

Redegørelse vedrørende udbringning af gylle på frossen jord



Bo Vangsø Iversen og Peter Sørensen

Institut for Agroøkologi

Aarhus Universitet

E-mail: bo.v.iversen@agrsci.dk

Problemstilling

Udbringning af gylle på landbrugsjord er i Danmark underlagt en række regulativer, der fordrer en begrænset udledning af næringsstoffer til det omgivende vandmiljø samt sikrer, at nærmiljøet påvirkes mindst muligt af lugtgener. I vinterhalvåret, hvor effekten af husdyrgødningen på planterne er lille, og risikoen for udvaskning til vandmiljøet er stor, er regulativerne tilsvarende stramme. I følge husdyrbeholdtørelsen må der generelt ikke i perioden fra høst til 1. februar udbringes flydende husdyrgødning på landbrugsarealer. Generelt er der forbud mod at udbringe husdyrgødning (og afgasset vegetabilsk biomasse, ensilagesaft, restvand og mineralsk gødning) på vandmættede, oversvømmede, frosne og snedækkede jorde. Jorden betragtes som værende vandmættet, når der kan opsamles frit vand i revner og sprækker selv flere timer efter nedbør. På bar jord betragtes jorden som værende frossen, når det pga. frost i jorden ikke er muligt at nedbringe husdyrgødningen. På landbrugsjord med afgrøder anses jorden for værende frossen, indtil jorden er optøet i hele pløjelagets dybde (mindst 15 cm). Overfladisk nattefrost betragtes ikke som frossen jord, hvis jorden optøs i løbet af dagen. Udover risiko for overfladeafstrømning og den dertilhørende forøgede risiko for tab af næringsstoffer til vandmiljøet kan gylleudbringning på (delvis) frossen jord også medføre andre uheldige følgegener i relation til plantevækst såsom svidningsskader og køreskader.

I vinteren 2013 var det koldt og tørt i en lang periode. Som et eksempel var middeltemperaturen i februar i Midt- og Vestjylland $-0,4\text{ °C}$ (normal 0 °C), og der faldt 24 mm nedbør (normal 42 mm), hvoraf hovedparten faldt i løbet af den første uge af måneden (www.dmi.dk). I marts lå middeltemperaturen på $-0,8\text{ °C}$ (normal $2,1\text{ °C}$), og der faldt kun 6 mm nedbør (normal 51 mm). Først ind i april satte tøvejret ind og, den vedvarende nattefrost forsvandt først omkring midten af april. Det langstrakte vintervejr skabte problemer for mange landmænd, da gylletankenes kapacitet var ved at være opbrugt. Landmændene var nødsaget til at transportere gyllen rundt til steder, hvor der var ledig opbevaringskapacitet, hvilket medførte ekstraudgifter og besvær for den enkelte landmand.

Nærværende rapport beskriver problemstillingerne i forhold til udbringning af gylle på frossen og delvist frossen jord herunder jordens infiltrationsevne, risiko for overfladeafstrømning samt tab af næringsstoffer.

Indhold

Problemstilling.....	3
Frossen jord.....	7
Vands infiltration i frossen jord.....	7
Infiltration af gyllevæske i jord.....	11
Tab af næringsstoffer i husdyrgødning.....	11
<i>Kvælstof</i>	11
<i>Fosfortab</i>	12
Overfladeafstrømning på frossen jord.....	13
Opsamling af næringsstoffer i randzoner/bufferzoner.....	16
Andre effekter af gylleudbringning på frossen jord.....	17
Konklusioner/anbefalinger.....	17
Litteratur.....	19

Frossen jord

En jord er frossen, når vandet i jordens porer er frosset til is fra jordoverfladen og ned. Der tales om en delvis frossen jord, når jorden er tøet op i overfladen, men stadig har et (eller flere) frosne lag i dybden. I Danmark antages den frostfri dybde at ligge i cirka 1 meters dybde.

Jordens temperatur er kontrolleret af energibevægelser i de øverste lag. Disse er kontrolleret af udvekslingen af varme og vand mellem atmosfæren og jordoverfladen samt af jordens varmeegenskaber. Temperaturændringer i jorden er hovedsageligt bestemt af den konduktive varmeoverførsel (overførsel af energi i kraft af temperaturforskelle) og kan derfor bestemmes ud fra teorien om varmeledningsevne. Jorden er ikke bare en simpel bestanddel, men består af forskellige lag, hvis varmeegenskaber er bestemt af mineralbestanddele, organisk indhold, densitet, temperatur og vandindhold. Vandet i jordens porerum kan forekomme på alle tre faser (væske, damp eller fast form). Alle tre faser kan forefindes i jorden samtidigt.

Studiet af den frosne jord kræver betragtninger af faseforandring og vandets frysepunkt. Når jordens temperatur bevæger sig frem og tilbage omkring vandets frysepunkt, bliver beskrivelsen af jordens termiske system yderligere kompliceret af de ændrede varmerelationer i forbindelse med vandets fase-skift. Faseskiftet forårsager ændringer i jordens varmeegenskaber og er derfor vigtigt at tage i betragtning, såfremt temperaturforandringer i jorden ønskes bestemt. Når vand bliver til is, vil dets varmeledningsevne stige betragteligt, varmekapaciteten vil falde til det halve, og der vil blive frigivet en forholdsvist stor mængde varme. Jordens varmeegenskaber kan derfor ændre sig signifikant selv med små ændringer i temperaturen omkring frysepunktet. Indholdet af vand spiller derfor en altafgørende rolle for energiudbredelsen i en frossen jord og dermed jordens temperatur og mængden samt fordelingen af frosset vand i jordens poresystem.

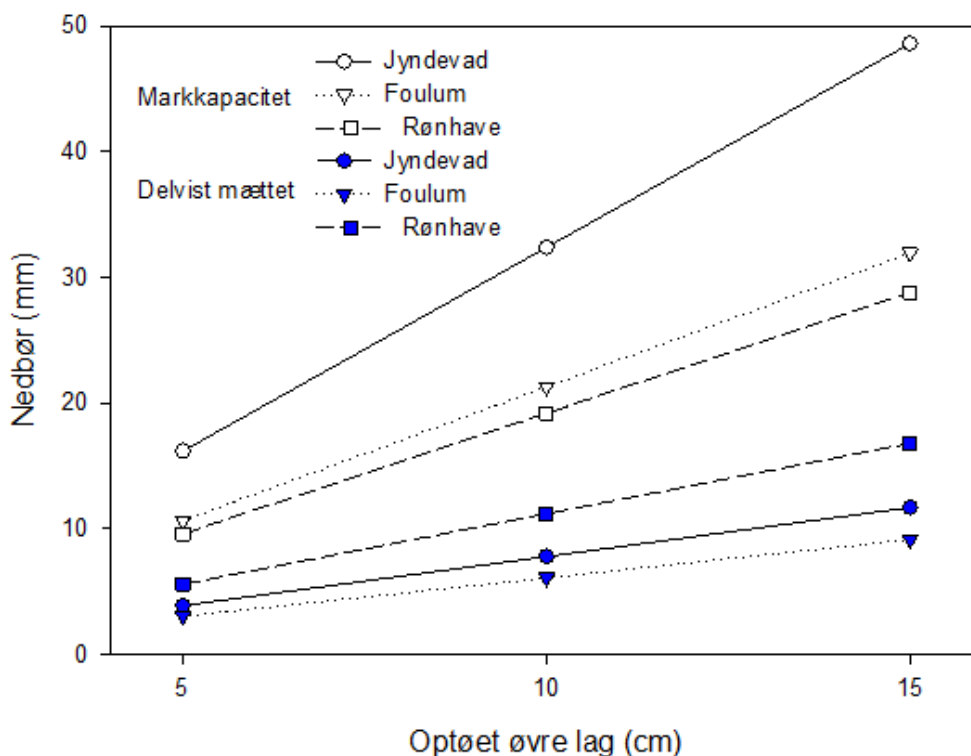
Vands infiltration i frossen jord

Er jorden frossen, er det åbenlyst, at dette vil have en stor indflydelse på dens evne til at infiltrere vand. At jorden er frossen betyder dog ikke nødvendigvis, at den er fuldstændig impermeabel over for vand. Den frosne jords vandledningsevne vil afhænge af de forskellige porestørrelses indhold af is. Infiltration af vand gennem en frossen jord er en kompliceret proces, der involverer hele jordens poresystem. Sætter frosten ind på et tidspunkt, hvor jordens vandindhold befinder sig på markkapacitet eller derunder, vil jordens største porer være tømt for vand, og disse vil dermed også være isfri. De allermindste porer vil være vandfyldte, men vil ligeledes være frostfri på grund af det høje undertryk i porevandet grundet de kapillærer kræfter. Isdannelsen i jorden vil i dette tilfælde kun ske i porer af mellemstørrelsen. Hvis det på et tidspunkt begynder at regne, eller den evt. overliggende sne begynder at smelte, vil vandtransporten i den frosne jord udelukkende ske gennem de meget små porer samt i de store luftfyldte porer, hvis disse er fri for is. Da små porer kun i en meget ringe grad er i stand til at transportere vand, er det altså først og fremmest jordens store porer, der vil være bestemmende for vandtransporten i jorden. En relativ tør, frossen jord vil derfor i starten af en nedbørsbegivenhed i

nogen grad være i stand til at lede en mindre mængde vand gennem jordsøjlen. Jordens store porer vil dog hurtigt blive fyldt med is, og jordens evne til at lede vandet vil herefter være minimal. Konservativt betragtet kan det derfor med rimelighed antages, at en frossen jord er tæt på at være uigennemtrængelig for vand (Zuzel m.fl. 1982, Froese m.fl. 1999, Williams m.fl. 2012, Watanabe m.fl. 2013). Nedbør på frossen jord eller smeltende sne på en frossen jord vil derfor hurtigt samle sig på jordoverfladen og kun meget langsomt infiltrere ned gennem jordsøjlen.

Hvis der falder nedbør på en delvist frossen jord, vil det optøede lag tæt på jordoverfladen være i stand til at optage og lede vandet videre ned gennem jordsøjlen, indtil det møder et uigennemtrængeligt frostlag. Hvis det frosne lag er relativt tyndt (få centimeter), og lufttemperaturen er høj, er der en mulighed for, at vandet i løbet af et stykke tid kan tø det frosne lag op, hvorved jorden opnår sine normale, hydrauliske egenskaber (Watanabe m.fl. 2013). Hvis det frosne lag er tykt (adskillige centimeter), vil det forblive næsten uigennemtrængeligt for det infiltrerende vand, og det øvre optøede øvre jordlag vil langsomt blive mere og mere vandmættet. Når jorden er vandmættet op til overfladen, vil der stå frit vand på jordoverfladen, der kun langsomt vil infiltrere ned gennem jordsøjlen.

Hvor megen nedbør, der skal falde, førend jordens opmagasineringskapacitet er opbrugt, afhænger af tykkelsen af det optøede lag, jordtype samt jordens forudgående vandindhold. Om vinteren, hvor fordampningen er lav, og hvor jorden eventuelt er frossen i dybden, vil jordens vandindhold ofte ligge over markkapacitet. Som det fremgår af Figur 1, vil det med et optøet lag på 10 cm ved et vandindhold ved markkapacitet (svarende til et vandpotentiale på -100 cm (pF 2)) skulle regne 32, 21 og 19 mm for henholdsvis en grovsandet jord (Jydevad, JB 1), lerblandet sandjord (Foulum, JB 4) og lerjord (Rønhave, JB 7), førend jordens opmagasineringskapacitet er opbrugt i det øvre optøede lag. For et tilsvarende, optøet lag på 10 cm men med et højere vandindhold (i dette tilfælde svarende til et vandpotentiale på -20 cm (pF 1,3)) skal der derimod kun falde henholdsvis 8, 6 og 11 mm regn på de samme jordtyper, førend det optøede jordlags opmagasineringskapacitet er opbrugt. Værdierne er beregnet ud fra differensen mellem jordenes porøsitet og respektive vandindhold ved de to vandpotentialer (Tabel 1).



Figur 1. Forskellige scenarier for et optøet øvre jordlag med et frossent dybere lag. Kurverne viser mængden af nedbør, der skal til, for at det øvre lag bliver mættet med vand. Scenarierne er udregnet for to forskellige realistiske vandindhold for vintersæsonen: pF 2 (markkapacitet) og pF 1,3 (delvist mættet) for tre forskellige jordtyper (Jynde vad (JB1)), Foulum (JB 4) og Rønhave (JB 7)).

I vinterhalvåret, hvor jordens vandindhold ofte befinder sig over markkapacitet, vil der altså kun skulle falde en minimal mængde regn, førend et evt. optøet lag over et dybereliggende frossent lag vil blive vandmættet. Jo mindre en tykkelse, det optøede jordlag har, jo hurtigere vil det blive fyldt op med vand. For en relativ våd Foulumjord (pF 1.3) med et optøet lag på 15 cm vil det skulle regne 9 mm, førend opmagasineringskapaciteten er brugt op. Hvis det optøede lag kun er 5 cm, vil det tilsvarende kun skulle regne tre gange så lidt (3 mm), førend jordens kapacitet er opbrugt.

Tabel 1. Vandkarakteristik for pløjelaget for de tre forskellige jordtyper

Lokalitet	Porøsitet (%)	Volumetrisk vandindhold v. pF2 (%)	Volumetrisk vandindhold v. pF1.3 (%)
Jynde vad	47	14	39
Foulum	47	26	41
Rønhave	48	29	37

Tabel 2. Mængden af nedbør, der skal til for, at det øvre lag bliver mættet med vand (data fra Fig. 1) samt antal døgn i tidsrummet 2004-13 for henholdsvis februar, marts og april, hvor det har regnet tilsvarende eller mere end den angivne grænse for nedbør (data fra dmi.dk).

		Optøet øvre lag (cm)					
		5	5	10	10	15	15
Lokalitet	Vandindhold (pF-værdi)	Nedbør (mm)	Døgn (feb./marts/ april)	Nedbør (mm)	Døgn (feb./marts/ april)	Nedbør (mm)	Døgn (feb./marts/ april)
Jyndeavad		16	3/0/0	32	0/0/0	49	0/0/0
Rønhave	2	11	7/5/0	21	1/0/0	32	0/0/0
Foulum		10	7/5/0	19	1/0/0	29	0/0/0
Jyndeavad		14	4/1/0	28	0/0/0	41	0/0/0
Rønhave	1,7	7	22/27/14	14	4/1/0	21	0/0/0
Foulum		8	17/21/7	17	1/1/0	25	0/0/0
Jyndeavad		4	54/47/38	8	17/21/7	12	6/3/0
Rønhave	1,3	3	65/56/46	6	30/34/22	9	9/12/2
Foulum		6	30/34/22	11	7/5/0	17	2/0/0

Som nævnt tidligere siger reglen om udbringning af husdyrgødning, at landbrugsjord med afgrøder defineres som værende frossen, indtil jorden er optøet i hele pløjelagets dybde (mindst 15 cm). En ændring af dette mindstekrav kan altså have forholdsmæssigt store konsekvenser, hvis det begynder at regne kort tid efter udbringningen af gylle. Jorden vil blive mættet op betydeligt hurtigere jo tyndere et optøet lag. For et forholdsvist tykt optøet og veldrænet lag vil de angivne nedbørsmængder være forholdsvist sjældne. Som det fremgår af Tabel 2, har der eksempelvis i perioden fra 2004-13 for et optøet lag på 15 cm, hvor vandindholdet befinder sig på markkapacitet, ikke været nogen dage i månederne februar til april, hvor de døgnlige nedbørsmængder har været tilstrækkelige til at mætte det optøede lag fuldstændigt op. Omvendt har der eksempelvis for Rønhave ved et optøet lag på 5 cm med et vandindhold på pF 1,3 været henholdsvis 65, 56 og 46 dage i månederne februar til april, hvor nedbørsmængderne har været i stand til at mætte det forholdsvist tynde, optøede lag op. Det skal understreges, at opgørelsen i Tabel 2 ikke tager hensyn til, at der kan være sammenhængende dage med nedbørsmængder, der overstiger de opgivne nedbørsmængder, der kræves for at mætte det optøede lag op. Desuden baserer beregningseksemplerne sig på, at vandbevægelsen udelukkende foregår vertikalt i jordsøjlen. I et skrånende terræn vil der dog også kunne forekomme en betydelig lateral vandbevægelse.

se ikke mindst på overfladen af det frosne lag, hvilket vil bevirke, at opmagasineringskapaciteten kan blive overskredet betydeligt hurtigere på visse dele af marken. Ligeledes kan en kombination af nedbør og smeltende sne give et ekstrabidrag af vand tilført jordoverfladen.

Infiltration af gyllevæske i jord

To faktorer har især betydning for risikoen for tab af næringsstoffer fra gylle med overfladeafstrømning:

- Muligheden for infiltration af vand fra nedbør i jorden og
- Infiltrationen af gyllevæske i jorden efter tilførsel.

Udbringes gyllen uretmæssigt direkte på en frossen jordoverflade, må det forventes, at jordens evne til at optage gyllen vil ligge på et meget lavt niveau. Bliver gyllen ikke optaget i jorden, er der risiko for, at den løber langs jordfladen, bliver koncentreret i pytter eller i værste fald løber direkte fra marken ud i et vandløb. Udbringning af gylle på en frossen jordoverflade vil ligeledes medføre en forhøjet risiko for fordampning af ammoniak (Sommer & Hutchings, 2001). Udbringes gyllen på en delvist frossen jord, er det altafgørende, at gyllen har mulighed for at infiltrere tilstrækkeligt ned i jorden. Gyllens evne til at infiltrere ned i jorden afhænger af faktorer såsom dens viskositet, indhold af tørstof samt jordens vandindhold og porøsitet. Studier viser, at svinegylle i en optøet jord normalt er infiltreret eller diffunderet til en dybde af 4-5 cm i løbet af tre døgn, mens kvæggyllene kun infiltrerer til 2-3 cm dybde (Sommer, 2013). Hvis jorden befinder sig på markkapacitet, vil en optøning til 5 cm dybde derfor være tilstrækkelig for at sikre infiltration af gyllevæsken. Er vandindholdet højere, vil diffusionshastigheden af gyllen være tilsvarende lavere.

Tab af næringsstoffer i husdyrgødning

Kvælstof

Udbringning af husdyrgødning på marker i vinterhalvåret ses som værende problematisk relateret til den forhøjede risiko for tab af næringsstoffer (Converse m.fl. 1976, Young & Mutchler, 1976, Parkes m.fl. 1997, Williams m.fl. 2012, Watanabe m.fl. 2013). Husdyrgødningens udbringningstidspunkt samt den jordtype, gødningen bringes ud på, har indflydelse på kvælstoffets skæbne. Studier af udbringning af husdyrgødning fra kvæg viser, at udbringning om vinteren sammenlignet med udbringning i det tidlige eller sene efterår vil resultere i et forøget tab af ammonium, organisk kvælstof og totalt kvælstof i forbindelse med overfladeafstrømningsbegivenheder (Smith m.fl. 2001a, Williams m.fl. 2012). Williams m.fl. (2012) konkluderer, at hvis gyllen udbringes i det tidlige efterår, vil der være risiko for et højt tab af nitrat i løbet af vinteren relateret til en øget udvaskning ned gennem jordsøjlen. Udbringning af gylle om vinteren på en frossen jord vil derimod resultere i en forhøjet risiko for tab af ammonium og organisk kvælstof i forbindelse med eventuelle overfladeafstrømningsbegivenheder. Målte tab af kvælstof i afstrømning er normalt fundet relativt lave svarende til 1-3 % af udbragt total kvælstof (Smith m.fl. 2001a; Ceretta m.fl. 2010), men kan medføre midlertidige, høje koncentrationer af ammonium,

hvilket kan medføre en risiko for forgiftninger i ferskvandsrecipienter (Smith m.fl. 2001a). Det har stor betydning for kvælstoftab i afstrømning, hvor lang tid der går mellem tilførsel og nedbørshændelser (Smith m.fl. 2001a; Williams m.fl. 2011). Selv på frossen jord sker der en vis infiltration af vand og næringsstoffer, der har stor betydning for afstrømningstabet (Steenhuis m.fl. 1981).

En forhøjet saltkoncentration i jorden omkring gødningen kan have en lokal optøende effekt, der sandsynligvis også har indflydelse på infiltrationen, men der er ikke fundet litteratur herom.

Sommer og Hutchings (2001) konkluderer, at udbringning af gylle ved lav temperatur vil være en fordel, da der ses et faldende ammoniaktab med faldende temperatur. Samme studie viser dog også, at ved temperaturer lige omkring frysepunktet er der observeret et højere, samlet ammoniaktab, idet ammoniakemissionen fortsætter over en længere periode, sandsynligvis som følge af dårlig gylleinfiltration i frossen jord. Ved lave temperaturer foregår nitrifikationen af ammonium meget langsomt. Det kan sandsynligvis også medvirke til en forlænget periode med ammoniakfordampning. Udbringningsmetoden vil ligeledes have en betydning. Gyllen består både af væske og partikler. Udbringes gyllen på jordoverfladen ved slangeudlægning, vil partiklerne, der efterlades på jordoverfladen, være meget udsatte for tab i forbindelse med efterfølgende overfladeafstrømning. Nedefældes gyllen i jorden, vil risikoen for næringsstoffetab via afstrømning minimeres (Sørensen & Jensen, 2013). Generelt skal tab af næringsstoffer i forbindelse med husdyrgødningsudbringning altså ses som en proces, der afhænger af de herskende klimatiske og jordbundsmæssige forhold samt udbringningsmetoden. Forhold så som effekten af nedbørshændelser kort efter udbringningstidspunktet, andelen af overfladeafstrømning i forhold til andelen af nedsivende vand i jorden samt graden af omdannelsen af ammonium vil have en afgørende indflydelse på mængden og typen af kvælstof, der udvaskes enten ned gennem jorden eller som overfladeafstrømning langs jordoverfladen.

Fosfortab

En betydelig andel af fosfor i husdyrgødning kan potentielt transporteres via overfladeafstrømning. (Heathwaite m.fl.1998). Fosfortransport kan både ske i partikler og i opløst form. Udvaskningstab af fosfor er normalt lavt, og fosfortab via overfladeafstrømning kan udgøre en relativ stor andel af det samlede fosfortab. Withers & Bailey (2003) fandt forøgede fosfortab via overfladeafstrømning på op til 3 kg P per hektar i en efterfølgende afstrømningsperiode efter overfladeudbringning af kvæggylle om vinteren. En stor del af dette fosfortab fandtes i en bio-tilgængelig form (Withers & Bailey, 2003). Fosfortab via afstrømning kan begrænses betydeligt ved nedfældning eller indarbejdning (Smith m.fl. 2001b). Daverede m.fl. (2004) fandt således en reduktion i fosfortab via afstrømning på 94 % efter nedfældning af gylle. Også efter overfladeudbringning af gylle på græs stiger risikoen for fosfortab via afstrømning (Hahna m.fl. 2012). Selvom fosfortab via afstrømning ikke har agronomisk betydning, kan tabene medføre betydelige miljøeffekter.

Overfladeafstrømning på frossen jord

Er mængden af nedbør eller nedbørsintensiteten højere end jordens evne til at infiltrere vandet, vil nedbørsvandet på et tidspunkt stå blankt på jordoverfladen. Hælder jordoverfladen, vil vandet afhængigt af overfladens ruhed løbe af overfladen som overfladeafstrømning. Jordoverfladens ruhed vil kunne tilbageholde 0 til 5 mm vand afhængigt af dyrkning, jordtype og hældningen (Hansen m.fl. 1999). En pløjet mark vil have en større ruhed end en tilsået mark med vintersæd, og en sandet jord vil have en mindre ruhed end en mere leret jord. Ved en forøget hældning falder ruhedens evne til at tilbageholde vand.

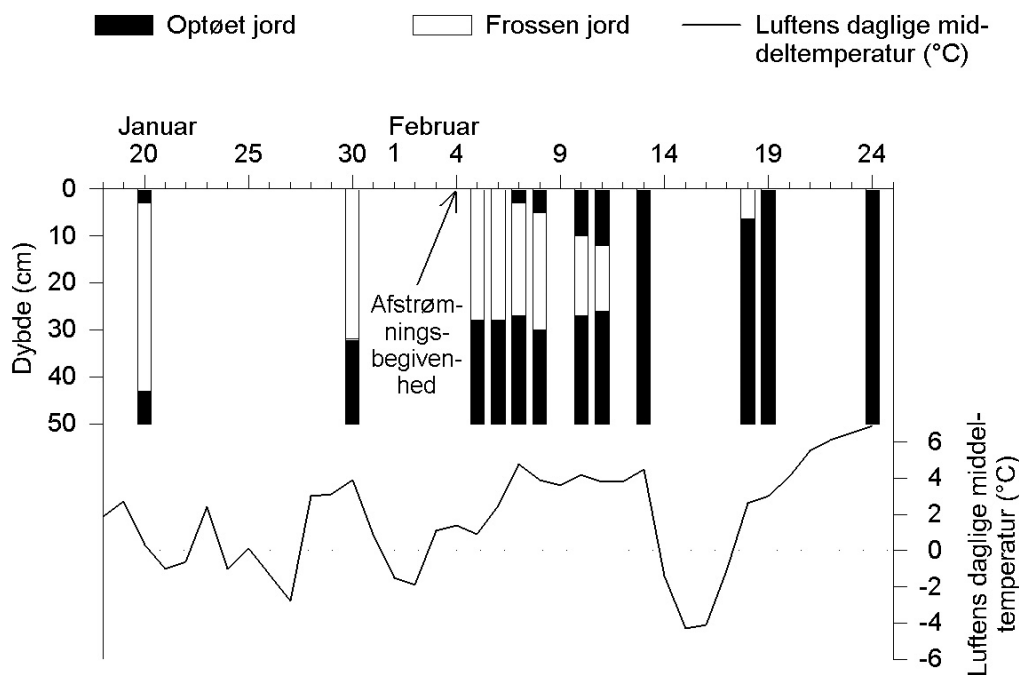
Efter overfladeudbringning efterlades en del af gyllens næringsstoffer bundet til organiske partikler på jordoverfladen. De partikelbundne næringsstoffer vil i forbindelse med overfladeafstrømningen risikere at blive transporteret med vandet væk fra marken (Sørensen & Jensen, 2013). Om vinteren ses en forøget risiko for overfladeafstrømning og erosion (van Vliet & Wall 1981, Sharratt & Lindstrom 2001), der kan medføre et betydeligt bidrag til tab af både kvælstof og fosfor fra landbrugsjord (Converse m.fl. 1976, Williams m.fl. 2012). Længden af perioden mellem gylleudbringning og en situation med overfladeafstrømning har stor betydning for mængden af næringsstoffer i det afstrømmende vand. Dette gælder ikke mindst for kvælstof, hvor en stor andel af det opløselige kvælstof findes som ammonium. Hvis gyllen kan nå at infiltrere i jorden, kan ammonium adsorberes til jordens partikler, og risikoen for afstrømning i opløst form mindskes, men vil dog stadig kunne foregå i forbindelse med erosionen af jordpartiklerne. Ammoniumkvælstof kan også fordampe som ammoniak, men ved lave temperaturer er tabet via ammoniakfordampning dog lavt. Et langt tidsinterval mellem gylleudbringning og en eventuel overfladeafstrømningsbegivenhed vil derfor minimere mængden af kvælstof i afstrømmende vand. Tilsvarende findes fosfor både i opløselig og bundet form i gylle. Fosfor bindes meget kraftigt til jordens partikler, så hvis gyllen når at infiltrere i jorden, vil fosforen i høj grad blive bundet til jordpartiklerne og vil derfor fortrinsvist i forbindelse med overfladeafstrømning blive udvasket via eroderede jordpartikler.

I Danmark er overfladeafstrømningen hovedsageligt relateret til det dyrkede land, hvor mange af de faktorer, der er bestemmende for dannelsen af overfladeafstrømning, er specielt gunstige (Iversen, 2000). Jorden står her bar eller kun med et minimalt plantedække store dele af året. Et tæt plantedække minimerer omfanget af overfladeafstrømning, da det er med til at forøge jordens evne til at infiltrere vandet samt er i stand til at opmagasinere en mindre del af nedbøren på overfladen af blade. Et tæt plantedække vil samtidig have en bremsende effekt på det overfladeafstrømmende vand. En anden gunstig faktor for dannelsen af overfladeafstrømning er hældningen og længden af den skrånende flade. Jo større og længere en hældning, jo højere en risiko for overfladeafstrømning. Selv ved små hældninger i terrænet kan der opstå overfladeafstrømning, hvis længden af den skrånende flade er lang. I takt med landbrugets udvikling i Danmark har de enkelte marker fået en større udstrækning med færre markskel eller andre afbrydelser, der tidligere var med til at bremse vandet op. Dermed øges mulighederne for, at vandet på overfladen kan samle sig i kraftige koncentrerede vandstrømme

med en dermed mere omfattende erosion. Løber vandet ud i en nærliggende grøft, eller strømmer det ned i en drænbrønd, vil vejen ud til det omgivende vandmiljø være endnu kortere. Omvendt vil tiltag som bræmmer langs vandløb kunne være med til at bremse vandet op, hvis det strømmer direkte fra marken og ud i vandløbet.

Selvom overfladeafstrømning i Danmark kan forekomme på alle tidspunkter af året, er det i vinterhalvåret, der er størst risiko for overfladeafstrømning (Iversen, 2000). Her kan overfladeafstrømning opstå på tidspunkter med dagslange nedbørsepisoder, hvor jorden i forvejen er nærmest vandmættet eller måske frossen. Som nævnt tidligere vil jordens infiltrationsevne være stærkt reduceret eller lig nul, når jordens temperatur når under frysepunktet. I disse situationer, hvor jorden er frossen eller delvist frossen, og hvor det samtidig begynder at regne, eller den overliggende sne begynder at smelte eller en kombination af begge dele, kan det faldende nedbør hurtigt blive omsat til overfladeafstrømning.

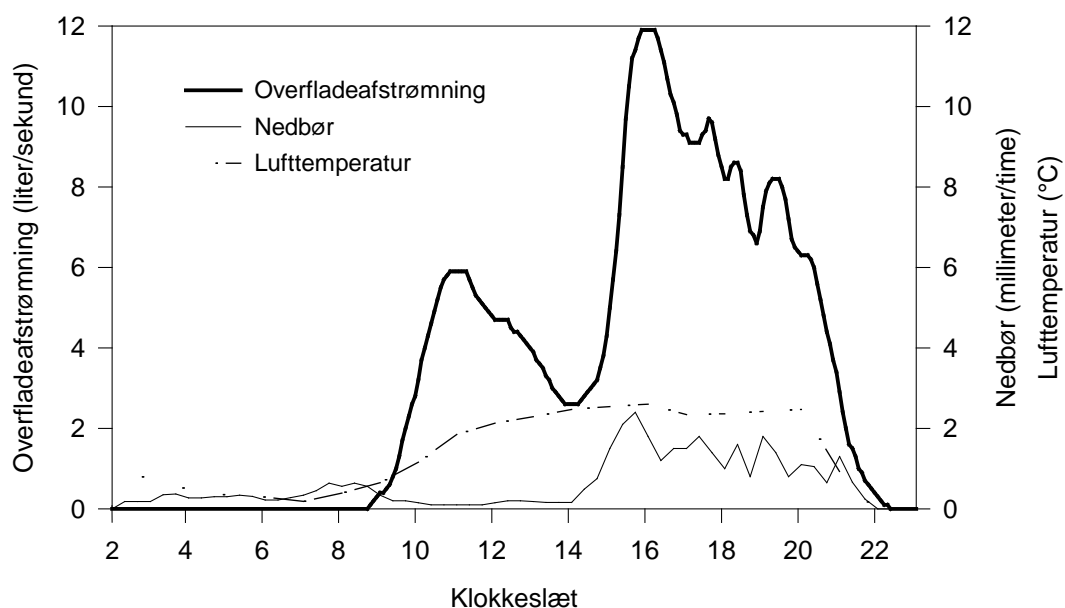
Omfanget og intensiteten af overfladeafstrømning på en frossen jord kan belyses ud fra et dansk eksempel (Iversen 2000). På en mark i nærheden af Rødding i Midtjylland blev frostdybden i jorden målt i vinteren 1996/97 (Fig. 2). I løbet af måleperioden indtraf der en afstrømningsbegivenhed på en mark i nærheden af Ans 24 km fra Rødding, hvor der blev målt et betydeligt bidrag af overfladeafstrømning. Udbredelsen af frost i jorden vurderes på det pågældende tidspunkt at være nogenlunde den samme som i Rødding. Som det ses af Figur 2, var jorden i løbet af vinteren på visse tidspunkter frossen ned til en dybde af godt 40 cm. I tiden omkring afstrømningsbegivenheden var jorden frossen til en dybde omkring godt 30 cm. I perioden fra frosten satte ind (omkring d. 20. januar) og op til afstrømningsepisoden (4. februar), var der ikke faldet nogen former for nedbør. Jorden har derfor sandsynligvis ikke været fuldstændigt vandmættet/ismættet ved afstrømningstidspunktet. Samtidig lå der ikke sne på jordoverfladen, før regnvejret satte ind.



Figur 2. Målinger af jordens frostdybde samt luftens daglige middeltemperatur i januar og februar måned 1997 ved Rødning (Iversen 2000).

Omkring kl. 2 om morgenen den 4. februar begynder det at regne (Fig. 3), og regnen fortsætter de næste ca. 20 timer indtil klokken 22, hvorefter regnen går over i sne på grund af den faldende lufttemperatur. De første 6 timer indtil klokken 9 regner det konstant over marken med en meget lav intensitet (under 1 mm per time), uden at nogen form for overfladeafstrømning når målestationen. Efter den 6. time, klokken 9, begynder afstrømningen pludseligt. Klokken 14, efter 12 timers nedbør, stiger nedbørsintensiteten til et niveau mellem 1 og 3 mm per time, hvilket modsvarer af en brat stigning i overfladeafstrømningen. Efter små 20 timer, klokken 21, går nedbøren over i sne, og overfladeafstrømningen ophører så pludseligt, som den var startet. I løbet af begivenheden er der faldet 13 mm regn. Lidt under 10 mm svarende til omkring 70 procent af nedbøren er gået til overfladeafstrømning. Afstrømningsforløbet viser, at til at begynde med er en del af nedbøren stadig i stand til at infiltrere ned gennem jorden i de luftfyldte porerum, hvor vandet dog omgående fryser til is. Afstrømningens start efter ca. 6 timers nedbør er sandsynligvis afstedkommet af, at alle porer i jorden er fyldt op med is samtidig med, at den gradvise stigning i lufttemperaturen frigiver vand fra små pytter på jordoverfladen, der efterhånden er ved at tø op. Efter 12 timers nedbør, hvor både nedbørsintensiteten samt afstrømningen stiger, er jorden fyldt op med is således, at al nedbør nu mere eller mindre går til overfladeafstrømning. Hen mod slutningen af episoden medfører det bratte temperaturfald, at en del af afstrømningen aldrig når frem til målestationen som afstrømning. I løbet af afstrømningsbegivenheden er der transporteret store mængder jordpartikler og næringsstoffer. Ud fra enkeltmålinger af koncentrationen af sedimentpartikler i overfladeafstrømningsvandet foretaget i løbet af afstrømningsepisoden er den totale mængde sediment, der er fjernet fra marken, estimeret til at være i omfanget af 130 kg pr.

hektar. Ligeledes er mængden af totalt fosfor i afstrømningsvand estimeret til at være i omfanget af 0,3 kg pr. hektar.



Figur 3. Overfladeafstrømning, nedbør samt lufttemperatur d. 4. februar 1997 ved marken ved Ans (Iversen 2000).

Ovenfor nævnte eksempel illustrerer afstrømningsforløbet for en ekstrem situation, hvor jorden er frosset helt op til overfladen på et tidspunkt, hvor der samtidig falder nedbør. I situationer hvor jorden er delvist frosset med et optøet lag fra overfladen og ned, vil mængden af overfladeafstrømning være mindre i forhold til mængden af nedbør, da det optøede lag skal være vandmættet, førend overfladafstrømningen indtræder. Jordens opmagasineringskapacitet skal så at sige være opbrugt. Eksemplet i Figur 1 kvantificerer mængden af nedbør, der skal falde, førend den går over i overfladeafstrømning, hvis man antager, at der udelukkende sker en vertikal vandtransport ned gennem jorden. Figuren illustrerer derved konsekvenserne af en nedbørsbegivenhed på en delvist frosset jord. For en jord med et tyndt optøet lag, der samtidig er relativt fugtigt, skal der kun falde få millimeter regn, førend nedbøren går over i overfladeafstrømning. Er laget tyndt og vandindholdet højt, vil jordens opmagasineringskapacitet hurtigt være opbrugt. Overfladeafstrømning vil blive igangsat hurtigt med en dertilhørende transport af næringsstoffer via det afstrømmende vand. Er laget tykt og vandindholdet lavere, vil risikoen være minimeret.

Opsamling af næringsstoffer i randzoner/bufferzoner

I forbindelse med overfladeafstrømning kan der ske en vis opsamling/binding af næringsstoffer i bevoksede randzoner. I en undersøgelse, hvor afstrømningsvand fra et husdyrgødet areal efterløbende løb gennem en bufferstribe med ugødet græs, fandtes, at næsten al fosfor i afstrømningsvand, der stammede fra handelsgødning, blev absorberet i bufferzonen (Heathwaite m.fl. 1998). Derimod var det

kun omkring 10 % af fosfor i afstrømmende vand, der stammede fra gylle, der blev absorberet i bufferzonen. Det meste af dette fosfor fra gylle, der ikke kunne opfanges af græs i bufferzonen, fandtes i partikler og i en opløselig organisk fraktion, der ikke blev adsorberet og fastholdt på græsarealet (Heathwaite m.fl. 1998). Det tyder således på, at fosfor fra husdyrgødning kun i ringe grad kan forventes fastholdt i bevoksede randzoner. Tilsvarende kan det forventes, at ammonium-kvælstof kan fastholdes i en bevokset bufferzone, mens organisk bundet kvælstof tilbageholdes i mindre grad, idet det organiske kvælstof findes i partikler og i en opløselig organisk fraktion.

Andre effekter af gylleudbringning på frossen jord

Jordens bæreegenskaber aftager ved et stigende vandindhold. Om vinteren og i det tidlige forår, hvor vandindholdet i jorden ofte ligger et godt stykke over markkapacitet, vil den våde jords bæreevne være stærkt reduceret, hvilket kan føre til betydelige strukturskader ved kørsel på jorden. Er jorden frossen til en vis dybde, ændrer de mekaniske egenskaber sig markant, og det vil være muligt at køre på jorden med tunge maskiner selv på en vintervåd jord. Er jorden delvis frossen, afhænger dens bæreevne i høj grad af det øvre optøede lags vandindhold. Er vandindholdet her højt, kan der ske betydelige skader på jorden i det optøede lag. Disse vil dog ikke være varige, da topjorden på et tidspunkt bliver pløjet op igen. Skaderne vil i højere grad være relateret til den stående afgrøde, der kan lide skade af den æltning af jorden, som landbrugskøretøjerne forårsager. Til gengæld kan man ved udbringning på delvis frossen jord undgå alvorlige strukturskader i dybden, der oftest er blivende.

Udover problemer med jordens bæreegenskaber kan der også opstå svidningsskader i vinterafgrøder i forbindelse med vinterudbringning af gylle. Denne problemstilling er dog ikke nærmere belyst i nærværende rapport.

Konklusioner/anbefalinger

En frossen jord kan betragtes som værende mere eller mindre uigennemtrængelig for vand.

Udbringning af gylle på frossen jord bør undgås grundet jordens ringe infiltrationsevne. Infiltrerer gyllen ikke ned gennem jordsøjlen, øges risikoen for efterfølgende afstrømning af gylle på jordoverfladen med et dertilhørende øget tab af kvælstof og fosfor i opløst form og bundet til de mindste partikler.

Udbringning af gylle på delvist frossen jord bør foregå med forsigtighed, også selv om jorden er optøet ned til 15 cm med et udbredt frossent lag herunder, da der stadig vil være risikotab og omfordeling af næringsstoffer via overfladeafstrømning selv ved relativ små mængder af nedbør. Risikoen vil være afhængig af det forudgående vandindhold i det optøede øvre jordlag, som ofte vil være over markkapacitet grundet den ringe fordampning og de forringede afdræningsforhold i dybden pga. det frosne jordlag. Udbringes der gylle på en delvist frossen jord, er det altafgørende, at jorden er velafdrænet, og at risikoen for større mængder regn de følgende dage efter udbringning er minimal.

Er optøningsdybden mindre end 15 cm, øges risikoen for udvaskning af næringsstoffer via overfladeafstrømning betragteligt. En slækning af kravene til en til lavere tilladt optøningsdybde må derfor frafrådes pga. en forhøjet risiko for overfladeafstrømning. Er jorden fugtigere end markkapacitet, og er det optøede lag tyndt (få cm), skal det kun regne nogle få millimeter førend jordens opmagasineringskapacitet er opbrugt uafhængigt af jordtypen. Risikoen for overfladeafstrømning vil dog være afhængig af jordens fugtighed, især på mere sandede jorde. Ved en lidt større optøningsdybde vil meget grovsandede jorde have en forholdsvis høj opmagasineringskapacitet sammenlignet med mere lerede jorde.

En betydelig del af gyllens næringsstoffer findes i partikler, der efterlades på jordoverfladen ved slangeudlægning, og de er derfor udsatte for tab i forbindelse med efterfølgende overfladeafstrømning. Nedfælles gyllen, vil risikoen for tab af næringsstoffer i forbindelse med afstrømningsbegivenheder minimeres.

Jordens bæreevne kan være stærkt reduceret om vinteren og afhænger af jordens vandindhold. Kørsel på meget fugtige jorde bør undgås. Er jorden frossen fra overfladen og ned, vil bæreevnen være høj og strukturskader kan undgås. Ved kørsel på jord der er optøet i overfladen og frossen i dybden, kan strukturskader i dybden, der har blivende effekter, også undgås.

Litteratur

- Ceretta C.A., Girotto E., Lourenzi C.R., Trentin G. and Vieira R.C.B., Brunetto G. 2010. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139: 689–699.
- Converse, J.C., G.D. Bubenzer, W.H. Paulson 1976. Nutrient Losses in surface runoff from winter spread manure. *Transactions of the ASABE* 19(3):517–519.
- Daverede I.C., Kravchenko A.N., Hoefl R.G., Nafziger E.D., Bullock D.G., Warren J.J. and Gonzini L.C. 2004 Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.* 33, 1535-44.
- Froese, J.C., R.M. Cruse, and M. Ghaffarzadeh. 1999. Erosion mechanics of soils with an impermeable subsurface layer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1836-1841.
- Hahna C., Prasuhn V., Stamm C. and Schulin R. 2012. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. *Agric. Ecosyst. Environ.* 153, 65– 74
- Hansen, B., P. Schjønning, E. Sibbesen 1999. Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces. *Soil and Tillage Research* 52(1-2):103-111.
- Heathwaite A.L., Griffith P. and Parkinson R.J. 1998. Nitrogen and phosphorus in runoff from grassland with buffer strips following application of fertilizers and manures. *Soil Use Manag.* 14, 142-148.
- Iversen, B.V. 2000. Erosion ved afstrømning: en proces der fremskyndes af frossen jord. *Geologisk nyt* 3:4–7.
- Parkes, M.E., J. Campbell, A.J.A. Vinten 1997. Practice to avoid contamination of drainflow and runoff from slurry spreading in spring. *Soil Use and Management* 13(1):36–42.
- Sharratt, B.S. & M.J. Lindstrom 2001. Laboratory simulation of erosion from a partially frozen soil. I: *Soil Erosion Research for the 21st Century, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA)*, Eds. J.C. Ascough II & D.C. Flanagan. St. Joseph, MI. pp. 159–162.
- Smith K.A., Jackson D.R. and Pepper T.J., 2001a. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1. Nitrogen. *Environ. Pollut.* 112, 41-51
- Smith K.A., Jackson D.R. and Withers P.J.A., 2001b. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 2. Phosphorus. *Environ. Pollut.* 112, 53-60.
- Sommer, S.G. 2013. Ammonia volatilization from livestock slurries and mineral fertilisers. Doktorafhandling. Syd-Dansk Universitet.

Sommer, S.G. & Hutchings, N. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction – invited paper. *Eu. J. Agron.* 15, 1-15.

Steenhuis, T.S., Bubenzer, G.D., Converse, J.C., Walter, M.F. 1981. Winter-Spread Manure Nitrogen Loss. *Transactions of the ASAE.* 24 (2): 436-441.

Sørensen P. & Jensen L.S. 2013. Nutrient leaching and runoff from land application of animal manure and measures for reduction. In: Sommer, S.G., Christensen, M.L., Schmidt, T. and Jensen L.S. (Eds.). *Animal Manure Recycling: Treatment and Management, First Edition.* John Wiley and Sons, Ltd. P. 195-210.

van Vliet, L.J.P., G. J. Wall 1981. Soil erosion losses from winter runoff in southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science* 61(2):451–454.

Watanabe, K., T. Kito, S. Dun, J.Q. Wu, R.C. Greer, M. Flury 2013. Water Infiltration into a frozen soil with simultaneous melting of the frozen layer. *Vadose Zone Journal* 12 doi:10.2136/vzj2011.0188.

Williams, M.R., G.W. Feyereisen, D.B. Beegle, R.D. Shannon, Folmar, G.J, Bryant, R.B. 2011. Manure application under winter conditions: Nutrient runoff and leaching losses. *Transactions of the ASABE* 54(3): 891–899.

Williams, M.R., G.W. Feyereisen, D.B. Beegle, R.D. Shannon 2012. Soil temperature regulates nitrogen loss from lysimeters following fall and winter manure application. *Transactions of the ASABE* 55(3): 861–870.

Withers P.J.A. and Bailey G.A. 2003. Sediment and phosphorus transfer in overland flow from a maize field receiving manure. *Soil Use Manage.* 19, 28-35

Young, R.A. & C.K. Mutchler 1976. Pollution potential of manure spread on frozen ground. *Journal of Environmental Quality* 5(2):174–179.

Zuzel, J.F., R. R. Allmaras, R. Greenwalt 1982. Runoff and soil erosion on frozen soils in northeastern Oregon. *Journal of Soil and Water Conservation* 37(6):351–354.