

NILU : TR 8/97  
REFERANSE : O-1857  
DATO : JUNI 1997  
ISBN : 82-425-0891-7

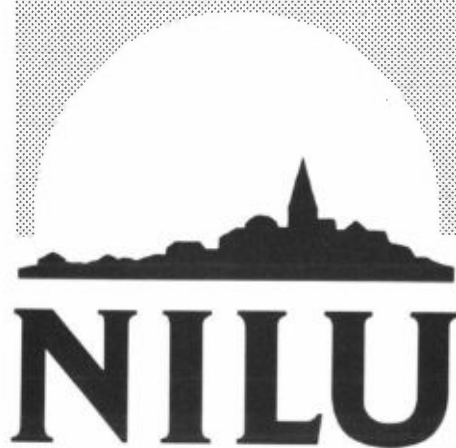
**Konstruksjon og dimensjonering  
av et fluks-dosimeter for  
bestemmelse av ammoniakk-  
avgangen ved spredning av  
husdyrgjødsel på dyrket mark**

**Arne Semb og Dag Tønnesen**

NILU : TR 8/97  
REFERANSE : O-1857  
DATO : JUNI 1997  
ISBN : 82-425-0891-7

**Konstruksjon og dimensjonering  
av et fluks-dosimeter for  
bestemmelse av ammoniakk-  
avgangen ved spredning av  
husdyrgjødsel på dyrket mark**

Arne Semb og Dag Tønnesen



**Norsk institutt for luftforskning**  
Norwegian Institute for Air Research  
Postboks 100 - N-2007 Kjeller - Norway

# Innhold

	Side
Sammendrag .....	2
1. Innledning .....	3
2. Dimensjonering for kjemisk analyse .....	3
3. Utforming av dosimeteret .....	4
4. Utprøving.....	5
5. Anvendelse av dosimeteret i felt .....	5
6. Forsøk med spredning av husdyrgjødsel på Søråsjordet, i mai og juli 1996 .....	7
7. Beregning av ammoniakktapet pr arealenhet .....	8
8. Diskusjon .....	9
9. Konklusjon .....	10
10. Referanser .....	10

## Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har i samarbeid med Norges Landbrukshøgskole (NLH) gjennomført konstruksjon og tesesting av et fluksdosimeter for bestemmelse av ammoniakk tap ved spredning av husdyrgjødsel på dyrket mark. Metoden som anvendes bygger på forutsetning om at forholdet mellom horisontal fluks og vertikal fluks som skyldes et arealutslipp i visse høyder over bakken vil være nær uavhengig av fluktuasjoner i vindfeltet.

Disse høydene er avhengig av feltets størrelse og ruket. Den horisontale fluksen er målt ved hjelp av et fluksdosimeter konstruert på bakgrunn av absorbentens egenskaper, forventet konsentrasjonsnivå i lufta og beregnet gjennomstrømning i absorbenttrøret.

Praktiske forsøk som samsvarer med metoden gir konsistente måleresultater, og estimerer for ammoniakk tapet som varierte mellom 20% og mindre enn 10% av tilført mengede. Lav temperatur og nedbør reduserte tapet, særlig i det andre forsøket.

# Konstruksjon og dimensjonering av et fluksdosimeter for bestemmelse av ammoniakkavgangen ved spredning av husdyrgjødsel på dyrket mark

## 1. Innledning

Fordampning av ammoniakk fra husdyrgjødsel er den viktigste utslippskilden for ammoniakk til atmosfæren. En stor del av dette utslippet skjer i forbindelse med spredning av husdyrgjødsel. Det har stor interesse å måle dette utslippet, både for å få bedre oversikt over hvor stort utslippet er under ulike forhold, og for å finne fram til metoder for bedre utnytting av nitrogeninnholdet i husdyrgjødsel. Morken(1991) har utarbeidet en litteraturoversikt om ulike metoder som har vært bukt til å kvantifisere ammoniakktapet fra husdyrgjødsel. Av disse metodene er det bare de mikrometeorologiske metodene som gjør det mulig å måle tapet fra en gjødslet flate direkte, uten å endre på forhold som direkte eller indirekte påvirker tapet. Fullstendig karakterisering av vindfelt og konsentrasjonsprofiler vil imidlertid kreve en betydelig instrumentering og et stort antall analyser. For å kunne måle tapet under mange ulike forhold, og på flere steder, vil det derfor være ønskelig med et forenklet måeopplegg, som ideelt sett burde kunne brukes som et hjelpemiddel i jordbruket på samme måte som jordprøvetaking.

Wilson et al.(1982) har undersøkt konsentrasjons- og vindhastighetsprofiler i forhold til ruhet, stabilitet og "fetch", og har vist at dersom ruheten og feltets utstrekning er kjent, vil det være tilstrekkelig å bestemme produktet av vindhastighet og ammoniakk i en høyde(ZINST), som er en funksjon av ruheten og oppvinds "fetch", men som ikke påvirkes nevneverdig av stabiliteten.

Produktet av vindhastighet og ammoniakkkonsentrasjon vil kunne måles ved hjelp av et dosimeter i form av et rør der ammoniakk absorberes for senere å kunne kvantifiseres ved kjemisk analyse, og med en gjennomstrømning som er proporsjonal med vindhastigheten. Prinsippet for konstruksjon av et slikt rør er beskrevet av Leuning et al.(1985) og av Schjørring et al.(1992).

Nedenfor er det kort gjort rede for hvordan et slikt dosimeter skal kunne konstrueres og dimensjoneres slik at det vil kunne tilpasses NILUs analyserutinere og virke hensiktsmessig under norske forhold.

## 2. Dimensjonering for kjemisk analyse

Av hensyn til analysene kan det være hensiktsmessig med en dimensjonering av dosimeteret som gir en mengde absorbert ammoniakk tilsvarende 0.5 mg/l i 5-10 ml løsning. Siden konsentrasjonsnivået i luft kan ventes å ligge mellom 30-100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bør dosimeteret ha en gjennomstrømning totalt på ca. 0.1  $\text{m}^3$  i løpet av prøvetakingstiden, som kan variere fra 6-120 h.

Mengden oxalsyre som er nødvendig for å oppnå fullstendig absorpsjon, vil være av størrelsesorden 100 µg. Det har vært vanlig å fukte røret innvendig med en løsning av oxalsyre i metanol, og så la denne tørke i en ammoniakk-fri luftstrøm. Metanol-løsningen må være nylaget, for å unnga forestring av oxalsyren. Alternativt kan oxalsyren løses i aceton. En sandblåst eller ru innvendig overflate i røret er gunstig for å sikre at overflaten blir jevnt fuktet og innsatt med oxalsyre. Dersom røret fuktes innvendig med 0.1 ml 1% oxalsyreløsning i metanol, blir den teoretiske absorpsjonskapasiteten ca. 300 µg ammoniakk.

### 3. Utforming av dosimeteret

Absorpsjonen av ammoniakk vil være nær 100% i et 15 cm langt rør innvendig impregnert med oxalsyre dersom rørets innvendige diameter er 6-8 mm og gjennomstrømningen av luft 0.5-1 l/min (Ferm, 1979). Dette tilsvarer en lufthastighet på ca 30 cm/s. Hvis nå dette røret rettes mot vinden vil det få et lite overtrykk ved åpningen, og gjennomstrømningen vil være bestemt av vindhastigheten og trykktapet gjennom røret. Dersom vi har laminær strømning i røret vil trykktapet være proporsjonalt med gjennomstrømningshastigheten, mens overtrykket ved rørmunningen vil være proporsjonalt med kvadratet av vindhastigheten. Siden vindhastigheten oftest vil være mellom 2 og 5 m/s, i hvertfall når ammoniakktapet er størst, vil også gjennomstrømningen bli betydelig større enn den ønskelige gjennomstrømningen, som er ca. 1 l/time

Følgelig må gjennomstrømningen reduseres. Dette gjøres mest hensiktsmessig med en innsnevring som har form av et hull i en plate.

Hvis nå røret rettes mot vinden, vil trykkforskjellen mellom rørapningen og utløpet være gitt ved

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} C_d \rho u^2$$

der  $C_d$  er drag-koeffesienten,  $\rho$  er luftens tetthet og  $u$  er vindhastigheten. Trykktapet over innsnevringen er gitt ved

$$(\Delta p) = (1 - B^4) \rho Q^2 (2 C^2 A)$$

der  $B$  er forholdet mellom hullet diameter og rørets indre diameter,  $Q$  er gjennomstrømningen,  $C$  er en koeffesient som avhenger av Reynoldstallet, og  $A$  er hullets areal. Dersom nå trykktapet gjennom selve røret er neglisjerbart slik at  $\Delta p = p_1 - p_2$ , får vi:

$$Q^2 = C^2 A C_d u^2 / (1 - B^4)$$

Siden rørets diameter er betydelig større enn hullets, gir dette:

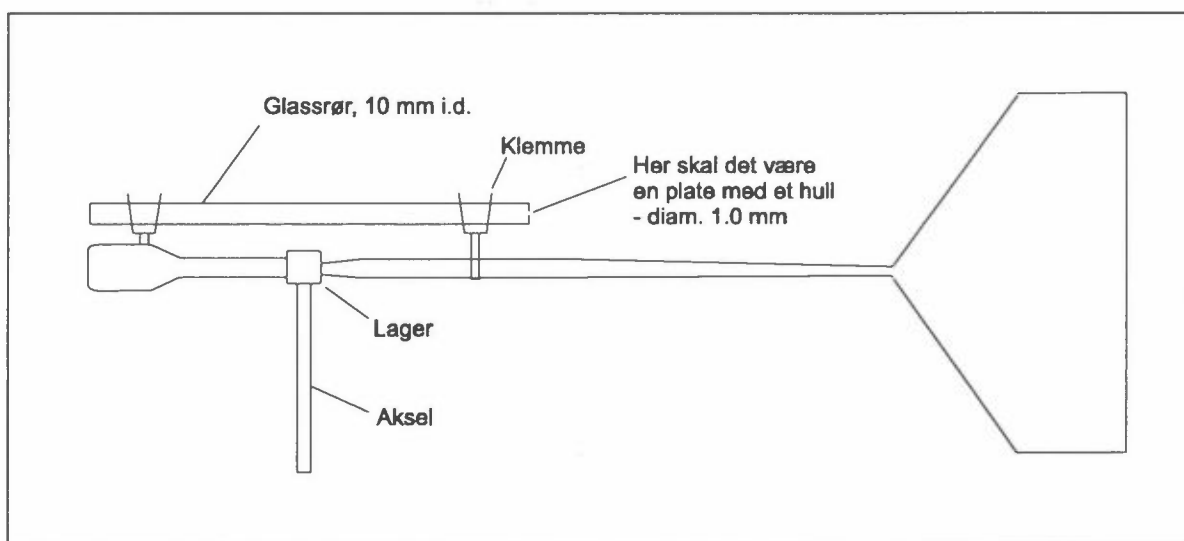
$$Q = C (A C_d)^{1/2} u,$$

$C_d$  kan settes tilnærmet lik 1, mens  $C$  oppgis å ligge i området mellom 0.595 og 0.620 under forutsetning av at Reynoldstallet er  $>30\,000$ . Dette gir:

$$Q \approx 0.6 Au$$

ved eksperimenter, sammenhenger. Schjørring et al (1992) fant  $Q=0.77 Au$

Dersom hullets diameter er 1 mm får vi da en gjennomstrømning på 0.059 l/min ved en vindhastighet på 2 m/s. For ikke å lage selve konstruksjonen for komplisert, er det antagelig enklest å montere røret direkte på en vindfløy, slik at åpningen stikker noe frem i forhold til selve vindfløyen. Dette gjør det også mulig å montere flere dosimetre på samme vindfløy. Figur 1 viser vindfløyen med dosimeteret montert.



Figur 1. Vindfløy med ammoniakk-fluks dosimeter

#### 4. Utprøving.

Utprøving forutsetter at dosimeteret utsettes for en kjent ammoniakkonsentrasjon i en luftstrøm tilsvarende en vindstyrke på 2-5 m/s. Ammoniakk er relativt enkelt å dosere, og en vanlig støvsugermotor kan gi den ønskede "vindstyrken", som må måles.

Alternativene er å måle trykkfallet over hullet i platen, med kjent luftstrøm, eller å akseptere en helt gjennom teoretisk beregning, som ovenfor.

#### 5. Anvendelse av dosimeteret i felt

Forutsetningen for metoden med måling av utslippet i et punkt er at en har en uniform, sirkelformet flatekilde. Ved valg av målested må det tas hensyn til at feltet ikke er sirkulært, at vindretningsfordelingen ikke er uniform, og at trær og bygninger vil påvirke turbulensfeltet og vertikalbevegelsen av lufta i disse hindringenes respektive le-soner.

Avstanden fra kanten av feltet til målepunktet bør være den samme for de hyppigst forekommende vindretningene. I disse retningene bør det ikke være større hindringer i form av hus eller trær. Avstanden må minst være 10 ganger høyden av eventuelle slike hindringer.

Målehøyden for dosimeteret, som plasseres på toppen av en stolpe eller lignende, velges ut fra avstand fra kanten av feltet til målestedet, og arealets aerodynamiske ruhet. Tabell 1 viser målehøyde for avstander fra 20 til 60 m, med ruhet ( $Z_0$ ) 0.5 og 1 cm.

*Tabell 1: Målehøyde(ZINST) i meter for ulike avstander fra målepunktet til kanten av feltet.*

Avstand	20 m	30 m	40m	50m	60m
$Z_0=0.5$ cm	0.88	1.15	1.44	1.75	2.05
$Z_0=1.0$ cm	1.02	1.30	1.62	1.90	2.25

Dersom det er mulighet for at andre kilder påvirker ammoniakk-konsentrasjonen i målestedet, må dette bidraget trekkes fra. Dette bidraget kan for eksempel bestemmes, ved at man måler den horisontale fluksen i 8-10 meters høyde over målestedet, eller på et annet sted som ikke påvirkes av det behandlede feltet.

Måleperioden avhenger av formålet med målingene. Avhengig av værforholdene kan utslippene kan være betydelige 5-10 dager etter spredningen av husdyrgjødsel.. Tørt, varmt vær og vind øker tapet av ammoniakk, nedbør de første dagene etter spredning vil kunne stanse ammoniakktapet nesten fullstendig.

Det bør i alle fall føres notater over været den tiden prøvetakingen varer, og glassrøret med oksalsyre bør skiftes dersom det inntreffer markerte endringer i værforholdene. Forøvrig anbefales å skifte prøvetakerør hver dag eller hver annen dag, dersom hensikten er å undersøke hvordan tapet varierer i tid. Dersom hensikten er å bestemme totaltapet kan prøvetakingsperioden være 5 dager.



## 6. Forsøk med spredning av husdyrgjødsel på Søråsjordet, i mai og juli 1996

For å teste fluksdosimeteret i praktisk bruk ble det foretatt spredning av husdyrgjødsel på Søråsjordet på Ås. Spredningen ble foretatt med en egen spredevogn, med mulighet for spredning av bløtgjødsel i striper, og nedmolding etter et eget prinsipp, der gjødsla blandes med jorda ved injeksjon ved høyt trykk. Det ble spredt gjødsel i kvadratiske felt på 50 ganger 50 meter, og alle målingene ble foretatt i sentrum av feltene.

Det ble brukt både fluksdosimetre og passive prøvetakere som måler gjennomsnittskonsentrasjonene av ammoniakk. Eksponeringen startet umiddelbart etter gjødselspredningen. Prøvene ble tatt inn om kvelden, og ellers etter 1-2 dager.

Den 14.5 sviktet dessverre nedmoldingsutstyret, og det ble derfor bare spredt gjødsel på et felt. Allerede om ettermiddagen begynte det å regne, noe som førte til svært liten ammoniakk avgang etter dette.

Den 2 juni fungerte spredningsutstyret perfekt, men det begynte igjen å regne om ettermiddagen. Det ble derfor bare tatt prøver for to perioder.

Forsøksopplegg og måleresultater fremgår av tabellene 2 og 3:

Tabell 2. Forsøksresultater 14-18 mai.

Felt 1, mikrogram NH <sub>3</sub> -N i fluksdosimetre i ulike høyder:				
Eksponering, fra-til	0,5m	1m	1,5 m	2.5 m
96051414-96051418	-	14,35	5,1	4,3
96051418-96051514	-	3,4	0,35	0,4
96051514-96051814	-	1,35	0,7	0,3
96051814-96052214	-	1,35	0,9	0,95
Blindprøve		0.2		
Passive prøvetakere, konsentrasjon er i mikrogram NH <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup>				
96051414-96051514	288	157	131	26
96051514-96051814	12		5,9	
96051814-96052214	32	3,1	1,19	0,68

Tabell 3: Forsøksresultater, 2-7 juli.

	Fluksdosimeter, µg NH <sub>3</sub> -N		Passiv prøvetaker, µg NH <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup>
	1,15 m	2,5 m	1,15 m
Felt 1,			
96070216-96070310	2,65	-	38,65
96070310-96070715	2,95	-	3,23
Felt 2, (injisert)			
96070216-96070310	1,9	1,25	31,78
96070310-96070715	2,25	1,2	5,01
Blindprøver	0,3-0,15-0,40		-

Når en tar i betraktning at resultatene er upålitelige ved oppsamlede ammoniakkmengder under ca 0.5 µg, er resultatene rimelig konsistente og viser en ventet sterk konsentrasjonsgradient i området 0.5-2.5 m. Ammoniakk-tapet er tydelig størst de første timene, dette har imidlertid også sammenheng med værforholdene, idet regn og kulde sørget for at tapet ble svært lite etter det første spredningsforsøket i mai.

I juli var det noe mer tap av ammoniakk også etter det første døgnet.

## 7. Beregning av ammoniakk-tapet pr arealenhet

For å beregne horisontal fluks av ammoniakk i ulike høyder må de oppsamlede ammoniakkmengdene multipliseres med en faktor som angir forholdet mellom vindhastigheten og gjennomstrømningen i røret. Vi får da et tall som er et tidsintegralet av konsentrasjonen av ammoniakk multiplisert med vindhastigheten. Siden diameteren på innsnevringen er 1 mm, vil vi benytte den eksperimentelt bestemte verdien etter Schørring et al.(1992). Tallene i Tabell 2 og 3 skal dermed multipliseres med en faktor  $1.65 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ .

Forholdet mellom vertikal og horisontal fluks er, i likhet med den karakteristiske flukshøyden ZINST, en funksjon av den aerodynamiske ruheten og feltets utstrekning eller "fetch". Disse verdiene er tabulert for to verdier av den aerodynamiske ruheten ( $Z_0$ ) i Tabell 4:

Tabell 4. Verdier av ZINST og forholdet mellom  $\int u.c.dt$ (horisontal fluks) og vertikal fluks( $F_v$ ) for ulike størrelser av en flatekilde med uniform utslippintensitet.

Feltets radius(m)	$Z_0=0.5 \text{ cm}$		$Z_0=1.0 \text{ cm}$	
	ZINST	$\int u.c.dt / F_v$	ZINST	$\int u.c.dt / F_v$
20	0.88	7.5	1.02	7.0
30	1.15	8.1	1.30	7.6
40	1.44	8.8	1.62	8.3
50	1.75	9.5	1.90	8.9
60	2.05	10.2	2.25	9.5

Vi kan nå beregne ammoniakk-tapet i gram nitrogen pr kvadratmeter for de ulike måleperiodene. Siden feltene ikke er sirkulære, men kvadratiske med sidekant 50 m, vil ZINST være mellom 1.15 og 1.4 m over bakken, og forholdet mellom horisontal og vertikal fluks er ca 8. I det første forsøket er horisontalfluksen målt i 1m og i 1.5 m høyde, her vil vi for enkelhets skyld beregne en antatt fluks i 1.15 m høyde, og lar da observasjonene i 1 m høyde veie dobbelt så mye som observasjonen i 1,5 m høyde over bakken.

Tabell 5. Oppsamlet mengde ammoniakk, horisontalfluks i høyden  $z=ZINST$ , og beregnet tap av ammoniakk fra forsøksflatene på Søråsjordet.

Første måleperiode	Oppsamlet NH <sub>3</sub> -N ( $\mu\text{g}$ )		$\int u \cdot c \cdot dt$ ( $\text{g/m}^2$ )	Fz ( $\text{g/m}^2$ )
Felt 1,	1 m	1,5 m		
96051414-96051418	14,35	5,1	18,6	<b>2,3</b>
96051418-96051514	3,4	0,35	3,94	<b>0,5</b>
96051514-96051814	1,35	0,7	1,87	<b>0,2</b>
96051814-96052214	1,35	0,9	1,98	<b>0,2</b>
Annen måleperiode				
Felt 1,	1,15 m			
96070216-96070310	2,65		4,4	<b>0,6</b>
96070310-96070715	2,95		4,9	<b>0,6</b>
Felt 2, (injisert)				
96070216-96070310	1,9		3,1	<b>0,4</b>
96070310-96070715	2,25		3,7	<b>0,5</b>

## 8. Diskusjon

Tallene i den siste kolonnen i Tabell 5 gir uttrykk for ammoniakktapet, i gram nitrogen pr kvadratmeter (eller kg/dekar), basert på de forutsetninger som er foretatt. Noen av disse forutsetningene burde vært etterprøvet, deriblant forholdet mellom gjennomstrømningen i røret og vindhastigheten. Forutsetningen om ZINST og ruheten er rimelig robust, men konsentrasjonsgradienten er sterk, og dersom målingene foretas i for lav høyde, kan de beregnede tapstallene lett bli for store i forhold til virkelig ammoniakktap.

Ut fra en slik vurdering representerer de beregnede tapstallene antagelig et visst overestimat. Et tap på over 2 kg pr dekar i løpet av bare 4 timer den 14 mai er svært høyt, selv om vi vet at tapet ofte kan være så stort i varmt vær med vind slik det var denne dagen. Derimot er det beregnede ammoniakktapet lavt de følgende dagene etter at det begynte å regne.

Den andre forsøksperioden ga svært små ammoniakktap, på grunn av værforholdene og på grunn av at forsøket ikke kom i gang før slutten av dagen. Effekten av nedmoldingen var tydelig, selv om ammoniakktapet fra felt 2 bare var 20-30% lavere enn tapet fra felt 1. Dersom det ikke hadde kommet regn umiddelbart etter spredningen ville forskjellen trolig ha vært større.

Resultatene fra de passive prøvetakerne er ikke diskutert da disse forutsetter mer kjennskap til de meteorologiske forholdene under prøvetaksperioden.

Det ble også gjort forsøk på å bestemme konsentrasjonen av reduserte svovelforbindelser ved hjelp av passive prøvetakere. Disse ga imidlertid ikke målbare konsentrasjoner.

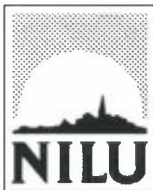
## 9. Konklusjon

Forsøkene har vært vellykkede, idet metoden med fluksdosimeter er praktisk anvendbar til å måle ammoniaktapet direkte fra felt der det er spredt husdyrgjødsel.

Utstyret, spesielt vindfløyene, kan imidlertid forbedres og gjøres mer robuste. Mer erfaring, og supplerende undersøkelser, er nødvendig for å øke utsagnskraften når det gjelder å beregne tapet av nitrogen med denne metoden.

## 10. Referanser

- Ferm, M. (1979) Method for determination of atmospheric ammonia. *Atmos. Environ.*, *13*, 1385-1393.
- Leuning, R., Freney, J.R., Denmead, O.T. and Simpson, J.R.(1985) A sampler for measuring the atmospheric ammonia flux. *Atmos. Environ.*, *19*, 1117-1124.
- Morken, J.(1991) Ammoniakkemisjon. En litteraturoversikt over metoder for måling av ammoniakkemisjon fra husdyrgjødsel. Norges landbrukshøgskole, Institutt for tekniske fag, ITF-notat nr 61/91.
- Schjørring, J.C., Sommer, S.G., and Ferm, M.(1992) A simple passive sampler for measuring ammonia emissions in the field. *Water, Air Soil Poll.*, *62*, 13-24.
- Wilson, J.D., Thurtell, G.W., Kidd, G.E., and Beauchamp, E.G.(1982) Estimation of the rate of gaseous mass transfer from a surface source plot to the atmosphere. *Atmos. Environ.*, *16*, 1861-1867.



## Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE TEKNISK RAPPORT	RAPPORT NR. TR 8/97	ISBN 82-425-0891-7 ISSN 0807-7185	
DATO <i>26/6-97</i>	ANSV. SIGN. <i>AS</i>	ANT. SIDER 11	PRIS 30 NOK
TITTEL Konstruksjon og dimensjonering av et fluks-dosimeter for bestemmelse av ammoniakk-avgangen ved spredning av husdyrgjødsel på dyrket mark		PROSJEKTLEDER Arne Semb	
		NILU PROSJEKT NR. O-1857	
FORFATTER(E) Arne Semb og Dag Tønnesen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Norsk institutt for luftforskning og Norges Landbrukshøgskole			
STIKKORD Ammoniakk	Fluksmåling		
REFERAT På bakgrunn av teori om forhold mellom horisontalfluks og vertikalfluks er et fluksdosimeter konstruert og testet for bruk til å beregne amoniakk avgang fra dyrket mark etter spredning av husdyrgjødsel. Metoden gir resultater som er innbyrdes konsistente.			
TITLE			
ABSTRACT			

\* Kategorier:   A   Åpen - kan bestilles fra NILU  
                  B   Begrenset distribusjon  
                  C   Kan ikke utleveres