

Markrestaurering av grustäkt med kommunalt avloppsslam

– delrapport I: miljöeffekter

Tord Magnusson



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är obligatorisk. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anders Lago, ordförande	Södertälje
Olof Bergstedt	Göteborgs VA-verk
Roger Bergström	Svenskt Vatten AB
Daniel Hellström	Stockholm Vatten AB
Stefan Marklund	Luleå
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Anders Moritz	Linköping
Peter Stahre	VA-verket Malmö
Jan Söderström	Sv Kommunförbundet
Göran Tägtström	Borlänge
Agneta Åkerberg	Falkenberg
Steinar Nybruket, adjungerad	NORVAR, Norge
Thomas Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten AB

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Rapportens titel:	Markrestaurering av grustäkt med kommunalt avloppsslam – delrapport I: miljöeffekter
Title of the report:	Soil restoration with pelletized sewage sludge in a gravel excavation area. I: Environmental effects
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2006-13
Författare:	Tord Magnusson, institutionen för skogsekologi, SLU
VA-Forsk-projektnr:	98-130
Projektets namn:	Markrestaurering av avslutad grustäkt med kommunalt avloppsslam
Projektets finansiering:	VA-Forsk, Växjö kommun
Rapportens omfattning Sidantal: Format:	30 A4
Sökord:	Pelleterat avloppsslam, miljöeffekter, skog, markrestaurering, kväveutlakning, tungmetaller
Keywords:	Pelletized sewage sludge, environmental effects, forest, soil restoration, nitrogen leaching, heavy metals
Sammandrag:	Denna rapport beskriver miljöeffekter, framför allt på grundvattnets kvalitet, efter gödsling med pelleterat avloppsslam i tallungskog på avslutad grustäkt.
Abstract:	This report describes environmental effects, mainly regarding groundwater quality, after fertilization with pelletized sewage sludge in a young pine stand established on a terminated gravel excavation area.
Målgrupper:	Verksamma inom VA-sektorn och skogssektorn, samt tjänstemän inom kommuner och andra myndigheter
Omslagsbild:	Försöksområdet 2001, samt (infällt) i april 2005, efter stormen "Gudrun". Fotograf: Tord Magnusson
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som pdf-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2006
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Detta forskningsprojekt har tillkommit på initiativ av Växjö kommun och SLU, i nära samarbete. Växjö kommun (Steve Karlsson, Jessica Cedervall, Jens Olsén och Anneli Ekstedt) har varit huvudansvarig för projektet, för den ekonomiska redovisningen och haft en samordnande funktion, medan SLU, institutionen för skogsekologi (Tord Magnusson), har stått för den vetenskapliga ledningen. Vid projektets etablering bidrog även Per Petersson, Asa försökspark, SLU, med värdefull kompetens. Andra medarbetare inom såväl Växjö Kommun som vid Asa försökspark, SLU, har utfört provtagningar (grundvatten) och fältmätningar (beståndsinventering) under försöksperioden. Kemiska analyser av grundvatten, jord och växtmaterial har gjorts dels vid Miljöforskningslaboratoriet, inst. för skogsekologi, SLU, och dels vid Växjö Kommuns laboratorium.

Projektet har erhållit ekonomiskt stöd från VA-Forsk, Växjö Kommun och SLU. Sten-Ove Nilsson, Växjö, ägare till fastigheten Gottåsa 1:14, har upplåtit mark för försöket.

Vi tackar samtliga parter för respektive bidrag till undersökningen!

Föreliggande rapport är delrapport I, vilken tar upp miljö- och växtnärlingsrelaterade behandlingseffekter. Delrapport II, innefattande tillväxteffekter av behandlingarna, kommer att sammanställas efter den avslutande tillväxtrevisionen hösten 2006.

Tillägg – april 2005:

På grund av den svåra stormen i januari 2005 har tyvärr stora delar av försöket spolierats genom vindfällning. Vidden av skadorna stod klart först i april. Projektansvariga har därför tagit beslutet att tidigarelägga den slutliga tillväxtinmätningen två vegetationssäsonger, dvs. den måste göras under våren/försommaren 2005 istället för hösten 2006.

Umeå den 16/6 2005
Tord Magnusson

Växjö den 16/6 2005
Steve Karlsson

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	7
Summary	8
1 Inledning	9
2 Material	9
2.1 Försökslokal	9
2.2 Pelleterat slam	9
3 Metoder	11
3.1 Grundvatten	11
3.2 Spridning av pellets	11
3.3 Inmätning av bestånd	11
3.4 Markprovtagning och barrprovtagning	12
3.5 Kemiska analyser	12
3.5.1 Vatten	12
3.5.2 Jord- och barranalyser	12
3.6 Statistisk bearbetning	12
4 Resultat	13
4.1 Beskrivning av grundvatten förhållanden	13
4.2 Grundvattenanalyser	15
4.3 Markanalyser	16
4.4 Barranalyser	20
4.4.1 Kol, makronäringsämnen och spårelement	20
4.4.2 Barrvikt	21
5 Diskussion	22
Referenser	24
Bilaga A	25

Sammanfattning

Projektets syfte är att undersöka om pelleterat kommunalt avloppsslam är lämpligt för markrestaurering och återbeskogning av grustäcker och liknande vegetationsfria mineraljordsytor. Ett fältförsök anlades år 2001 i en avslutad grustäkt i Gottåsa, Kronobergs län, vilken planterats med tall omkring 1980. Försöket innefattar fyra olika behandlingar, vilka är upprepade tre gånger. Parcellstorleken är 40 x 40 m. Givorna av slampelletens var 3,8, 7,6 och 11,4 ton TS pellets per hektar, vilket motsvarar en tillförsel av 165, 325 respektive 490 kg ren kvävenäring. Denna delrapport behandlar i första hand behandlingarnas miljöeffekter, medan trädens tillväxtreaktioner presenteras i en kommande rapport.

Grundvattnets kvalitet kontrollerades under tre år efter behandling. Inga signifikanta effekter på utlakning av ämnen, orsakade av slamtillförseln, kunde observeras. Slammet gav däremot upphov till signifikant högre pH-värde i markens humuslager, samt tendenser till både högre halter och totalmängder av kol och kväve. Säkerställda effekter på barrens ämnesinnehåll begränsade sig till att barren från ytor med största givan hade högre halter av mikronäringsämnet bor. En annan reaktion från träden var att barrens medelvikt ökade med slamgivans storlek.

Resultaten innebär att en engångsgiva om 11 ton slampelletens, eller 490 kg organiskt bundet kväve, kunnat tillföras utan att negativa miljökonsekvenser i form av utlakningsförluster påvisats. Detta ska dessutom tolkas mot bakgrund av att det valda försöksområdets jordart måste betecknas som extremt utlakningsbenägen. Slutsatsen blir därför att risken för sådana negativa miljökonsekvenser vid markrestaurering med slampelletsgivor upp till 11 ton/ha, är liten.

Summary

The aim of this project is to investigate if pelletized municipal sewage sludge is suitable for soil restoration and reforestation of mined-out gravel pits and similar bare mineral soil surfaces. A field trial was established in the year 2001, in Gottåsa, 25 km W of Växjö, Southern Sweden. At the time of establishment, this site had a 20 year old stand of slow-growing Scots pine. The plot size is 40 x 40 m. The trial has four treatments (0, 3.8, 7.6 and 11.4 tonnes (dw) of pelletized sludge per hectare) and three replications. These doses corresponds to 0, 165, 325, and 490 kg of nitrogen.

This report presents mainly environmental treatment effects, while effects on tree growth will be treated in a coming report.

Groundwater quality was monitored during three years after treatment. No significant effects caused by the treatments, were observed in the groundwater. The pH in the surface soil was significantly higher with increasing sludge dose, and there were clear but non-significant indications of higher concentrations and amounts of both carbon and nitrogen. Pine needles contained significantly higher concentrations of the micronutrient boron. There were no significant effects on any other nutrient, and no indications of increased uptake of heavy metals. The trees responded positively to the fertilization, however, by a significant increase in average needle weight.

These results confirms that a single dose of 11 tonnes of pelletized sludge, corresponding to almost 500 kg of (mainly) organically bound nitrogen, could be added without negative environmental consequences in the form of leaching to the groundwater. This is in spite of the fact that the site and soil chosen was extremely prone for leaching, having very coarse soil texture, very sparse ground vegetation and almost no humus layer. Therefore, the general conclusion is that soil restoration of these types of sites with pelletized sludge amendments of up to 11 tonnes per hectare can be done without risk for negative environmental consequences.

1 Inledning

I alla Sveriges kommuner finns pågående och avslutade sand-, grus- och moräntäkter, vilka sammantaget utgör en betydande markareal. Förutsättningarna för växter på avslutad täktyta är mycket dåliga, eftersom den oftast grova jordarten och avsaknaden av organiskt material på och i marken dels ger en mycket torr mark och dels ger mycket låg tillgång på växtnäringsämnen. Täktområden är extrema exempel på besvärliga etableringsförhållanden för vegetationen, men såväl problemen som återställningsmetoderna är desamma som för andra helt störda markområden (exv. i samband med vägbyggnad, återställning av industritomter, med mera).

Slam från kommunala avloppsreningsverk är en restprodukt som innehåller organiska (mullbildande) ämnen och växtnäringsämnen. Numera finns tekniker för pellettering och torkning av slam, vilket gör produkten lätthanterlig, lagringsbar, luktfri och fri från smittämnen. Tillförsel av slam till en avslutad jordtäkt förbättrar just de markförhållanden som försvårar växternas naturliga återetablering – jordens bristande vattenhållande förmåga och låga växtnäringstillgång (framför allt kväve). Det höga näringsvärdet gör slam till en värdefull resurs som borde återföras till det naturliga näringskretsloppet i högre grad än vad som sker idag.

Syftet med detta projekt är att undersöka om slam är lämpligt för markrestaurering och återbeskogning av grustäkter. Denna bedömning görs mot bakgrund av, å ena sidan, behandlingarnas effekter på vegetationens etablering och tillväxt, och å andra sidan behandlingarnas effekter på grundvattnets kvalitet.

2 Material

2.1 Försökslokal

Fältförsöket lades ut år 2001 (Figur 2-1, nedan). Försöket är utlagt på en äldre, planterad men ej markrestaurerad, täktbotten inom fastigheten Gottåsa 1:14, i Alvesta kommun, Kronobergs län (geografiska koordinater N 56.44.500; E 14.29.200). Markägare är Sten Ove Nilsson, Växjö. Täktområdet ligger inom ett av de talrika stråk med åsar och fält av grovt isälvsmaterial, eller glaciifluvium, som utbildats i samband med inlandsisens avsmältning. Markområden norr och söder om Alvesta och Hjortsberga har under lång tid exploaterats för produktion av naturgrus.

Efter täktverksamhetens upphörande, omkring 1980, planterades området med tall. År 2001 uppvisade de centrala delarna av täktområdet en mycket svagväxande 5–6 meter hög tallungskog.

Försöksdesignen¹ är ett blockindelad parcellförsök, med fyra behandlingar och tre upprepningar (Figur 2-1). Behandlingarna är 0 (kontroll), samt 3,8 ton TS, 7,6 ton TS och 11,4 ton TS slampellets per hektar. Parcellstorleken är 40 x 40 m, med en nettoparcell för tillväxtbestämning om 30 x 30 m. Indelning i block gjordes eftersom beståndet inte var helt homogent över hela täktytan. Inom varje grupp av fyra provytor, dvs. block, bestämdes varje provytas behandling genom lottning, dvs. slumpmässigt.

2.2 Pelleterat slam

Det spridda slammet kommer från Himmerfjärdsverket i Stockholm (Tabell 2-1). Ursprunget är ett färskt (ej rötat) avloppsslam. Detta slam är inte processat i en speciell pelleterings- och torkningsprocess (vilket finns vid ett fåtal reningsverk), utan

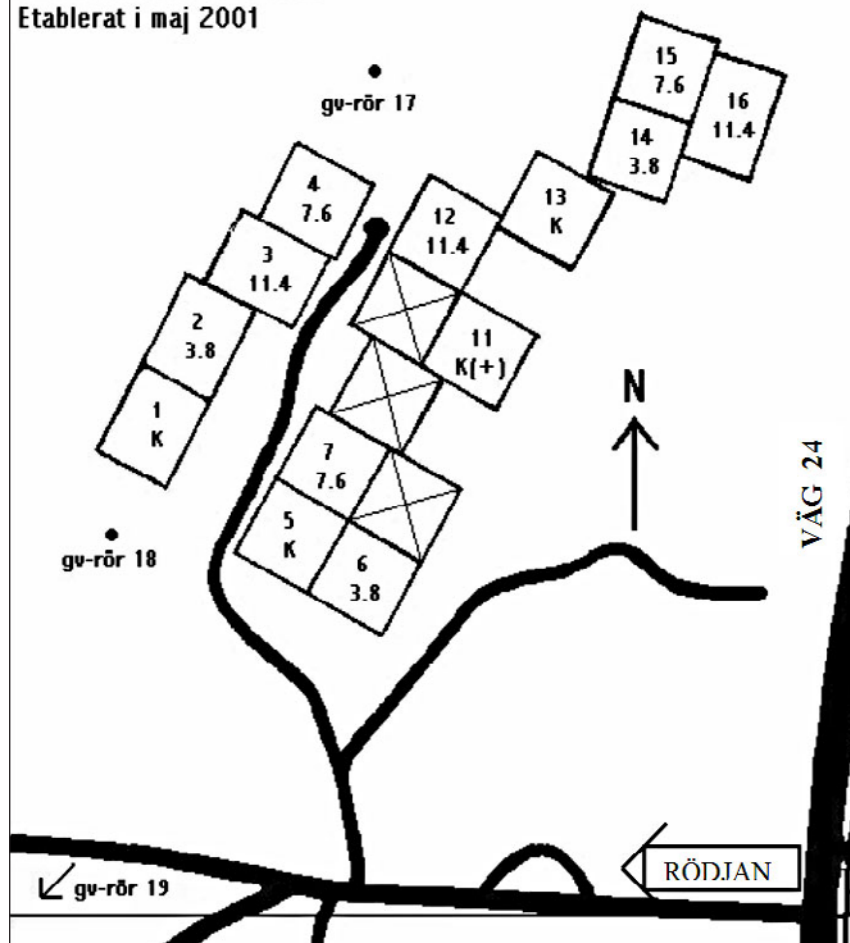
1 Anmärkning: Försökets ursprungliga utformning var fyra behandlingar och fyra upprepningar. På grund av stora svårigheter med att installera grundvattenrör ner till tillräckligt stort djup på alla ytor, gjordes en ny blockindelning där ytor med ej fungerande grundvattenrör uteslöts.

Slamgödslingsförsök - Gottåsa

0, 3.8, 7.6, 11.4 ton TS slampellets/ha

Parcellstorlek: 40 x 40 m

Etablerat i maj 2001



Figur 2-1. Gödslingsförsökets belägenhet och uppläggning.

Tabell 2-1. Kemisk sammansättning av spridda slampellets från Himmerfjärdsverken, Sthlm. Medelvärden baserade på 3 st generalprov, vart och ett bestående av 3 väl blandade delprov.

pH, kol och makronäringsämnen:		Mikronäringsämnen och övr. spårelement:	
pH	7,10	As, mg/kg TS	4,2
TotC, g/kg TS	298	B, mg/kg TS	8
TotN, g/kg TS	43	Cd, mg/kg TS	1,20
P, g/kg TS	38	Co, mg/kg TS	6,4
K, g/kg TS	1700	Cr, mg/kg TS	149
Ca, g/kg TS	26	Cu, mg/kg TS	317
Mg, g/kg TS	4	Fe, mg/kg TS	54000
S, g/kg TS	11	Mn, mg/kg TS	208
		Mo, mg/kg TS	11,0
		Na, mg/kg TS	560
		Ni, mg/kg TS	27
		Pb, mg/kg TS	15,3
		Se, mg/kg TS	2,2
		Zn, mg/kg TS	1360

den pellets- eller granullliknande formen uppkommer vid den ordinarie efterbehandlingen av slammet. Det centrifugerade, men fortfarande fuktiga, slammet tumlas i en långsamt roterande trumma, samtidigt som ytterligare torkning sker genom att trummans väggar har en temperatur på ca 300–350 grader. Slutprodukten är en mer eller mindre rund partikel (ca 0,5–2 cm), vilken upphettats och därmed steriliserats. Den har dock inte torkats ner till så låg vattenhalt som sker i de specialbyggda pelleterings/torkningsanläggningarna, varför lagringsdugligheten är dålig. Orsaken till att slam från Himmerfjärdsverket användes i detta försök var att vid spridningstillfället kunde leverans inte erhållas från någon av det fåtal anläggningar för pelletering av avloppsslam som då fanns i Sverige (och Danmark). Detta bedöms dock inte ha någon betydelse för effektstudierna.

Slammet från Himmerfjärdsverken hade högt innehåll av de viktiga växtnäringsämnena kväve och fosfor (Tabell 2-1). Totalmängder kväve som tillfördes med de tre doserna var 165, 325 och 490 kg N per hektar och för fosfor 145, 290 och 435 kg P per hektar. Med avseende på tungmetaller är det använda slammet något mer förorenat än ett genomsnittligt svensk kommunalt avloppsslam, men håller sig inom de gränsvärden som satts upp av

Naturvårdsverket för alla ämnen utom krom och zink (SNV:s vägledande övre gränsvärde för krom är 100 mg/kg och för zink 800 mg/kg).

3 Metoder

3.1 Grundvatten

Grundvattenrör (polyeten) installerades i april 2001 av Vägverket konsult med hjälp av borrhigg och personal från Växjö kommun. Rören är placerade nära centrum av varje parcell. Dessutom installerades tre ytterligare grundvattenrör på större avstånd från försöksytorna. Syftet med dessa externa referensrör är att kunna utesluta möjligheten att resultaten från själva försökets obehandlade kontrolltytor påverkas av på kontaminering från omgivande behandlade ytor.

Terrängförhållandena inom försöksområdet beskrevs genom att markytanivån vid varje grundvattenrör bestämdes med avvägningsinstrument. Grundvatten-nivån i rören bestämdes med klucklod. Syftet med avvägning av markytan, och därmed även grundvattenytans absoluta läge, är att kunna grovt beskriva hur grundvattnet rör sig inom försöksområdet.

Grundvattnet provtogs tre gånger per år under 3 års tid, förutom under första året, 2001, då en extra provtagning gjordes före spridning av slammet. Vattenprov för kemiska analyser togs med manuell undertryckspump, efter tömning och återfyllning av rören. Vattnet överfördes till syradiskade plastflaskor och levererades samma dag till kommunlaboratoriet för omedelbar mätning av pH och elektrisk ledningsförmåga. Nedfrusna delprov sändes till Miljölaboratoriet i Umeå.

3.2 Spridning av pellets

Slammet levererades i en stor container i slutet av maj 2001, och spreds i månadsskiftet maj/juni. Maskinell spridning utfördes av Vitaliseringsfirman Askungen. Spridningsutrustningen var en specialbyggd utrustning som normalt används för spridning av biobränsle-aska i skogsmark; i princip bestående av ett chassi och mataranordning liknande en vanlig stallgödselspridare, kombinerat med en centrifugal-spridare längst bak.

Upprepade stickprov av slampellets togs från containern, för bestämning av vattenhalt, volymvikt, och för kemiska analyser.

3.3 Inmätning av bestånd

Parcellerna mättes in under april 2001. Diameter-mätning av samtliga träd inom varje parcell, samt höjdmätning av vart 10:e träd (provträd).

3.4 Markprovtagning och barrprovtagning

Provtagning av markens ytskikt, samt av barr, gjordes i april 2004, dvs. ca tre år efter gödsling. På varje parcell togs delprov av markens ytskikt på nio punkter, enligt ett slumpmässigt utlagt systematiskt provtagningsnätverk. Ytskiktet provtogs med en s.k. humusprovtagare, dvs. ett PVC-rör (diam. 10,5 cm) försett med ett fastnitat järnfilsblad som borrhkrona. En jordpropp, ner till högst 5 cm djup från markytan, togs i varje provtagningspunkt. Proppens undre gräns bestämdes av övergången mot ren mineraljord, vilken var relativt abrupt och tydlig i de flesta punkter. Om så inte var fallet, togs proppen ner till 5 cm djup under markytan. Från den upptagna proppen avskildes därefter med kniv eller sax det överst liggande förna-skiktet (betecknat S/L). Detta utgjordes dels av löst liggande döda växtdelar såsom barr med mera, dels av moss-stammarnas och lavarnas översta delar (den levande, gröna delen). Resten, därunder, utgjorde förmultnings-/humusämnes-skiktet (betecknat F/H). S/L-skikten från samtliga nio provtagningspunkter sammanfördes till ett s.k. generalprov för ytan. Dito för F/H-skikten.

Barrprov togs från tio tallar, slumpvis utvalda inom varje parcell. Från varje träd togs med teleskop-sax en grenspets från övre tredjedelen av kronan. Totalt 20 st dubbelbarr, jämnt fördelade från skottets bas till dess spets, togs från ett årsskott (2003) på grenen. Samtliga barr från de tio olika årsskotten/träden på ytan sammanfördes till ett generalprov för ytan.

3.5 Kemiska analyser

3.5.1 Vatten

På VA-labbet vid avloppsreningsverket Sundet, Växjö, har pH-värden (metod enl. SS028122) mätts med en pH 597 (WTW) pH meter, utrustad med en gelelektrod (Polilyte Bridge Lab, Hamilton). Elektrisk konduktivitet (metod enl. SS028123) bestämdes med LF 358 (WTW) konduktivitmätare. Ammoniumkväve (NH_4), enligt metod ASN 145-02/90, bestämdes med Aquatec 5400 (Tecator). Även nitrit-halterna i vattnet analyserades, men eftersom halten

endast i enstaka fall överskred detektionsgränsen (0,001 mg/l) rapporteras inte enskilda värden.

På Miljöforskningslaboratoriet i Umeå bestämdes totalt organiskt (TOC) och oorganisk kol (IC) i vattnet med en Shimadzu TOC-5000. Totalkväve (TotN), efter oxidation med kaliumperoxodisulfat, och nitrat (NO_3) bestämdes spektrofotometriskt med FIA (Tecator 5012). Slutligen bestämdes totalhalter av metaller och fosfor i vattnet med ICP/MS-DRC (Perkin Elmer Elan 6100).

3.5.2 Jord- och barranalyser

Insamlade jordprov (generalprov bestående av 9 delprov/parcell), samt barrprov (generalprov bestående av delprov från 10 träd/parcell), bearbetades genom 1) torkning (70 °C), 2) grovmalning, 3) homogenisering, 4) finmalning. Ett slumpmässigt utvalt delprov om 100 st dubbelbarr per yta vägdes efter torkning, för att erhålla en skattning av medelbarrvikt.

Totalinnehåll av kväve (TotN) och kol (TotC) bestämdes vid Miljöforskningslaboratoriet i Umeå genom torrförbränning i en Perkin Elmer Elemental Analyzer CHN 2400. Totalanalys av övriga ämnen (makro- och mikronäringsämnen, spårelement) gjordes, efter uppslutning i $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$, med ICP/MS-DRC (Perkin Elmer Elan 6100).

3.6 Statistisk bearbetning

Resultaten av mark- och barranalyser har testats för behandlingseffekter med tvåvägs variansanalys (faktorer: pelletstillsats och block). Behandlingseffekter i grundvattnet har testats med en liknande tvåvägs analysmodell, baserad på variabelernas medelvärden över tiden. Dessutom har variansanalys gjorts för varje enskilt provtagningsstillfälle, för att söka efter eventuella signifikanta behandlingsskillnader vid enstaka tillfällen under den treåriga observationsperioden.

Signifikanstesterna har genomgående baserats på en konfidensnivå på 0,95 ($p < 0,05$). Variansanalyser, inkl statistiska tester, har utförts i Systat 7.0. Huvuddelen av figurerna har konstruerats i Excel.

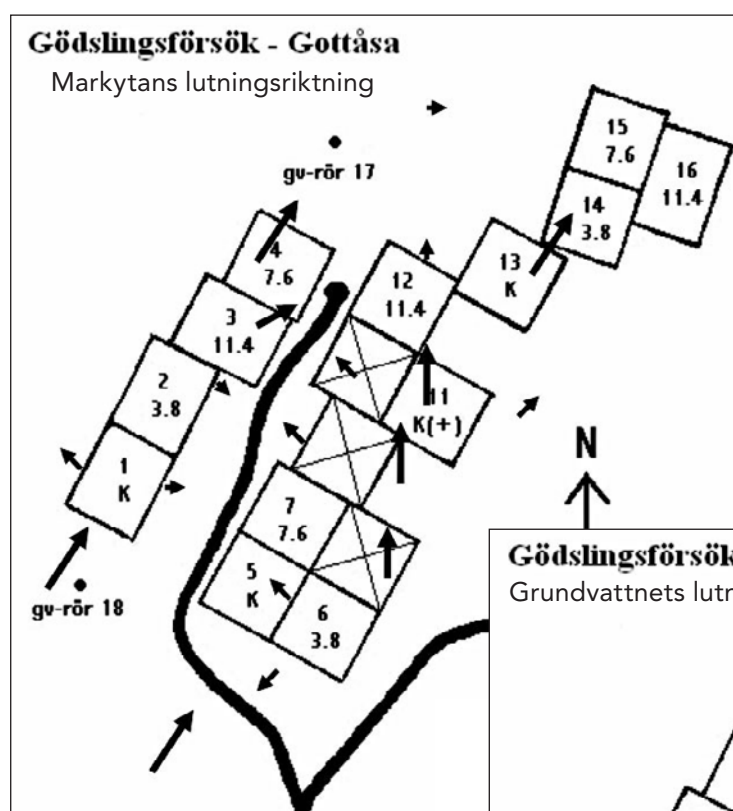
4 Resultat

4.1 Beskrivning av grundvatten förhållanden

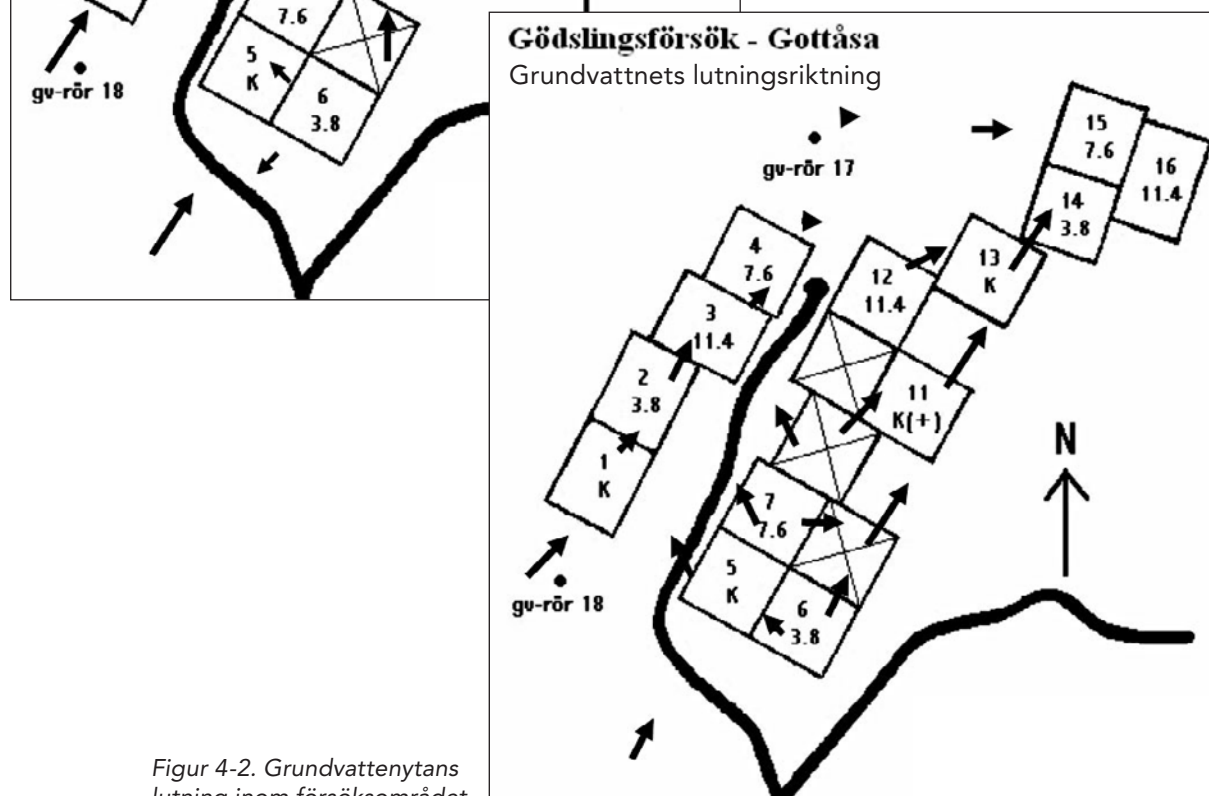
Det ca 200 x 300 m stora försöksområdet, som helhet, lutar svagt mot NNO (Figur 4-1). Inom området är dock markytan svagt undulerande; körvägen sammanfaller med en grund sänka genom försöksområdet, vilken omges av låga ryggar på ömse sidor, allt i svag lutning mot NNO.

Grundvattenytan inom området lutar på liknande sätt mot NNO (Figur 4-2). Det är till och med så att grundvattenytan stupar något brantare än markytan (Tabell 4-1, nedan). Detta medför att det ytliga grundvattnet med all sannolikhet rör sig, i huvudsak, i NNO riktning.

I ett grusigt material utbildas normalt en relativt jämn grundvattenyta, i stort sett oberoende av mindre ojämnheter i markytan. Det beror på att perkolationen av infiltrerande nederbörd ner till grundvattenytan, liksom sidledes transport i grundvattenzonen, är mycket snabb i det grovkorniga materialet. Försöksområdet uppvisar dock betydande variation, där det mest framträdande är att grundvattenytan i



Figur 4-1. Markytans lutning inom försöksområdet.



Figur 4-2. Grundvattenytans lutning inom försöksområdet.

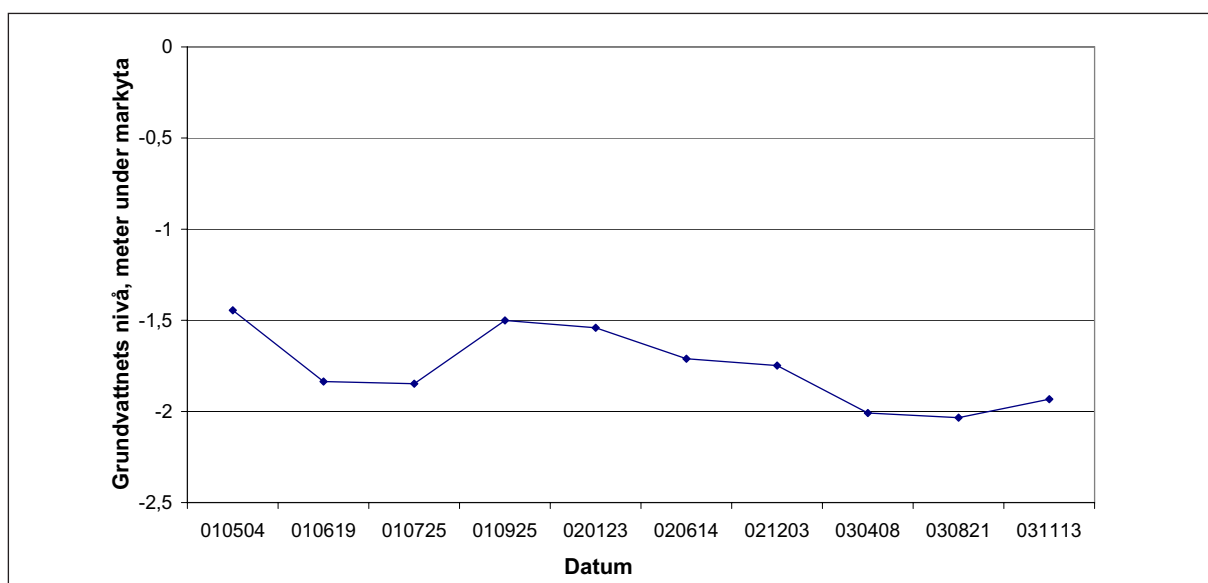
Tabell 4-1. Markytans och grundvattenytans läge inom försöksområdet.

Parcell nr.	Marknivå rel. markyta yta 6, m	Medel-gvy nivå rel. markyta yta 6, m	Medel-gvy nivå rel. lokal markyta, m
6	0,00	-1,56	-1,56
5	-0,30	-1,22	-0,92
7	-0,48	-1,63	-1,14
3	-0,89	-2,92	-2,02
1	-1,04	-2,31	-1,27
2	-1,24	-2,58	-1,35
4	-1,26	-3,03	-1,77
11	-1,46	-3,29	-1,83
13	-1,83	-3,65	-2,55
12	-1,89	-3,00	-1,11
15	-2,34	-4,86	-2,52
16	-2,34	-4,80	-2,46
14	-2,35	-4,81	-2,46

områdets nordöstra del (parcellerna 13–16) ligger mer än tre meter djupare än i dess södra del (parcell 6). Detta kan orsakas av underliggande berggrunds ytformer, av ytformerna i eventuellt underliggande finkornigare material, eller av inhomogenitet (exv. skiktning med finkornigare lager) i isälvs materialet. En möjlig tolkning av grundvattenytans allmänna lutning är att det grova isälvs materialet har störst mäktighet i områdets nordöstra del (parcellerna 13–16), där grundvattenytan ligger djupast, medan högre liggande berggrund och/eller finkornigare material bestämmer grundvattenytans högre nivå i områdets södra-sydvästra delar.

Analysen av grundvattenytans absoluta nivåer, och därmed grundvattnets rörelseriktning, bekräftar att de externt placerade grundvattenrören (rör 17, 18 och 19), vilka avsågs representera grundvatten som helt säkert inte påverkats av behandlingsytorna inom försöket, fyller sin funktion. För övrigt verkar risken för kontaminering av grundvattnet i kontrollytorna nr. 1 och nr. 5 vara mycket liten, eftersom de bägge ligger längst "uppströms" med avseende på grundvattnets troliga rörelseriktning i området.

Grundvattenytan uppvisar en årstidsvariation på ca 0,5 m (Figur 4-3), samt en svagt sjunkande trend från 2001–2003.



Figur 4-3. Medelavstånd från markytan till grundvattenytan inom försöksområdet under den 2,5 år långa observationsperioden.

4.2 Grundvattenanalyser

Analyser av grundvattnets kvalitet, baserat på medelvärden för hela den 2,5 år långa observationsperioden, visar inga statistiskt säkerställda effekter av slampelletts-tillförseln. Det finns dock några tendenser som kan kommenteras. Kontrolllytorna tenderar faktiskt att ha avvikande höga medelvärden för flera mätvariabler, bl.a. några av tungmetallerna (Tabell 4-2). En närmare analys visar att detta härrör

sig från kontrollytorna i block 2, särskilt till den extra insatta kontrolllytan parcell nr 11. Resultatet av variansanalysen innebär att det inte finns några säkerställda skillnader som har med försöksbehandlingarna att göra, men att block 2 (delområdet) för vissa variabler avviker signifikant från de andra blocken. Slutsatsen blir därmed att den något avvikande vattenkvaliteten måste hänföras till den slumpmässiga naturliga variationen, eller att dessa kontroll- ytor av slump råkat hamna där någon punktföro- rening skett (under den aktiva täktverksamheten).

Tabell 4-2. Grundvattnets innehåll. Medelvärden (+/- medelfel) under observationsperioden (2001- 05-04– 2003-11-13) för samtliga mätta kemiska variabler.

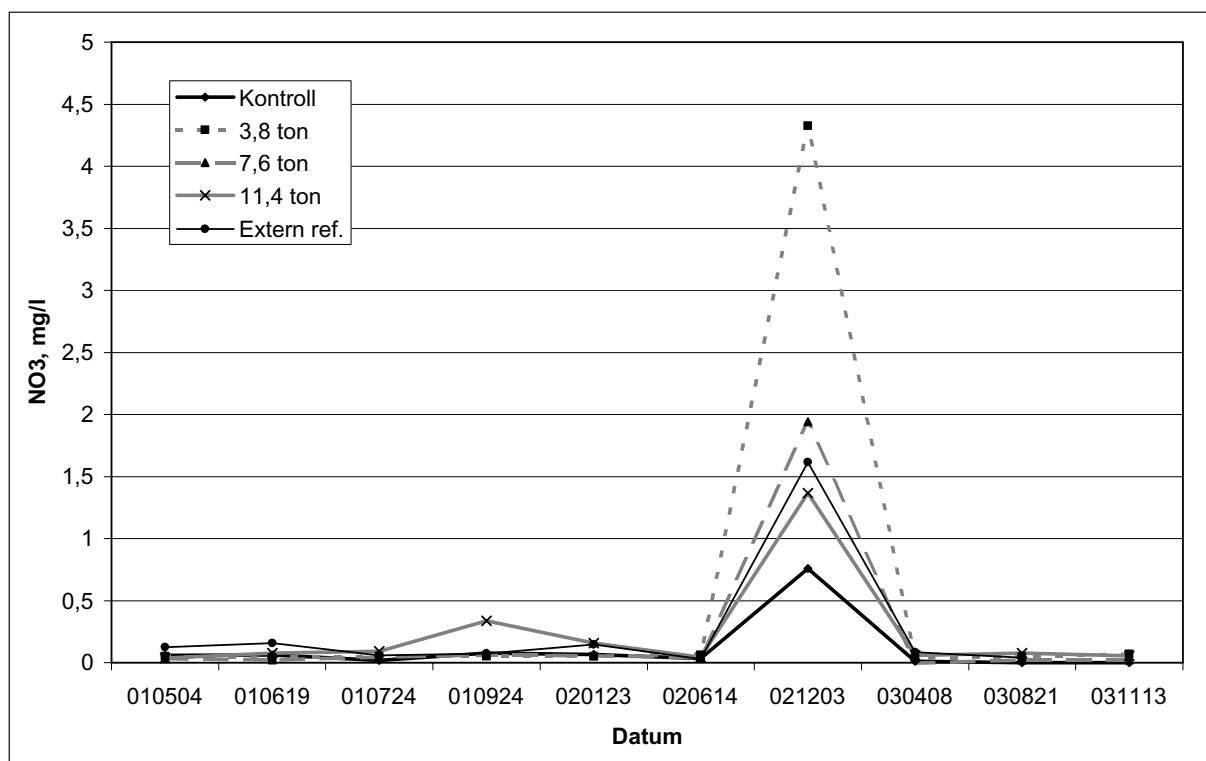
	Kontroll (n=4)		3,8 ton (n=3)		7,6 ton (n=3)		11,4 ton (n=3)		Extern ref. (n=3)	
	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel
pH	6,4	0,06	6,5	0,08	6,5	0,06	6,4	0,06	6,4	0,07
Kond., mS/m	9,5	0,6	6,9	0,2	7,5	0,8	6,2	0,3	4,6	0,1
TOC, mg/l	5,5	0,5	3,9	0,4	4,5	0,6	3,5	0,2	3,8	0,5
IC-Alk, mg/l	5,0	0,4	3,0	0,3	3,4	0,5	2,4	0,2	3,6	0,7
Ntot, mg/l	0,46	0,07	0,78	0,35	0,51	0,17	0,47	0,09	0,48	0,14
NH ₄ , mg/l	0,05	0,01	0,02	0,00	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
NO ₃ , mg/l	0,12	0,05	0,50	0,35	0,26	0,16	0,22	0,08	0,27	0,13
Al, ug/l	194	70	81	25	29	10	80	17	26	6
As, ug/l	0,18	0,02	0,10	0,01	0,13	0,02	0,10	0,01	0,09	0,01
B, ug/l	6,7	0,5	4,9	0,6	5,5	0,6	4,8	0,4	5,7	0,7
Ca, mg/l	6,3	0,4	4,7	0,2	4,9	0,5	3,6	0,1	6,2	1,1
Cd, ug/l	0,08	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01
Co, ug/l	2,06	0,53	0,23	0,04	1,75	0,69	0,27	0,06	0,34	0,18
Cr, ug/l	1,5	0,1	0,9	0,1	1,0	0,1	0,9	0,1	0,9	0,1
Cu, ug/l	5,3	0,7	3,1	0,3	3,4	0,6	3,1	0,5	2,8	0,5
Fe, mg/l	0,223	0,062	0,086	0,027	0,219	0,118	0,092	0,022	0,042	0,015
K, mg/l	2,6	0,4	1,3	0,1	1,4	0,1	1,4	0,0	1,5	0,1
Li, ug/l	0,36	0,09	0,23	0,04	0,21	0,03	0,55	0,31	0,16	0,05
Mg, mg/l	2,2	0,1	1,5	0,1	1,7	0,2	1,3	0,1	1,3	0,1
Mn, ug/l	393	125	15	3	212	79	20	6	89	72
Mo, ug/l	0,89	0,39	0,15	0,04	0,25	0,05	0,29	0,07	0,32	0,08
Na, mg/l	3,9	0,2	3,8	0,1	4,0	0,2	3,8	0,1	3,1	0,1
Ni, ug/l	4,1	1,6	0,8	0,2	1,1	0,2	1,9	0,7	0,5	0,1
P, ug/l	14	4	13	8	4	1	8	2	6	2
Pb, ug/l	0,65	0,25	0,31	0,12	0,22	0,07	0,28	0,07	0,12	0,03
S, mg/l	2,7	0,3	2,1	0,2	2,3	0,2	2,2	0,2	1,9	0,2
Se, ug/l	0,4	0,04	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02
Si, mg/l	3,5	0,2	3,1	0,3	2,9	0,3	2,7	0,3	3,1	0,4
V, ug/l	0,8	0,11	0,4	0,06	0,5	0,08	0,4	0,03	0,4	0,04
Zn, ug/l	10	1,8	7	1,7	10	2,1	10	2,0	7	1,0

Separat variansanalys av varje provtagningsomgång ger inte heller några belägg för att tillförsel av slam-pellets har påverkat grundvattnets kvalitet.

Grundvattnets innehåll av olika ämnen varierar måttligt mellan provtagningsstillfällena, och uppvisar inga generella trender över observationsperioden (se bilaga). En episod med till synes kraftig nitratutlakning, i december 2002, är dock iögonfallande och bör kommenteras (Figur 4-4). Det faktum att samtliga försöksled, inkl kontroll och extern referens, har ca 10–100 ggr högre nitrathalter i grundvattnet vid detta tillfälle visar att episoden inte är kopplad till slamgödslingen. Möjligen skulle orsaken kunna vara att en i något avseende speciell klimatsituation föregått provtagningen. En alternativ förklaring är helt enkelt att vattnet i samtliga provkärl av misstag förorenats på något sätt, i samband med provtagning eller provhantering. Det finns dock inga belägg för någon av dessa hypoteser.

4.3 Markanalyser

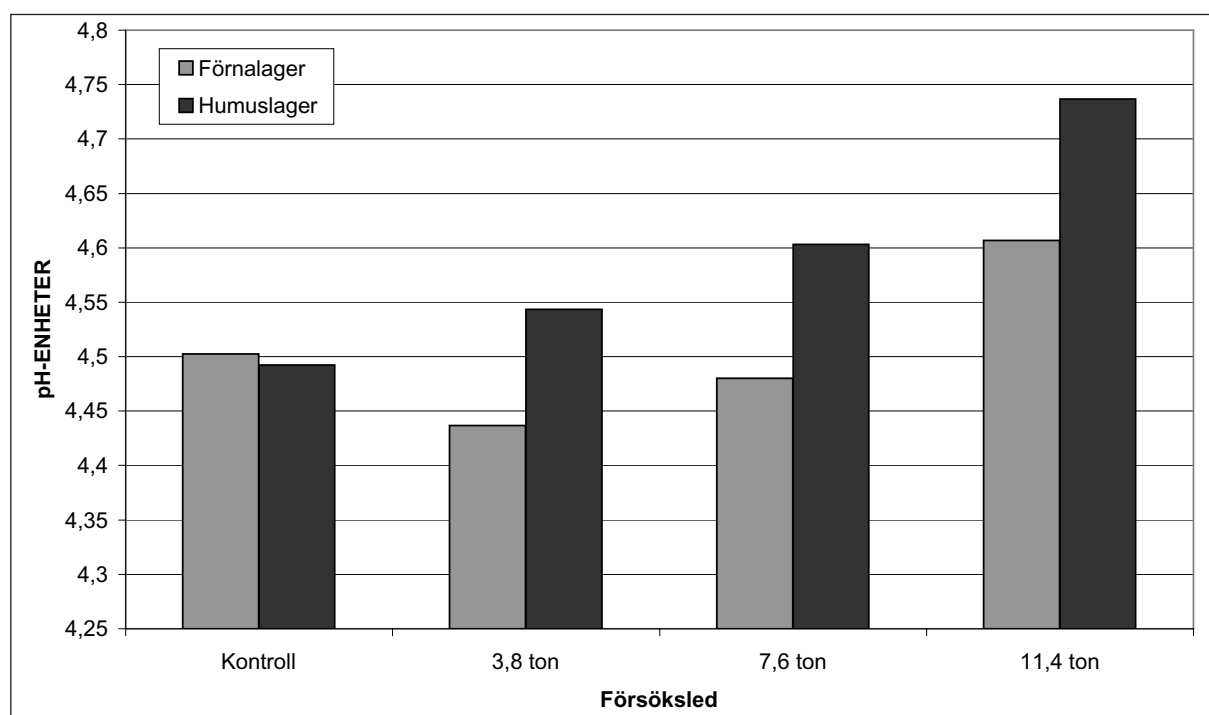
Tillsatsen av slam-pellets har gett effekter på markens pH-värde. Högsta dosen (11,4 t) har gett ett signifikant högre pH i humuslagret jämfört med kontrollytorna (Tabell 4-3, Figur 4-5). Däremot uppvisar inte markens ytskikt några signifikanta behandlingseffekter på kolhalt eller kvävehalt, men för bägge variablerna finns en tendens till ökning med ökande pellets-giva, speciellt i humuslagret (Tabell 4-3, Figur 4-6). En skattning av mängder kol- respektive kväve per hektar har gjorts på grundval av uppmätta halter, jordvikt och provtagen areal markyta (Tabell 4-4, Figur 4-7, Figur 4-8). Trenden för totalmängder av kol och kväve är densamma som för halterna, dvs. ökad mängd i marken med högre pellets-giva, men även i detta fall är den interna variationen så stor att skillnaden mellan kontroll och högsta giva inte är statistiskt säkerställd.



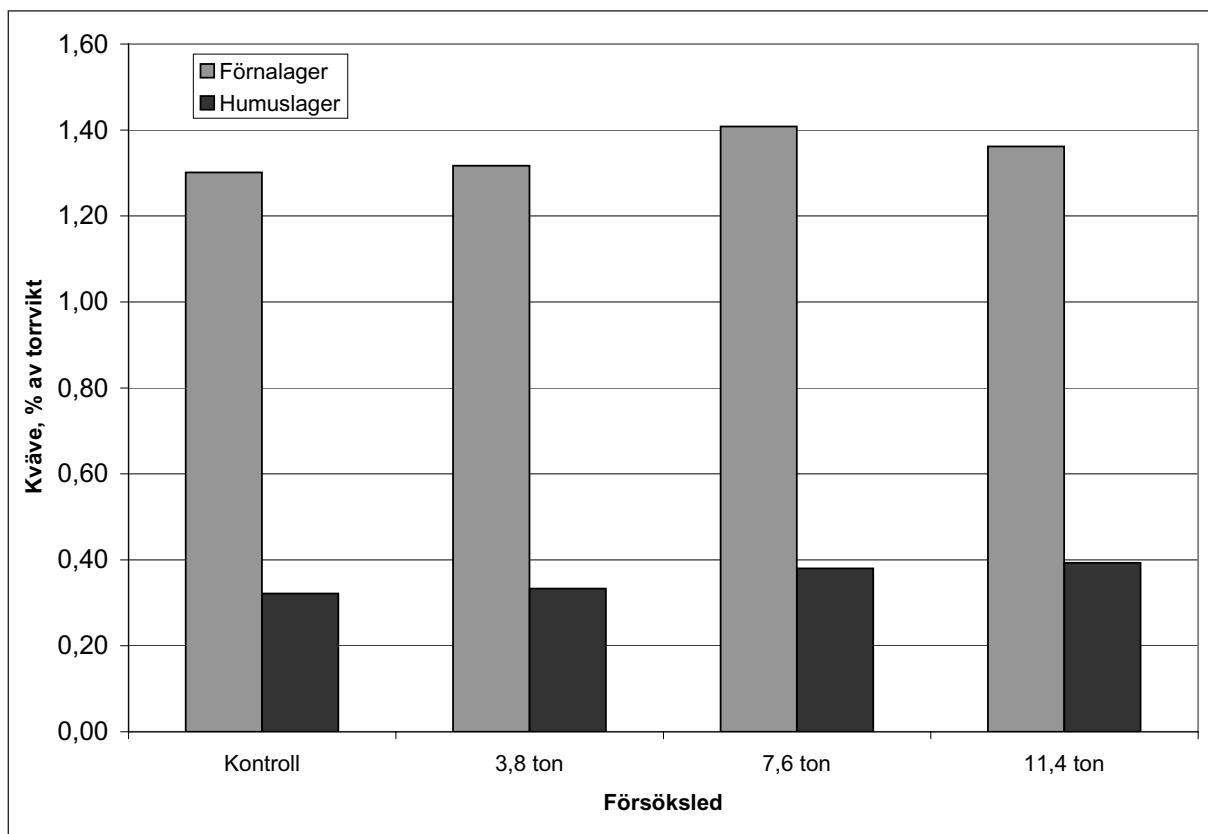
Figur 4-4. Nitrathalter (medelvärden för behandlingar) under observationsperioden.

Tabell 4-3. Humuslagrets pH-värden, kol- och kvävehalter. Medelvärden (+/- medelfel) för försöksled.

		pH		TotC		TotN	
		Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel
Förna (S/L-skikt)	Kontroll (n=4)	4,50	0,10	48,20	0,53	1,302	0,077
	3,8 ton (n=3)	4,44	0,06	48,42	1,39	1,317	0,057
	7,6 ton (n=3)	4,48	0,12	46,77	0,86	1,408	0,154
	11,4 ton (n=3)	4,61	0,10	46,72	2,31	1,362	0,059
Humuslager (F/H-skikt)	Kontroll (n=4)	4,49	0,04	8,43	0,60	0,322	0,023
	3,8 ton (n=3)	4,54	0,05	8,80	0,11	0,333	0,012
	7,6 ton (n=3)	4,60	0,02	8,68	0,98	0,380	0,045
	11,4 ton (n=3)	4,74	0,06	8,69	0,42	0,393	0,013



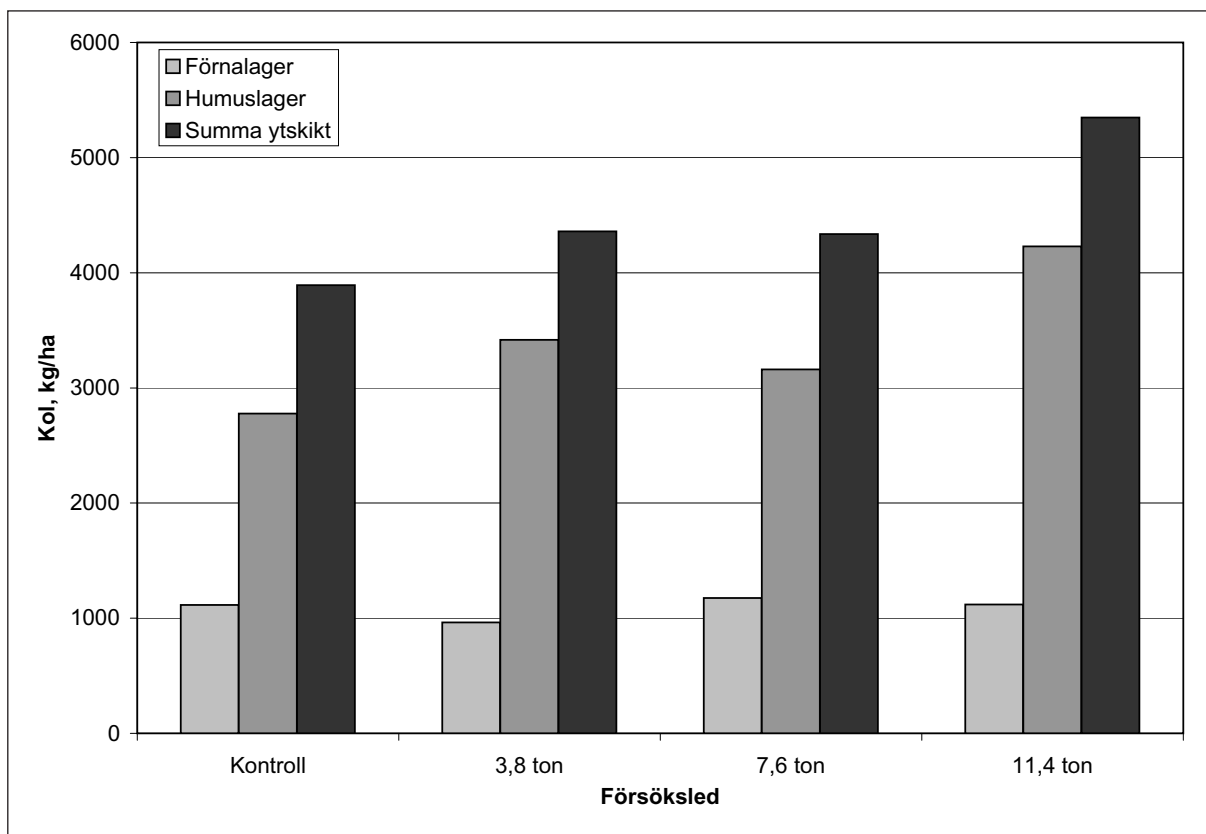
Figur 4-5. pH i markens ytskikt. Humuslagrets pH för 11,4 t/ha är signifikant högre ($p < 0,05$) än motsvarande skikt i kontrollytorna.



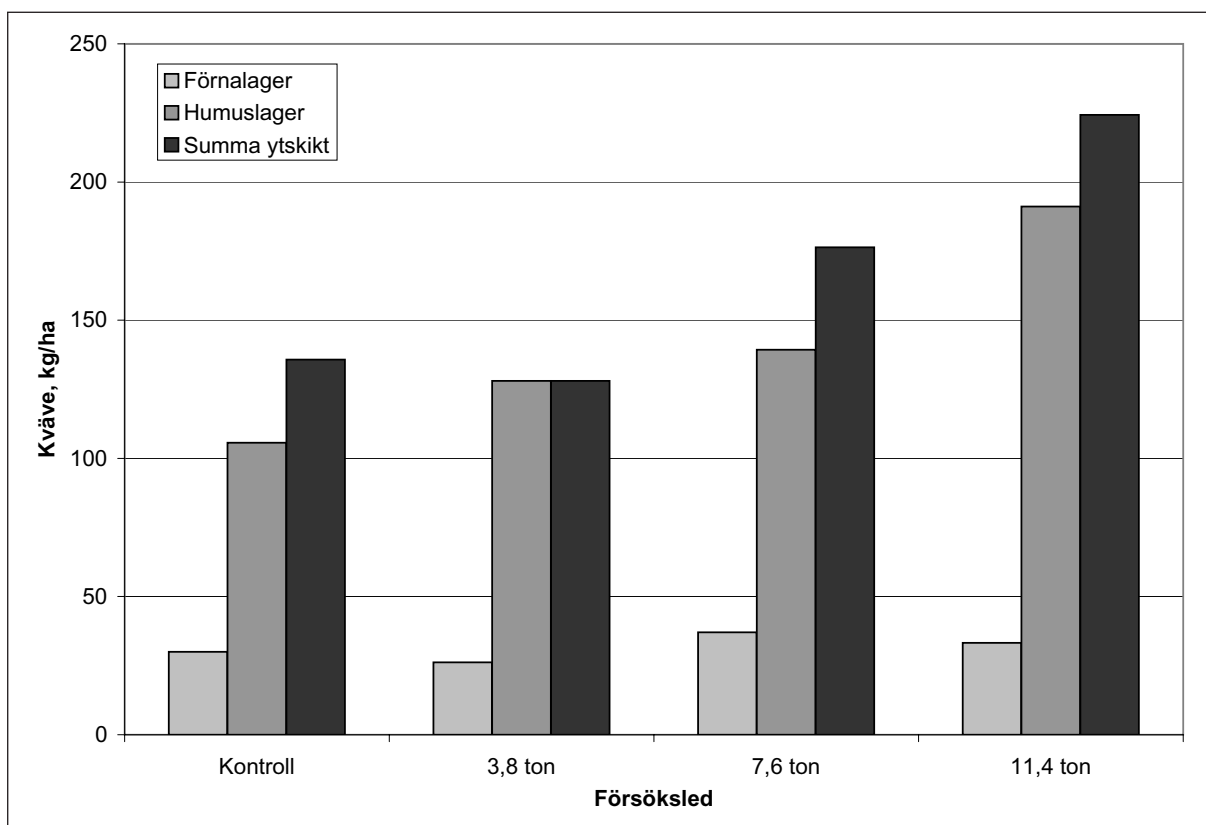
Figur 4-6. Kvävehalter i markens ytskikt.

Tabell 4-4. Skattning av totalmängder kol och kväve i markens ytskikt, i olika försöksled (kg/ha).

		TotC		TotN	
		Medel	M-fel	Medel	M-fel
Förna (S/L-skikt)	Kontroll (n=4)	2229	78	60	3
	3,8 ton (n=3)	1927	382	52	11
	7,6 ton (n=3)	2352	527	74	24
	11,4 ton (n=3)	2237	214	67	12
Humuslager (F/H-skikt)	Kontroll (n=4)	5554	756	211	27
	3,8 ton (n=3)	6833	972	256	26
	7,6 ton (n=3)	6320	925	279	49
	11,4 ton (n=3)	8459	864	382	33
Summa (S/L + F/H)	Kontroll (n=4)	7783	732	271	29
	3,8 ton (n=3)	8760	1343	309	36
	7,6 ton (n=3)	8672	1199	353	55
	11,4 ton (n=3)	10696	1037	449	43



Figur 4-7. Skattade kolmängder i markens ytskikt.



Figur 4-8. Skattade kvävemängder i markens ytskikt.

4.4 Barranalyser

4.4.1 Kol, makronäringsämnen och spårelement

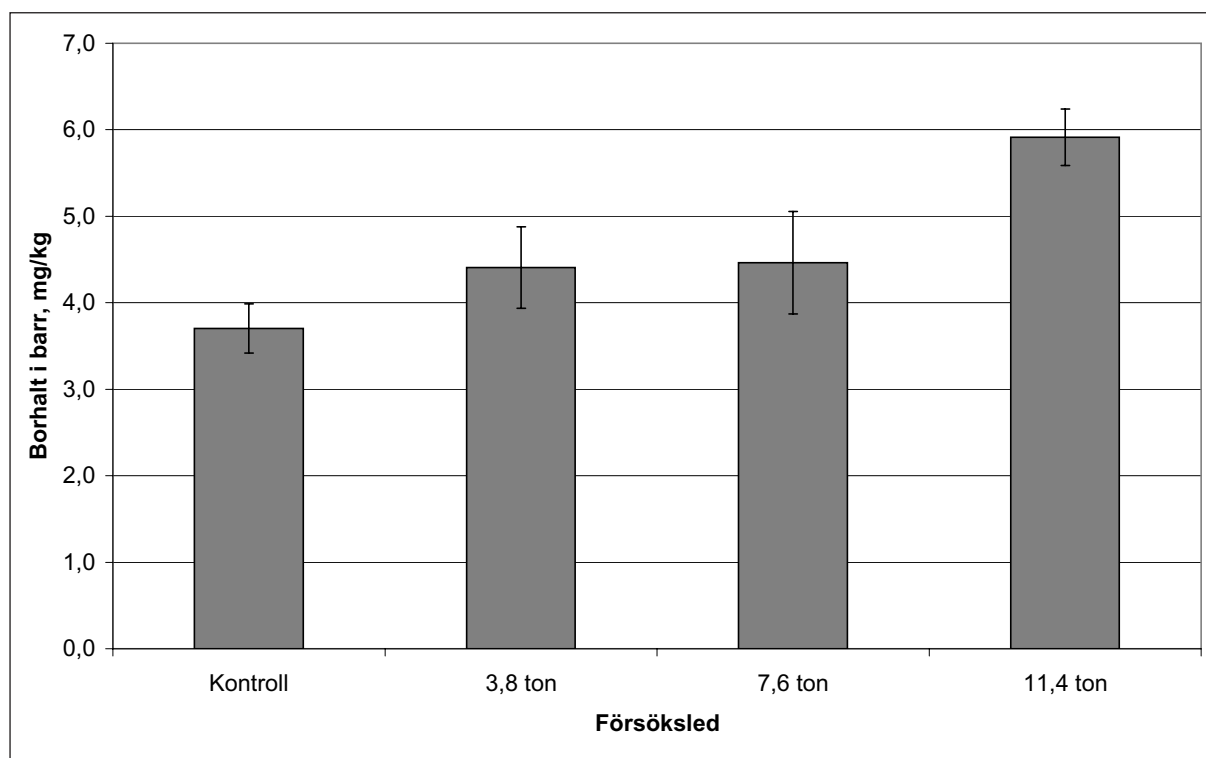
Tillförseln av slampelletens har, efter 2,5 år, inte gett upphov till några säkerställda haltförändringar av makronäringsämnen i tallarnas barr (Tabell 4-5). Det viktigaste näringsämnet, kväve (N), uppvisar

snarare en tendens till minskning med ökad dos pellets (dock ej signifikant).

Bland spårelementen uppträder en signifikant behandlingseffekt för det viktiga mikronäringsämnet bor (Figur 4-9). Halten bor i barren är signifikant högre på ytor som fått 11,4 ton pellets, än på kontrolllytorna. Ingen av tungmetallerna uppvisar statistiskt säkerställd ökning i barren (Tabell 4-6). Tvärtom finns svaga tendenser till lägre halter med högre slamgiva, för kobolt (Co), koppar (Cu), järn (Fe),

Tabell 4-5. Barrens halt av kol och makronäringsämnen. Medelvärden (+/- medelfel) för försöksled.

	C, %		N, %		P, mg/kg		K, mg/kg	
	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel
Kontroll (n=4)	51,5	0,1	1,40	0,01	1580	51	5373	115
3,8 ton (n=3)	51,8	0,1	1,31	0,04	1510	47	5290	90
7,6 ton (n=3)	51,8	0,2	1,38	0,03	1593	64	5353	88
11,4 ton (n=3)	51,7	0,1	1,35	0,03	1583	41	5533	95
	Ca, mg/kg		Mg, mg/kg		S, mg/kg			
	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel		
Kontroll (n=4)	3938	122	953	77	1260	29		
3,8 ton (n=3)	3380	359	983	129	1220	35		
7,6 ton (n=3)	3150	392	871	18	1260	20		
11,4 ton (n=3)	3393	642	1012	149	1210	12		



Figur 4-9. Halter av mikronäringsämnet bor i barr. Borhalterna i försöksledet 11,4 t/ha är signifikant högre ($p < 0,05$) än i kontrolllytorna.

mangan (Mn) och bly (Pb), trots att marken tillförts mer av dessa ämnen med slammet. Detta beror sannolikt på slammets pH-höjande effekt; lösligheten för de flesta tungmetaller (utom Mo) minskar med ökande pH-värde, vilket i sin tur minskar växternas upptag. Barrens halter av molybden (Mo) och nickel (Ni) tenderar dock att öka med ökande slamgiva. Vad gäller Mo kan detta vara en att spegling av att ämnets löslighet i marken normalt ökar med ökande pH, vilket medför att slammets totala effekter varit att både göra markens ursprungliga Mo tillgängligare och att tillföra ytterligare mängder av ämnet. Sambandet mellan löslighet och pH-värde för Ni är liknande det som nämnts för Cu och andra tungmetaller ovan, varför samma tolkning som för Mo inte kan göras för Ni.

4.4.2 Barrvikt

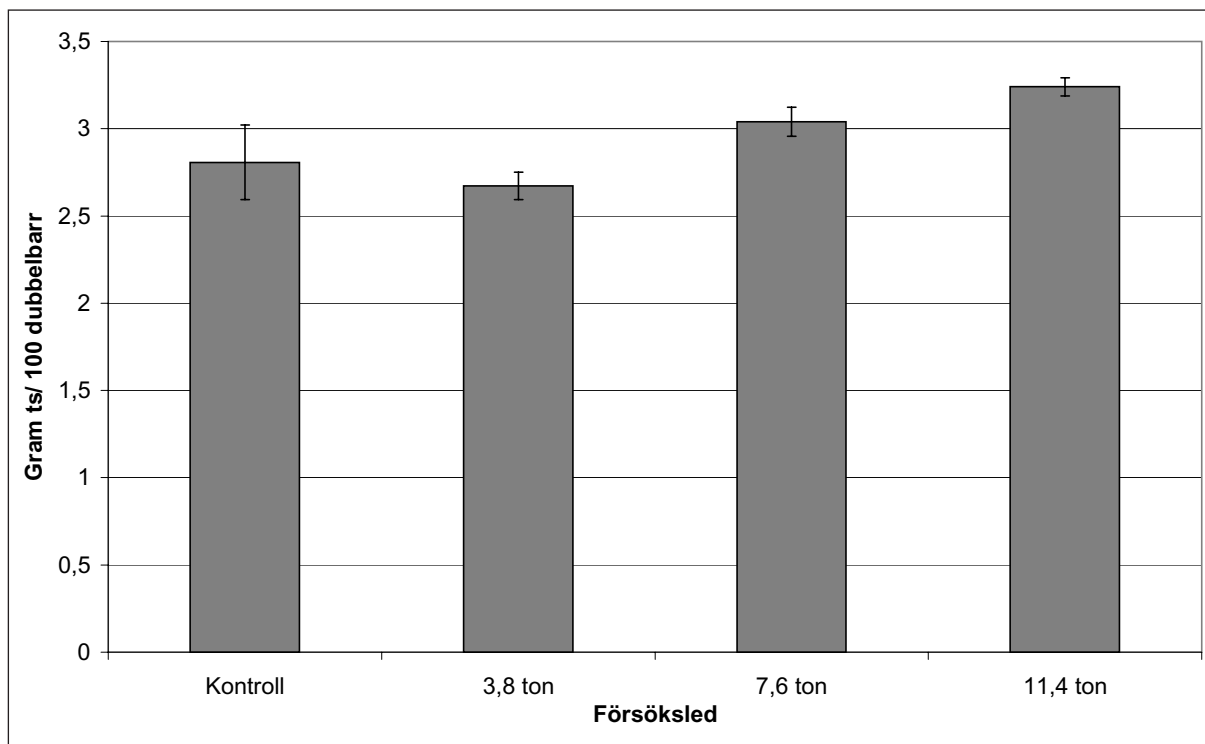
Variansanalys av barrens vikt gav resultatet att tillsats av pellets hade signifikanta effekter (Tabell 4-7, Figur 4-10). Genomsnittlig barrvikt var signifikant högre på parceller som fått 11,4 ton pellets per hektar, än på parceller med lägsta giva. Effekten var dock inte säkerställd gentemot kontrollparcellerna, vilket berodde på att en av kontrollerna uppvisade avvikande höga barrvikter (Tabell 4-7).

Tabell 4.6. Barrens halt av mikronäringsämnen och andra spårelement. Medelvärden (+/- medelfel) för försöksled.

	As, mg/kg		B, mg/kg		Cd, mg/kg		Co, mg/kg	
	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel
Kontroll (n=4)	< 0,1		3,7	0,3	0,07	0,01	0,43	0,11
3,8 ton (n=3)	< 0,1		4,4	0,5	0,06	0,01	0,37	0,08
7,6 ton (n=3)	< 0,1		4,5	0,6	0,06	0,01	0,33	0,01
11,4 ton (n=3)	< 0,1		5,9	0,3	0,07	0,01	0,32	0,01
	Cr, mg/kg		Cu, mg/kg		Fe, mg/kg		Mn, mg/kg	
	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel
Kontroll (n=4)	0,15	0,09	4,1	0,5	69	24	542	45
3,8 ton (n=3)	0,16	0,09	3,3	0,2	48	7	418	22
7,6 ton (n=3)	0,14	0,11	3,4	0,0	48	9	390	12
11,4 ton (n=3)	0,20	0,11	3,2	0,1	36	6	411	36
	Mo, mg/kg		Na, mg/kg		Ni, mg/kg		Pb, mg/kg	
	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel	Medel	M-fel
Kontroll (n=4)	0,08	0,02	60	6	2,1	0,3	0,19	0,04
3,8 ton (n=3)	0,08	0,04	59	6	2,2	0,1	0,17	0,01
7,6 ton (n=3)	0,10	0,05	53	3	2,9	0,3	0,11	0,02
11,4 ton (n=3)	0,12	0,04	50	3	2,8	0,4	0,10	0,01
	Se, mg/kg		Zn, mg/kg					
	Medel	M-fel	Medel	M-fel				
Kontroll (n=4)	< 0,1		36	1				
3,8 ton (n=3)	< 0,1		39	2				
7,6 ton (n=3)	< 0,1		40	2				
11,4 ton (n=3)	< 0,1		38	1				

Tabell 4-7. 100-barrsvikter (g), 3 år efter behandling med slampellets. Totalvikter för 100 dubbelbarr från varje behandlingsyta. 10 dubbelbarr är tagna från 10 slumpvis utvalda träd per yta.

	Kontroll (n=4)	3,8 ton (n=3)	7,6 ton (n=3)	11,4 ton (n=3)
	2,83	2,65	2,92	3,14
	2,58	2,55	3	3,31
	2,5	2,82	3,2	3,27
	3,32			
Medel	2,81	2,67	3,04	3,24
M-fel	0,21	0,08	0,08	0,05



Figur 4-10. Barrvikt (summan av 100 dubbelbarr). Barr från försöksledet 11,4 t/ha har signifikant högre ($p < 0,05$) vikt än barr från kontrolltyterna.

5 Diskussion

Markanalyserna visar att slammet påverkat markens pH-värde positivt. Detta är inte oväntat, eftersom slammet har ett pH på 7,1, och i det tillståndet äger en mycket stor buffertkapacitet mot vätejoner. Beräkningarna av befintliga mängder av kol och kväve i markens ytskikt är visserligen mycket osäkra, men kan vara användbara för grova överslagsberäkningar. Med 3,8, 7,6 och 11,4 ton pellets per hektar tillfördes 165, 325 respektive 490 kg kväve. 3 år efteråt översteg mängderna kontrollens värden med ca 40, 80 och 180 kg i respektive försöksled. Skillnaderna indikerar att en stor del av kvävet har mineraliserats.

Avgörande för utvärderingen av detta försök är naturligtvis om den frigjorda kvävenäringen har lakats ut, och därmed blivit ett miljöproblem, eller om den har skapat ett produktivare ekosystem genom uppbyggnad av växtbiomassa.

De högsta kvävegivorna är så stora att de med stor sannolikhet skulle ha orsakat kväveutlakning om samma kvävemängd tillförts i form av lättlösligt handelsgödselmedel istället för det nu använda organiska gödselmedlet. Den redovisade undersökningen av grundvattnet visar dock att vare sig nitrutlakning eller utlakning av några andra näringsämnen eller tungmetaller tycks ha skett. Detta är naturligtvis mycket positivt. Resultaten stämmer också mycket väl med tidigare erfarenheter från slamgödsling, nämligen att risken för

nitratutlakning är mycket liten vid givor mindre än 10–20 ton/ha.

Näringsinnehållet i barren jämfördes med tabellvärden (Ingestad 1979). Tallbarren från kontrollparcellerna uppvisade måttlig kvävebrist. För övriga makronäringsämnen var den allmänna näringsstatusen tillfredsställande. Bland mikronäringsämnena hade bor och molybden låga halter, medan halterna av koppar, järn och zink var tillfredsställande. Uppmätta skillnader mellan de olika behandlingarnas barr-näringshalter kunde inte verifiera hypotesen att näringsämnena, framför allt kväve, frigjorts från slammet och därefter tagits upp av träden. Kvävehalterna tenderade t o m att minska. De uteblivna effekterna ska dock inte tolkas som att näringstillgången försämrats, snarare än förbättrats. Fenomenet kan inträffa vid gödsling på mycket näringsfattiga och i utgångsläget glest bevuxna ståndorter (Tamm 1951; Magnusson & Hånell 2000). Vid måttligt förbättrade näringsförhållanden svarar varje träd med att bygga ut sin totala barrmassa (för att öka sin fotosynteskapacitet och därmed biomassatillväxt). Den omedelbara effekten av detta är en ökad, inte en minskad, konkurrens om de viktigaste näringsämnena, mellan olika träd.

Om ovanstående resonemang är riktigt, bör alltså förbättrad näringsstatus i systemet i första hand komma till uttryck som ökad barrbiomassa, och först i andra hand som ökad näringshalt i befintliga barr (förutsatt att inte akut näringsbrist förelegat i utgångsläget). En större barrbiomassa ger en ökad stamvedstillväxt. Uppmätning av totala barrbiomassan kräver mycket omfattande och destruktiva provtagningar, och har inte ingått i denna studie. Istället kommer stamvedstillväxten att skattas, vilken naturligtvis ur markägar-/ekonomisk synvinkel är en mycket intressant, och kanske avgörande, effektvariabel.²

Medelbarrvikt kan i många fall vara positivt korrelerat till total barrbiomassa, varför denna enkla mätning gjordes för att möjligen få en tidig indikation på beståndets reaktion. Undersökningen av 100-barrsvikt för olika försöksled visade att barrvikterna ökar med pelletsgiva och är signifikant större på ytor som tillförts 11,4 ton pellets, jämfört med ytor som tillförts 3,8 ton. Skillnaden gentemot kontroll var visserligen inte statistiskt säkerställd, men den regelbundna trenden med ökande giva, tillsammans med det faktum att kontrollytornas höga medelvärde orsakades av en enstaka avvikande parcell, kan tyda på att den ej säkerställda skillnaden gentemot kontroll var en tillfällighet.

Föreliggande undersökning av mark- och miljöeffekter efter tillförsel av engångsgivor om upp till 11 ton TS slampellets per hektar (ca 490 kg kväve/hektar) till en grovkornig och vattengenomsläpplig, relativt vegetationsfattig, och därmed ytterst urlakningsbenägen täktbotten, visar att gödslingen inte medfört negativa effekter på grundvattnet och inte heller ökat upptag av skadliga tungmetaller i träden. Slammet har tillfört organiskt material till marken och höjt ytskiktets pH-värde. Vidare har barranalyser indikerat att trädvegetationens vitalitet och tillväxt har förbättrats.

2 Denna slutmätning var ursprungligen planerad att göras hösten 2006. På grund av stormen i januari 2005, vilken spolerade större delen av försöket, har vi tvingats tidigare lägga inmätningarna till våren 2005.

Referenser

Ingestad T, 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiol. Plant.* 45: 373–380.

Magnusson T & Hånell B, 2000. Aska för beskogning av torvtäcker – påverkan på växtnäringsförhållanden, tungmetaller och vattenkvalitet. *Energimyndigheten*, ER 18:2000. 48 s.

Tamm C O, 1951. Chemical composition of birch leaves from drained mire, both fertilized with wood ash and unfertilized. *Sv. Bot. Tidskr.* 45: 309–319.

Bilaga A

Grundvattnets innehåll. Medelvärden för behandlingar vid varje provtagningsstillfälle, samt behandlingsmedelvärden (+/- medelfel) under hela observationsperioden (2001-05-04–2003-11-13), för samtliga mätta kemiska variabler.

	010504	010619	010724	010924	020123	020614	021203	030408	030821	031113	Hela perioden	
	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	M-fel
pH												
Kontroll (n=4)	6,5	6,2	6,7	6,3	6,4	6,4	6,4	6,1	7,0	7,0	6,4	0,06
3,8 ton (n=3)	6,4	6,2	6,8	6,4	6,8	6,8	6,4	6,3	7,0	7,1	6,5	0,08
7,6 ton (n=3)	6,3	6,3	6,7	6,2	6,4	6,4	6,2	6,1	6,9	7,1	6,5	0,06
11,4 ton (n=3)	6,5	6,3	6,8	6,2	6,5	6,5	6,3	6,3	6,7	7,0	6,4	0,06
Extern ref. (n=3)	6,5	6,2	6,5	6,3	6,5	6,5	6,2	6,5	6,8	7,0	6,4	0,07
El. kond., mS/m												
Kontroll (n=4)	9,7	10,3	15,0	9,6	5,6	5,6	8,4	9,7	10,1	9,6	9,5	0,6
3,8 ton (n=3)	6,8	7,9	8,7	6,9	6,6	6,6	6,7	7,3	6,2	6,0	6,9	0,2
7,6 ton (n=3)	6,8	7,0	9,4	7,4	6,4	6,4	6,5	11,0	8,4	7,7	7,5	0,8
11,4 ton (n=3)	5,4	6,3	6,9	7,7	5,4	5,4	5,2	6,0	5,6	7,0	6,2	0,3
Extern ref. (n=3)	8,9	8,2	8,4	7,6	7,5	7,5	6,1	7,0	4,5	4,5	4,6	0,1
TOC, mg/l												
Kontroll (n=4)	4,6	4,5	4,2	4,8	8,0	8,9	4,2	3,3	4,4	6,4	5,5	0,5
3,8 ton (n=3)	3,4	2,8	2,7	3,3	5,6	6,0	2,0	1,9	2,7	4,9	3,9	0,4
7,6 ton (n=3)	4,5	3,3	3,5	3,5	6,3	7,0	2,6	4,3	4,0	5,8	4,5	0,6
11,4 ton (n=3)	3,4	2,7	3,0	3,8	5,0	4,4	2,0	2,2	2,9	4,7	3,5	0,2
Extern ref. (n=3)	3,6	2,7	2,4	3,9	6,2	7,4	2,5	2,1	2,7		3,8	0,5
IC-Alk, mg/l												
Kontroll (n=4)	5,8	5,5	5,3	5,9	3,6	3,0	4,0	5,8	7,7	5,6	5,0	0,4
3,8 ton (n=3)	4,2	4,4	4,4	2,9	2,8	2,7	0,3	4,2	3,5	2,3	3,0	0,3
7,6 ton (n=3)	4,0	3,4	3,5	3,7	3,4	2,1	1,6	6,4	5,0	3,3	3,4	0,5
11,4 ton (n=3)	2,6	2,8	2,9	2,6	2,0	1,7	0,7	2,9	3,3	2,7	2,4	0,2
Extern ref. (n=3)	5,1	5,0	3,2	4,3	2,6	3,7	2,3	4,2	2,1		3,6	0,7
Ntot, mg/l												
Kontroll (n=4)	0,28	0,29	0,37	0,45	0,52	0,50	1,09	0,29	0,28	0,27	0,46	0,07
3,8 ton (n=3)	0,27	0,20	0,23	0,27	0,44	0,48	4,63	0,28	0,25	0,28	0,78	0,35
7,6 ton (n=3)	0,21	0,12	0,19	0,22	0,43	0,47	2,27	0,38	0,28	0,34	0,51	0,17
11,4 ton (n=3)	0,17	0,19	0,30	0,62	0,56	0,43	1,60	0,24	0,32	0,29	0,47	0,09
Extern ref. (n=3)	0,24	0,25	0,14	0,20	0,50	0,43	1,90	0,22	0,26		0,48	0,14

Bilaga, forts. Grundvattnets innehåll.

010504													
		Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	M-fel
NH ₄ , mg/l	Kontroll (n=4)	0,02	0,03	0,24	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,02	0,05	0,01
	3,8 ton (n=3)	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
	7,6 ton (n=3)	0,04	0,03	0,10	0,02	0,02	0,03	0,02	0,05	0,05	0,03	0,04	0,01
	11,4 ton (n=3)	0,01	0,02	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	Extern ref. (n=3)	0,01	0,01	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
NO ₃ , mg/l	Kontroll (n=4)	0,06	0,06	0,02	0,08	0,07	0,03	0,76	0,01	0,00	0,00	0,12	0,05
	3,8 ton (n=3)	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	4,33	0,04	0,05	0,07	0,50	0,35
	7,6 ton (n=3)	0,03	0,02	0,04	0,06	0,06	0,04	1,94	0,00	0,02	0,02	0,26	0,16
	11,4 ton (n=3)	0,04	0,08	0,09	0,34	0,16	0,04	1,37	0,06	0,08	0,05	0,22	0,08
	Extern ref. (n=3)	0,12	0,16	0,06	0,07	0,15	0,03	1,62	0,09	0,04		0,27	0,13
Al, ug/l	Kontroll (n=4)	306	89	230	251	463	46	148	59	10	31	194	70
	3,8 ton (n=3)	112	12	34	30	106	64	56	24	409	16	81	25
	7,6 ton (n=3)	37	79	47	19	9	5	7	42	8	38	29	10
	11,4 ton (n=3)	193	54	63	112	44	48	23	76	21	188	80	17
	Extern ref. (n=3)	37	11	67	9	5	6	45	45	8		26	6
As, ug/l	Kontroll (n=4)	0,20	0,23	0,20	0,18	0,18	0,15	0,17	0,15	0,15	0,20	0,18	0,02
	3,8 ton (n=3)	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,07	0,04	0,20	0,10	0,10	0,01
	7,6 ton (n=3)	0,17	0,20	0,17	0,10	0,10	0,06	0,05	0,20	0,15	0,20	0,13	0,02
	11,4 ton (n=3)	0,17	0,10	0,10	0,07	0,10	0,08	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01
	Extern ref. (n=3)	0,13	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,10	0,06	0,10		0,09	0,01
B, ug/l	Kontroll (n=4)	8,5	8,6	8,1	3,5	6,3	7,2	6,5	7,1	6,5	4,2	6,7	0,5
	3,8 ton (n=3)	4,2	8,4	9,0	1,7	5,8	6,9	4,6	6,3	5,3	-0,2	4,9	0,6
	7,6 ton (n=3)	6,3	6,6	6,7	2,6	6,7	6,4	5,1	8,0	5,6	0,8	5,5	0,6
	11,4 ton (n=3)	5,3	6,2	6,8	1,8	5,5	5,7	3,9	4,8	4,5	0,9	4,8	0,4
	Extern ref. (n=3)	7,9	7,7	7,1	2,9	4,5	8,0	4,7	3,8	3,7		5,7	0,7

Bilaga, forts. Grundvattnets innehåll.

		010504	010619	010724	010924	020123	020614	021203	030408	030821	031113	Hela perioden	
		Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	M-fel
Ca, mg/l	Kontroll (n=4)	6,4	6,9	6,4	4,9	5,6	5,3	6,6	8,3	7,4	8,3	6,3	0,4
	3,8 ton (n=3)	4,7	5,3	5,8	3,3	4,5	4,7	5,5	6,5	4,3	4,2	4,7	0,2
	7,6 ton (n=3)	4,6	4,3	4,5	3,6	5,3	4,6	5,0	9,4	5,6	5,2	4,9	0,5
	11,4 ton (n=3)	3,5	3,4	3,7	3,2	4,1	3,6	3,4	4,6	3,4	4,8	3,6	0,1
	Extern ref. (n=3)	8,5	8,5	4,5	4,7	5,4	7,7	5,9	7,2	2,6		6,2	1,1
Cd, ug/l	Kontroll (n=4)	0,04	0,07	0,05	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,03	0,03	0,08	0,01
	3,8 ton (n=3)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,10	0,10	0,10	0,10	0,02	0,03	0,06	0,01
	7,6 ton (n=3)	0,02	0,04	0,04	0,06	0,10	0,10	0,10	0,10	0,03	0,06	0,06	0,01
	11,4 ton (n=3)	0,02	0,01	0,02	0,06	0,13	0,10	0,10	0,10	0,02	0,03	0,06	0,01
	Extern ref. (n=3)	0,01	0,01	0,02	0,05	0,13	0,10	0,10	0,10	0,02		0,06	0,01
Co, ug/l	Kontroll (n=4)	2,53	3,80	2,77	2,60	1,95	0,71	1,63	1,60	1,25	0,40	2,06	0,53
	3,8 ton (n=3)	0,37	0,10	0,10	0,23	0,23	0,10	0,35	0,10	0,50	0,10	0,23	0,04
	7,6 ton (n=3)	0,05	4,94	3,72	1,01	1,40	0,70	1,19	2,50	1,00	0,95	1,75	0,69
	11,4 ton (n=3)	0,60	0,53	0,10	0,33	0,13	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,27	0,06
	Extern ref. (n=3)	0,13	0,20	1,60	0,17	0,13	0,13	0,30	0,10	0,10		0,34	0,18
Cr, ug/l	Kontroll (n=4)	2,0	1,3	1,9	1,5	1,7	1,3	1,2	1,2	1,5	0,6	1,5	0,1
	3,8 ton (n=3)	1,3	1,0	0,9	0,5	1,1	1,1	0,7	0,8	1,2	0,0	0,9	0,1
	7,6 ton (n=3)	1,1	1,0	1,3	0,8	1,4	1,2	0,7	1,3	1,2	0,2	1,0	0,1
	11,4 ton (n=3)	1,2	0,9	1,1	0,7	1,2	1,0	0,5	0,6	0,9	0,6	0,9	0,1
	Extern ref. (n=3)	1,2	1,1	0,6	0,7	1,1	1,3	0,7	0,7	0,6		0,9	0,1
Cu, ug/l	Kontroll (n=4)	3,9	3,8	4,5	7,5	4,5	7,2	6,0	3,7	5,3	5,6	5,3	0,7
	3,8 ton (n=3)	2,4	0,9	1,9	2,6	2,9	3,3	5,3	2,6	5,4	3,2	3,1	0,3
	7,6 ton (n=3)	1,3	1,7	1,8	3,9	2,0	4,0	8,5	4,4	3,1	4,3	3,4	0,6
	11,4 ton (n=3)	2,5	3,3	1,6	3,8	2,2	2,2	2,5	3,6	6,5	3,4	3,1	0,5
	Extern ref. (n=3)	1,9	0,9	1,0	2,8	2,8	3,5	4,9	3,7	5,1		2,8	0,5

Bilaga, forts. Grundvattnets innehåll.

010504 010619 010724 010924 020123 020614 021203 030408 030821 031113 Hela perioden												
	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	M-fel
Fe, mg/l												
Kontroll (n=4)	0,267	0,197	0,191	0,407	0,336	0,065	0,146	0,343	0,033	0,041	0,223	0,062
3,8 ton (n=3)	0,140	0,016	0,033	0,036	0,121	0,073	0,030	0,008	0,391	0,018	0,086	0,027
7,6 ton (n=3)	0,091	1,015	0,241	0,053	0,050	0,044	0,095	0,583	0,030	0,137	0,219	0,118
11,4 ton (n=3)	0,224	0,075	0,067	0,138	0,054	0,054	0,019	0,062	0,017	0,200	0,092	0,022
Extern ref. (n=3)	0,051	0,021	0,154	0,010	0,015	0,016	0,029	0,066	0,014		0,042	0,015
K, mg/l												
Kontroll (n=4)	3,7	3,6	2,5	2,6	2,4	2,6	2,8	1,6	1,7	1,3	2,6	0,4
3,8 ton (n=3)	1,4	1,1	1,5	1,2	1,3	1,5	1,4	1,1	1,3	1,0	1,3	0,1
7,6 ton (n=3)	1,3	1,3	1,4	1,2	1,5	1,4	1,4	1,9	1,6	1,5	1,4	0,1
11,4 ton (n=3)	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	0,0
Extern ref. (n=3)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,8	1,4	1,6	1,1		1,5	0,1
Li, ug/l												
Kontroll (n=4)	0,85	0,73	0,33	0,25	0,31	0,16	0,17	0,11	0,15	0,20	0,36	0,09
3,8 ton (n=3)	0,33	0,10	0,10	0,21	0,27	0,21	0,17	0,01	0,50	0,20	0,23	0,04
7,6 ton (n=3)	0,27	0,30	0,27	0,11	0,22	0,13	0,14	0,20	0,15	0,30	0,21	0,03
11,4 ton (n=3)	0,47	2,63	0,25	0,27	0,15	0,17	0,15	0,10	0,20	0,30	0,55	0,31
Extern ref. (n=3)	0,13	0,27	0,43	0,15	0,06	0,10	0,06	0,10	0,10		0,16	0,05
Mg, mg/l												
Kontroll (n=4)	2,1	2,4	2,2	1,8	2,1	1,9	2,3	2,9	2,4	2,8	2,2	0,1
3,8 ton (n=3)	1,3	1,8	1,9	1,1	1,6	1,5	1,7	2,1	1,6	1,5	1,5	0,1
7,6 ton (n=3)	0,7	1,5	1,7	1,4	2,0	1,8	1,8	3,2	2,0	1,9	1,7	0,2
11,4 ton (n=3)	1,2	1,3	1,3	1,2	1,5	1,3	1,1	1,5	1,3	1,7	1,3	0,1
Extern ref. (n=3)	1,6	1,5	1,5	1,1	1,1	1,4	1,2	1,2	1,0		1,3	0,1
Mn, ug/l												
Kontroll (n=4)	578	700	851	558	279	70	171	144	177	51	393	125
3,8 ton (n=3)	35	1	23	15	10	4	27	3	22	3	15	3
7,6 ton (n=3)	339	514	398	97	91	72	103	255	119	84	212	79
11,4 ton (n=3)	53	46	8	22	5	4	4	4	12	8	20	6
Extern ref. (n=3)	28	53	607	24	2	2	12	8	8		89	72

Bilaga, forts. Grundvattnets innehåll.

		010504	010619	010724	010924	020123	020614	021203	030408	030821	031113	Hela perioden	
		Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	M-fel
Mo, ug/l	Kontroll (n=4)	3,43	0,70	0,53	0,49	0,55	0,45	0,53	0,20	0,40	0,40	0,89	0,39
	3,8 ton (n=3)	0,20	0,20	0,30	-0,10	0,17	0,33	0,06	0,04	0,20	0,20	0,15	0,04
	7,6 ton (n=3)	0,37	0,33	0,43	-0,13	0,17	0,33	0,13	0,20	0,35	0,35	0,25	0,05
	11,4 ton (n=3)	0,70	0,43	0,40	-0,10	0,33	0,23	0,07	0,04	0,30	0,20	0,29	0,07
	Extern ref. (n=3)	0,50	0,37	0,20	0,00	0,47	0,37	0,40	0,34	0,15	,	0,32	0,08
Na, mg/l	Kontroll (n=4)	4,7	4,1	3,9	3,7	3,6	3,7	3,5	4,2	4,2	4,4	3,9	0,2
	3,8 ton (n=3)	4,2	4,1	4,9	3,0	3,8	3,8	4,0	4,0	3,6	3,4	3,8	0,1
	7,6 ton (n=3)	3,9	3,7	4,2	3,3	4,3	3,8	3,9	4,8	4,4	4,3	4,0	0,2
	11,4 ton (n=3)	3,9	3,8	4,2	3,4	3,7	3,7	3,5	3,8	3,8	4,5	3,8	0,1
	Extern ref. (n=3)	3,7	3,3	3,7	2,7	2,6	3,2	2,9	2,5	3,3		3,1	0,1
Ni, ug/l	Kontroll (n=4)	14,0	4,1	3,1	4,2	2,6	1,9	2,3	0,6	0,8	0,4	4,1	1,6
	3,8 ton (n=3)	1,2	0,4	1,5	0,6	0,7	1,0	1,4	0,2	0,6	0,2	0,8	0,2
	7,6 ton (n=3)	1,4	2,6	1,4	0,8	0,7	1,0	0,5	1,1	0,7	0,6	1,1	0,2
	11,4 ton (n=3)	2,7	5,4	0,8	2,9	1,0	1,0	0,3	0,3	1,1	0,5	1,9	0,7
	Extern ref. (n=3)	0,7	0,5	0,9	0,4	0,5	0,5	0,2	0,4	0,4	,	0,5	0,1
P, g/l	Kontroll (n=4)	49	15	11	6	12	8	9	6	9	2	14	4
	3,8 ton (n=3)	12	1	5	-6	7	8	15	5	153	-1	13	8
	7,6 ton (n=3)	3	6	4	-5	6	8	4	7	10	4	4	1
	11,4 ton (n=3)	20	8	7	-3	6	8	6	8	9	16	8	2
	Extern ref. (n=3)	5	3	4	-3	6	9	19	7	9	,	6	2
Pb, ug/l	Kontroll (n=4)	1,40	0,57	0,60	2,44	0,58	0,06	0,31	0,20	0,01	0,10	0,65	0,25
	3,8 ton (n=3)	0,60	0,20	0,40	0,07	0,14	0,11	0,07	0,03	2,30	0,10	0,31	0,12
	7,6 ton (n=3)	0,33	0,73	0,40	0,10	0,05	0,03	0,03	0,20	0,01	0,21	0,22	0,07
	11,4 ton (n=3)	0,87	0,37	0,40	0,28	0,08	0,06	0,06	0,10	0,02	0,50	0,28	0,07
	Extern ref. (n=3)	0,30	0,20	0,30	0,08	0,02	0,02	0,02	0,10	0,01	,	0,12	0,03

Bilaga, forts. Grundvattnets innehåll.

010504												
010619												
010724												
010924												
020123												
020614												
021203												
030408												
030821												
031113												
Hela perioden												
	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	Medel	M-fel
S, mg/l												
Kontroll (n=4)	4,1	4,5	3,4	1,6	2,0	1,3	2,1	2,4	3,3	3,0	2,7	0,3
3,8 ton (n=3)	2,5	3,0	3,7	1,7	1,8	1,1	2,3	2,0	2,6	2,2	2,1	0,2
7,6 ton (n=3)	2,5	2,7	2,8	1,3	2,0	1,2	2,1	2,5	3,6	2,7	2,3	0,2
11,4 ton (n=3)	2,4	2,5	3,0	2,2	2,0	1,1	1,9	1,6	3,3	2,7	2,2	0,2
Extern ref. (n=3)	2,5	2,7	3,0	1,0	1,2	0,9	1,5	1,4	3,1		1,9	0,2
Se, ug/l												
Kontroll (n=4)	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,0
3,8 ton (n=3)	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0
7,6 ton (n=3)	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,0
11,4 ton (n=3)	0,3	0,2	0,3	0,0	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0
Extern ref. (n=3)	0,3	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3		0,2	0,0
Si, mg/l												
Kontroll (n=4)	4,5	3,6	3,6	3,0	2,7	4,4	3,2	3,5	3,4	1,5	3,5	0,2
3,8 ton (n=3)	3,7	3,6	5,0	2,6	1,8	4,8	0,7	3,8	5,2	1,7	3,1	0,3
7,6 ton (n=3)	3,4	2,8	4,2	2,0	1,6	4,7	2,1	3,2	3,6	1,5	2,9	0,3
11,4 ton (n=3)	4,6	3,0	4,2	1,6	1,1	4,1	1,2	3,4	2,0	1,5	2,7	0,3
Extern ref. (n=3)	3,3	3,1	4,2	2,5	2,1	4,4	2,6	3,2	2,1		3,1	0,4
V, ug/l												
Kontroll (n=4)	0,9	0,8	0,8	1,2	0,8	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,8	0,11
3,8 ton (n=3)	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	1,3	0,1	0,4	0,06
7,6 ton (n=3)	0,4	0,8	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,8	0,5	0,4	0,5	0,08
11,4 ton (n=3)	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,03
Extern ref. (n=3)	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3		0,4	0,04
Zn, ug/l												
Kontroll (n=4)	12	13	30	4	6	3	4	4	10	16	10	1,8
3,8 ton (n=3)	11	9	33	2	4	3	5	4	12	16	7	1,7
7,6 ton (n=3)	10	12	34	3	3	4	4	6	11	17	10	2,1
11,4 ton (n=3)	11	18	22	2	4	3	4	4	20	17	10	2,0
Extern ref. (n=3)	9	9	16	2	3	3	3	3	10		7	1,0



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se