

Koncept til måling af udvaskning fra markstakke af dybstrøelse

Af Hans Spelling Østergaard, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteproduktion

Baggrund og formål

Det er i dag muligt at opbevare kompost og ensilage i markstakke. Der er fastsat krav til bl.a. tørstofprocenten for at undgå udvaskning. I praksis har dette ifølge kommunerne været svært at håndhæve, og der er en risiko for, at der i dag sker udvaskning fra markstakke.

For at styrke mulighederne for kontrol af markstakke ønsker Skov- og Naturstyrelsen udviklet et koncept, hvor man ved hjælp af N-min prøver eller andre kvælstofanalyser af jorden under markstakken kan vurdere udvaskningens størrelse. Skov- og Naturstyrelsen har i denne forbindelse anmodet Landcentret, Planteproduktion om at gennemføre et projekt, der kan indgå i en sådan konceptudvikling.

Hensigten er, at konceptet

- skal kunne bruges af kommunerne i forbindelse med kontrol af markstakke, således at man kan give påbud om ændret praksis, der kan sikre mod udvaskning.
- kan anvendes som vilkår i en miljøgodkendelse, så landmanden løbende kan dokumentere, at markstakke ikke medfører udvaskning.
- kan anvendes af landmændene selv, da tab af kvælstof ved udvaskning fra markstakke også af driftsmæssige årsager er uønsket.

Projektets gennemførelse

Projektet er gennemført af Dansk Landbrugsrådgivning i samarbejde med Danmarks JordbrugsForskning.

Projektet er iværksat i efteråret 2003, hvor der blev udvalgt otte ejendomme i samarbejde med de lokale planteavlskonsulenter. Konsulenterne har gennemført prøvetagningerne af markstakke og jord og har også beskrevet dybstrøelse og staldtype samt hvordan markstakken var overdækket. De praktiske undersøgelser blev afsluttet i foråret 2004.

Følgende lokale centre har deltaget i projektet (tallet i parentes angiver det nummer, som er anvendt for den pågældende markstak i rapporten: Familielandbrugets Landbrugsrådgivning (1), LandboMidt (2), Djursland Landboforening (3 og 4), Jysk Landbrugsrådgivning (5), Vestjysk Landboforening (6) og LandboFyn (7).

Styregruppe

Styregruppen for projektet har været sammensat af repræsentanter fra Skov- og Naturstyrelsen, Danmarks JordbrugsForskning og Dansk Landbrugsrådgivning. Skov- og Naturstyrelsen har formandskabet.

Finansiering

Skov- og Naturstyrelsen har finansieret projektet.

Metode

Etablering af og måling i markstakke

Ved udvælgelsen af de ejendomme og staldtyper, der skulle indgå i projektet er der tilstræbt så stor en variation mellem stakkene og således at dybstrøelse fra både kvæg og svin har været med i undersøgelsen. Der er udvalgt otte markstakke, men undersøgelsen blev af praktiske årsager kun gennemført med de syv, fordi landmanden på den ottende lokalitet valgte først at etablere markstakken i januar 2004.

Stakkene er etableret i efteråret 2003. Markstakkene er placeret på en sådan måde, at en del af stakken har ligget på plastik, så der her ikke har kunnet ske en nedsivning i jorden. Der er udtaget prøver af markstakkene til analyse for indholdet af næringsstoffer og tørstofprocent. I en enkelt stak (hvor der er gennemført sugecellemålinger, jvf. nedenstående) er prøvetagningen gennemført fem gange, således at der er opnået en beskrivelse af variationen i næringsstof- og tørstofindhold i stakken.

Stakkene har været overdækket med plastik, kompostdug eller halm. Overdækningen er beskrevet af planteavlskonsulenten. Ved udvælgelsen af stakkene er det tilstræbt, at der har været overdækninger af forskellige typer repræsenteret i undersøgelsen. I tabel 1 er vist oplysninger om dybstrøelsen og om markstakkenes overdækning og størrelse.

Prøverne af markstakkene er udtaget ved, at der er udtaget små delprøver under etablering af markstakkene.

Tabel 1. Oplysninger om dybstrøelse og markstakke

Markstak	Tidspunkt, dato		Dyreart	Dybstrøelse			Tør/våd/medium	Overdækning	Størrelse, m
	Etablering	Spredning		Antal måneder i stalden	Tykkelse i stalden, cm	Strøelse pr. døgn pr. dyr, kg			
1	21.11	22.3	Slagtesvin	1	15-20	0.67	Medium	Plast	4x10x2,5
2	25.11	16.4	Slagtesvin	3	100	-	Medium	Halm, 25-30 cm	8x16x2
3	Ultimo dec.	18.3	Søer og slagtesvin	3	45-70	2.5	Medium	Ingen	5x38x2
4	10.12		Malkekøer og kalve	2-3	50	8-12	Medium	Halm, 30 cm	8x128x1.5
5	21.11		Malkekøer	2	75	13	Medium	Halm+plast	5x18x2
6	8.11	16.4	Tyrekalve	8	90	6	Medium	Plast	6x25x1
7	10.11	18.3	Slagtesvin	3	60	0.67	Tør	Plast*1	5x50x2

*1: I januar uden plast i 1,5-2 uger. 50 mm nedbør i denne periode.

N-min prøver

Der er udtaget N-min prøver til 1 m's dybde opdelt i 4 lag à 25 cm på to tidspunkter:

1. Hvor markstakken skulle ligge, umiddelbart før den blev placeret og
2. Umiddelbart efter at stakken er fjernet i foråret 2004. N-min prøverne er udtaget tre steder ved hver stak: Under plastikken, uden for plastikken og uden for stakken. Arealet uden for stakken har ikke været gødsket inden prøvetagningen.

Resultaterne af N-min målingerne er anvendt til at undersøge, om det er muligt at udvikle en metode, der kan anvendes til at fastslå, hvorvidt der er sket en nedsivning af kvælstof fra markstakken eller ej, idet en eventuel nedsivning af kvælstof fra markstakken vil være meget synlig i N-min målingerne. Baggrunden herfor er følgende ræsonnement:

- N-min indholdet i 1 m's dybde om foråret er kun sjældent over 100 kg N pr. ha (= 0,01 kg pr. m²).
- Nettomineraliseringen i 180 dage under markstakken vil meget sjældent være mere end 90 kg N pr. ha.
- Indholdet i 0–25 cm vil meget sjældent være over 125 kg N pr. ha (0,0125 kg pr. m²).
- I markstakken er kvælstofindholdet af størrelsesordenen 10 kg pr. m².
- En nedsivning af 1 pct. af markstakkens N-indhold vil altså forøge jordens N-min indhold med mindst en faktor 10.

Derfor skal der være tale om en kraftig forøgelse af jordens N-min-indhold, før der er tale om et væsentligt tab ved nedsivning.

Projektets resultater skal anvendes til at fastlægge grænserne for, hvornår man på grundlag af N-min målinger, hvor markstakken har været placeret og i en ugødet mark ved siden af, kan konkludere, om der er sket en nedsivning af betydning.

Sugecellemålinger

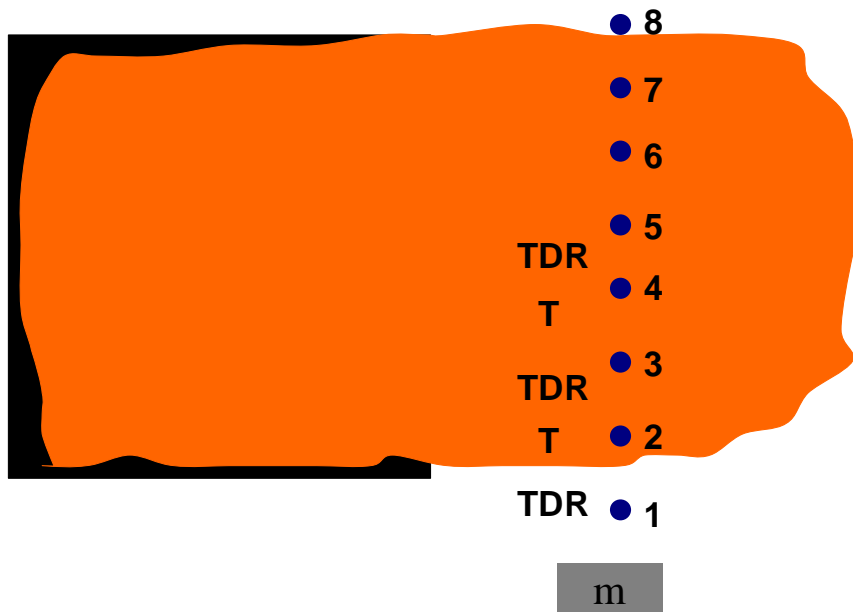
Under visse forhold kan der ske et tab af kvælstof i form af opløst organisk stof. I projektet er undersøgt, om der er en indikation af dette. Derfor er der i forbindelse med en enkelt markstak nr. 2) etableret en tracé bestående af 8 sugeceller under den del af stakken, der ikke havde plastikunderlag. Til formålet er anvendt sugeceller af teflon. Med mellemrum er der udtaget prøver fra sugecellerne, som er analyseret for nitrat og opløst organisk stof. Formålet har været at give en indikation af, om der er sket et tab af opløst organisk kvælstof under markstakke og ikke at angive en kvantitativ størrelse. Denne del af projektet er gennemført af Danmarks JordbrugsForskning, og der er skrevet en delrapport om denne del af projektet.

Delrapport om målinger under markstakken i Løgstrup

Af Finn P. Vinther, Danmarks Jordbrugsforskning

Med det formål at undersøge risikoen for udvaskning af organisk stof og kvælstof, blev der i vinterperioden 2003-2004 foretaget en række målinger under en markstak bestående af svinedybstrøelse og overdækket med halm. Disse målinger blev foretaget som et supplement til de registreringer og målinger, der omtalt andetsteds i rapporten.

Målinger



Figur 1. Skitse af markstak med angivelse af underlag af sort plastik under halvdelen af stakken, samt placering TDR-prober (TDR), temperatur loggere (T), sugeceller (1 – 8) og målestation (m).

I figur 1 er en skitse af markstakken vist med placering af måleinstrumenter, som blev installeret den 7/11. Stakken blev herefter (den 25/11) placeret som vist i figur 1, med et underlag af sort plastik under halvdelen af stakken. Umiddelbart inden placering af markstakken blev der udtaget jordprøver til bestemmelse af N-min. Jordprøver til N-min bestemmelse blev igen udtaget umiddelbart efter at stakken var fjernet den 17/3. Resultater af N-min bestemmelser findes andetsteds i rapporten.

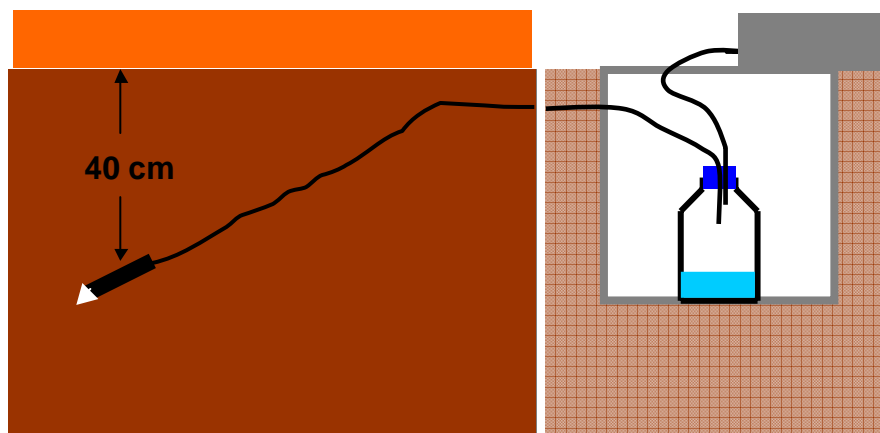
Måleinstrumenter

Temperatur: Jordtemperatur i ca. 10 cm's dybde blev registreret med to TinyTalk-loggere (T), der var placeret henholdsvis ca. 75 cm og ca. 150 cm fra kanten af stakken. Loggerne registrerede temperaturen med 2 timers interval.

Vandindhold: Med det formål at registrere en eventuel vandbevægelse i jorden, blev vandindholdet målt i 0-20 cm, 0-50 cm og 0-100 cm ved hjælp af Time Domain Reflectometry (TDR). TDR-proberne var placeret henholdsvis uden for stakken, ca. 100 cm og ca. 200 cm fra kanten (Fig. 1). Kabler fra TDR-proberne var ført ud til en målestation (m) uden for stakken.

Jordvandsanalyser: Indholdet af opløst organisk kulstof og kvælstof (total N, NH₄-N, NO₃-N og organisk N), samt jordvandets ledningsevne blev målt i jordvand suget op ved hjælp af Teflon sugeceller placeret udenfor (1 og 8) og under stakken (2 – 7) med ca. 1 m mellemrum (Fig. 1). Idet stakken ikke blev placeret helt som ønsket, kom sugecelle nr. 8 imidlertid til at ligge tæt ved kanten af stakken, således at kun nr. 1 kan siges at være helt upåvirket af stakken. Sugecellerne blev installeret i en vinkel på ca. 45° og en dybde på 35-40 cm (Fig. 2), og var med tynde slanger forbundet med hver deres opsamlingsflaske i målestationen (m). Med ca. 14 dages intervaller blev der med en batteridrevet vakuumpumpe sat sug på (-0,9 bar), og det opsamlede jordvand blev dagen efter transporteret til laboratoriet og opbevaret ved 2 °C indtil analysering.

Resultaterne af sugecellemålingerne i ca. 40 cm's dybde kan anvendes til at vurdere, hvad der er tabt fra markstakken, men ikke til at vurdere, hvad der udvaskes af afgrødernes rodzone. Det skyldes dels, at der også vil ske et tab ved denitrifikation og dels, at en afgrøde sået efterfølgende vil kunne optage noget af kvælstoffet.

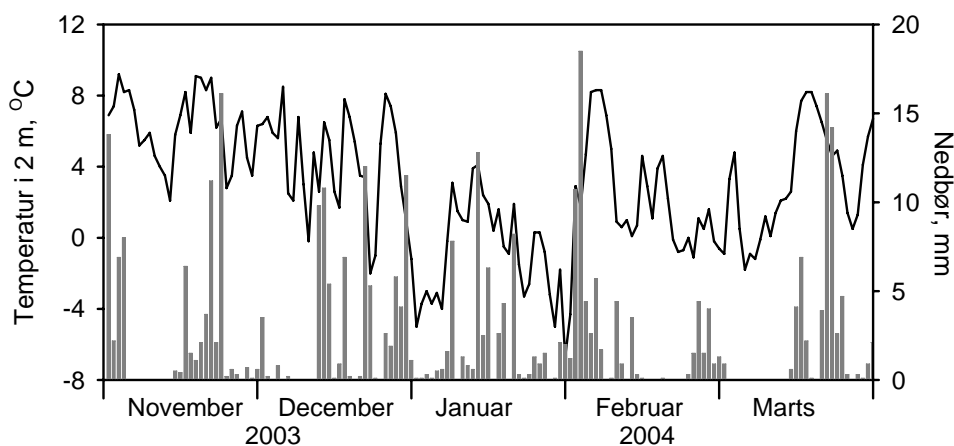


Figur 2. Placering af Teflon sugecelle, som via en slange er forbundet til opsamlingsflaske og vakuumpumpe.

Resultater

Klima

De klimatiske forhold har i måleperioden været som vist i Fig. 3. Middel lufttemperatur i 2 m varierede mellem -6,7 og +9,2 °C, med frost primært i to kortere perioder i januar måned.



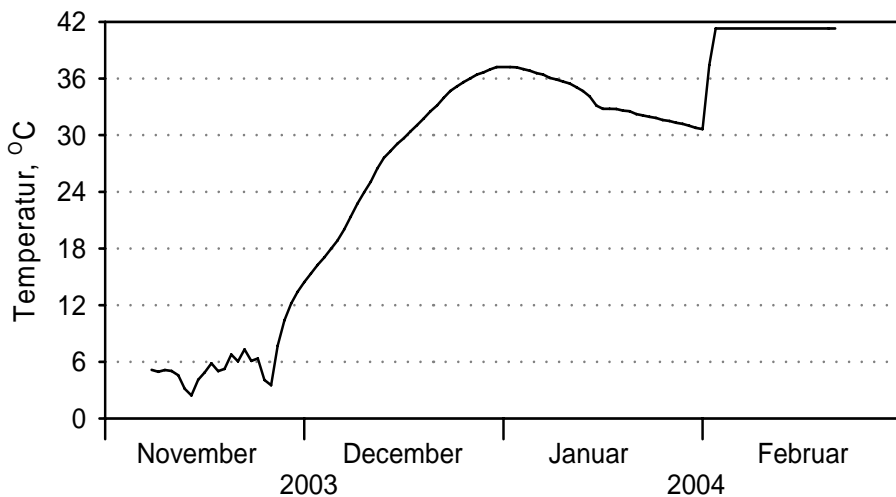
Figur 3. Lufttemperatur og nedbør i perioden november 2003 til marts 2004 fra DMI's 40 x 40 km grid nr. 11.

Nedbøren fordelte sig forholdsvis jævnt igennem perioden med 78,5 mm i november, 83,5 mm i december, 70,9 mm i januar, 57,1 mm i februar og 59,1 mm i marts. I måleperioden fra 7/11 til 25/3 faldt i alt 277 mm nedbør.

Jordtemperatur

På grund af tekniske problemer med den ene temperatur-logger er jordtemperaturen kun målt ca. 75 cm fra kanten af stakken (Fig. 4). I perioden indtil etablering af stakken den 25/11 varierede jordtemperaturen mellem 2,5 og 6 °C, hvorefter temperaturen steg til maksimum 37,5 °C og faldt igen til omkring 30 °C. Der opstod også i denne føler en teknisk fejl, hvorfor temperaturen i den efterfølgende periode lå konstant på 41,5 °C.

Den høje temperatur har givetvis medført en stor ekstra mineralisering, således at en væsentlig del af det kvælstof, der er opsamlet stammer fra jordens organiske kvælstofpulje og ikke fra dybstrøelsen. Den høje temperatur gør, at forudsætningen, om at nettomineraliseringen under markstakken i løbet af vinterhalvåret ikke overstiger 90 kg N pr. ha. ikke holder (side 2).



Figur 4. Jordtemperatur ca. 10 cm under stakken.

Jordfugtighed

Målinger af jordens fugtighed blev foretaget med TDR-prober à 20, 50 og 100 cm's længde, hvorved et gennemsnits vandindhold i henholdsvis 0-20, 0-50 og 0-100 cm kunne måles (Tabel 2), og en eventuel nedadgående vandbevægelse herefter beregnes.

Tabel 2. Jordens vandindhold (vol. %) i 0-20, 0-50 og 0-100 cm målt henholdsvis udenfor stakken og to steder under stakken.

probelængde	Udenfor stakken			Under stakken					
	20	50	100	20	50	100	20	50	100
07-11-2003	i.m.	i.m.	i.m.	19.3	i.m.	i.m.	17.8	i.m.	19.9
17-11-2003	20.38	16.58	16.39	20.01	15.91	18.38	18.68	14.81	19.38
25-11-2003	24.14	20.81	19.02	23.77	19.47	20.85	25.25	*1	27.36
05-12-2003	22.42	17.86	17.01	23.62	17.43	19.06	i.m.	i.m.	i.m.
18-12-2003	24.83	20.39	18.85	i.m.	29.13	41.61	31.06	i.m.	i.m.
06-01-2004	21.42	14.77	16.03	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
03-02-2004	27.78	23.69	21.65	41.56	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
19-02-2004	*1	16.93	16.67	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.

i.m.: ikke måleligt da der ikke var noget endpoint

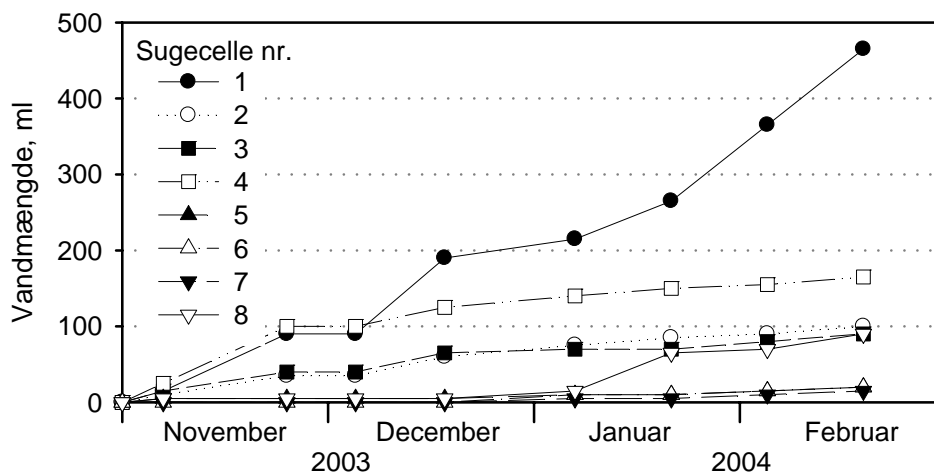
*1: ikke måleligt trace (kablet er måske ikke i orden)

TDR-proberne blev installeret den 7/11, og som følge af at der endnu ikke var opnået kontakt mellem proberne og jordvæsken, var det på denne dato ikke muligt at opnå en komplet måling. Målingerne uden for stakken forløb herefter planmæssigt, hvor det bl.a. kan bemærkes, at vandindholdet steg i perioden 17/11 – 25/11 svarende til en nedbørsrig periode (Fig. 3). Under stakken opstod der problemer med at aflæse TDR-proberne allerede 10 dage efter at stakken var etableret, hvilket sandsynligvis skyldes en forhøjet ion-styrke i jordvæsken, som interfererer med TDR-signalet. Dette blev senere bekræftet af en væsentligt højere ledningsevne (Tabel 3) i jordvandet under stakken (6-7 mS/cm) end uden for stakken (0,1-0,4 mS/cm).

Jordvand

Mængden af jordvand, der kunne opsamles, var stærkt afhængig af sugecellens placering (Fig. 5).

Fra nr. 1 (uden for stakken) blev der i alt opsamlet 465 ml, hvorimod det blev til maksimalt 165 ml (nr. 4) fra sugecellerne under stakken. I sugecelle nr. 5 var der så lidt vand, at det kun var muligt at analysere en enkelt gang, og i nr. 6 og 7 var der ikke nok til at analysere overhovedet.



Figur 5. Akkumulerede mængder vand opsamlet fra sugecellerne

Jordvandets ledningsevne

Udenfor stakken (sugecelle nr. 1) var jordvandets ledningsevne igennem hele måleperioden på et forholdsvis lavt niveau (Tabel 3). I de øvrige sugeceller steg ledningsevnen markant efter etablering af stakken og endte med at være 10-20 gange højere end uden for stakken.

Tabel 3. Ledningsevne (mS/cm (20°C)) igennem måleperioden i jordvand fra sugecelle 1-8. Tomme felter angiver at der ikke var væske nok til en analyse.

Dato	Sugecelle nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
08-11-2003	0.1	0.2	0.2	0.3	1.0			0.6
25-11-2003	0.2	0.7	0.7	1.6				
19-12-2003	0.4	0.1	0.7	0.3				
05-01-2004	0.2	3.2		1.9				
21-01-2004	0.2	4.3		3.1				1.4
04-02-2004	0.2	6.2		1.3	5.8			
18-02-2004	0.3	6.7		4.5				2.0

Jordvandets indhold af opløst organisk kulstof

Ligesom for ledningsevnen var jordvandets indhold af opløst organisk kulstof uden for stakken (sugecelle nr. 1) igennem måleperioden på et forholdsvis lavt niveau (Tabel 4). I de øvrige sugeceller steg indholdet markant efter etablering af stakken og endte med at være 70-400 gange højere end uden for stakken.

Tabel 4. Jordvandets indhold af opløst organisk kulstof (mg C/l) igennem måleperioden i sugecelle 1 - 8. Tomme felter angiver at der ikke var væske nok til en analyse.

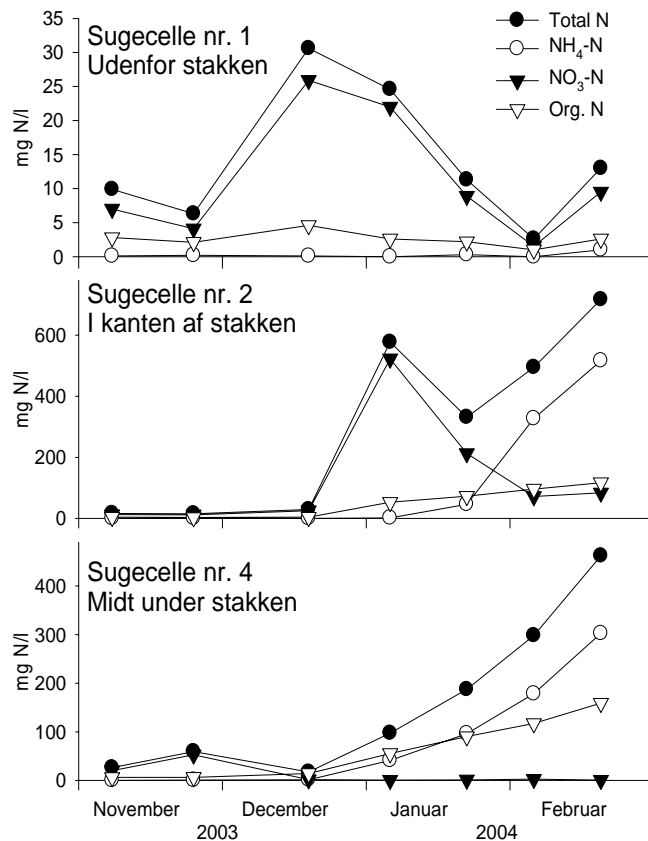
Dato	Sugecelle nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
08-11-2003	9.4	16.3	13.7	19.5				
25-11-2003	9.9	18.1	8.0	13.8				
19-12-2003	5.2	12.8	12.3	63.9				
05-01-2004	4.2	75.3	25.7	553.9	1155.0	1073.0	647.8	13.0
21-01-2004	5.5	139.7						7.1
04-02-2004	6.8							
18-02-2004	4.1	1763.8		426.3				292.1

Jordvandets indhold af kvælstof

Ligeså var jordvandets indhold af kvælstof udenfor stakken (sugecelle nr. 1) igennem hele måleperioden på et forholdsvis lavt niveau (Tabel 4). I de øvrige sugeceller steg indholdet markant efter etablering af stakken og total N endte med at være 50-100 gange højere end udenfor stakken.

Fra sugecellerne 1, 2 og 4 kunne der opsamles tilstrækkelige mængder vand til at analyser kunne foretages efter hver prøveudtagning, og udviklingen i kvælstofindholdet kunne således følges igennem måleperioden i disse tre sugeceller (Fig. 6). De tre sugeceller repræsenterer henholdsvis situationen udenfor, ca. 75 cm fra kanten og under midten af stakken.

Uden for stakken varierede indholdet af total-N mellem 3 og 30 mg/l, og NO₃-N udgjorde fra 70 til 90% af total N. Indholdet af NH₄-N var lavt (<1 mg/l), og organisk N udgjorde således mellem 10 og 30% af total-N.



Figur 6. Udviklingen igennem måleperioden i jordvandets indhold af kvælstof i sugecellerne 1, 2 og 4.

Forskellene i de målte koncentrationer er ikke udtryk for tilsvarende forskelle i udvaskningstabene ud af rodzonen. Det skyldes, at vandgennemstrømningen under stakken formentlig er mindre end udenfor og at der vil ske en kraftig denitrifikation på grund af det store indhold af opløst organisk stof under stakken.

Tabel 5. Jordvandets indhold af total N, NH₄-N, NO₃-N og organisk N i mg/l. Tomme felter angiver, at der ikke var væske nok til en analyse.

Total N, mg/l

Dato	Sugecelle nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
08-11-2003	9.9	16.6	30.6	26.2	13.3			16.9
25-11-2003	6.3	15.1	37.2	59.4				
19-12-2003	30.6	29.2	57.2	17.2				
05-01-2004	24.6	577.2		97.2				
21-01-2004	11.3	331.2		187.2				43.8
04-02-2004	2.6	495.0		298.1	1143.0			
18-02-2004	13.0	717.0		462.0				174.6

NH₄-N, mg/l

Dato	Sugecelle nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
08-11-2003	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3			1.0
25-11-2003	0.2	0.4	0.7	0.5				
19-12-2003	0.1	0.1	0.1	1.4				
05-01-2004	0.0	1.6		41.3				
21-01-2004	0.3	46.0		96.1				19.0
04-02-2004	0.0	327.1		178.2	1031.1			
18-02-2004	1.0	516.3		302.4				98.7

NO₃-N

Dato	Sugecelle nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
08-11-2003	7.0	12.4	25.2	20.0	7.2			11.6
25-11-2003	4.1	11.6	33.2	52.6				
19-12-2003	25.9	25.0	50.5	1.6				
05-01-2004	22.0	522.6		0.6				
21-01-2004	8.9	212.6		1.0				5.0
04-02-2004	1.5	72.0		2.7	1.6			
18-02-2004	9.5	83.8		0.6				0.8

Organisk N, mg/l

Dato	Sugecelle nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
08-11-2003	2.8	4.1	5.2	6.0	5.8			4.3
25-11-2003	2.1	3.1	3.3	6.3				
19-12-2003	4.6	4.1	6.6	14.2				
05-01-2004	2.6	53.0		55.3				
21-01-2004	2.2	72.6		90.1				19.8
04-02-2004	1.0	95.9		117.2	110.3			
18-02-2004	2.6	116.9		159.0				75.1

Endelig vil en afgrøde sået efterfølgende optage noget af kvælstoffet.

I sugecelle 2 og 4, som var placeret under stakken, blev der hen igennem måleperioden målt stigende koncentrationer, og i slutningen af perioden var koncentrationen af total-N henholdsvis 717 og 465 mg/l (Fig. 6). Det skal bemærkes, at der i disse celler skete en kraftig stigning i indholdet af NH₄-N, og at indholdet af NO₃-N var på et forholdsvis lavt niveau. Dette hænger sandsynligvis sammen med det høje indhold af organisk stof (Tabel 4) og den forholdsvis høje temperatur (Fig. 4), som har forårsaget en øget omsætning/iltforbrug, hvorved der hurtigt er opstået anaerobe forhold og nitrifikationen er gået i stå.

Sammendrag og konklusion

Sammenfattende om forholdene under en halmdækket markstak antyder resultaterne af disse detailundersøgelser at

- der i løbet af kort tid efter etablering af stakken sker en kraftig stigning i temperaturen som følge af kompostering og efterfølgende frigivelse af opløst organisk N.
- frigivelsen af organisk kulstof og kvælstof medfører en kraftig stigning i den mikrobielle aktivitet i de øverste jordlag, hvorved der hurtigt opstår anaerobe forhold og mineraliseret N forbliver på NH_4 -form.
- der som følge af en forholdsvis lille gennemstrømning af stakken sker en ophobning af NH_4 -N og organisk N i de øverste jordlag understakken
- den mindre gennemstrømning betyder, at forskellen i målte koncentrationer ikke siger noget om forskelle i tab til vandmiljøet
- det store indhold af opløst organisk stof betyder ideelle forhold for denitrifikation
- den ringe dybde, sugecellerne har været placeret i, betyder, at resultaterne herfra ikke siger noget om tabet til større dybde, fordi en afgrøde sået efterfølgende vil optage noget af kvælstoffet.
- efter at stakken er fjernet er der en stor risiko for at de meget store mængder kvælstof, der er "lagret" under i de øverste jordlag, kan blive udvasket.

Resultater af analyser af dybstrøelsen og målinger af N-min i jorden

Analyser af dybstrøelsen

I tabel 6 er vist resultaterne af de gennemførte analyser for tørstof, indhold af næringsstoffer samt reaktionstal og i tabel 7 er vist resultaterne fra markstak nr. 2, hvor prøvetagning og analyse er gentaget både ved etablering og udspredding af markstakken.

Tabel 6. Resultater af analyser af dybstrøelsen ved etablering af de syv markstakke. Resultaterne fra markstak nr. 2 gennemsnit af fem prøver.

Markstak	Analyser					pH
	Total N	Ammonium-N	Fosfor	Kalium	Tørstof pct.	
	Pct. af ts	Pct. af ts	Pct. af ts	Pct. af ts		
1	1.6	0.2	0.3	1.6	24.8	7.9
2	2.8	0.9	1.6	5.9	28.2	8.4
3	1.4	0.4	0.5	1.3	29.9	8.3
4	1.2	0.1	0.3	2.0	24.7	-
5	2.8	0.6	0.6	6.0	24.1	8.7
6	3.4	1.6	1.8	12.4	26.0	-
7	3.7	3.3	1.8	5.7	34.2	8.4
Gns.	2.3	0.9	0.9	4.4	28.4	8.3
Min	1.2	0.1	0.3	1.3	24.1	7.9
Maks	3.7	3.3	1.8	12.4	34.2	8.7

I forbindelse med markstak nr. 2 er der gennemført de detailundersøgelser, som er beskrevet oven for af Danmarks JordbrugsForskning. Desuden er prøvetagningen af dybstrøelsen gennemført 5 gange ved både etablering og udspredding. Stakken vejede ved udbringning ca. 84 tons og ved udspredding ca. 47 tons eller ca. 56 pct. af den mængde, der blev lagt i stakken. På grundlag af analyseresultaterne kan det beregnes, at der har været ca. 660 kg N i markstakken ved etablering og ca. 360 kg N ved udspredding. Overdækningen har været 25-30 cm halm (tabel 1).

Ved etablering af markstakken er de fem prøver af stakken udtaget ved for hver prøve at gå omkring den færdige stak og for hver ca. 2 meter at udtage en klump – i alt 24 stk. Alle disse klumper er blandet, og der er herefter udtaget en delprøve, som er sendt til laboratoriet.

Ved udspredding af stakken er der lagt et stykke plastik (4 m²), hvorefter sprederen har kørt henover, hvorefter der er udtaget en delprøve. Dette er gentaget fem gange.

Resultaterne af de gentagne prøvetagninger og analyser i tabel 7 viser en meget betydelig forskel mellem de enkelte prøver. F.eks. har den gennemsnitlige tørstofprocent ved etablering af markstakken har været 28,2, men der har været en variation fra 19,5 til 34,2 pct. Ved udspredding af markstakken har variationen været af samme størrelsesorden.

Resultater af N-min målinger

Der er gennemført målinger af N-min indholdet til 1 m's dybde før etablering af markstakkene og ved udspredding af stakkene. Før etablering er der taget en fællesprøve for det areal, hvor markstakken skulle placeres. Umiddelbart efter, at markstakken var spredt blev der udtaget prøver tre steder:

- hvor markstakken havde ligget
- hvor markstakken havde ligget på plastik
- ved siden af markstakken.

Tablet 7. Analyser af dybstrøelsen i markstak nr. 2. Ved både etablering og udspredding af markstakken er der gennemført fem prøvetagninger og analyser.

Markstak	Måletid	Prøve nr.	Gødningsanalyser					pH
			Total N	Ammonium-N	Fosfor	Kalium	Tørstof	
			Pct. af ts.	Pct. af ts.	Pct. af ts.	Pct. af ts.	Pct.	
2	Ved etablering	1	3.3	1.0	1.7	4.9	19.5	8.2
		2	3.0	1.1	2.5	7.2	25.8	8.6
		3	2.4	0.8	1.4	5.1	34.2	8.8
		4	2.1	0.7	1.5	5.0	32.1	8.4
		5	3.0	1.0	0.9	7.3	29.3	8.1
		Gns	2.8	0.9	1.6	5.9	28.2	8.4
		Min	2.1	0.7	0.9	4.9	19.5	8.1
		Maks	3.3	1.1	2.5	7.3	34.2	8.8
	Ved spredning	1	2.9	1.4	0.9	2.9	24.4	-
		2	1.7	0.9	0.5	1.9	44.2	-
		3	2.0	0.7	0.6	2.7	32.8	-
		4	1.7	0.4	0.8	2.3	40.6	-
		5	3.0	1.2	1.0	3.6	27.4	-
		Gns	2.3	0.9	0.7	2.7	33.9	-
		Min	1.7	0.4	0.5	1.9	24.4	-
		Maks	3.0	1.4	1.0	3.6	44.2	-

Resultaterne af N-min målingerne fremgår af tabel 8, hvor resultaterne er vist for de enkelte lag og for hele dybden 0-100 cm. Resultaterne viser en meget betydelig stigning i N-min indholdet under markstakken, både hvor der havde været plastik under stakken og hvor der ikke havde. Stigningen har dog været betydeligt større, hvor ikke har været plastik. Det er forskelligt, hvor langt ned i profilet, der har været en stigning i N-min indholdet.

Resultaterne i tabel 8 viser, at der i næsten alle tilfælde er sket en stigning i N-min indholdet under stakken (2*) ned til 75 eller 100 cm's dybde. Resultaterne af målingerne foretaget, hvor markstakken har ligget på plastik (3*) viser kun i enkelte tilfælde en stigning i N-min indholdet under ½ m's dybde.

På grundlag af målinger i forbindelse med markstak nr. 2 blev det beregnet, at der var ca. 660 kg N i markstakken ved etablering. Af tabel 8 fremgår, at den stigning, der skyldes nedvaskning af kvælstof fra markstakken og ned i rodzonen, har været ca. 30 kg N pr. 100 m². Da markstak 2 havde en størrelse på ca. 130 m², svarer det til en kvælstofophobning, som skyldes nedvaskning på 40 kg N eller ca. 6 pct. af den kvælstofmængde, der blev placeret i markstakken. Til sammenligning tjener, at iflg. målingerne har det samlede kvælstoftab under

opbevaring i markstakken været på ca. 300 kg N, hvoraf hovedparten formentlig har været ammoniakfordampning.

Bortset fra en enkelt markstak (nr. 4) har ammoniumkvælstof udgjort næsten 100 pct. af N-min indholdet i alle lagene ned til 1 m's dybde. Under plastikken har der været store forskelle, hvor stor en andel ammonium har udgjort af N-min indholdet. Resultaterne er ikke vist i tabellen.

Tabel 8. Resultater af N-min målinger før etablering og efter udspredning af markstakkene. Resultaterne er angivet i kg pr. 100 m². En almindelig størrelse af markstakkene har været ca. 150 m²

Markstak	Tidspunkt	Sted	N-min, kg pr. 100 m ²				
			0-25 cm	25-50 cm	50-75 cm	75-100 cm	0-100 cm
1	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	-	-	-	-	-
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	6.29	1.19	0.68	0.17	8.32
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	0.79	0.46	0.24	0.24	1.72
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.23	0.16	0.15	0.09	0.62
2	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.22	0.08	0.13	0.39	0.81
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	17.00	10.99	4.09	3.70	35.79
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	4.50	1.62	0.53	0.04	6.70
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.45	0.42	0.37	0.24	1.48
3	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.15	0.11	0.09	0.09	0.45
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	5.39	1.13	0.60	0.88	8.01
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	0.96	0.23	0.11	0.88	2.17
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.19	0.06	0.06	0.18	0.48
4	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.14	0.17	0.19	0.16	0.66
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	3.10	1.49	0.37	0.27	5.23
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	1.42	0.35	0.15	0.18	2.10
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.17	0.15	0.10	0.08	0.50
5	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.16	0.04	0.06	0.11	0.36
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	4.82	1.91	0.36	0.17	7.25
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	1.97	1.13	0.44	0.17	3.71
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.17	0.11	0.08	0.08	0.44
6	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.14	0.15	0.15	0.13	0.56
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	11.14	3.26	0.68	0.67	15.75
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	2.07	0.88	0.28	0.21	3.44
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.13	0.11	0.09	0.09	0.41
7	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.35	0.21	0.11	0.10	0.77
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	7.38	1.04	0.36	0.63	9.40
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	1.37	0.26	0.08	0.08	1.80
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.17	0.07	0.04	0.05	0.33
Gns.	N-min prøve ved etablering	Mark (1*)	0.19	0.13	0.12	0.16	0.60
	N-min ved spredning af stak	Stak (2*)	7.87	3.00	1.02	0.93	12.82
	N-min ved spredning af stak	Plast (3*)	1.87	0.70	0.26	0.26	3.09
	N-min ved spredning af stak	Ref. (4*)	0.21	0.15	0.13	0.12	0.61

(1*) N-min måling foretaget i marken før placering af markstak

(2*) N-min måling foretaget, efter at markstakken er fjernet og hvor markstakken har ligget

(3*) N-min måling foretaget, efter at markstakken er fjernet og hvor markstakken har ligget, men under plastic

(4*) N-min måling foretaget ved siden af markstakken, efter at markstakken er fjernet

I tabel 9 er vist nogle karakteristika ved de syv markstakke samt de målte N-min indhold efter udspredning af stakkene. Der er også vist forholdet mellem N-min under stakken og N-min på referencearealet ved siden af markstakken samt forholdet mellem N-min under den del af stakken, hvor stakken har ligget på plastik.

Af oplysningerne og måleresultaterne i tabel 9 fremgår, at der ikke er nogen sammenhæng mellem hverken ophobningen af N-min i jorden og overdækningen og mellem ophobningen af N-min i jorden og den målte tørstofprocent i dybstrøelsen ved etablering. Sidstnævnte skal ses i sammenhæng med den store sikkerhed på måling af tørstofindholdet i dybstrøelsen.

Tabel 9. Karakteristik af dybstrøelsen i de syv markstakke samt de målte N-min indhold.

Markstak	Dyreart	Anal måneder i stalden	Tør/våd/medium	Tørstof pct. v. etablering	Overdækning	N-min, 0-100 cm, kg pr. 100 m ²		
						Stak (1*)	Plast (2*)	Ref (3*)
1	Slagtesvin	-	Medium	24.8	Plast	8.32	1.72	0.62
2	Slagtesvin	3	Medium	28.2	Halm, 25-30 cm	35.79	6.70	1.48
3	Søer og slagtesvin	3	Medium	29.9	Ingen	8.01	2.17	0.48
4	Malkekøer og kalve	2-3	Medium	24.7	Halm, 30 cm	5.23	2.10	0.50
5	Malkekøer	2	Medium	24.1	Halm+plast	7.25	3.71	0.44
6	Tyrekalve	8	Medium	26.0	Plast	15.75	3.44	0.41
7	Slagtesvin	3	Tør	34.2	Plast	9.40	1.80	0.33
Gns.				27		12.82	3.09	0.61
Min				24		5.23	1.72	0.33
Maks				34		35.79	6.70	1.48

(1*) N-min måling foretaget, efter at markstakken er fjernet og hvor markstakken har ligget

(2*) N-min måling foretaget, efter at markstakken er fjernet og hvor markstakken har ligget, men under plastic

(3*) N-min måling foretaget ved siden af markstakken, efter at markstakken er fjernet

Diskussion

Resultaterne af analyserne af dybstrøelsen (tabel 7) varierer meget på trods af stor omhyggelighed ved prøvetagningen. Den generelt store variation betyder, at det ikke giver mening at anvende resultaterne af enkeltmålinger til at karakterisere markstakkerne mht. f. eks. tørstofprocent.

Resultaterne i tabel 6 kan således ikke anvendes til at fortolke resultaterne af N-min målingerne f. eks. med hensyn til betydningen af tørstofprocent eller næringsstofindhold. Hertil er usikkerheden på en enkelt analyse af dybstrøelsen for stor.

I tabel 8 og 9 er resultaterne af N-min målingerne vist i enheden kg pr. 100 m². En almindelig størrelse for markstakkerne i projektet har været omkring 150 m². Ved vurdering af tallene i tabel 8 skal man være opmærksom på, at kun en del af stigningen i N-min indholdet går til udvaskning ud af rodzonen. Der vil også ske et tab ved denitrifikation og en del vil blive optaget af de efterfølgende afgrøder.

For markstak nr. 2 (side 12) blev beregnet, at ca. 6 pct. af den kvælstofmængde, der var i stakken ved etablering blev nedvasket. I den konkrete stak betyder det, at ca. 40 kg blev nedvasket under lagringen i marken. Da markstakkens størrelse var ca. 130 m², betyder det, at stigningen i gennemsnit for en ha har været ca. 0,5 kg N. En betydelig del af det nedvaskede kvælstof vil tabes i luftform ved denitrifikation, fordi der er betydelige mængder organisk stof tilstede (side 7-8) og fordi ammoniumforbindelserne omdannes til nitrat. Herudover vil en mindre del af det nedvaskede kvælstof blive optaget i de følgende afgrøder.

Tabene fra de øvrige markstakke kan vurderes ud fra tabel 9 (forskellen mellem N-min under stak og N-min under plast og tabel 1 (markstakkens størrelse)). Tabene vurderes på denne måde til at variere mellem 3 og knap 40 kg N pr. markstak. Vurderet ud fra sugecellemålingerne (tabel 5) udgør N-min ca. 2/3 af det samlede tab, resten er organisk kvælstof. Det samlede tab er altså af størrelsesordenen 50 pct. større end tabet vurderet ud fra N-min målingerne alene.

Ud fra en arealmæssig betragtning er risikoen for miljøet ved nedvaskning af kvælstof af markstakke uden betydning. De høje koncentrationer, der kan være tale om, betyder imidlertid, at markstakke ikke bør placeres tæt ved vandforsyninger eller dræn med direkte forbindelse til vandløb o. lign. Der er således også afstandskrav til vandindvindingsanlæg, vandløb mv. (Kjær, H. m. fl. 2004).

Ændringen i N-min indholdet under markstakken (2* i tabel 8) skyldes nedsivning fra markstakken, mineralisering og udvaskning ud af profilen. Ændringen i N-min indholdet under den del af markstakken, der har ligget på plastik (3* i tabel 8) skyldes mineralisering og kun i meget begrænset omfang udvaskning ud af profilen. Ændringen i N-min indholdet i referencemarken (4* i tabel 8) skyldes mineralisering og udvaskning ud af profilen.

Af tabellen fremgår det, at der er sket en meget betydelig stigning i N-min indholdet under den del af markstakkene, der har ligget på plastik. Det er dog bemærkelsesværdigt, at det stort set kun er i den øverste halve meter – altså stadig i rodzonen, stigningen er sket. I gennemsnit er der målt over 3 kg N pr. 100 m². under den del af markstakkene, der har ligget på plastik og godt 0,6 kg N i referencemarkerne. Den voldsomme mineralisering under markstakkene skyldes, at der sker en betydelig temperaturstigning (se figur 4) i de øverste jordlag under markstakkene. I markstak nr. 2 har temperaturen i ca. 3 måneder været 35-40 °C. Selv der, hvor der ikke er sket nedvaskning af kvælstofforbindelser fra stakken og ned i jorden har den øgede mineralisering altså medført en stigning i N-min indholdet på grund af forøget mineralisering i en størrelsesorden på 2,5 kg N pr. 100 m².

Den betydelige stigning i temperaturen og dermed i mineraliseringen under en markstak betyder, at forudsætningen om, at nettomineraliseringen i 180 dage kun sjældent overstiger 0,9 kg N pr. 100 m², sandsynligvis ikke holder. Konsekvensen heraf er, at forudsætningen om, at en eventuel nedsivning fra en markstak vil være meget synlig i N-min målingerne (side 2), sandsynligvis heller ikke holder i alle tilfælde.

I gennemsnit er der målt knap 13 kg N-min pr. 100 m². under markstakkene og 3 kg N pr. 100 m², hvor markstakken har ligget på plastik. Den del, der skyldes nedvaskning af kvælstofforbindelser fra markstakkene og ned i jorden, er altså i gennemsnit af størrelsesordenen 10 kg N pr. 100 m².

Resultaterne af målingerne i forbindelse med markstak nr. 2 viser, at det samlede kvælstoftab under lagring i marken har været meget betydeligt og tæt på 50 pct. af den kvælstofmængde, der var ved etablering. Langt hovedparten af tabet er sket i form af ammoniakfordampning og denitrifikation. Markstakken har ikke været overdækket efter reglerne gældende efter 1. august 2004, som siger, at markstakke skal overdækkes straks efter udlægning. Engelske undersøgelser (Chadwick, D.R., et al., 2002) har vist, at der sker en meget betydelig reduktion i ammoniakfordampningen ved overdækning, men undersøgelserne viser også, at det er en forudsætning, at overdækningen er tæt. Undersøgelser udført af Forskningscenter Bygholm viser, at kompostdug reducerede kvælstoftabet fra 28 til 15 pct.

Konklusion

Ved vurdering af de konklusioner, der kan drages på grundlag af undersøgelserne, skal man huske, der er tale om kun syv markstakke med en begrænset variation i bl.a. tørstofindhold. Det ville have styrket undersøgelsens konklusioner, hvis der i datamaterialet havde været markstakke med en meget høj tørstofprocent.

Undersøgelsen viser,

- at man ikke på grundlag af en enkelt prøve, kan karakterisere en dybstrøelse mht. tørstof- og næringsstofindhold
- at omsætningen i en markstak forårsager en meget betydelig forøgelse af temperaturen i pløjelaget, som sammen med nedvaskningen af organiske kvælstofforbindelser kan forårsage en meget betydelig stigning i den mikrobielle aktivitet i de øverste jordlag
- at alene den stigning i jordtemperaturen, som en markstak af dybstrøelse forårsager, fører til en forøgelse i mineraliseringen, som gør, at N-min indholdet i 0-100 cm's dybde under markstakken er 5-10 gange højere end i marken ved siden af markstakken, selv hvor der ikke sker en nedvaskning af kvælstofforbindelser fra markstakken.
- at, hvis N-min indholdet, 0-100 cm, hvor markstakken har ligget, er mere end 10 gange større end i referencemarken, er der stor sandsynlighed for, at der er sket en nedvaskning af kvælstofforbindelser fra markstakken og ned under rodzonen. Undersøgelsen viser imidlertid ikke noget om, hvor meget der vil blive udvasket og hvor meget der vil blive denitrificeret eller optaget i den efterfølgende afgrøde.
- at der med nedvaskning af organisk stof til rodzonen skabes et miljø med optimale betingelser for denitrifikation, hvilket kan betyde, at kun en del af den ophobede kvælstofmængde vil udvaskes efter at markstakken er fjernet. En del af den ophobede kvælstofmængde vil endvidere kunne udnyttes af de efterfølgende afgrøder.
- at, selv hvor N-min indholdet har været højest, er det kun ca. 6 pct. af den oplagrede kvælstofmængde, der er vasket ned i rodzonen. På grundlag af N-min målingerne er det en forsigtig vurdering, at nedvaskningen fra de øvrige markstakke har været 1-3 pct. af den kvælstofmængde, der blev placeret i markstakkerne.
- at det, på det foreliggende grundlag ikke kan konkluderes, om årsagen til nedsivningen er en for lille tørstofprocent i dybstrøelsen eller en for ringe overdækning. Derfor kan det heller ikke konkluderes hvilke ændringer i driftspraksis, der er nødvendige for at hindre udvaskningen.
- at det er muligt at udvikle et koncept, hvor man på grundlag af en N-min måling til 1 m's dybde, hvor markstakken har ligget, kan vurdere, om der er sket en nedvaskning af kvælstofforbindelser fra markstakken.
- at det foreløbig vurderes, at indholdet af N-min under de fleste markstakke kan holdes under 15 kg N pr. 100 m², og at der kan dannes basis for en foreløbig vurdering af praksis på grundlag af en N-min måling. Opmærksomheden henledes på, at udvaskningen kun er en mindre del af det samlede tab under opbevaring.

Forslag til koncept

Udtagning af N-min prøver

Der udtages prøver, hvor markstakken har ligget. Jordprøverne udtages til 1 m's dybde. Der udtages mindst 16 stik, som blandes til en samlet prøve

- N-min indholdet 0–100 cm under stakken: **0-10 kg N pr. 100 m²**
Normalt niveau vurderet ud fra de markstakke, der er målt i projektet. Det vurderes, at der er sket en nedsivning på 0-2 % af det opbevarede kvælstof.
- N-min indholdet 0-100 cm under stakken: **10-20 kg N-min pr. 100 m²**
Højt niveau vurderet ud fra de markstakke, der er målt i projektet. Det vurderes, at der er sket en nedsivning på 2-4 % af det opbevarede kvælstof.
- N-min indholdet 0-100 cm under stakken: **over 20 kg N-min pr. 100 m²**
Meget højt niveau vurderet ud fra de markstakke, der er målt i projektet. Det vurderes, at der er sket en nedsivning på over 4 % af det opbevarede kvælstof

Referencer

Chadwick, D. R., et al., 2002

Management practice to reduce ammonia emissions from pig and cattle manure stores
Publiceret på: RAMIRAN 2002. Tenth International Conference of European Cooperative Research network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture.

Kjær, H. m. fl. 2004

Vejledning om etablering og overdækning af kompost i markstakke samt overdækning af fast gødning.

Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret

Sommer, S. G. m. fl. 2000

Husdyrgødning og kompost. Næringsstofudnyttelse fra stald og mark

Føjo-rapport nr. 7

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug