



Kostnadseffektiv allväders paddock för häst: praktisk tillämpning

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

Hans von Wachenfelt

Institutionen för biosystem och teknologi
Department of Biosystems and Technology

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2015:16
ISBN 978-91-576-8906-1
Alnarp 2015



LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

Kostnadseffektiv allväders paddock för häst: praktisk tillämpning

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

Hans von Wachenfelt

Institutionen för biosystem och teknologi
Department of Biosystems and Technology

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2015:16
ISBN 978-91-576-8906-1
Alnarp 2015

© 2015. Hans von Wachenfelt
Omslagsbild: Hans von Wachenfelt

FÖRORD

Ett vanligt problem med djur som går utomhus året runt är att marken närmast ligghallar och vatten- och foderplatser blir upptrampad och kletig. En hårdgjord yta av betong eller asfalt är relativt dyr och har även andra nackdelar: de hårdgjorda ytorna gynnar ytvattenuppkomst och måste rengöras ofta för att ytvatten ska rinna undan. Alternativet med grus och geotextil avleder vätska snabbt och säkert över hela ytan till lägre kostnad.

Idag finns ingen begränsning av antalet hästar per ytenhet eller utfodringsplatser i paddockar. Detta kan medföra en upplagring av växtnäring i marklagren hos paddocken då liten eller ingen bortförsel sker genom upptag i betesvall. Då paddockens marklager belastas under vinterhalvåret kan ytvatten lätt uppstå. De gödsel förorenade ytvattnet kan utgöra en föroreningsrisk för närliggande vattendrag, framförallt av fosfor.

Det övergripande syftet var att reducera föroreningsrisken av mark- och vatten från hästgödsel och urin vid utomhushållning av häst i paddockar genom att 1) undersöka allväders paddockytor av geotextil/grus i praktisk drift med avseende på stabilt gångunderlag, ytvattenkontroll, reduktion av växtnäringsämnen i dränvätska och täthet mot undergrund 2) undersöka om regelbunden gödselrengöring påverkar yt- och dräneringsvattenkvaliten.

Målet med studien var att ta reda på hur väl en lågkostnadskonstruktion av geotextil-grus kunde fungera i praktisk drift under vintersäsong vid rengöring respektive ackumulering av gödsel på provytan.

Studien har finansierats av Stiftelsen Hästforskning och Region Skånes Miljövårdsfond. Projektets experimentella del har genomförts tillsammans med Flyinge AB på Flyinge och Sydsten AB samt sammanställts av Hans von Wachenfelt vid Biosystem och teknologi (BT), Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

Vi vill uttrycka vårt stora tack till Stiftelsen Hästforskning och Region Skåne för ekonomiskt stöd till projektet. Vi vill också tacka Anders Slätteryd, Sydsten AB och Sune Hagström, Flyinge AB med personal för att vi fått möjlighet att utföra våra mätningar, Ingvar Jonsson och Magnus Nilsson för medverkan vid mätningarnas genomförande samt Jan-Erik Englund, SLU Alnarp för hjälp med statistisk bearbetning av datamaterialet.

Alnarp i juni 2015
Linda Tufvesson
Prefekt

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	3
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	4
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	6
FÖRKLARINGAR	7
1 INTRODUCTION	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Problembeskrivning	9
1.3 Geotextil grus konstruktioner	10
1.4 Syfte och motivering	11
2 MATERIAL OCH METODER	12
2.1 Försöksuppställning	12
2.2 Provytans konstruktion	12
2.3 Hästgödselns egenskaper	14
2.4 Provtagning av yt-, drän- och läckvätska	15
2.5 Statistisk databearbetning	16
3 RESULTAT	17
3.1 Resultat från vintermätningar	17
3.2 Vätskeflöden	17
3.3 Ytvatten	23
3.4 Dräneringsvätska	23
3.4 Läckvätska	23
4 DISKUSSION	25
4.1 Vintermätningar	25
4.2 Vätskeflöden	25
4.3 Ytvatten	26
4.4 Dräneringsvätska	26
4.5 Läckvätska	27
4.6 Massbalans	28
4.7 Ekonomi	28
4.8 Synpunkter vid planering	28
5 REFERENSER	29
APPENDIX 1, FOTO OCH DIAGRAM	31

SAMMANFATTNING

Denna studie har sökt att identifiera den markkonstruktion av geotextil-grus i hästpaddockar för året runt bruk som ger minst ytvatten, bäst dräneringseffekt och minst förorening av yt- och dräneringsvätska efter att ha utsatts för nederbörd under olika gödselbelastning.

Två olika kombinationer av icke-vävd och vävd geotextil, tillsammans med två grusfraktioner, 150 mm grus (16 mm) och ett ytskikt om 50 mm grus (5 mm), utsattes för naturlig gödsel- och nederbördsbelastning under två år med periodvis rengöring och ackumulering av hästgödsel. Dessutom utfördes en nederbördsstudie, där provytorna utsattes för 50 mm nederbörd under 30 minuter samt påverkan av 15 kg hästgödsel vid periodvis rengöring och ackumulering. Ytvatten, dräneringsvätska och läckvattenflöde mättes och analyserades för både gödselrengöring och gödselackumulering.

Ytskiktets utförande hos geotextil-grus konstruktionen minskade ytvattenflödet och stabiliserade dräneringsflödet över hela två-års perioden, vilket gav provytan stabilitet och en torr yta. Jämfört med tidigare studier var koncentrationen av totalkväve, totalfosfor, kemisk syreförbrukning och torrsustanshalt i dräneringsvätskan låg under vinterstudien.

Nederbördsstudien, med 50 mm under 30 minuter, bekräftade att en 200 mm geotextil-grus konstruktion klarade de uppställda kraven. Provytan 'Single' hade överlag en högre förmåga att minska föroreningarna i dräneringsvätskan, speciellt för totalkväve, total fosfor, kemisk syreförbrukning och torrsustanshalten.

Med en låg föroreningskoncentration i läckvätskan understeg näringsläckaget från båda behandlingarna och experimenten den gräns som gäller för täta membran mot underliggande markskikt.

Dräneringssystemet klarade av att minska förekomsten av organiskt kväve och reducera TS-mängden hos bägge provytorna genom en stor filteryta samt erhöll en dräneringsvätska som lämpar sig för våtmarksrening. Försöket visade också lovande resultat för läckvätskan, dvs en minskning av miljöbelastningen från diffusa utsläpp från paddockar, men behöver en längre testperiod för att erhålla tillförlitliga resultat.

Synpunkter vid planering: Utförandet hos geotextil-grus konstruktionen bör klara att även andra yttäckande material används som halm, flis eller genomsläpplig betongsten och fortfarande klara ytvavrinning och dränering. En remsa med grövre grus längs paddockens periferi kan förbättra ytvatteninfiltrationen. Den snabba vätskeavledning hos konstruktionen uppnås genom korta vätsketransportvägar samt dränering över hela ytan. På stora ytor kan detta medföra behov av vätskebuffert i form av en damm. Vid paddockförsöket fanns hästar som grävde sig ner genom grusmaterialen. Om man har hästar som gräver finns det åtgärder mot detta, som nät etc. Förmodligen återfinns de mesta föroreningarna (fosfor) i paddockens ytskikt. Om ytskiktet av grus förnyas med hänsyn till antalet hästar som belastar paddocken kan miljöpåverkan minskas.

Nyckelord: geotextil, paddock, häst, gödsel, ytvatten, dräneringsvätska, läckvätska.

SUMMARY

This study sought to identify the pavement construction for a geotextile-gravel pad all-weather surface for horses that would result in the least runoff, best drainage effect and highest quality runoff and drainage effluent after exposure to heavy precipitation under different manure loads in horse paddocks.

Two different combinations of non-woven and woven geotextile, together with two gravel fractions of 200 mm, 150 mm gravel (16 mm) and a top layer of 50 mm gravel (5 mm), were exposed to natural loads of precipitation for two years and horse manure/urine under two manure regimes (manure removal and manure accumulation). In addition, the test areas were exposed to 50 mm precipitation for 30 min and 15 kg of horse manure under the two manure regimes. Runoff, drainage effluent and leachate flow were measured and analysed for both regimes.

The pad geotextile-gravel surface construction reduced runoff flow and stabilised drain flow throughout the two-year period, confirming pad stability and a dry walking surface layer. Compared with previous studies, the concentrations of TN, TP, COD and TS in the effluent fluids in winter were lower.

The rainfall experiment confirmed that a 200 mm geotextile-gravel pad construction met the requirements set. The Single geotextile treatment had a better overall reducing effect for pollutants in drain effluent, especially TN, TP, COD and TS.

With a low fluid flow and low nutrient concentration in the leachate the nutrient leachate from both treatment and experiments fell below the norm for sealed liners placed above under lying soil.

The drainage system was able to reduce organic N and trap TS in a large filtering area in both treatments and the effluent was suitable for wetland treatment. The experiment also showed promising results for leachate treatment in reducing diffuse sources of pollution, but a longer test period is needed to obtain reliable data.

Paddock design considerations: The pad construction should allow for other surface coverings e.g. straw, wood chips or pervious concrete tiles to be added, while still reducing runoff and maintain draining capacity. To increase the runoff infiltration rate there could be a need for a coarse gravel strip along the paddock periphery. The rapid fluid transport through the construction profile is obtained by short fluid transport distances and drainage over the entire surface area. In large paddock areas this could lead to the use of a buffer pond. In the study some horses dug holes into the gravel construction. If horses have a tendency to dig there is measures against it, like gravel net constructions. There is a high likelihood of finding most polluting sources gathered in the very upper paddock surface area. If the gravel surface area is renewed with regard to paddock horse density the source of pollution can be reduced.

Key words: geotextile, paddock, horse, manure, runoff, drain, leachate.

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, TP)

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 Skåneslättns åar är $25 \mu\text{g/l}$ (Almestrand, A., 1993).

Totalkväve (tot N, TN)

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 $2\ 000\text{-}15\ 000 \mu\text{g/l}$. Bakgrundsnivån för skåneslättns 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 nitralterna över ammoniumhalterna. Nitrat är lättroligt 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 ammoniumhalterna 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 (organiskt 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 %.

Referenser

- Almestrand, A. 1993. Alnarpsån 1993, sammanställning och utvärdering av fysikaliska-kemiska analyser. Stencil. Lund.
- SNV. 1990. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Klassificering av vattenkemi samt metaller i sediment och organismer". Allmänna Råd 90:4. Statens Naturvårdsverk. Solna.

1 INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

För att upprätthålla god kondition behöver hästar utevistelse även under vinterhalvåret. Paddockar nära stallar kan vara upptrampad och gytiga pga. djurbelastning kombinerat med dålig bärighet och hög vattenhalt i markmaterialen (Degen et al., 1993).

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

Idag finns ingen begränsning av antalet hästar per ytenhet eller utfodringsplatser i paddockar. Detta kan medföra en upplagring av växtnäring i marklagren hos paddocken då liten eller ingen bortförsel sker genom bete (Parvage et al., 2011). Då paddockens marklager belastas under vinterhalvåret kan ytvatten lätt uppstå. Detta gödsel-förorenade ytvatten kan utgöra en föroreningsrisk för närliggande vattendrag framförallt av fosfor (Parvage et al., 2011).

1.2 Problembeskrivning

Forskning 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 (Hooda et al., 1999; 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.

Ett flertal studier visar att läckande kväve från urin och nitrat orsakats av betesdjur som samlats på små ytor (McGechan & Topp, 2004) och där tillförseln sker vid tillfällen då växtligheten har låg upptagning av kväve (von Wachenfelt, 2002; Uusi-Kämppe et al., 2012). Gödsel- och urinfläckar på våt jord under betessäsongen (Chardon et al., 2007) kan vara en källa för yt- och grundvattenförorening, speciellt på sandiga jordar.

Markpackning i de övre jordlagren som uppstår vid hög djurdensitet 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 i ytvattnet.

Luftning av betesvallar (tubulator) kan förbättra infiltration av nederbörd och näringsämnen lokalt och reducera ytvattenuppkomst med 45% (Moore et al., 2004). Genom utspridning eller borttagning av gödsel efter betesperioden eller i paddocken kan gödselns negativa påverkan minskas på miljön (Chardon et al., 2007; Keskinen et al., 2014).

Under de sista åren har forskare kommit fram till att ytvatten innehållande N och P samt läckvätska från hästpaddockar kan ha stor inverkan på problemet med övergödning i upptagningsområde för sjöar och vattendrag, i huvudsak genom icke avlägsnade foderrester och gödsel, vilket kan resultera i näringsuppbyggnad i jordlagren (Airaksinen et al., 2007; Närvänen et al., 2008; Keskinen et al., 2014).

Betesmarker och paddockar för hästar tar emot betydande mängder P och N genom gödsel och urin, då hästar tillbringar uppmot 8-12 timmar dagligen utomhus samt tilläggsutfodring vintertid (Caselles et al., 2002; Parkyn & Wilcock, 2004). Få studier har emellertid undersökt fosforläckage från hästbetesmarker och paddockar, trots det faktum att hästgödsel innehåller mer fosfor än hos motsvarande övriga betande djur (Caselles et al., 2002).

I en studie av växtnäringsläckage från hästpaddockar anlagda på lerjord med tilläggsutfodring fann Parvage et al. (2011) att fosfor kunde utgöra ett hot mot miljön för omkringliggande vattendrag om hästätheten i paddocken översteg 2,5 djurenheter per ha.

Fastän antalet hästar i Europa har ökat mer och mer under de sista årtiondena och för närvarande tar i anspråk ca 4 % av europeisk jordbruksmark (European Horse Network, 2015), ingår inga anvisningar för hästskötsel i EU's vattendirektiv (European Commission, 2013).

1.3 Geotextil grus konstruktioner

En kostnadseffektivt sätt att tillverka all-väders utomhusytor till djur som vistas utomhus är att använda en konstruktion sammansatt av geotextil och grus vilket medger reducerat grundläggningsdjup hos konstruktionen (KY-NRCS, 1998; Franze et al., 2009). Dessa geotextil-grus konstruktioner har använts av lantbrukare i USA som allväders utomhusyta för nötkreatur sedan 1990-talet, för att minska problem med gytta, ytvatten och erosion på hårt belastade utomhusytor (Ruhl et al., 1997). Geotextil används normalt för att hålla isär olika lager av grusfraktioner och separera gruslager från jordlager inom lantbruket. Geotextilfiber förbättrar den lastbärande kapaciteten (fördelar lasten över större yta), stabiliserar, förbättrar dräneringsförmågan och infiltration på platsen.

Barrington et al. (1995) undersökte om olika gödseltyper i kombination med ett organiskt materialskikt (halm) kunde minska förluster genom utsipprande vätska utan att använda tätskikt, betong eller asfalt.

I en senare studie rapporterade Barrington et al. (1998) att vissa geotextiltyper sätter igen vid direkt kontakt med nötkreatursgödsel (TS 7,5 %) under 80 dygn vilket kan betyda att geotextil kan övergå till att bli ett tätskikt eller barriär mot grundvattenföroreningar (Moo-Young et al., 2002), vilket skulle kunna förhindra näringsläckage, näringsupplagring och grundvattenförorening (von Wachenfelt, 2011). Gränsvärdet för kväveläckage genom tätskikt i mark anges av ett flertal amerikanska miljömyndigheter till 0,6 g växtnäringskväve/m²,dygn.

I en undersökning av ytvatten och växtnäringsläckage från 200 mm tjocka ”gruskuddar”, omslutna och armerade med olika typer av geotextilväv och belastad med 14 kg nötkreatursgödsel under 50 mm nederbörd erhöll Singh et al. (2008) signifikant

effekt på TS-innehåll, kemisk syreförbrukning (COD), nitratkväve (NO₂-N), totalkväve (TN) och totalfosfor (TP) i ytvattnet, men ingen effekt av gödselrengöring erhöles på ytvattenkoncentrationen förutom för ammonium (NH₄-N) koncentration. Trots att små mängder näringsämnen förlorades via ytvatten och läckage, var föroreningskoncentrationen både i ytvatten och i läckvätska hög, med totalfosforvärden om 12 mg/liter i ytvattnet och 10,6 mg/liter nitrat i läckvätskan.

I en senare studie av tre olika geotextil-grus konstruktioner (200 mm tjocklek) (von Wachenfelt, 2011), försökte man att identifiera den konstruktion som erhöles minst förorenad yt-, dränerings- och läckvätska under olika gödsel- och nederbördsbelastning. Det visade sig att konstruktionens ytlager av grus reducerade ytvattenflödet och det genererade dräneringsflödet var stabilt under hela studien vilket också bekräftade konstruktionens stabilitet och bärighet.

Gödselrengöring minskade koncentrationerna av TN, TP, COD och TS i dräneringsvätskan. Läck- och dräneringsvätskans sammansättning påverkades på samma sätt av gödselrengöring och en provyta uppfyllde kravet på täthet mot underliggande marklager. Dessutom klarade dräneringsvätskans koncentration kravet på våtmarksrening. Målet med nuvarande studie var att bekräfta dessa resultat under praktiska förhållanden i en fältstudie under två år.

1.4 Syfte och motivering

Projektets syfte var att identifiera den geotextile-grus konstruktion som erhöles minst förorenad yt- och dräneringsvätska då den utsattes för måttlig till kraftig nederbördsbelastning och olika gödselbelastning i en paddock för hästar under vintertid.

Målet med projektet var att bestämma om en geotextile-grus konstruktion kan erbjuda en acceptabel ytstabilitet, ytvattenomhändertagande och kontroll, minskning av växtnäringsämnen i vätskorna som lämnar konstruktionen och täthet mot underliggande jordlager istället för en geomembran samt att undersöka om regelbunden gödselrengöring påverkar yt- och dräneringsvätskornas kvalitet.

Hypotesen var att en 200 mm geotextile-grus konstruktion skulle tillgodose en tillräckligt stabil paddockyta, infiltration av ytvatten, effektiv dränering och täthet mot underliggande jordlager istället för en geomembran.

2 MATERIAL OCH METODER

2.1 Försöksuppställning

Två fältundersökningar utfördes på tre olika provytor med olika kombinationer av geotextile-grus konstruktioner. Alla provytor hade en geomembran och 50 mm sand i botten. De olika behandlingsalternativen (provytorna) var utförda på följande vis (från botten till markytan):

Kombinerad (geotextil): Icke-vävd geotextil (Protexia FC 021), vävd geotextil (Propex 6083), icke-vävd geotextil (Typar SF20), 150 mm grus (16 mm) och 50 mm grus (5 mm).

Singel (geotextil): Vävd geotextil (Propex 6083), 150 mm grus (16 mm) och 50 mm grus (5 mm).

Grus (referensyta): 150 mm grus (16 mm) och 50 mm grus (5 mm).

Behandlingarna valdes med utgångspunkt från tidigare utförda försök (Singh et al., 2008; von Wachenfelt, 2011), där behandlingsalternativet Singel baserades på specifikationer från Kentucky Natural Resources Conservation Service (KY-NRCS, 1998).

De fysikaliska egenskaperna hos geotextilerna anges i tabell 1. Propex 6083 (Single) var den bärande geotextilen hos bägge provytorna, medan Typar och Protexia ingick som delar i det kombinerade geotextilalternativet (Kombinerad). Typar är en icke-vävd filtrerande geotextil och placerades ovanför den vävda Propex 6083 för att begränsa TS-koncentrationen i dräneringsvätskan och för att öka oxideringen av organiskt bundna näringsämnen. Protexia FC 021 (också en icke-vävd) geotextil med filtrerande egenskaper med små poröppningar, monterad på en trapetsformad dräneringsplast, placerades under den vävda Propex 6083 för att minska växtnäringsläckage mot underliggande marklager.

I det första experimentet, tillfördes gödsel för att senare direkt tas bort efter varje delförsök, vilket motsvarade regelbunden rengöring av ytan (gödselrengöring), medan i det andra experimentet, fick gödseln ackumuleras på försöksytan, dvs ingen rengöring (gödselackumulering).

Experimenten utfördes som två separata tidserier, den ena under två vintersäsonger, den andra som en simulerad nederbördsstudie.

2.2 Provytans konstruktion

Vid experimentens utförande användes tre försöksytor per paddock och två paddockar (två upprepningar) om 2 x 6 m placerade vid Flyinge AB, Flyinge. I paddockarna grävdes vardera 3 ca 30 cm djupa gropar med ovanstående längd-bredd mått. Lutning och avjämning av provytans botten utfördes invändigt genom ifyllnad av ett sandlager varpå en PVC membran placerades, vars lägsta punkt mynnade i ett läckväskeavlopp med en barriär mot ett främre dräneringsavlopp.

Tabell 1. Fysikaliska egenskaper hos de använda geotextilerna i experimenten, enskilda eller i kombination.

Polymer	Standard	Enheter	Propex 6083 ^a Polypropylene	Typar SF20 ^b Polypropylene	Protexia FC 021 ^c Polypropylene
Massa per areaenhet	EN 9864	g/m ²	252	68	d
Tjocklek, mm	EN 9863	mm	1,3	0,28-0,35	
Hållfasthet, T_{max}	EN ISO 10 319	kN/m	60	3,4	8
Genomsläpplighet normalt ytan	EN ISO 11 058	mm/s	30	180	120
Porstorlek, O_{90}	EN ISO 12956	µm	200	225	85
Flödeskapacitet i längsled vid 20 kPa	EN ISO 12958	L/s/m tjocklek		5,2	7

^{a)} PROPEX textilier, Gronau, Tyskland, den bärande geotextilen (behandlingsalternativ Singel),

^{b)} Typar Geosynthetics, Luxemburg, filtrerande geotextil, placerad ovanför Singel (behandlingsalternativ Kombinerad),

^{c)} GEOfabrics limited, Leeds, UK, filtrerande geotextil, placerad under Singel (behandlingsalternativ Kombinerad),

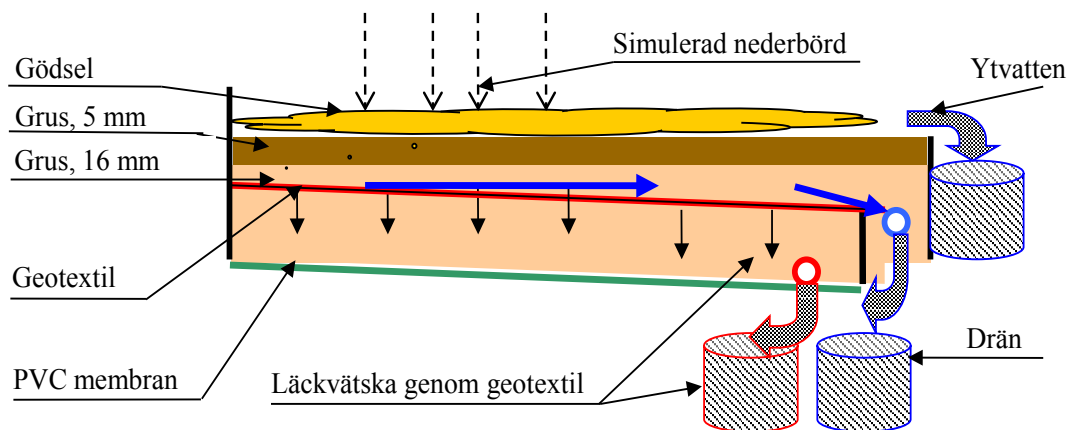
^{d)} Rullvikt hos 1*50 m är 58 kg, inklusive trapetsformat dränage.

Tabell 2. Hästgödselns sammansättning, (n = 4 per gödselprov).

Experiment	Gödsel prov	TN ¹ mg/kg	NH ₄ -N ² mg/kg	NH ₄ -N ² % TS	NO ₃ -N ³ mg/kg TS	NO ₂ -N ⁴ mg/kg TS	TP ⁵ mg/kg TS	COD ⁶ mg/l	TS ⁷ %
Gödselrengöring	1	3 000	335	0,17	12,9	5,7	4 600	235 000	20
	2	3 850	360	0,15	10,4	4,2	3 800	275 000	24
	3	4 350	540	0,20	9,4	2,3	3 850	225 000	27
	4	4 088	486	0,18	9,7	3,9	4 125	276 250	28
	5	5 150	710	0,19	6,3	2,8	4 250	370 000	29
Gödselackumulering	6	4 600	395	0,15	8,8	2,8	3 700	260 000	28
	7	4 150	415	0,16	9,2	5,1	4 750	305 000	27
	8	4 250	470	0,18	6,6	0,3	3 900	385 000	27
	9	3 000	300	0,14	12,4	0,2	6 100	175 000	22
	10	3 350	595	0,28	11,9	0,6	5 800	240 000	21

¹⁾ totalkväve; ²⁾ total ammoniumkväve; ³⁾ nitratkväve; ⁴⁾ nitritkväve; ⁵⁾ totalfosfor; ⁶⁾ kemisk syreförbrukning; ⁷⁾ torrsbstanshalt.

Ett lager grovsand fyllde ut mellanrummet för läckväskeuppsamling ovanpå membranet ända upp till barriärens krön. Sandlagret täcktes med geotextil eller en kombination av geotextiler som mynnade framför läckväskeledet där avlopp för dräneringsvätska fanns invid botten. Geotextilerna täcktes i sin tur av 150 mm tvättad grovgrus (16 mm) och 50 mm fin grus (5 mm) som ytlager. Provytorna hade en jämn lutning om 3 % längs huvudaxeln och var helt i våg längs den korsande axeln (figur 1).



Figur 1. Tvärsnitt av provytan.

Funktionen hos de bägge vätskeutloppen testades innan provytan fylldes med grus. Både läck- och dräneringsvätskan rann genom var sitt 50 mm plaströr till en mätstation för vardera paddocken. Uppsamlingsytan för dräneringsvätskan var hela provytan (12 m²), medan läckväska samlades från en yta om 11 m².

Den sista metern av provytans främre del utformades med avseende på ytvattenuppsamling. I ytskiktet av fingrus placerades en membran på 10 cm djup för att samla upp ytvatten till ett 50 mm dräneringsrör för vidare transport via ett 50 mm avloppsrör till mätstationen. Vätskeprover från respektive yt- dränering- och läckväskeflöde togs vid utloppen i mätstationen.

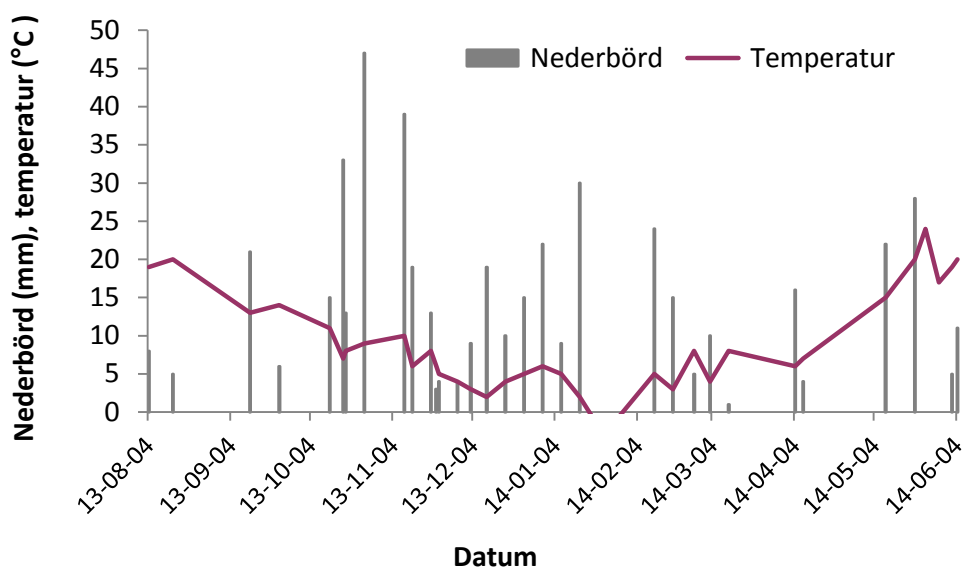
2.3 Hästgödselns egenskaper

Vid nederbördsstudien tillfördes 15 kg gödsel per provyta (1,25 kg/m²), motsvarande en djurbelastning om sex hästar under fyra timmar per dag. Gödseln erhöles dagligen från Flyinge AB. Fastgödseln lagrades kallt och blandades innan gödselprov togs. Gödseln, som var utan strömedel, tillfördes provytan i omedelbar anslutning till varje delprov utförande. Utmomhustemperaturen var i medeltal 16 ± 5°C och relativa fuktigheten 53 ± 16 % under försöksperioden.

Under vinterhalvåret tillfördes gödseln via hästarna till provytorna i paddockarna. Gödselproverna analyserades med avseende på totalkväve (TN), ammoniumkväve (NH₄-N), totalfosfor (TP), kemisk syreförbrukning (COD), och torrsbstans (TS) enligt ISS (2003). Gödselkoncentrationen av ovan nämnda parametrar överensstämde med innehållet hos normal hästgödsel (Kemira, 2001; Caselles et al., 2002), se tabell 2.

2.4 Provtagning av yt-, drän- och läckvätska

Vätskeprovtagning och försöksuppläggning var det samma under hela försökets genomförande. Under vinterhalvåret utnyttjades den naturligt förkommande nederbörden och hästarnas gödseldeponering i paddockarna. Hästtätheten uppgick till en häst i den mindre paddocken (150 m²) och två hästar i den större paddocken (900 m²). Varannan vecka togs gödseln bort varje morgon (gödselrengöring), eller tilläts ligga kvar under veckan (gödselackumulering). Väderuppgifterna från mätperioderna baseras på data insamlat vid provtagningsstillfällena (1 gång/vecka), figur 2. Dessvärre kännetecknades det första årets mätningar av en lång torrperiod, vilket medförde endast en vintersäsong av mätningar.



Figur 2. Uppmätt nederbörd (grå staplar) och lufttemperatur (röd linje) under vinterperioden.

Rören från paddockarna mynnade i var sin mätstation, där vippvågar och loggrar registrerade varje enskilt flöde (yt-, drän- och läckvätska). Samtliga vätskeprov frystes direkt efter provtagning. Proven analyserades med avseende på TN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, TP, COD och TS enligt ISS (2003). Loggrarna (Tinytag puls dataloggrar, Gemini Data Loggers, Chichester, UK) hade en provtagningsfrekvens om 1 gång per minut och varje vippvåg var kalibrerad för fem olika slaghastigheter per minut. Med intermittent provtagning av vätskekoncentrationen erhöles ett flödesvägt sammansatt prov av normal storlek. Den totala volymetriska flödet av yt-, drän- och läckvätska kunde sedan beräknas. Föroreningsmängderna erhöles genom att multiplicera koncentrationen för var föroreningsparameter med respektive volymflöde.

En regnsimulator, med möjlighet att tillföra 70 mm nederbörd per timme på en provyta, användes för att simulera kraftig nederbörd på en hästpaddock med gödsel och för att generera resulterande yt-, drän- och läckvätska från provytorna, figur 3. 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. Blötlagningen avbröts då ett kontinuerligt flöde var synligt i samtliga rör. Så snart

blötläggningen avslutats tillfördes gödsel till provytan och regnsimulatorens startades igen. Den simulerade nederbörden hölls till 50 mm per timme under 30 minuter.



Figur. 3. Regnsimulator i arbete.

2.5 Statistisk databearbetning

Försökupställningen var av split-plot modell utan block, med gödselrengöring eller gödselackumulering som huvudfaktor och de tre provytebehandlingarna som split-plot faktor. En variansanalys PROC MIXED utfördes i SAS Institute Incorp. (2003) för att bestämma effekten av gödselrengöring eller ackumulering och provytebehandling på innehållet av växnäringskväve, fosfor, COD och TS 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 gödseltillförsel var mycket kort. En signifikansnivå om 5 % användes genomgående i analysen och Tukey's metod användes för att skilja behandlingarnas minsta kvadratmetodmedelvärden åt. 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, $\gamma_{k(i)}$ = slumpffekt av upprepning, e_{ijk} = fel term

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

3 RESULTAT

3.1 Resultat från vintermätningar

Perioden från oktober till mars under den andra vintermätningen var regnig förutom en frostperiod i slutet av januari, figur 2. Samtliga vintermätningensvärden för vardera paddockarna presenteras som medelvärden i tabell 3, då de experimentella skillnaderna mellan gödselrengöring och gödselackumulering var små.

Ytvattenflödet var lågt, eller helt obefintligt för Singel behandlingen, troligtvis pga. dålig funktion men också av låga vätskemängder. För dränerings- och läckvätskeflödet låg provantalet på 9 och 14. Koncentrationen av föroreningar var lägre i flödena från paddock 1 jämfört med paddock 2.

I allmänhet var vätskekoncentrationerna låga. Undantagen var TP, NO₃-N och TS i Singelbehandlingen, som orsakades av ett 6 minuters sommarskyfall om 24 mm, efter det första årets nederbördsfattiga vinter- sommarperiod. Under den andra vintern ökade generellt vätskekoncentrationen av föroreningar, tex. TN i Grusbehandlingen, men speciellt TP i ytvattnet från både den Kombinerade och Grusbehandlingen, 1,23 respektive 2,30 mg/l.

3.2 Vätskeflöden

I det följande kommer resultaten från nederbördsstudien att presenteras. Vätskeflödena genom geotextil-grusytorna framgår för varje experiment av tabell 4. Ytvattenflödet genom konstruktionen var inte tillfredsställande för alla provtytor. Fastän liknande medelvärde erhöles i bägge experimenten fortsatte det att vara mycket ojämnt mellan upprepningarna. Detta medförde en hög standardavvikelse för de flesta ytvattenflöden även om standardavvikelsen var låg för den enskilda provytan. Ett typiskt exempel var Grusbehandlingsens ytvattenflöde i bägge experimenten.

För Singelbehandlingen var dränvätskeflödet signifikant lägre än hos övriga provtytor, och fortsatte att vara så även i experimentet med gödselackumulering. Dränerings- respektive läckvätskans flödesintervall uppgick till 2,4 och 4,6 l/m² och timme respektive 0,7 och 3,6 l/m² och timme vid gödselrengöring, medan motsvarande flöden var 2,4-4,2 respektive 0,7-3,1 l/m² och timme vid gödselackumulering.

Dräneringflödet var jämnare mellan upprepningarna under bägge experimenten, vilket resulterade i SD värden av samma intervall och storleksordning med en tendens till sjunkande SD värden vid gödselackumulering.

För Kombinerad geotextilbehandling, var läckflödet signifikant lägre än för Singelbehandlingen i bägge experimenten, i medeltal 79 % lägre. Standardavvikelsen hos läckvätskan vid gödselrengöring var ungefärligen det samma som för läckvätskan vid gödselackumulering.

Tabell 3. Vätskekoncentrationer från provytorna under olika årstider, 2013-2014. Jämförelse mellan olika behandlingar av geotextil-grusytor (antal prov (n), medelvärde (Mv) och standardavvikelse (SD)).

Parameter	Behandling											
	Kombinerad geotextil						Singel geotextil ^a			Grus		
	Ytvatten		Dränvätska		Läckvätska		Dränvätska		Läckvätska	Ytvatten		Dränvätska
	n	Mv (SD)	n	Mv (SD)	Mv (SD)	n	Mv (SD)	Mv (SD)	n	Mv (SD)	n	Mv (SD)
<i>Paddock 1, sommar-höst-vinter-vår mätningar</i>												
TN (mg/l)	0		14	2,0 (0,3)	2,4 (1,3)	9	2,4 (0,7)	2,2 (0,8)	1	1,9	14	1,9 (0,0)
NH ₄ -N (mg/l)	0		14	0,1 (0,3)	0,7 (1,4)	9	0,2 (0,4)	0,3 (0,6)	1	0,06	14	0,1 (0,2)
NO ₃ -N (mg/l)	0		14	6,0 (5,5)	8,6 (10,6)	9	7,5 (5,7)	10,4 (9,8)	1	12,0	14	9,0 (7,7)
NO ₂ -N (mg/l)	0		14	0,06 (0,16)	0,11 (0,22)	9	0,03 (0,04)	0,08 (0,19)	1	0,93	14	0,06 (0,10)
TP (mg/l)	0		14	0,07 (0,04)	0,05 (0,02)	9	0,18 (0,21) ^b	0,06 (0,05)	1	0,05	14	0,16 (0,08)
COD (mg/l)	0		14	35 (10)	34 (12)	9	48 (29)	36 (17)	1	52	14	32 (5)
TS (mg/l)	0		14	286 (128)	312 (164)	9	355 (175)	318 (110)	1	190	14	314 (110)
<i>Paddock 2, sommar-höst-vinter-vår mätningar</i>												
TN (mg/l)	3	5,3 (3,2)	14	3,1 (3,7)	2,8 (1,7)	14	2,4 (1,3)	3,8 (3,7)	3	7,2 (5,9) ^d	14	3,3 (2,3)
NH ₄ -N (mg/l)	3	0,4 (1,0)	14	0,4 (1,0)	0,4 (0,3)	14	0,3 (0,5)	1,1 (2,1)	3	0,3 (0,1)	14	1,1 (1,3)
NO ₃ -N (mg/l)	3	1,4 (1,2)	14	10,9 (9,3)	13,9 (11,3) ^b	14	24,6 (51,9) ^b	43,5 (76,3) ^b	3	2,0 (1,5)	14	11,3 (16,2)
NO ₂ -N (mg/l)	3	0,03 (0,04)	14	0,27 (0,45)	1,19 (3,30)	14	0,08 (0,17)	0,60 (1,30)	3	0,03 (0,03)	14	0,15 (0,30)
TP (mg/l)	3	1,23 (0,87)	14	0,27 (0,41)	0,19 (0,33)	14	0,08 (0,06)	0,05 (0,05)	3	2,30 (0,57) ^c	14	0,14 (0,14) ^c
COD (mg/l)	3	86 (56)	14	40 (14)	38 (14)	14	42 (16)	56 (31)	3	162 (102) ^c	14	41 (17)
TS (mg/l)	3	270 (89)	14	516 (281)	591 (293)	14	589 (504)	906 (672) ^b	3	403 (214)	14	468 (201)

^{a)} Ytvatten, ej mätt i Singel geotextil behandling,

^{b)} Maxvärden värden från mätningar under sommartid,

^{c)} Maxvärden från mätningar under vintertid,

^{d)} Maxvärden från mätningar under vårflood.

Tabell 4. Vätskeflöde genom geotextil-grusytorna i liter per m² och timme. Jämförelse mellan olika geotextil materialkombinationer och mellan gödselrengöring och gödselackumulering (antal prov (n), minsta kvadratroten medelvärde (Mv) och standardavvikelse (SD)).

Parameter	Behandling							
		Kombined geotextil	Singel geotextil			Grus ^c		
	n	Mv (SD)	p ^a	Mv (SD)	p ^a	Mv (SD)	p ^a	p ^b
<i>Gödselrengöring</i>								
Ytvatten (l/m ² h)	10	3,3 (1,7)	ns	2,7 (1,8)	ns	6,3 (3,4)	ns	ns
Drän (l/m ² h)	10	4,5 (2,1) ^a	ns	2,4 (0,9) ^b	ns	4,6 (1,4) ^a	ns	*
Läck (l/m ² h)	10	0,7 (0,3) ^a	ns	3,6 (0,9) ^b	ns	0	ns	***
<i>Gödselackumulering</i>								
Ytvatten (l/m ² h)	10	3,7 (2,2)		2,0 (1,1)		5,1 (4,6)		ns
Drän (l/m ² h)	10	3,9 (1,7) ^a		2,4 (1,0) ^b		4,2 (1,1) ^a		*
Läck (l/m ² h)	10	0,7 (0,3) ^a		3,1 (0,6) ^b		0		***

^a) Signifikansnivå vid jämförelse av gödselrengöring och gödselackumulering: * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001; ns = ej-signifikant,

^b) Signifikansnivå vid jämförande av olika behandlingar där olika beteckningar visar signifikanta skillnader: * = p<0,05

^c) Grusbehandling innehöll inga geotextilmaterial och hade därför ingen läckvätska.

Tabell 5. Vätskekoncentration i ytvatten från geotextil-grusytorna. Jämförelse mellan olika geotextil materialkombinationer och mellan gödselrengöring och gödselackumulering (antal prov (n), minsta kvadratroten medelvärden (Mv) och standardavvikelse (SD)).

Parameter	n	Behandling			p ¹	p ²
		Kombinerad geotextil	Singel geotextil	Grus		
		Mv (SD)	Mv (SD)	Mv (SD)		
<i>Ytvatten, gödselrengöring</i>						
Total N (mg/l)	10	11,9 (5,9)	13,2 (4,8)	14,8 (5,3)	ns	ns
NH ₄ -N (mg/l)	10	0,4 (0,4) ^a	0,7 (0,6) ^a	1,1 (0,7) ^b	ns	***
NO ₃ -N (mg/l)	10	1,03 (1,99)	0,09 (0,00)	0,61 (1,65)	ns	ns
NO ₂ -N (mg/l)	10	0,02 (0,02)	0,05 (0,06)	0,02 (0,01)	ns	ns
Total P (mg/l)	10	6,3 (3,3)	7,2 (2,4)	7,5 (2,8)	ns	ns
COD (mg/l)	10	414 (217)	453 (162)	472 (187)	ns	ns
TS (mg/l)	10	924 (215)	921 (156)	913 (184)	ns	ns
<i>Ytvatten, gödselackumulering</i>						
Total N (mg/l)	10	12,0 (4,1)	10,5 (2,2)	14,4 (3,2)		ns
NH ₄ -N ((mg/l)	10	0,4 (0,5) ^a	0,2 (0,1) ^a	1,0 (0,6) ^b		***
NO ₃ -N (mg/l)	10	0,27 (0,42)	0,10 (0,02)	0,09 (0,00)		ns
NO ₂ -N (mg/l)	10	0,05 (0,06)	0,05 (0,07)	0,05 (0,07)		ns
Total P (mg/l)	10	8,7 (3,8)	8,1 (2,6)	9,2 (2,0)		ns
COD (mg/l)	10	380 (116)	339 (57)	475 (95)		ns
TS (mg/l)	10	898 (116)	803 (91)	891 (129)		ns

¹⁾ Signifikansnivå jämförande gödselrengöring och gödselackumulering: * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001; ns = ej significant,

²⁾ Signifikansnivå vid jämförande av olika behandlingar där olika beteckningar visar signifikanta skillnader: * = p<0,05

Tabell 6. Vätskekoncentration i dräneringsvätska från geotextil-grusytorna. Jämförelse mellan olika geotextil materialkombinationer och mellan gödselrengöring och gödselackumulering (antal prov (n), minsta kvadratrotten medelvärden (Mv) och standardavvikelse (SD)).

Parameter	n	Behandling	Singel geotextil	Grus	p ¹	p ²
		Kombinerad geotextil	Mv (SD)	Mv (SD)		
<i>Dränvätska, gödselrengöring</i>						
Total N (mg/l)	10	7,5 (5,3) ^a	5,2 (2,6) ^b	10,0 (2,1) ^a	ns	***
NH ₄ -N (mg/l)	10	0,24 (0,22)	0,07 (0,04)	0,28 (0,23)	ns	ns
NO ₃ -N (mg/l)	10	2,49 (2,77)	3,29 (4,14)	0,81 (2,00)	ns	ns
NO ₂ -N (mg/l)	10	0,02 (0,02)	0,11 (0,25)	0,02 (0,03)	ns	ns
Total P (mg/l)	10	3,4 (3,3) ^a	1,9 (1,4) ^a	5,0 (1,4) ^b	*	***
COD (mg/l)	10	220 (176) ^a	156 (92) ^a	316 (71) ^b	*	***
TS (mg/l)	10	748 (160) ^a	654 (155) ^b	814 (116) ^a	*	***
<i>Dränvätska, gödselackumulering</i>						
Total N (mg/l)	10	9,6 (4,2) ^a	6,9 (1,7) ^b	11,9 (2,0) ^a		***
NH ₄ -N (mg/l)	10	0,28 (0,39)	0,23 (0,38)	0,26 (0,27)		ns
NO ₃ -N (mg/l)	10	0,71 (1,20)	0,81 (0,82)	0,11 (0,02)		ns
NO ₂ -N (mg/l)	10	0,04 (0,05)	0,03 (0,03)	0,04 (0,07)		ns
Total P (mg/l)	10	6,2 (4,1) ^a	4,6 (1,5) ^a	8,3 (2,6) ^b		***
COD (mg/l)	10	290 (123) ^a	221 (53) ^a	379 (77) ^b		***
TS (mg/l)	10	886 (106) ^a	764 (51) ^b	886 (95) ^a		***

¹) Signifikansnivå jämförande gödselrengöring och gödselackumulering: * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001; ns = ej signifikant,

²) Signifikansnivå vid jämförande av olika behandlingar där olika beteckningar visar signifikanta skillnader: * = p<0,05

Tabell 7. Vätskekoncentration i läckvätskan från geotextil-grusytorna. Jämförelse mellan olika geotextil materialkombinationer och mellan gödselrengöring och gödselackumulering (antal prov (n), minsta kvadratrotten medelvärden (Mv) och standardavvikelse (SD)).

Parameter	Behandling	Kombinerad		Singel geotextil	Grus ³	p ¹	p ²
		geotextil	geotextil				
	n	Mv (SD)	Mv (SD)	Mv (SD)	Mv (SD)		
<i>Läckvätska, gödselrengöring</i>							
Total N (mg/l)	10	4,3 (4,0)	4,5 (1,8)	0	0	ns	ns
NH ₄ -N (mg/l)	10	0,16 (0,28)	0,07 (0,06)	0	0	ns	ns
NO ₃ -N (mg/l)	10	5,82 (3,93)	8,23 (3,15)	0	0	ns	ns
NO ₂ -N (mg/l)	10	0,05 (0,04)	0,10 (0,24)	0	0	ns	ns
Total P (mg/l)	10	1,6 (2,4)	1,2 (0,7)	0	0	*	ns
COD (mg/l)	10	123 (132)	122 (54)	0	0	ns	ns
TS (mg/l)	10	698 (147)	673 (125)	0	0	ns	ns
<i>Läckvätska, gödselackumulering</i>							
Total N (mg/l)	10	6,6 (3,5)	6,2 (2,2)	0	0		ns
NH ₄ -N (mg/l)	10	0,08 (0,05)	0,12 (0,14)	0	0		ns
NO ₃ -N (mg/l)	10	7,56 (1,60)	5,54 (2,02)	0	0		ns
NO ₂ -N (mg/l)	10	0,05 (0,03)	0,04 (0,07)	0	0		ns
Total P (mg/l)	10	3,3 (2,4)	2,5 (1,3)	0	0		ns
Total COD (mg/l)	10	187 (105)	172 (59)	0	0		ns
Total TS (mg/l)	10	797 (84)	767 (84)	0	0		ns

¹⁾ Signifikansnivå jämförande gödselrengöring och gödselackumulering: * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001; ns = ej signifikant

²⁾ Signifikansnivå vid jämförande av olika behandlingar där olika beteckningar visar signifikanta skillnader: * = p<0,05

³⁾ Grusbehandling innehöll inga geotextilmaterial och hade därför ingen läckvätska.

3.3 Ytvatten

De olika behandlingarnas inverkan på ytvattnet vid gödselrengöring och gödselackumulering framgår av tabell 5 och 8. Inga skillnader uppstod vare sig i nitrat- eller i nitritinnehåll under experimenten, där medelkoncentrationen av nitrat och nitrit i ytvattnet var 0,37 respektive 0,04 mg/l. För ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) uppstod en behandlingseffekt, med lägre värden för Kombinerad och Singel, med 0,43 respektive 0,66 mg/l (31 respektive 26 mg/m^2) vid gödselrengöring och 0,42 respektive 0,22 mg/l (32 respektive 8 mg/m^2) vid gödselackumulering, jämfört med Grus 1,13 mg/l (70 mg/m^2) vid gödselrengöring respektive 1,02 mg/l (41 mg/m^2) vid gödselackumulering.

3.4 Dräneringsvätska

En behandlingseffekt beroende på gödselhanteringen erhöles för TP, COD och TS i dräneringsvätskan. Vätskekoncentrationen (mg/l) minskade i medeltal med 55, 24 respektive 16 % på grund av gödselrengöring, tabell 6. Minskningen i COD uppgick i medeltal från 255 mg/l ($14\ 848 \text{ mg/m}^2$) till 188 mg/l ($8\ 509 \text{ mg/m}^2$) vid gödselrengöring. Inga skillnader erhöles för nitrat- eller nitritkoncentrationerna i dräneringsvätskan under experimenten. Medelkoncentrationen av nitrat var 1,83 mg/l och för nitrit 0,05 mg/l.

En behandlingseffekt återfanns hos totalkväve i dränvätskan, med en i medeltal minskning av TN värdet till 6,4 mg/l vid gödselrengöring jämfört med 8,3 mg/l vid gödselackumulering. Behandlingseffekten för TP, COD och TS resulterade i lägre koncentrationer hos Singel vid gödselrengöring (1,9, 156 respektive 654 mg/l eller 72, 5 878 respektive 24 754 mg/m^2) och vid gödselackumulering (4,6, 221 respektive 764 mg/l eller 179, 8754 respektive 23 388 mg/m^2) jämfört med övriga behandlingar.

3.4 Läckvätska

Vid jämförelse mellan dränerings- och läckvätskan, tabell 7, befanns samtliga vätskekoncentrationer vara lägre i läckvätskan med undantag för $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ och COD. Vid gödselrengöring, var koncentrationerna i läckvätskan lägre förutom för $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ och COD i Singel, men mätt som växtnäringskoncentration per m^2 provyta uppvisade samtliga parametrar utom $\text{NO}_3\text{-N}$ en vrikande tendens. Koncentrationen av $\text{NO}_3\text{-N}$ i medeltal i läckvätskan var 193 respektive 215 mg/m^2 provyta för gödselrengöring respektive gödselackumulering, och för $\text{NO}_2\text{-N}$ var koncentrationen ca 4,2 respektive 1,6 mg/m^2 provyta vid gödselrengöring respektive gödselackumulering.

En experimentell effekt erhöles för läckvätskan med avseende på totalfosfor, med en minskning om 48 %, vilket motsvarande en minskning i växtnäringskoncentrationen per m^2 med ca 32 % vid gödselrengöring jämfört med gödselackumulering. Minskningen i medeltal för TP sträckte sig från 2,9 mg/l (109 mg/m^2) vid gödselackumulering till 1,4 mg/l (35 mg/m^2) vid gödselrengöring.

Tabell 8. Jämförelse av växtnäringsinnehållet per ytenhet (mg/m^2) hos yt-, drän- och läckvätska som en effekt av gödselrengöring och gödselackumulering och olika geotextil-grus behandlingar (antal prov(n), medelvärde (Mv) och standardavvikelse (SD) i nederbördsstudien).

Parameter	n	Behandling		
		Kombinerad geotextil	Singel geotextil	Grus
		Mv (SD)	Mv (SD)	Mv (SD)
<i>Gödselrengöring</i>				
Ytvatten $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/m^2)	10	31 (36)	26 (24)	70 (80)
Drän total N (mg/m^2)	10	377 (420)	197 (115)	647 (140)
Drän total P (mg/m^2)	10	185 (233)	72 (60)	318 (64)
Drän COD (mg/m^2)	10	11 140 (12 748)	5 878 (3 904)	20 517 (4 754)
Drän TS (mg/m^2)	10	33 186 (25 509)	24 754 (10 236)	53 887 (13 149)
Läck total N (mg/m^2)	10	59 (69)	172 (82)	
Läck $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/m^2)	10	2,4 (4,3)	3,1 (3,0)	
Läck $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/m^2)	10	54 (44)	331 (206)	
Läck $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/m^2)	10	0,7 (0,6)	7,7 (21,6)	
Läck total P (mg/m^2)	10	24 (38)	45 (32)	
Läck COD (mg/m^2)	10	1 738 (2 229)	4 614 (2 588)	
Läck TS (mg/m^2)	10	7 766 (4 095)	26 523 (10 751)	
<i>Gödselackumulering</i>				
Ytvatten $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/m^2)	10	32 (44)	8 (7)	41 (47)
Drän total N (mg/m^2)	10	665 (556)	269 (160)	700 (194)
Drän total P (mg/m^2)	10	440 (398)	179 (120)	497 (218)
Drän COD (mg/m^2)	10	20 942 (19 046)	8 754 (5 363)	22 286 (6 747)
Drän TS (mg/m^2)	10	55 528 (38 150)	28 388 (14 276)	52 412 (15 237)
Läck total N (mg/m^2)	10	78 (60)	429 (263)	
Läck $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/m^2)	10	1,0 (1,0)	7,6 (10,4)	
Läck $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/m^2)	10	78 (33)	352 (166)	
Läck $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/m^2)	10	0,5 (0,3)	2,7 (5,2)	
Läck total P (mg/m^2)	10	42 (38)	176 (140)	
Läck COD (mg/m^2)	10	2 264 (1 850)	11 926 (7 411)	
Läck TS (mg/m^2)	10	8 214 (3 603)	50 492 (20 413)	

4 DISKUSSION

4.1 Vintermätningar

Förutom enskilda händelser, var föroreningskoncentrationerna i vätskorna från samtliga provytor låga vilket till största delen berodde på låg djurtäthet och osammanhängande gödselackumulering (Airaksinen et al., 2007; Keskinen et al., 2014), men också på frånvaro av nederbörd under första vintersäsongen, vilket ledde till maxvärden vid första skyfallet. På grund av undervisningsaktiviteter vid Flyinge AB, tilläts aldrig gödseln att ackumuleras mer än en vecka åt gången. En ytterligare orsak var att nytt grusmaterial användes till provytorna i paddockarna och all ackumulering av växtnäringsämnen måste börja från noll. All kvävebaserad växtnäring, TP och TS värden i vätskorna fick maxvärden under och en kort tid efter skyfallet, vilket var väntat efter en så lång period utan regn. TN och COD värdena påverkades inte av skyfallet utan var genomgående låga genom hela perioden, trots att gödselvärdena höll sig inom det intervall som ges i tabell 2.

Singelbehandlings nitratkoncentration ($\text{NO}_3\text{-N}$) nådde sitt maxvärde om 170-200 mg/l i paddock 2, medan de andra provytornas maxvärden uppgick till 10 % av detta värde. Som ett resultat av torrperioderna mellan regnen under sommaren och tidig höst ökade nitatvärdena i både drän- och läckvätskor. Förutom maxvärdena, lyckades nitrat och nitritkoncentrationerna i samtliga vätskor klara den Svenska drickvattennormen om <50 mg/l nitrat och < 0,5 mg/l nitrit.

4.2 Vätskeflöden

Medelflödet hos drän- och läckvätskan var tillsammans med avrinningstiden i balans med de tillförda regnmängderna under de två experimenten i nederbördstudien. På grund av mer kompakt grusmaterial minskade vätskeflödena 100 fallt per m^2 jämfört med provytor med grovgrus (von Wachenfelt, 2011). Trots detta, var flödet genom provytans profil 30 gånger högre per m^2 jämfört med flödena rapporterade av Singh et al. (2008) och allt ytvatten var borta inom 20 minuter. Om grövre grusmaterial använts för ytvatteninfiltration utmed paddockens ytterkanter, skulle förmodligen ytvattnet ha försvunnit fortare, men inga problem med ytvattenavrinning observerades under studiens två år.

Skillnaderna i läckvätskeflöde hos de olika behandlingarna överensstämde med resultat från tidigare studie (von Wachenfelt, 2011), där flödet från den Kombinerade geotextilbehandlingen hade ett avtagande flöde. Flödet i den nuvarande studien var dock jämförelsevis mycket lägre. Det avtagande flödet hos läckvätskan genom de Kombinerade geotextilerna kan vara en effekt av biologisk tätning hos den bottenliggande geotextilen (Protexia FC21), vars porstorlek var minst (Barrington et al., 1998).

Med ett lågt vätskeflöde och låg växtnäringskoncentration i läckvätskan understeg näringsläckaget från både Single- och den Kombinerade geotextilbehandlingen (0,1 respektive 0,4 g näringsämnen per m^2 och dygn i bägge experimenten) den gräns som

flertalet amerikanska miljömyndigheter kräver, dvs 0,6 g näringsämnen per m² och dygn för täta membran.

Hästgödseln skilde sig från nötkreatursgödseln genom dess högre koncentration av TS (135 %), och TP (400 %) och dess lägre innehåll av TN (50 %) och NH₄-N (14 %) jämfört med nötkreatursgödsel. Dessutom var COD nivån hos hästgödsel 4,5 gånger högre än i nötkreatursgödsel enligt Singh et al. (2007). Emellertid låg växtnäringens innehåll i gödseln, utan strömmaterial, helt inom intervallet för standardvärden för hästgödsel (Caselles et al., 2002).

4.3 Ytvatten

Som reaktion på hästgödseln var TN, NH₄-N och NO₃-N värdena för den infiltrerade ytvattnet i gödselrengöringsexperimentet 50 %, 6 % respektive 600 % högre än i förutvarande studie för nötkreatur (von Wachenfelt, 2011). Nivåerna för TP och COD var 46 % högre respektive 32 % lägre, vilket var förvånande med hänsyn till COD innehåll i hästgödsel. Ytvattenvärdena vid gödselackumulering överensstämde nästan med gödselrengöringsvärdena, bortsett från ett mycket lägre NO₃-N värde. Däremot var ytvattnets TP värden vid gödselackumulering 20 % högre än vid gödselrengöring och 64 % högre jämfört med motsvarande ytvatten från nötkreatursytor (von Wachefelt, 2011).

Singh et al. (2007) erhöles en experimentell effekt men ingen behandlingseffekt för NH₄-N. Behandlingseffekten i båda experimenten kan delvis ha varit ett resultat av oxidation som gynnas av provytans konstruktion (von Wachenfelt, 1998). Men den kan också delvis vara beroende av att pH-värdet hos de flesta ytvattenvätskor är alltför lågt för att NH₃ ska bildas (Cooper, 1993). Ytvattnets nitrat- och nitritkoncentrationer lyckades också klara den Svenska dricksvattennormen.

4.4 Dräneringsvätska

En generell minskning av föroreningskoncentration hos dräneringsvätskan observerades hos samtliga provytor och i båda experimenten då vätskan passerade genom grus- och geotextillagren eller endast gruslagret. Dräneringsvätskans koncentration av TN, TP, COD och TS var alla lägre vid gödselrengöring. Samtliga dräneringsvätskeparametrar uppvisade samma avtagande trend med lägre värden jämfört med den tidigare studien för nötkreatur (von Wachenfelt, 2011), utom för TP och NO₃-N.

Växtnäringens värdena följde ingångsvärdenas nivå, men för COD fanns en tydlig minskning. Minskning för TS var jämförbar med den som uppnåddes i nötkreatursstudien (von Wachenfelt, 2011), men nu hos Singelbehandlingen. Koncentrationen av TP i dräneringsvätskan var relativt likartad i båda experimenten, precis som i nötkreatursstudien, men Singelbehandlingen medförde 60 % lägre TP värde i paddockstudien med gödselrengöring jämfört med gödselackumulering.

I den nuvarande studien var behandlingseffekterna större än de experimentella effekterna hos dräneringsvätskans viktigaste parametrar jämfört med nötkreatursstudien (von Wachenfelt, 2011), vilket förmodligen kan förklaras av skillnader i gruspartikelstorlek och gruskombinationer. Den höga TS avskiljningen över provytans ytområde var

fördelaktig då detta kan minska igensättningsproblem hos vätskan vid en senare efterbehandling i en konstruerad våtmark (von Wachenfelt, 2003).

Trots att mindre växtnäring (TN) och begränsad ökning av nitrat och nitrit i dräneringsvätskan är lovande, kvarstår faktum att urinfraktionen inte fanns med i nederbördsstudien. Om urin funnits med skulle kvävenivåerna förmodligen ha ökat.

I motsats till nötkreatursstudien (von Wachenfelt, 2011) hade Singelbehandlingen förmodligen en bättre oxiderande förmåga för både $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$, med högre $\text{NO}_3\text{-N}$ värden i bägge experimenten, fastän skillnaderna inte var signifikanta. Den förbättrade oxidationen av organiskt material av geotextil-grus konstruktionen skulle nog ha varit än mer uttalad om experimentet hade pågått under en längre tidsperiod, med omväxlande torra och våta perioder (von Wachenfelt, 1998) liknande de som inträffade under vintermätningarna i denna studie. Både nitrat- och nitritnivåerna i dräneringsvätskan klarade kraven från den Svenska dricksvattennormen.

Med den mätteknik som använts i experimenten, där förvattning av provytan utfördes med direkt tillförsel av nederbörd efter gödseltillförseln, var mängden flyktig ammoniak försumbar (Cooper, 1993). Under verkliga förhållanden skulle det dock kunna finnas möjligheter för ammoniakavgång, speciellt vid gödselackumulering. Några sådana mätningar utfördes dock inte i studien.

Resultaten visar att de flesta parametrarna hos dräneringsvätskan påverkades av gödselrengöring och att dräneringsvätskans sammansättning och koncentration skulle kunna lämpa sig för efterbehandling i en konstruerad våtmark (von Wachenfelt, 1998; von Wachenfelt, 2003; Kynkäänniemi al., 2014).

4.5 Läckvätska

Minskningen av växtnäringskoncentrationen i läckvätskan fortsatte hos samtliga provytor och i båda experimenten, men inte så snabbt som hos dräneringsvätskan. Trots högre TP i hästgödsel, nådde TP sin lägsta värde hos Singelbehandlingen vid gödselrengöring, vilket var endast något högre TP-värde än motsvarande värde för nötkreatursstudien (von Wachenfelt, 2011). Det enda värde som ökade var nitrat, vilket var mycket högre hos båda behandlingarna och experimenten än de rapporterade av Singh et al. (2007) och von Wachenfelt (2011), men både nitrat- och nitritnivån i läckvätskan klarade kraven från den Svenska dricksvattennormen.

Synpunkter på vätskeflödet har tidigare nämnts, speciellt för läckvätskan. Läckvätskans uppsamlingskonstruktion, med en avskiljande geotextil mellan sand- och grusfyllningen, medförde förmodligen en minskning av läckvätskans växtnäringskoncentration. Utförandet var dock lika för samtliga behandlingar och tillät samtidigt en jämförelse mellan övriga parametrar.

Med ökad gödselbelastning fanns det en större möjlighet för organiskt kväve att övergå till mineralkväve genom förekomst av bakterier i geotextil och grusytorna. Då kvävet läckte genom grusprofilen, kan en fraktion ha blivit bunden genom reaktion med de mineraler som fanns hos gruset. Större porstorlek och god syreförekomst kan ha orsakat att andra kvävefraktioner övergått till $\text{NO}_3\text{-N}$ eller $\text{NO}_2\text{-N}$. Denna oxidationsprocess kan ha främjats ytterligare i gödselrengöringsexperimentet av både Kombinerad- och Singelbehandlingen.

4.6 Massbalans

En massbalans utfördes för att kunna uppskatta växtnäring förlusterna från de olika behandlingarna i nederbördsstudien. Jämförelse av medelvärden från de kvävebaserade växtnäringssämnen samt COD och TS visade att förlusterna var likartade hos samtliga behandlingar och i båda experimenten. Upp mot 98 % av näringsämnen blev kvar på provytan, med en flyktig del som försvann i atmosfären, ~0,1 % förlorades i ytvatten, 0,8 % förlorades i dräneringsvätska och 0,3 % förlorades i läckvätska. Fastän en mycket liten del organiskt material och näringsämnen förlorats genom yt-, drän- och läckvätska kan den faktiska föroreningsnivån vara hög (Singh et al., 2008), speciellt om ingen efterbehandling utförs. Som ett resultat av massberäkningen kan det mesta av fosfor antas finnas i de ytliggande gruslagren hos provytorna (Parvage et al., 2011).

4.7 Ekonomi

När geotextil används kan grävdjupet för den stabiliserande sten-grus materialen i stort sett halveras medan de dränerande egenskaperna hos materialen fortfarande bibehålls. Geotextil innebär också att olika materialstorlekar kan effektivt hållas åtskilda från varandra och från markmaterial. Under svenska förhållanden är kostnaden för en utomhusyta av geotextil-grus ungefär en tredjedel av kostnaden för motsvarande betongyta.

4.8 Synpunkter vid planering

Utförandet hos geotextil-grus konstruktionen bör klara att även andra yttäckande material används som halm, flis eller genomsläpplig betongsten och fortfarande klara ytavrinningen och dränering. En remsa med grövre grus längs paddockens periferi kan förbättra ytvatteninfiltrationen. Den snabba vätskeavledning hos konstruktionen uppnås genom korta vätsketransportvägar samt dränering över hela ytan. På stora ytor kan detta medföra behov av vätskebuffert i form av en damm.

Vid paddockförsöket fanns hästar som grävde sig ner genom grusmaterialen. Om man har hästar som gräver finns det åtgärder mot detta, som nät etc. Förmodligen återfinns de mesta föroreningarna (fosfor) i paddockens övre ytskikt. Om ytskiktet förnyas med hänsyn till antalet hästar som belastar paddocken skulle dess miljöpåverkan kunna minskas.

5 REFERENSER

- Airaksinen, S., Heiskanen, M.L. & Heinonen-Tanski, H. (2007). Contamination of surface run-off water and soil in two horse paddocks. *Bioresource Technology*, 98, 1762–1766.
- 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.
- Caselles, J.M., Raul, M., Murcia, M.P., Espinosa, A.P. & Rufete, B. (2002). Nutrient value of animal manures in front of environmental hazards. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(15), 3023–3032.
- 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.
- Cooper, C.M. (1993). Biological effects of agriculturally derived surface water pollutants on aquatic systems, a review. *Journal of Environmental Quality*, 22, 402-408.
- 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.
- European Horse Network (2015). The European Horse Industry in the European Regions Key Figures 2010. <http://www.europeanhorsenetwork.eu/horse-industry> (accessed 15.03.12).
- European Commission (2015). Water Framework Directive. <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water-framework-directive.pdf> (accessed 15.03.12).
- Franze C., Urick, L., Moreira, V.R., Sheffield, R.E., & LeBlanc, B.D. (2009) Soil Stabilization Options for Horse Owners. Louisiana State University Agricultural Center, 1-4.
- 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.
- Hooda, P.S., Moynagh, M., Svoboda, I.F., Edwards, A.C., Anderson, H.A., Sym, G. (1999). Phosphorus loss in drainflow from intensively managed grassland soils. *Journal of Environmental Quality*, 28, 1235-1242.
- 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.
- Kemira, A. S. (2001). *Håndbog for landmaen*, Fredericia, Danmark.
- Keskinen, R., Nikama, J., Närvänen, A., Uusi-Kämppe, J., Särkijärvi, S., Myllimäki, M., & Saastamoinen, M. (2014). Reducing nutrient runoff from horse paddocks by removal of dung. In: *Proceedings: Equi-meeting, infrastructures horses and equestrian facilities; Le Lion d'Angers, France, October 6th and 7th 2014*.
- 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.

- Kynkäänniemi, P., Ulén, B., Torstensson, G., & Tonderski, K.S. (2013). Phosphorous retention in newly constructed wetland receiving agricultural tile drainage water. *Journal of Environmental Quality*, 42, 596-605.
- 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.
- Moo-Young, H.K., & Tucker, W.R. (2002). Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. *Geotextiles and Geomembranes* 20, 191-212.
- 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.*
- Närvänen, A., Jansson H., Uusi-Kämpä, J., Jansson, H., & Perälä P. (2008). Phosphorus load from equine critical source areas and its reduction using ferric sulphate. *Boreal Environment Research*, 13, 265-274.
- Parkyn, S. & Wilcock, R. (2004). Impacts of agricultural land use. In: *Freshwaters of New Zealand* (eds J. Harding, P. Mosley, C. Pearson & B. Sorrell), pp. 34.1–34.16. New Zealand Hydrol. Soc., New Zealand Limnol. Soc., Caxton Press, Christchurch, New Zealand.
- Parvage, M.M., Kirchmann, H., Kynkäänniemi, P., & Ulén, B. (2011). Impact of horse grazing and feeding on phosphorus concentrations in soil and drainage water. *Soil Use and Management*, 27, 367–375.
- Reed-Andersen, T., Carpenter, S.T., & Lathrop, R.C. (2000). Phosphorus flow in a watershed-lake ecosystem. *Ecosystems*, 3, 561-573.
- 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.agohio-state.edu
- SAS Institute Incorp. (2011). *Base SAS® 9.3 Procedures Guide*. 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.
- Söndergaard, 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, Report No. 393. Ohio State University. 32.
- Uusi-Kämpä, J., Närvänen, A., Kaseva, J., & Jansson, H. (2012). Phosphorus and fecal bacteria in runoff from horse paddocks. *Agricultural Food and Science*, 21, 247-259.
- von Wachenfelt, H. (1998). Environmental load from outdoor transport areas and yards for cattle. In: 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.
- von Wachenfelt, H. 2011. Performance of geotextile-gravel bed all-weather surfaces for cattle. *Biosystems Engineering*, 108, 46-56.

APPENDIX 1, foto och diagram



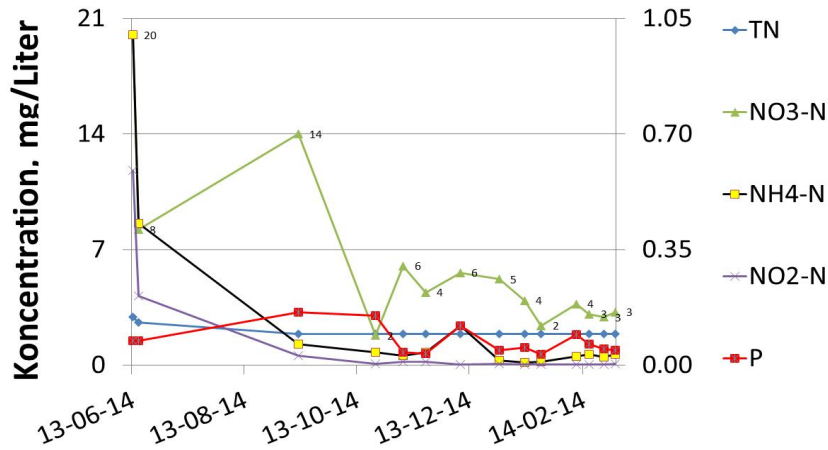
Figur 1. Anläggning av provytor hösten 2012, längst bort en mätstation samt provytor bortom staket.



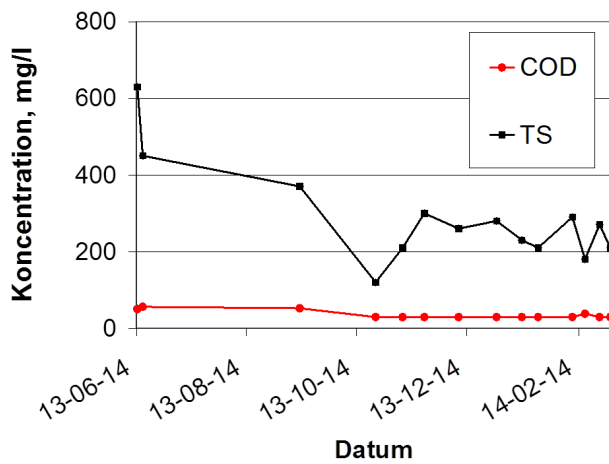
Figur 2. Vintern 2014-01-27, vårflod 140207 och upptorkning efter vårflod 150217 i paddockar.



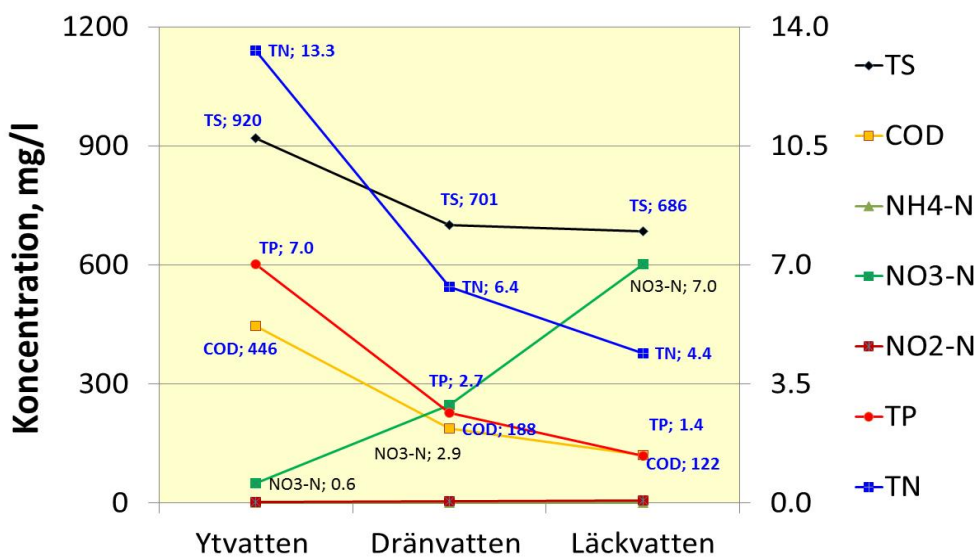
Figur 3. Restmängd gödsel vid gödselackumulering och ex på vätskeprover: yt-drän- och läckvätska från nederbördsstudien, foton av Hans von Wachenfelt.



Figur 4. Storleksordning och förändring över året hos föroreningar i provytan 'Kombinerad geotextil-grus', där samtliga parametrar är mycket lägre än för nötkreatur 2009, (TN, NH₄-N & NO₃-N vänster axel).



Figur 5. Storleksordning och förändring över året hos föroreningar i provytan 'Kombinerad geotextil-grus'. Både TS & COD är mycket lägre än för nötkreatur 2009.



Figur 6. Medelvärden av geotextil-grus provytor vid gödselborttagning, där fet blå stil visar signifikanta skillnader, sammanställning från nederbördsstudien.