



Kostnadseffektiv konstruktion av utomhus vistelseytor för nöt

Performance of geotextile-gravel bed all-weather surfaces for cattle

Hans von Wachenfelt

Lantbrukets byggnadsteknik

Department of Rural buildings, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2010:14

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-21-4

Alnarp 2010



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Kostnadseffektiv konstruktion av utomhus vistelseytor för nöt

*Performance of geotextile-gravel bed
all-weather surfaces for cattle*

Hans von Wachenfelt

Lantbrukets byggnadsteknik

Department of Rural buildings, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2010:14

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-21-4

Alnarp 2010

FÖRORD

Utomhusvistelse för nötkreatur bidrar till större rörlighet för djuren under hela året och därmed till naturligt beteende och ökad djurvälstånd. En försiktig uppskattning visar att ca 15 - 20 % av Sveriges dikor har utomhusvistelse året runt som inhysningsform, vilket ger 25 000 – 33 000 dikor.

Utomhus djurhållning skapar gödselbelastade ytor eftersom att idisslare gödslar och urinerar där de för ögonblicket befinner sig vilket innebär att de gödselbelastade ytorna i hög grad bestäms av var djuren vistas och hur länge de uppehåller sig på ytan och hur stor flocken är. När dessa vistelseytor utsätts för nederbörd kommer gödselblandningen att avrinna som ytvatten eller tränga ner i marken och kontaminera denna. Vid utsläpp i vattendrag kan dessa växtnäringsämnen komma att rubriceras som diffusa utsläpp och bidra till övergödningssituationen i vattendrag, sjöar och hav.

Under vinterhalvårets utfodringsperiod kommer utomhusdjurens vistelseytor att helt betingas av var och hur fodertilldelningen sker. Har djuren vindskydd, vatten- och utfodringsplatser kommer deras vistelse i huvudsak att vara i dess närhet, dvs de gödselbelastade ytorna kommer att uppträda i och kring vindskydd, vatten och foderplats samt på transportytorna däremellan.

Målsättning med denna undersökning har varit att utveckla enkla och kostnadseffektiva markkonstruktioner för utomhus vistelseytor för nötkreatur, som klarar funktionella krav och minskar miljöbelastningen. Mer specifikt var syftet att ta reda på hur geotextil/grusskikten behöver utformas i en konstruktion för att uppnå täthet mot undergrund, stabilitet och god dränering samt minskad uppkomst av ytvatten.

Studien finansierades av Stiftelsen Lantbruksforskning tillsammans med Alnarps Partnerskap, LRF - Skåne samt Svensk Sigill och har sammanställt av Hans von Wachenfelt vid LBT. Ett speciellt tack riktas till Gert-Ingvar Nilsson, Karlshills gård, Hurva för tillgång till dikogödsel, samt till Anders Prahl, Magnus Nilsson, and Ingvar Jonsson för byggande och hjälp med genomförandet av försöken och till Jan-Eric Englund för hjälp med statistisk bearbetning av materialet.

Alnarp i maj 2010
Gösta Gustafsson
Statsagronom

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

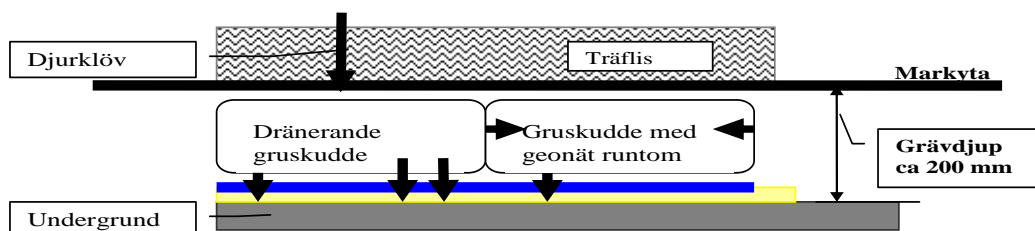
FÖRORD	3	
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	5	
SAMMANFATTNING	7	
FÖRKLARINGAR	9	
1	INTRODUKTION	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Nollutsläpp från lantbruk	11
1.3	Utomhusytor konstruerade av geotextil	12
2	MATERIAL OCH METODER	14
2.1	Försöksuppställning	14
2.2	Försöksytans konstruktion	14
2.3	Gödsel till provytorna	15
2.4	Provtagning av yt, drän- och läckvätska	16
2.5	Statistisk analys	16
3	RESULTAT	18
3.1	Vätskeflöde	18
3.2	Ytvatten	19
3.3	Dräneringsvätska	20
3.4	Läckvätska	21
4	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	23
4.1	Vätskeflöde	23
4.2	Ytvatten	23
4.3	Dräneringsvätska	24
4.4	Läckvätska	24
4.5	Massbalans	25
4.6	Ekonomi	26
4.7	Slutsatser	26
6	LITTERATUR	27

SAMMANFATTNING

Syfte med studien

Syftet med studien var att utveckla enkla och kostnadseffektiva markkonstruktioner för utomhus vistelsytor för nötkreatur, som klarar funktionella krav och minskar miljöbelastningen. Utomhusytor av geotextil/grus har grunt grundläggningsdjup och lastfördelningen sker via geotextilen till undergrunden. Konstruktionen är effektiv både genom mindre materialåtgång och att mindre grävarbete behöver utföras, vilket reducerar kostaden till ca 1/3 av vad en betongyta kostar.

Mer specifikt var syftet att ta reda på hur geotextilskikten behöver utformas i en konstruktion för att uppnå täthet mot undergrund, stabilitet och god dränering samt filtrering och minskad ytvattenuppkomst.



Sektion över hur lastöverföring och dränering sker via geotextil/grus-kudden till underlaget.

Metod

Olika kombinationer av geotextiler tillsammans med en 250 mm tjock grusbädd belastades med 15 kg dikogödsel och 50 mm nederbörd under 30 minuter. Ytvatten, dränerings- (via vävd geotextil) och läckvätskeflöden (läckage genom geotextiler till underliggande mark) samt vätskekoncentrationer mättes då gödsel fick ackumuleras på provytorna respektive att provytorna rengjordes mellan mätningarna.

Samtliga provytor B1, B2, B3 hade en vävd geotextil (Propex 6083) för stabilitet och dränering. Provytan B1 hade dessutom en ickevävd geotextil (Protexia FC 021) under dräneringsduken. Hos B2 var den icke-vävida geotextilen (Propex Drain, 65g) placerad strax ovanför dräneringsduken. Provyta B3 var endast försedd med vävd geotextil (Propex 6083) och B4 hade ingen geotextil alls och fungerade som kontrolllyta.

Ovanför dukarna fanns 150 mm grus (16-32 mm) och 50 mm grus (8-16 mm). Någon materialavskiljande geotextil placerades inte mellan gruslager och ett övre slitlager för att jämförelsen skulle bli tydligare i försöket.

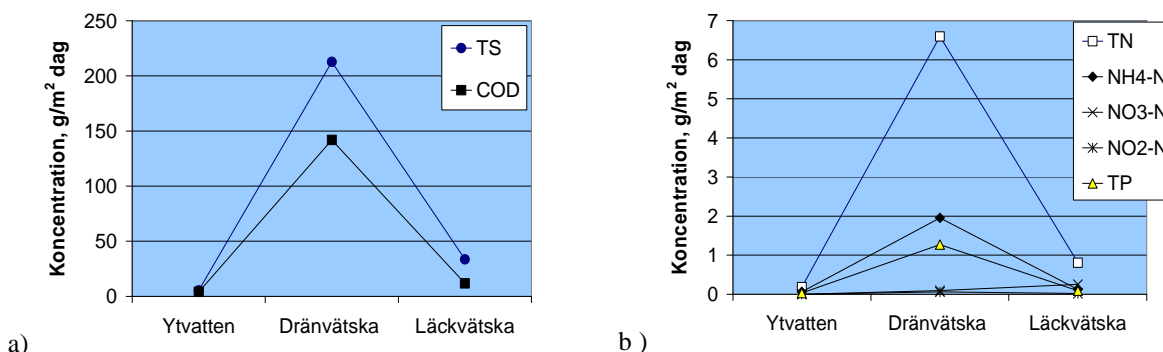
Resultat

Ytvatten, dränerings- och läckvätskeflöden samt vätskekoncentrationer mättes från fyra provytor med olika kombinationer av geotextil, då gödsel fick ackumuleras på provytorna respektive att de rengjordes mellan mätningarna.

Resultaten från studien var att:

- Ytvattenuppkomst kan reduceras genom ytskiktets utformning
- Dräneringsflödet inte påverkades hos någon av provytorna under försökstiden
- Gödselrengöring reducerar näringsnivån i dräneringsvätskan hos samtliga provytor
- Täthet mot underliggande mark erhöles med provytan B1

- Dräneringsvätskans TS-halt reduceras mest av ickevävd geotextil hos ytan B2
- Dräneringsvätskans växtnäringshalter är fullt acceptabla för våtmarksrening
- Även om små föroreningsmängder förloras via vätskorna bör efterbehandling ske.



Figur 2. Medelvärde av vätskekoncentrationen från alla provtytor för a) torrsubstans (TS); kemisk syreförbrukning (COD), b) totalkväve (TN); ammoniumkväve (NH₄-N), nitratkväve (NO₃-N), nitritkväve (NO₂-N) och totalfosfor (TP).

Slutsatser, råd till näringen och behov av vidare studier.

Provningsen av utomhusytorna gav positiva resultat, men inga av provtytorna har provats under faktiska förhållanden i Sverige. Dock överensstämmer koncentrationerna av dräneringsvätska från provtytorna med registrerade dräneringsvätskekoncentrationer för kvigor under ett vinterhalvår i Alnarp. Hur provtytorna svarar på urinbelastning är fortfarande inte undersökt.

Vid anläggning av utomhusytor av geotextil/grus:

- Reduceras ytvattenuppkomst genom grövre ytskikt i lågpunkter
- Uppnås tillräckligt dräneringsflöde med geotextil för att stabilitet ska erhållas
- Med geotextil kan vätskeflödet tidvis bli stort så att en vätskebuffert iform av damm kan fordras.
- Ett ytlager av finare naturgrusmaterial är lämpligare än det som användes i försöket. Ett materialavskiljande skikt av ickevävd geotextil kan läggas mellan slitlager och det grövre grusmaterialet längre ner i konstruktionen. Denna geotextil kommer också fungera som TS-filter och oxidera organiskt kväve.
- Materialjockleken om 200 mm bör inte underskridas för att inte äventyra geotextilernas lastöverföring.
- Täthet mot underliggande mark kan erhållas med geotextil/grus kombination B1: sand, ickevävd geotextil (Protexia FC 021), vävd geotextil (Propex 6083) samt grusmaterial (valda geotextiler kan ersättas av andra med samma kvalitet).
- Reducerad TS-halt i dräneringsvätskans minskar igensättningsproblem i den fortsatta hanteringen av vätskan. Då den filtrerande ytan är stor är risken för igensättning liten.
- Geotextil/grusytor skulle med fördel kunna användas på hårdbelastade utomhusytor för mjölkkor, som drivvägar, ingångar till betesfällor, runt vattenplatser etc.
- Efterbehandling av dräneringsvätska kan utformas som en infiltrationsyta under sommarhalvåret.

FÖRKLARINGAR

Denitrifikation

Biologisk process där nitrat- ($\text{NO}_3\text{-N}$) eller nitritjoner ($\text{NO}_2\text{-N}$) reduceras till kvävgas (N_2).

Totalfosfor, (tot-P)

Den totala fosforhalten anger hur stor mängd fosfor som finns i vattnet. Alla fosforfraktioner inkluderas; organiskt bundet fosfor t ex i plankton, partikulärt fosfor och i vattnet löst fosfat (PO_4). I allmänhet är det fosfor som är begränsande faktor för växtproduktionen i ett sötvatten. Vid en hög algproduktion i en sjö eller nedströms ett avloppsutsläpp kan fosforhalterna vara höga. Bakgrundsnivån för skåneslätterns åar är 25 $\mu\text{g/l}$ (Almestrand, A., 1993).

Totalkväve (tot N)

Totalkvävehalten anger det totala innehållet av kväve och inkluderar alla kvävefraktioner; nitratkväve (NO_3), nitritkväve (NO_2), ammoniumkväve (NH_4) och organiskt bundet kväve (tex. plankton eller ej fullständigt nedbrutna växtrester), med undantag av kvävgas (N_2). Kvävehalten ger liksom fosfor ett mått på näringsnivån i vatten. Normalt är inte kvävet tillväxtbegränsande för växtproduktionen i ett sötvatten, men i riktigt övergödda vatten kan det vara kväve som föreligger i underskott och inte fosfor. I renodlade jordbruksåar kan halterna variera mellan 2 000-15 000 $\mu\text{g/l}$. Bakgrundsnivån för skåneslätterns åar är 1 100 $\mu\text{g/l}$ (Almestrand, A., 1993).

Nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Viktig närsaltkomponent som är direkt upptagbar för växtplankton och växter. Organiskt bundet kväve bryts ned via ammonium (NH_4) och nitrit (NO_2) till nitrat (NO_3) vid tillgång på syrgas i vattnet. Denna process kallas nitrifikation. Under normala förhållanden (dvs under god syretillgång) dominerar nitrathalten över ammoniumhalten. Nitrat är lättrörligt i marken och tillförs bland annat vattendrag och sjöar genom så kallat markläckage. Halterna av nitrat ligger på över 1 000 $\mu\text{g/l}$ i jordbruksbygder (Almestrand, A., 1993).

Ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$)

Ammonium är en nedbrytningsprodukt av organiskt kväve och förekommer normalt i små mängder, eftersom det omvandlas till nitrit och nitrat (nitrifikation) vid närvaro av syre. Vid syrgasbrist kan ammoniumhalten bli förhöjda dels genom en utebliven nitrifikation och dels genom en utlösning av ammonium ur bottensedimenten. I halter över 1 500 $\mu\text{g/l}$ är ammonium skadligt (giftig) för fisk (Almestrand, A., 1993).

Kemisk syreförbrukning, COD

Parametern visar hur mycket syremängden i vattenprovet minskar på grund av halten kemiskt syreupptagande material som finns i provet. Syretillståndet kan variera mycket kraftigt under dygnet och året, främst beroende på produktionsförhållandena och på den oorganiska och organiska belastningen inklusive naturlig humus från avrinningsområdet. COD beräknas ur permanganattal genom division med 3.95. En vanlig källa för COD (oorganiskt material) är olika typer av avloppsvatten (SNV, 1990).

Ts-halt eller ts-innehåll, TS

Parameter som anger torrsubstansinnehållet i gödsel och ytvatten. Högt ts-innehåll betyder att vätskan kan bli trögflytande. Normal flytgödsel har ett ts-innehåll om 5-6 %.

1 INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

Djur har behov av motion utomhus under vinterhalvåret (Gustafson, 1993; Regula et al., 2004). För att upprätthålla god kondition, bör nötkreatur gå åtminstone 3-4 km/dag (Phillips, 2002). Utomhus vistelseytor i stallbyggnaders närhet blir ofta upptrampade pga för hög djurbelastning. Djurens transportförmåga på upptrampade gångytor minskar och kan orsaka undernäring och skapar svårigheter för foder- och djurtransporter (Riskowski & DeShazer, 1976; Degen & Young, 1993; von Wachenfelt, 1998; Gunnarsson et al., 2003). Den största orsaken är dålig bärighet hos gång- och transportytan pga hög vattenhalt i markmaterialen tillsammans med hög djurbelastning.

Förbättringar har utförts av utomhusytans konstruktion för att möjliggöra användning under alla väderleksförhållanden, exempelvis dränerande gruskuddar, användning av betong och asfalt som fasta och täta utomhusytor. De senare konstruktionerna är dyra och både betong och asfalt kräver regelbunden rengöring och de förorsakar större mängd ytvatten jämfört med genomsläppliga utomhusytor (White, 1973).

1.2 Nollutsläpp från lantbruk

Forskningsresultat visar att den grundläggande drivkraften bakom ökningen av mängden näringsämnen i det agrara landskapet är fosfor som rinner ut i vattendragen som gödselmedel eller djurfoder (Reed-Andersen et al., 2000). Söndergaard et al., (2005) visade att intern fosforbelastning kan fördröja sjöars återhämtning i många år efter att fosforflödet minskat/upphört.

Gödsel- och urinfläckar på våt jord under betessäsongen (Chardon et al., 2007) kan vara en källa för yt- och grundvattenförorening, speciellt på sandiga jordar. Resultat från en simulerad jord-kvävemodell visar att den största föroreningen orsakades av läckande kväve från urin och läckande nitrat, båda orsakade av att kor samlas på små ytor och att tillförsel sker vid tillfälle då växtligheten har låg upptagning av kväve (McGechan & Topp, 2004), vilket visats i ett flertal undersökningar (Jarvis et al., 1987; Fraser et al., 1994; Williams & Haines, 1994; Cuttle, 2001; Eriksen & Kristensen, 2001; von Wachenfelt, 2002; Decau et al., 2003).

Markpackning som uppstår vid hög djurdensitet i de övre jordlagren kan utplåna grässvålen, vilket försämrar nederbördsinfiltration och jordens luftningskapacitet, samt ökar uppkomsten av ytvatten från dessa vistelseytor (Chichester et al., 1979; Warren et al., 1986; Koopmans et al., 2007). Hanrahana et al. (2009) visade att minskat fosforinnehåll i fodret och ökad tid mellan tillförsel av animalisk gödsel och nederbördstillfälle reducerar koncentrationen av totalfosfor in ytvattnet.

Luftning av betesvallar (tubulator) kan förbättra infiltration av nederbörd och näringsämnen lokalt och reducera ytvattenuppkomst med 45% (Moore et al., 2004).

Genom utspridning av gödselkokor efter betesperioden kan deras negativa påverkan minskas på miljön (Chardon et al., 2007).

1.3 Utomhusytor konstruerade av geotextil

En mer kostnadseffektivt sätt att tillverka all-väders utomhusytor för nötkreatur är att använda en konstruktion sammansatt av geotextil och grus vilket medger reducerat grundläggningsdjup hos konstruktionen (KY-NRCS, 1998). Dessa geotextil-grus konstruktioner har använt av lantbrukare i USA som allväders utomhusyta för nötkreatur sedan 1990-talet, för att minska problem med gjyttja, ytvatten och erosion på hårt belastade utomhusytor (Ruhl et al., 1997). Geotextil har ofta använts för att hålla isär olika lager av grusfraktioner och separera gruslager från jordlager inom lantbruket. Geotextilfiber förbättrar dessutom den lastbärande kapaciteten (fördelar lasten över större yta), stabiliserar, förbättrar dräneringsförmåga och infiltration på platsen.

På grund av geotextilens speciella dränerings- and infiltrationskvaliteer kan det finnas risk för kontamination inom områden med tillförsel av nötkreaturgödsel, speciellt om underliggande jordlager har en genomsläpplig struktur. Konsekvenserna av detta kan bli upplagring av näringsämnen i vissa markskikt och att snabbbrörliga näringsämnen transporteras till närliggande vattendrag.

Cantrell et al. (2007) studerade geotextilfibers filtrerande egenskaper av mjölkkgödsel (TS = 0.71%) för att bestämma filtreringskapaciteten. De fann att geotextilfiltreringen reducerade den totala inströmmade volymen med mindre än 1%, koncentrerade de fasta partiklarna och näringsämnena i det avvattnade materialet 16 till 21 gånger, och höll kvar 38.4% of torrsubstansen (TS), 25.8% of ammoniumkvävet, and 45.0% of totalfosfor, vilket gjorde detta till en effektiv separationsteknik av vätska och fasta partiklar.

I en studie av yt- och dräneringsvätskekoncentration från utomhus vistelseytor för nötkreatur under vintertid minskade dräneringsvätskekoncentrationen av BOD, COD, totalkväve och totalfosfor med 60-80% genom en 0.8 m djup sandig jordprofil med en geotextilduk placerad 300 mm under markytan (von Wachenfelt, 1998).

Ett flertal studier har utförts för att se om olika gödseltyper i kombination med ett organiskt materialskikt (halm) kan minska förluster genom läckage (Barrington, et al., 1995) utan att använda tätskikt, betong eller asfalt. I studier md nötkreaturgödsel (med ts om 1,0-7,5 %) har det visat sig att vissa geotextiltyper sätter igen vid direkt kontakt med gödsel (Barrington et al., 1998), vilket kan betyda att geotextil kan övergå till att bli ett tätskikt eller barriär mot grundvattenföroreningar. Gränsvärdet för kväveläckage genom tätskikt i mark anges av ett flertal amerikanska miljömyndigheter till 0,6 g N/m²,dygn.

I tidigare forskning kring geotextil/grus har Bicudo et al. (2003) studerat hur infiltrationsgraden hos olika geotextil/gruskombinationer (150-200 mm tjocklek) påverkades då de användes som hårdbelastade utomhusytor för nötkreatur. Både TS- och COD-värdena i läckvätskan reducerades med ca 90 % . Däremot ökade både TS- och COD-mängderna med nederbörd och gödselbelastning.

Singh et al. (2008) undersökte 200 mm tjocka ”gruskuddar”, omslutna och armerade med olika typer av geotextilväv avsedda för hårdbelastade transportytor för nöt. Syftet

var att minimera föroreningar i yt- och dräneringsvatten. Gruskuddarna hade en signifikant effekt på TS-innehåll, COD, nitratkväve, totalkväve och totalfosfor i ytvattnet. Gödselrengöring hade ingen signifikant effekt på ytvattenkoncentrationen. Trots att små mängder näringsämnen förlorades via ytvatten och läckage, var föroreningskoncentrationen både i ytvatten och i läckvätska hög, med totalfosforvärden om 80 mg i ytvattnet och 40 mg nitrat i läckvätskan.

Vävda geotextiler tycks vara mer effektiva i att kvarhålla torrsubstans och organiskt material än icke-vävda geotextiler. Detta beror förmodligen på dess låga genomsläpplighet och infiltrationshastighet jämfört med ickevävda material. Enligt Singh et al. (2008) visar resultaten att vävd geotextil/grus kombinationer kan vara det bästa valet för att minska risken för grundvattenförorening via läckvätska till underliggande mark.

Av ovanstående litteraturgenomgång framgår att stora delar av de miljöpåverkande innehåll av BOD, COD och TS kan reduceras vid passage genom geotextil/gruskudden, vilket i sin tur underlättar ett senare omhändertagande av vätskorna i våtmarker (von Wachenfelt, 2003). Även organiskt kväve kan reduceras till mineralkväve.

Underliggande jordmaterial skulle kunna bli mindre förorenat om en kombination av geotextil används, där övre skiktet ökar dräneringskapaciteten, medan geotextilen i det undre skiktet skulle ha tätande egenskaper mot underliggande jord och därmed förhindra näringsläckage, upplagring av näringsämnen i vissa markskikt och grundvatten-förorening.

I undersökningen som genomfördes av Singh et al. (2008) var det huvudsakliga målet att ta reda på hur ytvattenförekomst och läckvätska påverkades av olika geotextil/grus kombinationer under olika gödselbelastning och nederbörd på försöksytorna.

SYFTE OCH MOTIVERING

Projektets syfte var att:

- undersöka om geotextilväv och grus gav acceptabel täthet mot underliggande mark på hårdbelastade vistelseytor och rastfällor,
- prova vilka kombinationer av geotextilväv och grus som gav bäst dräneringseffekt, dvs minsta mängd förorenat ytvatten då ytorna utsattes för måttligt till häftigt regn
- undersöka vilken vätske kvalitet som kunde förväntas från yt- och dräneringsvatten från en geotextil/grusprofil vid olika gödsel- och nederbördsbelastning
- undersöka om regelbunden gödselrengöring påverkade yt- och dräneringsvattenkvaliten.

Målet med studien var att ta reda på vilken geotextil/gruskudde som ger minst förorenat ytvatten och dräneringsvatten då ytorna utsätts för normal nederbörd samt vätskornas föroreningsgrad.

- Hypotesen var att en 150 mm geotextil/gruskudde ger tillräcklig infiltrering av ytvatten, dränering samt täthet mot undergrund så att geotextil/grus kan ersätta ett tätskikt, se B3 nedan.

2 MATERIAL OCH METODER

2.1 Försöksuppställning

Två fältförsök genomfördes på fyra olika försöksytor av geotextil/gruskombinationer i en split-plot design. Behandlingarna var som följer:

- B1. Geomembran, 50 mm sand, icke-vävd (Protexia FC 021) och vävd geotextil (Propex 6083), 150 mm grus (16-32 mm) and 50 mm grus (8-16mm)
- B2. Geomembran, 50 mm sand, vävd geotextil (Propex 6083) och icke-vävd (Propex Drain 68g), 150 mm grus (16-32 mm) och 50 mm grus (8-16mm)
- B3. Geomembran, 50 mm sand, vävd geotextil (Propex 6063), 150 mm grus (16-32 mm) och 50 mm grus (8-16mm)
- B4. Kontroll: Geomembran, 150 mm grus (16-32 mm) och 50 mm grus (8-16mm).

Behandlingarna valdes utifrån tidigare experiment utfört av Singh et al. (2008). Behandling B3 baserades på specificationer från Kentucky Natural Resources Conservation Service (KY-NRCS, 1998). En provyta av grus utan geotextiler användes som kontrolllyta.

Gödsel från dikor tillfördes försöksytorna före varje experiment. Tillförseln av gödsel utfördes på två sätt. I det första experimentet (exp1), omfattande 5 delförsök, tillfördes gödsel och direkt efter varje delförsök togs gödseln bort, vilket motsvarade regelbunden rengöring av ytan. I det andra experimentet (exp2), omfattande 5 delförsök, fick gödseln ackumuleras på försöksytan, dvs ingen rengöring.

2.2 Försöksytans konstruktion

Vid experimentens utförande användes åtta försöksytor (två upprepningar) om 2 x 6 m vid SLU, Alnarp. Provytorna hade en jämn lutning om 3% längs huvudaxeln och var helt i våg längs den korsande axeln (figur 1).



Figur 1. Provyta av geotextil/grus med lågpunkt och utlopp för läckvätska längst till vänster. Ovanpå PVC membranen fylldes ett lager upp med grovsand för att samla läckvätska till läckvätskeutloppet. En geotextil separerade grusen i utloppsdiket från sandlagret. Därefter följde geotextiler samt grusmaterial. Färdig provyta till höger.

Provytornas kanter begränsades av råspont vilken hölls på plats med nedslagna stolpar. Lutning och avjämning inuti provytan utfördes genom fyllning och ovanför denna placerades en PVC membran vars lägsta punkt mynnade i ett läckvåtskedike (figur 1). Ett lager grovsand fyllde ut mellanrummet för läckvåtskeuppsamling ovanpå membranet. Sandlagret täcktes med geotextil eller en kombination av geotextil vilka i sin tur täcktes av 150 mm grovgrus (16-32 mm) och 50 mm grus (8-16 mm).

Dräneringsvåtskeutloppet var åtskilt från läckvåtskeutloppet genom en puckel och geotextilmaterialet som täckte sandlagret drogs förbi puckeln så att dräneringsvåtskan skulle mynna i dräneringsvåtskediket. Funktionen hos de bägge våtskeutloppen testades innan provytan fylldes med grus. Både läck- och dräneringsvåtska rann ur och provtogs genom var sitt 50 mm plaströr, vilka var fastsatta och tätade mot råsponten genom skruvbar fläns på vardera sidan. Uppsamlingsytan för dräneringsvåtska var hela provytan (12 m²), medan läckvåtska samlades från 11 m².

En ränna installerades längs nedre kortändan av provytan för provtagning av ytvatten. Yt-, dränerings- och läckvåtska provtogs när de rann ur sina respektive rör och resterande våtskemängder fick rinna ut i ett samlingsdike för att senare rinna iväg genom befintligt dräneringsystem.

2.3 Gödsel till provytorna

Tillförseln av gödsel var 15 kg/provyta och motsvarade en djurtäthet om 6 dikor under 4 timmar per dag (Kemira, 2001). Gödseln hämtades från en gård med dikor med skrapad gång vid foderbordet. Gödseln lagrades i ett kallt utrymme och blandades och provtogs omedelbart innan gödseln tillfördes provytan under experimenten. Utomhustemperaturen var i medeltal 17±4°C och relativa fuktigheten 52 ± 18% under försöksperioden.

Gödselproverna analyserades med avseende på totalkväve (TN), totalt ammoniumkväve (NH₄-N), totalfosfor (TP), kol kväve kvot (C/N), aska and torrsubstans (TS) enligt ISS (2003). Gödselkoncentrationen av ovan nämnda parametrar överensstämde med innehållet hos normal dikogödsel (Kemira, 2001), se tabell 1.

Tabell 1. Nötkreaturgödselns sammansättning (4 prov per gödselprov)

Experiment	Gödsel- prov	TN ¹ kg/ton	NH ₄ -N ² kg/ton	TP ³ kg/ton	C/N ⁴	Aska %	Ts ⁵ %
Gödselrengöring efter varje delförsök	1	5.5	1.8	1.1	19	2.5	16.9
	2	5.6	1.7	1.0	18	2.3	16.0
	3	6.7	1.9	1.0	14	2.4	16.2
	4	5.7	1.8	1.0	16	2.2	15.0
	5	6.0	1.8	1.1	17	2.6	17.0
Gödselackumulering	6	7.1	2.2	1.2	17	2.9	19.8
	7	7.8	2.3	1.2	16	1.9	19.4
	8	4.8	1.7	0.9	16	2.5	12.6
	9	5.7	1.9	1.0	20	2.0	17.4
	10	4.1	1.7	0.7	17	3.1	11.3

¹⁾ TN - totalkväve; ²⁾ NH₄-N - totalt ammoniumkväve; ³⁾ TP - totalfosfor;

⁴⁾ C/N – kol kväve kvot; ⁵⁾ TS - torrsubstanshalt.

2.4 Provtagning av yt, drän- och läckvätska

En regnsimulator, med möjlighet att tillföra 0-70 mm/h på en provyta om 2 x 6 m åt gången, användes för att åstadkomma yt- drän- och läckvätska från provytorna. Regnsimulatoren fungerade som en ogrässpruta med munstycken monterade på en sprutbom vilken vandrade fram och åter över provytan. Munstyckenas vätskemängd provades inför varje körning och provytorna blötlades innan gödseln tillfördes. Den simulerade nederbörden hölls till 50 mm per timme under 30 minuter eller tills ytvatten uppstod.

Blötläggningen avbröts då ett kontinuerligt flöde erhöles i alla rören. Omedelbart efter att blötläggningen avbrutits tillfördes gödsel över hela provytan. Därefter startades regnsimulatoren igen under 30 minuter med 50 mm per timme.

Vätskorna provtogs vid 2, 4, 6, 8, 16, 24, och 32 minuter respektive vid 1, 3, 5, 7, 15, 23, 31 minuter efter att regnsimulatoren stängts av. Vätskorna provtogs direkt från varje vätskeflöde i graderade enliters bägare, en för var mätpunkt. Vätskorna från varje mätpunkt samlades i hinkar för att sedan samplas genom intermitterant sampling till ett prov för var mätpunkt. Vätskeprovtagningen utfördes under 60 sekunder eller tills bägaren var full. Mätning av tidsåtgången för varje provtagning utfördes med stoppur graderade i 100 delar av en minut.

Provtagningen av ytvatten utfördes direkt som flödesbaserat prov då den totala provtagna vätskemängden var av normal storlek. De andra två provtagningspunkterna gav mindre mängd vätska över tiden vilket innebar att vätskemängderna blev flödesbaserade indirekt genom intermitterant provtagning.

Alla prov placerades i frys direkt efter provtagning. Proverna analyserades med avseende på totalkväve (TN), total ammoniumkväve (NH₄-N), nitrat (NO₃-N), nitrit (NO₂-N), totalfosfor (TP), kemisk syreförbrukning (COD) och torrsbstans (TS) enligt ISS (2003).

Volymflödena beräknades genom numerisk integration av yt- drän- och läckvätskeflöde med avseende på tiden. Föroreningsmängderna erhöles genom att multiplicera koncentrationen för var och en föroreningsparameter med respektive volymflöde.

2.5 Statistisk analys

Försöksuppställningen var av split-plot modell utan block för gödselrengöring eller gödselackumulering som huvudfaktor och de fyra provytebehandlingarna som split-plot faktor. En variansanalys PROC MIXED utfördes i SAS Institute Incorp. (2003) för att bestämma effekten av gödselrengöring eller ackumulering och provytebehandlingarnas påverkan på innehållet av TS, COD, växnäringsinnehåll i vätskeproverna samt vätskeflödet.

Data med avseende på gödselrengöring och gödselackumulering kan ha påverkas negativt av hanteringstiden mellan gödsellagret och då gödseln tillfördes provytorna, men tidslängden mellan vägning, provtagning och gödseltillförel var mycket kort. En signifikansnivå om 5% användes genomgående i analysen och Tukey's metod användes för att skilja behandlingarnas minsta kvadratmetodmedelvärden åt. Resultaten presenteras som medelvärden och standardavvikelse (SD). Den statistiska modellen var

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_{k(i)} + e_{ijkl}$$

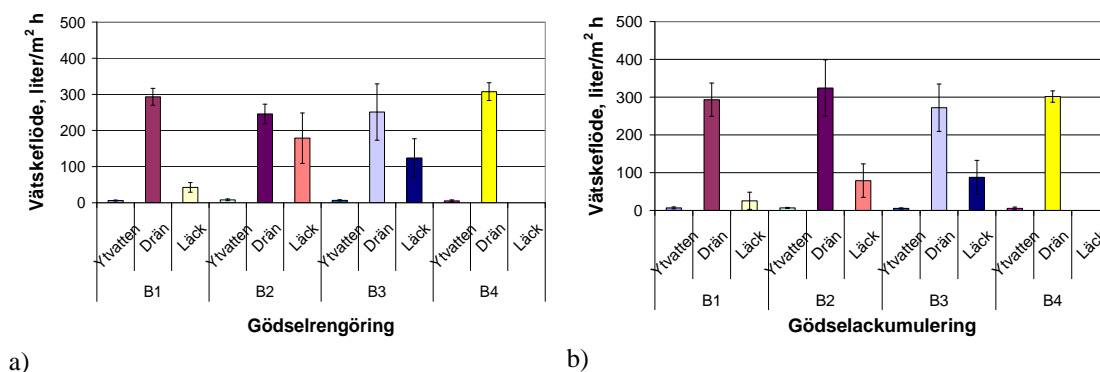
μ = behandlingsmedelvärde, α_i = gödselrengöring eller ackumulering, β_j = provytans geotextilbehandling, $\gamma_{k(i)}$ = slumpoeffekt av upprepning, e_{ijk} = fel term

i = gödseltillförsel (1, 2); j = provytans geotextil konstruktion (1, 2, 3, 4); k = antal provtillfällen för varje provyta (1, 2, 3, 4, 5); l = antal upprepningar av varje provtytety (1, 2).

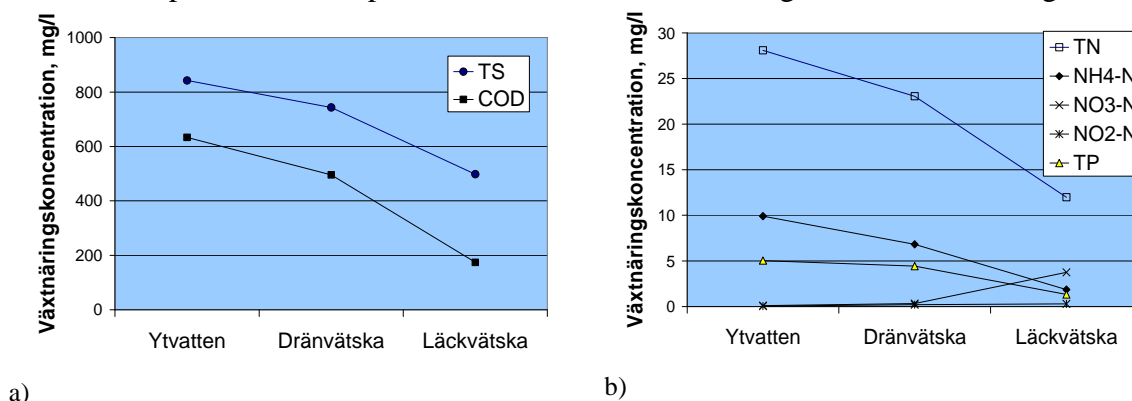
3 RESULTAT

3.1 Vätskeflöde

Vätskeflödet genom geotextil/grus ytorna framgår av figur 3 för var och en av experimenten. Ytvattenflödet var lågt på grund av det relativt grova ytmaterialet på provytorna, vilket höll ytvattenflödet på samma nivå i båda experimenten. Dränerings- och läckvätskeflödet låg mellan 189 till 317 liter/m² h respektive 34 till 237 liter/m² h i exp1, medan motsvarande flöden var 219 till 382 liter/m² h respektive 5 to 126 liter/m² h i exp2. Dräneringsflödets medelvärde var det samma under de två experimenten medan läckflödet minskade i medeltal med 44 %.



Figur 3. Medelvätskeflöde och standardavvikelse hos olika provytor med a) gödselrengöring (n = 5 x 2), b) gödselackumulering (n = 5 x 2). Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD. För B4 utfördes inga läckvätskemätningar.



Figur 4. Medelvärden av koncentrationen hos vätskorna från alla provytor analyserade från ytvatten (n = 80), dräneringsvätska (n = 80) och läckvätska (n = 60) för a) TS, COD, b) TN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N och TP.

För behandling B2 minskade läckvätskeflödet från 178 to 79 l liter/m² h mellan de två experimenten, och inom exp1 hade behandling B1 signifikant lägre läckflöde (42 liter/m² h) än B2 och B3. I exp2 var läckflödet signifikant olika hos de olika behandlingarna 26, 79, and 88 liter/m² h för B1, B2 and B3 respektive.

Referensytan behöll samma flöde under bägge experimenten med en relativt låg standardavvikelse. Standardavvikelsen var lägre för läckflödet hos provytorna med rengöring än under gödselackumulering, medan standardavvikelsen för övriga vätskeflöden var av samma storleksordning under båda experimenten. Det fanns individuella skillnader mellan upprepningarna vilka visade att läckvätskan från B1a nästan upphörde i slutet av experimenten.

3.2 Ytvatten

Effekten av provytebehandlingarna, gödselrengöring och gödselackumulering visas i tabell 2 och i figur 4. Ingen skillnad mellan nitrat- och nitritnivåerna erhöles i ytvattnet under försöket. Medelvärdena för nitrat och nitrit var 0.09 respektive 0.05 mg/l för ytvattnet.

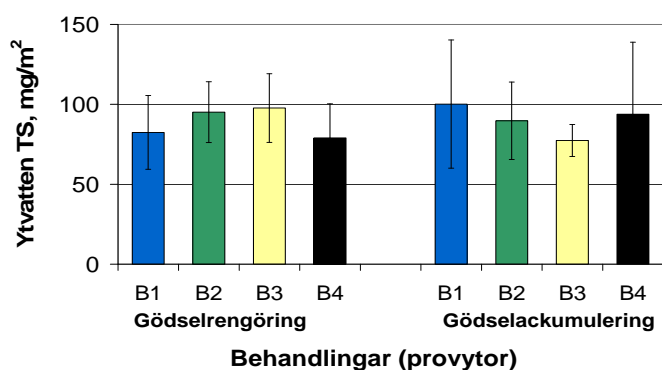
Tabell 2. Signifikansnivåerna (p-värde) för de viktigaste effekterna av behandlingarna (olika provytekonstruktion) och olika gödseltillförsel (gödselrengöring eller gödselackumulering) på TN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, TP, COD och TS innehållet i ytvatten-, dränerings- och läckvätskeprover

Provtyp	Parametrar	Effekt*		
		Gödseltillförsel	Behandling	Gödsel * Behandling
Ytvatten	Total N	0.516	0.197	0.209
	NH ₄ -N	0.728	0.209	0.722
	NO ₃ -N	0.347	0.399	0.399
	NO ₂ -N	0.070	0.105	0.770
	Total P	0.214	0.144	0.078
	COD	0.686	0.241	0.223
	TS	0.324	0.048	0.036
Dräneringsvätska	Total N	0.017	0.015**	0.744
	NH ₄ -N	0.077	0.078	0.858
	NO ₃ -N	0.112	0.170	0.216
	NO ₂ -N	0.308	0.024	0.605
	Total P	0.001	0.057	0.110
	COD	0.001	0.163	0.966
	TS	0.0001	0.017	0.073
Läckvätska	Total N	0.0001	0.596	0.825
	NH ₄ -N	0.458	0.395	0.435
	NO ₃ -N	0.0001	0.017	0.787
	NO ₂ -N	0.006	0.454	0.040
	Total P	0.032	0.058	0.688
	COD	0.129	0.020	0.779
	TS	0.0001	0.387	0.680

* Fetmarkerade värden har en signifikansnivå av 5%.

** Med Tukeys test, erhöles inga parvisa skillnader.

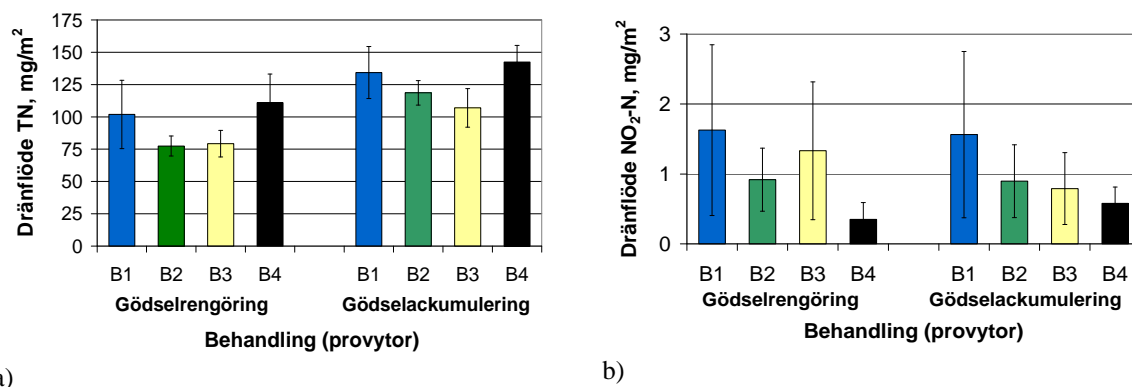
För TS i ytvatten fanns det en behandlings- och en samspelseffekt mellan behandling och gödseltillförseln i exp1 och 2 där provytan B2 hade lägre TS värde 760 mg/l (89,7 mg/m²) jämfört med provytan B4 (1060 mg/l; 93,8 mg/m²) under exp2, vilket visas i figur 5.



Figur 5. Ytvattenrespons på gödsel (med och utan ackumulering) och olika behandlingar (provytor) för torrsustanshalten, TS. Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD.

3.3 Dräneringsvätska

En experimentell skillnad mellan gödselrengöring och gödselackumulering återfanns för dräneringsvätskans TN värden, med minskande TN-värden om ca 19 mg/l och ett växtnäringsinnehåll om 92 mg/m² i exp1 vilket var 31% lägre än i exp2, se figur 6a.

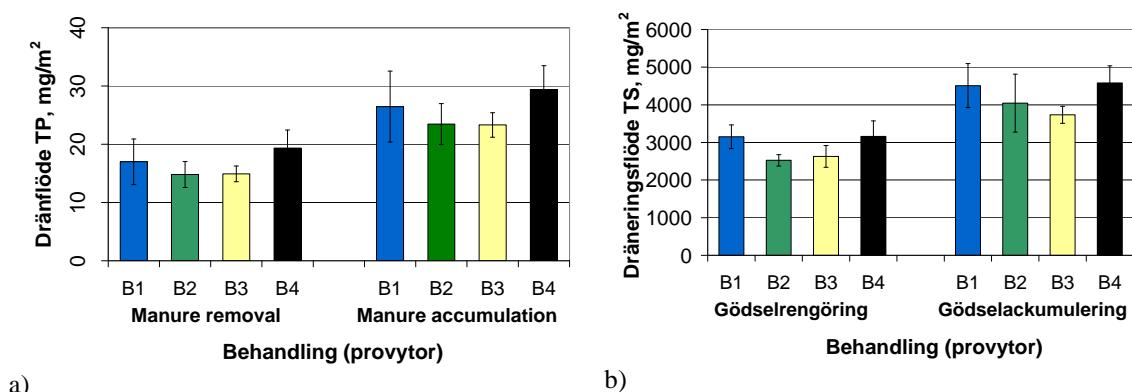


Figur 6. Dräneringsvätskerespons på gödsel (med och utan ackumulering) och olika behandlingar (provytor). a) totalkväve, TN, b) nitritkväve, NO₂-N. Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD.

En behandlingseffekt hittades för NO₂-N (figur 6b), vars högsta värde kom från provytan B1 under bägge experimenten 0.32 mg/l, 1.63 mg/m² i exp1 och 1.56 mg/m² i exp2 jämfört med B4 som hade det lägsta värdet 0.07 mg/l (0.35 mg/m²) i exp1 och 0.12 mg/l (0.58 mg/m²) i exp2. NO₂-N värdet för provytorna B2 och B3 låg mitt emellan och var inte signifikant. Medelvärdena för nitrat och nitrithalten var 0.6-1.5 respektive ca 1.0 mg/m² provyta för dräneringsvätskan.

Hos både TP, COD and TS fanns en experimentell skillnad mellan gödselrengöring och gödselackumulering, med respektive reduktion i vätskekoncentration om 53, 47 and 45%, se figur 7. COD minskade från 595 mg/l (2813 mg/m²) till 414 mg/l (1904 mg/m²) med gödselrengöring. Provytan B2 behandlingseffekt på TS koncentrationen för

dräneringsvätskan var signifikant lägre i exp2, 694 mg/l (4043 mg/m²) jämfört med övriga provtytor.

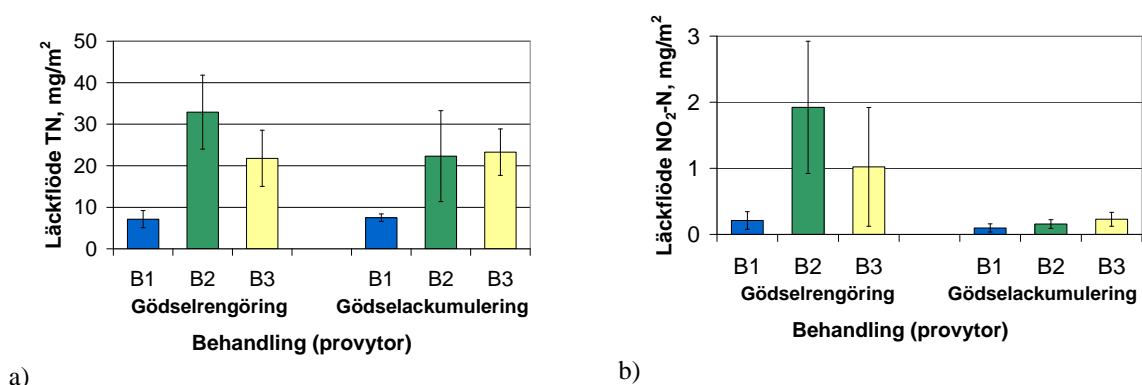


Figur 7. Dräneringsvätskerespons på gödsel (med och utan ackumulering) och olika behandlingar (provytor). a) totalfosfor, TP, b) torrsubstanshalt, TS. Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD.

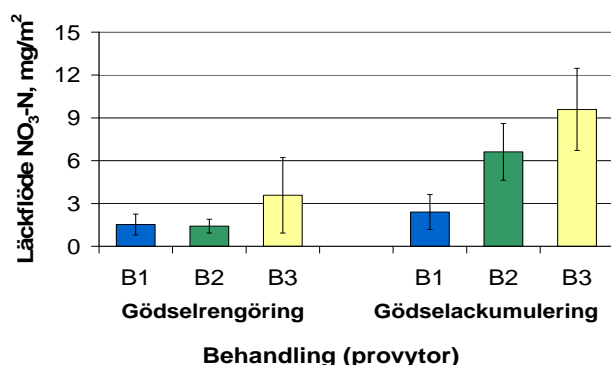
3.4 Läckvätska

Vid bestämning av läckvätska genomfördes inga mätningar för provytan B4, då denna provytan endast tjänade som referens för yt- och dräneringsvätskekoncentrationer och inte hade någon geotextil. Vid jämförelse av dränerings- och läckvätska, minskade alla läckvätskekoncentrationer förutom NO₃-N och NO₂-N vilka ökade över tiden. Som följd av gödselrengöring minskade vätskekoncentrationen hos alla parametrar utom för NO₂-N, men uttryckt som växtnäringsinnehåll per m² provyta hade samtliga parametrar utom NO₃-N en fallande tendens på grund av minskat läckvätskeflöde.

En experimentell skillnad hittades hos läckvätskekoncentrationen för TN, NO₃-N and NO₂-N, där de första två minskade med 34 respektive 70%, medan NO₂-N ökade 60% vid jämförelse mellan gödselrengöring och gödselackumulering.



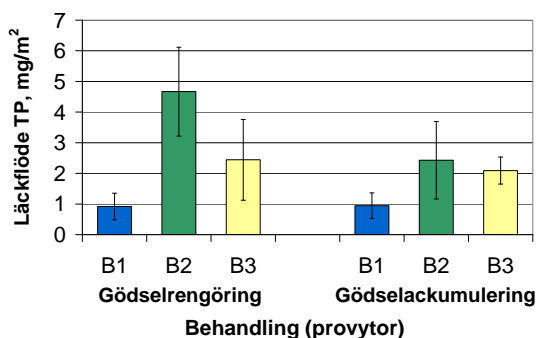
Figur 8. Läckvätskerespons på gödsel (med och utan ackumulering) och olika behandlingar (provytor). a) totalkväve, TN, b) nitratkväve, NO₂-N. Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD.



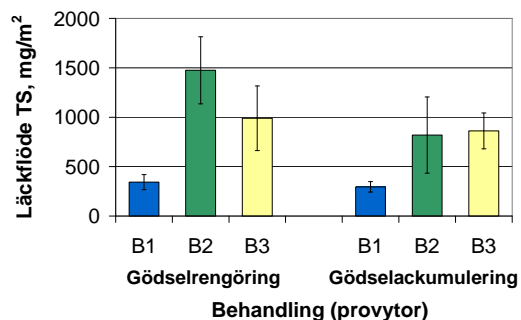
Figur 9. Läckvätskerespons på gödsel (med och utan ackumulering) och olika behandlingar (provytor) för nitratkväve, NO₃-N. Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD.

Växtnäringsinnehållet av TN och NO₂-N per m² provyta minskade hos läckvätskan med 17 respektive 552% vid gödselackumulering (figur 8), medan NO₃-N ökade med 185 % (figur 9). Högre NO₃-N koncentration erhöles som behandlingseffekt hos provytan B1 jämfört med B2, men ingen signifikant effekt erhöles hos B3. En experimentell skillnad hittades för NO₂-N, där provytorna B2 och B3 koncentrationer var lägre vid gödselackumulering 0.11 respektive 0.12 mg/l än vid gödselrengöring, 0.57 respektive 0.38 mg/l. Medelvärdena för nitrat och nitrithalterna var 2.2-6.2 respektive ca 1.1-0.2 mg/m² provyta för läckvätskan.

Även hos TP och TS fanns en experimentell skillnad med en ökning av medelkoncentrationen med 23%, från 1.1 till 1.5 mg/l respektive 435 till 561 mg/l för bägge parametrarna mellan gödselrengöring och gödselackumulering (figur 10). Men den totala växtnäringsinnehållet av TP och TS per m² provyta minskade med 47 respektive 42% på grund av mindre läckvätskemängd i exp2.



a)



b)

Figur 10. Läckvätskerespons på gödsel (med och utan ackumulering) och olika behandlingar (provytor). a) totalfosfor, TP, b) torrsbstanshalt, TS. Medelvärde av 10 prov med felstaplar som SD.

För provytorna B1 och B3 hittades en behandlingseffekt för COD koncentrationen, vilket medförde en reduktion om 29% jämfört med provytan B2. För B2 och B3 innebar detta att COD respektive TS innehållet per m² provyta var 79 och 63% respektive 34 och 5% mindre jämfört med medelvärdet av COD och TS-innehållet i respektive exp1 och 2.

4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

4.1 Vätskeflöde

Metoden att använda grovt grus som ytskikt hos provytorna reducerade ytvattenflödet och ökade vätskeflödet genom konstruktionens tvärsnitt med 1000 gånger mer per m² än i studien av Singh et al. (2008). Hos dräneringsflödet märktes ingen förändring i flödeskapacitet under studien, vilket också överensstämde med Singh et al. (2008), men med geotextil kan vätskeflödet tidvis bli så stort att en vätskebuffert iform av damm kan fordras.

Läckvätskeflödet minskade hos individuella provytor och den kontinuerliga minskningen av läckvätskeflöde och koncentration av läckvätskeföreningar kan ha varit en effekt av biologisk tätning av geotextilen visad av Barrington et al. (1998). Medelläckflödet från provytorna (1.1 g/m² dag i bägge experimenten) översteg den norm om 0.6 g N/m² dag som de flesta nordamerikanska miljömyndigheter kräver. För provytan B1 var läckvätskemängden lika med eller lägre än normen, 0.6 and 0.5 g N/m² dag i exp1 respektive exp2. Ett fallande läckvätskeflöde återfanns också hos de övriga provytorna, vilket kan betyda att den tätande effekten skulle ha uppträtt i alla provytorna om experimentet fortgått över en längre tid.

Gödseln som användes i studien hade något lägre koncentration hos alla parametrar men speciellt TP och COD koncentrationen var lägre jämfört med Singh et al. (2008). Tyvärr utfördes ingen COD-analys för gödseln. De högsta COD-värdet från ytvattenprover var 81% lägre i koncentration jämfört med Singh et al. (2008), och gödselns växtnäringssinnehåll motsvarade innehållet hos normal dikogödsel (Kemira, 2001).

4.2 Ytvatten

Nästan alla respons i form av behandlings- och experimentell effekt för ytvattenparametrarna var generellt låg jämfört med dränerings- och läckvätska, men också jämfört med undersökningen av Singh et al. (2008). Den mest troliga förklaringen till att så låga mängder ytvatten uppstod i den nuvarande studien var den omedelbara infiltrationen av vätska i provyteprofilen. Ytvattnet klarade de svenska kraven på mindre än 50 respektive 0.5 mg/l av nitrat och nitrit i dricksvatten. Totalfosfornivån var 5 mg/l (0.5 mg/m²) jämfört med ca 2.0 mg/m² för Singh et al. (2008). Singh et al. (2008) totalfosforvärde betraktades som högre än normalt jämfört med ASAE Standards, (2005).

I den nuvarande studien fick provytan B2 28% lägre TS halt jämfört med kontrollytan B4 vid gödselackumulering. Singh et al. (2008) fann motsvarande effekt då de jämförde en geotextil/grusprovyta med finkornigt ytmaterial med en provyta av jordmaterial vid gödselrengöring en gång i veckan. Vid jämförelse var TS-nivån i den nuvarande studien lägre än de lägsta TS-värdena av Singh et al. (2008).

4.3 Dräneringsvätska

En generell minskning i dräneringsvätskans växtnäringskoncentration erhöles hos alla provytor då vätskan passerade geotextil/gruslagret eller endast gruslagret. För TN, TP, COD och TS medförde gödselrengöringen mindre växtnäringskoncentration i dräneringsvätskan. De olika behandlingseffekter från provytorna visade att provytan B1 hade bättre oxiderande effekt vilket medförde högst $\text{NO}_2\text{-N}$ värde, medan B2 var den bästa provytan i att fånga upp TS vid gödselackumulering. Dräneringsvätskans nitrithalt var dubbelt så hög som normen för godtagbart dricksvatten om 0.5 mg/l.

Gödselrengöring fick samma effekt för TS koncentrationen i samtliga behandlingar. Vid gödselackumulering kan förmodligen resultaten från provytan B2 förklaras av den filtrerande funktionen hos den ickevävda geotextilen som var placerad ovanför den dränerande geotextilen. En bortfiltrering av TS över en större yta skulle vara förtjänstfull, då detta skulle medföra mindre igensättningsproblem i en efterföljande konstruerad våtmark (von Wachenfelt, 2003).

Minskningen i $\text{NH}_4\text{-N}$ och den begränsade ökningen i $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ nivå som registrerades i dräneringsvätskan var positiv, men gödseln i detta experiment innehöll ingen urin, vilket förmodligen skulle ha ökat växtnäringsnivån. Inuti geotextil/grus ytan inträffade en oxidation av organiskt material, synlig i ökningen av $\text{NO}_3\text{-N}$ och $\text{NO}_2\text{-N}$, men oxidationsprocessen skulle förmodligen varit mer uttalad om försöket fått fortgå under en längre tid, med periodvis torra och våta perioder (von Wachenfelt, 1998).

Med den mätteknik som tillämpades i försöket med förvattning och direkt applicering av regnvatten efter gödseltillförseln skulle ammoniakavgången kunna försummas, men i verkliga fallet skulle det kunna finnas en potentiell ammoniakavgång vilken inte mättes i detta försök, speciellt för fallet gödselackumulering.

Det övergripande resultatet för dräneringsvätskan var att gödselrengöring påverkade de flesta av parametrarna. För det andra att dräneringsvätskan motsvarade de värden som uppmätts från en utomhusanläggning för nötkreatur vintertid (von Wachenfelt, 1998). Ett inflöde av dräneringsvätska med dessa koncentrationer skulle motsvara kraven för rening i en konstruerad våtmark (von Wachenfelt, 2003). En förväntad effekt av utomhusytans konstruktion är att mängden ytvatten som uppkommer borde bli mindre än en tredjedel av nederbördsmängden på utomhusytan (White, 1973; von Wachenfelt, 2002).

4.4 Läckvätska

Växtnäringskoncentrationens minskning i läckvätskan inträffade hos alla provytorna och var till och med högre än hos dräneringsvätskan. Gödselrengöringen hade stor del i detta och omfattande alla parametrar utom två, därtill uppträdde en behandlingseffekt hos två parameterar. För läckvätskan spelade flödesmängden stor roll, vilket nämnts tidigare. Läckvätskans uppsamlingskonstruktion (figur 1) med en geotextil som sparerade sanden från gruslagret hade med stor sannolikhet en reducerande effekt på växtnäringskoncentrationen, men vid jämförelse mellan provytorna kan man konstatera att konstruktionen var lika för alla provytorna.

Värdena på läckvätskans TN koncentration varierade från 9.4 till 29.1 mg/l, vilket motsvarade de värden som Singh et al., (2008) erhållit, men i den nuvarande studien påverkade gödselrengöringen läckvätskan från provytorna i motsats till de resultat som Singh et al., (2008) erhöill. Detta skulle kunna förklaras med hur gödselrengöringen utfördes i den nuvarande studien, där gödseln togs bort direkt efter mätningarna.

Alla kvävehaltiga växtnäringsämnen minskade i koncentration hos läckvätskan förutom $\text{NO}_3\text{-N}$, vilken svarade på mer organiskt material vid gödselackumulering. I den nuvarande studien uppstod en behandlingseffekt för $\text{NO}_3\text{-N}$ hos de ickevävda geotextilerna i provytorna B1 och B2 och det tycks som om samma respons återfanns hos den ickevävda geotextilen i studien av Singh et al. (2008), även om ingen behandlingseffekt kunde fastställas. Den utvecklade nitratnivån i den nuvarande studien var av samma storleksordning men generellt lägre både i gödselrengöringsfallet och i gödselackumuleringsfallet förmodligen på grund av lägre växtnäringskoncentration i gödseln jämfört med Singh et al. (2008). Läckvätskans nitrithalt var även den tidvis för hög jämfört med normen för godtagbart dricksvatten om 0.5 mg/l.

Med ökad gödselbelastning fanns det en större potential för organiskt kväve att övergå till mineralkväve genom bakteriell aktivitet hos provytorna. Då kvävet transporterades genom grusprofilerna kan delar av kvävet ha bundits genom reaktion med mineraler ingående i grusen. Andra delar av kvävet kan ha övergått till $\text{NO}_3\text{-N}$ eller $\text{NO}_2\text{-N}$, beroende på tillgång till stora luftfyllda porer. Denna oxideringsprocess kan ytterligare ha förstärkts av den ickevävda geotextilen speciellt i B3, men också av den vävda geotextilen i B3 under exp1.

Gödselackumuleringen påverkade både TP och TS (tabell 2). Gödselrengöring minskade TP med 23% till 1.15 g/ml, men med minskande vätskeflöde reducerades växtnäringsinnehållet av TP till 1.82 g/m², dvs med 47% vid gödselackumulering jämfört med gödselrengöring. Liknande trend kunde observeras för TS. TS-värdet minskade 23% genom gödselrengöring till 435 g/ml, men med lägre vätskeflöde sjönk TS mängden till 659 g/m², dvs med 42% vid gödselackumulering jämfört med gödselrengöring.

En behandlingseffekt uppstod för läckvätskans COD i både provytan B1 och B3 med de lägsta COD-värdena om 152 och 156 mg/l. Med lägre läckvätskeflöde var COD-innehållet per m² hos provytan B1 ca 110 mg/m² både vid gödselrengöring och gödselackumulering, medan COD-värdena från provytan B3 föll från 353 to 285 mg/m² vid gödselackumulering jämfört med gödselrengöring.

COD-värdena i studien av Singh et al. (2008) var lägre (61.3 mg/l, 27 mg/m²) än i den nuvarande studien. Singh et al. (2008) erhöill ingen behandlingseffekt för COD men geotextil/grus ytorna verkade ha ett större COD-innehåll än referensytan av jordmaterial. Trenden i den nuvarande studien var fallande COD koncentrationer både vid gödselrengöring och vid gödselackumulering på grund av minskat läckvätskeflöde.

4.5 Massbalans

En massbalans utfördes för att uppskatta förlusterna av växtnäringsämnen hos provytorna. Medelvärden av växtnäringsämnen, COD och TS beräknades för

gödselrengörings- respektive gödselackumuleringsfallet. Förlusterna genom växtnäringsämnen, COD och TS var av samma storleksordning för samtliga provytor och vid både både vid gödselrengöring och vid gödselackumulering. Då inga uppgifter var tillgängliga för gödseln, utfördes inga beräkningar för COD.

Så mycket som 99.4% av växtnäringsämnena blev kvar på ytan av provytorna med en del som försvann till atmosfären i gasform, ca 0.01% förlorades i ytvatten, 0.5% i dräneringsvätska och 0.06% i läckvätska. Trots att förlusten av organiskt material och växtnäringsämnen var mycket liten kan den faktiska föroreningsnivån vara hög (Singh et al., 2008), speciellt om ingen efterbehandling av vätskorna sker.

4.6 Ekonomi

Genom att använda geotextil kan det stabiliserande grusmaterialets tjocklek användas mer ekonomiskt, genom att materialdjupet i stort kan reduceras till hälften, och genom att de dränerande egenskaperna hålls intakta då olika materialstorlekar effektivt kan separeras från varandra och jordmaterial. Kostnaden för högbelastade utomhus trafikytor för nötkreatur baserade på geotextil/grus konstruktion är ca en tredjedel vad en betongyta kostar i Sverige.

4.7 Slutsatser

Det grövre ytlagret hos provytorna reducerade ytvattenmängden och ökade vätskeflödet genom grusytekonstruktionen. Ingen förändringar i dräneringsvätskeflödet genom provytorna registrerades under försöksperioden, men med geotextil kan vätskeflödet tidvis bli så stort att vätskebuffert iform av damm kan fordras. För provytan B1 var läckflödet 0.6 och 0.5 g kväve-föroreningar/m² dag under första respektive andra försöket, vilket var lika med eller under de krav som ställs på täthet av nordamerikanska miljömyndigheter. B1 var den provyta som bäst motsvarade hypotesen.

Gödselrengöring av provytorna fick ingen effekt på näringsinnehållet i ytvattnet. Däremot minskade både dränerings- och läckvätskans näringsinnehåll av TN, TP, COD and TS vid gödselrengöring. Provytornas sammansättning påverkade förekomsten av NO₂-N och TS i dräneringsvätskan, där ytan B1 erhöll den högsta oxiderande effekten på NO₂-N under både gödselrengöring och gödselackumulering. Ytan B2 hade den bästa effekten på TS avskiljning under gödselackumuleringsförsöket.

Gödselrengöring påverkade läckvätskan genom minskat näringsinnehåll av TN, NO₃-N, NO₂-N, TP and TS. Nitratnivån som utvecklades i denna studie låg kring 0.13-0.53 mg/l vilket resulterade i en växtnäringsinnehåll om 0.6-1.5 mg/m². Behandlings-effekt återfanns hos den ickevävda geotextilen hos provytorna B1 och B2 för NO₃-N och för COD i läckvätskan från B1 och B3.

Studien visar att olika kombinationer av geotextil i geotextil/grus konstruktioner ger både en bärande och dränerande funktion, men även kan ge en filtrerande, luftande och tätande effekt.

6 LITTERATUR

- ASAE (2005). ASAE standards, manure production and characteristics, ASAE D384.2. St. Joseph, USA.
- Barrington, S. F., El-Moueddeb, K., Jazestani, J. & Dussault, M. (1998). The clogging of non-woven geotextiles with cattle manure slurries. *Geosynthetics International* 5(3): 309-325.
- Barrington, S. F., Stilborn, R. & Moreno, R.G. (1995). Organic liners for the sealing of earthen reservoirs. *Bioresource Technology* 52: 101-107.
- Bicudo, J. R., Goode, G.L., Workman, S.R., & Turner, L.W. (2003). Vertical water movement through geotextile and gravel pads used in heavy livestock traffic areas. *Ninth International Animal, Agricultural and Food Processing Wastes R. T. Burns. Research Triangle Park, North Carolina USA ASAE. 701P1203* 364-371
- Cantrell, K. B., Chastain, J.P., & Moore, K.P. (2007). Geotextile filtration performance for lagoon sludges and liquid animal manures dewatering. *Transactions of the ASABE* 51(3): 1067-1076.
- Chardon, W. J., Aalderink, G. H., & van der Salm, C. (2007). Phosphorus leaching from cow manure patches on soil columns. *Journal of Environmental Quality* 36: 17-22.
- Chichester, F. W., van Keuren, R. W. & Mc Guinness, J. L. (1979). Hydrology and chemical quality of flow from small pastured watersheds. *Chemical Quality. Journal of Environmental Quality* 8, 167-171. 8: 167-171.
- Cuttle, S. P. (2001). Comparison of fertilizer strategies for reducing nitrate leaching from grazed grassland, with particular reference to the contribution from urine patches. *Journal of Agricultural Science (UK)* 136: 221-230.
- Decau, M. L., Simon, J. C. & Jacquet, A. (2003). Fate of urine nitrogen in three soils through out a grazing season. *Journal of Environmental Quality* 32: 1405-1413.
- Degen, A. A., & Young, B.A. (1993). Rate of heat production and temperature of steers exposed to simulated mud and rain conditions. *Canadian Journal of Science* 73: 207-210.
- Eriksen, J., & Kristensen, K. (2001). Nutrient excretion by outdoor pigs: a case study of distribution, utilization and potential for environmental impact. *Soil Use Manage* 17: 21-29.
- Fraser, P. M., Cameron, K. C., & Sherlock, R. R. (1994). Lysimeter study of the fate of nitrogen in animal urine returns to irrigated pasture. *European Journal of Soil Science* 45: 439-447.
- Gunnarsson, S., Cerenius, F., Jakobsson, T., Borgwall, H., Gustafsson, G., & Ullgren, D. (2003). Inventering av utgångsdjur i Västra Götalands län, Länsstyrelsen i Västra Götaland, 2003:20
- Gustafson, G. M. (1993). Effects of daily exercise on health of tied dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine* 17: 209-223.
- Hanrahana, L. P., Jokela, W.E., & Knapp, J.R. (2009). Dairy diet phosphorus and rainfall timing effects on runoff phosphorus from land-applied manure. *Journal of Environmental Quality* 38: 212-217.
- ISS (2003). Swedish Standard: SS 028113, SS 028101:1-92 mod, KLK 65:1, 232:5 NMKL 23 1991 SS1910, SS028150-2, SS-EN ISO11905-1/Kone, SS-EN 11732:2005/Kone, SS028133-2/Kone, SS-EN 26777/Kone, SS EN ISO6878:2005/TRAACS, Spectroquant SS 028113. Swedish Standards Institute.

- Jarvis, S. C., Sheerwood, M. & Steenvoorden, J. H. A. M. (1987). Nitrogen losses from animal manures: from grazed pastures and from applied slurry. *Animal manures on Grassland and Fodder Crops*. The Hague, The Netherlands, Martinus Nijhoff Publishers: 195-212.
- Kemira, A. S. (2001). *Håndbog for landmaen*, Fredericia, Danmark.
- Koopmans, G. F., Chardon, W.J., & McDowell, R.W. (2007). Phosphorus movement and speciation in a sandy soil profile after long-term animal manure applications. *Journal of Environmental Quality* 36: 305-315.
- KY-NRCS (1998). Heavy use area protection, Kentucky Natural Resources Conservation Service, Lexington, KY Conservation Practice Standard, Code 561.
- McGechan, M. B., & Topp, C.F.E. (2004). Modelling environmental impacts of deposition of excreted nitrogen by grazing dairy cows. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 149-164.
- Moore, P. J., Formica, S.J., Van Epps, M., & DeLaune, P.B. (2004). Effects of pasture renovation on nutrient runoff from pastures fertilized with manure. *Proceedings of the Seventh International Symposium*, 18-20 May 2005, Beijing, China, ASABE, St. Joseph, Michigan www.asabe.org.
- Phillips, C. (2002). *Cattle behaviour and welfare*, 2nd ed. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 264 pp
- Reed-Andersen, T., Carpenter, S.T., & Lathrop, R.C. (2000). Phosphorus flow in a watershed-lake ecosystem. *Ecosystems* 3: 561-573.
- Regula, G., Danuser, J., Spycher, B. & Wechsler, B. (2004). Health and welfare of dairy cows in different husbandry systems in Switzerland. *Preventive Veterinary Medicine* 66: 247-264.
- Riskowski, G. L., & DeShazer, J.A. (1976). Work requirement for beef cattle to walk through mud. *Transaction of ASAE* 19(1): 141-144.
- Ruhl, S., Overmoyer, J., Barker, D., & Brown, L.C. (1997). Using Geotextile Fabric in Livestock Operations, AEX-304-97. Ohio State University Fact Sheet, Ohioline.ohio-state.edu
- SAS (2003). SAS Online Doc ® 9.1. Cary, NC, SAS Institute Incorporated.
- Singh, A., Bicudo, J.R., & Workman, S.R. (2008). Runoff and drainage water quality from geotextile and gravel pads used in livestock feeding and loafing areas. *Bioresource Technology* 99: 3224-3232.
- Søndergaard, M., Jensen, J.P., & Jeppesen, E. (2005). Seasonal response of nutrients to reduced phosphorus loading in 12 Danish lakes. *Freshwater Biology* 50: 1605-1615.
- Warren, S. D., Thurow, T. L., Blackburn, W. H., & Garza, N. E. (1986). The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *Journal of Range Management* 39: 491-495.
- White, R. K. (1973). Stream pollution from cattle feedlot runoff. Ohio Water Resources Center Project, Ohio State University. Report No. 393: 32.
- Williams, P. H., Haines, R. J. (1994). Comparison of initial pattern, nutrient concentrations in soil solution and the fate of ¹⁵N-labelled urine in sheep and cattle urine patch areas of pasture soil. *Plant and Soil* 162: 49-59.
- von Wachenfelt, H. (1998). Environmental load from outdoor transport areas and yards for cattle, Paper at CIGR XIII Congress on Agricultural Engineering in Rabat, Marocco, 2-6 Februari 1998. vol 2: 339-346.

- von Wachenfelt, H. (2002). Organic pig production on pasture and outdoor areas (in Swedish with English summary). Special report 236, Swedish University of Agricultural Sciences, department of Agricultural Biosystems and Technology 57.
- von Wachenfelt, H. (2003). Treatment of manure contaminated rainwater from outdoor yards in a constructed wetland (in Swedish with English summary). Special report 245, Swedish University of Agricultural Sciences, department of Agricultural Biosystems and Technology 95.