

JTI-rapport
Lantbruk & Industri

315

Ytmyllning av flytgödsel till vall

Lena Rodhe
Ararso Etana



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

2003

Ytmyllning av flytgödsel till vall

– miljönytta och praktisk funktion på olika jordar

Shallow injection of slurry to leys
– *environmental effect and function on different soils*

Lena Rodhe
Ararso Etana

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning	7
Summary	8
Bakgrund.....	9
Syfte.....	10
Omfattning	10
Genomförande.....	11
Försöksplats	11
Väderlek.....	12
Gödsel.....	13
Spridning	13
Gödsels placering.....	15
Ammoniakavgång.....	15
Avkastning.....	16
Markfuktighetens inverkan på gödselinfiltration och arbetsdjup.....	16
Resultat	17
Gödsels placering.....	17
Ammoniakavgång.....	22
Avkastning.....	25
Torrsubstansskörd	25
Kväveskörd	27
Botanisk sammansättning.....	30
Markfuktighetens inverkan på flytgödselinfiltration och gödselmyllarens arbetsdjup.....	31
Diskussion.....	35
Gödsels placering.....	35
Ammoniakavgång.....	36
Avkastning.....	36
Markfuktighetens inverkan på flytgödselinfiltration och gödselmyllarens arbetsdjup.....	37
Slutsatser	38
Referenser	39
Bilaga 1	41
Bilaga 2	43

Förord

I föreliggande studie har JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik och Institutionen för markvetenskap (MV), SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) värderat ytmyllningstekniker för flytgödsel under olika markförhållanden. Studien är finansierad av Jordbruksverket inom programmet för minskat växtnärläckage.

Forskningsledare Lena Rodhe vid JTI har ansvarat för studierna av tre olika spridningsaggregaten för ytmyllning, vilka jämförts med bandspridning och ett ögödselat led. Forskare Ararso Etana vid MV har ansvarat för studierna av markfuktighetens inverkan på en gödselns infiltration och en ytmyllares arbetsdjup. Fältarbetet har främst utförts av JTI:s personal från Stallgödselgruppen.

Studierna har varit möjliga tack vare de försöksvärdar, som ställt lämplig försöksmark till förfogande och hyrt ut maskiner. Stort tack till Sven Fischer, Sörby säteri, Ewa och William Lööv, Storgården, Leif Erlandsson, Stortorp, samt Bengt Dalme, Hammars säteri/Nynäs gård.

Vi vill också rikta ett stort tack till de maskinrepresentanter, som ställt spridare till vårt förfogande. Lån av DGI[®]-spridaren har möjliggjorts av Jan Kjetil Borge, MOI A/S, Norge och Kenth Arwedsson vid Kverneland Sverige AB. Samson-spridaren (tidigare marknadsförd som JOS), har tack vare Stefan Arwidsson och Claes Lindell, båda nu verksamma vid GÖMA Halmstad, kunnat ingå i våra försök.

Uppsala i mars 2003

Lennart Nelson

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Under tre år utfördes studier av tre olika spridningsaggregat för ytmyllning av flytgödsel i vall, vilka jämfördes med bandspridning och ett ogödslat led. Fältförsöken var utformade som randomiserade blockförsök med fyra upprepningar. Nötflytgödseln spreds med följande tekniker:

- Ytmyllning, gödselstråle med högt tryck
- Öppen ytmyllning, V-formad skivbill
- Öppen ytmyllning, två vinklade skivor
- Bandspridning, ramp med släpslangar

Varje år utlades försöket så att totalt tre vanliga jordartstyper ingick, nämligen styv lera, sandig lättlera och moig mellanlera. I blockförsöket bestämdes gödselns placering i marken och ammoniakavgången direkt efter spridning samt avkastningen. Gödseln spreds till andra skörd (i mitten av juni) med givan 25 ton/ha. För att belysa olika årsmånar studerades dessutom i mindre skala markfuktighetens inverkan på gödselns infiltration och en ytmyllares arbetsdjup. Dessa studier utfördes i direkt anslutning till blockförsöket under alla tre åren.

Under rådande förhållanden var det endast ytmyllaren med billar bestående av två vinklade skivor som placerade gödseln under markytan samtliga tre år. Ytmyllning med tryck fungerade enbart ett av åren, då gödseln spreds på en sandig lättlera med förhöjt gödseltryck.

Ammoniakavgången var hög efter bandspridning eller då myllningen inte fungerade. Cirka 75 procent av utspridd mängd ammoniumkväve avgick då i form av ammoniak. Ammoniakavgången var signifikant lägre efter ytmyllning med billar bestående av två vinklade skivor jämfört med bandspridning två av de tre åren. I medeltal uppnåddes en halverad ammoniakavgång med denna teknik jämfört med bandspridning. Ytmyllning med tryck innebar lägre ammoniakavgång än bandspridning under ett av de tre åren, då myllningen var tillfredställande.

Avkastningen vid andra skörd varierade mellan åren beroende på årsmån, markförhållanden och gröda. I ogödslat led erhöles som högst 4200 kg ts/ha (år 2000) och som lägst 1500 kg ts/ha (år 2002). Spridning av flytgödsel med givan ca 50 kg $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ gav en skördeökning med 200 - 1500 kg ts/ha för de olika åren och teknikerna. Den enda statistiskt säkra skillnaden i ts-skörd mellan spridningsteknikerna var att ytmyllning med tryck gav signifikant lägre skörd jämfört med de två ytmyllningsteknikerna med billar år 2000. Det var dock inte någon statistisk säker skillnad i ts-skörd mellan bandspridning och de olika myllningsteknikerna något av åren. Det var små skillnader i kväveinnehåll hos grödan efter olika gödslingar. Andelen klöver var högre i ogödslat led än i de flytgödslade leden under två av de tre åren. En omräkning av skörden till kg N/ha visade att det fanns signifikanta skillnader endast år 2002 mellan ogödslat och övriga flytgödslade led.

Markfuktigheten påverkar billarnas förmåga att gå ned i marken och därmed placeringen av gödseln i marken. I medeltal var infiltrationshastigheten för gödsel fem gånger lägre än den för vatten. På den lätta jorden var infiltrationshastigheten hos gödseln högst och den påverkades inte av markens fuktighet. För att säkra en bra kontakt mellan jord och gödsel bör gödseln myllas ned i jorden.

Summary

Three different spreaders for shallow injection of slurry on grassland were compared with band spreading and an untreated control during a 3-year period. The field experiments were designed as randomised block experiments with four replicates. Cattle manure was spread using the following techniques:

- Shallow injection, with a pressurised injector
- Shallow injection with open slots, V-shaped disc tine
- Shallow injection with open slots, tine with two discs placed at an angle
- Band spreading, boom with trailed hoses

In all three years the experiment was laid out so as to include a total of three commonly found soil types, i.e., heavy clay, sandy loam and silty clay loam. In the block experiment, the location of the manure in the soil and the ammonia release were determined directly after the spreading, together with the final yield. The manure was applied to the second cut (mid-June) at a rate of 25 tons/ha. In addition, in order to study the effects of different annual conditions, a smaller study was made of the effect of soil moisture on the infiltration of the manure and of the working depth of the implement using shallow injection. These studies were conducted in direct conjunction with the block experiment in all three years.

Under the prevailing conditions the only method succeeding in placing the manure under the soil surface in all three years was shallow injection with two angled discs. Shallow injection using a pressurised injector was successful in only one of the years when the manure was spread on a sandy loam under extra high pressure.

The release of ammonia was high after band spreading or when the shallow injection was less successful. About 75% of the spread amount of ammonium nitrogen was then released as ammonia. The ammonia release was significantly lower after shallow injection with tines consisting of two discs placed at an angle compared with band spreading in two of the three years. On average, the ammonia release was halved when using this technique compared with band spreading. Shallow injection using a pressurised injector gave a lower release of ammonia than band spreading in one of the three years, as the injection on this occasion was satisfactory.

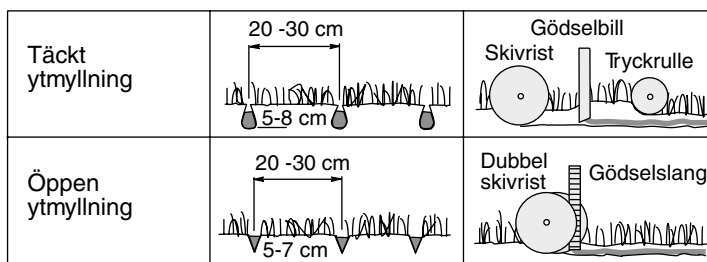
The second cut's yield varied from year to year depending on the conditions of the year, soil conditions and crop. In the control treatment, the yield was maximally 4200 kg DM/ha (in 2000) and lowest 1500 kg DM/ha (in 2002). Spreading of slurry at a rate of about 50 kg NH₄-N/ha gave a yield increase of 200-1500 kg DM/ha for the different years and application techniques. The only statistically significant difference in DM yield between the application techniques was found for pressurised shallow injection, which gave a significantly lower yield than the two shallow injection methods using discs in 2000. However, in none of the years was there any statistically significant difference in DM yield between band spreading and the different injection techniques. There were small differences in the crop's nitrogen contents after the different applications. The percentage of clover was higher in the untreated control than in the slurry-treated plots in two of the three years. When converting the yield to kg N/ha it was found that there were significant differences only in year 2002 between the untreated control and the slurry-treated plots.

Soil moisture affected the ability of the slots to infiltrate the soil and thus influenced the placement of the slurry in the soil. On average, the infiltration rate for the slurry was five times lower than for water. On the light soil the infiltration rate of the slurry was highest and was not affected by the soil moisture. In order to ensure good contact between the soil and the slurry the slurry should be injected into the soil.

Bakgrund

Under 1990-talet infördes olika bestämmelser med syfte att minska ammoniakförlusterna vid lagring och spridning av stallgödsel. Ammoniakförlusterna från jordbruket har minskats enligt SCB:s beräkningar med ca 12 procent från 1995 till 2001. Under 2001 avgick i Sverige 53 800 ton ammoniak till luften (SCB, 2003), varav jordbruket svarade för nästan 85 % av de totala utsläppen. Riksdagen har satt upp som delmål att senast år 2010 ska utsläppen av ammoniak i Sverige ha minskat med minst 15 % från 1995 års nivå till 51 700 ton (motsvarar efter revidering av 1995 års utsläpp 52 300 ton).

Ammoniakavgången innebär en förlust av makronäringsämnet kväve men bidrar också till försurning och övergödning. Vid spridning av flytgödsel till vall kan ammoniakförlusterna bli höga (Elmquist *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 2000). Genom att mylla ned gödseln vid spridning kan dock förlusterna begränsas (Döhler, 1991; Svensson, 1993; Huijsmans *et al.*, 2001). Andra fördelar med myllning på vall är förbättrad ensilagekvalitet (Steffens & Lorenz, 1998) och minskad lukt. För vallar krävs speciella myllare, som är kapabla att få ned gödseln under hårda markförhållanden utan att skada grödan. Speciellt vid spridning efter första skörd kan marken vara torr och hård samtidigt som tidpunkten kan vara lämplig ur arbetsynpunkt. I nedanstående bild visas arbetsprinciperna för öppen respektive täckt ytmyllning. De myllare som finns på svenska marknaden är främst av principen öppen ytmyllning.



Studier under de senare åren visar att ytmyllning ger en varierande minskning av ammoniakavgången jämfört med bandspridning av gödseln på markytan, tabell 1. Hansen (2001) uppmätte på sandjordar en minskad ammoniakavgång med 25-50 % vid öppen ytmyllning (6 olika ytmyllare) och ca 80 % vid täckt myllning ca 7 cm djup (1 myllare) jämfört med bandspridning. Dessa minskade ammoniakemissioner motsvarade minskade kväveförluster med 3 - 7 kg N/ha vid öppen ytmyllning och med 19 kg N/ha vid täckt ytmyllning. Smith *et al.* (2000) fick varierande effekt i 16 olika försök med ytmyllning jämfört med bandspridning av flytgödsel i vall, tabell 1. Sämst effekt erhöles med myllaren under torra och hårda markförhållanden, då ammoniakemissionen var nästan lika hög som efter bandspridning.

Tabell 1. Ammoniakavgång efter öppen och täckt ytmyllning jämfört med bandspridning.

Jordar	Minskning av kväveemissioner relativt bandspridning, %		Referens
	Öppen ytmyllning	Täckt ytmyllning	
Sandjordar	12-50	80	Hansen, 2001
Lättlera, mellanlera; torra till fuktiga jordar	32 (0*-79);		Smith <i>et al.</i> , 2000
Sand-, torv- och lerjordar	54	96	Huijsmans <i>et al.</i> , 1997

* Små eller ingen minskning vid torra och hårda markförhållanden

I Sverige finns än så länge endast enstaka spridare med ytmyllningsaggregat. De få försök hittills gjorda i Sverige visar inte på lika stor reduktion av ammoniakförlusterna, som uppnåtts i en del utländska försök t.ex. i Nederländerna (Huijsmans *et al.*, 1997; 2001). Orsaken till detta har varit att provade aggregat i Sverige inte förmått mylla gödseln tillfredsställande. Bland annat visade JTI:s studier under 1999 (Rodhe *et al.*, 2000) att två typer av ytmyllare inte klarade att mylla flytgödsel under mycket torra förhållanden på en sandig lättlera. Ammoniakemissionerna blev lika höga som med bandspridning på markytan.

Det är därför angeläget att kartlägga under vilka förhållanden olika typer av ytmyllningsaggregat klarar av att ge en tillfredsställande myllning. Detta för att

- se hur mycket det går att minska ammoniakavgången från svenskt lantbruk genom användning av denna teknik
- kunna ta fram resultat, som kan ligga till grund för rekommendationer till lantbrukare vid val av myllningsteknik för olika markförhållanden.

Syfte

Syftet med projektet är att bestämma ammoniakavgång och funktion hos olika ytmyllningsaggregat vid spridning av flytgödsel till vall. Inverkan av jordart och markens vattenhalt undersöks. Resultaten ska ge beslutsunderlag både för lantbrukare och myndigheter vid värdering av ytmyllningens miljöeffekter.

Omfattning

Under tre år utfördes studier på vall av tre olika spridningsaggregat för ytmyllning av flytgödsel, vilka jämfördes med bandspridning och ett ogödselat led. Fältförsöken var utformade som randomiserade blockförsök med fyra upprepningar, bilaga 1. Varje år utlades försöket så att totalt tre vanliga jordartstyper ingick, nämligen styv lera, sandig lättlera och moig mellanlera. I blockförsöket bestämdes gödselns placering i marken och ammoniakavgången direkt efter spridning samt avkastningen. Gödseln spreds till andra skörd (i mitten av juni) med givan 25 ton/ha. Gödsling med mineralgödsel till första skörd utfördes av lantbrukaren med giva enligt växtodlingsplan.

För att belysa olika årsmåner studerades dessutom i mindre skala markfuktighetens inverkan på gödselns infiltration och en ytmyllares arbetsdjup. Dessa studier utfördes i direkt anslutning till blockförsöket under alla tre åren, se bilaga 1.

Statistiska analyser gjordes för att bestämma om det fanns några statistiskt säkra skillnader mellan leden genom att använda variansanalysmodellen GLM (Minitab Inc., 2000; SAS Institute Inc., 1994).

Genomförande

Försöksplats

Försöken var placerade ca 15 km sydost om Örebro på marker inom ca 5 km avstånd. Jordprover togs från matjordslagret för bestämning av textur och mullhalt, se tabell 2. I samband med gödselspridningen i blockförsöket uttogs cylinderprover (6 per block) för bestämning av vattenhalten, tabell 3. För att få ett mått på jordens hårdhet, vanligen kallas för penetrationsmotstånd, utfördes penetrationsmätningar i anslutning till spridningen. För detta användes Bush Penetrometer (Bush, Findlay Irvine Ltd., Storbritannien). Med denna registrerades motståndet som uppstår när en konformad spets (diameter 10,8 mm, konvinkel 30°) trycks ned i marken. Mätapparaten registrerade penetrationsmotståndet på varje 3,5 cm djup på 10 slumpvisa platser i varje block.

Försöken genomfördes på gräsdominerade vallar. Vid spridningen mättes stubbhöjden på 10 slumpvis utvalda platser i varje block, tabell 3. På gyttjeleran utfördes endast begränsade studier av gödselns placering.

Hushållningssällskapet (HS) i Örebro län svarade för utstakning av parcellerna i blockförsöket enligt fältplan, bilaga 1. HS svarar också för skörd av försöksrutorna. Vid utläggningen av försöket togs hänsyn till riktningen på såradena så att körspåren blir parallella med såradena.

Tabell 2. Försöksjordar och deras partikelstorleksfördelning och mullhalt, viktprocent.

Jordart	< 2 µm	2-6 µm	6-20 µm	20-60 µm	60-200 µm	0,2-2 mm	Mullhalt
Styv lera	44,4	13,9	16,5	15,4	6,7	3,1	2,0
Gyttjelera	61,1	16,3	15,4	6,0	0,7	0,5	11,0
Lerig sandig lättlera	18,4	8,2	11,5	19,3	21,2	21,4	3,6
Moig mellanlera	25,4	9,1	15,6	19,4	16,0	14,4	2,2

Tabell 3. Markegenskaper och stubbhöjd, medelvärden för blockförsöket, standardavvikelser inom parantes.

Försöks- år	Jordart	Vattenhalt, g H ₂ O/100 g torr jord		Skrymdensitet, Mg/m ³		Penetrations- motstånd, MPa		Stubb- höjd, m
		0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	3.5 cm	7 cm	
		2000	Styv lera		17,3* (0,34)	1,51* (0,07)	2.13 (0,84)	
2000	Gyttjeler		31,3* (1,54)	1,18* (0,02)	0,82 (0,63)	1,84 (0,48)	-	
2001	Lerig sandig lättlera	10,2 (2,3)		1,34 (0,12)	1,58 (0,71)	2,57 (0,83)	0,11 (0,02)	
2002	Moig mellanlera	10,68 (0,76)	12,65 (0,76)	1,48 (0,11)	1,54 (0,11)	3,37 (1,42)	2,76 (2,14)	0,09 (0,02)

*3-8 cm djup

Väderlek

I tabell 4 presenteras lufttemperatur i medeltal och nederbörd per månad april-augusti åren 2000-2002 för Örebro samt genomsnitt för perioden 1961-1990.

År 2000 var nederbörden under månaderna maj – juli betydligt högre än referensnormalerna medan år 2001 var det torrare än normalt för dessa månader. För säsongen var nederbörden något över det normala. Av de tre åren var år 2002 varmast under växtsäsongen april-augusti. Under perioden mellan spridning och skörd (främst juli månad) var både år 2001 och 2002 varma medan år 2000 var något under det normala.

Tabell 4. Månadsvis medeltemperatur och medelnederbörd för Örebro åren 2000-2002, (station 9516) samt referensnormaler för samma månader åren 1961-1990.

Månad	År			
	2000	2001	2002	1961-1990
<i>Lufttemperatur, °C</i>				
April	6,9	5,1	6,6	4,3
Maj	12,8	11,6	12,7	10,7
Juni	14,2	14,9	16,6	15,3
Juli	15,9	18,7	18,1	16,5
Augusti	15,3	16,1	19,3	15,3
Medelvärde	13,0	13,3	14,7	12,4
<i>Nederbörd, mm</i>				
April	45	53	49	38
Maj	53	36	65	43
Juni	115	43	73	51
Juli	112	50	133	77
Augusti	34	71	27	69
Totalt	359	253	347	278

Under ammoniakmätningarna mättes dessutom kontinuerligt lufttemperatur 1,5 m över markytan, markytans temperatur och vindhastigheten 2 m över mark med en fältstation (Vicon WS 801, Vicon Ltd., Ipswich, U.K.). I tabell 5 presenteras medelvärden för den tid då ammoniakmätningarna pågick.

Tabell 5. Medelvärden för lufttemperatur, markytetemperatur och vindhastighet för tiden då ammoniakmätningar pågick.

År	Temperatur, °C		Vindhastighet, m s ⁻¹	Total nederbörd, mm
	Luft	Markyta		
2000	13,2	13,9	4,1	1,3
2001	13,9	14,8*	2,1	0
2002	15,4	18,1	2,4	19,5

* Kalkylerad utifrån luftdata

Första året under spridningsdagen var det blåsigt, med lite regnstänk. År 2002 började det regna direkt efter att samtliga spridningar utförts. Under det första dygnet efter spridning föll det ca 11 mm. I medeltal var markytan varmast detta år.

Gödsel

Nötflytgödsel togs från en mjölkkogård, Sörby säteri. Gödselprov (ca en hink) togs ett per spridartankvagn från väl omblandad gödsel. Från dessa 4 hinkar togs 2 samlingsprov om ca 1 liter för bestämning av gödselns näringsinnehåll. Proven analyserades på laboratorium på innehåll av torrsubstans (ts), totalkväve (tot-N) ammoniumkväve (NH₄-N), fosfor (P), kalium (K) och pH-värde, tabell 6. Ur bassängen togs också tre prover för bestämning av fluiditet (gödselns flytegenskaper), vilket utfördes på platsen enligt framtagen metodik vid JTI, numera ingående i europeisk standard (CEN, 2002).

Tabell 6. Gödselns pH-värde, torrsubstanshalt, fluiditet och innehåll av växtnäring, år 2000-02.

År	Ts-halt, %	pH	Fluiditet, s	Tot-N, kg/ton	NH ₄ -N, kg/ton	P, kg/ton	K, kg/ton
2000	6,8	7,7	7,3	3,0	1,9	0,5	2,6
2001	7,2	7,4	7,0	4,2	1,9	0,7	4,5
2002	7,6	7,5	7,5	3,7	2,0	0,6	7,6

Spridning

Följande spridningstekniker ingick i försöket:

- Ytmyllning, hydrauliskt tryck (fabrikat DGI[®], Moi A/S) – c/c-avstånd mellan rader 0,3 m, avstånd mellan pulser i rad: 0,13 m, 0,21 m och 0,20 m för respektive år. Gödseltryck från pump ca 0,8-0,9 MPa, förutom år 2 då trycket var ca 1,2 MPa.

- Öppen ytmyllning, V-formad skivbill (fabrikat JAKO) – c/c-avstånd 0,2 m, skivdiameter 0,3 m och tjocklek skiva 0,02 m.
- Öppen ytmyllning, två vinklade skivor (fabrikat Samson, tidigare JOS) – c/c-avstånd 0,25 m, skivdiameter 0,4 m och tjocklek skiva 3 mm.
- Bandspridning – (fabrikat Star, Ranaverken AB) ramp med släpslangar, c/c-avstånd 0,3 m.

Se även Bild 1.

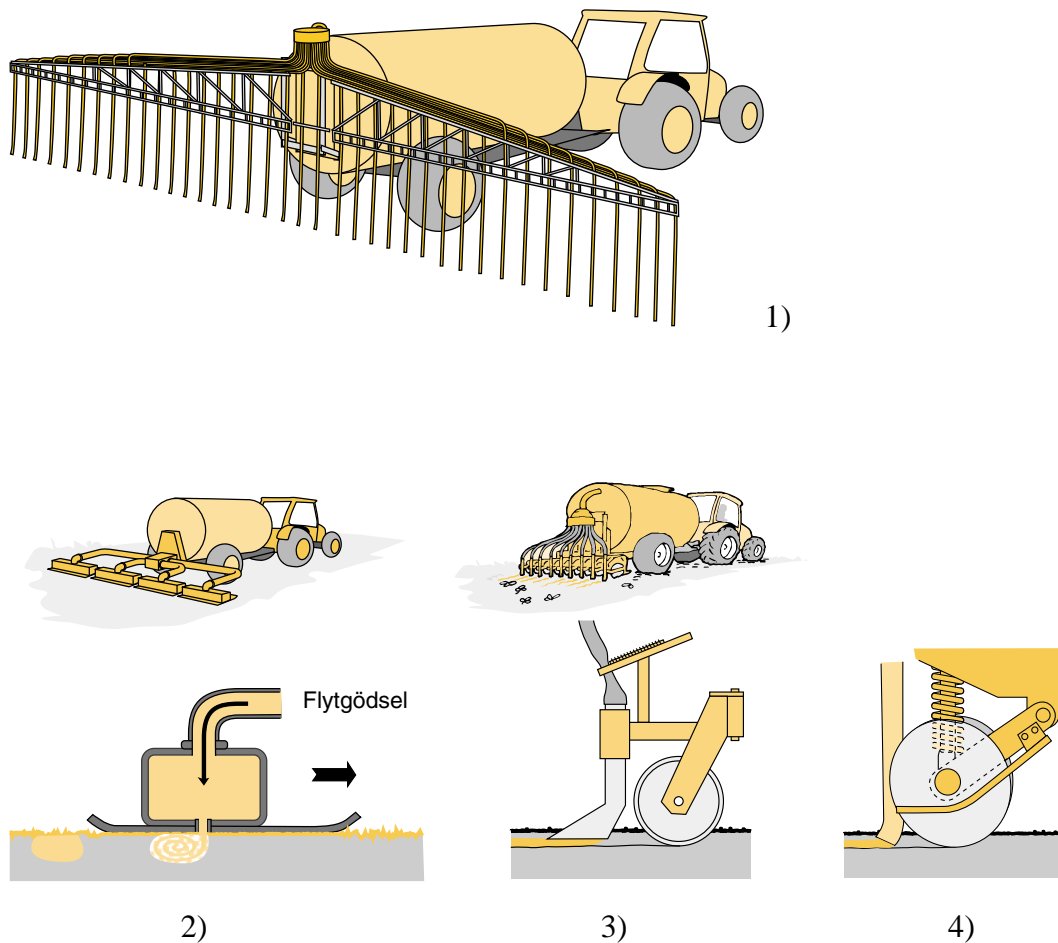


Bild 1. Spridningstekniker. 1) Bandspridning, 2) Ytmyllning med tryck, 3) Öppen ytmyllning med V-formad skivbill, 4) Öppen ytmyllning med två V-ställda skivor.

Spridarna kalibrerades för att bestämma lämpliga inställningar och körhastighet i parcellerna för att uppnå en giva av 25 ton/ha. Spridarna kördes i fält, med vägning före och efter spridning samt mätning av körhastigheter. Spridarna nr 3 och 4 var försedda med system för automatisk reglering av givan. Vid provkörningarna konfirmerades att reglersystemen fungerade som avsett och att de gav önskvärda givor.

Gödselns placering

I varje parcell undersöktes gödselsträngarnas placering i markprofilen direkt efter spridning. På tre slumpvis utvalda platser gjordes med trädgårdsspade ett snitt i marken tvärs gödselsträngen. För ytmyllaren med gödselstråle med högt tryck (spridare 2) placerades snittet i injiceringspunkterna. Mätningarna utförs på bägge sidorna om körspåren utan att störa ammoniakmätningarna och i olika gödselsträngar. Strängens bredd vid markytan och maximala höjden hos gödselsträngen mättes med linjal, se bild 2. Även avståndet mellan pulserna noterades för spridare 2. Fotografier togs dels av tvärsnitt av gödselsträngar, dels uppifrån på gödselsträngarna.

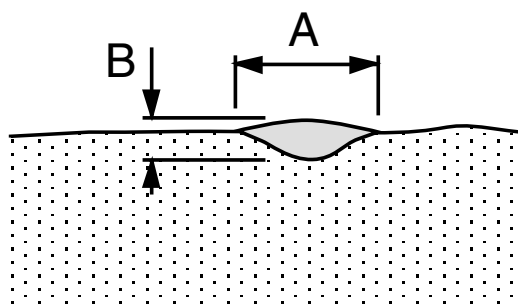


Bild 2. Mätning av gödselsträngens bredd (A) och höjd (B) i snitt tvärs gödselsträngen.

Ammoniakavgång

Mätningarna utfördes med en mikrometeorologisk differensmetod utvecklad vid JTI (Svensson, 1994) i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Mätningarna sker nära markytan med passiva diffusionsprovtagare där jämviktskoncentrationen, omgivande luftens koncentration samt överföringstalet bestäms. Utrustningen i fält består av ventilerade kammare, s.k. kyvetter i vilka jämviktskoncentrationen av ammoniak mäts. Omgivande koncentration och överföringstal mäts med provtagare placerade utanför kyvetten. På varje ruta användes två kyvetter och en omgivningsprovtagare. För att kunna bestämma lämpliga exponeringstider för diffusionsprovtagarna i de olika rutorna mättes momentant ammoniakkoncentrationen i kyvetterna vid utsättning av provtagarna. Detta utfördes med ett handinstrument (Kitagawa) försett med detektionstuber. I ledet med bandspridning används både provtagare av typ C och K (Svensson, 1994) i kyvetterna under alla mätperioder. I övriga led användes enbart C-knappar.

Mätningar av ammoniakavgång gjordes i:

- en ruta (block 2) för det ogödslade ledet
- tre rutor (block 1-3) för de fyra leden med gödselspridning

Vid utplacering av provtagarna eftersträvades placering på representativa ytor för de olika spridningsmetoderna. Platserna för kyvetternas placering slumpades, en på vardera sida om körspåren. Omgivningsmätaren placeras sedan mellan dessa båda kyvetter och mellan körspåren. Eftersom c/c-avstånden mellan gödselutloppen kan vara olika för spridarna, vändes kyvetterna så att om möjligt samma mängd gödsel täcktes av kyvetten. Vid c/c-avstånd 25 och 30 cm mellan gödselutloppen

placeras varje kyvett med långsidan parallell med strängarna täckande en sträng och vid c/c-avstånd 20 cm placeras kyvetterna tvärs 2 strängar.

I de fyra flytgödslade leden genomfördes mätningar under fyra perioder medan i ogödslat led mättes endast under en period. Mätperiodernas längd avgjordes på plats under försökets gång med hjälp av koncentrationsmätningar med reagensrör (Kitagawa).

Avkastning

Rutorna i blockförsöket skördas med parcellskördare (arbetsbredd 1,5 m) av Hushållningssällskapet vid normal tidpunkt för ensilageskörd. Ett 10 m långt drag i mitten av varje parcell skördades och vägdes rutvis, varefter ett prov togs rutvis för bestämning av torrsubstanshalt och kväveinnehåll (Kjeldahl-N). Proven vägdes (våtvikt) och förtorkas direkt därefter (torkning vid max 60 grad C i 24 h). Förtorkade prover skickas därefter för analys av torrsubstans- och kväveinnehåll. Kväveanalysen utfördes med metodik framtagen av Nordisk metodikkommitté för livsmedel (NMKL, 1976), även officiell EU-metod (direktiv 93/199/EEG).

Markfuktighetens inverkan på gödselinfiltration och arbetsdjup

För att kunna uppskatta en optimal markfuktighet för maximal gödselinfiltration samt ett önskvärt arbetsdjup för att skapa en bra kontakt mellan jord och gödsel utfördes en specialstudie i anslutning till blockförsöket på samma försöksfält. I försöket ingick fyra led och fyra upprepningar med randomiserat blockförsök (Montgomery, 1984). Rutan för varje led var 9 m², och de bevattades enligt tabell 7.

Tabell 7. Försöksled med bevattning

Led	Bevattningsschema
A) Ingen bevattning	–
B) Bevattning (ca 10 mm)	Dag 3
C) Bevattning (ca 20 mm)	Dag 2, dag 3
D) Bevattning (ca 30 mm)	Dag 1, dag 2, dag 3

Bevattningen skedde med 5 mm per gång, två gånger om dagen. Bevattningen påbörjades med led D (se bevattningsschemat ovan). Vattenhalten efter avslutad bevattning varierade beroende på ingångsförhållandet och jordart.

Dagen efter avslutad bevattning påbörjades mätningar och provtagningar. Först skapades fåror i rutorna med olika markfuktighet (A-D) med hjälp av en tvåradig ytmyllningssektion av fabrikat Holaras (Rodhe *et al.*, 1995). Aggregatet var kopplat till traktorns trepunktskoppling och trycktes ned i marken av traktorns hydraulik. Infiltrationen av flytgödsel i fårorna undersöktes genom att fylla fårorna med ca 3,5 cm gödsel på en 80 cm sträcka avgränsad med en stålram.

Gödseln tillfördes endast en gång. Från redovisningen uteslöts så kallade ”outliners”, dvs. extremt låga (ofta noll) samt extremt höga infiltrationsvärden. Parallellt med gödselinfiltration mättes också vatteninfiltration utanför fårorna. Vattenhöjden ovanför markytan var 10 cm och mätningen upprepades tre gånger i samma cylinder. Således är här angivna infiltrationshastigheter medelvärden för tre tillfällen.

Bredvid fårorna mättes penetrationsmotstånd och prover togs ut ur övre matjordslagret med stålcyllindrar, 50 mm höjd och 72 mm diameter. Från dessa prover bestämdes vattenhalten och den torra skrymdensiteten. Under första året utfördes även studier av vatteninfiltration med en så kallad tensionsinfiltrometer (Nicholas Jarvis, pers. medd.). Av tekniska skäl gav dock mätningen osäkra värden, som därför uteslöts från denna redovisning.

Beroende på markfuktigheten i rutorna gick myllaren ned till olika djup. Billens arbetsdjup mättes i fårorna utan gödsel med hjälp av en 80 cm lång och 10 cm hög stålram. Ett vattenpass lades ovanpå ramen och höjden från fårans botten respektive markytan upp till ramens överkant mättes med en linjal och höjdskillnaden gav fårans djup. I varje ruta gjordes sex sådana mätningar.

Resultat

Gödselns placering

I tabell 8 och bild 3-6 presenteras höjd och bredd (medelvärden) hos gödselsträng efter spridning. För tekniken injicering med tryck har mätningen gjorts i punkten för injicering. För att kunna statistiskt jämföra bredden på gödselsträngarna utlagda på olika c/c-avstånd, har bredden i tabell 8 omräknats till medelbredd per 0,3 m arbetsbredd. I bilderna är faktiska bredder redovisade.

Av resultaten framgår att gödselsträngbredden i medeltal per 0,3 m i sidled var signifikant smalast vid ytmyllning med bill bestående av två vinklade skivor. Den billen myllade också signifikant djupast på lerjordarna år 2000 och 2002. År 2001 på den sandiga mojordern gick den tillsammans med ytmyllning med tryck djupast ned i marken.

Ytmyllning med tryck innebar under första och sista året stor nedsmutsning av grödan till följd av skvättande. Gödselstrålen orkade inte penetrera marken och endast mycket små gödselmängder hamnade under markytan. Undantag utgjorde andra året, då spridningen utfördes med ett betydligt högre tryck. Penetrationsmotståndet detta år (sandig lättlera) var också lägre än hos styva leran (år 2000) och moiga mellanleran (år 2002). Totalt sett innebar detta att gödsel och jord blandades i marken punktvis, se bild 7.

På gyttjeleran (bild 4) placerades gödseln ned till ca 4-6 cm djup med samtliga myllare.

Tabell 8. C/c-avstånd mellan gödselsträngar samt medelbredd (för skivbillarna omräknat till 0,3 ms arbetsbredd) och medeldjup på gödsel uppmätt i tvärsnitt tagna i gödselsträngen vinkelrätt mot körriktningen. Ytmyllning med tryck ingick inte i den statistiska analysen av skillnader i bredd.

Teknik	C/c-avstånd, m	År 2000		År 2001		År 2002	
		Bredd, mm	Djup, mm	Bredd, mm	Djup, mm	Bredd, mm	Djup, mm
Bandspridning	0.30	88 ^a	-	59 ^a	-	69 ^a	-
Ytmyllning med tryck	0.30	147	19 ^a	79	47 ^a	93	20 ^a
Ytmyllning, V-formad skivbill	0.20	70 ^a	26 ^a	61 ^a	20 ^b	69 ^a	16 ^a
Ytmyllning, två vinklade skivor	0.25	24 ^b	50 ^b	23 ^b	45 ^a	33 ^b	39 ^b

^{a, b} Medelvärden med olika bokstäver inom varje kolumn är signifikant skilda ($p < 0,05$)

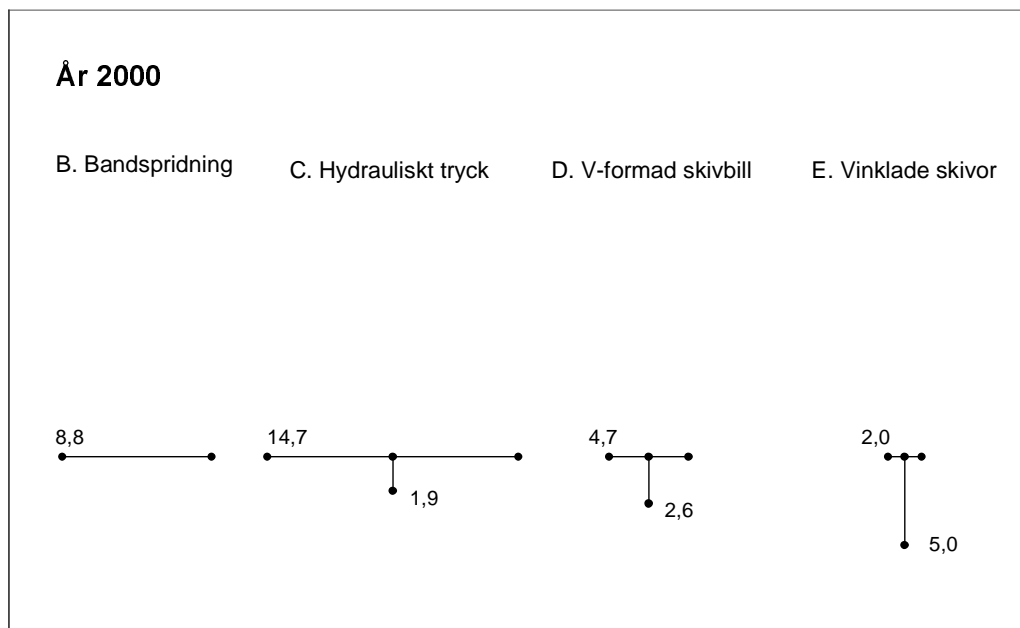


Bild 3. Gödselns placering efter spridning på styv lera, år 2000. Mått för enskilda gödselsträngar, cm.

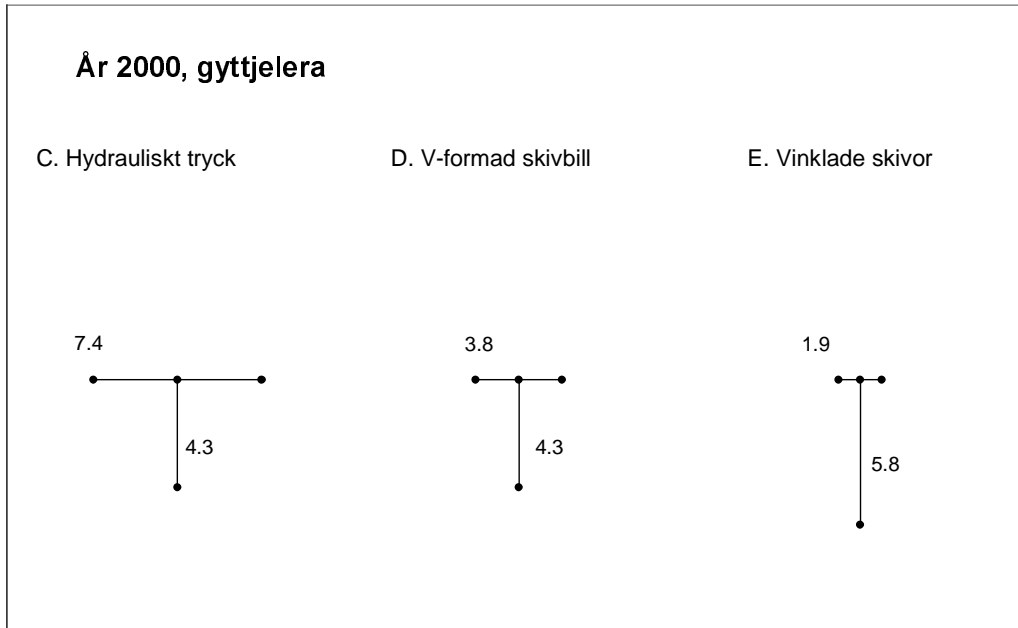


Bild 4. Gödselns placering efter spridning på gyttjelera, år 2000. Mått för enskilda gödselsträngar, cm.

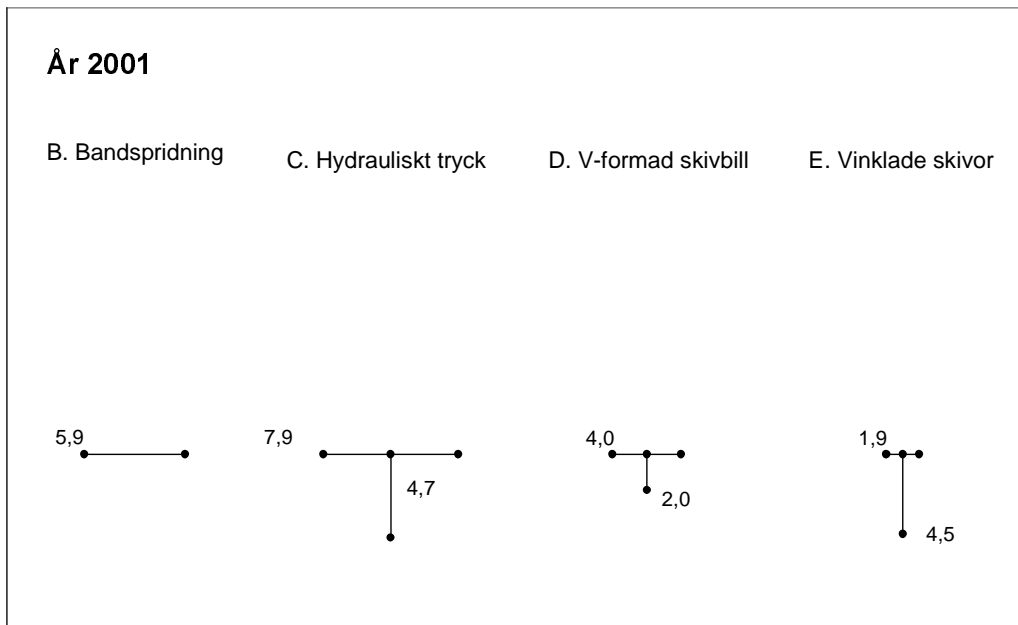


Bild 5. Gödselns placering efter spridning på sandig lättlera, år 2001. . Mått för enskilda gödselsträngar, cm.

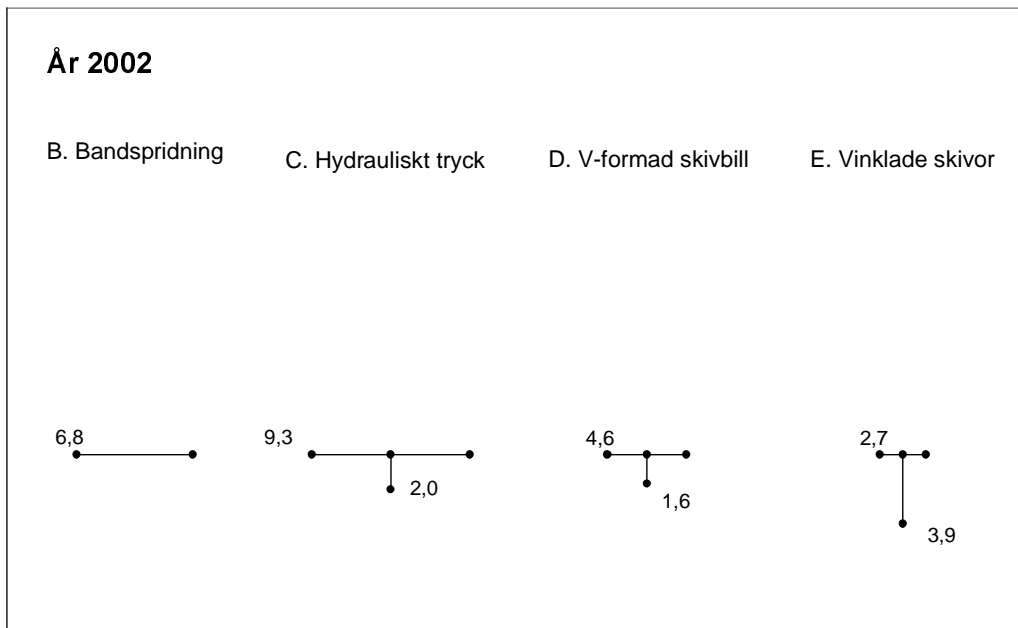


Bild 6. Gödselns placering efter spridning på mellanlera, år 2002. Mått för enskilda gödselsträngar, cm.



Bild 7. Foto av ytmyllad flytgödsel med högt tryck. I bilden syns punkter där gödseln injicerats ned i marken.



Bild 8. Foto av ytmyllad flytgödsel med bill bestående av två vinkelställda skivor. Myllningsraderna ligger tvärs bilden.

Ammoniakavgång

Ammoniakavgången var tämligen hög vid spridning på vallen efter första skörd, tabell 9. I medeltal över de tre åren var förlusten 69-78 procent av utspridd mängd ammoniumkväve för de tre första teknikerna. Samtliga år var förlusten lägst efter ytmyllning med billen bestående av två vinklade skivor. I medeltal för de tre åren uppgick kväveförlusten i form av ammoniak för den tekniken till 39 procent av det ammoniumkväve som utsprits med flytgödseln. År 2001 var ammoniakförlusterna högst. Förloppet för ammoniakavgången visar, att ca hälften av den uppmätta ammoniakemissionen avgick under de första 5-10 timmarna efter spridning, bild 9-11. Tredje året var förloppet för ammoniakavgången efter tryckgödsling mycket snabbt, mer än 25 kg kväve per ha avgick som ammoniak under de närmsta fyra timmarna efter spridning. I bilaga 2 visas förlusterna som kg N/ha. Vid bra myllning kunde man minska kväveförlusterna som ammoniak med ca 20 kg/ha.

Tabell 9. Kväve förlorat som ammoniak, i procent av utspridd mängd ammoniumkväve efter spridning av flytgödsel till vall med fyra olika tekniker. Riktgivan var 25 ton/ha och spridningen utfördes efter första skörd åren 2000 – 02.

Teknik	Ammoniakavgång, andel av utspridd $\text{NH}_4\text{-N}$, %			
	2000	2001	2002	I genomsnitt över 3 år
Bandspridning	44 ^a	95 ^a	82 ^a	75 ^a
Ytmyllning med tryck	65 ^a	74 ^{ab}	69 ^{ab}	69 ^{ab}
Ytmyllning, V-formad bill	83 ^a	101 ^a	50 ^{ab}	78 ^a
Ytmyllning, två vinklade skivor	33 ^a	49 ^b	34 ^b	39 ^b

^{a, b} Medelvärden med olika bokstäver inom varje kolumn är signifikant skilda ($p < 0,05$)

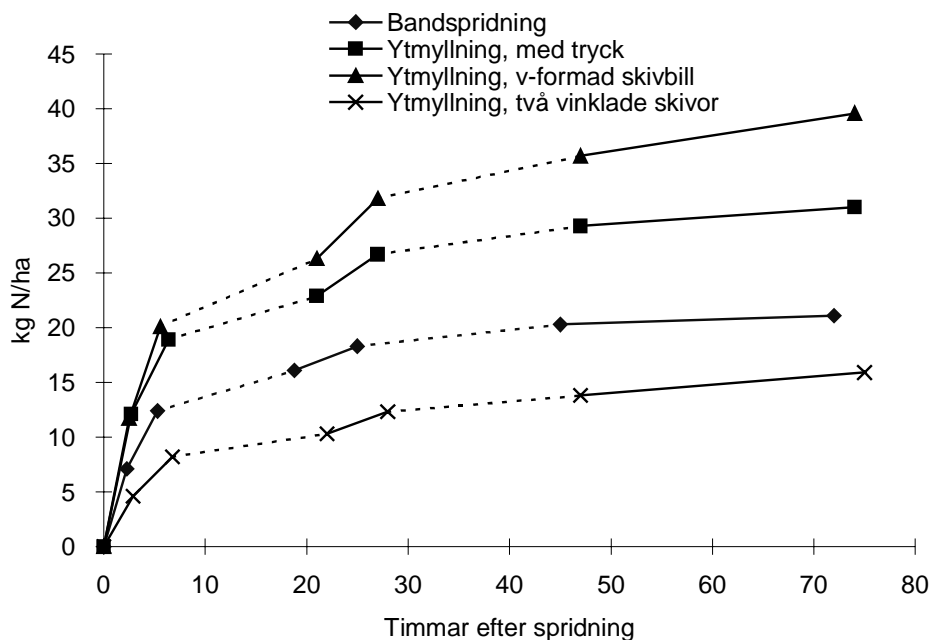


Bild 9. Kumulativa kväveförluster i form av ammoniak efter spridning av flytgödsel till vall (styv lera) med fyra olika tekniker. Under perioderna markerade med streckade linjer har ammoniakemissionen bestämts efter interpolation och korrigering för rådande väderförhållanden.

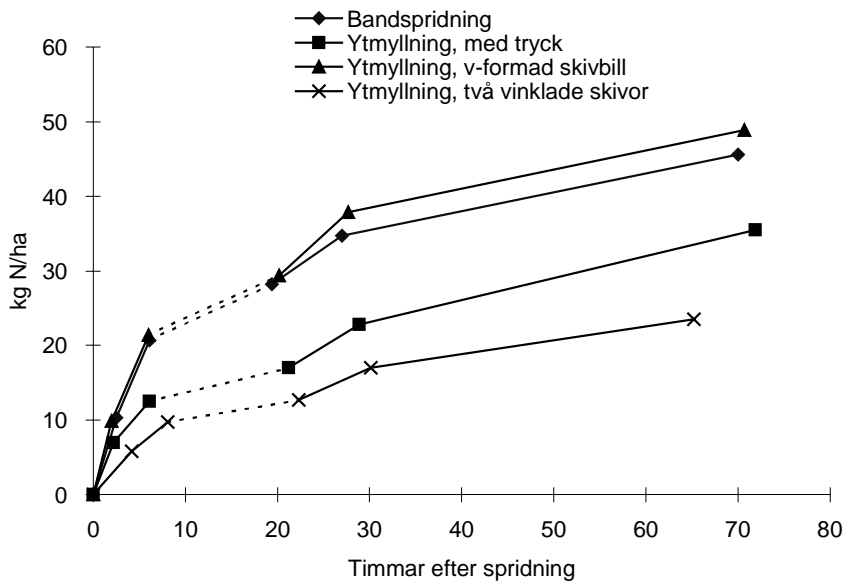


Bild 10. År 2001. Kumulativa kväveförluster i form av ammoniak efter spridning av flytgödsel till vall (sandig lättlera) med fyra olika tekniker. Under perioderna markerade med streckade linjer har ammoniakemissionen bestämts efter interpolation och korrigering för rådande väderförhållanden.

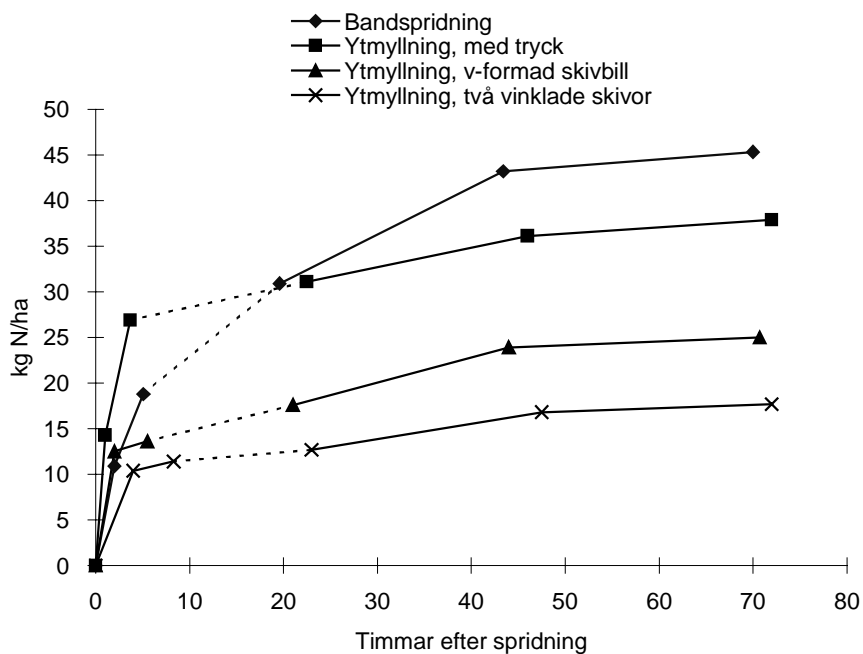


Bild 11. År 2002. Kumulativa kväveförluster i form av ammoniak efter spridning av flytgödsel till vall (mellanlera) med fyra olika tekniker. Under perioderna markerade med streckade linjer har ammoniakemissionen bestämts efter interpolation och korrigering för rådande väderförhållanden.

Avkastning

Torrsubstansskörd

I bild 12-14 presenteras torrsubstansskördarna för åren 2000 – 2002.

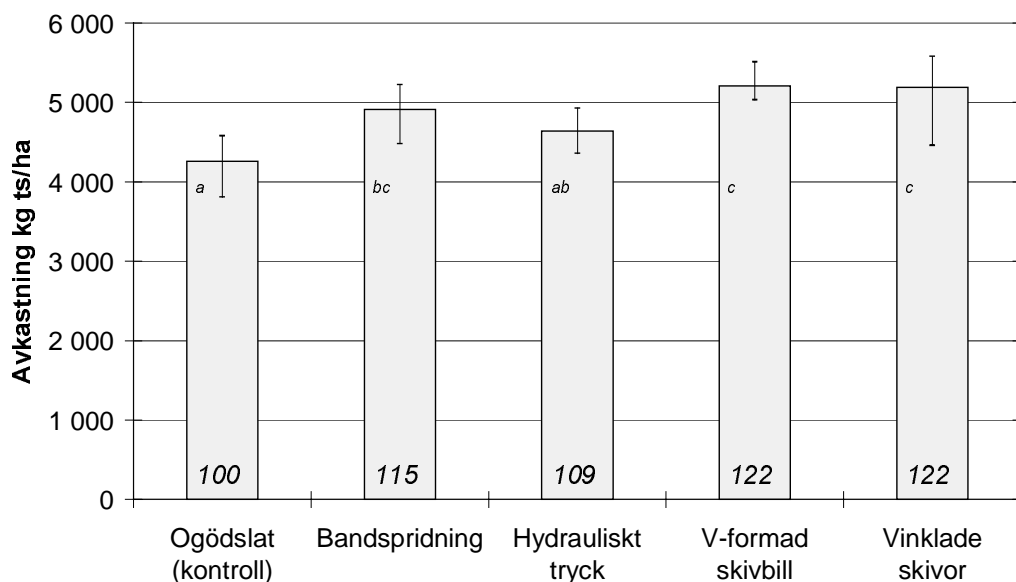


Bild 12. Andra skörd år 2000, gräsdominerad 1-årsvall på styv lera. Medelvärden (staplar) samt max- och minvärden för avkastning i blockförsöket. Värdena i botten på staplarna är relativt tal där det ogödslade ledet satts till 100. Medelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda ($p < 0,05$). Skördat 8 augusti, år 2000.

År 2000 var avkastningen i ogödslat led hög, över 4000 kg ts/ha. Gödsling med flytgödsel innebar en ökad skörd med 9-22 % (ca 400 – 1000 kg ts/ha) jämfört med ingen gödsling. Bandspridning samt ytmyllning med de två billtyperna gav signifikant högre skörd jämfört med ogödslat. Av myllningsteknikerna gav ytmyllning med hydrauliskt tryck signifikant lägre skörd än ytmyllning med de två olika billtyperna. Det går inte att statistiskt visa på en skillnad mellan bandspridning och de olika myllningsteknikerna.

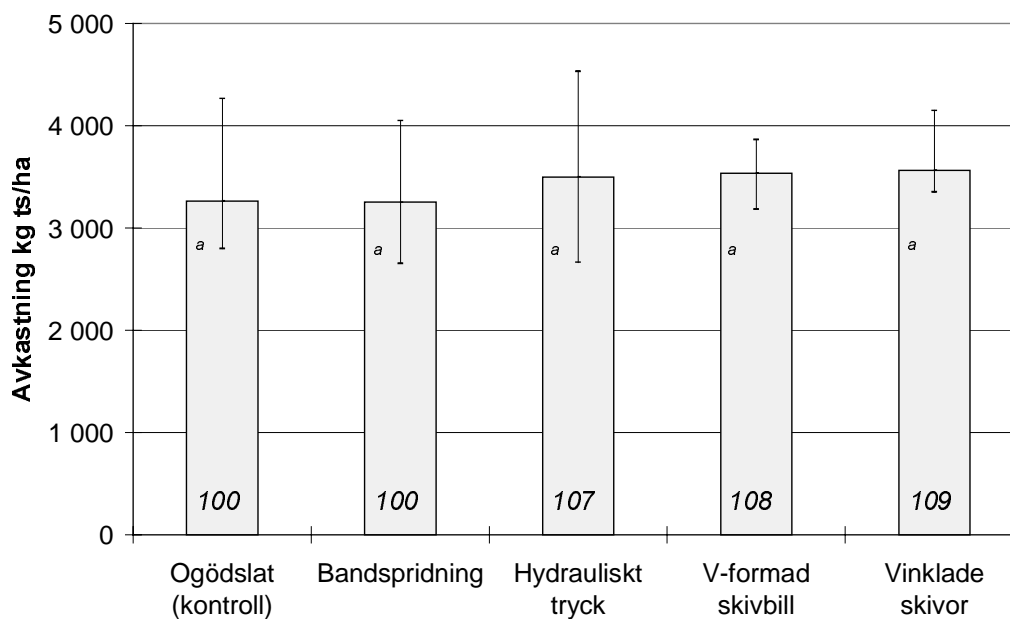


Bild 13. Andra skörd år 2001, gräsdominerad 2-års vall på sandig lättlera. Medelvärden (staplar) samt max- och minvärden för avkastning i blockförsöket. Värdena i botten på staplarna är relativtal där det ogödslade ledet satts till 100. Medelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda ($p < 0,05$) vilket betyder att detta år kunde inga signifikanta skillnader påvisas. Skördat 31 juli, år 2001.

År 2001 var skördeökningen liten (0-9% eller 0-300 kg ts/ha) till följd av flytgödslingen jämfört med ogödslat. Ogödslat led gav en tämligen hög skörd, ca 3200 kg ts/ha. Ingen effekt av bandspriden flytgödsel kunde mätas i jämförelse med ogödslade ytor. Detta år resulterade alla ytmyllningsteknikerna i ungefär lika stora skördar. Det gick inte att visa några signifikanta skillnader mellan försöksleden.

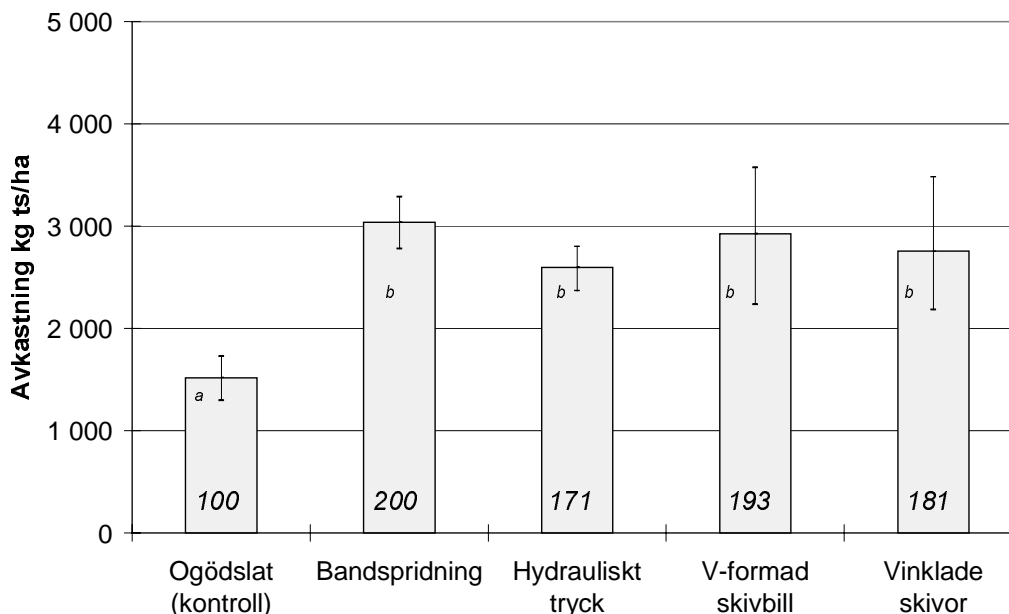


Bild 14. Andra skörd år 2002, gräsdominerad 4-årsvall på moig mellanlera. Medelvärden (staplar) samt max- och minvärden för avkastning i blockförsöket. Värdena i botten på staplarna är relativt där det ogödslade ledet satts till 100. Medelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda ($p < 0,05$). Skördat 29 juli, 2002.

År 2002 var skördenivån på vallen vid ingen gödsling låg, endast ca 1500 kg ts/ha. Vallen svarade bra vid tillförsel av flytgödsel, då skörden blev omkring dubbelt så stor (skördeökning med ca 1100-1500 kg ts/ha). Högst skörd uppmättes efter bandspridning, men det fanns ingen statistisk säker skillnad mellan de flytgödslade leden. Däremot var skördarna efter flytgödslingen signifikant högre än i ogödslat led.

Kväveskörd

I tabell 10 redovisas analysresultaten av grödans innehåll av kväve. I stort är skillnaderna i innehåll liten mellan leden inom respektive år och dessa små skillnader mellan försöksled är inte signifikanta. I medeltal över åren är kväveinnehållet detsamma för samtliga led.

Tabell 10. Grödans innehåll av kväve, % av torrsubstans från de fem leden och tre åren.

Led	% N av ts			
	År 2000	År 2001	År 2002	Medeltal
Ogödslat	1,43	1,84	1,31	1,53
Bandspridning	1,28	1,97	1,34	1,53
Ytmyllning med tryck	1,33	1,97	1,39	1,56
Ytmyllning, V-formad bill	1,25	1,98	1,37	1,53
Ytmyllning, två vinklade skivor	1,21	1,98	1,44	1,54

Nedan i bild 15-17 redovisas kväveskörden för respektive år. Innehållet av kväve var relativt högt i ogödslad led år 2000, vilket innebär att skillnaden i kväveskörd mellan ogödslad och gödslade led minskar jämfört med torrsubstansskördarna. Som högst redovisas för detta år 7 % ökad kväveskörd till följd av flytgödsling jämfört med ogödslad. År 2001 var det relativt lågt innehåll av kväve i ogödslad led, vilket därmed resulterade i relativt större skillnader i kväveskörd mellan ogödslad och flytgödslade led jämfört med torrsubstansskördar.

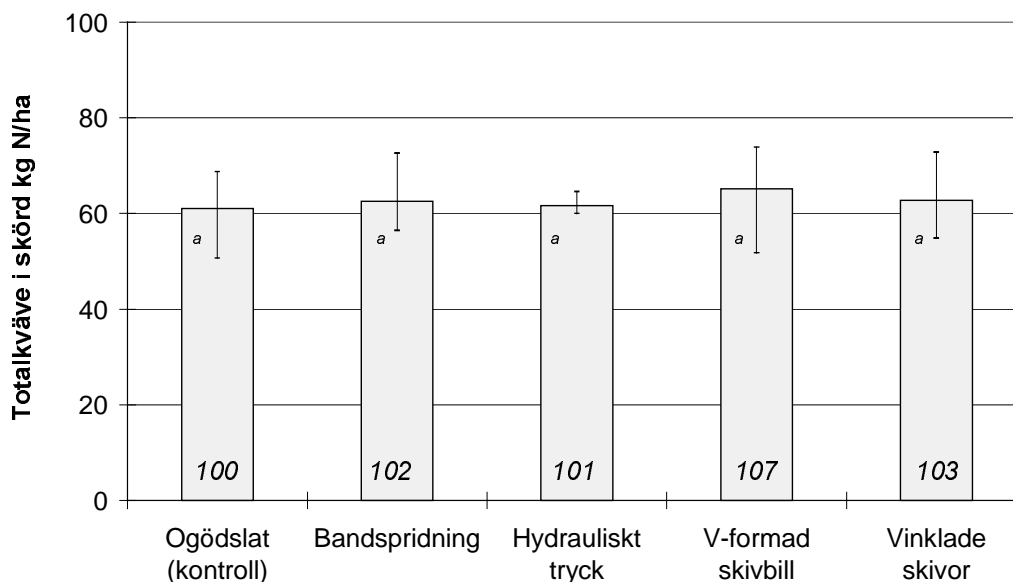


Bild 15. Andra skörd (kg N/ha) år 2000, gräsdominerad vall på styv lera. Medelvärden (staplar) samt max- och minvärden för avkastning i blockförsöket. Värdena i botten på staplarna är relativtal där det ogödslade ledet satts till 100. Medelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda ($p < 0,05$) vilket betyder att detta år kunde inga signifikanta skillnader påvisas. Skördat 8 augusti, 2000.

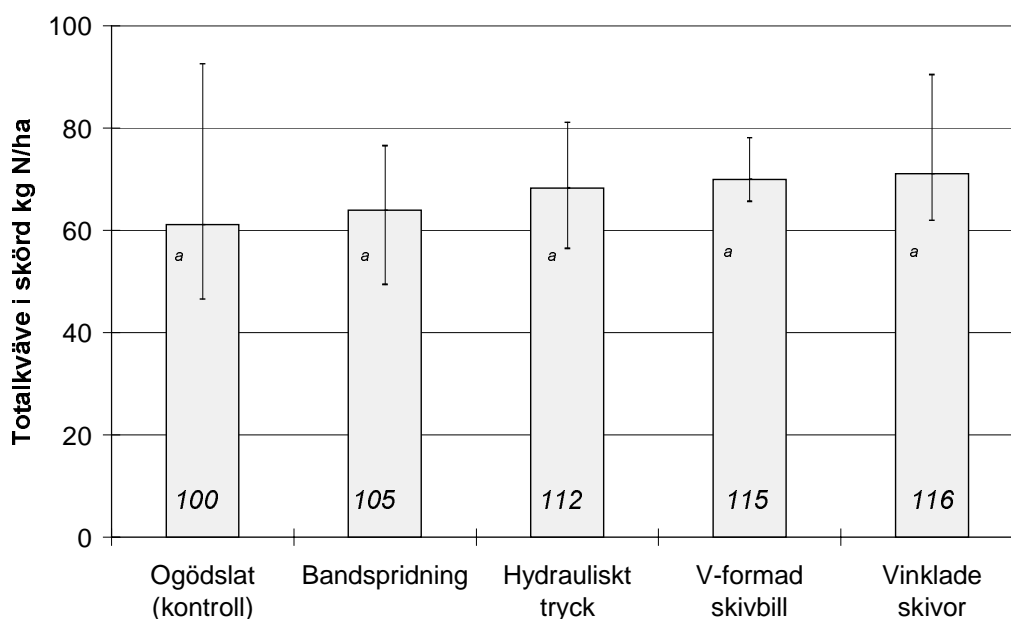


Bild 16. Andra skörd (kg N/ha) år 2001, gräsdominerad vall på sandig lättlera. Medelvärden (staplar) samt max- och minvärden för avkastning i blockförsöket. Värdena i botten på staplarna är relativtal där det ogödslade ledet satts till 100. Medelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda ($p < 0,05$) vilket betyder att detta år kunde inga signifikanta skillnader påvisas. Skördat 31 juli, 2001.

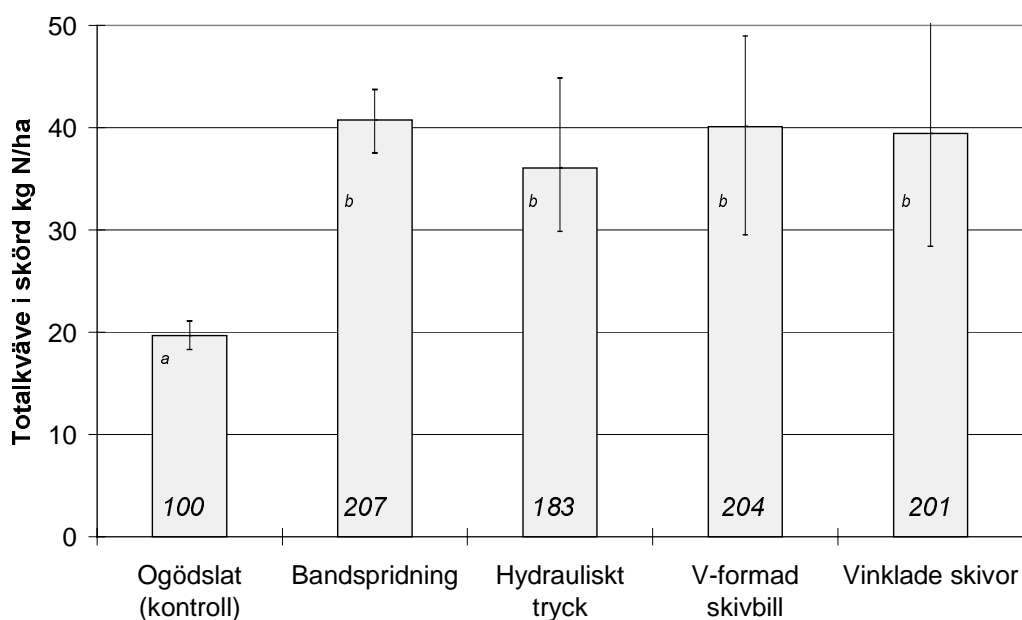


Bild 17. Andra skörd (kg N/ha) år 2002, gräsdominerad vall på moig mellanlera. Medelvärden (staplar) samt max- och minvärden för avkastning i blockförsöket. Värdena i botten på staplarna är relativtal där det ogödslade ledet satts till 100. Medelvärden med olika bokstäver är signifikant skilda ($p < 0,05$). Skördat 29 juli, 2002.

Kväveeffektiviteten beräknades enligt nedanstående formel:

$$\text{Kväveeffektivitet, \%} = \frac{\text{N-skörd gödslat} - \text{N-skörd ogödslat [kg]}}{\text{Tillförd mängd lättlösligt N [kg]}} * 100$$

I tabell 11 redovisas kväveeffektiviteten. År 2002 var den högst medan första året var effektiviteten låg. Högst kväveeffektivitet hade de två myllarna med billar.

Tabell 11. Kväveeffektiviteten hos utspridd flytgödsel med olika spridningsteknik för åren 2000 – 02.

Spridningsteknik	Kväveeffektivitet , %		
	2000	2001	2002
Bandspridning	3,2	5,8	38,1
Ytmyllning med tryck	1,2	14,5	30,0
Ytmyllning, V-formad bill	8,7	18,7	40,9
Ytmyllning, två vinklade skivor	3,6	21	38,4

Botanisk sammansättning

I bild 18-20 visas andelen klöver och gräs i prover skördade från de olika försöksleden. Klöverandelen (% andel av total torrsubstansvikt) i skördad gröda var högre i ogödslat led än i övriga led år 2000 och år 2002. I övrigt var klöverandelen mellan 10-20 % för de flytgödslade leden förutom år 2001, då andelen var betydligt högre efter ytmyllning med V-formad skivbill (>40%).

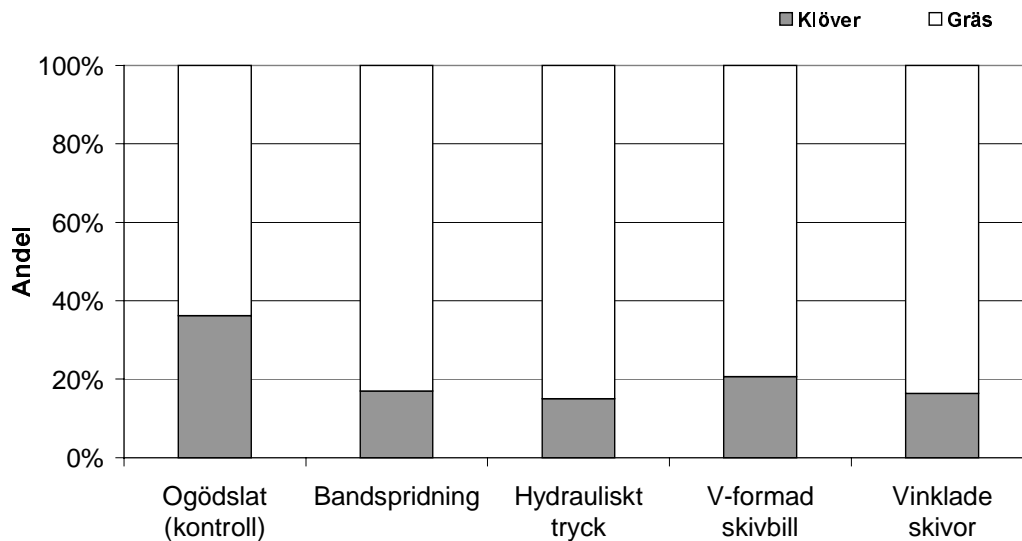


Bild 18. Botanisk sammansättning i skördad gröda, år 2000

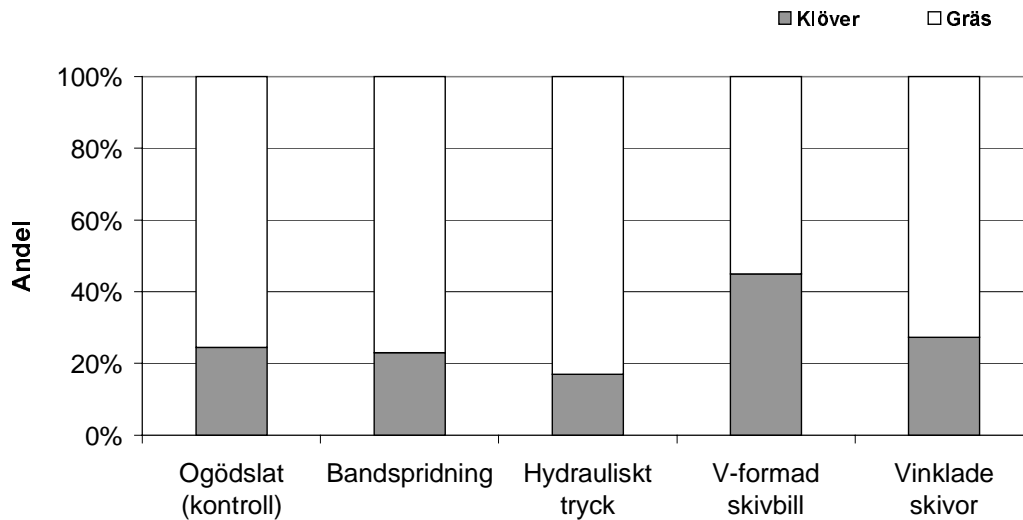


Bild 19. Botanisk sammansättning i skördad gröda, år 2001

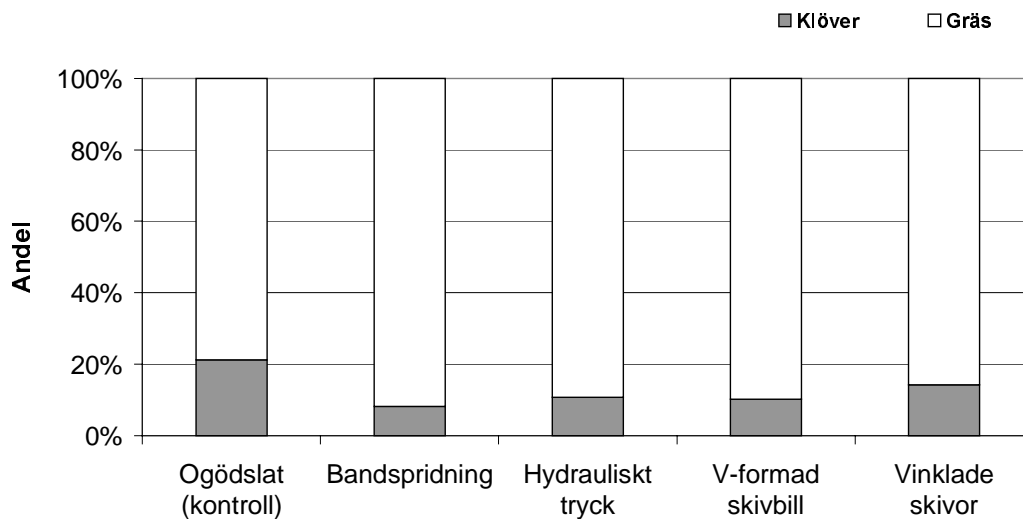


Bild 20. Botanisk sammansättning i skördad gröda, år 2002

Markfuktighetens inverkan på flytgödselinfiltration och gödselmyllarens arbetsdjup

I tabell 2 anges försöksjordarnas mekaniska sammansättning. I tabell 12 anges infiltrationshastighet för flytgödsel och vatten. I medeltal var infiltrationen för gödsel fem gånger lägre än den för vatten. För vattnet minskade infiltrationsförmågan med ökad markfuktighet, men för flytgödseln var skillnaden obetydlig för de olika leden. Infiltrationshastigheten för gödsel var högst på lättleran.

Infiltrationshastigheten för gödsel på mellanleran och den styva leran var ungefär lika stor.

Tabell 12. Infiltrationshastighet för flytgödsel, mm/timme, vid olika markfuktighet. Medelvärden med samma bokstav är ej signifikant skilda vid $p < 0,05$. I parentes anges motsvarande infiltrationshastighet för vatten som är medelvärde för tre tillfällen.

Led	Styv lera, 2000	Sandig lättlera, 2001	Moig mellanlera, 2002	Medeltal för gödsel
A	6 (42)	21 (58)	6 (67)	11 ^a
B	5 (36)	11 (45)	7 (71)	7 ^b
C	4 (37)	20 (39)	6 (52)	10 ^a
D	4 (29)	14 (36)	8 (46)	g ^{ab}

Penetrationsmotståndet sjönk drastiskt med stigande vattenhalt, särskilt i den styva leran (bild 21-23). I bild 24 anges myllarens arbetsdjup som funktion av matjordens vattenhalt. Bevattning förbättrade arbetsdjupet markant. Vid torrare jord bildades sprickor och jord lossade efter körning med ytmyllaren. Detta kan vara positivt eftersom kontaktytorerna mellan jord och gödsel ökar. Vid hög fuktighet skapades smala fåror utan löst jordmaterial. Vid en jämförelse mellan jordarna vid samma vattenhalt, så gick billen ned djupast på sandiga lättleran.

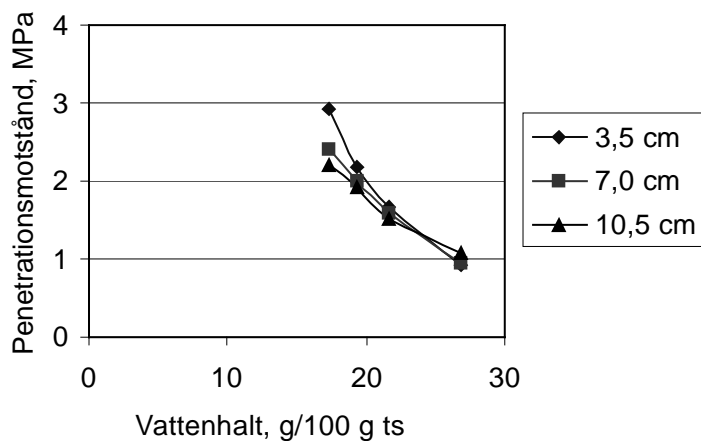


Bild 21. Styv lera, år 2000. Penetrationsmotstånd som funktion av vattenhalt.

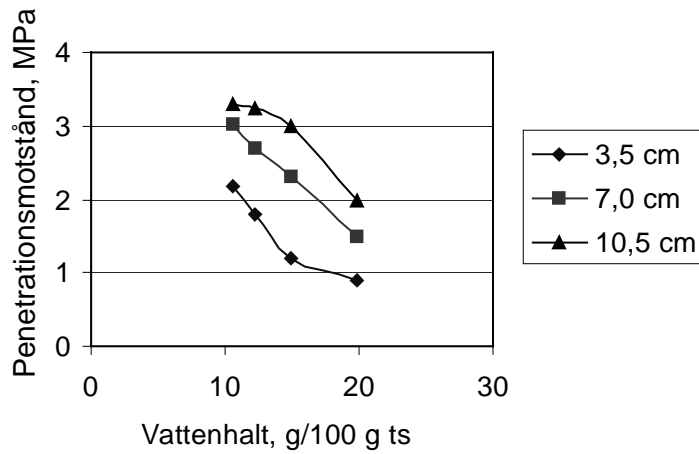


Bild 22. Sandig lättlera år 2001. Penetrationsmotstånd som funktion av vattenhalt.

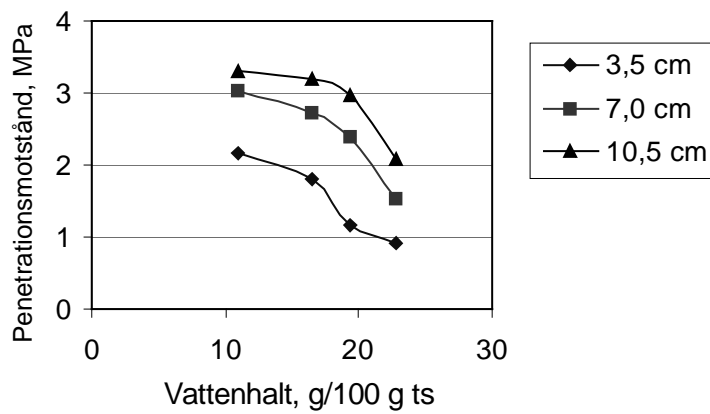


Bild 23. Moig mellanlera, år 2002. Penetrationsmotstånd som funktion av vattenhalt.

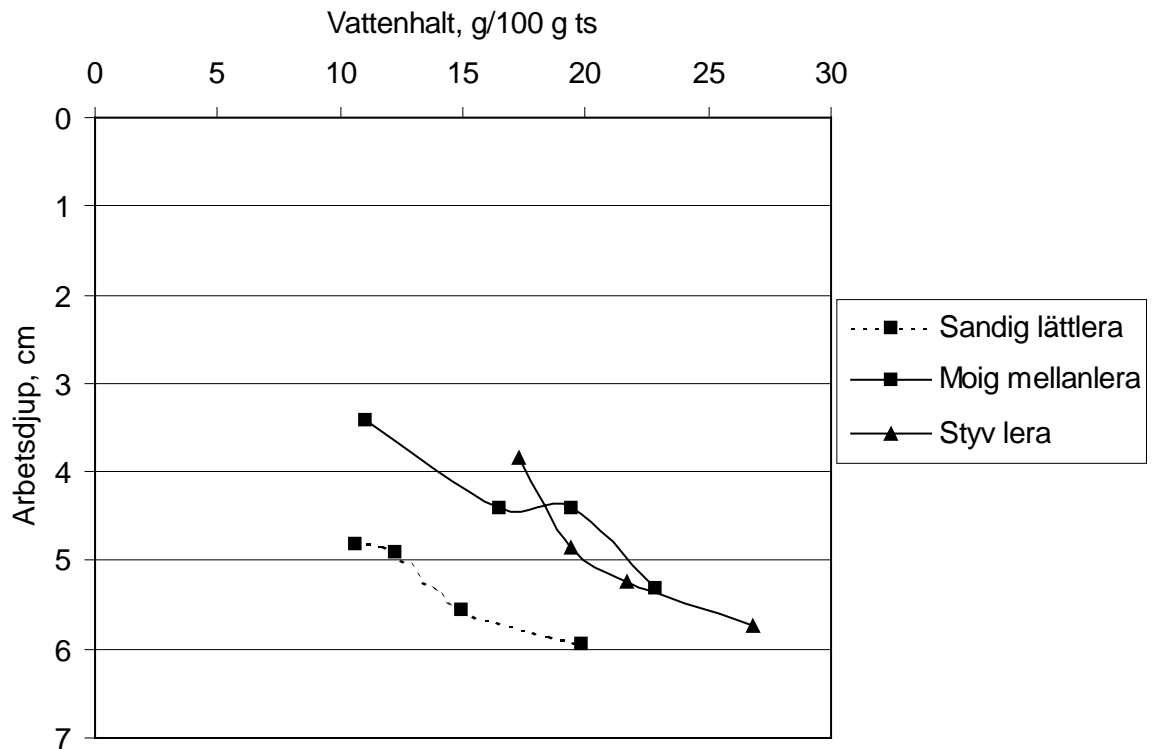


Bild 24. Flytgödselmyllarens arbetsdjup som funktion av markens vattenhalt.

I bild 25 illustreras försöksjordarnas förmåga att behålla (drag åt sig) vatten vid ett givet negativ tryck (som också kallas vattenavförande tryck). Allmänt innehåller en styv jord mer vatten än en lätt jord vid samma vattenavförande tryck. Denna process har en stor betydelse för hur en omättad jord kan dra åt sig en vätska, t.ex. flytgödsel. Den relativa vattenhalten vid 0,5 m v. p. eller 1 m v. p. vattenavförande tryck var nästan lika för de tre jordarna, men den lättaste jorden blev torrare än övriga jordar vid 6 m vattenavförande tryck.

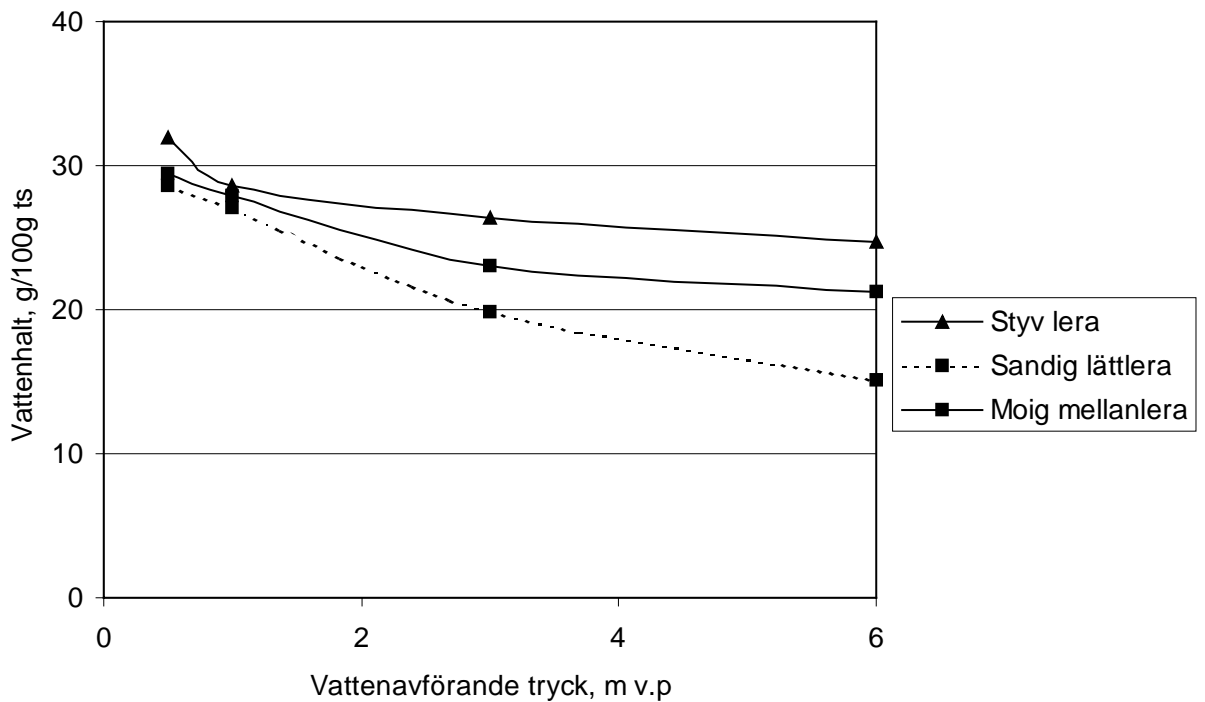


Bild 25. Försöksjordarnas vattenhalt vid olika vattenavförande tryck, m vattenpelare.

Diskussion

Motiven för att använda ytmyllningsaggregat vid spridning på vall är som störst när det är stor risk för höga ammoniakförluster. Varmt väder och hårda markförhållanden kan ofta råda vid spridning efter vallskörd. Tidigare försök (Elmquist *et al.*, 1996) visar att förlusterna är högre vid spridning efter första skörd än på våren. Nedanstående försök har därför utförts efter första skörd med tanke på att om ytmyllarna fungerar under dessa tuffa förhållanden, så fungerar de förmodligen även på mjukare mark.

Kriterierna för val av vallar var att de skulle domineras av gräs och att de skulle ligga på tre vanliga jordartstyper, lerig sand, lättlera och mellanlera. Dessa jordtyper tillsammans utgör ca 75% av åkerjordar i Sverige (Eriksson m.fl., 1999). Valet av jordar gjordes utifrån markkartor. Vid efterföljande texturanalys visade sig att jordprovet från försöksrutorna inte alltid överensstämde helt med jordarten på markkartan. Önskemålet med lågt baljväxtinslag grundar sig på att baljväxter inte alltid svarar positivt på gödning (Elmquist *et al.*, 1996) och därmed kan tolkningen av resultaten försvåras.

Gödselns placering

Endast ytmyllaren med billar bestående av två vinklade skivor placerade gödseln under markytan samtliga tre år. När marken var mycket hård (år 2002) gick dock

aggregatet inte ned till inställt djup på 5 cm utan djupet på gödselsträngen blev i medeltal 4 cm. Penetrationsmotståndet uppmättes till 3,4 MPa på mellanleran år 2002. Gytjtjeleran hade det lägsta penetrationsmotståndet (0,8 MPa) och på den jorden fungerade även ytmyllning med högt tryck respektive med tjock skivbill, dvs. gödseln gick ned ca 4 cm i marken. Ammoniakavgången mättes dock inte på gytjtjeleran.

Vid myllning med tryck ska enligt firmarepresentanterna gödseln blandas med jorden i injiceringspunkterna. På den sandiga lättleran, där tryckmyllaren fick ned gödseln i marken, överensstämde den beskrivningen ganska väl, se bild 7. Och om man tog gödsel från injiceringspunkterna och gnuggade den mellan två fingrar, så kunde man känna sandkornen. Endast på den tryckmyllare, som användes år 2001 på sandiga lättleran, var det möjligt att hålla ett gödseltryck över 1 MPa. Försöksresultaten tyder på att markförhållandena antagligen krävde högre gödseltryck än vad som maximalt gick att få under år 2000 och 2002 för de spridare med DGI®-aggregat som då inlånats.

Ammoniakavgång

Förloppet för ammoniakavgången (bild 9-11) visar, att ca hälften av den uppmätta ammoniakemissionen avgick under de första 5-10 timmarna efter spridning. Det betyder att ammoniakbegränsande åtgärder måste sättas in direkt vid spridning och förstärker motivet till att använda teknik som minimerar förlusterna direkt efter spridning.

Andra året, då försöket var förlagt på den lättaste jorden, var ammoniakförlusterna högst. Lägst ammoniakförluster erhöles första året när försöket låg på styv lera. Vid en granskning av väderdata registrerade under ammoniakmätningarna (tabell 5) är temperaturförhållandena i stort likvärdiga under år 2000 och år 2001. År 2000 blåste det dock lite mer än år 2001. Gödseln egenskaper t.ex. torrsubstanshalt och fluiditet (flytegenskaper) var ungefär desamma för de bägge åren. Beträffande markegenskaper, så hade sandiga lättleran (2001) den lägsta tensionen, dvs. sämst förmåga att kapillärt suga åt sig vätska (bild 25). Detta kan ha bidragit till hög ammoniakavgång. Samtidigt var infiltrationshastigheten hos gödseln högst på denna jord, vilket borde missgynnat ammoniakavgången. Vad som haft störst påverkan är svårt att säga.

Avkastning

Avkastningsökningen till följd av flytgödsling var låg år 2001. Det kan bero på torkan under månaderna maj – juli vilket kan ha begränsat tillväxten hos grödan. Eventuellt hade utspridd gödsel effekt på efterföljande skörd.

Under det sista året svarade grödan däremot bra på flytgödslingen med en kväveeffektivitet kring 30-40 procent. Vallen gav emellertid relativt låg skörd i ogödslad led, vilket möjligen berodde på att vallen legat några år (IV-års vall). Det betyder att högsta avkastningen efter gödsling år 2002 ändå låg under skörden i ogödslad led år 2000 och 2001.

Vid en studie av ammoniakavgången och avkastningen går det tyvärr inte att förklara hög avkastning med låg ammoniakemission. Trots halverad kväveförlust vid myllning med billar bestående av två skivor, blev inte skörden högre jämfört med de andra spridarna. Under åren 2001 och 2002 var vädret mellan spridning och skörd torrare än normalt. Kanske har tillgången till vatten begränsat tillväxten. Det gick inte att se några skador på vallen efter myllningen men det går inte heller att utesluta att det kan ha förekommit.

Markfuktighetens inverkan på flytgödselinfiltration och gödselmyllarens arbetsdjup

Hastigheten för flytgödselinfiltrationen var mycket låg jämfört med vatteninfiltrationen. Studier kring markfuktighetens inverkan på gödselinfiltration i olika jordar är sällsynta både i Sverige och utomlands. Ytterligare undersökningar både i fält och i laboratorium kan ge förståelse för infiltrationens betydelse för att minska ammoniakavgången och därmed öka utnyttjandet av kvävet.

Enligt mätningar av ammoniakavgången efter spridning i denna och tidigare studier är ammoniakavgång stor under de första timmarna efter spridning. På åkermark utan gröda kan man minska ammoniakavgången genom att arbeta in gödseln t.ex. med en harv, men denna åtgärd är begränsad i vall. Därför är det viktigt att välja den bästa tekniken och spridningstidpunkten i förhållande till en optimal markfuktighet. Mätningarna visade att vid högre markfuktighet gick det lättare att få ned myllaren i marken. Samtidigt kan det bli skadlig markpackning vid körning med tunga spridarekipage då marken är för fuktig. En rekommendation kan vara att ytmyllningsaggregat inte bör monteras på alltför tunga spridar-tankvagnar. Emellertid skiljer sig den optimala vattenhalten både för minimala packningsskador och för effektiv gödselmyllning från jord till jord. Mätning av penetrationsmotståndet kan ge en viss vägledning för att bedöma möjligt myllningsdjup.

Slutsatser

- Under rådande förhållanden var det endast ytmyllaren med billar bestående av två vinklade skivor som placerade gödseln under markytan samtliga tre år. Ytmyllning med tryck fungerade också ett av åren, då gödseltrycket var förhöjt och gödseln spreds på en sandig lättlera.
- Ammoniakavgången var hög efter bandspridning eller då myllningen inte fungerade. Cirka 75 procent av utspridd mängd ammoniumkväve avgick då i form av ammoniak.
- Ammoniakavgången var signifikant lägre efter ytmyllning med billar bestående av två vinklade skivor jämfört med bandspridning två av de tre åren. I medeltal uppnåddes en halverad ammoniakavgång med denna teknik jämfört med bandspridning.
- Ytmyllning med tryck innebar lägre ammoniakavgång än bandspridning under ett år av de tre åren, då myllningen fungerade tillfredställande.
- Avkastningen vid andra skörd varierade mellan åren beroende på årsmån, markförhållanden och gröda. I ogödslat led erhöles som högst 4200 kg ts/ha (år 2000) och som lägst 1500 kg ts/ha (år 2002).
- Spridning av flytgödsel med givan ca 50 kg NH₄-N/ha gav en skördeökning med 200 - 1500 kg ts/ha för de olika åren och teknikerna.
- Den enda statistiskt säkra skillnaden i ts-skörd mellan spridningsteknikerna var att ytmyllning med tryck gav signifikant lägre skörd jämfört med de två ytmyllningsteknikerna med billar år 2000. Det var dock inte någon statistisk säker skillnad i ts-skörd mellan bandspridning och de olika myllningsteknikerna något av åren.
- Det var små skillnader i kväveinnehåll hos grödan efter olika gödslingar. Endast år 2002 fanns det signifikanta skillnader i avkastningen räknat i kg N/ha.
- Andelen klöver var högre i ogödslat led än i de flytgödslade leden under två av de tre åren.
- Markfuktigheten påverkar billarnas förmåga att gå ned i marken och därmed placeringen av gödseln i marken.
- Infiltrationshastigheten hos gödseln påverkades inte av markens fuktighet. För att säkra en bra kontakt mellan jord och gödsel bör gödseln myllas ned i jorden.

Referenser

- CEN (European committee for standardization), 2002. Agricultural machinery – Slurry tankers and spreading devices – Environmental protection – Requirements and test methods for the spreading precision. Ref. No. EN 13406:2002 E, Bryssel.
- Döhler H., 1991. Laboratory and field experiments for estimating ammonia losses from pig and cattle slurry following application. In: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming (Nielsen V C; Voorburg J H; L’Hermite P, eds). Proceedings of a seminar held in Silsoe, UK, 26-28 March, pp 132-140.
- Elmqvist H., Malgeryd J., Malm P. & Rammer C., 1996. Flytgödsel till vall – ammoniakförluster, avkastning, växtnäringssutnyttjande och foderkvalitet. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* 220, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Eriksson J., Andersson A. & Andersson R., 1999. Åkermarkens matjordstyper. Rapport 4955, Naturvårdsverket.
- Hansen, M.N., 2001. Reduction of ammonia emission by slurry injection - effect of different types of injectors. Proc. NJF-Seminar, 320: Sustainable handling and utilisation of livestock manure from animals to plants. DIAS report - Animal Husbandry, 21, 98-105.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. & Bussink, D.W., 1997. Reduction of Ammoniak Emission by New Techniques on Grassland. In: Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands. Editors Jarvis S.C. & Pain B.F. s. 281-285. CAB International, UK.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. & Hendriks, M.M.W.B., 2001. Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilisation from manure applied to grassland. Netherlands Journal of Agricultural Science 49, 323-342.
- Minitab Inc., 2000. MINITAB™ Statistical Software, User’s Guide, Release 13, USA.
- Montgomery, D.C. 1984. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Inc, Singapore, 538 p.
- NMKL (Nordisk Metodikommitté för livsmedel), 1976. NMKL-metod nr 6. Nitrogen. Bestämning i livsmedel och fodermedel efter Kjeldahl, 3rd Ed., Oslo, Norge.
- Rodhe L., Salomon E. & Rammer C., 1995. Spridning av fast- och kletgödsel till vall. JTI-rapport 203, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rodhe L., Algerbo P-A. & Rammer C., 2000. Flytgödselspridning på vall. Ny teknik under svenska förhållanden. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* 267, JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rodhe, L. & Rammer, C., 2002. A comparison of methods for applying cattle slurry to ley. Biosystems Engineering, 83(1), pp. 107-118, doi:10.1006/beng.2002.0097
- SAS Institute Inc., 1994. SAS/STAT® User’s Guide, Version 6, Fourth Edn, Cary, NC, USA.
- SCB, 2003. Utsläpp till luft av ammoniak i Sverige 2001. Statistiska meddelanden Mi 37 SM 0201, Stockholm.

- Smith, K. A., Jacson, D. R., Misselbrook, T. H., Pain, B. F. & Johnson, R. A., 2000. Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(3), 277-287, doi:10.1006/jaer.2000.0604.
- Steffens G. & Lorenz F., 1998. Slurry application on grassland with high nutrient efficiency and low environmental impact. In: *Proceedings of International Workshop on Environmentally Friendly Management of Farm Animal Waste*. (T. Matsunaka, ed). Sapporo, Japan.
- Svensson L., 1993. Ammonia volatilization from land-spread livestock manure: Effects of factors relating to meteorology, soil/manure and application technique. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering, S-750 07 Uppsala, Sweden. ISBN 91-576-4739-9. JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, P.O. Box 7033, SE-750 07 Uppsala, Sweden.
- Svensson L., 1994. A new dynamic chamber technique for measuring ammonia emissions from land-spread manure and fertilizers. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 44(1): 35-46.

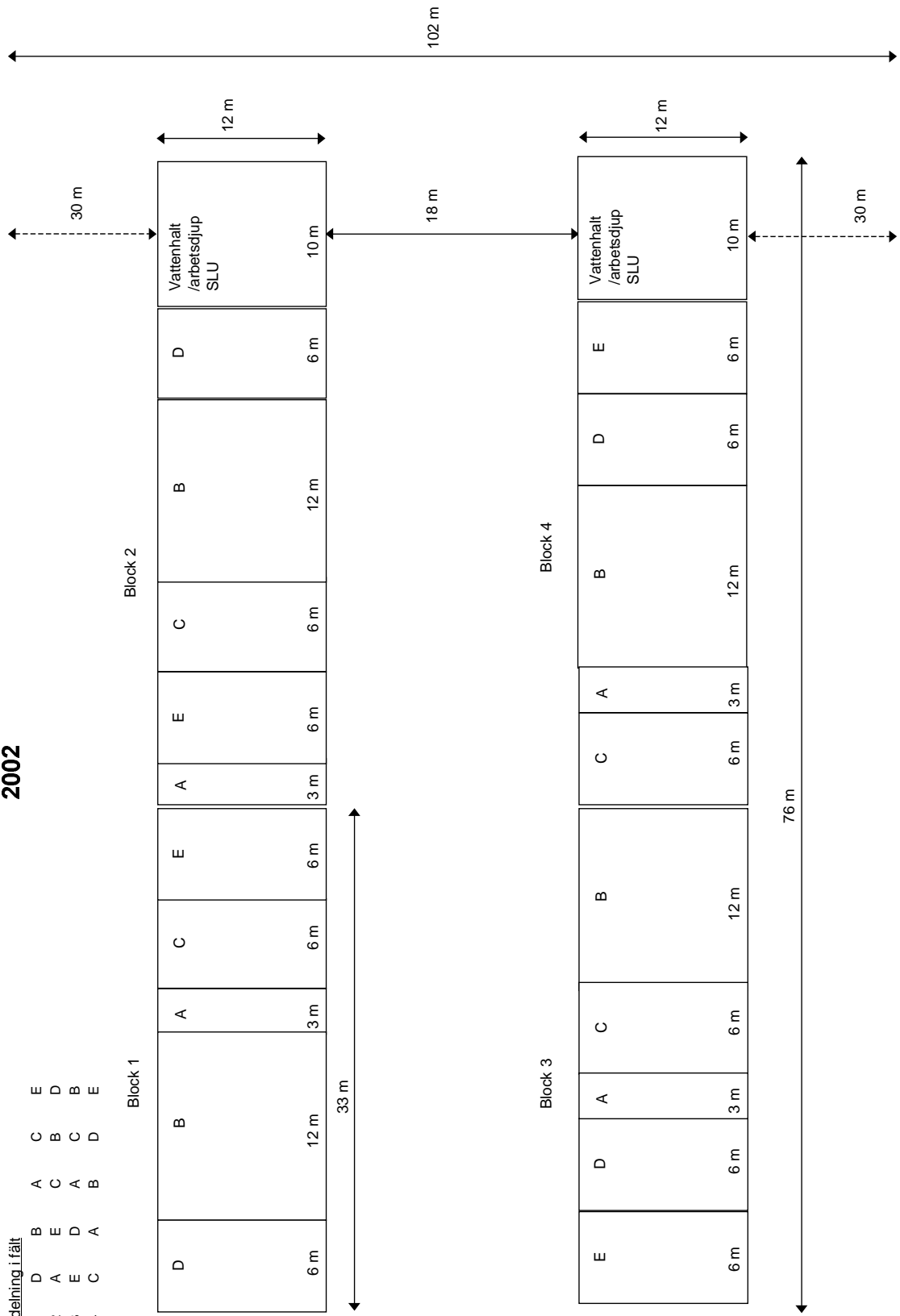
Nicholas Jarvis, Inst. för Markvetenskap, SLU (personlig kommunikation)

Bilaga 1

2002

Rutfördelning i fält

Block 1	D	B	A	C	E
Block 2	A	E	C	B	D
Block 3	E	D	A	C	B
Block 4	C	A	B	D	E



Bilaga 2

Tabellen visar kväve förlorat som ammoniak i kg N/ha efter spridning av flytgödsel till vall med fyra olika tekniker. Spridningen utfördes efter första skörd åren 2000 – 02. Riktgivan var 25 ton/ha och avvikelsen uppgick endast till några ton i enstaka fall.

Teknik	Ammoniakavgång, kg N/ha			
	2000	2001	2002	I genomsnitt över år 1-3
Bandspridning	21	45	45	37
Ytmyllning med tryck	31	35	38	35
Ytmyllning bill JAKO	40	48	25	38
Ytmyllning bill JOS	16	23	18	19
Medeltal	27	38	31,5	32

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik. Vårt arbete ska ge dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vill du få fortlöpande information om aktuell verksamhet och nya publikationer från JTI?

Varje vecka skickar vi ut aktuella *webbnotiser* om aktuell forskning och utveckling, gå in på www.jti.slu.se för att anmäla dig (tjänsten är gratis).

Det tryckta nyhetsbrevet *Axplock från JTI* tar främst upp ämnen som rör lantbruk och industri, kommer ut tre gånger per år och är gratis.

Du kan också prenumerera på *JTI-informerar*, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö.

Vill du fördjupa dig ytterligare finns *JTI-rapporterna*, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

JTI-rapporterna och *JTI-informerar* kan du beställa som lösnummer från JTI eller hämtar hem gratis som pdf-filer från vår webbplats. Där hittar du också aktuella prislistor m.m.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):
tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00
e-post: bestallning@jti.slu*



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA

Besöksadress: Ultunaallén 4

Webbplats: www.jti.slu.se

Telefon: 018 - 30 33 00

Telefax: 018 - 30 09 56

E-post: office@jti.slu.se