

JTI-rapport

Lantbruk & Industri

344

Åtgärder för minskad ammoniakavgång från fastgödsellager

Gustav Rogstrand
Marianne Tersmeden
Jan Bergström
Lena Rodhe



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

2005

Åtgärd för minskad ammoniakavgång från fastgödsellager

*Measures to Decrease Ammonia Emission
from Solid Manure Storage Facilities*

Gustav Rogstrand
Marianne Tersmeden
Jan Bergström
Lena Rodhe

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning.....	7
Summary.....	8
Bakgrund.....	9
Problembeskrivning	9
Mål	9
Litteraturstudie	9
Genomförande	11
Allmänt.....	11
Platsspecifika förutsättningar	11
Väderlek	11
Pilotförsök.....	12
Försöksuppställning.....	12
Invägning och karakterisering av gödsel.....	13
Torvkarakterisering	13
Ammoniakmätningar	13
Försök i fullskala.....	14
Beskrivning av försöksplats.....	14
Registrering av mängd gödsel i lager	14
Gödselkaraktärisering.....	15
Torvkaraktärisering	15
Mätningar och beräkning av ammoniakavgång.....	15
Resultat	16
Gödselkarakterisering	16
Torvkaraktärisering	17
Pilotförsök.....	18
Ammoniakavgång.....	18
Procentuell kväveförlust.....	19
Försök i fullskala.....	20
Gödselflöde till och från lagringsplatta	20
Vätskeflöde till och från lagringsplatta	21
Ammoniakavgång.....	23
Ekonomi.....	27
Diskussion.....	28
Pilotförsök.....	28
Väderförutsättningar och försöksplats.....	28

Täckning med gummiduk.....	29
Torvtillsats	30
Förbättrad dränering	30
Val av åtgärd inför den andra säsongen.....	30
Försök i fullskala.....	31
Mätmetodik.....	31
Torvens förmåga att binda vätska.....	32
Ammoniakavgång.....	32
Gödselzonernas relativa bidrag till den totala ammoniakavgången	33
Torv som strömedel	33
Ekonomi.....	34
Övriga erfarenheter och bedömningar	34
Slutsatser.....	34
Referenser	35
Internet	37
Bilaga 1	39
Bilaga 2	41
Bilaga 3	45
Bilaga 4.....	47
Bilaga 5	53

Förord

Varje år går stora mängder kväve förlorad till följd av ammoniakemissioner från fasta gödselslag. Det innebär inte bara ett miljöproblem utan är även en ekonomisk förlust för lantbrukaren som måste ersätta det förlorade kvävet med mineralkväve. Problemet blir extra aktuellt vid ekologisk djurhållning där certifieringsregler förhindrar att det förlorade kvävet ersätts med mineralbaserade gödselmedel.

Genom att lagstifta och utveckla regler för hur bland annat gödsel skall behandlas och lagras försöker myndigheterna avlasta Östersjön med avseende på bland annat tillförsel av näringsämnen. Det är mycket viktigt att teknikutvecklingen tillåts hålla jämna steg med bestämmelserna för exempelvis lagringskapacitet och täckning av gödsel. Jordbruksverket, Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) och Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA) har genom att finansiera det projekt högst påtagligt bidragit till denna utveckling.

Väldigt lite har hittills gjorts för att utveckla ekonomiskt och praktiskt gångbara metoder för att minska ammoniakavgången från fasta gödselslag, trots att de fortfarande utgör över 30 % av all gödsel från nötkreatur och svin. I den rapport ni just skall börja läsa presenteras ett antal möjliga åtgärder för att tillgodose behovet av att på ett praktiskt sätt minska kväveförlusterna från fastgödsel till en rimlig kostnad.

Försöken har utförts på Verkesta gård där brukaren Anders Zetterberg varit ytterst behjälplig med att upplåta utrymme och sin egen tid för att stödja projektet. Även torvleverantören Rölunda Produkter AB i Bålsta har bidragit till projektets genomförande, både finansiellt och genom kunskapsstöd.

Än en gång vill jag tacka våra bidragsgivare Jordbruksverkets ekologiska program, Stiftelsen Lantbruksforskning och Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien samt Anders Zetterberg på Verkesta gård och Rölunda Produkter.

Uppsala i december 2005

Lennart Nelson

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Ammoniakavgången från stallgödsellager utgör en stor del av kväveförlusterna från svenskt lantbruk. Vid utgödsling transporteras vanligen gödseln direkt ut på en lagringsplatta av betong, med eller utan stödmurar. Urinavskiljningen i stallet fungerar i många fall bristfälligt vilket medför att onödigt stor del av urinen följer med ut på plattan. Dessutom får lagringsplattan ta emot nederbörd som lakar ut växtnäring ur högen eller för med näringen när den rinner av gödselns yta och ut på den exponerade lagringsplattan. Gödselvatten skall dräneras från ytan till en uppsamlingsbehållare, men erfarenheten visar att det är svårt att få dräneringen att fungera tillräckligt effektivt. Därför bildas ytor med gödselvatten blandat med urin på gödselplattan. Hypotesen för föreliggande studie var att en metod som begränsar denna vätskeyta effektivt skulle reducera kväveförlusterna som ammoniak från lagret.

Målet med detta arbete var att jämföra olika åtgärder för att minska ammoniakavgången från fastgödsellager i pilotskala och att i fullskala utvärdera och kvantifiera effekten av den metod som gav bäst resultat i pilotstudien.

I denna studie mättes ammoniakemissionen från ett fullskaligt fastgödsellager under två lagringssäsonger (oktober till maj). Vidare undersöktes tre möjliga åtgärder för att minska ammoniakemissionen från fastgödsellager i pilotskala, nämligen täckning med gummiduk, inblandning av torv samt förbättrad dränering. Resultaten från pilotstudien visade att tillsats med torv var den bäst lämpande metoden för att reducera kväveförlusterna till följd av ammoniakavgång. Tillsats av torv infördes som åtgärd i full skala under den andra lagringssäsongen.

Under pilotstudien användes en mikrometeorologisk massbalansmetod för att mäta ammoniakavgången. Täckning med gummiduk och inblandning av torv reducerade vardera ammoniakavgången med ungefär en tredjedel trots att försöken utfördes vid relativt låga temperaturer. Försöket med förbättrad dränering gav ingen reduktion av ammoniakavgången.

Den metod som användes vid mätning av ammoniakavgång från det fullstora gödsellagret var en jämviktskoncentrationsmetod med passiva diffusionsprovtagare. Även dräneringsflödet från lagringsplattan uppmättes med vippkärl och provtogs automatiskt med hjälp av en slangpump.

Resultaten från mätningarna i det fullskaliga lagret visade att huvuddelen av ammoniakavgången kom från ytan med gödselvätska. Totalt förlorades ca 700 kg N under gödsellagringen oktober till maj vilket utgjorde ungefär 22 % av gödselns totala kväveinnehåll. Då 4,4 kg torvströ/ko och dag tillsattes kunde kväveförlusten sänkas till ungefär 12 % av gödselns totala kväveinnehåll, vilket innebär en förbättring med över 40 % gentemot kontrollsäsongen. Eventuella förluster från det täckta urinlagret är inte medräknade.

Slutsatsen av försöken var att torvtillsats i stallet effektivt kan minska kväveförlusterna från lagrad fastgödsel men att kvävebesparingen ej var tillräcklig för att bära hela kostnaden för torvtillsatsen. Däremot genererades andra, ekonomiskt mer svårvärderade fördelar som bättre arbetsmiljö i form av minskad lukt, ökad lagringskapacitet och bättre förutsättningar för att kunna välja rätt spridningstidpunkt samt eventuellt även en bättre juverhälsa.

Summary

Ammonia emission from manure storage facilities is one of the most important sources for nitrogen losses from Swedish agriculture. Studies of uncovered solid manure piles, situated on a drained surface, shows large volumes of fluids seeping through the pile on to the underlay (Ulén, 1994). In addition, the urine separation system in the stables are often defective, which leads to an unnecessarily large amount of urine flowing out on the manure pad, forming a very nutrient rich fluid together with the seepage water. The fluid should be drained from the manure pad to a collection tank for urine, but experience has it that this system is often not efficient enough. Hence, large parts of the manure pad become covered with this nutrient rich fluid, which sometimes doubles, or even triples the ammonia emitting area of the manure storage. The hypothesis of this project was that a method that limits this fluid surface would inherently be efficient in reducing nitrogen losses through ammonia emission.

The objective of this work was to compare different measures to reduce ammonia emission from solid manure in pilot scale and then move up to full scale in order to evaluate and quantify the effect of the method that gave the best result in the pilot study.

Consequently, ammonia emissions from a full-scale solid manure storage facility was measured during two seasons. Furthermore, three possible approaches to reduce ammonia emission were investigated in pilot scale, namely a flexible rubber cover, amendment with peat and improved drainage. The results from the pilot study showed that amendment with peat was the most suitable method to reduce nitrogen losses through ammonia emissions from stored solid manure. Hence, peat was added in the stable during the second season (May to October) of ammonia measurements at the full-scale facility.

During the pilot study a micro meteorological mass balance method was used to measure ammonia emission. The flexible rubber cover and peat amendment both reduced the gaseous losses of ammonia by about one third in spite of the prevailing low temperatures during the pilot study. No effect could be seen as a result of improved drainage.

The method used to quantify ammonia during the full-scale trial seasons was an equilibrium concentration method with passive diffusion samplers. In addition, the drainage flow of effluents from the manure storage pad was registered and sampled using a tipping bucket and a small pump.

As predicted in the hypothesis, the results from the full-scale trials show that the surface with liquid manure consisting of urine, seepage and very liquid manure was the main resource of the ammonia emissions during the control season. In total approximately 700 kg N was lost during the storage of the solid manure, which constituted about 22 % of the initial total nitrogen in the manure. When 4.4 kg of peat per cow and day was added in the stable the nitrogen loss was reduced to 12 %, a reduction by over 40 % compared to the control season.

The conclusion was that addition of peat in the stable can reduce the nitrogen losses from solid dairy manure efficiently, but that the financial gain in form of saved nitrogen is not alone enough to cover the cost for the peat. However, other gains, that is harder to assign a direct financial value to were generated, such as

an improved work environment, reduced odour, possibly a better udder health, improved storage capacity and better possibilities to time the manure application to the need of the crop.

Bakgrund

Problembeskrivning

En stor del av kväveförlusterna i lantbruket är en direkt konsekvens av ammoniakavgång från stallgödsel. Ammoniakavgången leder till övergödning, försurning samt kan även medföra direkta skadeverkningar på växtlighet (Kirchmann m.fl., 1998). En stor andel, ca 33 %, av den svenska stallgödselproduktionen hanteras som fast- och kletgödsel (SCB, 2004). Vid utgödsling transporteras vanligen gödseln direkt ut på en lagringsplatta av betong, med eller utan stödmurar. Urinavskiljningen i stallet fungerar i många fall bristfälligt vilket medför att onödigt stor del av urinen följer med ut på plattan. Dessutom får lagringsplattan ta emot nederbörd som lakar ut växtnäring ur högen men också rinner av gödselns yta och ut på den exponerade lagringsplattan. Gödselvatten skall dräneras från ytan till en uppsamlingsbehållare, men erfarenheten visar att det är svårt att få dräneringen att fungera tillräckligt effektivt. Därför bildas ytor med gödselvatten blandat med urin på gödselplattan. Endast i få fall skyddas gödsellagret från nederbörd och vindrörelser genom någon form av takkonstruktion eller annan täckning. Exponerad urin medför hög ammoniakavgång då den har hög andel ammoniumkväve och högt pH-värde. Faktiska mätningar av ammoniakförluster från fastgödsellager är få. Schablonmässigt anges att 20 procent av den kvävemängd som tillförs lagret avgår som ammoniak (Karlsson & Rodhe, 2002).

Mål

- Att jämföra olika åtgärder för att minska ammoniakavgång från fastgödsellager i pilotskala.
- Att i fullskala utvärdera och kvantifiera effekten av den metod som gav bäst resultat i pilotstudien.

Litteraturstudie

Enligt Bussink & Oenema (1998) ökar förlusten av ammoniak från flytgödsellager såväl från fastgödsellager med ökad temperatur, ökad exponeringsyta samt med ökad lagringstid. Lagring under sommaren bör därför minimeras eftersom förlusterna under sommaren är högre än under vintern (De Bode, 1991; Sommer, 1992). I en rankningslista över åtgärder för att minska ammoniakemissioner bedömde Phillips m.fl. (1999) att potentiella åtgärder för att minska ammoniakförlusterna från fastgödsellager var att förändra foderdieten, förädling av gödseln i industriell skala, försäljning av gödseln samt att minimera ytan hos gödselhögen. Vidare bedömdes bland tillgängliga åtgärder även täckning av gödselhögen som en av de bättre åtgärderna. Vid värderingen har de förutom den ammoniakminskande effekten tagit hänsyn till kapitalkostnaden och påverkan på djurhälsan.

Bedömningarna har dock inte verifierats i praktiska försök. För att minska ammoniakavgången från fastgödsellager föreslår Kopke m.fl. (1995) kort lagringstid, täckning med material med hög katjonbyteskapacitet som lera och stenmjöl eller täckning med restprodukter med högt kolinnehåll. Pilotstudier vid JTI har tidigare visat god effekt vid täckning av kletgödsellager med halm, presenning eller torv (Karlsson, 1996).

Goda resultat vad gäller minskning av ammoniakavgång har även uppnåtts i andra studier av torvtäckt gödsel (Jeppsson m.fl., 1997; Steineck m.fl., 2000; Puumala, 2001). Teorin är att det organiska materialet i torven potentiellt skulle medverka till ökad bindning av kväve genom sin höga katjonutbyteskapacitet och därmed dämpa ammoniakavgången. Jeppsson m.fl. (1997) anger att torvströ med ett pH på 3,6 till 4,0 kan binda ammoniak motsvarande 1,0-1,8 % av torvens torrsubstans (ts). Kväveförlusterna under lagring av djupströgödsel var 2 % av ursprunglig mängd totalkväve vid användning av torv + halm som strömedel jämfört med 23 % då endast halm användes (Jeppsson m.fl., 1997). Liknande lagringsförsök med hästgödsel i kombination med olika strömedel visar också på låga förluster när torv använts som strömedel (Steineck m.fl., 2000). Alla studier har dock inte visat odelat positiva resultat. I en studie där torvens egenskaper att adsorbiera ammoniumkväve undersöktes drogs slutsatsen att adsorptionen var för låg för att vara praktiskt användbar vid kväverening av avloppsvatten (Ringqvist m.fl., 2003). Som mest registrerades en minskning av ammoniumkvävehalten i vattenlösning med 35 % då 1 g torv suspenderades i 100 ml lösning. Förutom ammoniakbindande förmåga så har torven god uppsugningsförmåga. Torv kan binda 7,5 till 12 kg vatten per kg ts vid 50 % ts (Jeppsson m.fl., 1997). Detta kan leda till mindre mängder lakvatten i ansamlingar. Lakvattnet kan tänkas ha en hög emissionspotential eftersom koncentrationen av ammoniumkväve i sådan vätska kan vara hög (Ulén, 1994).

Välkänt är att ammoniumkvävet främst finns i urinen. Om urinen snabbt kan ledas bort på ett effektivt sätt, helst redan i stallet eller från gödselplattan tillsammans med regnvatten, kan den lagras i täckt behållare så att ammoniakavgången minimeras. Studier av gödselhögar utan täckning, upplagda på dränerat underlag, visar på stora mängder av lakvatten från högarna samt även avrinning av ytvatten från högarna (Ulén, 1994). Närsaltshalterna från ytvattnet höll måttliga nivåer, medan motsvarande värden i lakvattnet var höga. Funktionen hos urindräneringen hos dagens gödselplattor är ej studerad.

Flertalet försök med ammoniakminskande åtgärder i fastgödsellager t.ex. med täckning är utförda i mindre skala med "statiska" gödselhögar d.v.s. utan daglig tillförsel av gödsel. Dock har forskare i Kanada (Barrington & Cap, 1990) utvecklat en relativt billig täckning för fastgödselhögar. Denna täckning är gjord av tät "geotextil" som spänns fast i gödselplattans kanter och fastgödseln transporteras in under täckningen med hjälp av trycksystem. Kostnaden för denna täckning uppgick till ca en tiondel av kostnaden för ett konventionellt tak. Plattan under täckningen lutar mot två dräneringsbrunnar, för att urinen ska ledas bort till urinlager.

Genomförande

Allmänt

Det praktiska fältarbetet under projektet var uppdelat på en pilotstudie och en studie i fullskala. Pilotstudien pågick under november och december 2003 medan de fullskaliga försöken var uppdelade på två lagringssäsonger 2003/04 och 2004/05 under tiden november till maj. Under den första lagringssäsongen uppmättes förhållandena vid opåverkad fastgödselhantering, vilket jämfördes med resultaten från den andra fältsäsongen då torv tillsattes för att försöka minska ammoniakavgången.

Platsspecifika förutsättningar

Försöksplatsen för både pilot- och fullskalestudien var lokaliserad ca 15 km öster om Enköping på Verkesta gård. På gården produceras mjölk från en besättning på 67 årskor med 52 båspatser och egen rekrytering (se Bilaga 1 för en utförligare gårdsbeskrivning). Verkesta hanterar sin gödsel som kletig fastgödsel. Det finns ingen fungerande urinseparering i ladugården utan långhalm, träck och urin trycks gemensamt direkt ut på plattan med två horisontella tryckare.

Väderlek

Pilotstudien pågick från den 3 november 2003 till den 17 december 2003. En väderstation av fabrikat VICON placerad vid gödsellagret registrerade lufttemperatur, nederbörds mängd, vindhastighet och vindriktning under studierna, se tabell 1. Under pilotstudien var november månad relativt mild med ett mindre blött snöfall den 22-23 november. Detta snöfall kom under den andra mätningen av ammoniakemissioner.

Tabell 1. Sammanfattning av väderförhållanden på försöksplatsen under de tre ammoniakmätningarna under pilotstudien. Väderdata under perioderna 7-10, 14-17 och 21-24 november har hämtats från SMHI:s väderstation på Arlanda. Resterande data registrerades med väderstation på försöksplatsen.

Period	Lufttemperatur, °C (medel)	Vindhastighet, m/s (medel)	Regnmängd, mm (ackum.)
3 – 11 nov	5,0	1,9	2,4
14 – 25 nov	1,4	2,0	26,3
9 – 17 dec	0,0	3,3	10,2

Väderleksförhållandena under de två lagringssäsongerna då ammoniakmätningar utfördes på den fullstora gödselplattan presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Sammanfattning av väderförhållanden på försöksplatsen under mätning av ammoniakavgång från det fullstora gödsellagret under två fältsäsonger.

År 2003/2004	Nederbörd, mm	Medeltemperatur, °C	Medelvindhastighet, m/s
November	46,9	3,0	1,9
December	22,6	-0,1	4,6
Januari	3,1	-5,6	3,5
Februari	9,7	-2,0	4,0
Mars	29,3	-0,5	3,5
April	17,6	5,8	3,2
Totalt/Medel	129,0	0,1	3,4
År 2004/2005	Nederbörd, mm	Medeltemperatur, °C	Medelvindhastighet, m/s
November	25,5	0,3	3,1
December	12,3	0,4	4,1
Januari	35,5	0,2	4,9
Februari	11,0	-2,7	3,3
Mars	13,5	-2,8	2,4
April	12,7	5,9	3,2
Totalt/Medel	110,5	0,2	3,5

Pilotförsök

Försöksuppställning

Pilotförsöken utfördes i fyra låga lastväxlarcontainrar om 22 m³ vardera, vilka ställdes upp på ett led så att den förhärskande vindriktningen inföll rätvinkligt mot uppställningslinjen (Bilaga 2, bild 1). Containrarna var 6 m långa, 2,4 m breda och 1,4 m höga. Avståndet från den fullskaliga lagringsplattan till pilotförsöksplatsen var 100 m. Varje container pallades upp så att den lutade mot den öppna baklämnen för att på så sätt efterlikna en sluttande lagringsplatta för fastgödsel med tre väggar (Bilaga 2, bild 2). Ungefär 3700 kg kletig fastgödsel från Verkesta lastades upp mot framlämnerna i vardera containern. Ett lågt, till större delen täckt uppsamlingskärl med måtten 2,4 m x 0,6 m x 0,15 m lades ut framför varje container för att samla upp den vätska som dränerade från gödseln. Mastfästen svetsades fast, högst upp på de tre fasta sidoväggarna och nere vid botten vid den öppna baklämnen. För att simulera de ansamlingar av vätska som uppkommer på en fullskalig gödselplatta konstruerades halvmåneformade fördämningar på den öppna bottenytan framför gödselhögen i containrarna (Bilaga 2, bild 2). De fyra försöksleden sammanfattas i tabell 3 nedan.

Tabell 3. Ingående försöksled i pilotförsöket.

Försöksled	Gödsel- mängd, kg	Container- lutning, %	Åtgärd
Täckt	3 921	1	Täckt med en gummiduk som spändes upp som ett tak över containern
Torv	3 764	1	374 kg torg inblandat med gödseln vid upplägg i containern
Dränerad	3 956	2	Extra väl-dränerad container genom dubbel containerlutning och borttagna fördämningar
Kontroll	3 707	1	Ingen åtgärd

Invägning och karakterisering av gödsel

Vid fyllning av containrarna i pilotskaleförsöket vägdes varje lastskopa med gödsel genom att skopan ställdes av på en balkvåg. Skopans volym var 1,2 m³. Ur varje skopa togs tre delprov. Delproven från de fyra skoporna som tillfördes varje container sammanfördes till ett samlingsprov som fick representera innehållet i containern. Totalt samlades således fyra sådana samlingsprov in, ett från varje container. Alla gödselprover analyserades av Alcontrol med avseende på ts-halt, totalkväve (tot-N), totalkol (tot-C), ammoniumkväve (NH₄-N), fosfor (P), kalium (K) och pH. Gödselns egenskaper redovisas under Resultat i tabell 5. Analysresultaten från dessa prover representerar också gödseln i det fullstora gödselagret.

Torvkarakterisering

Den vitmossetorv som användes under pilotstudien levererades av Sävne Torv AB i storsäckar á 1 m³. Ett samlingsprov av torven analyserades med avseende på ts-halt, tot-N, NH₄⁺-N, tot-C, P, K och pH (tabell 6). Torven liknade vitmossetorven som levererades från Rölunda Produkter AB till fullskaleförsöket under andra mätsäsongen (tabell 6).

Ammoniakmätningar

Metodiken som användes för att kvantifiera ammoniakavgången beskrivs ingående av Schjoerring m.fl. (1992) och Karlsson (1994). I korthet är mätmetoden en mikrometeorologisk massbalansmetod där fyra master med provtagare på fyra olika höjder placeras runt ett mätobjekt (Bilaga 2, bild 2). Provtagarna är av typen passiva fluxprovtagare och består av två glasrör som är sammanfogade med en bit silikon slang (Bilaga 2, bild 3). Glasrörens insidor är preparerade med oxalsyra. I den ena ändan av provtagaren sitter en tättslutande rostfri bricka med ett centrerat hål som har en diameter på 1 mm. Den andra ändan är öppen. Brickan har som uppgift att sänka lufthastigheten inuti provtagaren för att säkra fullgod bindning av ammoniak till oxalysran. På varje mät höjd placeras två provtagare, vända åt olika håll för att fånga ammoniak både från bakgrund och från källa. I detta försök placerades provtagarparen på höjderna: 0,18; 0,73; 1,82 respektive 4 meter över containerkanten som i sin tur var 1,4 meter hög från markytan räknat.

Totalt gjordes tre mätningar med denna utrustning. Provtagarna har en begränsning för hur mycket ammoniak de kan binda vilket är anledningen till att ammoniakmätningen delades upp i tre delar. Mätningarna kan dock inte ses som uppreppningar då det är känt att färsk gödsel initialt avger en större mängd ammoniak och att emissionen avklingar relativt snabbt. En sammanfattning av mättillfällen, exponeringstider och regerande vindriktning under mätperioden kan ses i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Sammanfattning av mättillfällen, exponeringstider och regerande vindriktning under mätperioden.

Mätning nr	Datum	Mätningens längd, h	Medelvindriktning under mätperioden	Anmärkning
1	3 – 11 nov	192	Väst-Syd-Väst	Tillfällen med regn under mätningen
2	14 – 25 nov	264	Syd-Syd-Väst	Ett blött snöfall under mätningen
3	9 – 17 dec	192	Syd-Ost	Tillfällen med minusgrader under mätningen

Försök i fullskala

Beskrivning av försöksplats

Gödselplattan där gödseln lagrades var 400 m² och hade en 1,7 m hög stödmur i bakkant samt utefter halva sidorna (Bilaga 2, bild 4). Plattans resterande kanter hade en 5 cm hög klack för att hindra gödselvatten från att rinna ut från lagringsplattan. Dräneringssystemet bestod av fem brunnar med ihåliga betonglock lokaliserade i hörnen, samt i plattans centrum. De två dräneringsbrunnarna som var placerade mot plattans bakre hörn var i princip ständigt täckt med gödsel och blev därför snabbt igensatta. Detsamma gällde under stora delar av installationsperioden för brunnen i plattans centrum. Dräneringsbrunnen i det främre vänstra hörnet låg högt och bidrog därför väldigt begränsat till dräneringen av vätska från plattan. Hela lagringsplattan sluttade ut mot det främre högra hörnet, mot den enda av de fem dräneringsbrunnarna som fyllde någon verklig funktion. Från denna dräneringsbrunn rann urinen via självfall till en pumpbrunn varifrån den pumpades upp till en större urinbehållare.

Lagringsplattan på Verkesta gård var för liten för att lagra all gödsel under den lagstadgade lagringsperioden så ytterligare en lagringsplatta på 300 m² användes. Gödsel flyttades med jämna intervall under lagringsperioden från huvudplattan till extraplattan med hjälp av traktor och vagn. Dessutom var gödseln kletig och behövde ibland makas ihop på plattan för att inte riskera att urin och gödsel flödade över kanten. Detta gjorde att det existerade en relativt komplicerad lagringsdynamik på plattan.

I pumpbrunnen installerades ett vippkärl för registrering av flödet av gödselvätska från gödselplattan till urinbehållaren. Flödesproportionell provtagning av gödselvätskan utfördes automatiskt med hjälp av en liten slangpump som tog ut ett 10 ml-prov per 50 l genomfluten gödselvätska (Bilaga 2, bild 6).

Den första säsongen (normalläget) beskriver lagring av kletig fastgödsel på en öppen platta. Den normala strömängden var ungefär 2 kg långhalm/ko och dag kompletterat med ca 1,5 kg sågspån/ko och dag för att få en torr båsfall. Under den andra mätsäsongen ersattes sågspånen med torv som åtgärd för att minska ammoniakavgången. Till en början ströddes 4,4 kg torv/ko och dag på bakre delen av båsfallarna inne i ladugården. Från och med mitten av januari 2005 minskades detta till 2,5 kg torv/ko och dag på grund av att hanteringen bedömdes vara för arbetskrävande. Torven blandades med gödseln under utgödslingen med de hydrauldrivna gödselskraporna.

Registrering av mängd gödsel i lager

Vid varje mättillfälle för ammoniakavgång uppskattades den lagrade mängden gödsel på gödselplatta visuellt. Uppskattningen möjliggjordes genom att gödselplattan delades upp i ett raster med 100 rutor om 2 x 2 m. Den genomsnittliga gödselhöjden inom varje ruta uppskattades med hjälp av tumstock alternativt referensmarkeringar på stödmuren. Denna metod gav således en slags lågupplöst 3D-bild av gödsellagret utifrån vilken den lagrade volymen kunde beräknas. Vid uppskattningen av mängden gödseln på plattan indelades gödseln i tre typer, tre distinkta gödselzoner. Dessa zoner bestod av 1) *torrare gödsel*, som utgjordes av färskare gödsel på den bakre inre delen av plattan, 2) *blötare, kletig gödsel*, i framkanten av den torra gödseln och 3) *gödselvätska* bestående av urin,

regnvatten och mycket lös gödsel (Bilaga 2, bild 5). Dessutom registrerade lantbrukaren den mängd gödsel som fördes bort från plattan vid flytt till extraplatta eller påfyllnad av spridare genom att antalet fyllda traktorskopor som tömdes i spridaren räknades. Totalt gav detta förfaringssätt ett antal kända värden för lagrad volym. Tillskottet av gödsel till plattan har under tiden mellan uppskattningarna antagits vara linjär.

Gödselkaraktärisering

Prover togs i fullskalelagret vid alla tillfällen när ammoniakavgången mättes under de två mätsäsongerna. Dessa provtagningar bestod av två samlingsprov från den torrare fastare gödseln respektive den våtare kletiga gödseln på plattan. Samlingsproven bestod av fyra delprov tagna på representativa (subjektiv bedömning) platser runt de ventilerade kamrarna som användes för mätning av ammoniakavgången. Gödselvätskan provtogs flödesproportionellt med hjälp av slangpumpen i pumpbrunnen. De olika delmängderna sammanblandades i en uppsamlingsdunk som tömdes 6 gånger under den första säsongen och 4 gånger under den andra mätsäsongen. Alla gödselprover analyserades av Alcontrol med avseende på ts-halt, tot-N, NH_4^+ -N, tot-C, P, K och pH.

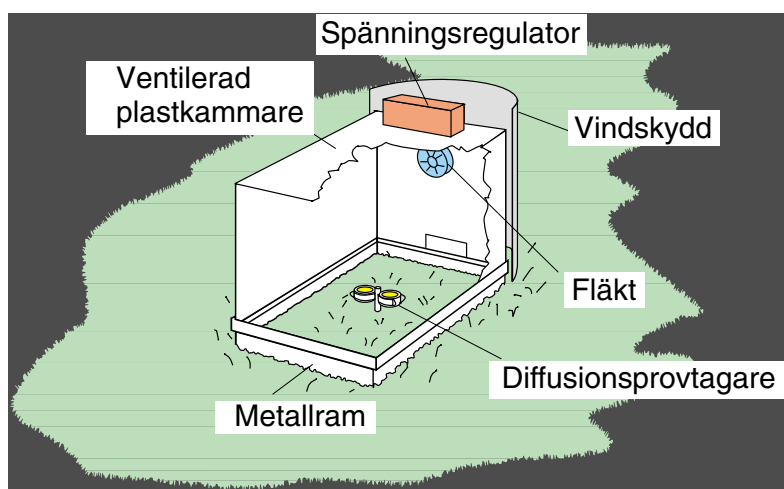
Torvkaraktärisering

För fullskaleförsöket levererades vitmossetorv av hög kvalitet till gården i en täckt 40 m³ container, i vilken torven lagrades intill ladugården. Rent praktiskt ströddes ca 15 liter torv per båspall med spade över den bakre delen av varje bås en gång per dag. En 500-litersvagn med hög krage användes för att transportera torven mellan containern och båspallarna. Torven provtogs i leveranscontainern i samband med mätningar av ammoniakavgång för analys av ts-halt. Provtagning skedde på samma sätt som för gödseln, dvs. fyra delprov som uttogs för hand sammanfördes till ett samlingsprov. Ett samlingsprov analyserades med avseende på ts-halt, tot-N, NH_4^+ -N, tot-C, P, K och pH, tabell 6.

Mätningar och beräkning av ammoniakavgång

Den metod som användes vid mätning av ammoniakavgång från det fullstora gödsellagret är en jämviktskoncentrationsmetod med passiva diffusionsprovtagare. Metoden är tidigare utvecklad vid JTI och används företrädesvis vid mätning av ammoniakavgång efter gödselspridning på fält (Svensson, 1994). Efter validering för mätning på gödsellager har metoden även använts som alternativ till mikrometerologiska mätmetoder då mätobjektet ligger i direkt anslutning till byggnader som orsakar turbulens i luftflödet ovanför lagret (Karlsson & Torstensson, 2003).

Mätmetoden bygger på fyra provtagare som binder ammoniak med oxalsyra och som placeras dels i ventilerade kammare (kyvett) för mätning av källan, dels i en öppen mätpunkt där provtagarna placeras nära markytan, med endast ett enkelt regnskydd för mätning av bakgrunden. Provtagarna har en viss absorptionsförmåga vilket gör att en hel serie separata mätperioder fordras när ett emissionsförlopp ska mätas.



Figur 1. Mätkammare för bestämning av jämviktskoncentration av ammoniak.

Varje kammare täcker en noggrant uppmätt yta. Typiska exponeringstider (mättillfällenas längd) varierar vanligtvis mellan 1 timme och 1-2 dygn. Den kortare tiden är exempelvis aktuell vid mätning strax efter spridning av stallgödsel. Då ammoniakavgången beräknades bli relativt hög vid mätning direkt på gödsel utfördes direkta koncentrationsmätningar i kyvetterna just innan exponeringen av provtagarna startades. Den uppmätta koncentrationen gav underlag till valet av exponeringstid. De direkta koncentrationsmätningarna utfördes med reagensrör med luftpump av fabrikat Kitagawa (Bilaga 2, bild 7). För att upptäcka relativa skillnader mellan de olika gödselzonerna som identifierats på lagringsplattan (torr-, gräns- och flytande zon) användes två mätkammare samt en omgivningsmätare per gödselzon och mättillfälle.

Inga mätningar av ammoniakemissioner gjordes från Verkestas extra lagringsplatta för stallgödsel. Detta lager är dock relativt statiskt, ungefär som de statiska lager som användes i pilotstudien. Litteraturen gör gällande att ett statiskt lager bör ge en emission som är exponentiellt avtagande med tiden (Karlsson & Torstensson, 2003). Resultaten i pilotstudien har därför använts för att ta fram emissionskurvor som är anpassade till Verkestas stallgödsel, med och utan torvtillsats. Ekvationerna för respektive kurva har sedan utnyttjats för att tillsammans med framräknade medelvärden för gödselns uppehållstid på huvud- respektive extraplatta beräkna emissionen från Verkestas extraplatta. Extralagret har stödmurar runt om hela plattan och den lagrade volymen var i medeltal tillräckligt hög för att fylla hela extraplattan under de delar av de båda säsongerna då extralagret användes. I och med detta har den emitterande ytan av den lagrade gödseln uppskattats vara hela ytan av lagringsplattan, dvs. 300 m².

Resultat

Gödselkaraktisering

Enligt karakteriseringsstandarden klassas Verkestas gödsel som klass tre och fyra (European Committee for Standardization, 2002). Den gödsel som användes i pilotförsöken och den gödsel som återfanns i den torra gödselzonen under försöken i fullskala faller inom klass tre. Gödseln i den våtare gränsszonen karakteriseras på

samma skala till klass fyra. Fysikaliska och kemiska egenskaper för den gödsel som använts i pilotstudien och under de båda försökssäsongerna sammanfattas i tabell 5 nedan.

Tabell 5. Fysikalisk och kemisk karakterisering av den gödsel som användes i pilotförsök och försök i fullskala under de två försökssäsongerna samt referensvärden för nötfastgödsel och nöturin från Steineck m.fl., 1999.

	Ts-halt, %	Tot-N, g/kg ts	NH ₄ -N, g/kg ts	P, g/kg ts	K, g/kg ts	Tot-C, % av ts	pH
Gödsel vid start av pilotstudie							
Kontrollerad	18,6	33,0	15,0	4,5	30,0	43,0	8,6
Täckt led	20,1	31,0	17,0	4,0	27,0	43,0	8,7
Torvled	19,2	30,0	11,0	4,0	29,0	42,0	8,6
Dränerat led	18,0	29,0	13,0	4,7	25,0	45,0	8,6
Medelvärde	18,2±1,9	31,4±2,1	14,4±2,4	4,4±0,4	28,4±2,4	42,2±2,6	8,6±0,1
Gödsel från den torrare gödselphasen vid studie i fullskala							
Medelvärde år 1	20,3±4,1	26,5±4,1	7,4±2,6	4,8±0,8	24,0±8,9	42,2±1,0	8,7±0,2
Medelvärde år 2	20,6±4,1	28,0±3,3	6,6±3,7	4,3±0,6	19,9±4,8	42,1±0,8	8,1±0,5
Gödsel från gränsfasen vid studie i fullskala							
Medelvärde år 1	16,6±1,2	35,0±6,4	12,2±3,9	5,3±1,4	33,7±5,7	42,0±1,2	8,6±0,2
Medelvärde år 2	17,4±4,3	32,0±3,8	8,7±3,5	4,8±1,0	26,5±10,1	40,9±1,4	8,2±0,6
Medelvärden för fastgödsel enligt Steineck m.fl., 1999							
	16,6±1,7	30,9±5,8	13,4±4,6	9,0±2,3	28,0±4,5	45,5±9,0	
Vätskefasen vid studie i fullskala							
Medelvärde år 1	1,8±0,4	69,5±21,5	41,4±14,4	8,9±1,4	181,7±53,8		7,9±0,1
Medelvärde år 2	0,7±0,7	85,0±10,9	58,9±5,8	5,8±1,0	185,5±49,8	25,2±6,5	8,4±0,3
Medelvärde för nöturin enligt Steineck m.fl., 1999							
	1,2±0,5	145±45	118±43	3,0±1,0	246±39		

Torvkaraktärisering

Förutom en högre andel ammoniumkväve var Sävnetorven till pilotskalestudien (tabell 6) mycket lik den Rölunda torv som senare användes i den fullskaliga studien (tabell 6). Torvens ts-halt var relativt densamma (50±2 %) för fullskaleårets 3 leveranser. Volymvikten bestämdes till 229±4 kg/m³ i genomsnitt. Under studien i fullskala var den dagliga tillsatsen av torv 1 m³ från november till och med december, vilket således motsvarar ungefär 230 kg eller ca 4,4 kg/ko och dag. På viktsbas ger detta att gödselns torvinnehåll under den första delen av den andra säsongen var ungefär 6 %. På grund av logistiska och tidsmässiga begränsningar i stallet sänktes torvtillsatsen under den andra delen av säsong två (januari till maj) till 2,5 kg/ko och dag. Detta motsvarar ca 3,5 % torvinblandning på viktsbasis. I tabell 6 presenteras torvens fysikaliska egenskaper samt innehåll av växtnäring. Under den andra säsongen köptes totalt 120 m³ torv in för tillsats i stallet till en kostnad av 130 kr/m³. Den totala kostnaden för torvtillsats under den

uppmätta installningsperioden blev därmed 15 600 kr, eller 300 kr/båsplats och installningsperiod.

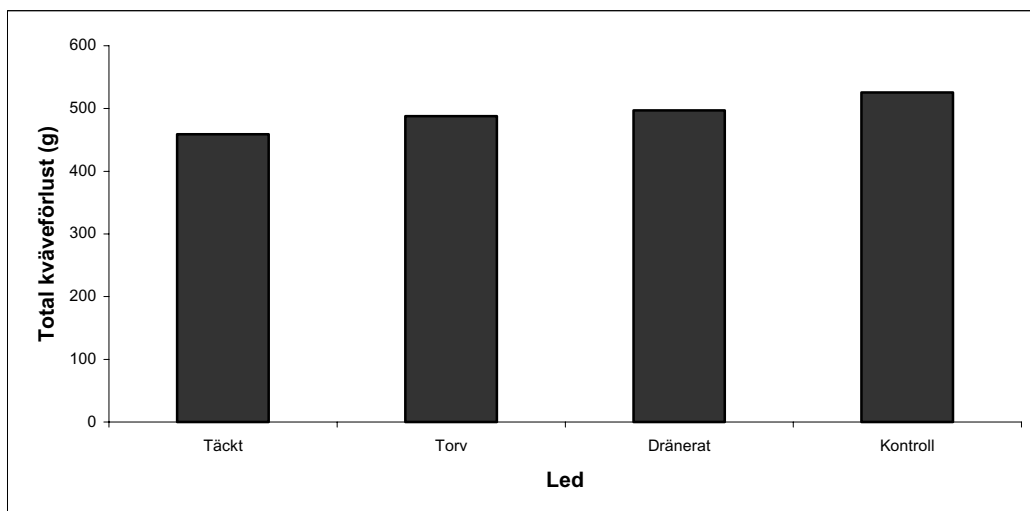
Tabell 6. Egenskaper hos torv som tillsattes under pilotstudien (år 1) och som användes i fullskaleförsöket (år 2).

	Ts-halt, %	Tot-N, g/kg ts	NH ₄ -N, g/kg ts	P, g/kg ts	K, g/kg ts	Tot-C, % av ts	pH
Pilotstudie år 1	51,7	13	0,8	0,2	0,2	50,0	4,3
Fullskalestudie år 2	50,1	10	0,3	0,1	0,1	47,0	4,9

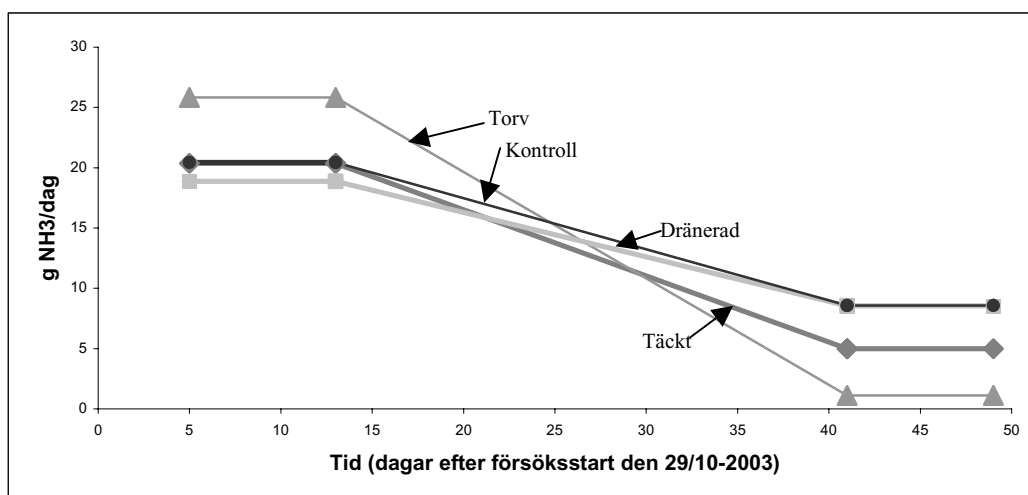
Pilotförsök

Ammoniakavgång

På grund av ett blött snöväder under den andra mätperioden blev denna mätning omintetgjord genom att en del oxalsyra med bunden ammoniak sköljdes ur rören innan de togs in för analys. Då samtliga mätningar utfördes under november och december månad var temperaturen relativt låg. Detta ledde till generellt låga ammoniakemissioner. Resultaten från de två kompletta mätningarna indikerar att täckning respektive tillsats av torv gav något lägre totala kväveförluster i form av ammoniak (<500 g N under mätperioden, figur 2) än kontrollen och ledet med förbättrad dränering (>500 g N under mätperioden, figur 2). Överlag följer ammoniakavgången det mönster som tidigare visats för fastgödsel med en hög initial emission som avklingar med tiden (Sannö m.fl., 2003). I torvledet registrerades den högsta initiala ammoniakavgången på 27,4 g NH₃/dygn, men också den brantaste minskningen i ammoniakemission till 0,15 g NH₃/dygn vid den avslutande mätningen (figur 3). Även gödseltemperaturen i torvledet var markant högre än i de andra försöksleden, 14,5 °C jämfört med 4,9-5,5 °C för övriga led vid första mätningen och 12,5 °C jämfört med 0-3,2 °C för övriga led vid den sista mätningen. Kontrollledet hade en initial ammoniakavgång på 22,8 g NH₃/dygn som efter 40 dygns lagring avklingade till 9,4 g NH₃/dygn (figur 3). Det täckta ledet visade den lägsta emissionen och gick från 20,4 till 6,6 g NH₃/dygn från den första till den sista mätningen medan dräneringsledet visade sig ge den högsta emissionen och gick från 23,8 till 10,3 g NH₃/dygn under försöket (figur 3).



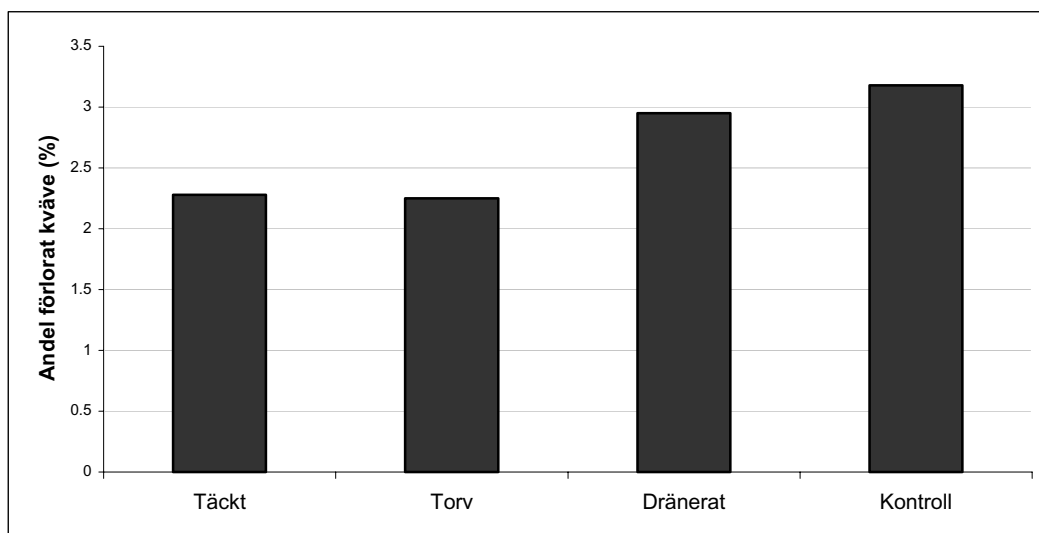
Figur 2. Total kväveförlust i form av ammoniak från de olika försöksleden. Mätningarna utfördes under november – december 2003.



Figur 3. Dygnvis ammoniakavgång från försöksled med ammoniakbegränsande åtgärder samt kontroll.

Procentuell kväveförlust

För att kunna göra en rättvis relativ jämförelse måste kväveförlusten beräknas i förhållande till den initiala kvävemängden i varje led. Kontrollledet och ledet med effektivare dränering förlorade vardera ca 3,2 % och 3,0 % av det ursprungliga kvävet (N-tot in) medan det täckta ledet och ledet med torvtillsats båda förlorade ungefär 2,3 % (figur 4). Resultaten tyder således på att täckningen och tillsatsen av torv visade sig vara mest effektivt medan en effektivare dränering inte hade någon effekt. Täckningen och tillsatsen av torv medförde således en sänkning av den gasformiga kväveförlusten med ungefär 30 % jämfört med kontrollen. Beräkningsunderlaget till figur 4 återfinns i Bilaga 3.

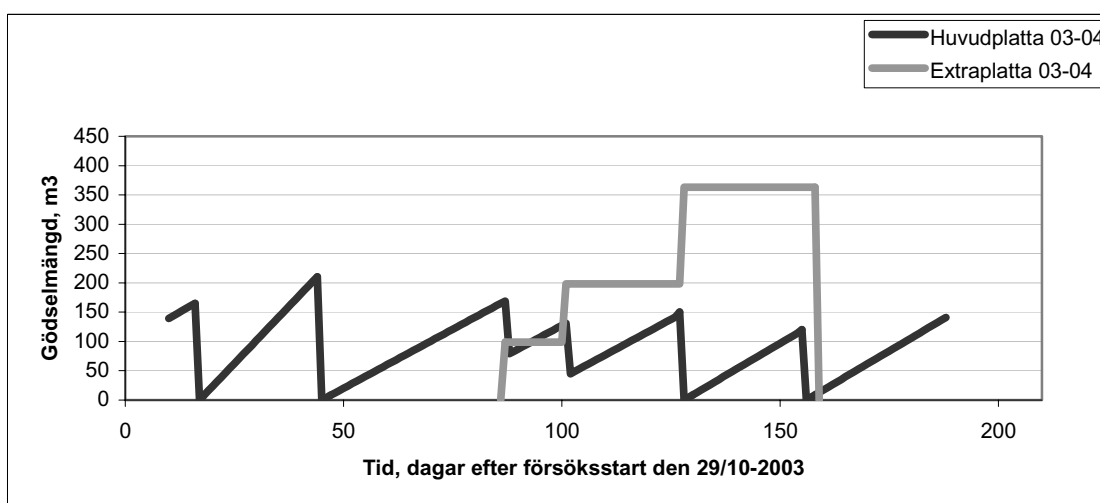


Figur 4. Förlorat kväve som procentuell andel av ingående mängd totalkväve (N-tot).

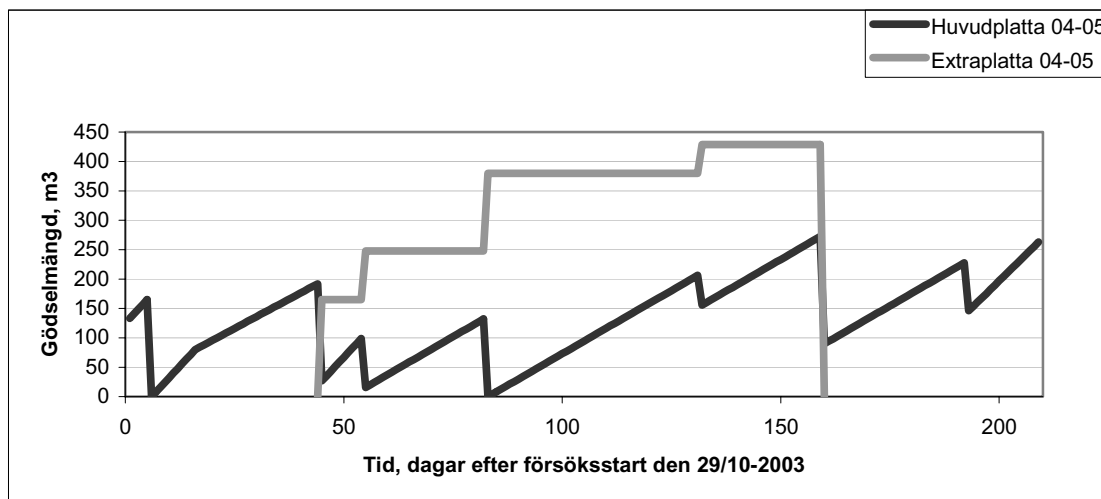
Försök i fullskala

Gödselflöde till och från lagringsplatta

Den dagliga genomsnittsproduktionen av gödsel från djuren på Verkesta uppskattades till 3,8 m³/dygn under det första året och 4,6 m³/dygn (inklusive torv) under den andra försökssäsongen. Denna dagliga produktion motsvarar 60 respektive 72 kg stallgödsel/båsplats och dag (inkl. halm + spån första säsongen och halm + torv under den andra säsongen). Dessa siffror inkluderar även gödsel från ungdjur och kvigor enligt gårdsbeskrivningen i Bilaga 1. Figur 5 och 6 visar dynamiken på Verkestas två lagringsplattor under installningsperioderna 2003/04 och 2004/05.



Figur 5. Lagrad gödsel på Verkestas huvud- och extraplatta under installningsperioden 2003/04.



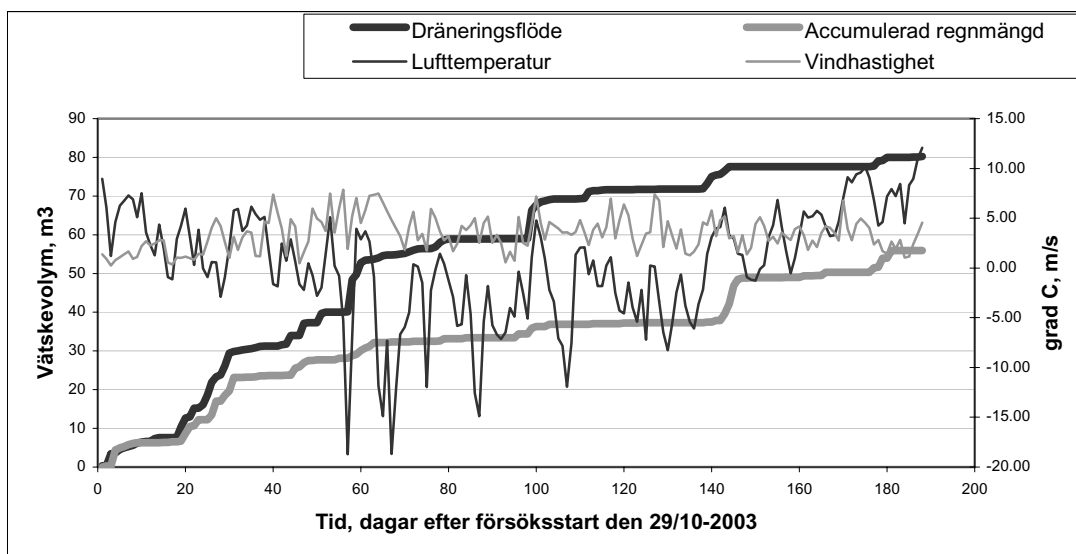
Figur 6. Lagrad gödsel på Verkestas huvud- och extraplatta under försöksperioden 2004/05.

Medelvolymen av gödsel på Verkestas huvudplatta var enligt visuell mätning under den första säsongen 87 m^3 och under den andra 136 m^3 . I medeltal befann sig gödseln 40 respektive 71 dagar på huvudplattan under den första respektive den andra säsongen, för att sedan spridas eller lagras på den 300 m^2 stora extraplattan. På extraplattan fanns i genomsnitt 239 m^3 gödsel under kontrollsäsongen och 341 m^3 under den andra säsongen. Medellagringstiden på extraplattan var 54 respektive 101 dagar under den första respektive den andra säsongen, varefter gödseln spreds i vårbruket.

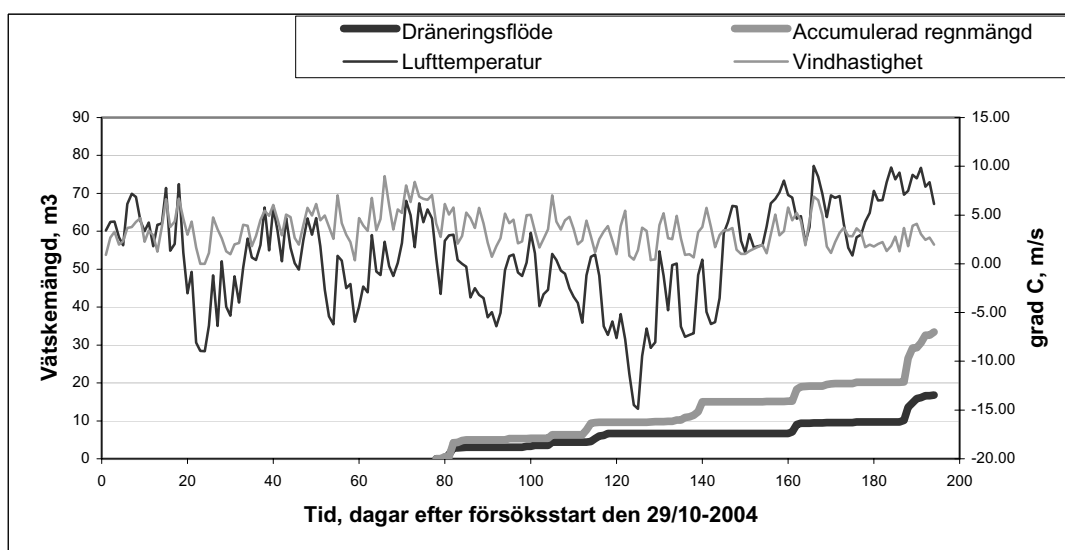
Vätskeflöde till och från lagringsplatta

Nederbörds mängden hämtades från egen väderstation men fick under begränsade tidsperioder, t.ex. efter strömavbrott kompletteras med data från SMHI:s väderstation vid Arlanda flygplats. Dräneringsflödet från Verkestas huvudplatta registrerades kontinuerligt under mätsäsongen 2003/04. Den andra mätsäsongen, 2004/05, uppstod problem med vippkärlet pga. den korrosiva miljön i pumpbrunnen. Dessutom förlorade vi data då en automatsäkring löste ut under ett åskväder. Detta gjorde att kontinuerliga mätningar av dräneringsflödet under den andra säsongen kom igång först efter 2005-01-14.

Dräneringsflödet från plattan följer i stort sett nederbördsdynamiken under båda säsongerna vilket kan ses i figurerna 7 och 8, som även visar lufttemperatur och vindhastighet. Det bör dock noteras att nederbörden överstiger dräneringsflödet under den andra säsongen.

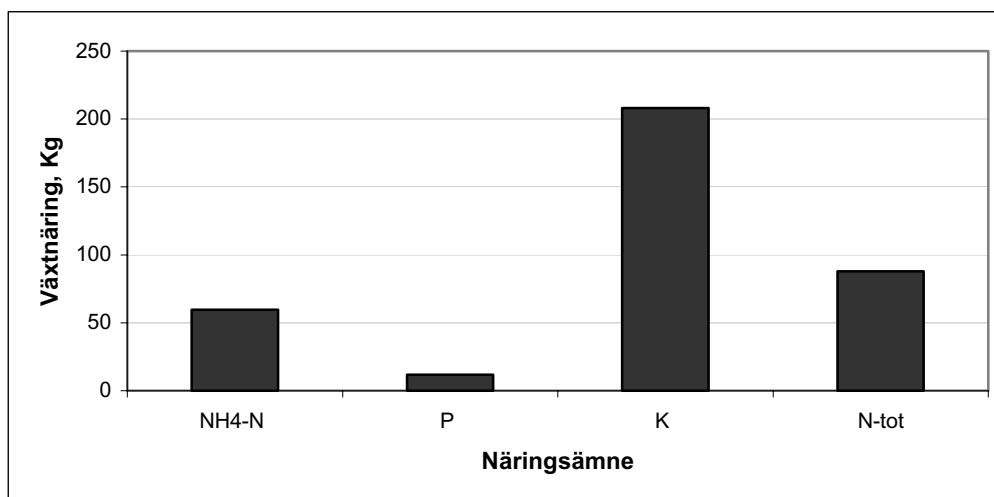


Figur 7. Ackumulerat dräneringsflöde från Verkestas huvudplatta för lagring av stallgödsel, ackumulerad volym regn som föll över Verkestas huvudplatta samt temperatur och vindhastighet som registrerats under mätperioden 2003-10-29 till 2004-05-03.



Figur 8. Ackumulerat dräneringsflöde från Verkestas huvudplatta för lagring av stallgödsel, ackumulerad volym regn som föll över Verkestas huvudplatta samt temperatur och vindhastighet som registrerats under mätperioden 2003-10-29 till 2004-05-09.

Via de växtnäringskoncentrationer som uppmätts i gödselvätskan och de flöden som registrerats under kontrollsäsongen 2003/04 har mängden växtnäring som dränerats från gödselplattan beräknats. Figur 9 visar att totalt 59,5 kg ammoniumkväve, 11,7 kg fosfor och 208,1 kg kalium har lämnat lagringsplattan genom dräneringen under installningsperioden 2003/04.

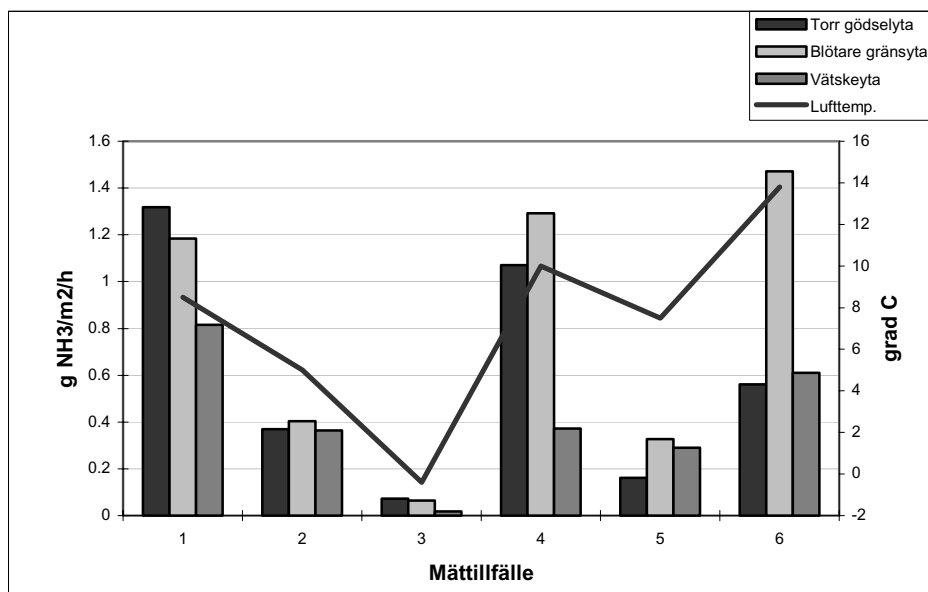


Figur 9. Mängd växtnäringsämnena som genom dräneringen har lämnat lagringsplattan och förts till urinbehållare under installationsperioden 2003/04.

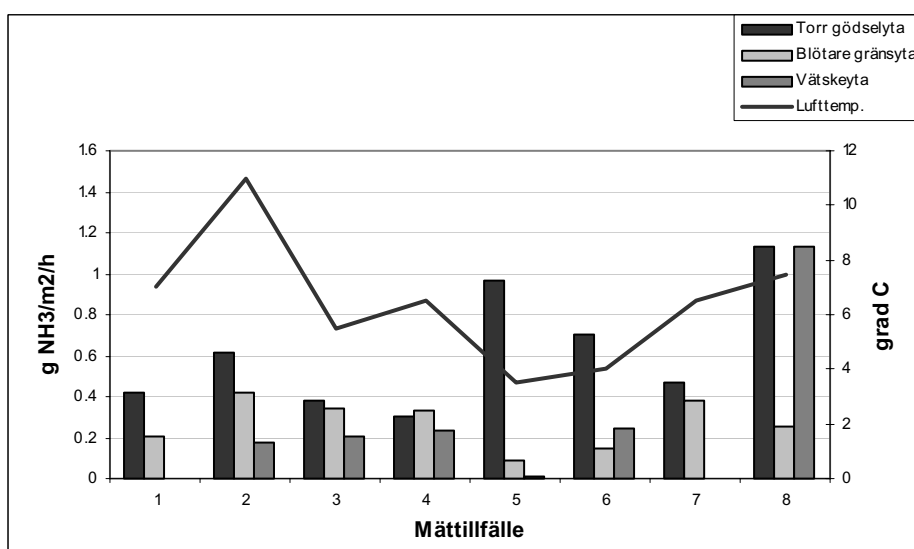
Eftersom mätningarna av gödselutflöde till urinbrunn och provtagning av gödselvätska inte fungerade hela säsongen 2004/05 så redovisas inte motsvarande diagram för 2004/05.

Ammoniakavgång

Den uppmätta ammoniakemissionen vid respektive mättillfälle för de båda studerade säsongerna 2003/04 och 2004/05 kan ses i figur 10 och 11. Under kontrollsäsongen varierade den uppmätta emissionen av ammoniak mellan 0 och 1,47 g NH₃/m² och timme, vanligtvis med den högsta avgången från den blötare gödseln i gränzonen. Den andra säsongen, då torv tillsattes i stallet, uppmättes emissioner på mellan 0 och 1,13 g NH₃/m² och timme, nu med den torrare gödseln som den generellt sett mest emitterande zonen. Figur 11 visar en lägre uppmätt emission vid de fyra första mättillfällena, vilket sammanfaller med den första halvan av försöksperioden då inblandningen av torv var 6 %. Under de fyra sista mättillfällena den andra säsongen var inblandningen lägre, 3,5 %. Figur 10 och 11 indikerar även att ammoniakemissionen till viss del frikopplats från lufttemperaturen under den andra säsongen då torv tillsattes. Inverkan av andra faktorer såsom gödseltemperatur, vindhastighet, gödselns ålder och ammoniumkoncentration redovisas i Bilaga 4. Stegvis regressionsanalys visar att lufttemperaturen är den faktor som statistiskt sett bäst förklarar ammoniakemissionens dynamik under kontrollsäsongen ($R^2 = 0,49$). Samma analys visar att det under den andra säsongen är gödselns ts-halt som statistiskt sett påverkar ammoniakavgången mest ($R^2 = 0,44$). Resterande korrelationer mellan de ovannämnda faktorerna och ammoniakavgången var mycket låga, vilket sammantaget omöjliggjorde anpassningen av en meningsfull kontinuerlig modell utifrån våra diskreta data.

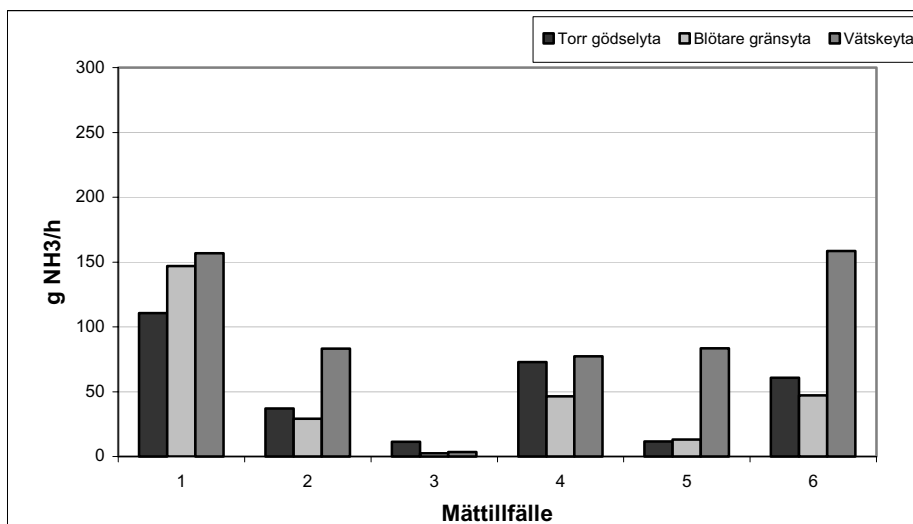


Figur 10. Uppmått ammoniakavgång per kvadratmeter samt lufttemperatur per mättillfälle under kontrollsäsongen 2003/04.

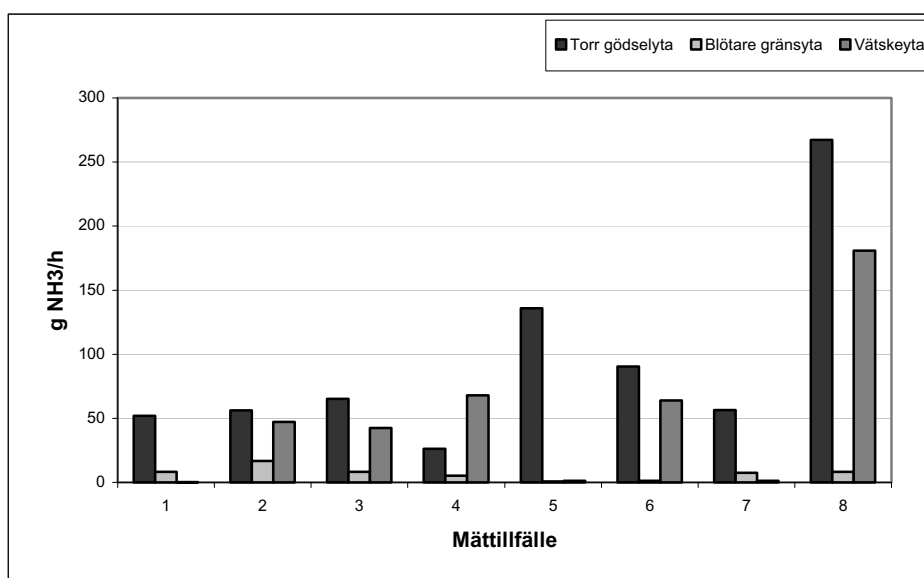


Figur 11. Uppmått ammoniakavgång per kvadratmeter samt lufttemperatur per mättillfälle under säsongen 2004-2005, då torv tillsattes i ladugården.

Om emissionen per kvadratmeter extrapoleras över uppmätt emissionsyta för varje gödselzon vid varje mättillfälle visar det sig att vätskeytan bidrog högst påtagligt till den totala ammoniakemissionen från gödsellagret. I figur 12 och 13 visas ammoniakavgången från respektive gödselzon. Där syns att vätskeytan står för den högsta andelen av ammoniakavgången under kontrollsäsongen. Andra mätsäsongen, då torv tillsattes kom största andelen av ammoniakavgången från ytan med den torra gödseln. Observera att de absoluta emissionsvärdena inte är jämförbara mellan säsongerna i och med att den lagrade mängden gödsel inte är densamma vid de olika mättillfällena.



Figur 12. Total ammoniakavgång från respektive gödselzon vid respektive måttillfälle under kontrollsäsongen.



Figur 13. Total ammoniakavgång från respektive gödselzon vid respektive måttillfälle under kontrollsäsongen.

I avsaknad av en meningsfull modell för beräkning av den totala ammoniakemissionen under respektive säsong är medelvärdesberäkningar baserade på våra uppmätta emissioner per måttillfälle det näst bästa alternativet för att uppskatta den totala emissionen under de båda försökssäsongerna. Tabell 7 visar resultaten från en sådan uppskattning för de båda åren. Beräkningsunderlaget återfinns i Bilaga 5. Ammoniakavgången från zonen med torrare gödsel var i medeltal något högre vid inblandning av torv, 0,62 jämfört med 0,59 g NH₃/m²/h under kontrollsäsongen. För de båda andra zonerna, kletig gödsel i gränszonen och gödselvätska, sjönk emissionen från 0,79 till 0,27 g NH₃/m²/h respektive från 0,45 till 0,25 g NH₃/m²/h i och med att torv tillsattes i ladugården.

För beräkning av ammoniakavgången från extraplattan antogs ett exponentiellt avtagande emissionsförlopp framtaget ur resultaten från pilotstudien. Detta gav följande ekvationer för säsong 1 (halm och spån) respektive 2 (halm och torv):

$$(1) \quad E_1 = 0,871e^{-0.001t}$$

$$(2) \quad E_2 = 1,941e^{-0.0036t}$$

Där E är ammoniakemission i g NH₃/m²/h och t är lagringstiden i timmar. Dessa ekvationer användes tillsammans med medellagringstiderna för att uppskatta total-emissionen av ammoniak från Verkestas extra lagringsplatta. Ammoniakavgången från extraplattan var totalt 60 kg N respektive 0,3 kg N för de båda säsongerna, vilket kan ses i tabell 7.

Tabell 7. Total ammoniakemission från Verkestas huvudplatta baserad på medelvärden av 6 respektive 8 diskreta mätilfällen under perioden 6/11 – 3/5 för de båda uppmätta säsongerna 2003/04 och 2004-2005. Dessutom visar tabellen beräknad ammoniakavgång från Verkestas extraplatta baserat på ett exponentiellt avtagande emissionsförlopp framtagna med resultaten från pilotstudien som bas.

	Kontrollsäsong 2003/04			Säsong 2004/05 med torvtillsats		
	Torr gödsel	Blötare gödsel	Gödselvätska	Torr gödsel	Blötare gödsel	Gödselvätska
Medelemission från huvudplatta, g NH ₃ /m ² /h	0,592	0,790	0,412	0,623	0,271	0,250
Medelutbredning av resp. gödselzons emitterande yta på huvudplattan, m ²	108	56,16	174,96	136	23,12	240,72
Total emission från huvudplattans gödselzoner, kg NH ₃ -N	226,2	157,0	254,8	299,9	22,2	212,6
Total emission från huvudplatta, kg NH ₃ -N		638			535	
Total emission från extraplatta, kg NH ₃ -N		60			0,3	
Gödselns totala kväveinnehåll, kg N		3 189			4 532	
N-förlust från huvudplatta, %		20			12	
N-förlust från extraplatta, %		1,9			0	
Procentuell N-förlust, %		21,9			12,0	

För att sätta den totala emissionen i relation till producerad mängd mjölk respektive antal djurenheter redovisas kväveförlusterna i form av ammoniak med produktionsrelaterade enheter i tabell 8 nedan. De beräknade nyckeltalen i tabellen gäller för kontrollsäsongen med ”normal” ströhantering. Resultaten från den andra säsongen indikerar att dessa riktvärden bör kunna justeras ned med ungefär 40 % om 4,4 kg torv/ko och dag tillsätts i ladugården som komplement till halmen.

Tabell 8. Kväveförluster från lagring av fastgödsel på Verkesta gård redovisade med produktions- och besättningsrelaterade enheter. Emissionen från extraplattan är medräknad i förlustsiffrorna men ej eventuella förluster från urinbrunnen då den förutsätts vara täckt. Årsmedelproduktionen räknas i kg energikorrigerad mjölk (ECM) per ko, vilket under försöksåret var 11400 kg ECM på Verkesta. Besättningen bestod av 78 djurenheter, fördelat på 20 kalvar <6 mån, 42 kvigor inklusive kvigkalvar >6 mån och 61 mjölkkor inklusive sinkor.

Kväveförlust till följd av ammoniakemission från lagring av fastgödsel vid mjölkproduktion under en normalsäsong (183 dagar)	
Enhet	Emission
g N/kg årsmedelproduktion mjölk och dag	0,34
g N/djurenhet och dag	49

Ekonomi

Torvkostnaden uppgick under den andra säsongen till 15 600 kr medan fraktkostnaden, inkl. hyra av container för lagring av torven på gården, blev totalt 6 230 kr under samma period.

Ovan redovisade data indikerar att 992 kg N (21,9 % av 4532 kg N) hade gått förlorat under den andra säsongen om inte torv hade använts. Med torvtillsatsen förlorades 543 kg N (12 % av 4 532 kg N), en kvävevinst motsvarande 449 kg N. Med ett kvävevärde på 8 kr/kg N har detta inbesparade kväve ett värde av 3 592 kr. På Verkesta använder man i vanliga fall sågspån för att suga upp en del av urinen i ladugården. Torven har en mycket bra uppsugningsförmåga (ca 5 gånger sin egen vikt vid 50 % initial ts-halt) (Jeppsson m.fl., 1997) och ersätter därmed sågspånen. Den eliminerade kostnaden för sågspån innebär i Verkestas fall en besparing på ca 8 000 kr under perioden i fråga, inkl. inköp, frakt och hantering.

Tabell 9. Ekonomisk kalkyl för tillsats av torv för att minska ammoniakavgången från fastgödsel vid ett fullskaligt försök på mjölkgården Verkesta.

Intäkter	Kr
Värde av inbesparat kväve	3 592
Eliminerad kostnad för sågspån	8 000
<i>Summa intäkter</i>	<i>11 592</i>
Kostnader	Kr
Inköp av torv	15 600
Frakter och containerhyra	6 230
<i>Summa kostnader</i>	<i>21 830</i>
Resultat	-10 238

Förutom de intäkter och kostnader som redovisas i tabell 9 så har även ett antal andra faktorer som påverkar totalekonomin för tillsats av torv identifierats under projektet. Dessa faktorer är dock något svårare att sätta ett exakt värde på. Personalen anger att 15 min arbetstid åtgår per dag för att strö torven på bäspallarna.

Samtidigt sparar man cirka 10 min per dag på att inte strö spån. Dessutom har Verkestras kor visat indikationer på bättre juverhälsa enligt en subjektiv bedömning av ansvarig veterinär. Verkestras brukare är även nöjd med den upplevda förbättringen av stalluften samt det minskade lagringsbehovet för urin som torven medfört. Mängden producerad fastgödsel var dock högre med torv som strömedel, vilket både kan bero på större strömmängder och bättre uppsugning av vätska jämfört med tillsats av sågspån.

Diskussion

Pilotförsök

Väderförutsättningar och försöksplats

Försöken utfördes under november och december vilket inte är idealiskt med tanke på den låga temperaturen. Det är troligt att skillnaden mellan de införda åtgärderna skulle ha framkommit tydligare om försöken utförts under en period med högre temperatur och därmed högre potential för en större ammoniakavgång. Tyvärr var förutsättningarna sådana att resultaten från detta pilotförsök skulle vara färdiganalyserade inför sommaren 2004 då dessa skulle användas som vägledning för fullskaligt införande av vald åtgärd på Verkesta gård. Den ogynnsamma säsongen till trots blev resultaten sådana att de gav en värdefull fingervisning om vad som är värt att satsa på i fullskala.

Ett blött snöfall under den andra ammoniakmätningen gjorde att resultaten från denna mätning blev obrukbara. Vid studie av tidigare gjorda mätningar av ammoniakavgång från statiska fastgödsellager kan det konstateras att den initiala avgången är hög men att det snart sker en minskning som liknar ett exponentiellt avtagande (Karlsson & Torstensson, 2003). Med bara två giltiga mätperioder blir den uppskattade avgången mellan dessa mätningar osäkrare. Ett linjärt avtagande har antagits i detta fall. Denna uppskattning kan möjligen leda till en överskattning av den totala ammoniakavgången, men eftersom jämförelsen är relativ och alla led behandlats lika beräkningsmässigt är vår bedömning att resultaten ändå är relevanta.

Ett ständigt återkommande problem då mikrometeorologiska metoder används vid mätningar av ammoniakavgång från gödsellager är att det ofta finns flera närliggande källor till ammoniakemission och att lagringsplatsen vanligtvis ligger nära byggnader. Perifera emissionskällor och byggnader som orsakar turbulenta luftflöden gör att det blir svårare att separera bakgrundskoncentrationen av ammoniak från den emission som kommer från den uppmätta källan. Containerarna som användes vid pilotförsöken placerades intill kanten av en vall, 50 till 100 m sydväst om Verkestras fastgödselplatta, urinbehållare och ladugård. Placeringen var en kompromiss av olika faktorer som fritt läge, kort transportavstånd för påfyllnad av gödsel, begränsning av körskador och att containerarna inte skulle stå i vägen för daglig verksamhet på gården. Lyckligtvis kom den förhärskande vinden under pilotförsöket i riktning från sydväst samt vid något tillfälle från sydost, vilket borde minimera påverkan från de närliggande ammoniakällorna och byggnaderna.

De kemiska och fysiska egenskaperna för ingående gödsel till försöken stämmer väl överens med tidigare rapporterade data i liknande studier, tabell 6. Gödseln i kategori 3, som användes i leden kontroll, täckt, torv och dränering, är väldigt lika den gödsel som användes i Karlsson (1996) och Sannö m.fl. (2003). Dessutom presenteras nedan data från Amon m.fl. (2001) där en gödsel med något högre ts-halt användes. Även emissionsdata överensstämmer med samma källor i den mån jämförelser är möjliga. Den högre kväveförlusten som presenteras av Karlsson (1996) har med all sannolikhet sin grund i den högre temperaturen under försöksperioden. I tabell 10 finns en sammanfattande jämförelse av data. För att kunna göra denna jämförelse har enheterna för emissionsdata anpassats till de enheter som används i ovanstående källor. Denna jämförelse indikerar att de resultat som framkommit under denna studie är rimliga.

Tabell 10 Jämförelse mellan tidigare rapporterade emissionsdata och emissionsdata insamlade under detta pilotprojekt.

Källa	Volymvikt, kg/m ³	Ts-halt, %	Tot-N, kg/ton	NH ₄ -N, kg/ton	C/N-kvot	Temp. under försök, °C	Ammoniakavgång, g N/m ² lagringsyta och dygn	Total förlust av NH ₃ -N, g N/ton	Procentuell N-förlust, %
Kontroll (denna studie)	817	18,4	5,7	2,6	14,1	3,4	Initialt 1,6; Minsta 0,7 (nov-dec)	191 (2 mån nov-dec)	3,5
Sannö m.fl. (2003)	—	18,6	5,6	1,8	—		Initialt 2,1; Minsta 0,5 (nov-dec)	—	ca 3,5
Karlsson (1996)	—	19,4	4,9	2,0	—	-1,1	Initialt 1,9; Minsta 0,6 (mars)	—	ca 3
Amon m.fl. (2001)	—	20,4	6,4	1,2	14		—	206 (3 mån., jun-sep)	3,2
Karlsson (1996)	926	15,4	5,2	2,2	—	5,7	Initialt 2,3; Minsta 1,6 (apr-maj)	—	ca 7

Trots låg temperatur, snöblandat regn och kompromissande vad gäller försöksplacering tyder resultatjämförelsen således på att mätresultaten inte påverkats på så sätt att det undergräver slutsatserna från denna studie.

Täckning med gummiduk

I litteraturgenomgången nämns ett försök från Kanada där en flexibel, expanderande gummiduk placerades direkt ovanpå gödseln (Barrington & Cap, 1990). Vid diskussion med bönder framkommer ofta att en sådan lösning skulle försvåra arbetet med att flytta runt gödseln på lagringsplattan för att optimera lagringsvolymen. Det skulle bli ett alltför tungt och smutsigt arbete att rulla av och på duken. För att tillmötesgå dessa argument spändes gummiduken upp som ett lågt tak, direkt över containern istället för att läggas direkt mot gödselytan.

Totalt reducerade täckningen den gasformiga kväveförlusten med 28 %. Sänkningen orsakades troligen av en minskning av luftutbyte ovanför gödseln så att emitterad ammoniak inte fördes bort. Koncentrationen av ammoniak i luften med direkt anslutning till lagret blev då förhöjd vilket ledde till en lägre gradient och därmed en lägre emissionspotential.

För att täcka in en fullstor gödselplatta behövs en konstruktion som tillåter en enkel, helst automatisk hoprullning av duken vid behov. Dessutom måste konstruktionen fungera i förhållanden som innebär snöbelastning och isbildning. Det vore även önskvärt om gummiduken avledde regnvatten till en separat dräneringsbrunn för att undvika utspädning av urinen och för att inte urinbehållarens lagringskapacitet skall utnyttjas av regnvatten. Denna typ av täckning går även att uppnå med en fast takkonstruktion till en högre investeringskostnad.

Torvtillsats

Istället för att täcka lagret med torv, vilket är svårt med ett dynamiskt lager, studerades effekten av att blanda in 10 % torv (på viktbasis) i den färska gödseln.

Tillsatsen av torv ledde till den högsta initiala ammoniakemissionen. Förklaringen till detta är troligen en högre initial kolkvävekvot, som är bättre anpassad för effektiv biologisk nedbrytning, samt en lägre vattenhalt. Denna förklaring stöds av att temperaturen var tre gånger högre i torvledet än för de andra försöksleden. Å andra sidan avklingade emissionen snabbare i torvledet än i de andra försöksleden. Sammantaget gav torvledet 29 % lägre kväveförlust i form av ammoniak jämfört med kontrollen. Vid det sista mättillfället var ammoniakavgången nära noll, vilket indikerar att det tillgängliga lösliga kvävet endera redan hade avgått som ammoniak eller var fastlagt i en mindre tillgänglig form.

För att nå en bra inblandning av torv bör den blandas in redan vid utgödslingen. Det finns även möjlighet att strö med torv istället för med halm, alternativt att kombinera dessa. Kanske är kombinationen att föredra för att dra nytta av tillgänglig halm och torvens uppsugningsförmåga kombinerat med dämpande effekt på ammoniakavgång.

Förbättrad dränering

Försöket med en effektivare dränering gav ingen effekt. Kanske var inte den ökade lutningen på containern och den rena ytan framför gödseln i containern nog för att simulera ett förbättrat dräneringssystem. Visuellt kunde man dock se att dräneringen hade effekt. I alla andra försöksled, utom torvledet, fanns ständigt ansamlingar av lakvatten bakom de uppbyggda fördämningarna medan containerbotten var så gott som ren i dräneringsledet. Dessutom märktes det att regnvattnet dränerades snabbare ur dräneringsledet genom att uppsamlingskärlet framför containern fylldes snabbare än för de andra försöksleden. Trots detta var ammoniakavgången från dräneringsledet nästan identisk med den som registrerades för kontrolleret men en liten minskning kan dock utläsas.

Val av åtgärd inför den andra säsongen

Tillsats av torv bedömdes vara den mest lovande insatsen för att begränsa kväveförlusterna i form av ammoniakavgång från fastgödsellager. Motiveringen är att torven, i och med hög jonutbyteskapacitet har god förmåga att binda ammoniak samt att den har mycket god uppsugningsförmåga. Detta innebär att torven motverkar ammoniakemissionen på två sätt, dels genom immobilisering av ammonium och ammoniak, dels genom att minska gödselns emitterande yta. Motsvarande möjlighet finns också med täckning med gummiduk men till en

högre investeringskostnad och en högre kostnad för merarbete. Att täcka lagret med en rigid takkonstruktion kan också vara ett alternativ, men då måste den vara hög nog för att tillåta arbete med traktor på lagringsplattan. Även om ett tak skulle föra bort regnvatten effektivt är det tveksamt om en hög takkonstruktion skulle ha någon nämnvärd repressiv inverkan på mekanismerna för ammoniakemission, förutom att minska ytan av mycket lös gödsel som rinner ut på plattan. Vid tillsats av torv däremot behövs inga ombyggnationer eller fasta konstruktioner vilket gör det möjligt att prova systemet utan större ekonomisk risk. Dessutom är lantbrukaren van att hantera olika strömedel, vilket gör att det på många håll redan finns existerande lösningar för logistiken kring torvströ. Torven är även den enda av de utvärderade åtgärderna som potentiellt skulle kunna bidra till att minska ammoniakavgången och förbättra luftkvalitén inne i själva stallbyggnaden.

Försök i fullskala

Mätmetodik

Mätning av ammoniakemissioner från lagrad fastgödsel med hjälp av jämviktskoncentrationsmetoden med kyvetter (Svensson, 1994) har visat sig vara användbar genom jämförelser med den mikrometeorologiska massbalansmetoden med fluxprovtagare på master (Karlsson & Torstensson, 2003). Vid mätning med kyvetter relateras emissionerna till den yta som täcks av kyvetten och det är brukligt att vid utvärderingen räkna om den uppmätta emissionen till motsvarande avgång ”per m²”, eller ”per hektar”. Detta är ett enkelt samband i de fall metoden används på plana och homogena ytor, där förutsättningarna för den uppmätta emissionen förutsätts vara representativ för omkringliggande ytor. I detta fall ska metoden däremot användas på en begränsad och ojämn yta som utgör en del av ett heterogent gödsellager. Av praktiska skäl utfördes alla mätningar på delar av lagret som vid tillfället var relativt plana. Resultaten antas sedan vara representativa för hela lagerytan täckt med fastgödsel dvs. även de ytor med lutande gödselytor. Detta är naturligtvis en förenkling av verkligheten som måste beaktas då man drar slutsatser från detta arbete. Å andra sidan finns det inga bättre mätmetoder att tillgå för ammoniakmätning på fastgödselhögar, som ligger nära byggnader. Man skulle också kunna argumentera att underskattningen av ytan, som blir resultatet av en tvådimensionell representation, till en del kompenseras av att sluttande ytor har lägre emissionspotential enligt de teorier som framlagts av Karlsson & Torstensson (2003).

En exponentiellt avtagande kurvan har antagits för beräkning av ammoniakemissionen från Verkestas extraplatta. Antagandet är dock baserat på resultaten i pilotförsöket som gav två mätpunkter för kontroll respektive torvbehandlad gödsel samt tidigare studier som visat på ett exponentiellt avtagande förlopp, bland annat Karlsson & Torstensson (2003). Det verkliga utseendet på kurvan kommer i det här fallet ha mycket liten betydelse för totalemissionen i och med att gödseln lagrats så länge på huvudplattan, där de faktiska mätningarna ägt rum. Även om man skulle anta att emissionen per dag är konstant för gödsel äldre än 45 dagar, vilket är det sista uppmätta värdet i pilotstudien, så skulle förlusten bli liten och dessutom innebära att den positiva effekten av torven blir än mer tydlig.

Torvens förmåga att binda vätska

Torvens förmåga att binda vätska visade sig i det faktum att medelutbredningen av den blötare gödseln i gränzonen mellan den fastare gödseln och gödselvätskan begränsats kraftigt under den andra mätsäsongen. Det är också inom denna zon som den mest markanta minskningen i absolut ammoniakavgång per kvadratmeter märks. Däremot uppmättes det ingen minskning av ammoniumkoncentrationen i uppsamlad gödselvätska, något som förväntades i och med torvens både fysiskt och kemiskt bindande förmåga. Antalet prov från dräneringsvätskan andra säsongen var dock begränsat, pga. ett krånglande prov- och vägningssystem vilket gör att provet och därmed analysresultatet inte är representativt för hela säsongen. En lägre medelförlust av kväve från gödselvätskan på plattan under den andra säsongen tyder ändå på att ammoniumkoncentrationen i medeltal borde ha varit lägre.

Torvens goda uppsugningsegenskaper får också effekter på mängden vätska som måste lagras i urinbehållaren. Teoretiskt skulle de 120 m³ torv som tillsattes under den andra säsongen kunna binda ca 138 m³ vätska (Jeppson m.fl., 1997). Inga direkta mätningar har gjorts för att mäta den verkliga uppsugningsförmågan, men resultaten från dräneringsflödesmätningen visar ett betydligt lägre dräneringsflöde från plattan under den andra säsongen (jämför figur 7 och 8) och personalen på Verkesta bekräftar att nivån i urinbrunnen varit ovanligt låg trots normal nederbörd. En lägre volym i urinbrunnen innebär dels en besparing vad gäller spridningskostnader, dels bättre möjligheter att anpassa spridningstidpunkten till grödans behov eftersom befintlig lagringskapacitet räcker längre.

Ammoniakavgång

I figur 10 och 11 presenteras resultaten för varje diskret mätning av ammoniakemissionerna. Dessa värden är absoluta för just den yta där mätkamrarna stått under den timme som mätningen gjorts. Resultaten är de mest pålitliga siffrorna om ammoniakavgång från fastgödsel som är möjlig med dagens mätteknik. Nivåerna på dessa värden stämmer väl överens med resultaten från andra jämförbara studier utförda på betongplattor, exempelvis Misselbrook m.fl. (2001). Våra absoluta värden har sedan interpolerats över yta och tid för att kunna säga något om den totala emissionen över året. Försök gjordes att binda ihop de diskreta mätvärdena till ett kontinuerligt förlopp för ammoniakavgången genom att relatera det till andra parametrar som registrerades kontinuerligt. Parametrarna var lufttemperatur, gödseltemperatur, vindhastighet och gödselns ålder, men de gav tyvärr inte tillräckligt höga korrelationsvärden i multipel regression för att kunna användas för enklare modellering, varken enskilt eller tillsammans. För att ändå kunna producera praktiskt användbara data gjordes medelvärdesberäkningar (medelvärde över tid och yta) av ammoniakemissionerna för varje gödselzon och säsong. Därefter räknades medelvolymen av gödsel på huvud- respektive extragödselplattan fram. Genom att den spatials utbredningen av de olika gödselzonerna hade registrerats kunde medelutbredningen av respektive zon vid medelvolymen bestämmas. Från dessa medelvärden beräknades sedan den totala emissionen från huvudplattan för respektive säsong genom att multiplicera med den totala tiden som mätningarna representerar, dvs. 182 dagar (för båda säsongerna).

I och med att ammoniakmätningarna i denna studie, liksom i de flesta andra studier av ammoniakemissioner, av praktiska skäl utförts mitt på dagen finns det anledning att undra över variationen av ammoniakavgången över dygnet. Misselbrook m.fl. (2001) har dock visat att mätningar gjorda vid tolvtiden på dagen väl representerar medelvärdet för dygnet vid mätning med metodiken enligt Svensson (1994).

Medellagringstiden för gödseln räknades fram för de båda lagringsplattorna. Som tidigare nämnts under rubriken ”mätmetodik” i diskussionen antogs ett tidsberoende exponentiellt avtagande av ammoniakavgången från extraplattan. Genom integrering av exponentialfunktionen över medellagringstiderna för de båda åren kunde således emissionen från extraplattan räknas fram.

Jämförelsen mellan de två mätsäsongerna för att bedöma effekten av torvtillsatsen i ladugården är ytterligare en generalisering. Varje extrapolering och jämförelse av resultat mellan säsonger innebär en osäkerhet som är mycket svårbedömd. Det enda som säkert kan sägas om de framräknade generella emissionsvärdena som redovisas i denna rapport är att de är teoretiskt rimliga och att de representerar de hittills bäst underbyggda svenska siffrorna för ammoniakemissioner från lagrad fastgödsel i mjölkproduktion.

Gödselzonernas relativa bidrag till den totala ammoniakavgången

Resultaten från kontrollsäsongen visar klart och tydligt att gödselvätskan, som består av urin, mycket lös gödsel samt regn- och lakvatten, bidrar med den enskilt största ammoniakemissionen av de tre identifierade gödselzonerna (figur 12). Det enklaste och absolut billigaste sättet att minska den totala ammoniakemissionen från lagrad fastgödsel i Sverige borde därför vara att se till att de urinseparerings-system, som oftast redan finns installerade verkligen fungerar. Det innebär att ögonlocksplåtar eller andra typer av dränering måste hållas rena samt att dräneringskanaler för transport av den separerade urinen till urinbehållaren måste hållas rena. Även om systemet bara är igensatt under kortare perioder resulterar detta i stående vätska i stall och på lagringsplatta under en lång period efter stoppet. Rengöring är troligen en åtgärd som faktiskt kan betala sig i inbesparat kväve i och med att den enda investeringen är den extra arbetstid som läggs på att förhindra igensättning av systemet.

Torv som strömedel

Torven höll en jämn torrsubstanshalt på 50 % vilket gör torven i princip dammfri. Torv börjar damma vid torrsubstanshalter över ca 60 %, enligt Larsson m.fl. (1999). Subjektiva bedömningar från flera personer inblandade i projektet, speciellt ladugårdsarbetaren, indikerar att torven märkbart förbättrade stalluften. Praktiska erfarenheter från försöken visar att torven bör strös på båsfallen och inte direkt i gödselrännan då detta resulterar i en seg massa som skraporna glider över vid utgödsling. Den totala tidsåtgången för att strö denna mängd torv på detta sätt till 52 båsplatser var mellan 10 och 15 min per dag.

Ekonomi

De ekonomiska beräkningarna visar att kvävevinsten ej ensam kan bära kostnaderna för att strö 120 m³ torv under en installationsperiod. Om kostnaderna för torven ställs mot värdet av inbesparat kväve innebär denna åtgärd en förlust på 10 238 kr per år. Till detta kommer sedan kostnaden för ca 5 min. merarbete för ströning och uppsaktningsvis mer fastgödsel att hantera.

Att strö med torv i stallet medför dock även vinster som är svåra att sätta generella värden på. Sänkt läglighetskostnad genom ökad lagringskapacitet, både på lagringsplattan till följd av förbättrad stapelbarhet och i urinbrunnen som resultat av torvens uppsugningsförmåga, är en sådan vinst. En annan är en förbättrad arbetsmiljö i ladugården. Dessutom finns indikationer på att celltalen i levererad mjölk har sänkts under den tid som torven har använts.

Övriga erfarenheter och bedömningar

Att ett fastgödsellager på en mjölkgård är väldigt dynamiskt framstod tydligt under projektet. Många gårdar är hopslagna vilket innebär en större areal och möjlighet att utöka djurbesättningen. Många gånger investeras det inte i en ny, större gödselplatta vid den utbyggda ladugården utan kraven på lagringskapacitet klaras av genom att gödsel vid behov forslas till befintliga plattor på exempelvis arrendegårdar. Dessutom behövs gödseln ofta makas ihop för att klara kraven på lagringstid och för att utgödslingssystemet skall fungera. Allt detta innebär att gödselplattan är en högt trafikerad plats, vilket bland annat leder till att vissa typer av täckningar för gödsel för att minska kväveförlusterna blir opraktiska.

Tiden för mätningarna, oktober till maj motsvarar större delen av en normal installationsperiod. Övrig tid befinner sig djuren mestadels på bete och genererar därför inga nämnvärda mängder gödsel som lagras på gödselplattan. Den totala ammoniakemissionen som beräknats utifrån uppmätta värden under denna tid stöder den emissionsfaktor på 20 % för fastgödsel från mjölkkor som Statistiska Centralbyrån använder för att beräkna Sveriges nationella ammoniakemissioner (SCB, 2003).

Slutsatser

- Torvtillsats eller täckning av gödseln gav bästa effekten i fråga om reduktion av ammoniakemission i pilotstudien. Båda resulterade i en minskning av kväveförlusterna med strax under 30 % jämfört med kontrollen.
- Av de ammoniakbegränsande åtgärder som provades i pilotstudien bedömdes torvtillsats vara den bäst lämpade ur praktisk och ekonomisk synvinkel.
- Den absoluta emissionsnivån för ammoniak från gödsel på lagringsplatta på Verkesta gård varierade mellan 0 och 1,47 g NH₃/m² och timme.
- Gödselvätskan, bestående av urin, regnvatten och mycket lös gödsel, som flöt ut på lagringsplattan stod för huvuddelen av den totala kväveförlusten i form av ammoniak under kontrollsäsongen (ingen åtgärd).

- Riktvärde för normala kväveförluster i form av ammoniakavgång från fastgödsellagring vid mjölkproduktion har kunnat härledas från försöken. Totalt förlorades ca 700 kg N under lagringen av fastgödsel från oktober till maj, vilket utgjorde 22 % av gödselns totala kväveinnehåll.
- Förlustnivåerna kan också uttryckas på besättningsbasis: ungefär 49 g kväve avgick per djurenhet och lagringsdag (182 dagar). Alternativt kan samma siffra relateras till produktionsnivå vilket ger ett värde på ungefär 0,34 g kväve per kg årsmedelproduktion mjölk och lagringsdag, där årsmedelproduktionen uttrycks i kg energikorrigerad mjölk (ECM).
- Om 4,4 kg torvströ med 50 % ts-halt tillsätts per ko och dag kan kväveförlusten sänkas till ungefär 12 % av gödselns totala kväveinnehåll vilket innebär en förbättring med över 40 % gentemot kontrollsäsongen.
- Den totala tidsåtgången för ströning av 52 båsplatser var 10-15 minuter per dag vid mängden 4,4 kg torvströ per ko och dag.
- Torvtillsatsen genererade också en förbättring i fråga om lagringskapacitet trots att torvtillsatsen gav en ökad totalvolym. Fastgödseln blev mer stapelbar vilket enligt lantbrukaren mer än väl kompenserade de större volymerna fastgödsel. Dessutom blev det mindre volymer av gödselvätska, som skulle lagras i urinbrunnen. Luften i stallet blev också märkbart bättre.
- Kvävebesparingen var ej tillräcklig för att bära hela kostnaden för torvtillsatsen. Däremot genererades andra, ekonomiskt mer svårvärderade fördelar som bättre arbetsmiljö i och med förbättrad stallluft, ökad lagringskapacitet och bättre förutsättningar för att kunna välja rätt spridningstidpunkt samt eventuellt även en bättre juverhälsa.

Referenser

- Amon B., Amon T., Boxberger J. & Alt C., 2001. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, s. 103-113. Nederländerna.
- Barrington SF. & Cap R., 1990. The development of an economical solid dairy manure storage facility. *Canadian Society of Agricultural Engineering*, No. 90-117.
- Bussink D.W. & Oenema O., 1998. Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, s. 19-33.
- De Bode MJC, 1991. Odour and ammonia emissions from manure storage. In: *Odour and Ammonia emissions from livestock Farming*. Nielsen VC, Voorburg JH, & L'Hermitte P (eds), s 59-66. Elsevier, Amsterdam.
- European Committee for Standardization, 2002. *Agricultural machinery – Manure Spreaders – Environmental Protection – Requirements and Test Methods*. EN 13080. Bryssel, Belgien.
- Jeppsson K.- H., Karlsson S., Svensson L., Beck - Friis B., Bergsten C. & Bergström J., 1997. Djupströbbädd för ungnöt och slaktsvin. Rapport 110. Inst. för jordbrukets biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

- Karlsson S., 1994. Composting of Deep Straw Manure. EurAgEng Paper No. 94-C-092, AgEng94 International Conference on Agricultural Engineering, Milano, Italy.
- Karlsson S., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid lagring av stallgödsel. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 228. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Karlsson S. & Rodhe L., 2002. Översyn av Statistiska Centralbyråns beräkning av ammoniakavgången i jordbruket – emissionsfaktorer för ammoniak vid lagring och spridning av stallgödsel. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. JTI Uppdragsrapport, Uppsala.
- Karlsson S. & Torstensson G., 2003. Strängkompostering av hästgödsel. JTI-rapport 313, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Kirchmann H., Esala M., Morken J., Ferm M., Bussink W., Gustavsson J. & Jakobsson C., 1998. Ammonia emissions from agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51, s. 1-3. Kluwer Academic Publishers.
- Koppe U., Kristensen L., Stopes C., Kolster P., Granstedt A. & Hodges D., 1995. Nitrogen leaching in ecological agriculture. Proceedings of an International Workshop, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, 15-29.
- Larsson K., Rodhe L., Jakobsson K-G., Johansson G. & Svensson L., 1999. Torv som strö i smågrisproduktionen – effekt på miljö och djurhälsa. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 257, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Misselbrook T.H., Webb J., Chadwick D.R., Ellis S. & Pain B.F., 2001. Gaseous emissions from outdoor concrete yards used by livestock. Atmospheric Environment 35, 5331-5338.
- Phillips R.V., Cowell D.A., Sneath R.W. Cumby T.R., Williams A.G., Demmers T.G.M. & Sandars D.L., 1999. An assessment of ways to abate ammonia emissions from UK livestock buildings and waste stores. Part 1: ranking exercise. Bioresource Technology 70, s. 143-155.
- Puumala M., 2001. Storage of Manure in Heaps. Proceedings, NJF-Seminar no. 320. Sustainable Handling and Utilisation of Livestock Manure from Animals to Plants. DIAS report on Animal Husbandry nr 21, 51-57. Foulum, Danmark.
- Ringqvist L., Brunes L., Bergner H., 2003. Kväveadsorption till torv. Slutrapport för projekt 4021. Enheten för biomassateknologi och kemi, SLU, Umeå.
- Sannö J. O., Cederberg C., Gustafsson G., Hultgren J., Jeppsson K. H., Karlsson S. & Nadeau E., 2003. LIFE Ammoniak. Bärkraftig mjölkproduktion genom minskning av ammoniakförluster på gårdsnivå. Projektrapport. Rapport 5, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa, SLU, Skara.
- SCB, 2003. Utsläpp av ammoniak till luft i Sverige 2003. Statistiska meddelanden MI 37 SM 0401. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2004. Gödselmedel i jordbruket 2002/2003. Tillförsel till åkergrödor samt hantering och lagring av stallgödsel. Statistiska meddelanden MI 30 SM 0403. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- Schjørring J. K., Sommer S. G. & Ferm M., 1992. A Simple Passive Sampler for Measuring Ammonia Emission in the Field. Water, Air and Soil Pollution, 62, s 13-24, Nederländerna.
- Sommer S.G., 1992. Ammonia volatilization from cattle and pig slurry during storage and after application in the field. PhD thesis Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. Tidsskr. Planteavl. Spec. S2209.

- Steineck S., Gustafson G., Andersson A., Tersmeden M. & Bergström J., 1999. Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement. Rapport 4974, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Steineck S., Svensson L., Jakobsson C., Karlsson S. & Tersmeden M., 2000. Hästar – gödselhantering. Teknik för lantbruket nr 82. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- 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.
- Ulén B., 1994. Växtnäringsläckage från strögödselkomposter. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för markvetenskap, Avd. för vattenvårdslära. Stencil 7s., Uppsala.

Internet

- SMHI, 2004. Månadens väder. www.smhi.se, 2004-01-07.

Dokumentering av Verkesta gård

Gårdsbeskrivning

Verkesta, som är en mjölkgård med uppbunden besättning och fastgödselhantering, har varit i familjens ägo i tre generationer och arrenderas från Enköpings stift. Anders Zetterberg har drivit gården sedan 60-talet. Till Verkesta hör 40 ha åkermark samt 80 ha sidoarrenden. Gården försörjer nu Anders och hans fru på heltid. Dessutom har man en anställd i ladugården samt den yngsta sonen.

Ekonomibyggnader

Till Verkesta hör en ladugård med 52 kortbåsplatser som även inhyser en mindre kall lösdrift, en spannmålstork och 17 kalvboxar. Ett nyare lösdriftstall (kall) byggdes under sent 80-tal ovanpå den gamla gödselplattan. Den nya gödselplattan (400 m³) byggdes i mitten av 80-talet. Till detta kommer även de två boningshusen, en maskinhall, en plansilo för ensilage samt en urinbehållare. Dessutom har man på ett av sidoarrendena (Tibble) ytterligare en gödselplatta samt en anläggning för torkning och lagring av ca 150 ton hö.

Produktion

Årsproduktionen av mjölk på Verkesta är ca 540 ton, vilket är något över den kvot man har på 500 ton/år. Medelproduktionen per ko och år är 11400 kg ECM. Även hö och halm produceras för avsalu och man säljer dessutom varje år ca 300 ton gödsel. Då Anders anser att man kan ta bättre betalt för god kvalitet på hö än på spannmål har gårdens växtföljd ett stort inslag av vall. Höet beräknas kosta 1,30 kr/kg att producera och säljs för ungefär 2,45 kr/kg. Den beräknade produktionskostnaden för halmen är 0,45 kr/kg. Arealen brukar vara uppdelad på 60-65 ha vall och 40-45 ha spannmål (korn, havre och höstvetete i traditionell växtföljd) medan resterande areal är tagen ur produktion. All spannmål och en stor del av hö, halm och gödsel förbrukas på gården. För att täppa till luckor i sysselsättningen under året företar man även en hel del legokörning. Bland annat har man ett kontrakt på snöröjning i norra Stockholm.

Besättning

Besättningen består av 67 årskor med 35-50 % rekrytering vilket ger en medellängd i produktion på ca 4 år. För att få en jämn årsproduktion tillämpas åretruntkalvning med 4-6 kalvningar per månad. På gården finns vid en given tidpunkt sex kalv- och kviggrupper om 10-12 djur. Tjurkalvarna säljs vid två månaders ålder medan kvigkalvarna behålls för egen rekrytering. Djurens ungefärliga fördelning är ca 15 kalvar <2 månader, 40-45 kvigkalvar, 8-10 kvigor, 8-10 sinkor och 52 mjölkande kor.

Foder

För att bestämma foderstaten används programmet ”Individ foder” som matas med data från foder- och mjölkanalyser. En höglakterande ko (>50 l/dygn) får varje dygn 8 kg spannmål, 7 kg ”unik” samt 2 kg ”suverän”, dessutom får kon 8 kg_{ts} ensilage och 1-1,5 kg hö.

Gödselhantering

Verkesta hanterar sin gödsel som kletig fastgödsel. Det finns ingen urinseparering i ladugården utan långhalm, träck och urin trycks gemensamt direkt ut på plattan. På plattan får sedan urinen rinna av och hamnar tillsammans med regnvatten via plattans dränering i en pumpbrunn som sedan pumpar upp detta till en urinbehållare. Till denna pumpbrunn och därmed också till urinbehållaren leds även disk- och spolvattnet från mjölkkrummet. Den 400 m² stora gödselplatta som finns på Verkesta räcker inte till för att lagra all den gödsel som produceras under den tid som spridning av gödsel inte är tillåten. Detta problem hanteras vanligtvis enligt följande:

- Djupströbäddarna från lösdriftstallen blandas med gödsel från mjölkladugården för att få en stapelbar blandning. Denna blandning (totalt ca 200 ton) mellanlagras sedan på den åker där det skall brukas ned under kommande vår.
- På sidoarrendet Tibble finns ytterliggare en 300 m² stor gödselplatta. Dit körs ca 180 ton för vinterlagring.
- Ungefär 200 ton säljs som organiskt gödselmedel till en eko-odlande granne och 100 ton säljs till Anders bror som också bedriver jordbruk i närheten.
- Resterande mängd gödsel lagras på Verkestas gödselplatta.

Lagringskapaciteten för den flytande fraktionen (urin + regnvatten) är stor nog för att klara lagring under den tid man ej får sprida. En täckning av urinbehållaren med påfyllnad under ytan har installerats under projektiden. Täckningen är av fabrikat HexaCover.

I övrigt försöker man sprida gödsel och urin så länge man får fram till tidig vinter. Gödseln plöjs då ned kort efter spridningen. En mindre del sprids på våren och harvas då ned.

Bilder 1-7



Bild 1. Containrar uppställda för pilotförsök på Verkesta gård.



Bild 2. Container för pilotförsök, iordningställd för att efterlikna en sluttande lagringsplatta för fastgödsel med tre väggar.



Bild 3. Passiva fluxprovtagare som består av två oxalsyrebestrukna glasrör sammanfogade med en bit silikon slang.



Bild 4. Verkesta's gödselplatta.



Bild 5. Provtagningskammare uppställda på den torrare zonen som utgörs av färskare gödsel på den bakre delen av plattan, på den kletigare zonen som kan beskrivas som en gränshfas i framkant av den fasta gödseln samt på zonen med flytande gödselvätska som består av urin, regnvatten och mycket lös gödsel.



Bild 6. Pumpbrunnen med installerat vippkärl.

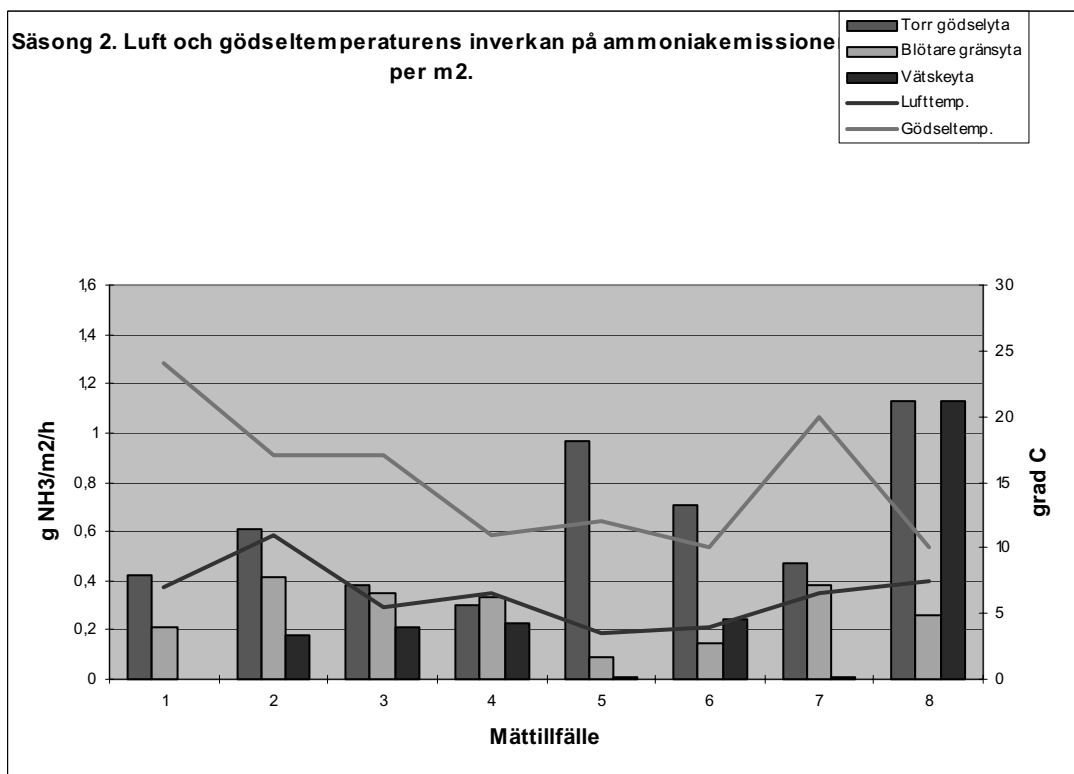
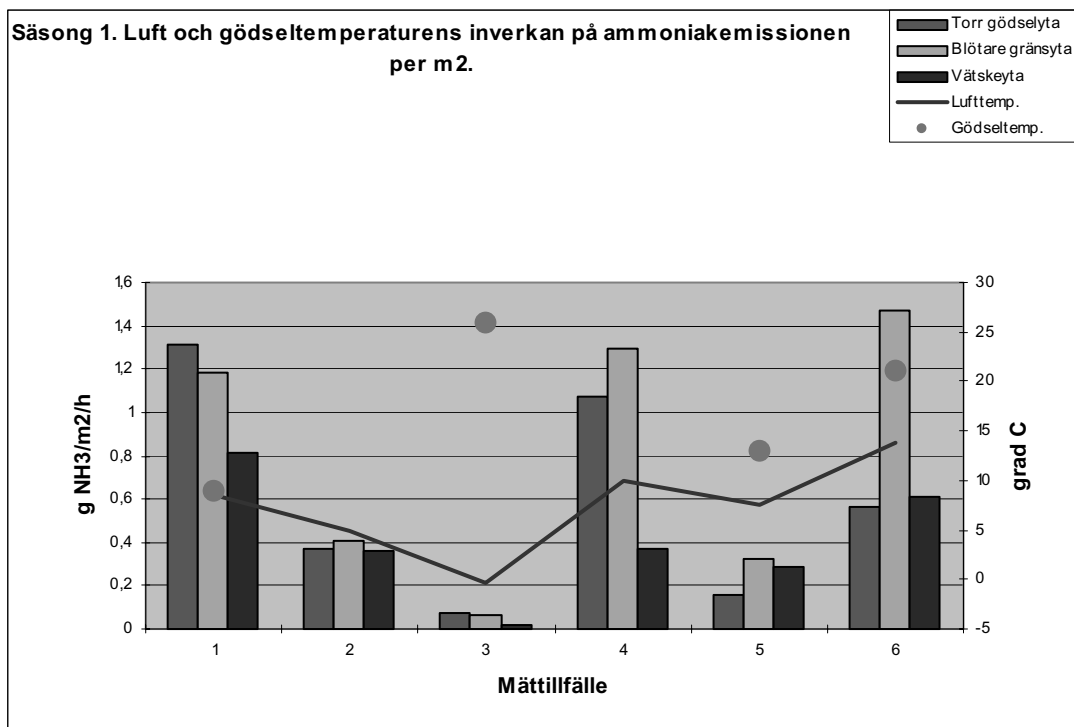


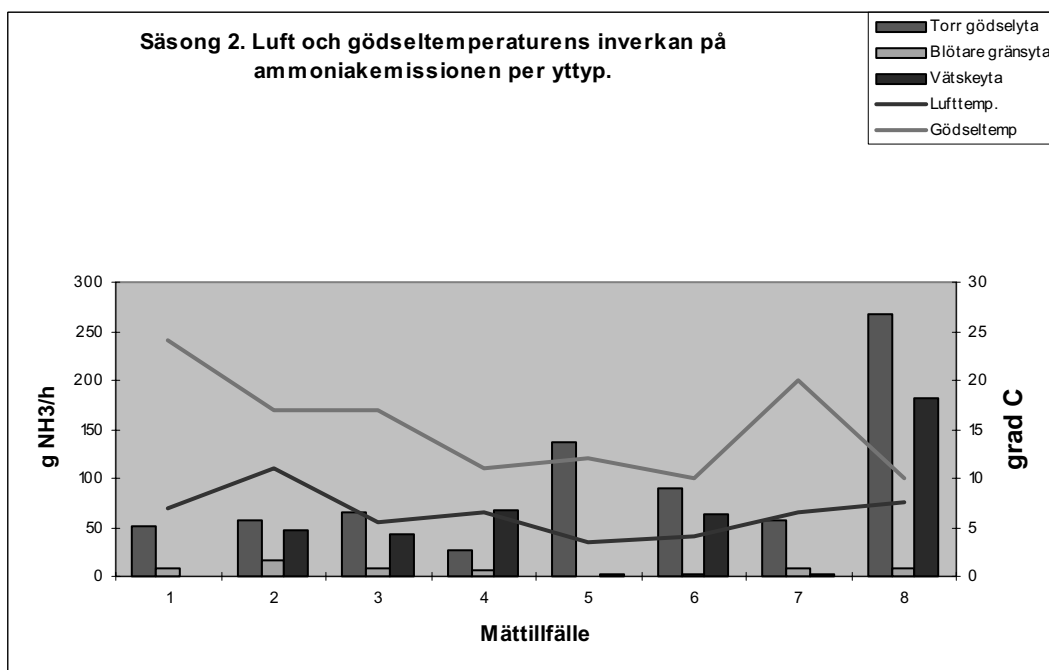
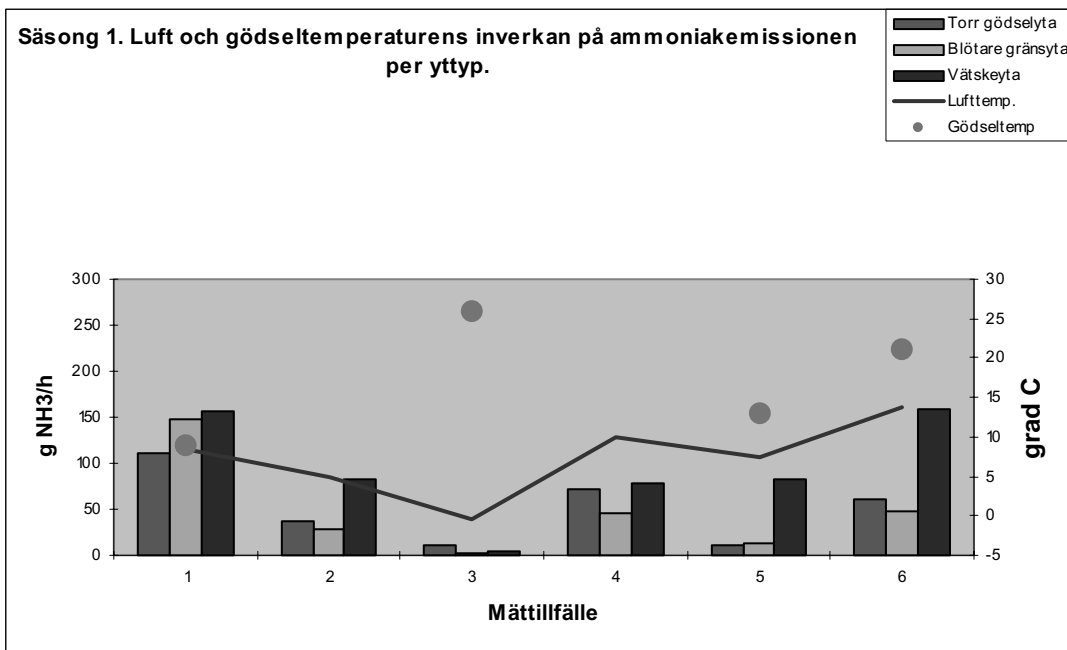
Bild 7. Direkt konzentrationmätning i provtagningskammaren med reagensrör och luftpump av fabrikat Kitagawa.

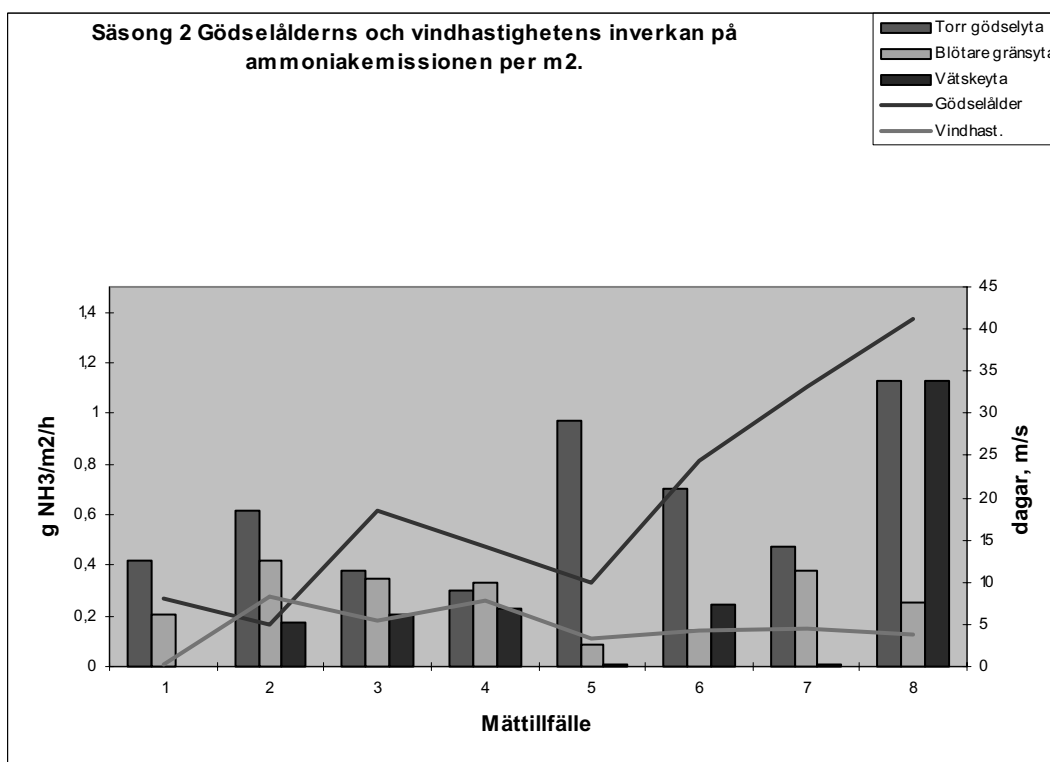
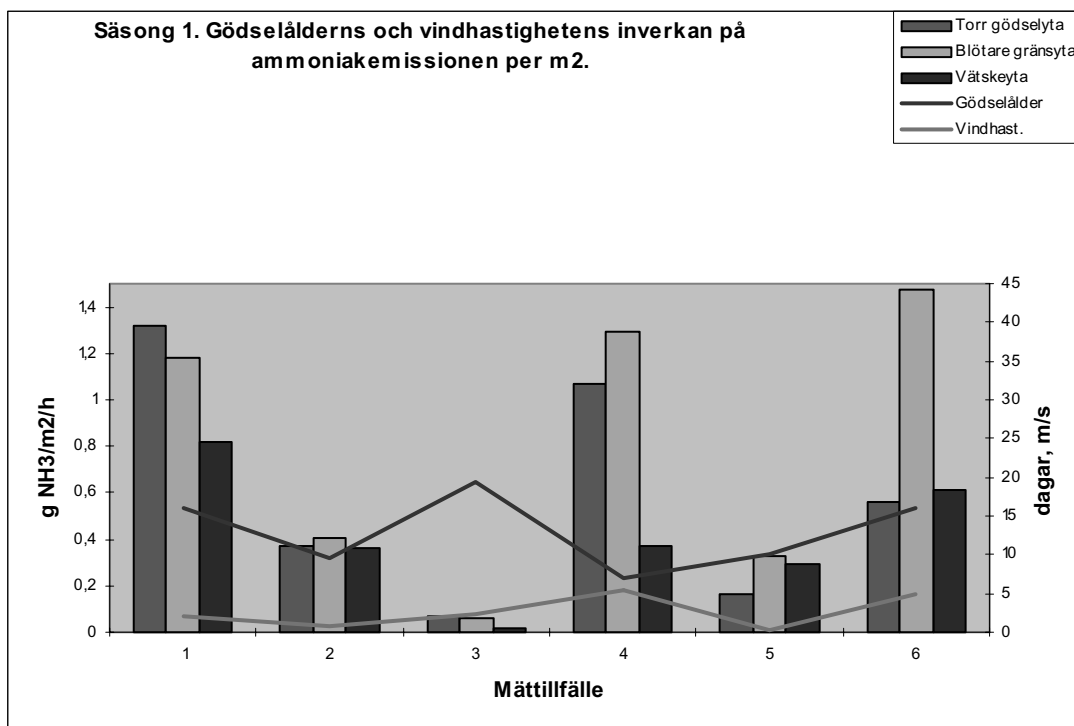
Bilaga 3

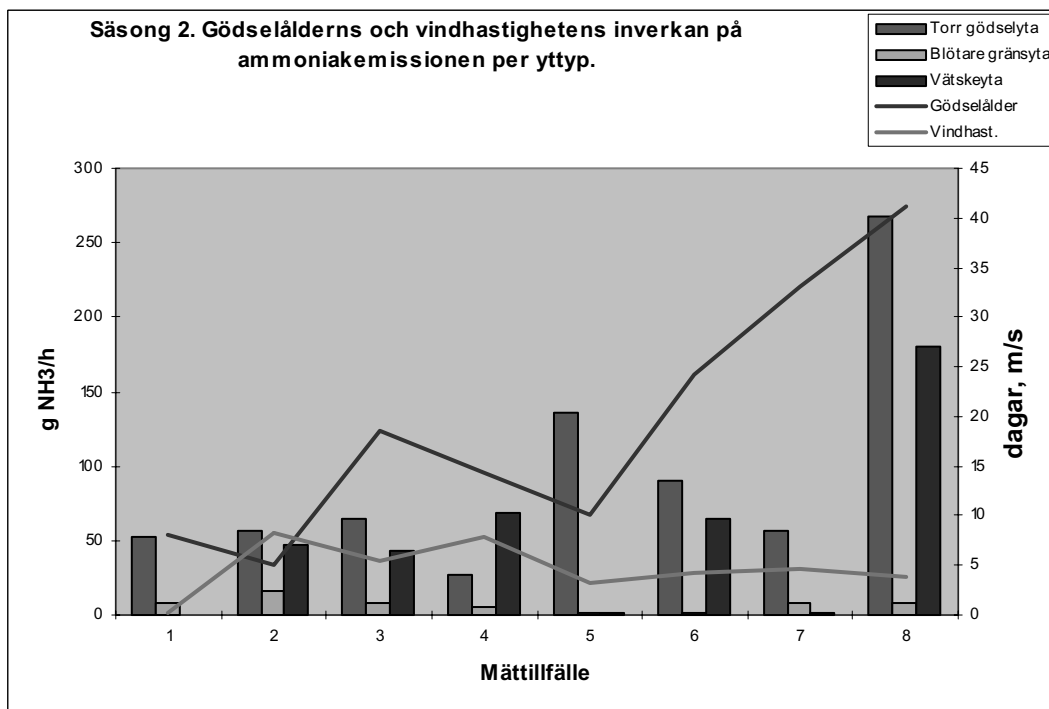
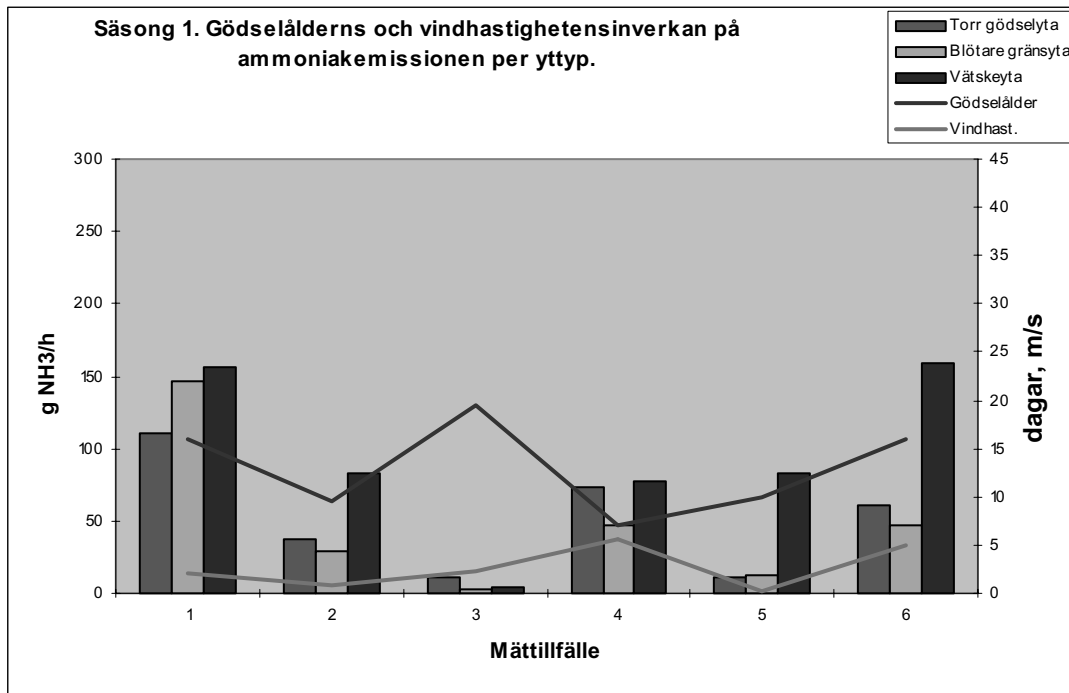
Led	Emissionsförlust						
	Ingående kvävemängd Tot-N (g)	Period 1 NH ₃ -N (g)	Period 3 NH ₃ -N (g)	Estm. övr. tid NH ₃ -N (g)	Total NH ₃ -N emission (g)	% av ingående Tot-N	% sänkning av N-förlust jämfört med kontroll
Täckt lager	24 432	162,80	39,90	354,76	557,46	2,28	28,28
Torvtillsats	26 290	206,56	8,96	377,16	592,68	2,25	29,13
Extra dränering	20 468	151,04	68,40	384,02	603,46	2,95	7,32
Kontrollager	20 062	163,44	68,64	406,14	638,22	3,18	0,00

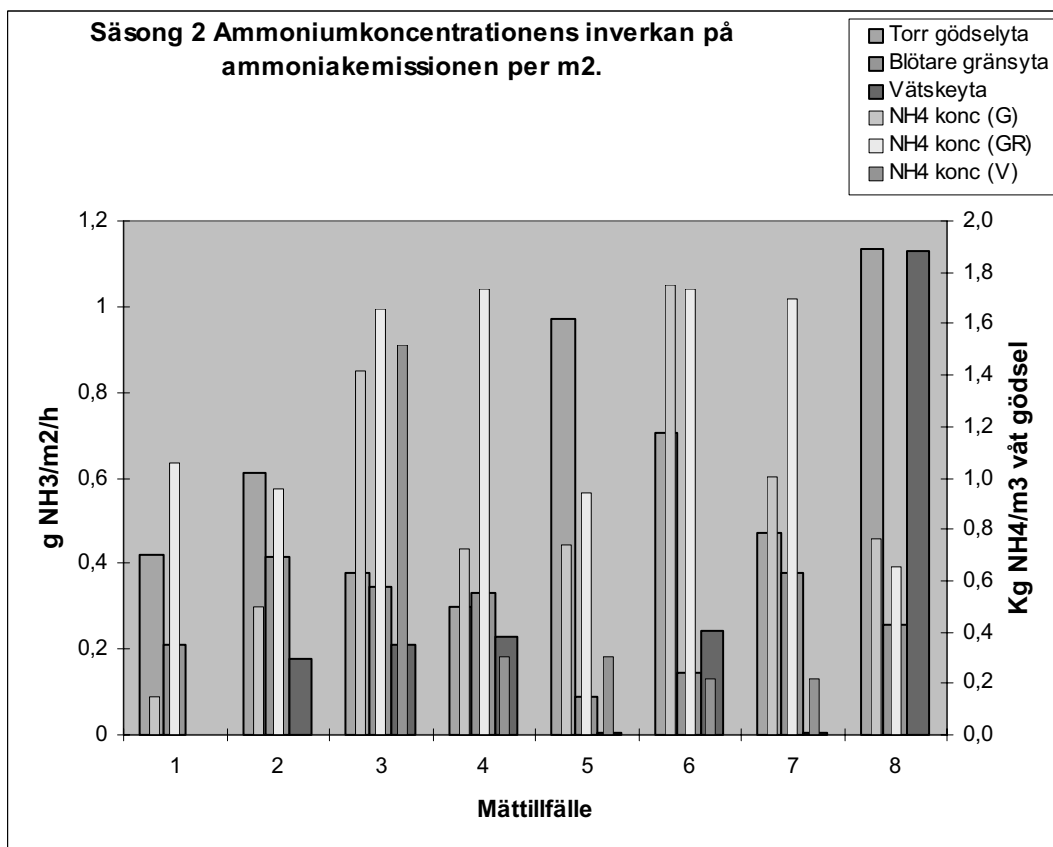
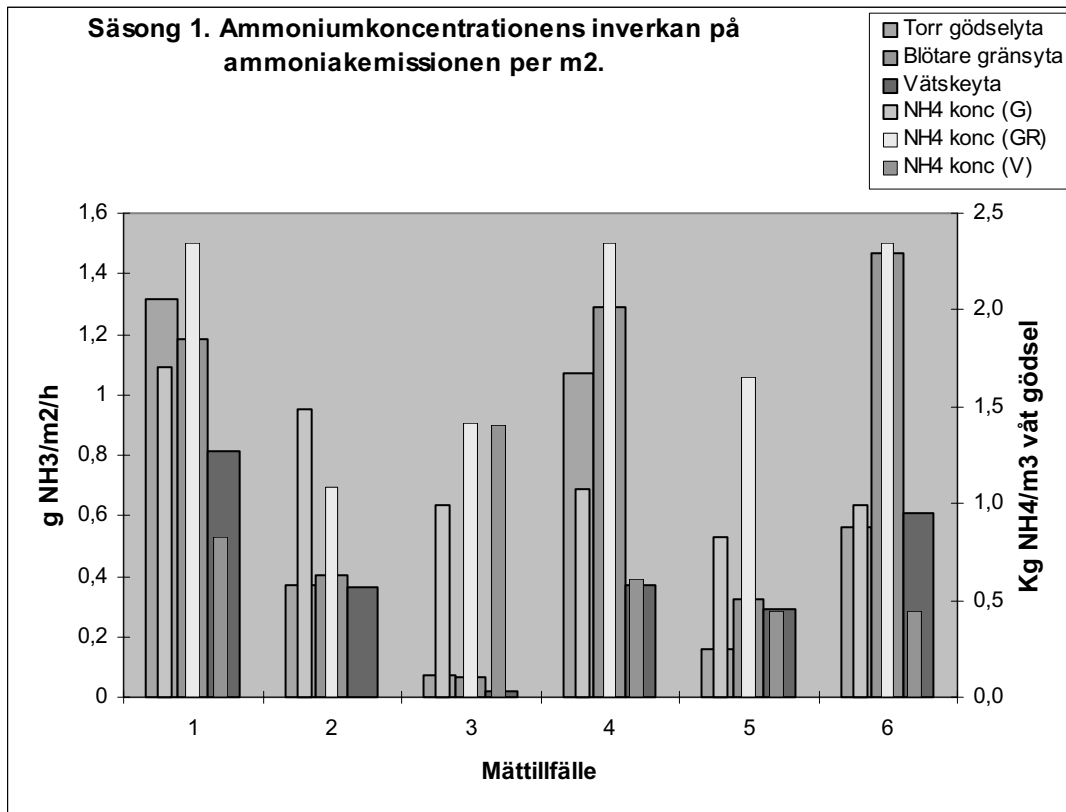
Bilaga 4

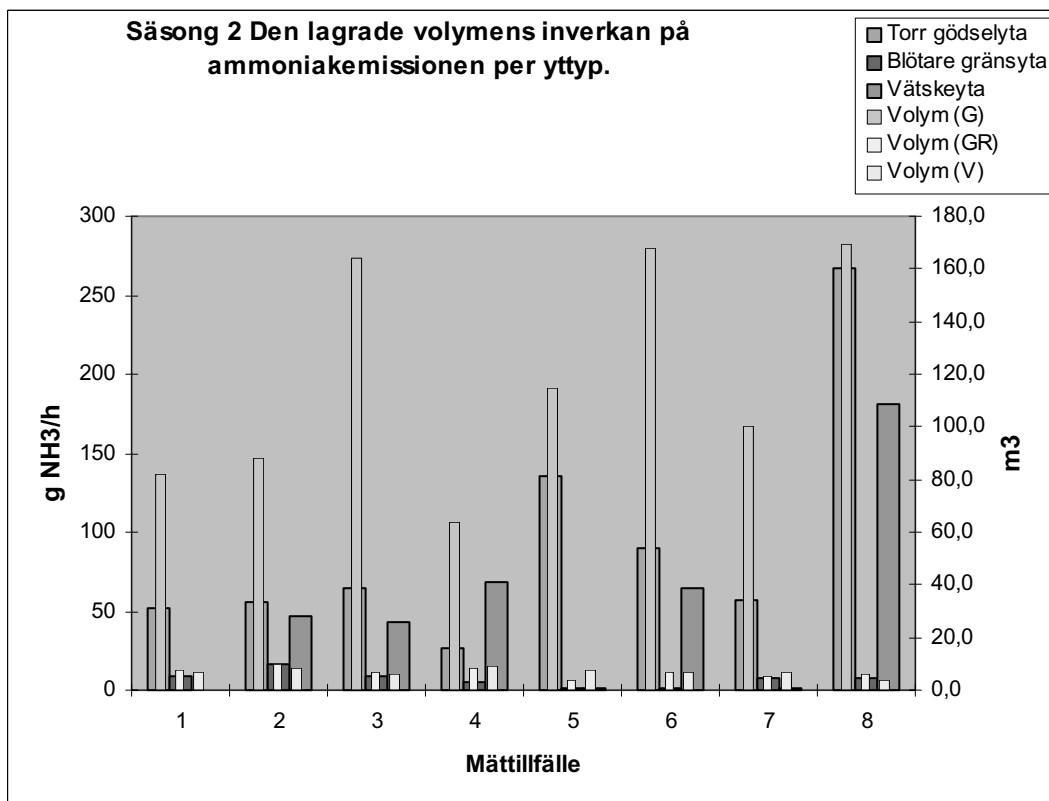
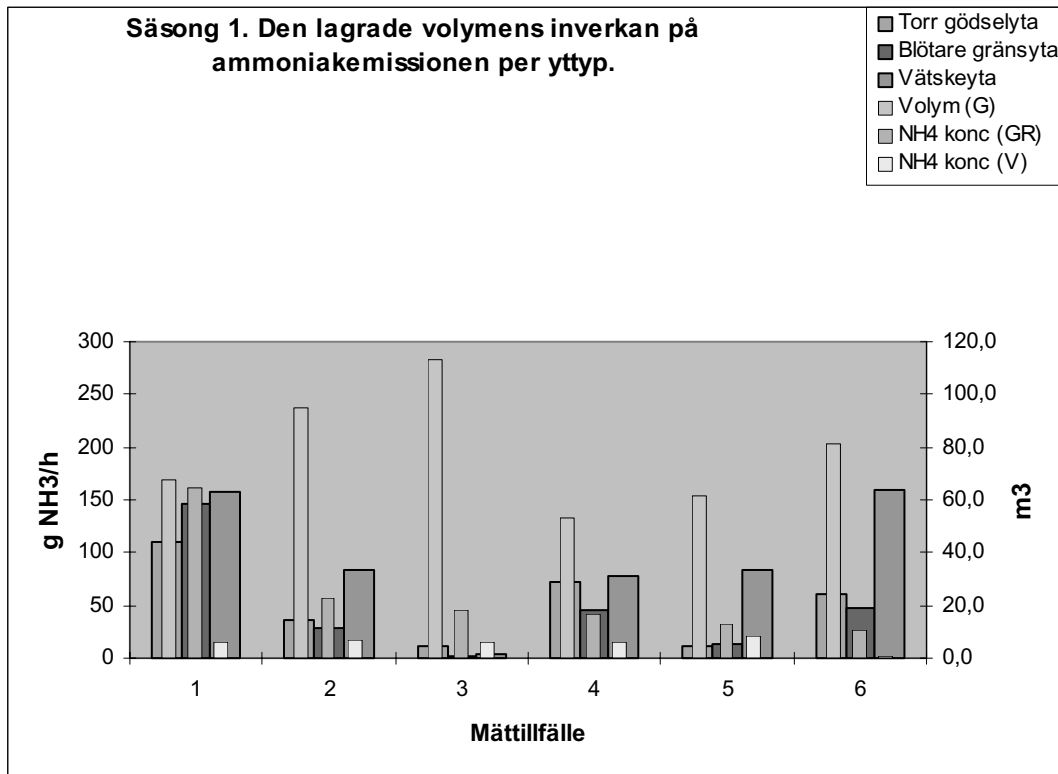












Bilaga 5

	Kontrollsäsong 2003-2004			Säsong 2004-2005, torv tillsatt		
	Torrare gödselzon	Våtare gödselzon	Flytande gödselzon	Torrare gödselzon	Våtare gödselzon	Flytande gödselzon
Medelemission (gNH ₃ /m ² /h)	0,592	0,790	0,412	0,623	0,271	0,250
Medelbeläggning på huvudplattan (m ³)	87			136		
Normal emitterande yta för den torra gödselzonen vid respektive medelbeläggning (m ²)	108			136		
Geometriskt medelförhållande mellan de olika gödselzonernas emitterande ytor	1	0,52	1,62	1	0,17	1,77
Resultaterande antagande om genomsnittliga emitterande ytor (m ²)	108	56,16	174,96	136	23,12	240,72
Total lagringstid (h) (6/11 - 3/5)	4296			4296		
Total emission från varje gödselzon (gNH ₃)	274 739	190 678	309 383	364 189	26 948	258 152
Total emission från huvudplatta (gN)	226 255	157 029	254 786	299 920	22192	212 596
Total emission från huvudplatta (gNH ₃ -N)	638 070			534 708		
Exponentiellt avtagande funktion för extraplatta. Integration har skett mellan t=960 och 2256 den första säsongen och t=1704 och 4128	$E=0.871\exp-0.001t$			$E=1.941\exp-0.0036t$		
Emission från extraplattan (E) (gNH ₃ -N/m ²)	200			1		
Antagen emissionsyta vid lagring på extraplatta (m ²)	300			300		
Total emission från extraplatta (gNH ₃ -N)	59 850			288		
Totalt initial mängd N (g)	3 189 034			4 532 193		
Procentuell N-förlust huvudplatta (%)	20,008			11,797		
Procentuell N-förlust extraplatta (%)	1,876			0,006		
Procentuell N-förlust (%)	21,89			11,80		

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.se



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA Telefon: 018 - 30 33 00

Besöksadress: Ultunaallén 4 Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: www.jti.slu.se E-post: office@jti.slu.se