

Hurtig nedmuldning af fast husdyrgødning – betydning for ammoniakfordampning og økonomi

Martin Nørregaard Hansen og Torkild S. Birkmose

En stor del af kvælstofindholdet i husdyrgødning kan tabes som ammoniak under udbringning. Tabet begrænser gødningsværdien af husdyrgødningen og kan desuden have en negativ indvirkning på vandmiljø og følsomme naturarealer. Undersøgelser har vist, at husdyrgødning bidrager med hovedparten af ammoniakfordampningen i Danmark, og at ca. 25 % af fordampningen sker under udbringning. Der er derfor betydelig interesse for teknologi til begrænsning af ammoniakfordampningen i forbindelse med udbringning af gødningen.

Ammoniaktab fra fast husdyrgødning

Hovedparten af husdyrgødningen håndteres i dag i flydende form som gylle, mens 10-15 pct. håndteres som fast staldgødning eller dybstrøelse. Disse faste husdyrgødningstyper har et betydeligt indhold af plantenæringsstoffer og udbringes derfor som gødning forud for afgrødeetablering. Kvælstofindholdet i fast husdyrgødning findes dels om organisk bundet kvælstof, der ikke umiddelbart kan udnyttes af afgrøden, og som ammoniumkvælstof, der er direkte tilgængelig for afgrøden, men som også kan tabes som ammoniak.

Normalt findes 25-50 % af kvælstofindholdet i fast husdyrgødning på ammoniumform (NH_4^+). Ammoniumindholdet vil normalt findes i vandig opløsning ($\text{NH}_4^+(\text{aq})$), som vil stå i kemisk ligevægt med ammoniakindholdet i opløsning ($\text{NH}_3(\text{aq})$) og ammoniakindholdet på gasform ($\text{NH}_3(\text{gas})$).



Under udbringning af husdyrgødningen kan der ske en betydelig fordampning af $\text{NH}_3(\text{gas})$, hvorved ligevægten forskydes mod højre. Herved kan der tabes en del af gødningens ammoniumindhold. Ammoniaktabet finder primært sted umiddelbart efter udbringning af gødningen, og typisk vil over halvdelen af det samlede tab finde sted indenfor de første 6 til 8 timer.

Tabet af $\text{NH}_3(\text{gas})$ sker ved diffusion fra gødningen til atmosfæren. Tabsraten er derfor betydelig, mens gødningen befinder sig på jordoverfladen, mens den begrænses væsentlig, når gødningen nedmuldes, dels fordi indarbejdningen i jordfasen begrænser diffusionsraten for ammoniakgassen, og dels fordi ammoniak binder sig til jordvandet.

Tidsrummet mellem udbringning og nedmuldning af husdyrgødning har derfor stor betydning for det samlede ammoniaktab. Tidsrummet er i Danmark lovgivningsmæssigt fastsat til maksimalt at udgøre 6 timer, men afhænger i praksis af en række faktorer, bl.a. af kapaciteten af henholdsvis udbringning og nedmuldning. Udvikling af

udbringningsteknologi, som kan sikre samtidig udbringning og nedmuldning af fast husdyrgødning, forventes derfor at kunne føre til en betydelig reduktion af ammoniaktabet.

Forskningscenter Bygholm har derfor i samarbejde med Maskinfabrikken Dal-Bo A/S, Samson Agro A/S, Aagaard Maskinstation A/S og Landsforeningen Danske Maskinstationer gennemført en undersøgelse af potentialet for begrænsning af ammoniaktab ved udvikling af en udbringningsteknologi til samtidig udbringning og nedmuldning.

Metode

Ammoniakfordampningen fra udbragt fast husdyrgødning blev sammenlignet ved følgende nedmuldningsmetoder

1. Samtidig nedmuldning med tallerkenharvning ('Dal-Bo samtidig')
2. Samtidig nedmuldning ved pløjning ('Plov samtidig')
3. Hurtig nedmuldning med tallerkenharvning ('Dal-Bo 6 timer')
4. Ingen nedmuldning

Husdyrgødningen blev udbragt med en Samson Agro staldgødningsspreder i fire ens parceller. Ammoniakfordampningen blev bestemt i cirkulære nettoparceller, med en radius på 20 m. Da gødningen af praktiske årsager skal tilføres i kvadratiske felter udbragt i 40m x 50m bruttoparceller, som omsluttede de cirkulære nettoparceller. Hver bruttoparcel blev tilstræbt tildelt 4,4 tons husdyrgødning, svarende til 22 tons per ha. Gødning, der landede udenfor de cirkulære nettoparceller, blev nedmuldet hurtigst muligt.

Ammoniakfordampningen fra hver parcel blev bestemt ved en mikrometeorologisk massebalance teknik. Måleteknikken består af en centralt placeret målemast, der måler ammoniakfordampningen fra parcellen, og en baggrundsmast, der måler baggrundskoncentrationen af ammoniak. Måleteknikken muliggjorde en konstant måling af ammoniakfordampningen fra udbringning, indtil fordampningen ophørte 5 dage senere.

Udbringningen og nedmuldningen af husdyrgødningen fandt sted på ubevokset jord den 22. april 2004.

I forbindelse med udbringningen blev der fra hver parcel udtaget 14 prøver til bestemmelse af indhold af total-kvælstof, ammonium-kvælstof samt tørstof og askeindhold. De klimatiske forhold, der har betydning for ammoniakfordampningen (nedbør, vind, lufttemperatur, jordtemperatur, relativ luftfugtighed og solindstråling), blev kontinuerligt bestemt på en nærliggende målestation i hele måleperioden.

Resultater

Den benyttede husdyrgødningstype stammede fra et dybstrølsessystem for malkekvæg. Gødningen, der var lagret to måneder i markstak forud for undersøgelsen, havde et højt

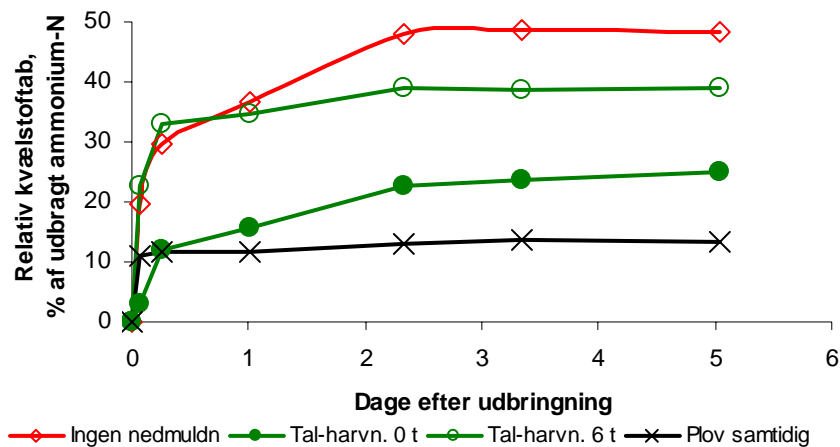
halmindhold og var ved udbringningen tør og porøs (tørstofindhold på 33-37 pct. og rumvægt på 410 kg/m³). Gødningen havde desuden et lavt ammoniumindhold (Tabel 1).

Tabel 1. Næringsstofindhold, pH og dosering af husdyrgødningen i de fire behandlinger. Værdier i parentes er standardafvigelser.

Behandling	PH	Tørstof %	Total N Kg/ton	NH ₄ -N Kg/ton	Dosering Tons/ha	Dosering Kg NH ₄ -N/ha
Ingen nedmuldning	8.6 (0,1)	37.3 (4,0)	7.4 (0,7)	0.86 (0,3)	13,6	11,8
Dal-Bo samtidig	8.6 (0,1)	31.6 (3,5)	6.2 (1,0)	1.08 (0,4)	19,6	21,2
Dal-Bo 6 timer	8.7 (0,1)	33.8 (4,7)	6.0 (1,2)	1.27 (0,4)	18,5	23,5
Plov samtidig	8.8 (0,2)	32.8 (4,0)	6.8 (1,0)	0.99 (0,2)	18,2	18,1

Figur 1 viser det samlede ammoniaktab i procent af udbragt ammoniumkvælstof ved nedmuldning med forskellige metoder. For alle behandlinger fandt over halvdelen af det samlede ammoniaktab sted indenfor de første 6 timer efter udbringningen. Nedmuldning med Dal-Bo tallerkenharve overdækkede dele af dybstrøelsen, men var ikke i stand til at sikre en fuldstændig overdækning. Nedmuldning med Dal-Bo tallerkenharve, henholdsvis 0 og 6 timer efter udbringning, førte derfor til en reduktion i fordampningsraten i forhold til ingen nedmuldning, men hindrede ikke helt ammoniaktab efter nedmuldning.

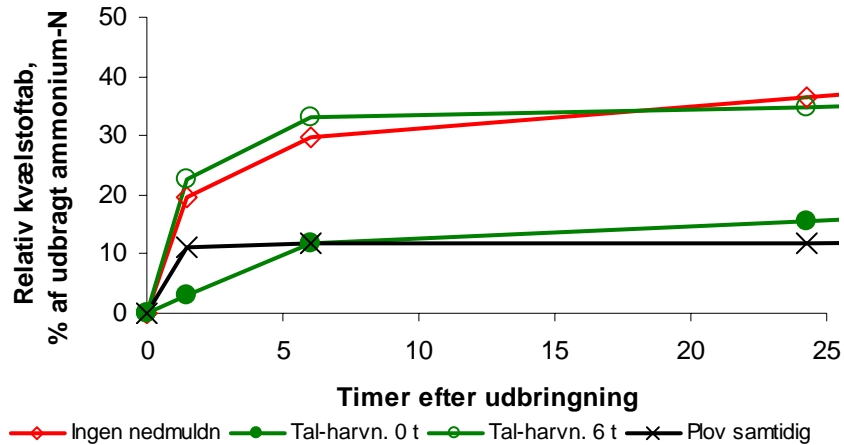
Specielt i forbindelse med samtidig nedmuldning med Dal-Bo tallerkenharve blev det observeret, at en del af det ammonium, der ikke blev tabt umiddelbart efter udbringningen, gik tabt på et senere tidspunkt.



Figur 1. Ammoniaktabet i procent af udbragt ammoniumkvælstof i kvægdybstrøelse nedmuldet med forskellige metoder.

Nedmuldning med plov er effektiv med hensyn til begrænsning af ammoniaktabet, idet metoden stort set eliminerede det efterfølgende ammoniaktab. I forsøget var det af praktiske årsager ikke muligt at opnå en lige så hurtig nedmuldning med plov (nedmuldning afsluttet 20 minutter efter udbringning) som med tallerkenharve (nedmuldning afsluttet 5 minutter efter udbringning). Nedmuldning med tallerkenharve førte derfor til lavere ammoniaktab umiddelbart efter udbringningen. Den mindre

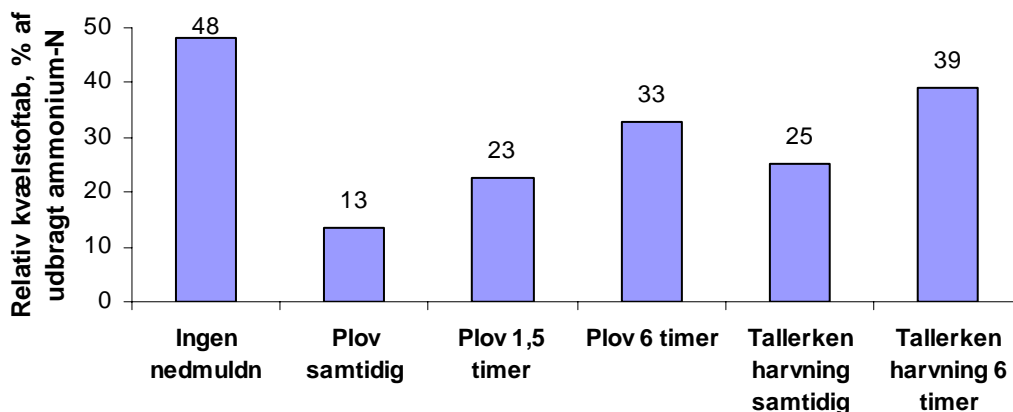
effektive nedmuldning med tallerkenharve førte dog til, at det samlede ammoniaktab blev højere for nedmuldning med tallerkenharve end ved nedmuldning med plov (Figur. 1). Ammoniakfordampningen finder primært sted indenfor det første døgn efter udbringning. Figur 2 viser derfor det relative ammoniakfordampning indenfor det første døgn. Det ses at hurtig nedmuldning med tallerkenharve er i stand til at begrænse det initiale ammoniaktab.



Figur 2. Ammoniaktabet inden for det første døgn efter udbringning i procent af udbragt ammoniumkvælstof i kvægdybstrøelse nedmuldet med forskellige metoder.

Uden nedmuldning fordampede ca. halvdelen af gødningens ammoniumindhold (Figur 3). Hurtig nedmuldning med plov er i stand til effektivt at begrænse dette tab, men da kapaciteten af pløjningen i praksis normalt er langt lavere end udbringningskapaciteten, vil nedmuldning med pløjning i bedste fald normalt først finde sted mellem 1,5 og 6 timer efter udbringning.

Harvning fører til en lavere nedmuldningseffektivitet end pløjning, men da kapaciteten ved nedmuldning ved harvning normalt er langt højere end ved pløjning, vil nedmuldning ved harvning normalt kunne ske umiddelbart efter udbringningen. Derfor vil der under normale forhold kunne opnås lavere ammoniaktab ved hurtig nedmuldning ved harvning end ved pløjning.



Figur 3. Det samlede ammoniakfordampningstab i procent af udbragt ammoniumkvælstof i kvægdybstrøelse, nedmuldet ved forskellig teknologi. Kvælstoftabet ved behandlingerne ”Plov 1,5 timer” og ”Plov 6 timer” er beregnet ved at antage, at der ikke finder ammoniakfordampning sted i perioden efter nedmuldning med plov.

Det skal bemærkes, at forsøget blev gennemført med en meget halmrig kvægdybstrøelse, som vurderes at være den vanskeligste type fast husdyrgødning at nedmulde. Forsøget viste, at denne type fast gødning ikke kunne nedmuldes fuldstændigt ved tallerkenharvning. En mindre halmrig gødning ville kunne nedmuldes betydeligt mere effektivt med tallerkenharvesystemet, hvilket ville have ført til lavere ammoniaktab.

Beregning af de økonomiske fordele ved samtidig udbringning og nedmuldning

For at beregne de økonomiske fordele ved samtidig udbringning og nedmuldning af fast husdyrgødning blev der gennemført beregninger af de udbyttmæssige konsekvenser ved nedmuldning med forskellig teknologi.

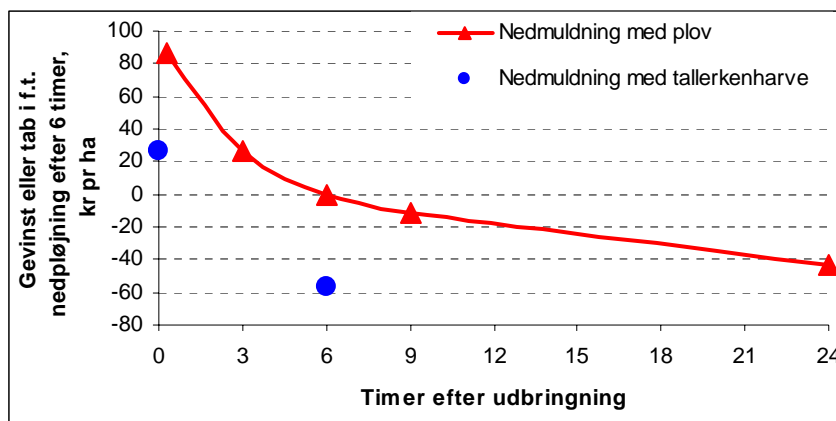
I beregningerne blev det forudsat, at der blev udbragt 100 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ i fast husdyrgødning til vårbyg, og at der tilføres supplerede handelsgødning op til den gældende kvælstofnorm. I Tabel 2 er vist kvælstoftab og de udbyttmæssige konsekvenser for nedmuldning med Dal-Bo tallerkenharve og for nedpløjning efter forskellige tidsintervaller. Som forudsætning for beregningerne er anvendt et gennemsnitligt udbytteforløb ved stigende mængder kvælstof for 24 forsøg med stigende mængder kvælstof til vårbyg på JB 1-4 (Oversigt over Landsforsøgene, 2003, tabel 6 s. 150).

Tabel 2. Kvælstoftab og de udbyttmæssige konsekvenser af nedmuldning med Dal-Bo tallerkenharve og af nedpløjning efter forskellige tidsintervaller. Det er forudsat, at ”normgødskning” sker ved pløjning efter 6 timer (optimal-N ÷ 10 pct. = 111 kg N pr. ha)

	N-tab, pct., af udbragt NH_4	Kg N pr. ha v. 100 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ + supplerende handelsgødning	Bruttoudbytte, hkg kerne pr. ha	Bruttoudbytte, kr. pr. ha
Tal. harvning, straks	25	116	50,9	4.329
Tal. harvning, 6 timer	39	102	49,9	4.245
Plov, 0,3 timer	11	130	51,6	4.389

Plov, 3 timer	25	116	50,9	4.329
Plov, 6 timer ("norm")	30	111	50,6	4.302
Plov, 9 timer	32	109	50,5	4.290
Plov, 24 timer	37	104	50,1	4.259

I Figur 4 er forskellen i det økonomiske udbytte vist i forhold til nedpløjning efter 6 timer for nedmuldning og for nedpløjning efter andre tidsintervaller.



Figur 4. Gevinst eller tab ved alternative nedbringningsstrategier til nedpløjning efter 6 timer.

Effekt på udbytte i vårbyg

Ved nedmuldning med tallerkenharve i forbindelse med udbringning (0 timer) er ammoniaktabet lavere end ved nedpløjning efter 6 timer. I forhold til nedpløjning efter 6 timer reduceres ammoniaktabet med 5 procentenheder, svarende til 5 kg N pr. ha ved en udbragt mængde på 100 kg NH₄-N pr. ha. En øget tilførsel af 5 kg N pr. ha ved det aktuelle gødningsniveau resulterer i en stigning i udbyttet på ca. 0,3 hkg pr. ha, svarende til 27 kr. pr. ha ved en udbyttepris på 85 kr. pr. hkg. Gødningsværdien af den reducerede ammoniakfordampning kan dermed beregnes til kr. 5,40 pr. kg kvælstof.

Samme reduktion i ammoniakfordampning kan opnås ved at reducere nedpløjningstidspunktet til 3 timer efter udbringning. Generelt kan der opnås en meget stor effekt af at nedpløje gødningen hurtigt efter udbringning. Ved nedpløjning indenfor de første 20 minutter (hvad der dog kan være umuligt at nå i praksis) opnås en gevinst på 87 kr. pr. ha. Ved at "sløse" med nedpløjningen, så den først sker efter 24 timer¹, tabes 43 kr. pr. ha. Forskellen mellem samtidig nedpløjning (20 minutter) og efter 24 timer er dermed på hele 130 kr. pr. ha. Det illustrerer, at det er meget vigtigt at nedmulde gødningen så hurtigt som muligt.

¹ Ulovligt, da husdyrgødningsbekendtgørelsen kræver nedbringning inden for 6 timer.

Nedmuldning med tallerkenharve efter 6 timer har vist sig at være mindre effektiv end nedpløjning efter 6 timer, og det økonomiske tab er på hele 57 kr. pr. ha.

Nedharvning som alternativ til forsinket pløjning

I praksis kan staldgødning udbringes med større kapacitet, end der kan pløjes. Hvis udbringningskapaciteten f.eks. er 4 ha pr. time, og landmanden pløjer med en kapacitet på kun 1 ha pr. time, kommer han længere og længere bagud. Det betyder, at hvis pløjning påbegyndes straks efter den første staldgødning er udbragt, vil den først udbragte staldgødning ligge i meget kort tid inden nedpløjning, mens den sidst udbragte staldgødning ligger væsentligt længere. Hvis der eksempelvis udbringes staldgødning på 12 ha, vil den gennemsnitlige henligningstid derfor blive ca. 5 timer. Ud fra kurveforløbet i Figur 4 kan det beregnes, at der i gennemsnit af de 12 ha vil være en bruttogeinst på 13 kr. pr. ha ved dette frem for en (teoretisk) nedpløjning efter præcis 6 timer. Ved samtidig nedmuldning med tallerkenharve er der en bruttogeinst på 27 kr. pr. ha. Økonomisk set vil det altså være lidt bedre (14 kr. pr. ha) at nedmulde straks med tallerkenharve end at komme længere og længere bagud med ploven.

Ekstra gevinster

Beregningerne er alene baseret på et højere eller lavere kerneudbytte som resultat af forskelle i gødningsvirkningen på grund af forskelle i ammoniakfordampning. Udover kerneudbyttet kan følgende forhold tillægges en større eller mindre værdi:

- En stigning i kvælstoftilførslen vil føre til en stigning i proteinindholdet på ca. 0,1 procent. En værdisætning af dette protein ved foderoptimeringen bidrager med ca. 5 kr. pr. ha.

- I og med, at der sker en jordbehandling i forbindelse med udbringningen, kan der være mulighed for at spare en anden jordbehandling. Det gælder især i systemer med reduceret jordbehandling. En eventuel sparet stubharvning kan værdisættes til ca. 100 kr. pr. ha., en eventuel sparet pløjning kan værdisættes til 450-500 kr. pr. ha.

- Samtidig med reduktionen af ammoniak må det formodes, at der sker en reduktion i emissionen af lugt. Lugtreduktion kan dog ikke umiddelbart værdisættes.

- Umiddelbar nedmuldning garanterer, at kravet om nedbringning inden for 6 timer overholdes. Ved nedpløjning kan det være svært at overholde, fordi kapaciteten ved udbringning af gødning ofte er langt større end en normal pløjningskapacitet. Samtidig nedmuldning med tallerkenharve kan i yderste konsekvens betyde, at man undgår bøde for at nedbringe gødningen for sent

- Beregningerne er gennemført for 'lavværdiafgrøden' vårbyg. Hvis afgrøden i stedet var en 'højværdiafgrøde' som f.eks. sukkerroer, ville gevinsten ved hurtig nedmuldning være højere end beregnet.

- Den anvendte gødning var relativt halmrig og tør. Tilmed var halmen lang og uomsat. Derfor var den svær at nedbringe effektivt med tallerkenharve. Havde gødningen været mindre halmrig, omsat og porøs, ville den formentlig kunne nedbringes mere effektivt

med en bedre effekt på ammoniakfordampningen til følge. Det vil øge forskellen til nedpløjning efter 6 timer og dermed øge den økonomiske gevinst ved nedharvning.

Konklusion

- En betydelig andel af ammoniumindholdet i fast husdyrgødning kan tabes som ammoniak i perioden mellem udbringning og nedmuldning. Ammoniaktabet kan derfor begrænses væsentligt ved hurtig nedmuldning
- Nedmuldning med tallerkenharve forhindrer i modsætning til nedpløjning ikke fuldstændigt et efterfølgende ammoniaktab
- Da kapaciteten normalt er højere ved harvning end ved pløjning vil nedmuldning med tallerkenharve i praksis føre til en hurtigere nedmuldning. Ammoniaktabet fra udbragt fast husdyrgødning vil derfor under normale forhold kunne reduceres mere ved samtidig nedmuldning med tallerkenharve end ved hurtig nedpløjning
- Det økonomiske potentiale i at reducere ammoniakfordampningen ved samtidig nedmuldning af fast staldgødning eller dybstrøelse er beskedent
- Udover reduceret ammoniakfordampning ved samtidig nedmuldning er der en række andre fordele, som f.eks. sparet jordbehandling, reduceret lugt mv.

Erkendtlighed

Udarbejdelsen af denne rapport er finansieret af Fødevareministeriets forskningsprogram for projekter under Vandmiljøplan III.

Kolofon

Martin Nørregaard Hansen, Afdeling for Jordbrugsteknik, Forskningscenter Bygholm og Torkild S. Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteavl.

Forside:

Bestemmelse af placering af husdyrgødning ved forskellige nedmuldningsmetoder. Foto: Merete Maahn