76 0,54	0,21 0,56 0,39	6,4 7,1 6,8	3,65 7,40 3,81	0 0 0	Græs JB 5 <i>Grass</i>	– – –
1987 19.05–25.05	30 30 30	0,43 0,34 0,25	0,25 0,29 0,23	7,0 7,0 7,4	7,87 1,15 0,70	0 5 5	Vinter hvede <i>Winter wheat</i> (<35 cm)	JB 5 – –
1987 10.06–16.06	30 30	0,28 0,28	0,24 0,24	7,5 7,5	1,02 1,02	0 10	Græs efter slæt <i>Cut grass</i>	JB 5 –
1987 25.08–31.08	30 30 30	0,42 0,33 0,25	0,30 0,25 0,23	6,8 6,9 7,4	2,58 1,92 0,70	0 0 0	Græs efter slæt <i>Cut grass</i>	JB 5 – –
1987 24.11–30.11	10 20 30	0,48 0,48 0,48	0,32 0,32 0,32	7,5 7,5 7,5	5,60 5,60 5,60	0 0 0	Fræset <i>Rotavated</i>	JB 5 – –
1987 02.12–08.12	10 20 30	0,48 0,48 0,48	0,32 0,32 0,32	7,5 7,5 7,5	5,60 5,60 5,60	0 0 0	Stub <i>Stubble</i>	JB 5 – –
1987 10.12–16.12	10 20 30	0,48 0,48 0,48	0,32 0,32 0,32	7,5 7,5 7,5	5,60 5,60 5,60	0 0 0	Stub <i>Stubble</i>	JB 5 – –
1988 17.05–23.05	30	0,43	0,38	7,5	3,10	0	Rug (<10 cm) <i>Rye</i>	JB 1 –
1988 25.05–31.05	30 30	0,43 0,43	0,38 0,38	7,5 7,5	3,10 3,10	0 0	Majs ($<5-10$ cm) <i>Maize</i>	JB 1 –

* $(\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+) - \text{N}$

Table 2. Middelværdier for luft- og jordtemperaturer, samt indstillet lufthastighed (aflæst maksimum og minimumsværdier i parentes).

Average air and soil temperature during the experiments and wind speed settings (maximum and minimum readings during experiments in brackets).

Forsøgs- periode Eksperimental period	Luft temp. °C Air temp. °C			Jord temp. °C Soil temp. °C			Lufthastighed m/sek. Wind speed m/sec.	
	middel mean	min. min.	maks. max.	middel mean	min. min.	maks. max.		
1986 08.10–14.10	9,0	1,0	19,0	10,0	7,0	13,0	4,0	(3,5–9,0)
1986 14.10–20.10	8,0	2,0	17,0	9,0	4,0	13,0	4,0–4,5	(4,0–7,0)
1986 30.10–04.11	4,6	0,2	8,9	5,2	2,1	8,0	4,0–4,5	(3,8–7,0)
1986 11.11–17.11	6,0	0,2	10,0	6,0	4,1	8,0	4,0	(2,9–7,3)
1986 18.11–25.11	3,7	0,2	9,5	3,7	2,1	8,5	4,5	(4,0–7,5)
1986 25.11–01.12	7,0	3,0	10,0	7,0	4,1	8,0	4,3	(4,0–9,5)
1987 09.04–15.04	3,0	0,0	6,0	3,2	1,1	6,5	5,0	(4,5–6,0)
1987 22.04–28.04	8,9	0,0	19,0	8,1	4,0	14,0	4,5	(3,8–6,0)
1987 19.05–25.05	8,6	3,1	21,0	7,8	4,1	15,0	4,5	(3,3–5,5)
1987 10.06–16.06	9,0	3,0	18,0	9,0	7,1	17,0	4,5	(3,8–5,2)
1987 25.08–31.09	12,8	7,1	19,0	13,4	10,0	18,5	4,1–4,7	(3,8–5,2)
1987 24.11–30.11	3,7	-1,0	8,0	4,3	3,0	6,0	4,8–5,5	(4,7–5,9)
1987 0.2.12–08.12	-2,0	-6,0	0,0	-1,0	-2,0	0,0	5,8–6,2	(4,3–7,2)
1987 10.12–16.12	-1,2	-4,0	5,0	-1,0	2,0	2,0	5,8–6,3	(3,3–7,5)
1988 17.05–23.05	7,0	-2,0	14,0	8,0	5,0	13,0	4,5–5,4	(3,5–7,6)
1988 25.05–31.05	16,0	12,0	28,0	16,0	14,0	24,8	4,8–5,5	(3,4–8,0)

forskelle i NH_4^+ -indholdet (se også senere). Da genfindelsesprocenten ved målingerne er 74 pct., er de målte værdier justeret med en faktor 100/74 (4).

Ammoniakfordampningen efter henholdsvis 12 timer og 24 timer blev analyseret med procedure regression i Statistical Analysis System (SAS). Det blev undersøgt, om der var sammen-

hæng mellem NH_3 -fordampningen, den gennemsnitlige jordtemperatur, lufttemperatur, hydrogenionkoncentration og tørstofindhold. For sammenhængen mellem NH_3 -fordampningen efter 24 timer og hydrogenionkoncentrationen var korrelationen $r = 0,2$. For de øvrige var den lineære korrelation lavere.

Ved præsentation af jord- og lufttemperatur benyttes et gennemsnit af målinger i de fire tunneler, idet spredningen i temperaturen mellem tunnellerne var ubetydelige (C.V. < 5 pct.). I de forsøg, hvor der ikke blev lagret klimadata, er benyttet gennemsnitlige døgnværdier målt på Askov klimastation.

Resultater og diskussion

De atmosfæriske NH_3 -koncentrationer varierede mellem $0,2 \mu\text{g NH}_3\text{-N/m}^3$ og $14,0 \mu\text{g NH}_3\text{-N/m}^3$ (fig. 1). Koncentrationerne er i overensstemmelse med tidligere målinger (4).

NH_3 -fordampningen er som følge af de kemiske processer ligefrem proportional med indholdet af NH_4^+ i gyllen. Ved anvendelse af massebalancemålinger fandt Brunke *et al.* (2), at der var en lineær sammenhæng mellem NH_4^+ -indholdet i gylle og NH_3 -fordampningen. Ved at præsentere NH_3 -fordampningen i procent af NH_4^+ -indholdet kan forskellige forsøg derfor sammenlignes uden hensyntagen til eventuelle forskelle i NH_4^+ -indhold.

I forsøgene begyndt d. 8., d. 14. og d. 30. oktober 1986 blev NH_3 -fordampningen fra samme type gylle undersøgt. Forskellen på resultaterne fra målingerne i de tre forsøg var lille (fig. 2A). De små forskelle i forløbet af NH_3 -fordampningen over tid skyldes formentlig forskelle i lufttemperaturen, der ved forsøgenes start var $8\text{-}10^\circ\text{C}$ for derefter at vise forskelle over døgnene for de tre perioder.

Gyllens pH

I fig. 3 er NH_3 -tabet afsat som funktion af hydrogenionkoncentrationen i gylle. Den negative logaritme til hydrogenionkoncentrationen er gyllens pH. Ved faldende hydrogenionkoncentration (stigende pH) øges NH_3 -fordampningen. I denne undersøgelse viser fordampningen efter 24 timer ringe sammenhæng med hydrogenionkoncentrationen ($r = 0,2$), hvilket må skyldes andre faktoreres indflydelse på fordampningen. Muligvis sker der efter udbringningen en ændring i gyllens pH som følge af fordampning af flygtige syrer

og omsætning af fedtsyrer, således at måling af gyllens pH forud for udbringning ikke er repræsentativ for pH i den udbragte gylle.

Forsøgene med de forskellige gylletyper er gennemført på forskellige tider af året. Temperaturforskelle har derfor haft indflydelse på den ringe korrelation mellem NH_3 -fordampning og hydrogenionkoncentration. NH_3 -tabene efter 24 timer varierede således fra 7 pct. til 48 pct. af NH_4^+ -indholdet i gylle, der havde pH 7,5 svarende til en hydrogenionkoncentration på $0,31 \times 10^{-7}$ (fig. 3). De store tab på 48 pct. af NH_4^+ -indholdet fandt sted ved temperaturer på omkring 16°C og fra en gylle med et tørstofindhold på 3,1 pct. De laveste tab på 8 – 10 pct. af NH_4^+ -indholdet i gylle fandt sted ved temperaturer på omkring 4°C og fra en gylle med et tørstofindhold på 5,6 pct.

Ved pH lavere end 7,0 vil kun få promille af NH_4^+ -indholdet findes som NH_3 . Derfor vil NH_3 -fordampningshastigheden være lav, når gyllens pH er under dette niveau. For gylle med pH 6,4, henholdsvis 6,8, blev der således også fundet relativ lav NH_3 -fordampning (fig. 2B).

Fig. 2C viser NH_3 -fordampningen fra gylle med pH 7,4 og et lavt tørstofindhold (0,7 pct.), og fra to typer gylle med pH 6,8 – 6,9 og to til tre gange højere tørstofindhold. NH_3 -fordampningen er to-tre gange større fra gyllen med det høje pH, uanset at et lavt tørstofindhold alt andet lige vil begrænse NH_3 -tabet.

Fig. 4 viser den gennemsnitlige, akkumulerede NH_3 -fordampning fra gylle med pH i intervallerne 6,4 – 7,0, 7,1 – 7,4 og 7,5 – 7,7. Da de afsatte værdier er gennemsnit af alle forsøg, er spredningen stor, hvilket tilskrives vekselvirkning med bl.a. temperatur og tørstofindhold. Det fremgår imidlertid, at NH_3 -fordampningen er væsentlig lavere fra gylle med lavt pH end fra gylle med højt pH, og at den relative forskel på fordampningen er af samme størrelsesorden 6 og 145 timer efter udbringning.

Temperatur

Ved stigende temperatur øges hastigheden af de processer, der har indflydelse på fordampningen af NH_3 , hvorfor fordampningen stiger ved stigende temperaturer. Af ligningerne, der beskriver processerne, fremgår det, at fordampningen stiger kraftigt ved temperaturer omkring 17°C (7). Endvidere udtørres gyllen hurtigere ved høje temperaturer, hvilket medfører et øget NH_4^+ -tab fra gyllen (15 og 11).

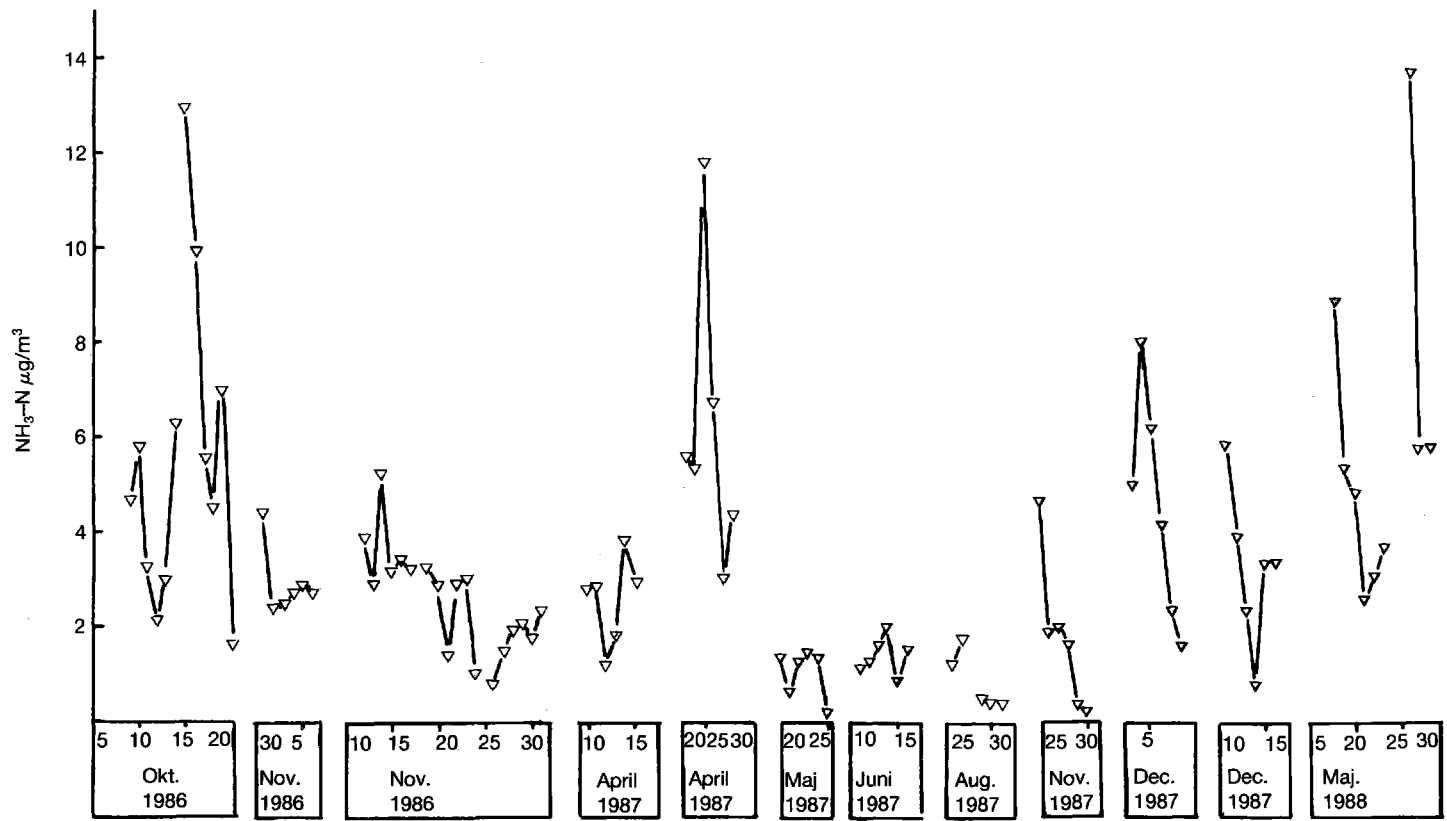


Fig. 1. Atmosfærisk koncentration af ammoniak målt i referencetunnelen.
Atmospheric concentration of ammonia measured in the reference tunnel.

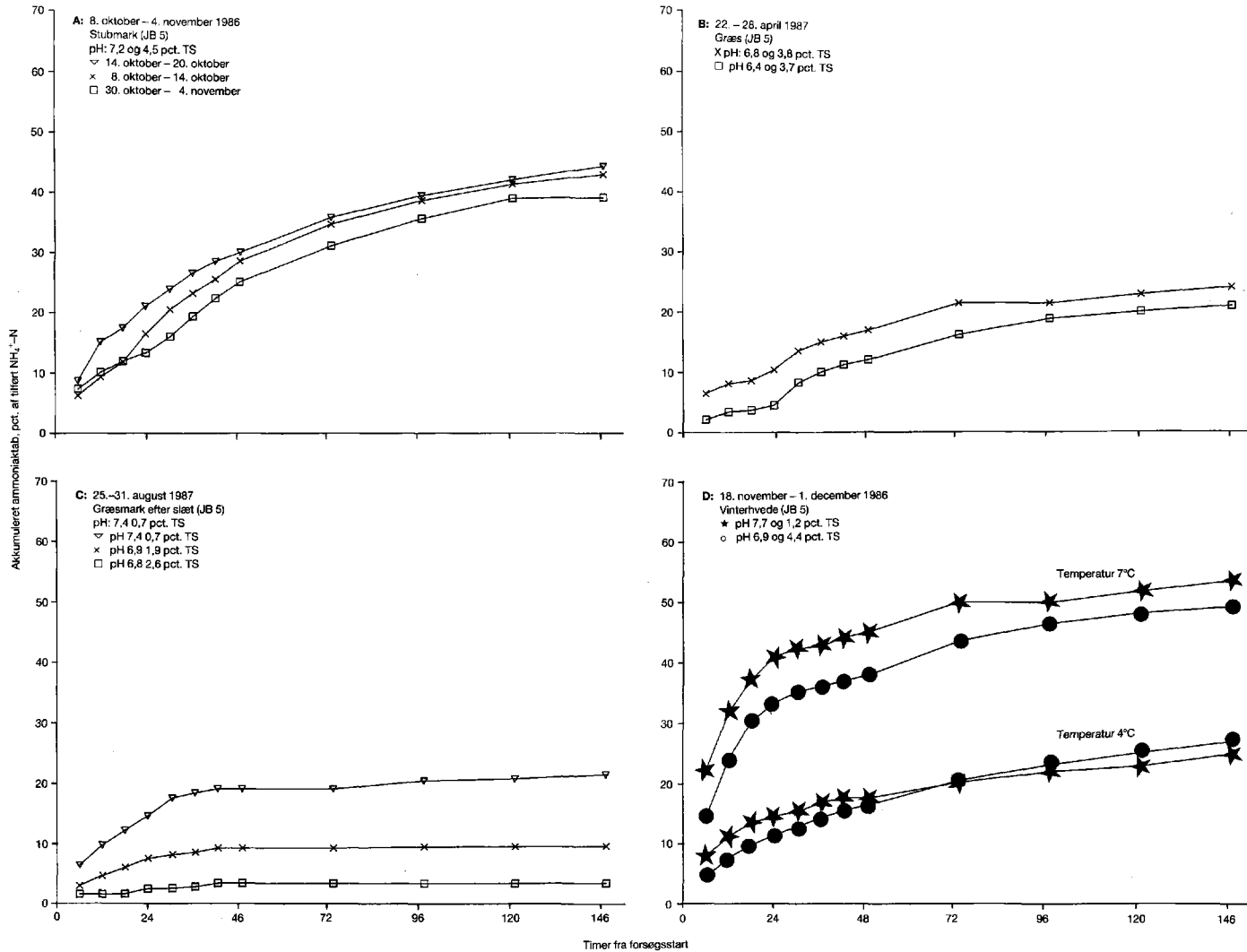


Fig. 2. Akkumuleret ammoniaktab fra svinegylle (30 t pr. ha)
 Cumulated loss of ammonia from pig slurries (30 t per ha).

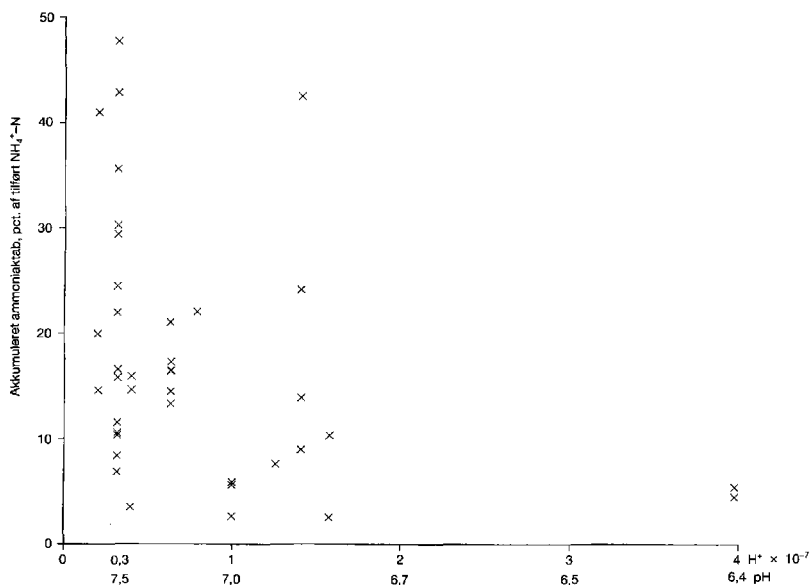


Fig. 3 Akkumuleret ammoniaktab fra svinøgylle (30 t pr. ha) efter 24 timer ved stigende hydrogenionkoncentration (H^+)

Cumulated loss of ammonia from pig slurry (30 t per ha) related to the concentration of the hydrogen ion (H^+).

Målingerne af NH_3 -fordampningen fandt sted ved temperaturer mellem $-2^\circ C$ og $16^\circ C$, og det blev derfor undersøgt, om fordampning i dette interval steg lineært med temperaturen. NH_3 -fordampningen efter 12 timer og efter 24 timer var hverken korreleret med luft- eller jordtemperaturen, hvilket må skyldes effekter af tørstofindhold og pH, samt vekselvirkning mellem disse og temperaturen. Vekselvirkningen vil blive eksemplificeret i det følgende.

I de tre forsøg udført mellem d. 8. oktober og d. 4. november 1986 (fig. 2A) var forskellen på gennemsnitstemperaturen i de enkelte forsøgsperioder $3-4^\circ C$. Dette medførte ikke en forskel i fordampningen i de tre forsøg, hvor samme gødningstyper blev benyttet.

NH_3 -fordampningen fra samme gylletype var to-tre gange større (fig. 2D) ved ca. dobbelt så høje temperaturer i forsøg begyndt d. 25. november som i forsøget startet d. 18. november 1986. Ved den høje temperatur var NH_3 -tabet fra gylle

med pH 7,7 og 1,2 pct. tørstof større end fra gylle med pH 6,9 og tørstofindhold på 4,4 pct. Denne forskel fandtes ikke ved lave temperaturer. Her var tabene af samme størrelse uanset forskelle i pH og tørstofindhold.

Ved temperaturer under $0^\circ C$ var NH_3 -fordampningen høj (fig. 5A) sammenlignet med fordampningen fra en tilsvarende gylle ved temperaturer lige over frysepunktet. I frostvejr var NH_3 -fordampningen efter 24 timer på niveau med fordampningen om sommeren. Årsagen hertil er muligvis, at NH_4^+ ikke kan sive ned i den frosne jord og derfor ikke adsorberes. Langsom dannelse af is i gyllen kan endvidere medføre en opkoncentrering af salte i den ikke frosne fraktion. Dette vil fremme NH_3 -fordampningen fra den udbragte gylle (11).

Der kan således finde et betydeligt NH_3 -tab sted i frostvejr. Selv om NH_3 -fordampningshastigheden var lav ved de lave temperaturer, blev det akkumulerede tab efter seks døgn betydeligt.

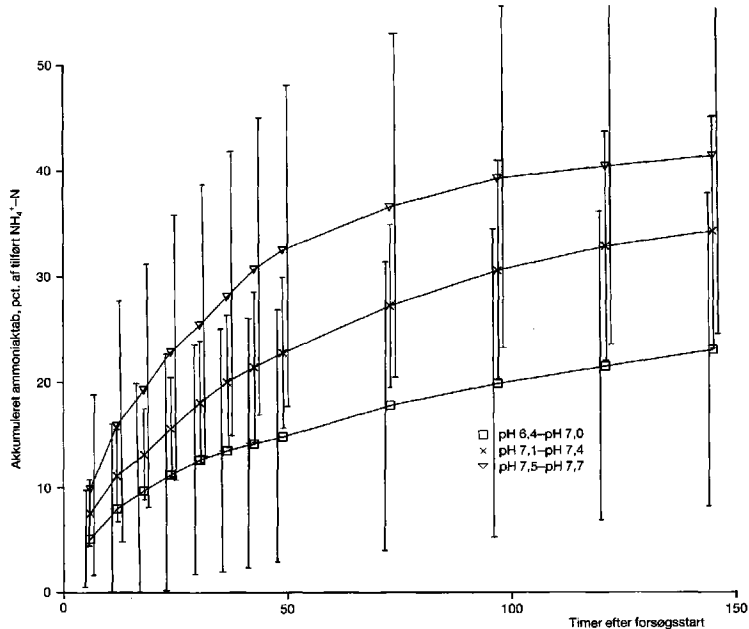


Fig. 4. Gennemsnitligt akkumuleret ammoniaktab fra svinegylle (30 t pr. ha) med pH i intervaller 6,6–7,0, 7,1–7,4 og 7,5–7,7.

Average cumulated loss of ammonia from pig slurry (30 t per ha) with pH in the intervals 6.6–7.0, 7.1–7.4 and 7.5–7.7.

Thompson *et al.* (18) fandt, at der i løbet af 12 døgn fordampede 74 pct. af NH_4^+ -indholdet fra gylle udbragt i frostvejr og 48 pct. af gyllens NH_4^+ -indhold ved udbringning om foråret.

I fig. 6 er gennemsnittet af den akkumulerede NH_3 -fordampning i temperaturintervallerne $-2,0^\circ\text{C} - -1,2^\circ\text{C}$, $3,4^\circ\text{C} - 6,9^\circ\text{C}$ og $7,0^\circ\text{C} - 16,0^\circ\text{C}$ afbildet. Den store spredning skyldes effekten af forskelle i pH og tørstofindhold af de anvendte gylletyper. Ved temperaturer omkring 0°C , hvor jorden har været frossen, finder som nævnt de største tab sted, idet tabene dog indledningsvis er lavere end i forsøgene ved 7°C til 16°C , formentlig som følge af den langsommere hastighed af de kemiske processer ved lave temperaturer. Ved temperaturer fra $3,4^\circ\text{C}$ til $6,9^\circ\text{C}$ ses de laveste tab. Ved disse temperaturer kan gyllens flydende fraktion sive ned i jorden, og fordampningshastigheden er ringe.

Tørstofindhold

Pain *et al.* (16) fandt, at NH_3 -fordampningen var 3–5 gange større fra gylle med et tørstofindhold på 14–18 pct. sammenlignet med gylle med 4,6–4,7 pct. tørstof. Dette bekræftes af nærværende undersøgelse, idet NH_3 -fordampningen er 2–3 gange større fra en gylle med 7,4 pct. tørstof end fra gylle med et tørstofindhold på 3,2 pct. (fig. 5B). De to gylletyper havde samme pH og blev udbragt ved samme temperatur. Gyllen med højt tørstofindhold blev udbragt på græs, og gyllen med lavt tørstofindhold blev udbragt på en stubmark.

Vekselvirkningen mellem tørstofindhold og pH fremgår af resultater vist i fig. 2D. Fordampningen af NH_3 fra gylle med 4,4 pct. tørstof og pH 6,9 var i dette forsøg af samme størrelsesorden som fra gylle med pH 7,7 og et tørstofindhold på 1,2 pct. På trods af at pH var en enhed lavere og

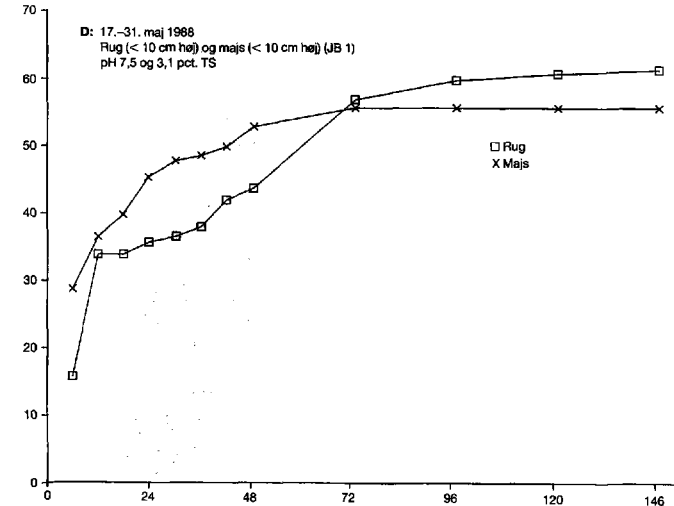
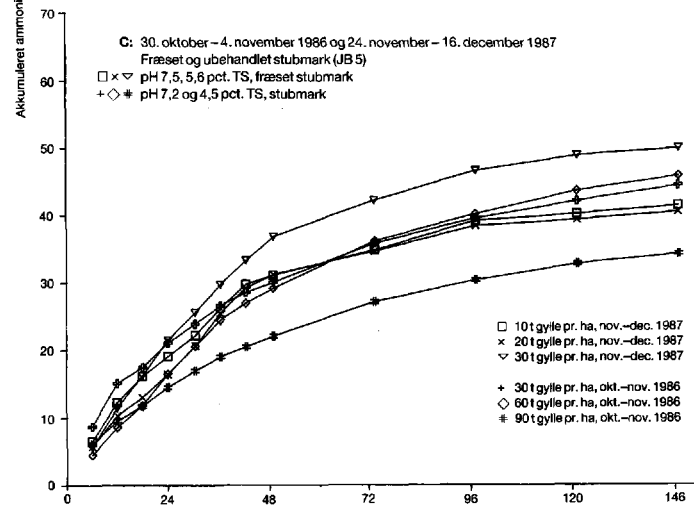
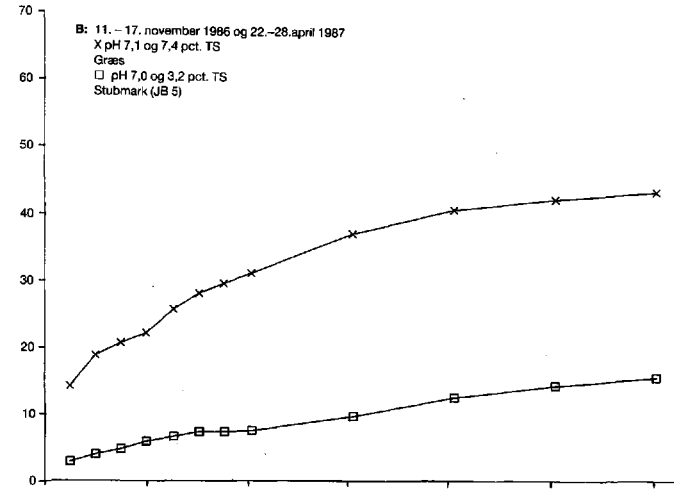
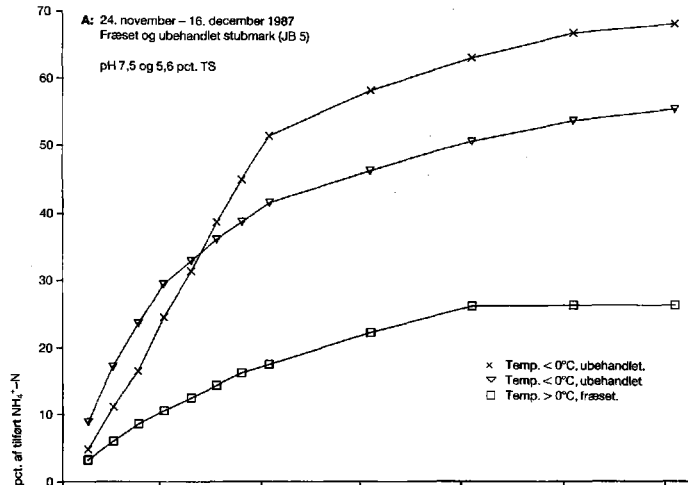


Fig. 5. Akkumuleret ammoniakfordampning fra svinegylle (30 t pr. ha).
Cumulated loss of ammonia from pig slurry (30 t per ha).

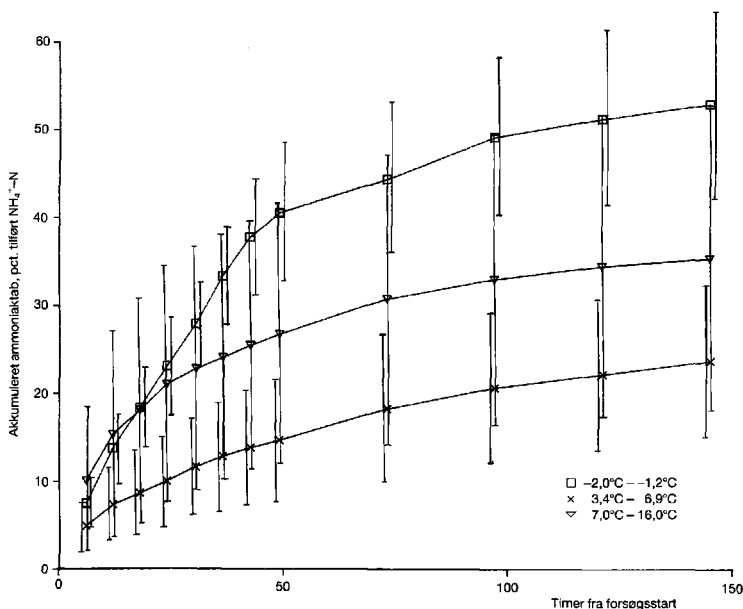


Fig. 6. Gennemsnitlig akkumuleret ammoniakfordampning fra svinegyde (30 t pr. ha) udbragt i perioder, hvor gennemsnitstemperaturen var i intervallerne $-2,0^{\circ}\text{C}$ – $-1,2^{\circ}\text{C}$, $3,4^{\circ}\text{C}$ – $6,9^{\circ}\text{C}$ og 7°C – 16°C .

Average cumulated loss of ammonia from pig slurry (30 t pr. ha) spread in periods with average temperatures within the interval of $-2,0^{\circ}\text{C}$ – $-1,2^{\circ}\text{C}$, $3,4^{\circ}\text{C}$ – $6,9^{\circ}\text{C}$ and 7°C – 16°C .

hydrogenionkoncentrationen derfor 10 gange højere i førstnævnte gylle, har det lave tørstofindhold begrænset den høje fordampning og højt pH ellers kan medføre.

Årsagen til, at NH_3 -fordampningen er stor ved høje tørstofindhold er formentlig, at nedsvigning af NH_4^+ i jorden bliver hæmmet. I jorden fastholdes NH_4^+ , hvorved NH_3 -fordampningen mindskes. Når gyllens NH_4^+ forbliver på overfladen af jord og planter, vil fordampningen af vand medføre en opkoncentrering af NH_4^+ , hvorved fordampningen af NH_3 fremmes. *Donovan* og *Logan* (6) viste, at denne effekt især er markant, når gylle udbringes på vegetationen, idet partiklerne klæber til bladens overflade, hvorfra fordampningen af NH_3 finder sted.

I fig. 7 er den gennemsnitlige akkumulerede NH_3 -fordampning fra gylle med tørstofindhold i intervallerne 0,7–3,8 pct. og 4,4–7,9 pct. afbildet. NH_3 -fordampningen er lavest fra gylle med lavt tørstofindhold, men spredningen er stor. Ved højt tørstofindhold er spredningen mindre, fordi effekter og vekselvirkning af pH og temperatur

formodentlig overskygges af det høje tørstofindhold.

Vanding

Ved vanding eller ved nedbør kan indholdet af NH_4^+ i gylle vaskes ned i jorden, hvor NH_4^+ adsorberes. Fortynding som følge af vanding medfører endvidere i sig selv en mindsket NH_3 -fordampning.

NH_3 -fordampningen fra gylle med lavt tørstofindhold (1,0 pct.) påvirkedes ikke ved vanding. Når gyllens tørstofindhold var 0,7 til 1,0 pct., og der blev vandet med 5 mm, var NH_3 -tabet over seks døgn mellem 5 og 10 pct. af gyllens NH_4^+ -indhold.

Tilførsel af stigende mængder gylle

Ved tilførsel af stigende mængder gylle pr. ha var det relative NH_3 -tab stort set ens efter udbringning af op til 60 t gylle pr. ha (fig. 5C). Ved udbringning af 90 t gylle pr. ha var det procentiske NH_3 -tab 2–6 døgn efter udbringningen lavere end ved udbringning af 30 og 60 t gylle pr. ha (fig. 5C).

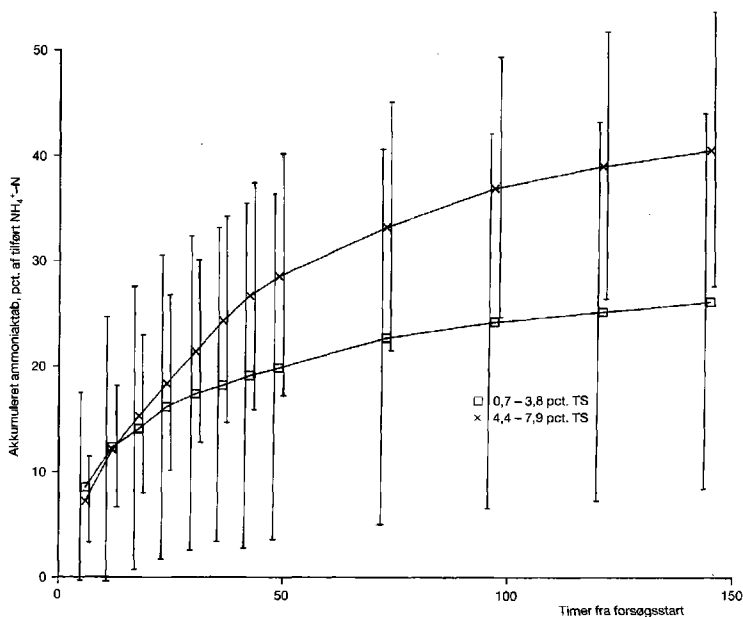


Fig. 7. Gennemsnitligt akkumuleret ammoniakfordampning fra svinegylle (30 t pr. ha) med tørstofindhold i intervaller 0,7-3,8 pct. og 4,4-7,9 pct.
Average cumulated loss of ammonia from pig slurry (30 t pr. ha) with a content of dry matter within the intervals 0.7-3.8% and 4.4-7.9%.

I de første to døgn var der ingen målelig forskel i det relative NH_3 -tab fra gyllemængder på mellem 10 og 90 t pr. ha.

I de her gennemførte forsøg var tørstofindholdet 4,5 pct. og 5,6 pct. Ved stigende tørstofindhold tilbageholdes NH_4^+ i højere grad i gyllen på overfladen af jord og planter. Ved udbringning af gylle med lavt tørstofindhold må det antages, at det relative NH_3 -tab vil være mindre ved tilførsel af store gyllemængder, idet en større del af NH_4^+ -indholdet vil kunne sive ned i jorden. Hoff *et al.* (10) fandt, at den relative NH_3 -fordampning fra svinegylle i løbet af 3 1/2 døgn var ca. 10 pct. lavere ved tilførsel af 130 og 180 t pr. ha end ved tilførsel af 90 t pr. ha. I en senere undersøgelse over syv døgn fandtes ikke signifikant forskel på det relative NH_3 -tab ved stigende tilførsel af gylle.

Ved udbringning af 35 t og 200 t fast husdyrgødning pr. ha fandt Lauer *et al.* (11), at der ved den lave dosering fordampede en større del af NH_4^+ -indholdet end ved den høje. Nedsivningen af NH_4^+ var ubetydelig ved den lave dosering, mens nedsivning af NH_4^+ androg 15-25 pct. ved høj do-

sering, hvilket medvirkede til begrænsningen af NH_3 -fordampningen.

Overfladens indflydelse på NH_3 -fordampningen

I det grænselag, der dannes umiddelbart over gylleoverfladen, vil den atmosfæriske koncentration af NH_3 være høj. Grænselagets størrelse og transporten af NH_3 væk fra gylleoverfladen er afhængig af overfladens aerodynamiske ruhed (17), turbulens og vindhastighed (19). Ved lave vindhastigheder vil grænselaget være betydeligt og NH_3 -transporten begrænset af diffusionsprocessen i grænselaget. Transporten af NH_3 stiger ved stigende vindhastigheder (9 og 8) indtil et niveau, hvorefter grænselaget er uden betydning for hastigheden af NH_3 -fordampningen (19). Endvidere øges udtørringen af gylle ved stigende vindhastigheder, hvilket også fremmer NH_3 -fordampning.

Ved jordoverfladen vil vindhastigheden i en korn- eller stubmark være lavere end over bar jord, hvorfor grænselagsmodstanden må formodes at være større end over bar jord. Det var der-

for at forvente, at NH_3 -fordampningen ville være mindre ved udbringning af gylle på jorden i en korn- eller stubmark end på bar jord alt andet lige.

De i fig 5A viste forskelle i NH_3 -tab fra fræset og ubehandlet stub kan imidlertid, som tidligere anført, hovedsageligt tilskrives forskelle i temperaturen. I undersøgelserne november–december 1987 fandtes der ikke betydende forskelle mellem de to jordbehandlinger. Den manglende effekt kan skyldes, at vindhastigheden i alle de her gennemførte forsøg har været så høj (indstillet vindhastighed $>4,0$ m/s, tabel 2), at grænselagets beskaffenhed har været uden væsentlig betydning for fordampningshastigheden. Eventuelt har fræsning af jorden bevirket en større nedsviningshastighed for gyllens indhold af ammonium.

I et forsøg blev gyllen udlagt på jorden i en 10 cm høj majsmark (fig. 5D), vindtunnelen var placeret parallelt med majsrækken. Fordampningen var af samme størrelse som fra gylle udspreddt i 10 cm høj rug. Majsplanterne har ved denne opstilling ikke givet læ, hvorfor vindhastigheden har været høj hen over gyllen. Grænselagsmodstanden har således næppe haft nævneværdig indflydelse på fordampningshastigheden.

Indflydelsen af afgrødens højde på NH_3 -fordampningen fra NH_4^+ -holdig handelsgødning i afgrøden er påvist af *Denmead et al.* (5). Det blev

fundet, at ammoniakfordampningen ved furevanding med NH_4^+ -beriget vand var 7 pct. i en 0,9 m høj majsafgrøde og 1 pct. i en 2,1 m høj majsafgrøde.

Konklusion

Halvdelen af NH_3 -fordampningen fra overfladeudbragt svinegylle fandt sted inden for det første 1–1 1/2 døgn efter udbringningen. Det samme er vist ved massebalancemålinger (1) og vindtunnelforsøg (18). Tabet af NH_3 varierer med temperaturen. Om sommeren ved høje temperaturer vil halvdelen af den NH_3 , der fordampes i løbet af seks døgn, tabes inden for de første 18 timer (tabel 3). Om foråret og efteråret ved lavere temperaturer er halvdelen af den NH_3 , der fordampes i løbet af seks døgn, tabt inden for 36 timer.

Den målte akkumulerede NH_3 -fordampning over seks døgn var 50 pct. af NH_4^+ -indholdet, når gyllen blev udbragt på frossen jord. Tilsvarende høje tab blev fundet ved temperaturer over 13°C om sommeren. De laveste tab blev målt ved temperaturer mellem 0°C og 7°C .

NH_3 -fordampningen falder ved faldende pH. Ved pH 6,4 og 6,8 var den akkumulerede fordampning efter seks døgn mindre end 12 pct. af NH_4^+ -indholdet i gyllen. Til sammenligning varierede NH_3 -fordampningen efter 12 timer fra 11

Tabel 3. Ammoniaktab fra gylle (30 t pr. ha) på jordoverfladen, udbragt ved temperaturer fra $7,0^\circ\text{C}$ – $16,0^\circ\text{C}$ og $3,4$ – $6,9^\circ\text{C}$. Gennemsnit af samtlige forsøg ($n = 29$).
Volatilization of ammonia (30 t per ha) from surface-applied slurry at temperatures from 7.0°C – 16.0°C and 3.4°C – 6.9°C . Average values of all experiments ($n = 29$).

Tidsrum	Temperatur					
	$3,4^\circ\text{C}$ – $6,9^\circ\text{C}$			$7,0^\circ\text{C}$ – $16,0^\circ\text{C}$		
	Ammoniaktab, loss of ammonia			Ammoniaktab, loss of ammonia		
Pct. *)	CV	Andel**)	Pct. *)	CV	Andel**)	
6 timer, h	5	67	0,2	11	84	0,3
12 timer	7	61	0,3	16	79	0,5
18 timer	9	60	0,4	19	72	0,5
1 døgn, d	10	55	0,4	22	66	0,6
1,5 døgn	13	52	0,5	24	61	0,7
2 døgn	14	51	0,6	27	59	0,8
6 døgn	23	37	1,0	35	53	1,0

*) Ammoniaktab i pct. af ammoniumindholdet i gylle.
Ammonia loss, per cent of added ammonium.

***) Andel af ammoniaktab i forhold til det samlede tab af ammoniak i 6 døgn.
Part of the cumulated loss during 6 days.

pct. til 31 pct. af NH_4^+ -indholdet fra en gylle med pH 7,7.

Fra gylle med lavt tørstofindhold er ammoniakfordampningen ringe. Således er ammoniakfordampningen selv ved pH større end 7,5 lav fra gylle med tørstofindhold lavere end 1,5 pct. I vandingsforsøgene blev en tynd gylle anvendt, derfor var der en begrænset reduktion i NH_3 -fordampningen ved vanding.

Det er vist, at NH_3 -fordampningen ved nedfældning mindskes til mindre end 2 pct. af NH_4^+ -indholdet (10 og 18). Udbringes gylle om foråret, vil nedbringning i løbet af det første døgn derfor begrænse NH_3 -tabet til mellem 5 og 15 pct. af gyllens NH_4^+ -indhold. Udbringes gyllen om sommeren, skal den nedfældes eller nedbringes umiddelbart efter udbringning, hvis NH_3 -fordampningen ønskes begrænset til et tilsvarende niveau.

I de her gennemførte undersøgelser var forsøgsarealerne afskærmet mod nedbør i forsøgsperioden. De opnåede resultater relaterer derfor til fordampning fra gylle, der henligger på jordoverfladen under udtørrende forhold. Tabet af ammoniak fra gylle vil være lavere, såfremt den udsættes for større mængder nedbør.

Erkendtlighed

Undersøgelserne er gennemført med økonomisk støtte fra Miljøstyrelsens NPO-forskningsprogram.

Litteratur

1. Beauchamp, E. G.; Kidd, G. E. & Thurtell G. 1982. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. *Can. J. Soil Sci.* 62, 11-19.
2. Brunke, R.; Alvo, P.; Scuepp, P. & Gordon, R. 1988. Effect of meteorological parameters on ammonia loss from manure in the field. *J. Environ. Qual.* 17, 431-436.
3. Christensen, B. T. 1986. Ammonia volatilization loss from surface applied animal manure. I A. Dam Koføed et al. (eds): *Efficient Land Use of Sludge and Manure*. Elsevier Applied Publishers, London & New York, 193-203.
4. Christensen, B. T. & Sommer, S. G. 1989. Fordampning af ammoniak fra udbragt gødning. Metode og ammoniaktab fra urea og ureaammoniumnitrat. *Tidsskr. Planteavl* 93, 177-190.
5. Denmead, O. T.; Freney, J. R. & Simpson, J. R. 1982. Dynamics of ammonia volatilization during furrow irrigation of maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 149-155.
6. Donovan, W. C. & Logan, T. J. 1983. Factors affecting ammonia volatilization from sewage sludge applied to soil in a laboratory study. *J. Environ. Qual.* 12, 584-590.
7. Farquhar, G. D.; Firth, P. M.; Wetselaar, R. & Weir, B. 1980. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: Determination of the ammonia compensation point. *Plant Physiol.* 66, 710-714.
8. Fillery, I. R. & Vlek, P. L. G. 1986. Reappraisal of the significance of ammonia volatilization as an N loss mechanism in flooded rice fields. *Fert. Res.* 9, 79-98.
9. Freney, J. R.; Simpson, J. R. & Denmead, O. T. 1981. Volatilization of ammonia. I Freney, J. R. & Simpson, J. R. (eds). *Gaseous Loss of Nitrogen From Plant-soil Systems*. Martinus Nijhoff & Dr. W. Junk, Publishers, Haag, 1-32.
10. Hoff, J. D.; Nelson, D. W. & Sutton, A. L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. *J. Environ. Qual.* 10, 90-95.
11. Lauer, D. A.; Bouldin D. R. & Klausner, S. D. 1976. Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. *J. Environ. Qual.* 5, 134-141.
12. Miljøministeriet. Bekendtgørelse om husdyrgødning og ensilage m.v. nr. 15 af 24. januar 1986. Miljøministeriet, København, DK.
13. Miljøministeriet. Bekendtgørelse om husdyrgødning og ensilage m.v. nr. 668 af 14. oktober 1987. Miljøministeriet, København, DK.
14. Miljøministeriet. Bekendtgørelse om husdyrgødning og ensilage m.v. nr. 568 af 22. september 1988. Miljøministeriet, København, DK.
15. Molloy, S. P. & Tunney, H. 1983. A laboratory study of ammonia volatilization from cattle and pig slurry. *IR. J. Agric. Res.* 22, 37-45.
16. Pain, B. F.; Phillips, V. R.; Clarkson, C. R. & Klarenbeek, J. V. 1989. Loss of nitrogen through ammonia volatilization during and following the application of pig or cattle slurry to grassland. *J. Sci. Food Agric.* 47, 1-12.
17. Sherlock, R. R. & Goh, K. M. 1985. Dynamics of ammonia volatilization from simulated urine patches and aqueous urea applied to pasture II: Theoretical derivation of a simplified model. *Fert. Res.* 6, 3-22.
18. Thompson, R. B.; Ryden, J. C. & Lockyer, D. R. 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *J. Soil Sci.* 38, 689-700.
19. Vlek, P. L. G. & Craswell, E. T. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fert. Res.* 2, 227-245.

Manuskript modtaget den 13. september 1989.