

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, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsplanering, trädgård- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2015:16

ISBN 978-91-576-8906-1

Alnarp 2015

För att närmare studera rapporten hänvisas till LTV rapport 2015:16, SLU, Epsilon.

Finansiärer: Stiftelsen Hästforskning tillsammans med Region Skåne miljövårdsfond.

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).

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 bortförel 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

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

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

ha. Fästän 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). Geotextilfiber förbättrar den lastbärande kapaciteten (fördelar lasten över större yta), stabiliserar, förbättrar dräneringsförmågan och infiltration på platsen.

Barrington et al. (1998) fann 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, 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 studie av tre olika geotextil-grus konstruktioner (200 mm tjocklek) (von Wachenfelt, 2011), försökte man att identifiera den konstruktion som erhöll 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 erhöll 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 (Tytar 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).

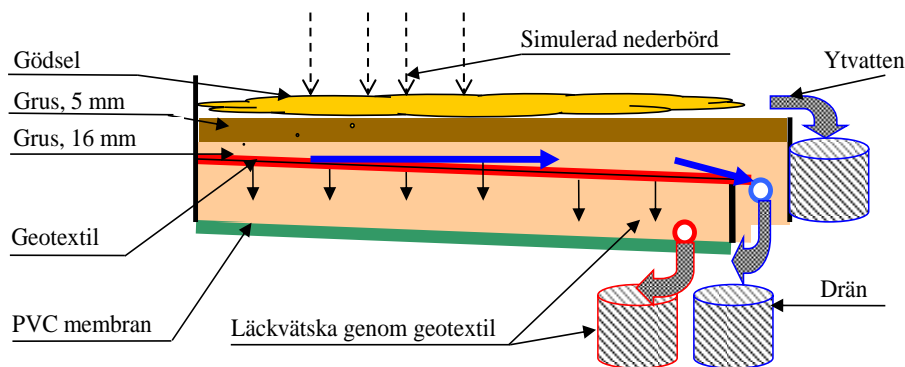
I det första experimentet, tillfördes gödsel för att senare direkt tas bort efter varje delförsök, vilket motsvarade regelbunden rengöring av ytan (gödselrengöring), medan i det andra experimentet, fick gödseln ackumuleras på försöksytan, dvs ingen rengöring (gödselackumulering).

Experimenten utfördes som två separata tidserier, den ena under två vintersäsonger, den andra som en simulerad nederbördsstudie. *Se vidare LTV rapport.*

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.

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. *Se vidare LTV rapport.*

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.

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 (Caselles et al., 2002), se tabell 2, *se vidare LTV rapport*.

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. Hästtäteten 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 provtagningstillfällena (1 gång/vecka), figur 2. Dessvärre kännetecknades det första årets mätningar av en lång torrperiod, vilket medförde endast en vintersäsong av mätningar. *Se vidare LTV rapport*.

Rören från paddockarna mynnade i var sin mätstation, där vippvågar och loggar 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). *Se vidare LTV rapport*.

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. *Se vidare LTV rapport*.

Figur. 3. Regnsimulator i arbete, *se vidare LTV rapport*.

2.5 Statistisk databearbetning

Försöksupställningen 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. *Se vidare LTV rapport*.

3 Resultat

3.1 Resultat från vintermätningar

Perioden från oktober till mars under den andra vintermätningen var regning förutom en frostperiod i slutet av januari, figur 2. Samtliga vintermätningvärden 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.

För samtliga tabeller 3-8, se vidare LTV-rapport.

3.2 Vätskemängder

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 provytor. Fastän liknande medelvärde erhöles i bägge experimenten fortsatte det att vara mycket ojämnt mellan upprepningarna. Detta medförde hög standardavvikelse för de flesta ytvattenflöden även om standardavvikelsen var låg för den enskilda provytan. Ett typiskt exempel var Grusbehandlingens ytvattenflöde i bägge experimenten.

För Singelbehandlingen var yt- och dränvätskeflödet signifikant lägre än hos övriga provytor, och fortsatte att vara så även i experimentet med gödselackumulering. Dränerings- respektive läckvätskans flödesintervall uppgick till 157 and 257 l/m² h respektive 62 and 166 l/m² h vid gödselrengöring, medan motsvarande flöden var 156-227 respektive 57-141 l/m² h vid gödselackumulering. Dräneringflödet var ojämnt mellan upprepningarna under bägge experimenten, vilket resulterade i SD värden av samma intervall och storleksordning med undantag för Grusbehandlingen.

För Kombinerad geotextilbehandling, var läckflödet signifikant lägre (62%) än för Singelbehandlingen i bägge experimenten. Standardavvikelsen hos läckvätskan vid gödselrengöring var ungefärligen det samma som för läckvätskan vid gödselackumulering.

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 (NH₄-N) uppstod en behandlingseffekt, med lägre värden för Kombinerad och Singel, med 0,43 respektive 0,66 mg/l (31 respektive 26 mg/m²) vid gödselrengöring och 0,42 respektive 0,22 mg/l (32 respektive 8 mg/m²) vid gödselackumulering, jämfört med Grus 1,13 mg/l (70 mg/m²) vid gödselrengöring respektive 1,02 mg/l (41 mg/m²) vid gödselackumulering.

3.4 Dräneringsvätska

En behandlingseffekt beroende på gödselhanteringen erhöles för TP, COD och TS i dräneringsvätskan. Vätskekonsentrationen (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 mg/m²) till 188 mg/l (8 509 mg/m²) vid gödselrengöring. Inga skilnader erhöles för nitrat- eller nitritkonsentrationerna i dräneringsvätskan under experimenten. Medelkonsentrationen 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 konsentrationer hos Singel vid gödselrengöring (1,9, 156 respektive 654 mg/l eller 72, 5 878 respektive 24 754 mg/m²) och vid gödselackumulering (4,6, 221 respektive 764 mg/l eller 179, 8754 respektive 23 388 mg/m²) jämfört med övriga behandlingar.

3.4 Läckvätska

Vid jämförelse mellan dränerings- och läckvätskan, tabell 7, befanns samtliga vätskekonsentrationer vara lägre i läckvätskan med undantag för för NO₃-N, NO₂-N och COD. Vid gödselrengöring, var konsentrationerna i läckvätskan lägre förutom för NO₃-N, NO₂-N och COD i Singel, men mätt som växtnäringskonsentration per m² provyta uppvisade samtliga parametrar utom NO₃-N en vikande tendens. Konsentrationen av NO₃-N i medeltal i läckvätskan var 193 respektive 215 mg/m² provyta för gödselrengöring respektive gödselackumulering, och för NO₂-N var konsentrationen ca 4,2 respektive 1,6 mg/m² provyta vid gödselrengöring respektive gödselackumulering.

En experimentel effekt erhöles för läckvätskan med avseende på totalfosfor, med en minskning om 48 %, vilket motsvarande en minskning i växtnäringskonsentrationen per m² med ca 32% vid gödselrengöring jämfört med gödselackumulering. Minskningen i medeltal för TP sträckte sig från 2,9 mg/l (109 mg/m²) vid gödselackumulering till 1,4 mg/l (35 mg/m²) vid gödselrengöring.

4 Diskussion

4.1 Vintermätningar

Förutom enskilda händelser, var föroreningskonsentrationerna 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.

Singelbehandlingens nitratkonsentration (NO₃-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 minskade i medeltal med 11 och 13 %, under de två experimenten i nederbördstudien, där ytvattenflödet var 7 % högre än dränvätskeflödet. Dräneringsflödet var 30 % lägre än hos provytor med grovgrus (von Wachenfelt, 2011) och läckflödet var 16 % högre. Trots detta, var flödet genom provytans profil 300 gånger per m² högre 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 kanter, 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 motsvarigheten till den Kombinerade geotextil behandlingen hade ett avtagande flöde. Det kontinuerligt avtagande flödet och föroreningskoncentrationen hos läckvätskan kan vara en effekt av biologisk tätning hos den bottenliggande geotextilen (Protexia FC21), vars porstorlek var minst hos de Kombinerade geotextilerna (Barrington et al., 1998).

Läckaget i medeltal från provytorna, 0,8 g/m², dygn i bägge experimenten, överskred den gräns som flertalet amerikanska miljömyndigheter kräver, dvs 0,6 g näringsämnen per m², dygn för täta membran. För provytan med den Kombinerade geotextilbehandlingen var läckaget precis över normen, 0,7 g/m², dygn vid både gödselrengöring och gödselackumulering. De avtagande läckaget tyder på att en tätande effekt skulle kunna inträffat om experimentet varat längre i tiden.

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 växtnäringssinnehållet 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 innehållet 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 Wachenfelt, 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 gynnades av provytans konstruktion (von Wachenfelt, 1998). Men den kan också delvis vara beroende av att pH-värdet medelvärde 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.

Växtnäringsvärdena 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 NO₃-N and NO₂-N, med högre NO₃-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 växtnäringsskoncentration. 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 växtnäringssämna samt COD och TS visade att förlusterna var likartade hos samtliga behandlingar och i båda experimenten. Upp mot 98 % av näringsämna 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 förättra 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- Keskinen, R., Nikama, J., Närvänen, A., Uusi-Kämppe, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, 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*.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. (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.