

Uppföljning av provytor med tätskikt av FSA

Gärstad deponi och Sofielunds deponi

*Märta Ländell, Maria Carling, Karsten
Håkansson, Elke Myrhede, Bo Svensson*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) 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.

SV-Utveckling (fd 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
Avloppsvatten
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

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

Anders Lago, ordförande	Södertälje Kommun
Olof Bergstedt	Göteborg Vatten
Roger Bergström	Svenskt Vatten AB
Per Fåhraeus	Varbergs Kommun
Carina Färm	Mälarenergi AB
Daniel Hellström	Svenskt Vatten AB
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Marie Nordkvist Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand	Norsk Vann, adjungerad

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Uppföljning av provytor med tätskikt av FSA – Gärstad deponi och Sofielunds deponi.
Title of the report:	Follow up of test areas with FSS liners – Gärstad and Sofielund landfills.
Rapportens beteckning Nr i serien:	2009-02
Författare:	Märta Ländell, Maria Carling, Karsten Håkansson, Elke Myrhede (Geo Innova), Bo Svensson (Linköpings Universitet).
Projekt nr:	26-109
Projektets namn:	Fortsatt uppföljning av provytor med tätskikt av slam/aska-blandning.
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Värmeforsk, Tekniska Verken i Linköping, SRV återvinning.
Rapportens omfattning Sidantal: Format:	76 A4
Sökord:	FSA-tätskikt, uppföljning, beständighet, täthet, avrinnande vatten
Keywords:	FSS-liner, follow-up, durability, permeability, runoff water
Sammandrag:	Uppföljning av provytor med FSA i tätskiktet visar att kravet på täthet för deponier för icke farligt avfall uppfylls. Mikrobiell aktivitet har uppmätts, men konsekvenser på tätskiktets funktion har inte noterats. Halter av metaller och näringsämnen i vatten som avrinner på tätskiktet är höga men avtar med tiden.
Abstract:	Follow up of test areas with FSS liners shows that the permeability is low enough to fulfill the demands for a landfill for non-hazardous waste. Microbial activity has been detected, but no effects on the liner have been seen. Concentrations of metals and nutrients in the runoff-water are high but are decreasing with time.
Målgrupper:	Ägare till VA-anläggningar, energianläggningar och deponier, konsulter, miljömyndigheter.
Omslagsbild:	Del av provyta och närliggande områden på Sofielund, SRV återvinning.
Rapporten:	finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se Klicka vidare på Svenskt Vatten Utveckling => Rapporter => Rapportdatabas
Utgivningsår:	2009
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Under 2001–2002 utfördes inledande studier av möjligheterna att använda aska och slam som tätskikt på deponier. Undersökningarna visade att det finns både ekonomisk och teknisk potential för detta. Därefter genomfördes pilotförsök där provytor med aska och slam i tätskiktet anlades på tre avfallsanläggningar (2003–2006). I denna studie har uppföljande studier av dessa provytor utförts, främst beträffande tätskiktets permeabilitet och beständighet och egenskaper för avrinande vatten.

Arbetet har utförts av Geo Innova i samarbete med deltagande anläggningar. Projektledare har varit Maria Carling och Märta Ländell, även Karsten Håkansson har deltagit i arbetet. Elke Myrhede har granskat rapporten. Från anläggningarna har Magnus Hammar (Tekniska Verken i Linköping) samt Rickard Wrene och Jenny Håkansson (SRV återvinning) deltagit. Även professor Bo Svensson (Linköpings Universitet) har arbetat i projektet.

Projektet har finansierats av Värmeforsk och Svenskt Vatten Utveckling samt de deltagande anläggningarna (Tekniska Verken i Linköping och SRV återvinning).

En referensgrupp har knutits till projektet som under arbetets gång lämnat värdefulla synpunkter. I referensgruppen har ingått Thomas Rihm, SGI, Terése Josefsson, Karlskoga kommun och Jörgen Dahlin, Stora Enso (deltog 2006–2007). Från finansiärerna har Claes Ribbing (Värmeforsk) och Daniel Hellström (Svenskt Vatten) deltagit.

Innehåll

Sammanfattning	6
Summary	7
1 Inledning	8
1.1 Bakgrund	8
1.2 Syfte	8
1.3 Beskrivning av provytorna	8
2 Fält- och laboratorieundersökningar	13
2.1 Undersökningsprogram	13
2.2 Vattenmättnad	13
2.3 Lysimetrar – volym	14
2.4 Perkolerande vatten genom tätskiktet	16
2.5 Avrinnande vatten på tätskiktet	21
2.6 Sättningsmätning	26
2.7 Provtagning av fast material	28
2.8 Porgas	32
3 Diskussion	34
3.1 Täthet	34
3.2 Beständighet	35
3.3 Perkolerande vatten genom tätskiktet	36
3.4 Avrinnande vatten på tätskiktet	36
4 Slutsatser	38
5 Rekommendationer	39
6 Litteraturreferenser	40
Bilagor	41
A Resultat för vattenanalyser, lysimetrar och avrinningsytor, Sofielund	41
B Resultat för vattenanalyser, lysimetrar och avrinningsytor, Gärsd	47
C Resultat från sättningsmätningar, Sofielund	55
D Resultat från sättningsmätningar, Gärsd	56
E Redovisning av provtagning av fast material, Sofielund	58
F Redovisning av provtagning av fast material, Gärsd	60
G Resultat från gasmätningar, Sofielund	61
H Resultat från gasanalyser – halt mot tid, Sofielund	64
I Resultat från gasmätningar, Gärsd	66
J Resultat från gasanalyser – halt mot tid, Gärsd	73

Sammanfattning

Under de närmaste åren kommer ett stort antal deponier att avslutas som en följd av ny miljölagstiftning och höjda krav. Tillgången på lämpliga material för täckning och tätning är begränsad, framför allt i storstadsregionerna. Slam och askor är restmaterial med potential att användas som konstruktionsmaterial.

Under 2003–2005 genomfördes projektet ”Täckning av deponier med aska och slam”. Projektet omfattade bland annat anläggandet av olika provytor med tätskikt av rötslam och flygaska. Projektet finns beskrivet i VA-forsk-rapport Nr 2006-08 och Värmeforsk rapport Nr Q4-225. Erfarenheter från detta projekt har även utnyttjats vid utarbetande av vägledning för användande av FSA (flygaskastabiliserat avloppsslam) som tätskikt Carling m.fl., 2007). I detta projekt har två provytor följts upp under en treårsperiod. Undersökningar har gjorts beträffande materialets täthet, kemiska egenskaper för avrinnande och perkolerande vatten, beständighet mot nedbrytning, sättningar/komprimering, hållfasthet med mera.

Projektet har finansierats av Värmeforsk, Svenskt Vatten Utveckling och de två deltagande anläggningarna (Tekniska Verken i Linköping och SRV Återvinning i Huddinge). Arbetet har utförts av Geo Innova i samarbete med de båda anläggningarna och Tema Vatten i natur och samhälle vid Linköpings Universitet. Projektet har omfattat provtagning och analys av vatten, porgas och fast material. I fält har avvägning av sättningspeglar och lodning av vattennivåer utförts. Resultat har jämförts med tillståndsklasser för ytvatten (Naturvårdsverket, 2000), mellan olika prov-/mätpunkter (över och under tätskikt, med och utan dränering, brant och flack delyta etc.) och över tiden.

Resultaten visar att tätskiktet av FSA-blandning är tätt. Kravet för deponier för icke farligt avfall uppfylls, i vissa fall är tätheten även i nivå med kravet för deponier för farligt avfall. Viss nedbrytning av materialet sker, detta indikeras av att metan och koldioxid har uppmätts i porgasen. Någon kvantifiering av nedbrytningen har inte kunnat göras, resultat från mätning av organisk halt i materialet tyder på att nedbrytningen är begränsad. Påverkan av nedbrytningen på tätskiktets funktion har inte noterats. Det vatten som avrinner på tätskiktets yta innehåller höga halter av metaller, näringsämnen och organiskt kol jämfört med Naturvårdsverkets riktlinjer för ytvatten. Detta vatten motsvarar det som på sikt ska ledas till recipient, eventuellt via behandling. Halterna har minskat under uppföljningsperioden.

Sammanfattningsvis bedöms tätskikt bestående av FSA-blandning fungera väl vad gäller täthet och beständighet. De undersökta provytorna är bara 3–4 år gamla, och ytterligare uppföljning av täthet, beständighet och egenskaper för det avrinnande vattnet skulle kunna ge värdefull information. Halterna i det avrinnande vattnet har inte stabiliserats. Framförallt bedöms det intressant att undersöka om tätheten kan klara kravet för deponi för farligt avfall och att verifiera trenden att halterna i det avrinnande vattnet avtar.

Summary

In the coming years, a large number of landfills will be closed as a result of new environmental legislation and more stringent requirements. The availability of suitable material for covering and sealing is limited, especially in large urban areas. Sludge and ash are potentially useful materials for this purpose.

The project "Covering landfill with sludge and ash" was carried out from 2003 to 2005. The project involved the establishment and monitoring of different test areas having liners (sealing layers) of sewage sludge and fly ash. The project is described in VA-forsk report no. 2006-08 and Värmeforsk report no. Q4-225. The experience gained from this project has also been used in the development of guidelines for using fly-ash-stabilised sewage sludge (FSS) as a liner (Carling et al., 2007). In the current project, two test areas have been monitored for a three-year period. Investigations have focused on the permeability of the materials, chemical properties of both runoff water and percolating water, resistance to decomposition, subsidence/compaction, strength, etc.

The project was financed by Värmeforsk, Svensk Vatten Utveckling and the two participating facilities (Tekniska Verken in Linköping and SRV återvinning in Huddinge). The study was carried out by Geo Innova in collaboration with both facilities, and the Department for Water and Environmental Studies at Linköping University. The project involved sampling and analysis of water, pore gas and solid material. In the field, subsidence and water levels have been measured. The results have been compared with the guideline levels for surface water (Swedish EPA, 2000), between different sampling and measurement locations (above and below the liner, with and without drainage, steep and flat areas, etc), and at different times.

The results show that the FSS liner is impermeable. The requirement for landfills for non-hazardous waste is satisfied; in some cases the permeability is on a par with the requirement for hazardous waste landfills. Some decomposition of the material occurs, as indicated by the detection of methane and carbon dioxide in the pore gas. It was not possible to quantify the magnitude of the decomposition, although results of measurements of organic content in the material suggest that decomposition is limited. Effects of decomposition on the function of the liner have not been observed. The runoff water from the liner surface contains high concentrations of metals, nutrients and organic carbon compared to the Swedish EPA's threshold values for surface water. This water corresponds to that which will eventually reach a water-course, lake, etc, possibly after treatment. The concentrations have decreased during the follow-up period.

In summary, the liner composed of the FSS mixture is judged to function well as regards permeability and durability. The investigated test areas are only 3–4 years old, and further follow-up studies of permeability, durability, and properties of the runoff water should provide valuable information. Concentrations in the runoff water have not stabilized. It would be of particular interest to investigate if the permeability can meet the requirements for hazardous waste landfills and to verify the trend towards lower concentrations in the runoff water.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Under de närmaste åren kommer ett stort antal deponier att avslutas som en följd av ny miljölagstiftning och höjda krav. Tillgången på lämpliga material för täckning och tätning är begränsad, framför allt i storstadsregionerna. Slam och askor är restmaterial med potential att användas som konstruktionsmaterial. Ett kvalitativt sätt att använda slam och aska är att utnyttja deras goda tekniska egenskaper såsom låg permeabilitet (slam) och god bärighet (aska).

Under 2003–2005 genomfördes projektet ”Täckning av deponier med aska och slam”. Projektet omfattade bl.a. anläggandet av olika provytor med tätskikt av rötslam och flygaska. Provytor anlades vid Tekniska Verken i Linköping, SRV återvinning i Huddinge och Renova i Göteborg. I samband med utläggning av de olika skikten i täckningen installerades mätutrustning för att kunna följa upp funktionen hos respektive provyta. Projektet finns beskrivet i VA-forsk-rapport Nr 2006-08 och Värmeforsk rapport Nr Q4-225. Erfarenheter från detta projekt har även utnyttjats vid utarbetande av vägledning för användande av FSA (flygkastabiliserat avloppsslam) som tätskikt (Värmeforsk rapport 1010 och SVU-rapport 2007-10).

1.2 Syfte

Inom projektet nämnt ovan, rymdes endast en kortare tids uppföljning. I föreliggande projekt har två av provytorerna med FSA-blandning i tätskiktet följts upp under ytterligare tre år. Syftet är att få ett bättre underlag för bedömning av tätskiktets funktion i ett längre tidsperspektiv, med fokus på permeabilitet, beständighet och utlakning. Vad gäller utlakning undersöks främst ytutlakning, det vill säga beskaffenhet för det vatten som avrinner ovan tätskiktet och i ovanliggande material och som kommer att ledas till recipient eller behandling efter sluttäckning.

Uppföljning har gjorts av ytorna vid Tekniska Verkens och SRV återvinnings anläggningar. Provytan vid Renovas anläggning färdigställdes inte helt, vilket innebär att uppföljning av denna yta inte varit möjlig.

1.3 Beskrivning av provytorerna

På Tekniska verkens och SRV återvinnings anläggningar, Gärstad respektive Sofielund, anlades under september–november 2004 och juni 2005 provytor med FSA (flygkastabiliserat avloppsslam) som tätskikt. På båda anläggningarna lades materialet ut på dels en flack delyta (lutning 1:20) och dels på en brant delyta (lutning 1:3). I Figur 1-1 syns den branta delen av provytan på Sofielund, med installationer för provtagning. På Gärstad varierades även materialet i det dränerande

skiktet ovanpå tätskiktet. Sammanfattande beskrivning av provytornas konstruktion och blandningsrecept för tätskiktet finns i Tabell 1-1. Detta är den planerade konstruktionen för ytorna. Skyddsskikt och växtetableringsskikt för ytorna på Sofielund har i praktiken en mäktighet om totalt ca 0,8 m. Använt avloppsslam var rötat. För fosforfällning i reningsverken användes järnsulfat. Den jord som använts i skyddsskiktet på Gärstad var behandlad så att oljehalterna understeg 1 000 ppm. I den mån metallförorenad jord använts är metallhalterna sådana att den klassas som icke-farligt avfall, sammanställning av metallhalterna saknas.

Uppföljande undersökningar påbörjades inom några månader efter att ytorna färdigställts. Resultat från 2005 presenteras i tidigare rapport (Carling m.fl., 2006).

Tabell 1-1 Beskrivning av planerad konstruktion för delytor på Sofielund och Gärstad. Skikten ovan dräneringsskiktet på Sofielund är sammantaget ca 0,8 m.

Skikt	Sofielund		Gärstad	
	Mäktighet	Material	Mäktighet	Material
Växtetableringsskikt	0,2 m	Färdigställdes ej	0,2 m	Inget speciellt växtetableringsskikt anlades. Sådd skedde i skyddsskiktet.
Skyddsskikt	1,3 m	Schaktmassor	1,3 m	Behandlad oljeskadad jord
Dräneringsskikt	0,2 m	Bergkross	0,2 m/0 m	Slaggrus/bergkross/ inget dränkskikt
Tätskikt	0,4 m	40 % flygaska, 45 % bottenaska 15 % slam	0,5 m	50 % flygaska 50 % slam
Avjämningskikt	varierande	Bottenaska	varierande	Slaggrus

Olika blandningsutrustningar och -metoder användes på de olika anläggningarna, vilket beskrivs av Carling m.fl. (2006). Olika blandningsproportioner provades ut genom laboratieförsök. För provytan vid Sofielund valdes en FSA-blandning som, förutom slam och flygaska, även innehöll bottenaska. Bottenaskan bidrar till att förbättra materialets hållfasthet. Vid anläggande av provytan blandades först de båda askorna i en sluten satsblandare. Därefter blandades askan och slammet med skopa för att sedan köras genom en stjärnsikt. För provytan på Gärstad användes enbart flygaska och slam. Vid blandningen användes ett modifierat asfaltverk. Till blandaren leddes slammet via en stjärnsikt, medan askan matades direkt. Mot slutet av blandningsperioden hade man problem med igensättning av askfickan. Då gjordes istället förblandning med skopa, varefter materialet leddes via stjärnsikt till blandaren.

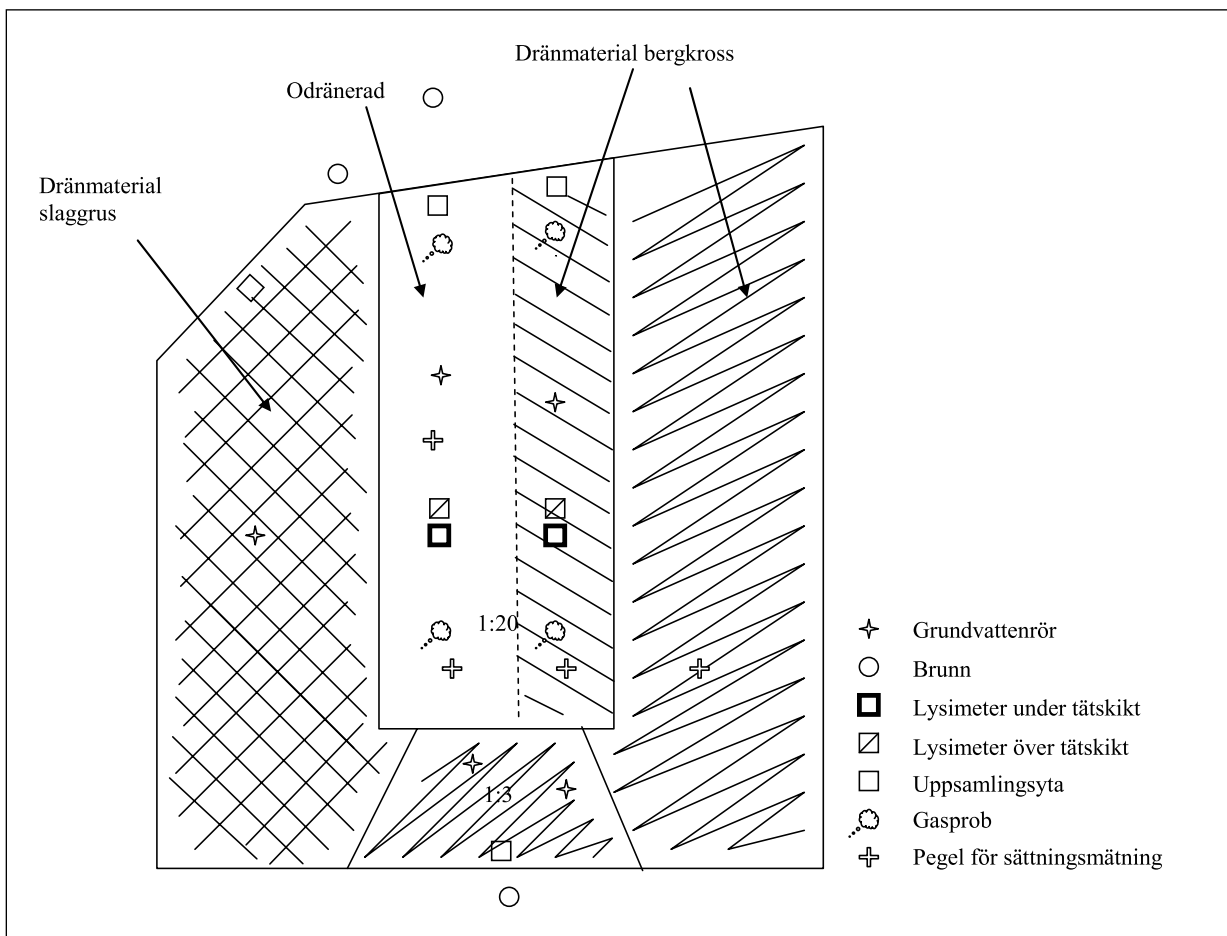
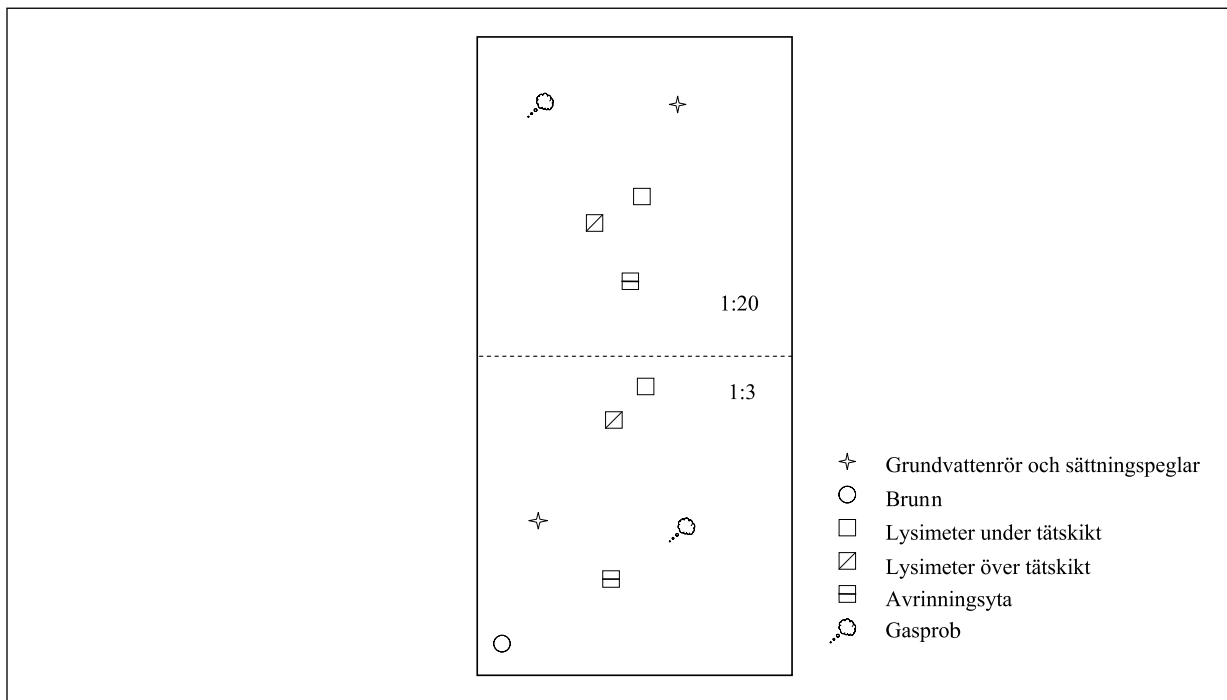
Vid de inledande laboratieförsöken analyserades innehållet i FSA-blandningarna. Kväve och fosfor utgjorde vardera 1–2 % av TS för både materialet från Sofielund och från Gärstad.

I samband med utläggning och packning av FSA och övriga skikt, installerades mät- och provtagningsutrustning med syfte att kunna följa upp funktionen för de olika delytorna. Installerad utrustning och dess funktion beskrivs kortfattat nedan. I Figur 1-2 och Figur 1-3 finns översiktliga skisser över provytorna på Sofielund respektive Gärstad.

Lysimetrar	Lysimetrar har installerats på provytorna både över och under tätskiktet. Lysimetrarna används både för kontroll av hur mycket vatten som rinner igenom respektive skikt, samt för provtagning och analys av vatten. Lysimetrar över tätskiktet utgörs av en 4 m ² stor gummiduk, medan lysimetrarna under tätskiktet har arean 16 m ² , se Figur 1-4. Lysimetrarna ligger direkt på respektive under tätskiktet förutom ett lager grus på duken för att förhindra igensättning av inloppet.
Avrinningsytor	Avrinningsytor har installerats ovan tätskiktet på två platser på ytan på Sofielund och fyra platser på ytan på Gärstad. Syftet är främst att ta prov och analysera vatten som rinner på tätskiktet ovasida, men även mängden vatten kontrolleras. Även avrinningsytorna utgörs av gummidukar. Dessa har installerats i slänter och den övre kanten har lagts in i tätskiktet, så att avrinnande vatten på ytan ska fångas upp i lysimetern.
”Grundvattenrör”	Genom att mäta grundvattennivån i de rör som installerats på provytan, kontrolleras dels vattentrycket ovan tätskiktet, dels om tätskiktet är vattenmättat.
Gasprober	Gasprober har installerats i täckningens olika skikt (avfall, tätskikt, dränsikt, skyddsskikt). Analys av syre, koldioxid och metan kan ge information om ev. nedbrytning.
Sättningspegel	Sättningspegel har installerats under och över tätskiktet samt i övre delen av skyddsskiktet. Genom avvägning av peglarna kontrolleras ev. sättningar i täckningen.



Figur 1-1 Den branta delen av provytan på Sofielund, samt angränsande delar av deponin.





Figur 1-4 Installation av lysimeter på SRV:s provyta, Sofielund.

2 Fält- och laboratorieundersökningar

2.1 Undersökningsprogram

Under perioden november 2006 till oktober 2008 har undersökningar utförts i fält och prover tagits för laboratorieundersökningar från de båda provytorna. Tidigare installerad mätutrustning har använts för provtagning och kolvprover har tagits upp med hjälp av borrhandsvagn. Tidplan för undersökningarna presenteras i Tabell 2-1, denna har följts med undantag för mindre förskjutningar i tid.

Tabell 2-1 Tidplan för undersökningar i uppföljning av provytor med FSA.

	2006	2007						2008				
	nov-dec	jan-feb	mar-apr	maj-jun	jul-aug	sep-okt	nov-dec	jan-feb	mar-apr	maj-jun	jul-aug	sep-okt
Avläsning av gv-nivåer	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Volymkontroll - lysimeter + avrinningsyta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vattenanalys - lysimeter + avrinningsyta	x			x			(x)			x		
Gasmätning	x									x		
Sättningsmätning	x									x		
Kolvprovtagning		x ¹								x		

1 Endast provyta på Sofielunds deponi

2.2 Vattenmättnad

Grundvattenrör har installerats för kontroll av eventuellt vattentryck på tätskiktet. Rören är satta så att deras botten är i nivå med tätskiktets överkant.

2.2.1 Sofielund

På provytan på Sofielund har inte särskilda grundvattenrör installerats. Istället har de avvägningsspeglar som installerades ovan tätskiktet även fungerat som grundvattenrör. Nedersta delen av peglarna är perforerade.

Vid lodning av vattennivåer i peglarna ovan tätskiktet har inget vatten påträffats. Däremot har 1–3 dm vattenpelare uppmäts i de peglar som installerats under tätskiktet. Dessa peglar har inte någon perforering. Möjliga orsaker till att vatten ändå påträffats här kan vara fel i installation av peglarna eller att skarven mellan pegelns bottenplatta och förlängningsrör inte är tät. Det bör dock noteras att antalet lodningar är litet.

Om peglarna ovan tätskiktet är korrekt installerade, tyder det faktum att inget vatten påträffats, på att dräneringen fungerar och att det inte finns något vattentryck ovan tätskiktet

2.2.2 Gärstad

På provytan på Gärstad har fem grundvattenrör av plast installerats. Rören sattes i samband med utläggning av materialet, men två av dem

skadades i samband med utbredning och packning av material. Dessa fick ersättas av rör som installerades med hjälp av borrhandsvagn.

Vattenpelarens höjd i rören vid olika mättillfällen presenteras i Tabell 2-2. Rören är installerade på olika delytor, brant respektive flack, samt med dräneringslager av bergkross, slaggrus eller odränerat.

De grundvattenrör som installerats på delytor där dränmaterialet utgörs av bergkross har vid samtliga mättillfällen varit torra eller i det närmaste torra. På den delyta där dränmaterialet utgörs av slaggrus har vattenpelaren varierat. Från början var även detta rör torrt, och vattenpelaren har sedan ökat till ca 2 dm. I röret på ytan som saknar dräneringsskikt har vattenpelaren varierat, och som mest uppgått till ca 8 dm. Detta gör att tätskiktet här utsätts för ett större vattentryck än på övriga delytor, vilket kan öka vattengenomströmningen genom tätskiktet.

Tabell 2-2 Vattenpelarens höjd uppmätt i grundvattenrör på Gärstad.

Datum	GV-rör 1 (m) Bergkross flack	GV-rör 2 (m) Bergkross brant	GV-rör 3 (m) Bergkross brant	GV-rör 4 (m) Slaggrus brant	GV-rör 5 (m) Odränerad flack
2004-12-14	0,01	torrt, fukt i botten	helt torr	av i skarv	av i skarv
2005-01-14	torr	torr	torr	*nya rör sätts	*nya rör sätts
2005-01-24	torr	torr	torr	0,04	0,13
2005-02-01	torr	0,005	torr	0,04	0,11
2005-02-17	torr	fukt i botten	torr	0,02	0,06
2005-03-14	fukt i botten	fukt i botten	torr	torr	0,015
2005-04-15	torr	0,005	torr	0,07	0,19
2005-05-12	torr	fukt i botten	torr	0,11	0,27
2005-07-19	torr	-	torr	0,12	0,24
2005-08-26	-	-	torr	0,14	0,18
2005-09-09	torr	0,01	torr	0,115	0,04
2006-12-15	torr	torr	torr	0,17	0,39
2007-02-14	torr	torr	torr	0,15	0,55
2007-05-11	torr	fukt i botten	torr	0,16	0,24
2007-08-15	torr	torr	torr	0,15	0,81
2007-09-27	torr	fukt i botten	torr	0,185	0,21
2007-12-13	Torr	fukt i botten	torr	0,19	0,79
2008-01-24	Torr	fukt i botten	torr	0,20	0,54
2008-04-11	Torr	fukt i botten	torr	0,20	0,64
2008-06-04	Torr	fukt i botten	torr	0,20	0,17
2008-08-29	Torr	fukt i botten	-	0,21	0,56

2.3 Lysimetrar – volym

2.3.1 Sofielund

Lysimetrarna på Sofielund är kopplade till dunkar som rymmer 25 l. Dessa töms manuellt i samband med provtagning och kontroll. Denna lösning för volymkontroll kräver att dunkarna töms regelbundet. Dunkarna för avrinningsytorna fylls mycket snabbt och har runnit över vid flera tillfällen. Om dunkarna får stå för länge mellan tömningarna kan det också medföra att uppsamlat vatten avdunstar, särskilt vid varm väderlek.

Fyra lysimetrar finns installerade, enligt nedan. På dessa provytor har stora lysimetrar använts för att få vatten från så stort område som möjligt, till skillnad från till exempel vid Dragmossens deponi (Mácsik m.fl., 2007) där flera små lysimetrar används.

ÖL 1:20	Lysimeter över tätskiktet, flack delyta
UL 1:20	Lysimeter under tätskiktet, flack delyta
ÖL 1:3	Lysimeter över tätskiktet, brant delyta
UL 1:3	Lysimeter under tätskiktet, brant delyta

Lysimetern över tätskiktet på den branta delytan har haft låg genomströmmad volym, för perioden december 2006 till december 2007 uppgick flödet till ca 1,5 l/(m²·år). Detta bedöms inte vara rimligt. Lysimetern över tätskiktet på den flacka delytan har under samma tidsperiod haft ett flöde på ca 35 l/(m²·år), vilket även det är lågt. Vid några tillfällen var dunken full och det hade runnit över, vilket medför att genomströmmad mängd underskattas. En enkel vattenbalansberäkning (nederbörd-avdunstning-avrinning) ger att mängden vatten tillgänglig för infiltration uppgår till ca 115 l/(m²·år). Vid beräkning av avrinningen har hänsyn tagits till markanvändning för ytorna (öppna men ej hårdgjorda ytor). Genomsnittlig nederbörd för perioden 1961–1990 har hämtats från SMHI (2001).

Uppmätt vattenflöde till de undre lysimetrarna har uppgått till 0,1–0,3 l/(m²·år), beräknat för perioden december 2006 till december 2007. Detta är lågt, och det har endast funnits små mängder vatten för analys. Tätskiktets hydrauliska konduktivitet bedöms inte kunna vara så låg, det stämmer inte heller med resultat från laboratoriemätningar i avsnitt 2.7.1 nedan.

Den låga genomströmningen för lysimetrarna beror troligen på att de inte fungerar som de ska, de kan ha skadats i samband med installation eller täppts igen av finmaterial. Metoden för volymmätning med dunkar kan också bidra.

2.3.2 Gärstad

På Tekniska Verken mäts flödet från lysimetrarna genom vippflödesmätare. Fyra lysimetrar finns installerade, samtliga på den flacka delytan:

Lys 1	Lysimeter över tätskiktet, dränsikt: bergkross
Lys 2	Lysimeter under tätskiktet, dränsikt: bergkross
Lys 3	Lysimeter över tätskiktet, dränsikt saknas
Lys 4	Lysimeter under tätskiktet, dränsikt saknas

För lysimeter 1 (över tätskiktet) saknas data. Inget vatten har erhållits, vilket kan tyda på att den skadats vid installationen eller vid utläggning och packning av överliggande skikt eller att den täppts igen. För lysimeter 3 som också ligger över tätskiktet har flödet beräknats till 157 l/(m²·år) (perioden sept 2006–sept 2007). Denna lysimeter har därefter tidvis varit ur funktion, varför årsvärde för en senare period inte kunnat beräknas. Under våren 2008 (februari-maj) motsvarande flödet ett årsflöde av 118 l/(m²·år). Vattenbalansberäkning (på samma sätt som ovan) ger att volymen vatten som kan infiltrera uppgår till 86 l/(m²·år), beräknat från medelvärde för nederbörd (SMHI, 2001).

För lysimetrarna under tätskiktet har flöden enligt Tabell 2-3 uppmätts. Flödet genom tätskiktet uppfyller mer än väl kravet för deponier för icke farligt avfall (50 l/(m²·år)) för båda lysimetrarna. Flödet för lysimeter 2 ligger nära kravet för deponier för farligt avfall (5 l/(m²·år)).

Flödet till lysimeter 4 är ungefär dubbelt så stort som flödet till lysimeter 2. På delytan där lysimeter 2 är belägen utgörs dränskiktet av bergkross som dränerar bort vatten och inget vattentryck finns på tätskiktet. Lysimeter 4 är belägen på den delyta som helt saknar dräneringsskikt. Inom denna delyta utsätts tätskiktet för ett vattentryck, se avsnitt 2.2 ovan. Förekomsten av dränskikt bidrar till att vattengenomsrömningen genom tätskiktet begränsas.

Tabell 2-3 Flöden i lysimetrar installerade under tätskikt ($l/(m^2 \cdot \text{år})$).

	Lys 2 bergkross	Lys 4 odränerat
2005	8,4	14,2
2006	8,3	12,0
2007	4,4	11,5
2008 (januari–augusti)	5,4	18,3
2005-2008 (sep. 2005–aug. 2008)	5,8	12,3

2.4 Perkolerande vatten genom tätskiktet

Uppsamlat vatten från lysimetrar och avrinningsytor har analyserats med avseende på metaller, näringsämnen och organiskt kol. Samtliga analysresultat redovisas i tabell i bilagorna A och B. Om inget annat anges i tabellerna har metaller och organiskt kol analyserats på filtrerade prover medan kalcium och näringsämnen analyserats på ofiltrerade prover.

Provtagningsserien inleddes strax efter utläggning av material. Data från de första provtagningsarna presenteras i tidigare rapport (Carling m.fl., 2006). Någon bedömning av resultaten gjordes inte, varför resultat från hela perioden behandlas här.

Det vatten som avrinner på tätskiktet bedöms motsvara det vatten som efter sluttäckning skulle avrinna till omgivningen, eventuellt via behandlingsanläggning. Detta vatten påverkas av tätskiktet genom ytutlakning. Då det infiltrerar skyddsskiktet och avrinner i dränskiktet påverkas det också av dessa material.

Eftersom avrinningsytorna är belägna ovanför tätskiktet, bedöms vatten från dessa ha liknande ursprung som vatten från lysimetrar ovan tätskiktet. Skillnaden är att vatten till avrinningsytorna runnit längs tätskiktets yta och i dräneringsmaterialet, vilket i viss mån kan påverka sammansättningen.

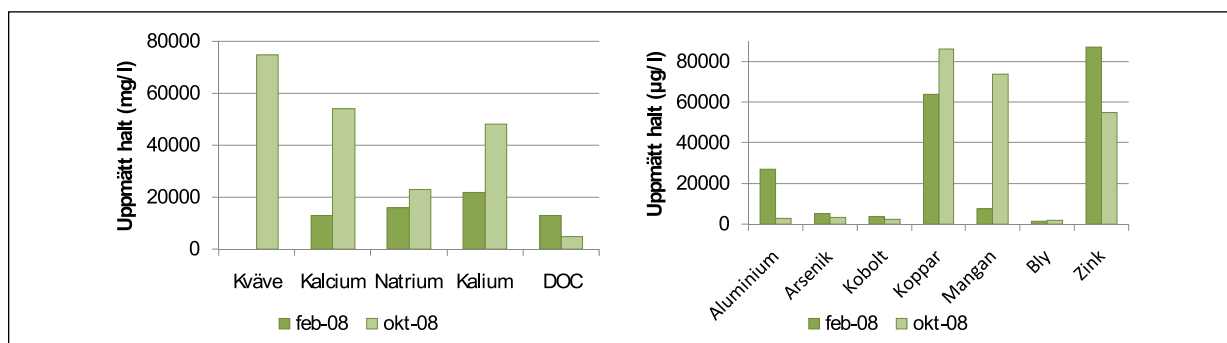
För att dra säkra slutsatser beträffande sorption/desorption av enskilda metaller i FSA-skiktet skulle omfattande beräkning och längre tidsserier krävs. Här görs därför endast en jämförelse av halter i vatten över och under tätskiktet och en bedömning av större förändringar i tiden.

2.4.1 Sofielund

Vid provtagning av vatten från lysimetrar och avrinningsytor på Sofielund blandades vattnet i respektive dunk innan det hölls upp på flaskor. Proverna sändes sedan för analys på ackrediterat laboratorium. Filtrering utfördes på laboratorium.

Lysimetrarna under tätskiktet på provytan på Sofielund har gett lite vatten, särskilt för den som är installerad på den branta delytan. För denna har därför hela analysprogrammet bara kunnat köras vid ett tillfälle. Även för den undre lysimetern på den flacka delytan och för den övre lysimetern på den branta delytan har vatten saknats vid något tillfälle.

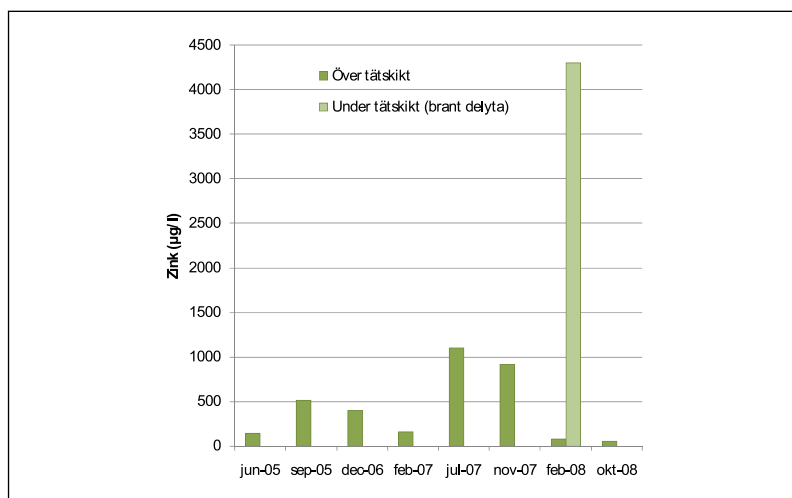
Den undre lysimetern på den flacka ytan (se bilaga A) visar mycket anmärkningsvärda analysresultat. Lakvatten har analyserats med avseende på pH vid tre tillfällen, med avtagande pH från 7 vidare till 5,9 och efter 3 år ett värde på 3,6. De mycket höga halterna av t.ex. kalcium, koppar och zink som samstämmigt ökar med sjunkande pH ger en mycket tydlig indikation på att de uppmätta pH-värdena är korrekta, se Figur 2-1. De felkällor som är möjliga skulle kunna vara analysfel eller fel vid provtagningen. Resultaten är kontrollerade och analysfel är mycket osannolikt, eftersom de två senaste analyserna, provtagna februari 2008 och oktober 2008, är utförda på olika laboratorier men ändå uppvisar samma mönster med t.ex. koppar- och zinkvärden i samma storleksordning. Vid provtagning skall använda kärl vara syradiskade vilket skulle kunna innebära att syrester oavsiktligt lämnas kvar som skulle kunna påverka lakvattnets pH eftersom endast små mängder vatten har perkolerat. Detta bedöms också som mycket osannolikt eftersom, som nämnts ovan, de höga halterna av metaller tyder på en perkolation och upplösning av ämnen i materialet. Mer troliga orsaker till de låga pH-värdena är nitrifikation eller oxidation av sulfid till sulfat. Eftersom resultat från denna lysimeter resultat avviker kraftigt från övriga, används de inte i fortsatta jämförelser.



Figur 2-1 Uppmätta halter av näringsämnen, organiskt kol och grundämnen i prov från lysimeter under tätskiktet på den flacka delytan, Sofielund.

Kvävehalten (totalkväve) i vatten från lysimetrar över tätskikt och avrinningsytor har successivt minskat under perioden, se vidare i avsnitt 2.5. I vatten från lysimeter under tätskiktet på den branta delytan har kväve endast analyserats vid ett tillfälle (februari 2008). Halten var då i nivå med halter över tätskiktet. Vatten från den andra lysimetern under tätskiktet har analyserats med avseende på kväve vid tre tillfällen (januari 2005, september 2005 och oktober 2008). Vid två av dessa tillfällen (september 2005 och oktober 08) var kvävehalten markant förhöjd. Dessa höga värden sammanföll med lågt pH och höga metallhalter som diskuteras ovan. Även halterna av fosfor och organiskt kol (DOC) är kraftigt förhöjda i prover från den undre lysimetern på den flacka delytan vid de två senaste provtagningstillfällena. I den lysimeter som finns

under tätskiktet på den branta delytan, uppmättes i februari 2008 hög halt av zink (4 300 µg/l), vilket är ungefär dubbelt så mycket som den högsta halten ovan tätskiktet (2 300 µg/l i november 2007 i prov från lysimeter ovan tätskiktet på den flacka delytan), se Figur 2-2.



Figur 2-2 Uppmätta zinkhalter för lysimetrar och avrinningsytor på Sofielund. Värden över tätskikt är beräknade som medel för avrinningsytor och lysimetrar ovan tätskiktet. Värdet för "under tätskikt" är resultat för lysimetern under tätskiktet på den branta delytan.

I prov från lysimetern ovan tätskiktet på den branta delytan taget i september 2005, uppmättes lågt pH-värde (4,6). Halterna av aluminium, kadmium och zink var något förhöjda i detta prov, jämfört med övriga provtagningsstillfällen. Detta kan vara till följd av ökad utlakning på grund av det lägre pH-värdet.

2.4.2 Gärstad

Vid provtagning från lysimetrar och avrinningsytor på Gärstad placerades en plastburk under utloppet från respektive provtagningspunkt, se Figur 2-3. Vid de lysimetrar där flödet var lågt, fick burken stå en eller flera dagar innan den tömdes. Proverna transporterades sedan direkt till laboratorium där de placerades i kyl eller frys i väntan på analys. Filtrering utfördes på laboratorium. Analyserna utfördes av ackrediterade laboratorier, dels Tekniska Verkens eget och dels externa laboratorier. Första provtagningen utfördes i januari 2005. Ytan anlades i september-november 2004.

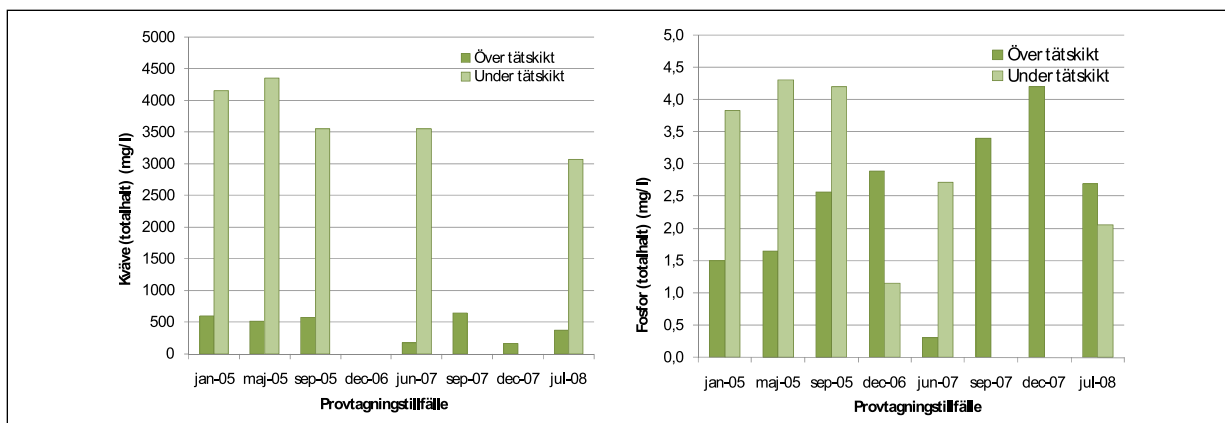
Lysimeter 1 (över tätskikt, bergkross som dränmaterial) gav vatten första tiden efter anläggande av provytan, men har därefter varit ur funktion. Därför finns endast analysresultat från ett tillfälle för denna provtagningspunkt. Även avrinningsytorna 3 och 4 har bristande funktion och har bara gett vatten vid tre-fyra analystillfällen.

I Figur 2-4 visas totalhalter av kväve och fosfor i vatten från lysimetrar och avrinningsytor. Medelvärde har beräknats för värden från lysimetrar över tätskiktet och avrinningsytor ("Över tätskiktet") respektive för data från lysimetrar under tätskiktet ("Under tätskiktet"). För kväve är halterna generellt flera gånger högre i vatten från lysimetrar under



Figur 2-3 Brunn för uppsamling av vatten från lysimetrar och avrinningsytor, Gärstad.

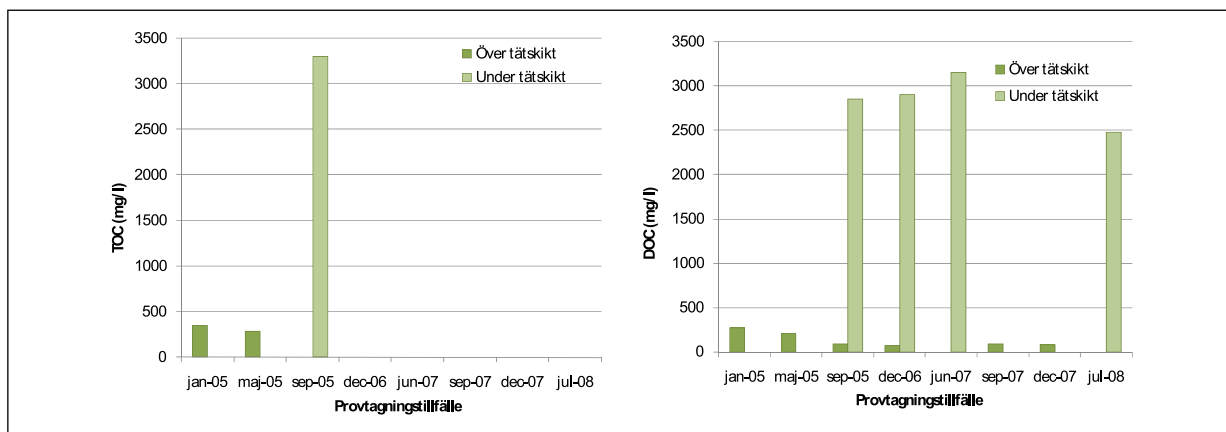
tätskiktet jämfört med över tätskiktet. Analyser visar att kvävet huvudsakligen förekommer i form av ammoniumkväve och organiskt kväve, halterna nitrit och nitrat är låga, se bilaga B. För fosfor kan däremot ingen tydlig trend noteras. Undersökning har inte gjorts av om fosfor förekommer i löst eller partikulär form. Det är alltså osäkert om fosfor går i lösning eller om uppmätta halter härrör från partikeltransport. Höga halter förekommer även i prov tagna över tätskiktet, oberoende av vilket material dränskiktet utgörs av eller om dränskikt saknas. Möjligen kan kväve och fosfor även komma från skyddsskiktet.



Figur 2-4 Kväve- och fosforhalter i vatten från lysimetrar och avrinningsytor i provytan på Gärstad. Medelvärde har beräknats för provtagningspunkter över respektive under tätskiktet.

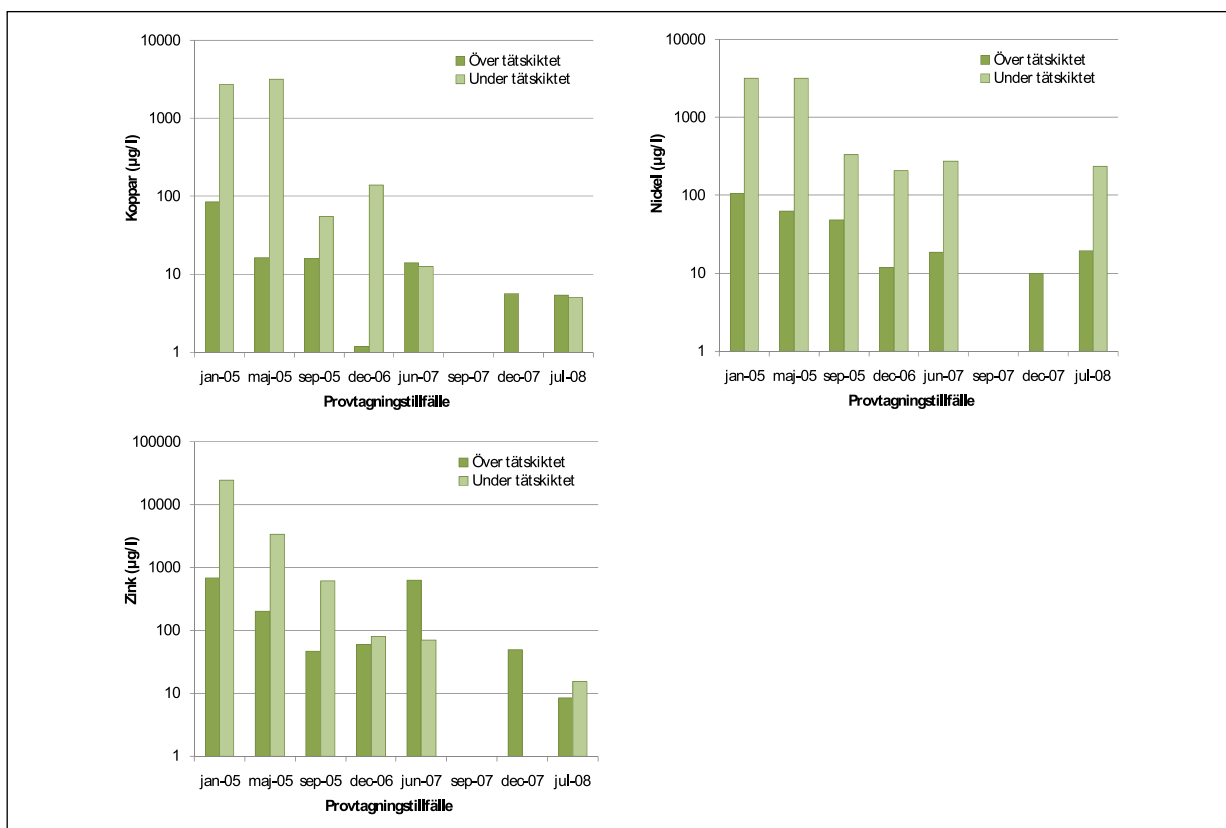
Halterna av organiskt kol, totalt (TOC) respektive löst (DOC), finns i Figur 2-5. Dessa halter är högre i vatten från lysimetrar under tätskiktet jämfört med övriga.

Halterna av zink, nickel, och koppar var mycket höga vid de två första mättillfällena (januari och maj 2005) för lysimeter 4 (under tätskikt, inget dränskikt), se bilaga B. I Figur 2-6 presenteras medelvärde för provpunkter över respektive under tätskiktet. De högsta halterna



Figur 2-5 Halter organiskt kol (totalt respektive löst) i vatten från lysimetrar och avrinningsytor i provytan på Gärstad. Medelvärde har beräknats för provtagningspunkter över respektive under tätskiktet.

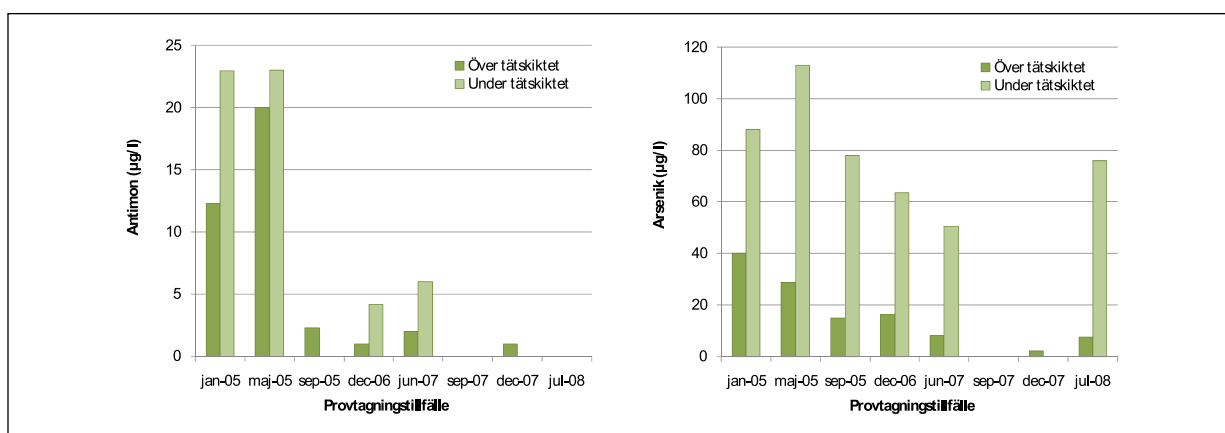
för lysimeter 4 uppgick till 6 300 µg/l (Cu), 5 720 µg/l (Ni) respektive 48 800 µg/l (Zn). Halterna är mycket höga och felkällor har sökts i provtagningsförfarande och analys, men inga avvikelser från normal hantering har hittats. Dessa halter minskar sedan och ligger vid övriga mättillfällen i nivå med resultat för lysimeter 2 (under tätskikt, bergkross som dränmaterial). Även för övriga lysimetrar och avrinningsytor är halterna av dessa metaller generellt högst vid de första mättillfällena och sjunker eller planar sedan ut.



Figur 2-6 Halter av koppar, nickel och zink i vatten från lysimetrar och avrinningsytor i provytan på Gärstad. Medelvärde har beräknats för provtagningspunkter över respektive under tätskiktet. Observera att skalan på y-axeln är logaritmisk.

Några undantag finns, t.ex. avrinningsyta 3 (dränksikt: slaggrus) där relativt höga halter av koppar och nickel uppmättes i september 2005. Koppar har tidigare visat sig kunna lakas ut från slaggrus (Olsson, 2005). I prov från lysimeter 3 (över tätskikt, inget dränksikt) uppmättes förhöjd zinkhalt i juni 2007. Halterna under tätskiktet är emellertid genomgående högre för alla dessa metaller än halterna över tätskiktet.

Antimon och arsenik uppträder enligt likartat mönster i analyserade vatten, se Figur 2-7. Halterna är generellt högre i prov från lysimetrar under tätskiktet än i lysimetrar över tätskiktet och avrinningsytorna (undantaget antimon i lysimeter 3 vid andra mättillfället). En orsak till höga halter av arsenik och möjligen också antimon skulle kunna vara högt pH-värde eftersom utlakningen av åtminstone arsenik är pH-beroende och ökar med pH-värdet. Skillnaden i pH mellan lysimetrar/avrinningsytor över tätskiktet och lysimetrar under tätskiktet förefaller vara liten baserat på tillgängliga pH-data (få mätningar). En troligare anledning till att halterna är högre under tätskiktet är att innehållet av arsenik och antimon i FSA-blandningen medför höga halter Bäckström, 2006; Carling m.fl., 2006). Halterna av arsenik verkar minska över tiden både i lysimetrar/avrinningsytor över tätskiktet och lysimetrar under tätskiktet med undantag av lysimeter 2 under tätskikt som har ett dräneringslager av bergkross. I allmänhet minskar också halterna av antimon över tiden i lysimetrar/avrinningsytor ovan tätskiktet. Det är dock osäkert om det sker någon minskning i lysimetrarna under tätskiktet efter den initiala minskningen.



Figur 2-7 Halter av antimon och arsenik i vatten från lysimetrar och avrinningsytor i provytan på Gärstad. Medelvärde har beräknats för provtagningspunkter över respektive under tätskiktet.

2.5 Avrinnande vatten på tätskiktet

2.5.1 Sofielund

Näringsämneshalter i det vatten som avrinner på tätskiktet presenteras i Tabell 2-4. Avrinningsytorna är betecknade:

AVR1:3	avrinningsyta på den branta delytan
AVR1:20	avrinningsyta på den flacka delytan

Resultaten jämförs med klasser för bedömning av tillstånd, framtagna av Naturvårdsverket (2000). Uppmätta halter av totalkväve och totalfosfor betraktas som *"extremt höga"*, utom vid ett tillfälle där kvävehalten i prov från den branta ytan klassas som *"måttligt hög"*. För både kväve och fosfor har halterna minskat under de tre år som mätningarna pågått. Förekomstform för kväve har inte undersökts för vatten från Sofielund. Total mängd organiskt kol (TOC) har inte analyserats, däremot har löst organiskt kol (DOC) uppmätts vid ett flertal tillfällen. Då DOC utgör en delmängd av TOC, antas att förhöjda halter av DOC också innebär förhöjda halter av TOC och jämförelse kan göras med referensvärden för TOC. Därmed har halterna av organiskt kol varit mycket höga vid samtliga mättillfällen, utom ett då *"mycket låg halt"* organiskt kol uppmättes i ett prov. Detta var samma prov som innehöll lägre halt kväve än övriga. Ingen tydlig trend kan ses för förändringar av halten av organiskt kol i vatten från avrinningsytorna.

Görs istället jämförelse med halter i renat avloppsvatten, kan fosforhalterna betraktas som låga vid några tillfällen. För Tekniska Verkens reningsverk i Linköping är villkoret för kväve i utgående vatten 3 mg/l och för fosfor 0,3 mg/l.

För näringsämnen har arealspecifik förlust beräknats och jämförts med tillståndsklasser framtagna av Naturvårdsverket (2000). Vid beräkning av förluster har den volym som enligt bräkning når tätskiktet använts (115 l/(m²·år)) (se avsnitt 2.3 ovan). Vidare har antagits att hela denna volym avrinner på tätskiktet. För flertalet provtagningstillfällen betraktas då arealförlusterna som *"mycket höga"* eller *"extremt höga"*, se Tabell 2-5. Detta motsvarar förlusterna för erosionsbenägen åkermark. Vid ett tillfälle (december 2006) var kväveförlusterna *"mycket låga"* i prov från en av avrinningsytorna. Vid den senaste provtagningen (oktober 2008) var fosforförlusterna *"måttligt höga"* i prov från båda provtagningspunkterna.

Tabell 2-4 Halter av näringsämnen och organiskt kol i avrinnande vatten från provytan på Sofielund. Förekomstform för näringsämnen har inte undersökts för vatten från Sofielund. Uppmätta halter jämförs med referensvärden framtagna av Naturvårdsverket (2006). Observera att klassbenämningen är olika för näringsämnen respektive TOC.

SNV Rapport 4913		pH	El.kond. mS/cm	Tot-N, mg/l	Tot-P, mg/l	TOC, mg/l
låga halter				<0,3	<0,0125	<4 (mycket låg halt)
måttligt höga halter				0,3-0,625	0,0125-0,025	4-8 (låg halt)
höga halter				0,625-1,250	0,025-0,050	8-12 (måttligt hög halt)
mycket höga halter				1,250-5,0	0,050-0,100	12-16 (hög halt)
extremt höga halter				>5,0	>0,100	>16 (mycket hög halt)
Avrinningsyta, brant delyta						DOC, mg/l
jun-05	AVR1:3	7,0		1000	12	
sep-05	AVR1:3	6,7		220	1,6	
dec-06	AVR1:3	6,8	8,63	65	0,34	29
nov-07	AVR1:3	7,8		210	0,47	33
okt-08	AVR1:3	8,1		25	0,13	25
Avrinningsyta, flack delyta						
jun-05	AVR1:20	7,2		1000	8,7	
sep-05	AVR1:20	8,0		780	5,8	
dec-06	AVR1:20	7,2	2,52	0,31	<0,01	2,1
nov-07	AVR1:20	7,9		98	0,31	31
okt-08	AVR1:20	8,3		14	0,12	18

Tabell 2-5 Areal specifika förluster av näringsämnen beräknade från halter i vatten från provytan på Sofielund och beräknad infiltration i skyddsskiktet. Beräknade mängder jämförs med referensvärden framtagna av Naturvårdsverket (2000).

SNV Rapport 4913		Kväve, kg/(ha·år)	Fosfor, kg/(ha·år)
mycket låga förluster		≤1,0	≤0,04
låga förluster		1,0-2,	0,04-0,08
måttligt höga förluster		2,0-4,0	0,08-0,16
höga förluster		4,0-16,0	0,16-0,32
mycket/extremt höga förluster		>16	>0,32
Avrinningsyta, brant delyta			
jun-05	AVR1:3	1150	14
sep-05	AVR1:3	253	1,8
dec-06	AVR1:3	75	0,39
nov-07	AVR1:3	242	0,54
okt-08	AVR1:3	29	0,15
Avrinningsyta, flack delyta			
jun-05	AVR1:20	1150	10
sep-05	AVR1:20	897	6,7
dec-06	AVR1:20	0,36	<0,01
nov-07	AVR1:20	113	0,36
okt-08	AVR1:20	16	0,14

Uppmätta halter av metaller i avrinnande vatten presenteras i Tabell 2-6. Samtliga uppmätta kopparhalter har motsvarat "allvarligt" eller "mycket allvarligt" tillstånd. För arsenik, kadmium och zink uppmättes halter motsvarande "mycket allvarligt" tillstånd under den första delen av uppföljningsperioden. För några metaller (arsenik, krom, nickel och bly) minskar halterna under perioden, för de övriga kan inga säkra slutsatser dras.

Tabell 2-6 Uppmätta halter av metaller i avrinningsvatten från provytan på Sofielund. Halterna jämförs med referensvärden framtagna av Naturvårdsverket (1999).

SNV Rapport 4918		pH	As, µg/l	Cd, µg/l	Cr, µg/l	Cu, µg/l	Ni, µg/l	Pb, µg/l	Zn, µg/l
mindre allvarligt			<15	<0,3	<15	<9	<45	<3	<60
måttligt allvarligt			15-45	0,3-1	15-45	9-30	45-140	3-10	60-180
allvarligt			45-150	1-3	45-150	30-90	140-450	10-30	180-600
mycket allvarligt			>150	>3	>150	>90	>450	>30	>600
Avrinningsyta, brant delyta									
jun-05	AVR1:3	7	270	0,81	21	280	270	5,3	100
sep-05	AVR1:3	6,7	87	5,1	1,9	120	40	3,1	810
dec-06	AVR1:3	6,78	<50	<4	<10	75	<20	<40	690
nov-07	AVR1:3	7,8	22	0,73	<5	120	15	<0,5	42
okt-08	AVR1:3	8,1	18	0,29	2,6	84	7,7	<0,5	21
Avrinningsyta, flack delyta									
jun-05	AVR1:20	7,2	140	0,61	13	69	120	13	31
sep-05	AVR1:20	8	150	1,6	17	59	67	7,5	150
dec-06	AVR1:20	7,2	17	0,99	13	52	62	<0,5	330
nov-07	AVR1:20	7,9	29	3	<5	97	22	<0,5	410
okt-08	AVR1:20	8,3	13	0,41	1,5	44	18	2,3	75

2.5.2 Gärstad

Näringsämneshalter i det vatten som avrinner på tätskiktet presenteras i Tabell 2-7. Avrinningsytorna är betecknade:

AVR1	avrinningsyta på den flacka delytan, dränskikt: bergkross
AVR2	avrinningsyta på den flacka delytan, inget dränskikt
AVR3	avrinningsyta på den branta delytan, dränskikt: slaggrus
AVR4	avrinningsyta på den branta delytan, dränskikt: bergkross

Uppmätta halter av totalkväve och totalfosfor betraktas som "mycket höga" eller "extremt höga". För kväve har halterna minskat under de 3,5 år som mätningarna pågått. Övervägande delen av kvävet förekommer som ammoniumkväve och organiskt kväve. För fosfor kan ingen tydlig trend i haltförändringar ses. I de fall total mängd organiskt kol (TOC) uppmätts, betraktas även dessa halter som mycket höga. Vid flera tillfällen har istället löst organiskt kol (DOC) uppmätts. Då DOC utgör en delmängd av TOC, antas att förhöjda halter av DOC också innebär förhöjda halter av TOC. Därmed har halterna av organiskt kol varit mycket höga vid samtliga mättillfällen. För DOC, som mätts under en längre period än TOC, bedöms halterna minska med tiden.

Tabell 2-7 Halter av näringsämnen och organiskt kol i avrinnande vatten från provytan på Gärstad. Uppmätta halter jämförs med referensvärden framtagna av Naturvårdsverket (2000). Observera att klassbenämningen är olika för näringsämnen respektive TOC.

SNV Rapport 4913		pH	Tot-N, mg/l	Tot-P, mg/l	TOC, mg/l	DOC, mg/l
låga halter			<0,3	<0,0125	<4 (mycket låg halt)	
måttligt höga halter			0,3-0,625	0,0125-0,025	4-8 (låg halt)	
höga halter			0,625-1,250	0,025-0,050	8-12 (måttligt hög halt)	
mycket höga halter			1,250-5,0	0,050-0,100	12-16 (hög halt)	
extremt höga halter			>5,0	>0,100	>16 (mycket hög halt)	
Avrinningsyta, dränskikt: bergkross, flack delyta						
jan-05	Avr1	7,5	660	3,53		
maj-05	Avr1	7,8	570	2,1	220	170
sep-05	Avr1	7,9	950	2,9	360	280
dec-06	Avr1			5,8		110
dec-07	Avr1		170	4,2		92
jul-08	Avr1					92,3
Avrinningsyta, dränskikt saknas, flack delyta						
jan-05	Avr2	7,3	450	0,983		
maj-05	Avr2	7,2	500	2,8	240	220
sep-05	Avr2	7,6	520	2	370	160
dec-06	Avr2			3,9		110
jun-07	Avr2		131	0,48		97
jul-08	Avr 2		130	3,03		76,2
Avrinningsyta, dränskikt: slaggrus, flack delyta						
jan-05	Avr3	7,0	910	1,46		
sep-05	Avr3	7,4	770	4,8	350	270
dec-06	Avr3			0,075		60
jun-07	Avr3		221	0,12		46
Avrinningsyta, dränskikt: bergkross, brant delyta						
jan-05	Avr4	7,3	270	1,02		
maj-05	Avr4	7,2	110	1	52	43
sep-05	Avr4	7,4	74	0,56	42	120

Även för denna provyta är fosforhalterna låga vid några tillfällen, om jämförelse görs med tillåtna halter i renat avloppsvatten. För Tekniska Verkens reningsverk i Linköping är villkoret för kväve i utgående vatten 3 mg/l och för fosfor 0,3 mg/l.

För näringsämnen har arealspecifik förlust beräknats och jämförts med tillståndsklasser framtagna av Naturvårdsverket (2000). Vid beräkning av förluster har den volym som enligt bräkning når tätskiktet använts (86 l/(m²·år)) (se avsnitt 2.3 ovan). Vidare har antagits att hela denna volym avrinner på tätskiktet. Generellt betraktas då arealförlusterna som ”mycket höga” eller ”extremt höga”, se Tabell 2-5. Vid två provtagningar (december 2006 och juni 2007) från avrinningsyta 3 var förlusterna ”måttligt höga”.

Uppmätta halter av metaller som avrinner på tätskiktet presenteras i Tabell 2-9, där jämförelse görs med Naturvårdsverkets indelning av tillstånd för förorenat ytvatten (Naturvårdsverket, 1999). Vid den första provtagningen uppmättes zink i så hög halt att det betraktas som ”mycket allvarligt” tillstånd i prov från en avrinningsyta. Arsenik och koppar uppmättes i halter motsvarande ”allvarligt” tillstånd vid provtagningar under 2005. Generellt bedöms halterna av dessa metaller ha sjunkit under perioden.

Tabell 2-8 Arelspecifika förluster av näringsämnen beräknade från halter i vatten från provytan på Gärsstad och beräknad infiltration i tätskiktet. Beräknade mängder jämförs med referensvärden framtagna av Naturvårdsverket (2000).

SNV Rapport 4913		Tot-N, kg/(ha·år)	Tot-P, kg/(ha·år)
mycket låga förluster		≤1,0	≤0,04
låga förluster		1,0-2,	0,04-0,08
måttligt höga förluster		2,0-4,0	0,08-0,16
höga förluster		4,0-16,0	0,16-0,32
mycket höga förluster		>16	>0,32
Avrinningsyta, dränskikt: bergkross, flack delyta			
jan-05	Avr1	568	3,0
maj-05	Avr1	490	1,8
sep-05	Avr1	817	2,5
dec-06	Avr1		5,0
dec-07	Avr1	146	3,6
jul-08	Avr1		
Avrinningsyta, dränskikt saknas, flack delyta			
jan-05	Avr2	387	0,8
maj-05	Avr2	430	2,4
sep-05	Avr2	447	1,7
dec-06	Avr2		3,4
jun-07	Avr2	113	0,4
jul-08	Avr 2	112	2,6
Avrinningsyta, dränskikt: slaggrus, flack delyta			
jan-05	Avr3	783	1,3
sep-05	Avr3	662	4,1
dec-06	Avr3		0,1
jun-07	Avr3	190	0,1
Avrinningsyta, dränskikt: bergkross, brant delyta			
jan-05	Avr4	232	0,9
maj-05	Avr4	95	0,9
sep-05	Avr4	64	0,5

Tabell 2-9 Uppmätta halter av metaller i avrinningsvatten från provytan på Gärstad. Halterna jämförs med referensvärden framtagna av Naturvårdsverket (1999).

SNV Rapport 4918		As, µg/l	Cd, µg/l	Cr, µg/l	Cu, µg/l	Ni, µg/l	Pb, µg/l	Zn, µg/l
mindre allvarligt		<15	<0,3	<15	<9	<45	<3	<60
måttligt allvarligt		15-45	0,3-1	15-45	9-30	45-140	3-10	60-180
allvarligt		45-150	1-3	45-150	30-90	140-450	10-30	180-600
mycket allvarligt		>150	>3	>150	>90	>450	>30	>600
Avrinningsyta, dränskiikt: bergkross, flack delyta								
jan-05	Avr1	20,6	0,0531	1,15	52	63,2	7,82	703
maj-05	Avr1	28	<0,4	<4	34	59	<1	200
sep-05	Avr1	16	<0,2	1,2	3	57	0,5	9,5
dec-06	Avr1	16	<0,2	5,3	1,1	9	<2	<60
dec-07	Avr1	2,3	<0,2	<2	5,7	10	<2	<50
jul-08	Avr1	8,85	<0,05	0,801	6,565	25,4	0,549	5,435
Avrinningsyta, dränskiikt saknas, flack delyta								
jan-05	Avr2	14,3	0,0651	1,81	33,4	48,7	5,19	48,1
maj-05	Avr2	14	<0,4	<4	12	42	<1	<20
sep-05	Avr2	9,8	<0,2	1,6	4,6	37	<0,5	<10
dec-06	Avr2	16	<0,2	3,7	<1	8	<2	<60
jun-07	Avr2		<0,2	<2	<1	22	<2	<50
jul-08	Avr 2	<4	<0,05	0,897	3,5	11,3	0,434	<2
Avrinningsyta, dränskiikt: slaggrus, flack delyta								
jan-05	Avr3	<20	<0,1	1,42	55,8	85,8	3,79	82,1
sep-05	Avr3	30	<1	<10	53	88	4,4	83
dec-06	Avr3	14	<0,2	<2	<1	4	<2	<60
jun-07	Avr3		0,32	<2	3,6	9	<2	63,2
Avrinningsyta, dränskiikt: bergkross, brant delyta								
jan-05	Avr4	46	<0,05	0,868	16,1	38,6	3,21	301
maj-05	Avr4	<4	<0,4	<4	<4	8	<1	<20
sep-05	Avr4	3,8	<0,2	<2	3,8	11	<5	<10

2.6 Sättningsmätning

Sättningar i de olika skikten i provytorna har undersökts genom att peglar, installerade på olika nivåer, har vägts av. Antal peglar på de olika provytorna redovisas i Tabell 2-10. I Figur 2-8 finns exempel på sättningspegel.

Tabell 2-10 Peglar som installerats på provytorna för kontroll av sättningar.

	Sofielund		Gärstad		
	Plan delyta	Flack delyta	Flack delyta, inget dränskiikt	Flack delyta, dränskiikt: bergkross	Brant delyta, dränskiikt: bergkross
I skyddsskiktet	2 st.	2 st.	2 st.	1 st.	1 st.
På tätskiktet	2 st.	2 st.	2 st.	1 st.	1 st.
På avjämningskiktet	1 st.	1 st.	2 st.	1 st.	1 st.

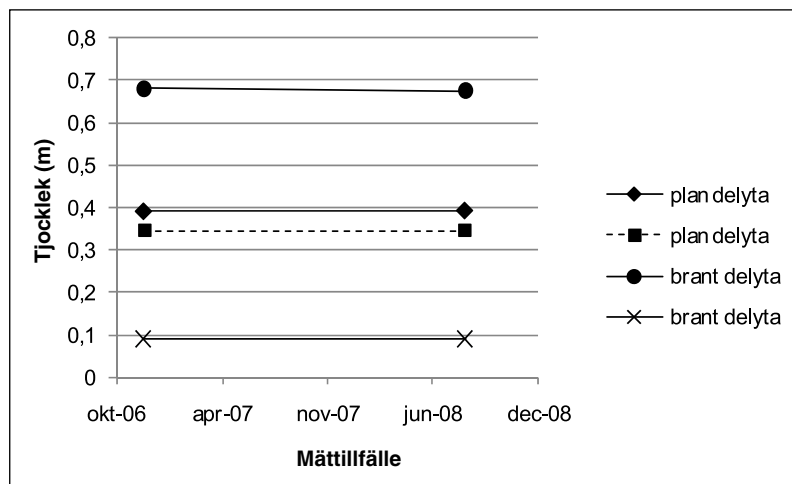
2.6.1 Sofielund

Peglarna på Sofielund har vägts av vid två olika tillfällen, december 2006 och augusti 2008. På varje delyta (flack resp. brant) finns fem peglar, en under tätskiktet, två över tätskiktet och två i skyddsskiktet. Avvägd höjd för peglarna på den flacka delytan har sjunkit 17–18 cm mellan de båda mättillfällena. På den branta delytan har peglarna sjunkit 19–21 cm mellan mätningarna. Dessa resultat återfinns i diagram



Figur 2-8
Exempel på sättningspegel.

i bilaga C. Att alla närliggande peglar sjunkit lika mycket tyder på att hela täckningen satt sig något och att de undersökta skikten inte satt sig sinsemellan (tunnats ut). I Figur 2-9 redovisas tjockleken för tätskiktet vid de olika avvägningarna, beräknad som skillnaden mellan nivån för peglar ovan och under tätskiktet. Även detta indikerar att tjockleken för tätskiktet inte minskat nämnvärt. En av peglarna på den branta delytan visar liten tjocklek för tätskiktet vid båda mätningarna. Detta kan indikera att tätskiktet är ojämnt och är betydligt tunnare här, vilket kan bero på problem med utläggning och packning i slänter. En annan möjlig orsak är brister i installationen av peglarna på ytan.

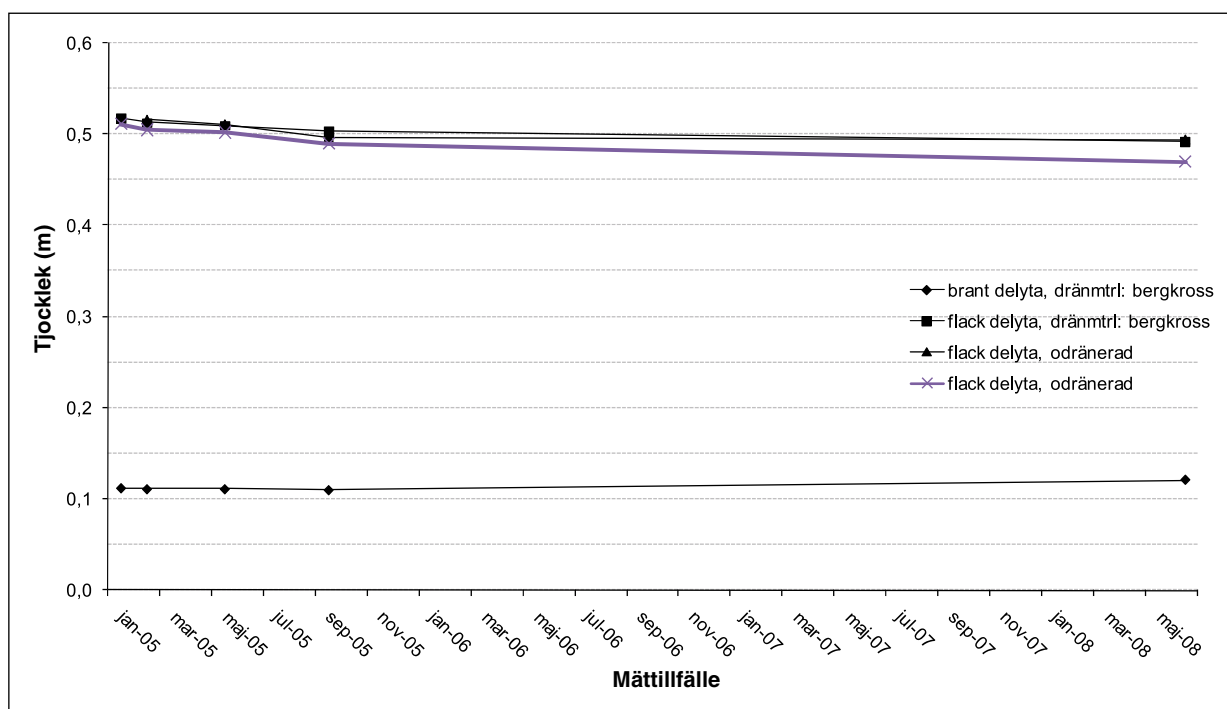


Figur 2-9 Tjocklek för tätskiktet vid sättningspegel på olika delytor, Sofielund.

2.6.2 Gärstad

Peglarna på Gärstad har vägts av vid fem tillfällen, fyra inom ramen för tidigare projekt och en gång inom detta uppföljningsprojekt. Peglar finns installerade på fyra platser på pilotytan. På varje plats finns tre peglar, en under tätskiktet, en över tätskiktet och en i skyddskiktet. Efter de fyra första mätningarna konstaterades att sättningar för tätskiktet på 1–2 cm (2–4 %) hade mätts upp och att inga tydliga skillnader kunde ses mellan de olika delytorna.

Efter den senaste avvägningen kan konstateras att nivån för enskilda peglar har sjunkit mellan 8 och 22 cm, se diagram i bilaga D. I Figur 2-10 presenteras tjockleken för tätskiktet, beräknad som skillnaden för nivåerna för peglarna över och under tätskiktet. Det kan då konstateras att tjockleken för tätskiktet minskat med, som mest, 4 cm. Således bedöms nivåskillnaderna huvudsakligen bero på att hela ytan satt sig och inte på att tätskiktet komprimerats i någon större utsträckning. Liksom på Sofielund visar mätningarna på en plats att tätskiktet är betydligt tunnare än förväntat. Inte heller här kan säkert avgöras om detta beror på ojämnheter i tätskiktet eller på problem i samband med installation av peglar. På båda provytorna har de tunna delarna av tätskiktet uppmätts på den branta delen av provytan. Är peglarna korrekt installerade kan detta tyda på problem vid byggande av FSA-tätskikt i sluttningar, och att extra noggrannhet bör iakttas vid utläggning och packning.



Figur 2-10 Tjocklek för tätskikt vid sättningspeglar på olika delytor, Gärstad.

2.7 Provtagning av fast material

Provtagning av fast material har utförts vid två tillfällen på Sofielund och vid ett tillfälle på Gärstad, under uppföljningsperioden. På Gärstad utfördes en provtagning under hösten 2005, som rapporteras av Carling m.fl. (2006).

2.7.1 Sofielund

Provtagning av tätskiktet gjordes i februari 2007 och i juni 2008. Proverna togs med kolvprovtagare på borrhandsvagn. För att kunna ta kolvprover av tätskiktet, avlägsnades material i överliggande skikt (bergkross och fyllnadsmassor) med hjälp av skruvborr. Vid första tillfället togs kolvprover i fyra punkter och vid andra tillfället i tio punkter på den flacka ytan. På grund av lutningen och snötäcket (i februari 2007) kunde provtagning inte göras på den branta delen av ytan. FSA-skiktet påträffades ca 80 cm under markytan i samtliga provpunkter. I bilaga E presenteras fältobservationer och laboratorieresultat för enskilda prover.

Vid båda provtagningstillfällena kunde noteras att FSA-blandningen var mörk, nästan svart, och luktade slam. Inga synliga förändringar av materialet jämfört med vid utläggningen kunde konstateras, förutom att materialet var relativt torrt.

Tjockleken för skiktet bedömdes vid provtagningen i februari 2007 vara 36–44 cm i de olika punkterna. Den totala tjockleken för proverna som kunde tas upp med kolvprovtagaren var mindre (ca 27–29 cm). Detta antas bero på att materialet pressas samman vid provtagningen. En annan möjlig orsak är att material skjuts framför provtagaren.

Vid fältundersökningen i juni 2008 bedömdes tjockleken för skiktet utifrån skruvborrning vara ca 20 cm. Därefter tog det stopp, troligen mot det underliggande avjämningsskiktet. Kolvproverna togs vid detta tillfälle med annan utrustning än vid övriga provtagningar. Här användes annan typ av kolvprovtagare än vid föregående provtagning på SRV:s yta och vid provtagningarna på Tekniska Verkens yta. Vid den senaste provtagningen användes provtagare som stansar ut provet ut genom att provtagaren roteras ner i materialet (ST II), medan provtagare som trycks ner använts tidigare (ST I). Valet av provtagningsmetod kan ha betydelse, eftersom materialet visat sig vara svårt att provta och dessutom ligger i ett relativt tunt skikt. Eggen som skär ut materialet skadades vid provtagningarna (båda metoderna), troligen beroende på flygaskan i blandningen eller möjligen p.g.a. att rester av dränkskiktet fanns kvar vid provtagningen.

Sammanställning av laboratorieresultaten presenteras i Tabell 2-11 och Tabell 2-12. Jämfört med vid utläggning av materialet var pH-värdet lägre vid provtagningarna. Däremot har pH inte sjunkit ytterligare mellan provtagningstillfällena. Resultat från mätning av vattenkvot (w , vattnets massa dividerat med fasta materialets massa) bekräftar observationer i fält att materialet var torrare vid provtagning jämfört med vid utläggning. För den organiska halten (glödningsförlust) i materialet kan ingen ökande eller minskande trend noteras. Minskande organisk halt skulle kunna tyda på nedbrytning av materialet.

Skjuvhållfastheten har mätts med enaxliga tryckförsök. För det åldrade materialet är skjuvhållfastheten högre än för färskt material från blandning och utläggning. Då materialet legat tre år i tätskiktet har hållfastheten ökat 2–3 gånger. Sjuvhållfastheten bör vara 8 kPa på plana ytor och 15–20 kPa för slänter (Cronquist, 2002).

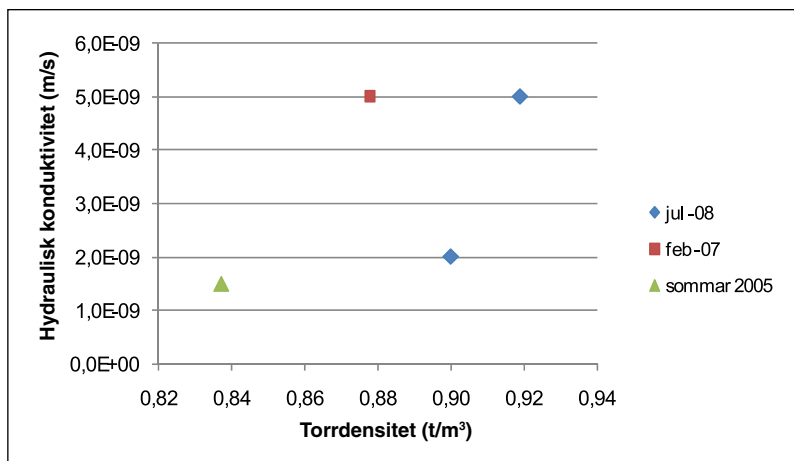
Den hydrauliska konduktiviteten (mätt med CRS-försök) har varierat något mellan undersökningarna. Vid kolvprovtagning i februari 2007 var den hydrauliska konduktiviteten drygt tre gånger högre än vid utläggning av materialet (ca 1¾ år). Vid den senaste provtagningen (efter ca 3 år) var däremot resultatet inte entydigt, vilket gör att ökning av den hydrauliska konduktiviteten inte bekräftas. Figur 2-11 visar hydraulisk konduktivitet relaterad till torrdensitet. Något tydligt samband kan inte ses.

Tabell 2-11 Laboratorieresultat för prover av FSA från Sofielund.

Provbeteckning	pH	w (%)	TS (%)	GF, 950° C (% av TS)
Kolvprovtagning (juni 2008)	8,1–9,4	44–72	58–69	15–21
Kolvprovtagning (februari 2007)	8,1–9,2	51–77	56–66	16–20
I samband med utläggning (sommar 2005)	10,2	55–113	47–64	17

Tabell 2-12 Laboratorieresultat för prover av FSA från Sofielund. Skjuvhållfasthet har uppmätts genom enaxliga tryckförsök och hydraulisk konduktivitet genom CRS-försök.

Prov	Skjuvhållfasthet (kPa)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Torrdensitet (t/m ³)
Kolvprovtagning (juni 2008)	43–54	1–8·10 ⁻⁹	0,83–1,02
Kolvprovtagning (februari 2007)	29–41	5·10 ⁻⁹	0,88
I samband med utläggning (sommar 2005)	Dag 1: 12 Dag 30: 18	1,5·10 ⁻⁹	0,84



Figur 2-11 Hydraulisk konduktivitet jämfört med densitet för prover av FSA från Sofielund.

2.7.2 Gärstad

Provtagning av tätskiktet gjordes i juni 2008. Proverna togs med kolvprovtagare på borrhandsvagn. För att kunna ta kolvprover av tätskiktet, avlägsnades material i överliggande skikt (bergkross och fyllnadsmassor) med hjälp av skruvborr. Kolvprover togs i fyra punkter på ytan, sammanställning av fältanteckningar finns i bilaga F. I samtliga punkter var det överliggande skiktet ca 150 cm tjockt. På den del av ytan där dränmaterial finns över FSA-skiktet inkluderas detta i skyddsskiktets tjocklek. FSA-skiktet bedömdes vid provtagningen vara ca 60 cm tjockt. Tjockleken för det upptagna provet var dock inte mer än 40 cm. Detta kan bero antingen på att materialet trycks ihop vid provtagning eller att det skjuts framför provtagaren.

Vid provtagningen kunde noteras att FSA-blandningen var mörk, nästan svart, och luktade slam, se Figur 2-12. Inga synliga förändringar av materialet jämfört med vid utläggningen kunde konstateras, förutom att materialet var relativt torrt.

Sammanställning av laboratorieresultaten presenteras i Tabell 2-13 och Tabell 2-14. Jämfört med vid utläggning av materialet var pH-värdet lägre vid provtagningarna. En tendens till sjunkande pH mellan de båda provtagningstillfällena kan ses (tiden mellan provtagningarna var närmare 3 år). Resultat från mätning av vattenkvot (w) bekräftar observationer i fält att materialet var torrare vid provtagning jämfört med vid utläggning. För den organiska halten (glödningsförlust) i materialet kan ingen ökande eller minskande trend noteras. Minskande organisk halt hade kunnat tyda på nedbrytning av materialet.



Figur 2-12
Prov från tätskiktet taget med skruvborr, Gärstad juni 2008.

Tabell 2-13 Laboratorieresultat för prover av FSA från Gärsd.

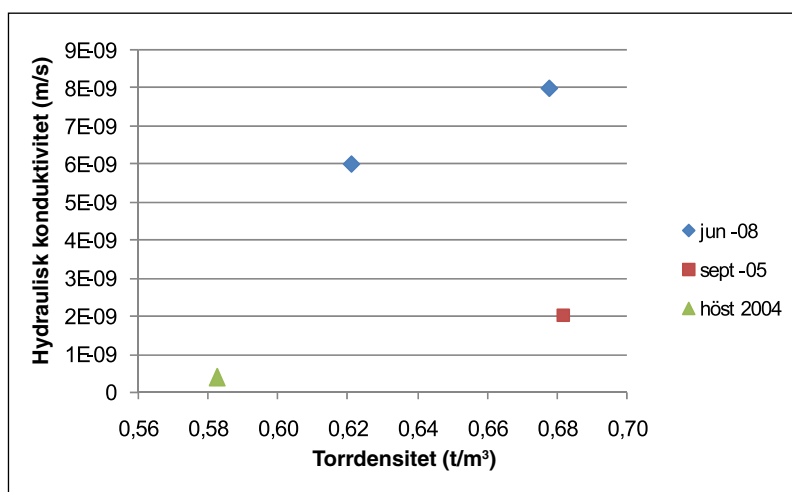
Provbeteckning	pH	w (%)	TS (%)	GF, 950° C (% av TS)
Kolvprovtagning (juni 2008)	7,9–8,1	79–105	49–51	35–39
Kolvprovtagning (september 2005)	8,0–8,6	61–115	47–62	32–39
I samband med utläggning (höst 2004)	9,2	100–157	39–50	38–40

Tabell 2-14 Laboratorieresultat för prover av FSA från Gärsd. Skjuvhållfasthet har uppmätts genom enaxliga tryckförsök och hydraulisk konduktivitet genom CRS-försök.

Prov	Skjuvhållfasthet (kPa)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Densitet (t/m ³)
Kolvprovtagning (juni 2008)	35–39	4–8·10 ⁻⁹	0,62–0,68
Kolvprovtagning (september 2005)	27–36	2·10 ⁻⁹	0,68
I samband med utläggning (höst 2004)	Dag 1: 21 Dag 30: 32	4·10 ⁻¹⁰	0,58

Skjuvhållfastheten för det åldrade materialet är något högre än för färskt material från blandning och utläggning. Hållfastheten är tillräcklig enligt tidigare undersökningar (Cronquist, 2002).

Den hydrauliska konduktiviteten har varierat något mellan undersökningarna. Vid kolvprovtagning i september 2005 erhöles ca en tiopotens högre hydraulisk konduktivitet i upptagna prover än vid utläggning av materialet (drygt 1 år). Det prov som togs i samband med utläggning packades på laboratorium, vilket troligen påverkat resultatet. Mellan de båda kolprovtagningarna (ca 3 år) kan den hydrauliska konduktiviteten ha ökat något, resultatet från den senaste mätningen var dock inte entydigt. Uppmätt flöde i lysimetrarna (se avsnitt 2.3) indikerar inte att genomsläppligheten skulle ha ökat. I Figur 2-13 relateras hydraulisk konduktivitet till torrdensitet för proverna. Något tydligt samband kan inte ses.



Figur 2-13 Hydraulisk konduktivitet jämfört med densitet för prover av FSA från Gärsd.

2.8 Porgas

Vid anläggande av försöksytorna installerades prober för gasprovtagning. Sammansättningen av syre, koldioxid och metan i porgasen i materialet kan ge en uppfattning om eventuell mikrobiell nedbrytning av organiskt material. Vid nedbrytning förbrukas syre, medan metan och koldioxid bildas.

De gasprober som används för provtagning utgörs av ett filter där markgas diffunderar in. Från filtret går en slang som mynnar i en provtagningsdel där prover tas ut via ett septa. Längden på slangen varierar med djupet proben är installerad på. På provytan på Gärsstad har två gasprober installerats i avfallet, en på delytan med dränskikt och en på delytan utan dränskikt. I tätskiktet installerades fyra gasprober, två på delytan med dränskikt och två på delytan utan dränskikt. Två gasprober har installerats i dränskiktet. I skyddsskiktet installerades fyra gasprober, två på delytan med dränskikt och två på delytan utan dränskikt. På provytan på Sofielund har två prober installerats i varje skikt (avfall, tätskikt, dränskikt och skyddsskikt), en på den plana delen av ytan och en på den branta delen. I avfallet på denna yta kan viss mängd organiskt material finnas. Vid installationen lades ett sandfilter runt proben, för att skydda det mot vassa stenar och mot att täppas igen, se Figur 2-14.

Provtagning av gas har utförts vid provytorna sedan installation. Tidpunkter för gasprovtagning från de båda försöksytorna presenteras i Tabell 2-15. Resultat för prover tagna t.o.m. september 2005 redovisas och utvärderas i rapport från utläggning av ytorna (Carling m.fl., 2006).



Figur 2-14
Installation av gasprob med sandfilter i tätskiktet.

Tabell 2-15 Tidpunkter för gasprovtagning.

Tekniska Verken	SRV återvinning
december 2004	september 2005
februari 2005	december 2006
maj 2005	juni 2008
juni 2005	
september 2005	
december 2006	
juli 2008	

Gasprov har tagits från de installerade gasproberna med hjälp av spruta och kanyl. Vid varje provtagning har den "dödvolum", som finns i slangen tagits ut innan prov tagits, varefter två prover tagits i följd. Uttaget gasprov har överförts från spruta till glaströr fyllda med argon. Gassammansättningen har sedan analyserats med gaskromatografi.

2.8.1 Sofielund

I bilaga G redovisas resultat för SRV återvinnings provyta. Mönstret för provresultat för proverna tagna på den flacka delytan i december 2006 överensstämmer väl med tidigare resultat (september, 2005). I tätskiktet, var både metan- och koldioxidhalterna relativt höga. I skyddsskiktet, dränskikt och det underliggande avfallet var metan- och koldioxidhalterna lägre, men högre än i luft. Vid provtagningen i juni

2008 fanns ingen metan på någon nivå i profilen. Koldioxid uppmättes i skydds-, drän- och tätskiktet, men inte i avfallet. Syrehalten var lägre än i luft i prover från skyddsskiktet och dränskiktet.

I prover från den branta delytan var metanhalterna inte mätbara på någon nivå i profilen vid provtagningen i december 2006. Koldioxidhalten ökar med djupet, medan syrehalten minskar. För juni 2008 saknas resultat för skyddsskiktet och avfallet. I dränskiktet och avfallet fanns ingen metan, koldioxidhalten var högre i avfallet än i dränskiktet och syrehalten var ungefär i nivå med halten i luft.

Uppmätt gassammansättning mot tid återfinns i bilaga H. För den flacka delytan har metanhalterna generellt varit låga. Vid ett tillfälle uppmättes kraftigt förhöjd halt i tätskiktet. Vid samma tidpunkt var koldioxidhalten i skyddsskiktet förhöjd. Syrehalten har varit i nivå med halten i luft, undantaget i tätskiktet, där den varit betydligt lägre förutom vid senaste mätningen. För den branta delytan har syre- och koldioxidhalterna stigit mellan första och andra mätningen, medan metanhalten sjunkit i tätskiktet och avfallet. I skydds- och dränskiktet har, under hela perioden, syrehalten varit närmare 20 %, medan koldioxid- och metanhalterna varit låga.

2.8.2 Gärstad

Resultat för prover tagna vid Tekniska Verkens provyta presenteras i bilaga I.

Liksom vid tidigare provtagningar från punkterna 1 och 2 (med dränskikt över tätskiktet) förekommer koldioxid och metan i prov från dränskiktet, där syrekoncentrationen samtidigt är lägre än eller i nivå med luft. Även i tätskiktet är metan- och koldioxidkoncentrationerna något högre än i luft.

De prover som installerats i delyta utan dränskikt ger motsägelserfulla resultat. I den ena punkten (pkt 3) är metanhalten förhöjd och syrehalten låg i tätskiktet, medan i punkt 4 är syrehalten ungefär som i luft och metan- och koldioxidhalterna låga. Detta kan bero på att nedbrytning sker i liten omfattning eller på att luft läckt in i systemet, antingen i den installerade proben eller i samband med provtagning.

I bilaga J visas gassammansättningens förändring över tid. På delytan med dränskikt är syrehalten i nivå med luft vid båda mättillfällena (december 2006 och juli 2008), medan koldioxid- och metanhalterna är låga, undantaget en av proberna i tätskiktet. Där var koldioxidhalten hög vid mätningen i december 2006, men har sedan åter sjunkit. Sedan mätningen i september 2005 har syrehalten varit 10–15 % och metanhalten 5–10 % i denna punkt. I en av proberna i tätskiktet på delytan utan dränskikt har syrehalten varit låg sedan maj 2005, medan metanhalten varit hög. I den andra mätpunkten på denna delyta har förhöjd metanhalt noterats under samma period.

3 Diskussion

3.1 Täthet

Volymmätningar från lysimetrar under tätskiktet på Gärstad visar att tätskiktet med god marginal uppfyller kravet för en deponi för icke farligt avfall. Under en treårsperiod (2005–2008) har det årliga flödet för de båda lysimetrarna varit 6 respektive 12 l/(m²·år), jämfört med 50 l/(m²·år) (kravet för deponi för icke farligt avfall).

Den högre perkolationen (12 l/(m²·år)) erhålls på den del av provytan där dräneringslager saknas och där ett vattentryck på tätskiktet har uppmätts. Detta tyder på att bortledning av vatten genom dränering ytterligare kan bidra till minskad perkolation. Den genomströmning som uppmätts i lysimeter på delyta med dräneringsskikt är endast något högre än vad som krävs för en deponi för farligt avfall.

De sättningmätningar som utförts visar att tätskikten på båda anläggningarna tunnats ut något med tiden. Orsaken till detta är oklar, men kan vara att materialet packats ytterligare, p.g.a. överlast från drän- och skyddsskikt. Kompaktering av FSA kan innebära att tätheten ökar, men detta bekräftas inte av resultat från utförda undersökningar. En annan möjlig orsak är att vatten pressats ut och volymen därmed minskat. Minskande vattenkvot och att volymen vatten till lysimetrar under tätskiktet (Gärstad) under den första tiden var relativt stor, tyder också på att vatten pressas ut.

De laboratorieförsök som utförts på upptagna kolvprover, visar att permeabiliteten ligger på ca 10⁻⁹ m/s för prover från både Sofielund och Gärstad. För Sofielund överensstämmer detta med resultat från kontroll i samband med utläggning av materialet. I samband med anläggande av provytan på Gärstad uppmättes permeabiliteten 4·10⁻¹⁰ m/s på ett prov. Detta är lägre än vid kolvprovtagningen, men värdet härrör från ett enskilt prov och behöver inte vara representativt för hela provytan (Carling m.fl., 2006).

Viss osäkerhet råder beträffande resultaten för permeabilitet, hållfasthet och densitet för prover tagna genom kolvprovtagning. Vid provtagningen var tjockleken för kolvproverna mindre än provtagningsdjupet, vilket antas bero på att materialet påverkas av provtagningen och att proverna därför inte kan betraktas som helt ostörda, se vidare avsnitt 2.7. Vidare är laboratorieundersökningar av hydraulisk konduktivitet och skjuvhållfasthet utförda på ett fåtal prover. Resultaten kan därför inte säkert sägas vara representativa för materialet, variation i resultat kan bero på att materialen inte är helt homogena.

Andra undersökningar (Mácsik m.fl., 2007) har noterat att kompression av materialet (ökad densitet) gör att tätheten förbättras. Motsvarande har inte kunnat visas här, möjligen beroende på att densiteten för de prover där permeabiliteten mätts haft små variationer (0,83–1,02 t/m³ för Sofielund och 0,58–0,68 t/m³ för Gärstad).

3.2 Beständighet

Beständighet för FSA-material definieras här som materialets förmåga att motstå mikrobiell nedbrytning och utlakning av ämnen (främst organiskt kol), se även Carling m.fl. (2007).

Här görs bedömning av provytornas beständighet genom kontroll av organisk halt i det fasta materialet, sättning/uttunning av tätskikt, pH-förändringar i det fasta materialet samt genom utvärdering av sammansättning av porgas.

Mätning av glödningsförlust i tätskiktet vid provtagningar, då materialet legat i tre respektive fyra år visar inte någon förändring av den organiska halten. Minskande organisk halt hade kunnat vara en indikation på att det organiska materialet bryts ned eller lakas ut. Även uttunning av tätskiktet kan tyda på nedbrytning av material. Den uttunning som uppmäts är liten, endast några procent. Utifrån de undersökningar som utförts, kan inte avgöras om uttunningen beror på nedbrytning av material eller om ytterligare packning skett p.g.a. av överlast. Vid kolvprovtagningarna uppmättes lägre pH för tätskiktsmaterialet än vid utläggningen, pH-värdet är dock fortfarande basiskt (8,1–9,4 för Sofielund och 7,9–8,1 för Gärstad). Under de inledande blandningsförsöken före anläggande av provytorna, mättes pH på färsk och lagrade blandningar (Carling m.fl., 2006). De undersökta blandningarna (Gärstad och Sofielund) hade vid blandning pH mellan 9,3 och 11,7. Efter att blandningarna lagrats ca 1 år, hade pH sjunkit till 8,2–8,8. Således är pH-förändringen inte större i material i tätskiktet än då det lagras på laboratorium. Det initialt höga pH-värdet förväntades begränsa mikrobiell aktivitet, men vid de lägre pH, som uppmäts, är pH sannolikt inte hämmande. Mellan kolvprovtagningarna har pH inte sjunkit ytterligare.

Vid summering av uppmätta gaskoncentrationer (CH_4 , CO_2 , O_2 och N_2) i proverna tagna i december 2006, erhöles dels värden kring 60 % och dels värden över 130 %, mot förväntade 100 %. Detta kan bero på felaktig hantering av provkärl, provtagningsosäkerheter eller på osäkerheter i analysförfarandet. Trots detta är halterna av metan och koldioxid jämförbara med tidigare resultat. Halterna av syre och kväve i proverna avviker från förväntade värden, men kvoterna mellan resultaten för dessa gaser i prover från olika skikt överensstämmer väl med tidigare resultat.

Resultaten från Sofielund antyder att det sker en omsättning av materialet. Den höga koldioxidhalten i avfallet på den branta delytan kan tyda på att det även sker nedbrytning av avfallet, som på denna delyta kan innehålla organiskt material. Under februari 2007 och juni 2008 togs kolvprover på tätskiktet på den flacka delytan. Uppmätt pH-värde i detta material var 8,1–9,4, jämfört med 10,2 vid utläggning. Vid det lägre pH-värdet är mikrobiell aktivitet fullt möjlig.

Gassammansättningen i skikten på Gärstad tyder på en omsättning av det organiska materialet i tätskiktet, genom förekomsten av förhöjda metanhalter i tätskiktet på delytan utan dränsikt. Även här har pH i materialet sjunkit jämfört med vid utläggningen. I kolvprover tagna i juni 2008 var pH 7,9–8,1, medan det vid utläggningen under hösten 2004 var 9,2.

Sammanfattningsvis kan sägas att uppmätta gashalter tyder på att mikrobiell aktivitet (nedbrytning av organiskt material) sker i tätskiktet. En annan möjlig förklaring till uppmätta halter av koldioxid och metan kan vara nedbrytning av organiskt material i avfallet. Att pH nu sjunkit och att tätskiktet tunnats ut något, kan (men måste inte) vara ett tecken på att nedbrytning sker. Även sammansättningen i det vatten som samlas upp under tätskiktet tyder på mikrobiell aktivitet, bland annat är halten av organiskt kol hög. Att den organiska halten i tätskiktet inte sjunkit så mycket att det kan mätas med använd metod (glödningsförlust), tyder på att den nedbrytning som sker är begränsad. Undersökning av porgas i materialet avser endast halter. Eftersom volymer bildad metan och koldioxid inte mäts, kan omfattningen av den mikrobiella aktiviteten inte bedömas.

3.3 Perkolerande vatten genom tätskiktet

Osäkerheten för bedömning av utlakning för tätskiktet på provytan på Sofielund är stor, eftersom de lysimetrar som installerats under tätskiktet gett små mängder vatten. Analyser har därför inte kunnat utföras i önskvärd omfattning.

För lysimetrar på Gärstad har ett större antal analyser kunnat utföras. Under hela perioden har halterna av kväve, organiskt material, arsenik och antimon varit högre i vatten taget under tätskiktet än i vatten från tätskiktets ovasida. Vid de två första mätningarna uppmättes också förhöjda halter av koppar, nickel och zink i prov från en lysimeter under tätskiktet.

Vid den permeabilitet tätskiktet har (ca 10^{-9} m/s) rör sig vattnet ungefär 3 cm per år. Därför bedöms det vatten som samlats i lysimetrarna under tätskiktet huvudsakligen utgöras av pressvatten. Därmed kan slutsatser beträffande sorption/desorption i FSA inte dras i detta skede. Sammansättningen av vattnet under tätskiktet speglar troligen främst innehållet och lakbarheten för askan och slammet. Det återstår att se hur halterna förändras då vatten som perkolerat hela skiktet når lysimetrarna. Vattnet under tätskiktet går vidare in i deponin och bedöms inte vara avgörande för användning av FSA i tätskikt.

3.4 Avrinnande vatten på tätskiktet

Vatten från avrinningsytorna har analyserats vid ett flertal tillfällen för båda anläggningarna. Detta vatten har perkolerat genom ovanliggande skikt (skyddsskikt och dränskikt). Halterna av näringsämnen, metaller och organiskt kol är höga jämfört med Naturvårdsverkets riktlinjer (1999, 2000). Under den period som uppföljningen pågått har minskande halter kunnat konstateras.

Jämförelse har gjorts mellan halter av näringsämnen och metaller i vatten från avrinningsytor och lysimetrar över tätskiktet. Vatten i lysimetrarna ovan tätskiktet har passerat skydds- och dränskikten, medan vattnet i avrinningsytorna även har runnit längs tätskiktets ovanyta.

Skillnaden i halter av näringsämnen och metaller i dessa båda vatten varierar, och är inte generellt högre något av vattnen efter inledningsvis kraftigt förhöjda halter i avrinningsvattnet. Därmed kan inte uteslutas att större delen av närings- och metallinnehållet komma från skydds- och dränskikten. Ytutlakningen från tätskiktet kan inte säkert bedömas, men undersökningarna tyder på att den är liten.

4 Slutsatser

Utförda undersökningar visar att provytornas tätskikt har låg permeabilitet. Perkolationen underskrider, med marginal, kriteriet för deponi för icke farligt avfall ($50 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$). Mätningarna tyder vidare på att täckningens övriga konstruktion (dränskikt) har betydelse för tätheten och att perkolationen ställvis är så låg att den ligger strax över kravet för en deponi för farligt avfall ($5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$).

Resultat från gasmätningar tyder på att omsättning av det organiska materialet i tätskiktet sker. Dessa resultat ger dock inget mått på omfattningen av nedbrytningen. Övriga undersökningar (organisk halt, uttunning av tätskikt) visar inte på någon nedbrytning. Sammantaget tyder detta på att nedbrytning endast sker i liten omfattning. Tätheten (laboratorieförsök och volymmätning från lysimetrar) bedöms inte ha påverkats.

Det vatten som avrinner på tätskiktet och efter sluttäckning kommer att ledas till recipient eller behandling uppvisar höga halter av näringsämnen och metaller jämfört med riktlinjer för ytvatten framtagna av Naturvårdsverket (1999, 2000). För kväve och flera av metallerna minskar halterna med tiden. Uppföljningstiden har varit för kort för att avgöra om avrinnande vatten med tiden kan ledas till recipient utan föregående behandling.

5 Rekommendationer

Provytorna på Gärstad och Sofielund är i dagsläget fyra respektive tre år gamla. Hittills erhållna resultat visar att materialens egenskaper är goda och uppfyller ställda krav. Eftersom den tid som uppföljning av dessa och andra försöksytor (se till exempel Mácsik m.fl., 2007) pågått är kort, föreslås ytterligare uppföljning. Befintlig utrustning kan användas för bland annat kontroll av materialets täthet och innehåll av metaller och näringsämnen i perkolerande vatten.

Ytterligare uppföljning av materialets täthet och egenskaper som kan påverka tätheten bör göras. På så sätt skulle ytterligare klarhet kunna fås i vilka faktorer som påverkar tätheten och hur kravet för deponi för farligt avfall skulle kunna uppnås.

Halter av näringsämnen och metaller i det avrinnande vattnet bör följas upp under en längre tid, eftersom detta är det vatten som vid sluttäckning kommer att ledas till recipient eller behandling. En längre tidsserie kan eventuellt klargöra behovet av lakvattenbehandling i ett längre tidsperspektiv.

Eftersom en av lysimetrarna under tätskiktet på provytan på Sofielund ger oförklarligt lågt pH-värde och oförklarligt höga värden för metaller och näringsämnen, bör extra undersökningar av denna göras.

6 Litteraturreferenser

- Bäckström, M., 2006, *Lakning av antimon från energiaskor – Totalhalter, lakbarhet samt förslag till åtgärder*, Värmeforskrapport 950
- Carling, M., Ländell, M., Håkansson, K. och Myrhede, E., 2006, *Täckning av deponier med aska och slam – erfarenheter från tre fältförsök*, VA-Forsk 2006-08 och Värmeforskrapport 948
- Carling, M., Håkansson, K., Mácsik, J., Mossakowska, A. och Rogbeck Y., 2007, *Vägledning – Flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt*, SVU-rapport 2007-10 och Värmeforskrapport 1010
- Cronquist, S., 2002, *Alternativa material i Stockholms län – askstabilisering av avloppsslam*, Kungliga Tekniska högskolan. TRITA-LWR Master Thesis: 02-1
- Mácsik, J., Maurice, C., Mossakowska, A., Eklund, C. och Erlandsson, Å., 2007, *Uppföljning – Kontroll av tätskiktskonstruktionen på Dragmossens deponi*, Värmeforskrapport 1011
- Naturvårdsverket, 1999, *Metodik för inventering av förorenade områden, Bedömningsgrunder för miljökvalitet, Vägledning för insamling av underlagsdata*, Rapport 4918, Stockholm
- Naturvårdsverket, 2000, *Bedömningsgrunder för miljökvalitet, Sjöar och vattendrag*, Rapport 4913, Stockholm
- Olsson, S., 2005, *Environmental assessment of municipal solid waste incinerator bottom ash in road constructions*, Licentiate Thesis in Land and Water Resource Sciences, Stockholm, Sweden
- SMHI, 2001, *Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961–1990. Referensnormaler – utgåva 2*, Alexandersson H. och Eggertsson Karlström, C., Norrköping

Bilagor

A Resultat för vattenanalyser, lysimetrar och avrinningsytor, Sofielund

Sofielund, lysimeter över tätskiktet, flack delyta									
		jun-05	sep-05	dec-06	feb-07	jul-07	nov-07	feb-08	okt-08
		ÖL1:20	ÖL1:20	ÖL1:20		ÖL1:20	ÖL1:20		ÖL 1:20
pH		7,3*	7*	7,86			6,7*		8,7*
El.kond.	mS/cm			2,2					
Tot-P	mg/l	7	0,95	0,17		0,12	0,23		0,05
NO ₂ -N	mg/l								
NO ₃ -N	mg/l								
Kjeldal-N	mg/l								
Tot-N	mg/l	500	550	34		36	100		26
Ca	mg/l	1800	760	250		360	810**		310
Fe	mg/l	2,2	0,1	<0,05		0,06	0,08		<0,05
Mg	mg/l	89	64	17		26	150		39
Na	mg/l	1200	540	91		230	300		90
K	mg/l	1800	730	240		300	390		130
S	mg/l	660	-	81		53	280		130
Al	µg/l	85	81	17		570	360		<25
As	µg/l	45	63	13		21	43		16
Ba	µg/l	230	250	75		300	89		32
Cd	µg/l	0,36	5,1	0,39		1,3	8,7		0,63
Co	µg/l	22	16	1,8		3,4	13		2,4
Cr	µg/l	9,5	3,8	15		3,6	<5.0		<2,5
Cu	µg/l	220	360	44		100	120		71
Hg	µg/l	<0.1	-	<0.1			<0.1		<0,1
Mn	µg/l	590	700	160		410	1700		240
Ni	µg/l	93	93	63		15	57		15
Pb	µg/l	12	5,1	<0.5		11	3,8		1
Sb	µg/l	13	12	10		<1	21		37
Zn	µg/l	75	720	190		1100	2300		77
DOC	mg/l			20		15	48		30

* Laboratiemätning

** Ej filt.

Sofielund, lysimeter under tätskiktet, flack delyta									
		jun-05	sep-05	dec-06	feb-07	jul-07	nov-07	feb-08	okt-08
		UL1:20	UL1:20	UL1:20				UL1:20	UL1:20
pH		7*	5,9*						3,6*
El.kond.	mS/cm								
Tot-P	mg/l	3,7	3,5						91
NO ₂ -N	mg/l								
NO ₃ -N	mg/l								
Kjeldal-N	mg/l								
Tot-N	mg/l	790	4100						75000
Ca	mg/l	340	2200	9100				13000	54000
Fe	mg/l	<0,05	0,18					8,2	2,4
Mg	mg/l	31	170					2700	3800
Na	mg/l	660	2300					16000	23000
K	mg/l	500	2000					22000	48000
S	mg/l	360	950					1500	590
Al	µg/l	200	630					27000	3000
As	µg/l	43	230					5200	3300
Ba	µg/l	420	770					9000	12000
Cd	µg/l	2,2	39					60	<10
Co	µg/l	56	210					3700	2600
Cr	µg/l	9,3	7,5					130	<100
Cu	µg/l	4100	5900					64000	86000
Hg	µg/l	0,12	-					1,9	2
Mn	µg/l	140	3100					7400	74000
Ni	µg/l	85	320					3900	4400
Pb	µg/l	0,7	22					1400	2100
Sb	µg/l	75	86					1300	-
Zn	µg/l	74	2100					87000	55000
DOC	mg/l							13000	4800

* Laboratoriemätning

Sofielund, lysimeter över tätskiktet, brant delyta									
		jun-05	sep-05	dec-06	feb-07	jul-07	nov-07	feb-08	okt-08
		ÖL1:3	ÖL1:3	ÖL1:3	ÖL1:3			ÖL 1:3	ÖL 1:3
pH		5,8*	4,6*						8,4*
El.kond.	mS/cm								
Tot-P	mg/l		2,5	0,58				0,13	0,09
NO ₂ -N	mg/l								
NO ₃ -N	mg/l								
Kjeldal-N	mg/l								
Tot-N	mg/l		390	23				47	12
Ca	mg/l	2100	290	140				210	190
Fe	mg/l	1,4	0,18		<0,05			0,054	<0,05
Mg	mg/l	94	25		23			29	26
Na	mg/l	2000	440		190			110	67
K	mg/l	3300	700		110			83	74
S	mg/l	1000	280		73			110	86
Al	µg/l	140	210		10			15	24
As	µg/l	130	88		19			4,7	17
Ba	µg/l	160	100		45			26	29
Cd	µg/l	0,86	1,7		0,45			<0,01	0,19
Co	µg/l	32	7,9		1,4			1,8	1,2
Cr	µg/l	15	1,9		7,2			0,54	2,2
Cu	µg/l	120	89		46			47	42
Hg	µg/l	0,43	-		<0.1			<9	<0,1
Mn	µg/l	670	200		190			0,29	0,9
Ni	µg/l	110	37		10			7,8	9,5
Pb	µg/l	86	23		<0.5			0,096	<0,5
Sb	µg/l	23	15		16			16	27
Zn	µg/l	360	370		160			78	41
DOC	mg/l				26			35	29

* Laboratoriemätning

Sofielund, lysimeter under tätskiktet, brant delyta									
		jun-05	sep-05	dec-06	feb-07	jul-07	nov-07	feb-08	okt-08
		UL1:3	UL1:3	UL1:3				UL1:3	
pH									
El.kond.	mS/cm								
Tot-P	mg/l							1,3	
NO ₂ -N	mg/l								
NO ₃ -N	mg/l								
Kjeldal-N	mg/l								
Tot-N	mg/l							24	
Ca	mg/l			140				73	
Fe	mg/l							0,0082	
Mg	mg/l							3,7	
Na	mg/l							24	
K	mg/l							30	
S	mg/l							34	
Al	µg/l							14	
As	µg/l							48	
Ba	µg/l							34	
Cd	µg/l							1,1	
Co	µg/l							5,5	
Cr	µg/l							1	
Cu	µg/l							160	
Hg	µg/l							<9	
Mn	µg/l							30	
Ni	µg/l							12	
Pb	µg/l							0,43	
Sb	µg/l							4,1	
Zn	µg/l							4300	
DOC	mg/l							24	
		inget prov	inget prov	lite prov					

Sofielund, avrinningsyta, brant delyta									
		jun-05	sep-05	dec-06	feb-07	jul-07	nov-07	feb-08	okt-08
		AVR1:3	AVR1:3	AVR1:3			AVR1:3		AVR 1:3
pH		7*	6,7*	6,78			7,8		8,1*
El.kond.	mS/cm			8,63					
Tot-P	mg/l	12	1,6	0,34			0,47		0,13
NO ₂ -N	mg/l								
NO ₃ -N	mg/l								
Kjeldal-N	mg/l								
Tot-N	mg/l	1000	220	65			210		25
Ca	mg/l	1700	1400	560			610		140
Fe	mg/l	0,06	0,1	<0,05			<0,05		<0,05
Mg	mg/l	29	100	40			52		16
Na	mg/l	1200	490	1000			680		110
K	mg/l	1900	700	210			210		82
S	mg/l	610	300	220			260		81
Al	µg/l	410	59	<100			<50		5
As	µg/l	270	87	<50			22		18
Ba	µg/l	390	230	150			140		43
Cd	µg/l	0,81	5,1	<4			0,73		0,29
Co	µg/l	55	10	<10			3,4		1,7
Cr	µg/l	21	1,9	<10			<5		2,6
Cu	µg/l	280	120	75			120		84
Hg	µg/l	0,22	-	<0.1			<0.1		<0,1
Mn	µg/l	66	1200	140			32		1,9
Ni	µg/l	270	40	<20			15		7,7
Pb	µg/l	5,3	3,1	<40			<0.5		<0,5
Sb	µg/l	4	47	21			27		32
Zn	µg/l	100	810	690			42		21
DOC	mg/l			29			33		25

* Laboratoriemätning

Sofielund, avrinningsyta, brant delyta		jun-05	sep-05	dec-06	feb-07	jul-07	nov-07	feb-08	okt-08
		AVR1:20	AVR1:20	AVR1:20			AVR1:20		AVR 1:20
pH		7,2*	8*	7,2			7,9		8,3*
El.kond.	mS/cm			2,52					
Tot-P	mg/l	8,7	5,8	<0.01			0,31		0,12
NO ₂ -N	mg/l								
NO ₃ -N	mg/l								
Kjeldal-N	mg/l								
Tot-N	mg/l	1000	780	0,31			98		14
Ca	mg/l	950	470	0,66			650		180
Fe	mg/l	0,25	0,32	<0,05			<0,05		<0,05
Mg	mg/l	34	29	27			170		21
Na	mg/l	1400	790	99			250		51
K	mg/l	2300	1400	140			250		62
S	mg/l	520	380	93			250		81
Al	µg/l	190	75	6			58		11
As	µg/l	140	150	17			29		13
Ba	µg/l	260	230	64			66		35
Cd	µg/l	0,61	1,6	0,99			3		0,41
Co	µg/l	15	11	1,5			6,3		1,2
Cr	µg/l	13	17	13			<5		1,5
Cu	µg/l	69	59	52			97		44
Hg	µg/l	<0.1	-	<0.1			<0.1		<0,1
Mn	µg/l	86	380	210			600		2,1
Ni	µg/l	120	67	62			22		18
Pb	µg/l	13	7,5	<0.5			<0.5		2,3
Sb	µg/l	4	17	<1			26		21
Zn	µg/l	31	150	330			410		75
DOC	mg/l			2,1			31		18

* Laboratoriemätning

B Resultat för vattenanalyser, lysimetrar och avrinningsytor, Gärstad

Gärstad, lysimeter över tätskiktet, dränskikt: bergkross, flack delyta			jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
			Lys1	Lys1	Lys1	Lys1	Lys1			
pH										
NH ₄ -N	mg/l									
Tot-N	mg/l									
Tot-P	mg/l	1,16								
NO ₂ -N	mg/l									
NO ₃ -N	mg/l									
Kjeldal-N	mg/l									
Ca	mg/l	1800								
Fe	mg/l	2,46								
Mg	mg/l	21,2								
Na	mg/l	1760								
K	mg/l	1220								
S	mg/l	495								
Al	µg/l	58,3								
As	µg/l	80,2								
Ba	µg/l	224								
Cd	µg/l	0,553								
Co	µg/l	44,8								
Cr	µg/l	1,65								
Cu	µg/l	220								
Hg	µg/l	0,441								
Mn	µg/l	790								
Ni	µg/l	216								
Pb	µg/l	30,4								
Sb	µg/l	49								
Zn	µg/l	842								
DOC	mg/l									
TOC	mg/l									

Gärstad, lysimeter under tätskiktet, dränskikt: bergkross, flack delyta									
		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
		Lys 2	Lys 2	Lys 2	Lys 2	Lys 2			Lys 2
pH		8,2*	6,9*	7,4*					
NH ₄ -N	mg/l	4600	5000	3500					
Tot-N	mg/l	4700	5300	3700		3800			3100
Tot-P	mg/l	3,53	4,7	4,4	1				2,15
NO ₂ -N	mg/l		<0.025	<0.025	<0,01	<0.01			0,013
NO ₃ -N	mg/l		<0.2	<0.01	<0,01	0,017			<0,1
Kjeldal-N	mg/l		5300	3700	3300	3800			3100
Ca	mg/l	30	220	190	81,6	88,8			65,65
Fe	mg/l	0,0693	0,1	0,042	0,337	0,231			0,0671
Mg	mg/l	16,8	58	30	75,9	84,2			98,2
Na	mg/l	1910	2800	2100	2180	2490			2680
K	mg/l	1250	2100	1500	1430	1670			1610
S	mg/l	661	990	430	32	74			56,7
Al	µg/l	90,8	94	110	<50	<50			68,9
As	µg/l	69,4	86	81	70	45			95,2
Ba	µg/l	41,1	200	200	1500	1600			1480
Cd	µg/l	<0,1	<0,4	<0,4	<0,2	<0.2			<0,05
Co	µg/l	42	36	20	21	21			18,1
Cr	µg/l	8,82	22	17	110	50			30,3
Cu	µg/l	290	59	24	122	<1			9,01
Hg	µg/l	0,0536	0,59	<0.1	<0,05	<0.05			<0,02
Mn	µg/l	2,29	330	480	69,5	160			210
Ni	µg/l	566	600	260	251	350			229
Pb	µg/l	4,1	3,1	10	<2	<2			5,65
Sb	µg/l	18,8	<20	<20	2,3	4,6			
Zn	µg/l	263	180	29	81	65,8			24,7
DOC	mg/l			2600	2500	2900			1850
TOC	mg/l			3200					

* Laboratoriemätning

Gärstad, lysimeter över tätskiktet, dränskikt saknas, flack delyta									
		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
		Lys3	Lys3	Lys3	Lys 3	Lys 3	Lys 3		Lys 3
pH		8,9*	7,4*						
NH ₄ -N	mg/l	730	850						
Tot-N	mg/l	730	890				650		620
Tot-P	mg/l	0,85	0,67		1,8		3,4		2,36
NO ₂ -N	mg/l		<0.025		1,7		19		43
NO ₃ -N	mg/l		0,33		1,3		<1		13,6
Kjeldal-N	mg/l		890		790		630		560
Ca	mg/l	2160	1600		481	590			416,5
Fe	mg/l	0,0499	0,07		<0,060	0,061			0,013
Mg	mg/l	46	64		140	160			131
Na	mg/l	1780	1600		923	770			657
K	mg/l	1050	1000		526	390			386
S	mg/l	508	390		400	610			486
Al	µg/l	59,5	23		<50	<30			2,21
As	µg/l	39,2	44		20	8,3			<10
Ba	µg/l	258	250		260	170			132
Cd	µg/l	<0,1	<0,4		<0,2	0,085			<0,05
Co	µg/l	14,7	23		5	5,5			4,2
Cr	µg/l	<1	<4		2,9	0,61			1,23
Cu	µg/l	130	15		1,7	38			6,05
Hg	µg/l	<0,02	<0,01		<0,05	0,016			<0,02
Mn	µg/l	111	170		168	850			497
Ni	µg/l	184	140		26	25			21,4
Pb	µg/l	4,94	1,9		<2	3,1			1,29
Sb	µg/l	7,73	<20		1,1	2			
Zn	µg/l	2080	210		<60	1200			17,9
DOC	mg/l		670		96				
TOC	mg/l		880						

* Laboratoriemätning

Gärstad, lysimeter under tätskiktet, dränskikt saknas, flack delyta									
		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
		Lys 4	Lys 4	Lys4	Lys 4	Lys 4			Lys 4
pH		9*	7,9*	7,6*					
NH ₄ -N	mg/l	3600	3100	3100					
Tot-N	mg/l	3600	3400	3400		3300			3050
Tot-P	mg/l	4,12	3,9	4	1,3	2,72			1,95
NO ₂ -N	mg/l		<0,025	<0,025	<0,01	<0,01			0,0165
NO ₃ -N	mg/l		<0,2	<0,010	<0,01	0,025			<0,1
Kjeldal-N	mg/l		3400	3400	3400	3300			3050
Ca	mg/l	1940	2000	1900	1060	1110			1250
Fe	mg/l	0,174	0,19	0,38	0,277	0,528			0,133
Mg	mg/l	23,5	51	55	108	78,7			80
Na	mg/l	1840	2300	2500	2570	2480			2630
K	mg/l	1220	1600	1800	1560	1630			1650
S	mg/l	816	770	910	540	570			502
Al	µg/l	141	84	97	<50	<50			14,95
As	µg/l	107	140	75	57	56			56,9
Ba	µg/l	410	350	410	270	170			209,5
Cd	µg/l	12,2	3	0,63	<0,2	<0,2			<0,05
Co	µg/l	109	99	32	24	30			25,5
Cr	µg/l	5,76	16	8,2	12	5,5			7,82
Cu	µg/l	5180	6300	86	156	24,1			1,06
Hg	µg/l	0,0899	0,04	<0,1	<0,05	<0,05			<0,02
Mn	µg/l	486	190	630	76,7	62,4			81,25
Ni	µg/l	5720	5700	400	160	202			240
Pb	µg/l	2,63	<1	8,7	<2	<2			2,93
Sb	µg/l	27,1	23	<20	6,1	7,4			
Zn	µg/l	48800	6600	1200	80,6	74,6			5,805
DOC	mg/l			3100	3300	3400			3110
TOC	mg/l			3400					

* Laboratoriemätning

Gärstad, avrinningsyta, dränsikt: bergkross, flack delyta								
		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07
		Avr1	Avr1	Avr1	Avr1	Avr1		Avr1
pH		7,5*	7,8*	7,9*				
NH ₄ -N	mg/l	650	530	900				
Tot-N	mg/l	660	570	950				170
Tot-P	mg/l	3,53	2,1	2,9	5,8			4,2
NO ₂ -N	mg/l		4,2	0,035	0,014			0,024
NO ₃ -N	mg/l		<0.01	0,012	0,022			0,23
Kjeldal-N	mg/l		570	950	340			170
Ca	mg/l	1150	1300	590	558			423
Fe	mg/l	0,22	0,028	0,029	<0,060			0,169
Mg	mg/l	143	110	96	144			120
Na	mg/l	1340	1200	1200	493			423
K	mg/l	734	470	700	206			210
S	mg/l	465	880	430	300			290
Al	µg/l	15,7	830	550	<50			<50
As	µg/l	20,6	28	16	16			2,3
Ba	µg/l	211	120	220	87			54
Cd	µg/l	0,0531	<0.4	<0.2	<0,2			<0,2
Co	µg/l	12,3	18	11	2			2
Cr	µg/l	1,15	<4	1,2	5,3			<2
Cu	µg/l	52	34	3	1,1			5,7
Hg	µg/l	0,0217	<0.01	<0.1	<0,05			<0,1
Mn	µg/l	1460	1700	1500	1930			1250
Ni	µg/l	63,2	59	57	9			10
Pb	µg/l	7,82	<1	0,5	<2			<2
Sb	µg/l	5,09	<20	2,3	<1			<1
Zn	µg/l	703	200	9,5	<60			<50
DOC	mg/l		170	280	110			92
TOC	mg/l		220	360				92,3

* Laboratoriemätning

Gärstad, avrinningsyta, dränsikt saknas, flack delyta									
		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
		Avr2	Avr2	Avr2	Avr2	Avr2			Avr 2
pH		7,3*	7,2*	7,6*					
NH ₄ -N	mg/l	430	470	480					
Tot-N	mg/l	450	500	520		131			130
Tot-P	mg/l	0,983	2,8	2	3,9	0,48			3,03
NO ₂ -N	mg/l		<0,025	2,7	<0,01	0,2			0,4
NO ₃ -N	mg/l		0,28	<0.050	0,015	0,59			1,1
Kjeldal-N	mg/l		500	520	170	130			130
Ca	mg/l	1390	1800	750	584	434			307
Fe	mg/l	0,0748	0,6	0,059	0,111	<0,060			0,0347
Mg	mg/l	174	270	200	157	125			122
Na	mg/l	1440	1600	1000	483	414			363
K	mg/l	624	450	450	154	130			103
S	mg/l	979	540	420	210				234
Al	µg/l	13,9	870	1600	<50	<50			3,32
As	µg/l	14,3	14	9,8	16				<4
Ba	µg/l	281	200	210	120				33,5
Cd	µg/l	0,0651	<0.4	<0.2	<0,2	<0,2			<0,05
Co	µg/l	5,23	13	6,4	2	<2			1,88
Cr	µg/l	1,81	<4	1,6	3,7	<2			0,897
Cu	µg/l	33,4	12	4,6	<1	<1			3,5
Hg	µg/l	<0.02	<0.01	<0.1	<0,05				<0,02
Mn	µg/l	2700	3500	2300	2030	1080			582
Ni	µg/l	48,7	42	37	8	22			11,3
Pb	µg/l	5,19	<1	<0,5	<2	<2			0,434
Sb	µg/l	3,23	<20	<1	<1				
Zn	µg/l	48,1	<20	<10	<60	<50			<2
DOC	mg/l		220	160	110	97			76,2
TOC	mg/l		240	370					

* Laboratoriemätning

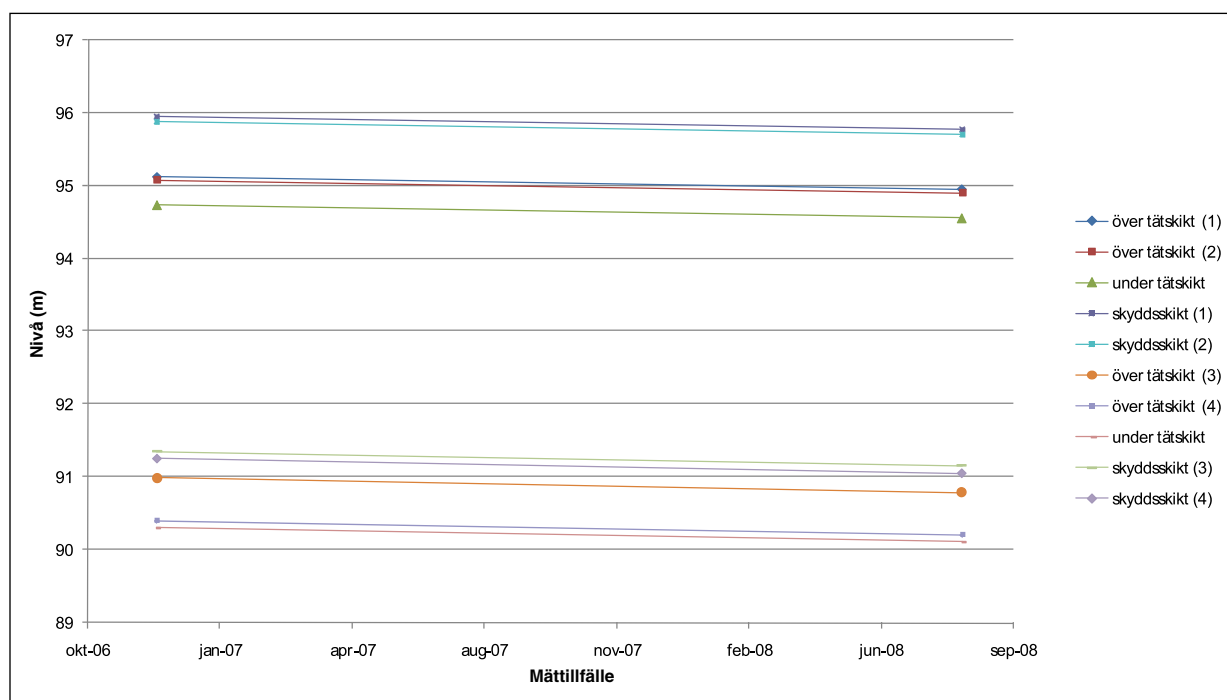
Gärstad, avrinningsyta, dränsikt: slaggrus, flack delyta		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
		Avr3	Avr3	Avr3	Avr3	Avr3			
pH		7*		7,4*					
NH ₄ -N	mg/l	910		720					
Tot-N	mg/l	910		770		221			
Tot-P	mg/l	1,46		4,8	0,075	0,12			
NO ₂ -N	mg/l			<0,025	<0,01	7,1			
NO ₃ -N	mg/l			0,19	0,022	84			
Kjeldal-N	mg/l			770	240	130			
Ca	mg/l	1420		2100	354	348			
Fe	mg/l	0,776		1	<0,060	<0,060			
Mg	mg/l	201		440	133	113			
Na	mg/l	3150		4900	657	688			
K	mg/l	1490		1900	240	287			
S	mg/l	153		150	250				
Al	µg/l	26,1		86	<50	<50			
As	µg/l	<20		30	14				
Ba	µg/l	319		1500	150				
Cd	µg/l	<0.1		<1	<0,2	0,32			
Co	µg/l	15,2		<10	<2	<2			
Cr	µg/l	1,42		<10	<2	<2			
Cu	µg/l	55,8		53	<1	3,6			
Hg	µg/l	0,0971		<0.1	<0,05				
Mn	µg/l	1800		1400	405	647			
Ni	µg/l	85,8		88	4	9			
Pb	µg/l	3,79		4,4	<2	<2			
Sb	µg/l	4,34		<10	<1				
Zn	µg/l	82,1		83	<60	63,2			
DOC	mg/l			270	60	46			
TOC	mg/l			350					

* Laboratoriemätning

Gärstad, avrinningsyta, dränsikt: bergkross, brant delyta		jan-05	maj-05	sep-05	dec-06	jun-07	sep-07	dec-07	jul-08
		Avr4	Avr4	Avr4	Avr4	Avr4			
pH		7,3*	7,2*	7,4*					
NH ₄ -N	mg/l	250	95	65					
Tot-N	mg/l	270	110	74					
Tot-P	mg/l	1,02	1	0,56					
NO ₂ -N	mg/l		<0.025	1,2					
NO ₃ -N	mg/l		0,53	0,11					
Kjeldal-N	mg/l		110	73					
Ca	mg/l	115	430	230					
Fe	mg/l	0,189	0,075	0,016					
Mg	mg/l	61,8	57	56					
Na	mg/l	326	200	250					
K	mg/l	221	98	110					
S	mg/l	57,2	130	120					
Al	µg/l	15,5	<20	<10					
As	µg/l	46	<4	3,8					
Ba	µg/l	198	300	180					
Cd	µg/l	<0.05	<0.4	<0.2					
Co	µg/l	14,7	4,7	3,7					
Cr	µg/l	0,868	<4	<2					
Cu	µg/l	16,1	<4	3,8					
Hg	µg/l	<0.02	<0.01	<0.1					
Mn	µg/l	18,1	2500	450					
Ni	µg/l	38,6	8	11					
Pb	µg/l	3,21	<1	<5					
Sb	µg/l	4,23	<20	<10					
Zn	µg/l	301	<20	<10					
DOC	mg/l		43	120					
TOC	mg/l		52	42					

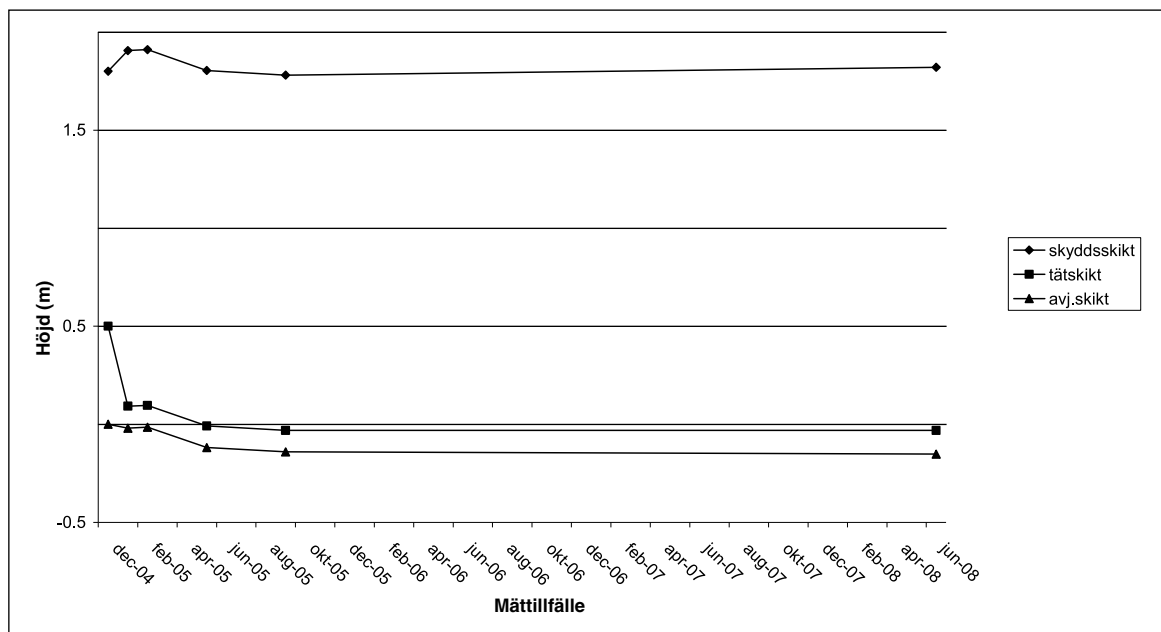
* Laboratoriemätning

C Resultat från sättningsmätningar, Sofielund

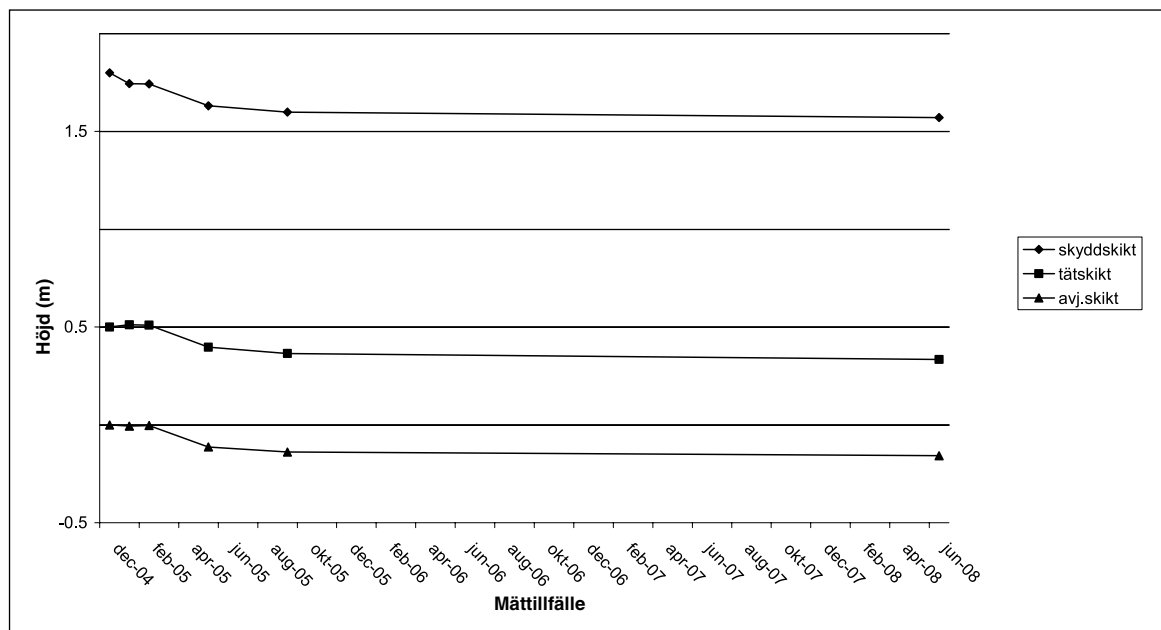


Sofielund – avvägning av peglar

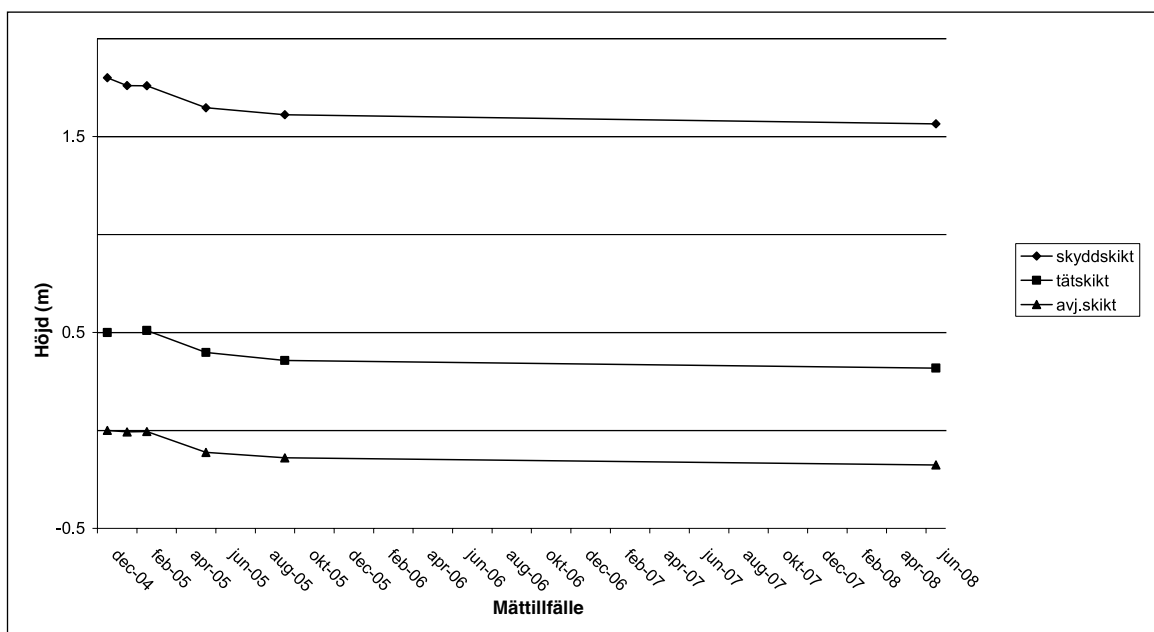
D Resultat från sättningsmätningar, Gärstad



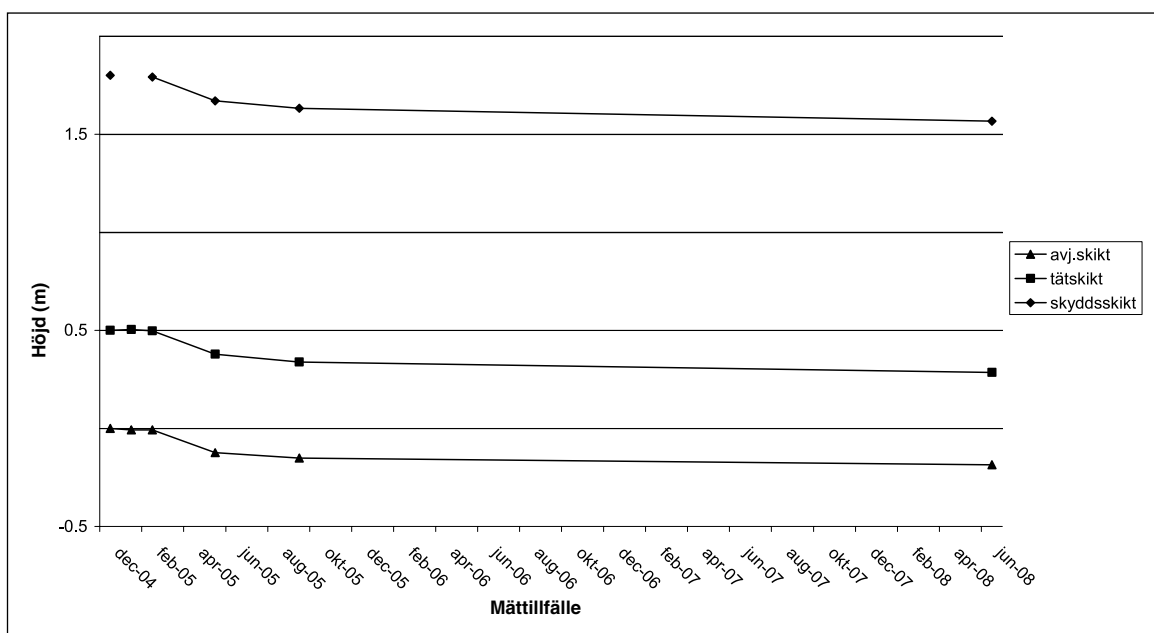
1. Brant delyta, dränmaterial: bergkross



2. Flack delyta, dränmaterial: bergkross



3. Flack delyta, odänerad



4. Flack delyta, odränerad

E Redovisning av provtagning av fast material, Sofielund

Sofielund 2007-02-26

Tabell E-1 Fältnoteringar vid kolvprovtagning på Sofielund vintern 2007.

Table E-1 Field notes from piston sampling at Sofielund, winter 2007.

Provtagningspunkt	Nivå (m u m y)	Material
Pkt 1	0–0,8	Morän (en del sten), bergkross
	0,8–1,16	Slam/aska*
	1,16	Stopp (med kolvprovtagaren)
Pkt 2	0–0,8	Morän (en del sten), bergkross
	0,8–1,21	Slam/aska*
	1,21	Stopp (med kolvprovtagaren)
Pkt 3	0–0,78	Morän (en del sten), bergkross
	0,78–1,17	Slam/aska*
	1,17	Stopp (med kolvprovtagaren)
Pkt 4	0–0,76	Morän (en del sten), bergkross
	0,76–1,2	Slam/aska*
	1,2	Stopp (med kolvprovtagaren)

* Bedömd tjocklek vid provtagningen.

Tabell E-2 Beställda laboratorieundersökningar för prover från Sofielund, vintern 2007.

Table E-2 Ordered laboratory investigations of samples from Sofielund, winter 2007.

Provtagningspunkt	Provbeteckning	Tjocklek (cm)	Beställd analys
Pkt 1	VFB288	6	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
	JW2110	17	Densitet, CRS
	Pkt 1 eggen	ca 6	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
Pkt 2	SGI2992	4	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
	SGI3254	17	Densitet, enaxligt tryckförsök
	Pkt 2 eggen	ca 6	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
Pkt 3	Pkt 3 skruv	ca 5	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
	SGI5398	17	Densitet, CRS
	Pkt 3 eggen	ca 6	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
Pkt 4	ORRJEE1493	6	pH, vattenkvot, glödgningsförlust
	LBF1714	17	Densitet, enaxligt tryckförsök
	Pkt 4 eggen	ca 6	pH, vattenkvot, glödgningsförlust

Tabell E-3 Enskilda laboratorieresultat för prover från Sofielund, vintern 2007.

Table E-3 Individual laboratory results for samples from Sofielund, winter 2007.

Provbeteckning	Provtagningsdjup (m u m y)	pH	w (%)	TS (%)	GF, 950° C (% av TS)
VFB288	0,80–0,86	9,7	56*	64	18
Pkt 1 eggen	1,10–1,16	8,1	68	60	17
SGI2992	0,80–0,86	9,3	16*	86	9,4
Pkt 2 eggen	1,15–1,21	9,0	57	64	17
Pkt 3 skruv	0,78–0,83	8,5	61	62	18
Pkt 3 eggen	1,11–1,17	9,0	57	64	16
ORRJEE1493	0,76–0,82	9,2	77	56	20
Pkt 4 eggen	1,14–1,20	8,9	51	66	16

* stor spridning, liten provmängd

Tabell E-4 Beställda laboratorieundersökningar för prover från Sofielund, sommaren 2008.

Table E-4 Ordered laboratory investigations of samples from Sofielund, summer 2008.

Provtagningspunkt	Provbeteckning	Tjocklek (cm)	Beställd analys
Pkt 1	1 egg	ca 6	pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 2	2 skruv	ca 20	pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 3	3 egg	ca 6	pH, vattenkvot, glödningsförlust
	3 metall	ca 7	pH, vattenkvot, glödningsförlust
	SGI5728	ca 8	densitet, CRS
Pkt 4	4 skruv	ca 20	pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 5	5 metall	ca 7	pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 6	6 skruv	ca 20	pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 7	7 metall	ca 7	pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 8	VIAK1540	ca 8	densitet, CRS
Pkt 9	Geolab1038	nästan 17	densitet, enaxligt tryckförsök
Pkt 10	ORRJE E 5099	17	densitet, enaxligt tryckförsök
	FB 701	ca 7	densitet, pH, vattenkvot, glödningsförlust

Tabell E-5 Enskilda laboratorieresultat för prover från Sofielund, sommaren 2008.

Table E-5 Individual laboratory results for samples from Sofielund, summer 2008.

Provbeteckning	Provtagningsdjup (m u m y)	pH	w (%)	TS (%)	GF, 950° C (% av TS)
1 egg	ca 0,8–0,9	9,4	62	62	17
2 skruv	ca 0,8–1,0	9,3	55	65	16
3 egg	ca 1,0–1,1	8,3	71	58	19
3 metall	ca 0,9–1,0	8,8	56	64	17
4 skruv	ca 0,8–1,0	9,0	54	65	17
5 metall	ca 0,8–0,9	9,0	44	69	15
6 skruv	ca 0,8–1,0	8,4	62	62	18
7 metall	ca 0,9–1,0	8,1	72	58	21
FB 701	ca 1,1–1,2	8,8	66	60	18

F Redovisning av provtagning av fast material, Gärstad

Gärstad 2008-06-19

Tabell F-1 Fältnoteringar och beställda laboratorieundersökningar för prover från Gärstad, sommaren 2008.

Table F-1 Field notes and ordered laboratory investigations of samples from Gärstad, summer 2008.

Provtagningspunkt	Provbeteckning	Tjocklek (cm)	Kommentar	Beställd analys
Pkt 1	VFN484	ca 8		densitet
	C545	17		CRS
	Pkt 1 halvhylsa	ca 8		densitet
	Pkt 1 eggen	ca 6		pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 2	HBK61	nästan 17		densitet, enaxligt tryckförsök
	RB2391	17		CRS
	Pkt 2 eggen	ca 6		pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 3	SGI1210	nästan 17	ev. inblandning av schaktmassor	pH, vattenkvot, glödningsförlust
	Pkt 3 eggen	ca 6		pH, vattenkvot, glödningsförlust
Pkt 4	SGI9092	ca 13		densitet, enaxligt tryckförsök
	Pkt 4 eggen	ca 6	rökgasreningsrest med i provet	pH, vattenkvot, glödningsförlust

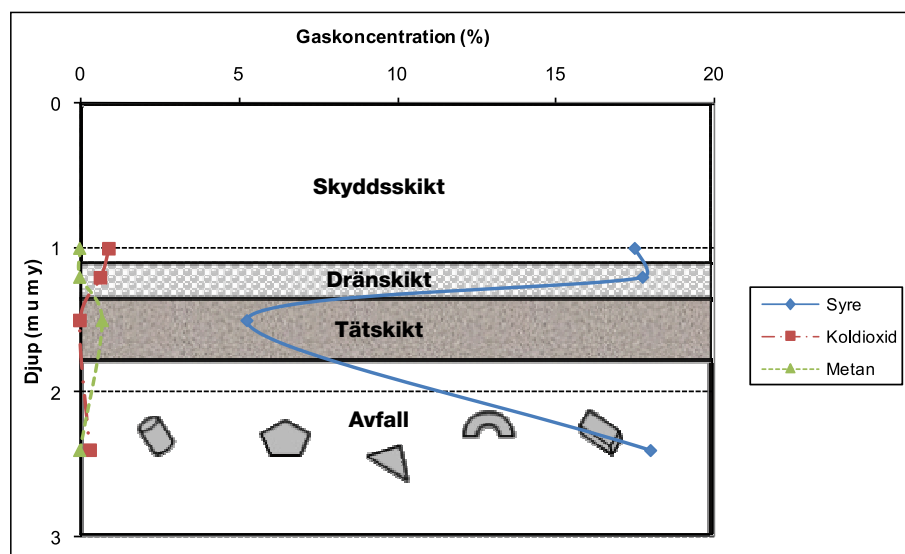
Tabell F-2 Enskilda laboratorieresultat för prover från Gärstad, sommaren 2008.

Table F-2 Individual laboratory results for samples from Gärstad, summer 2008.

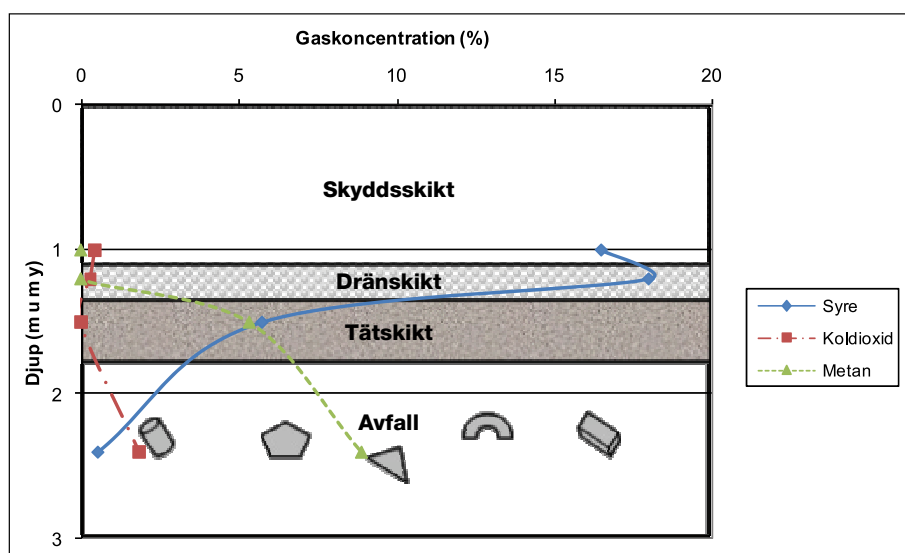
	Provtagningsdjup (m u m y)	pH	w (%)	TS (%)	GF, 950° C (% av TS)
Pkt 1 eggen	ca 2,0–2,06	7,9	79	56	37
Pkt 2 eggen	ca 1,9–1,96	8,0	105	49	39
SGI1210	ca 1,8–1,9	8,1	27*	79	10
Pkt 3 eggen	ca 1,9–1,96	8,0	100	50	35
Pkt 4 eggen	ca 1,9–1,96	8,1	95	51	36

* stor spridning

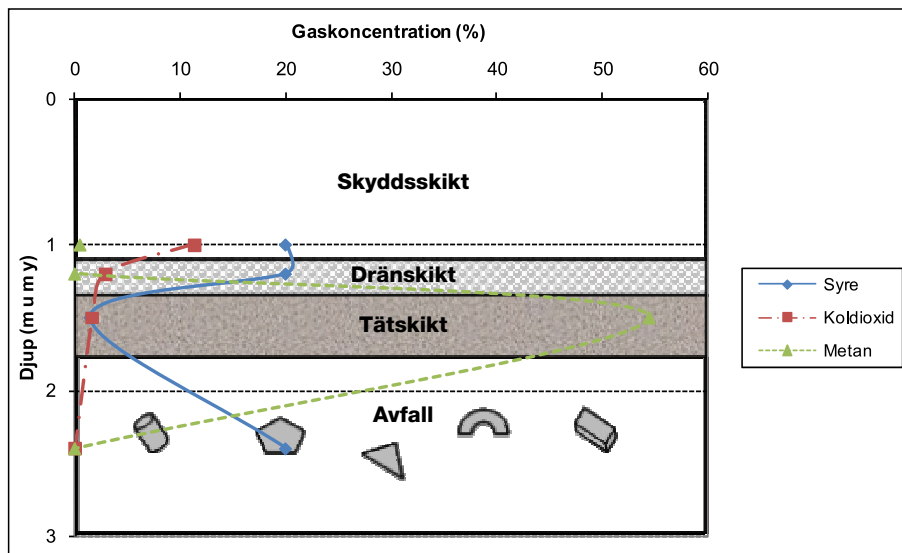
G Resultat från gasmätningar, Sofielund



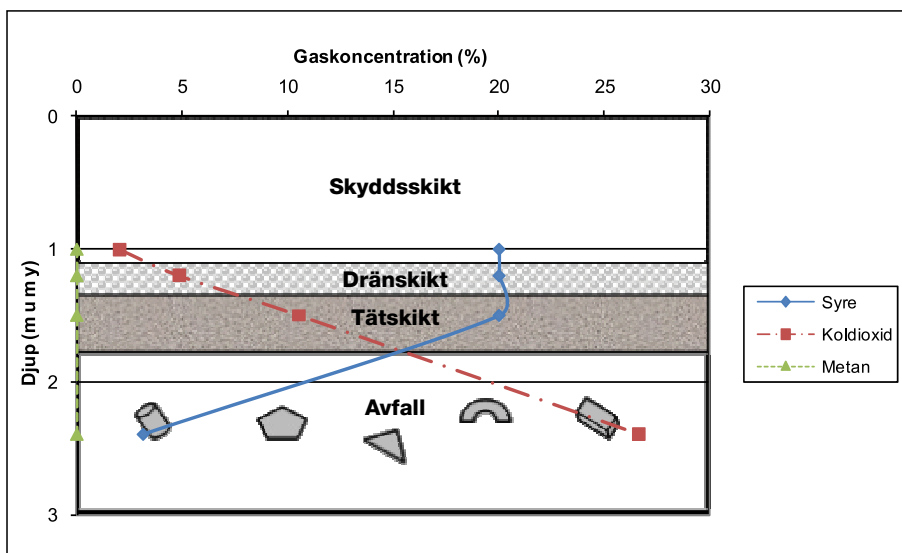
Plan delyta – september 2005



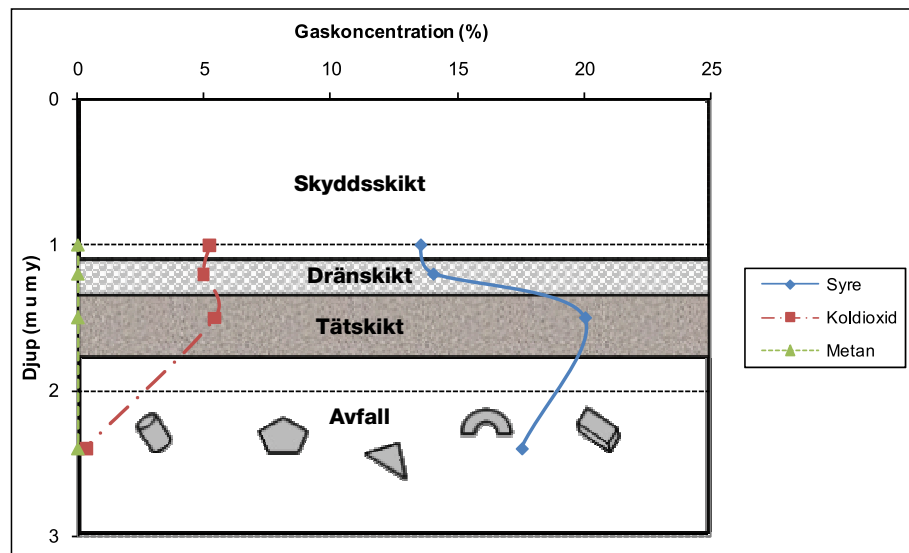
Brant delyta – september 2005



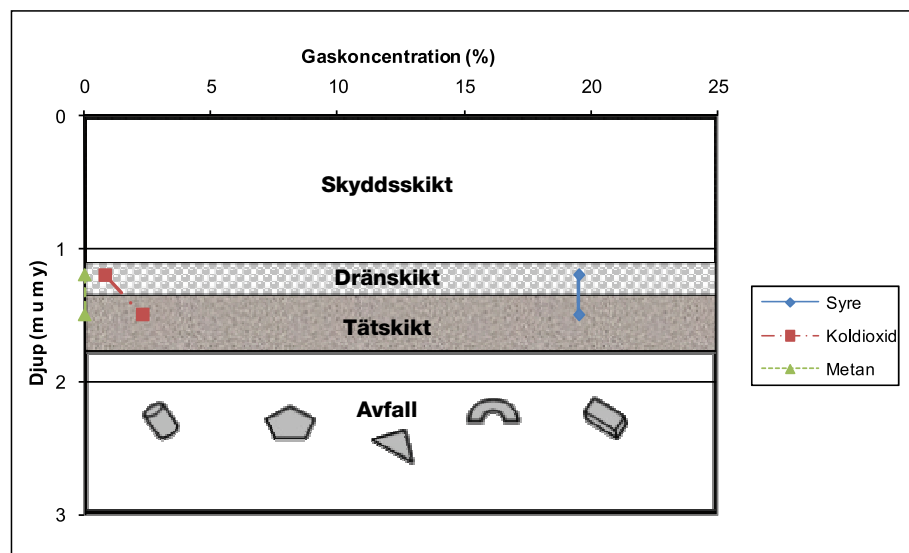
Plan delyta – december 2006



Brant delyta – december 2006

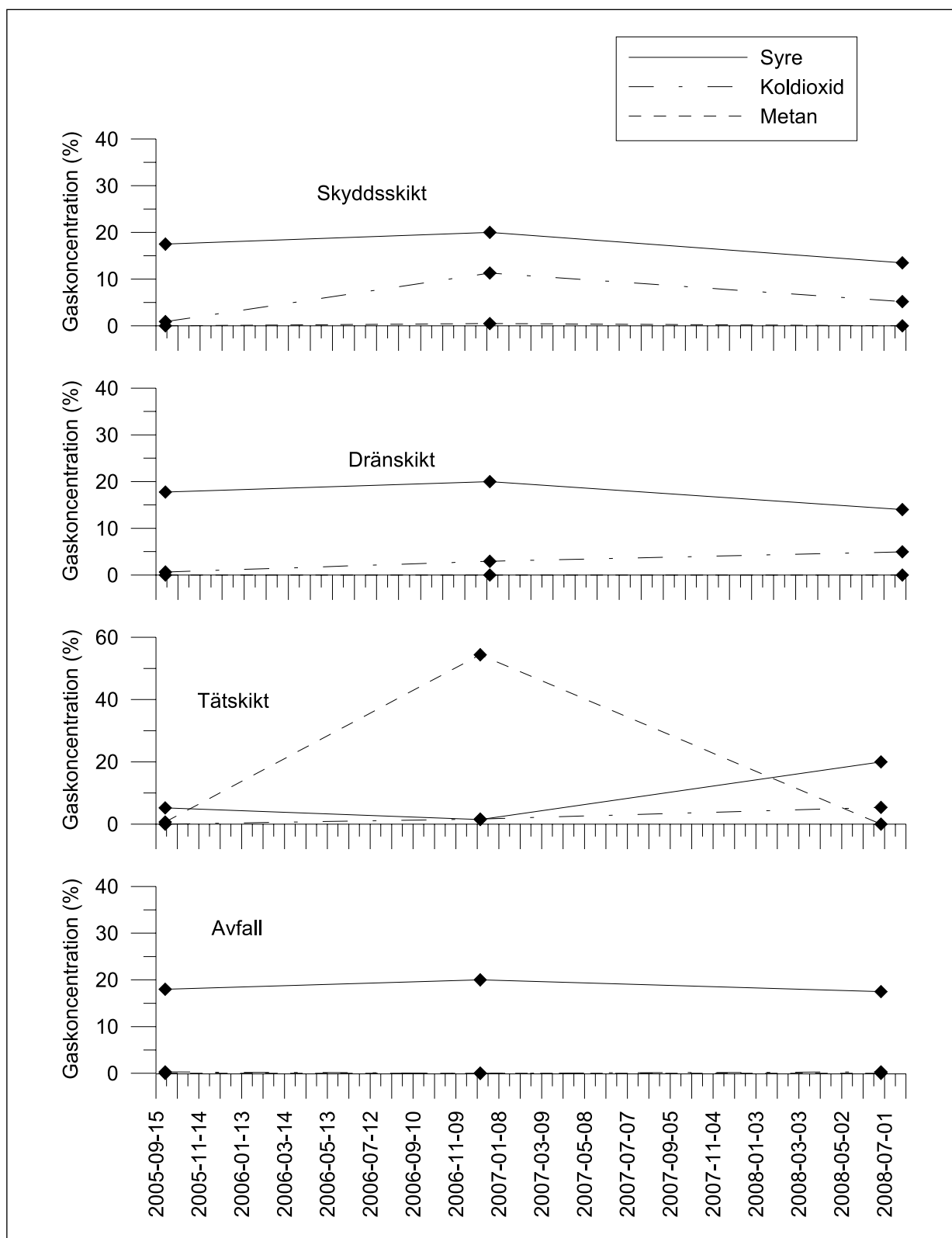


Plan delyta – juni 2008

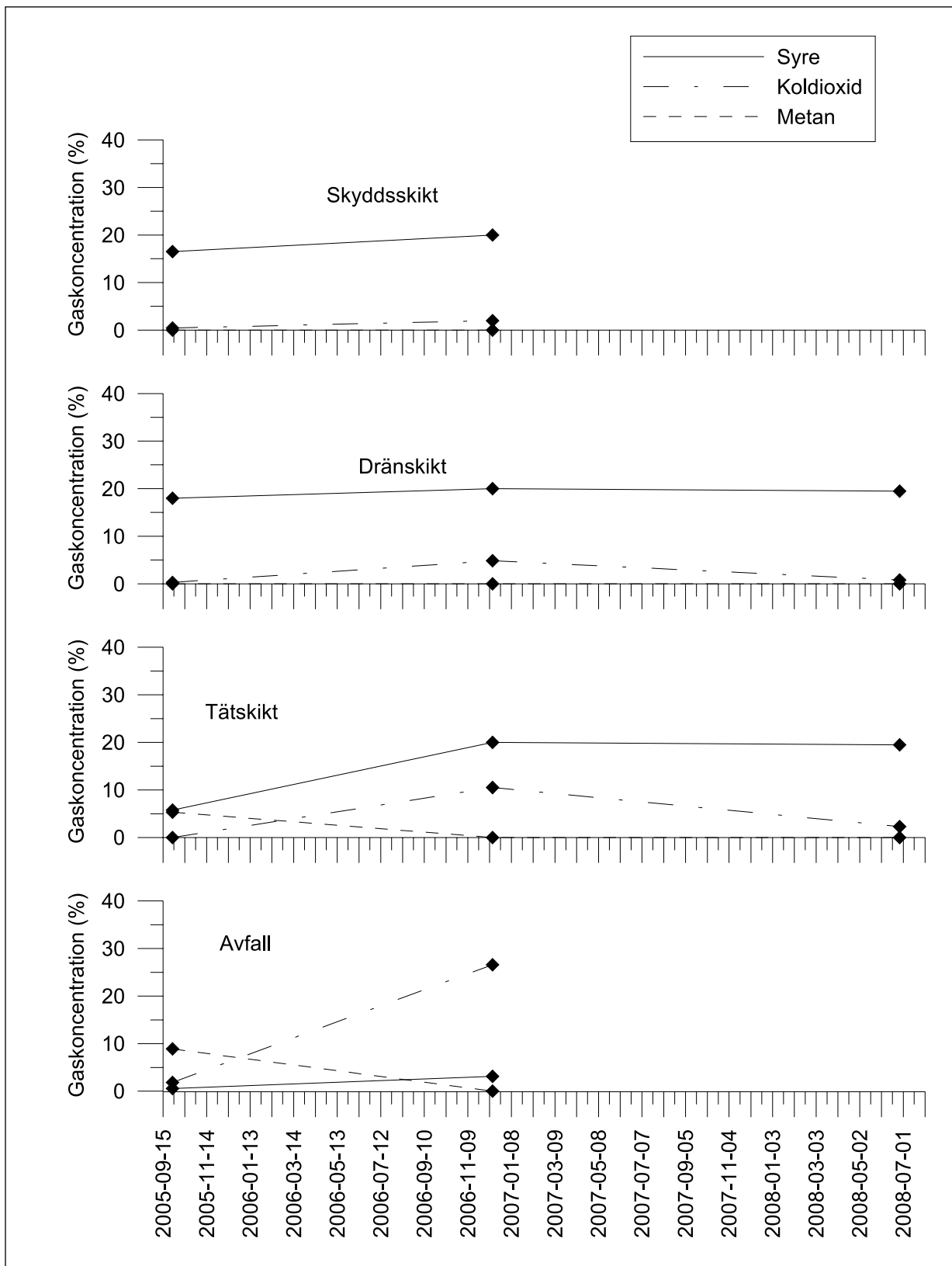


Brant delyta – juni 2008

H Resultat från gasanalyser – halt mot tid, Sofielund

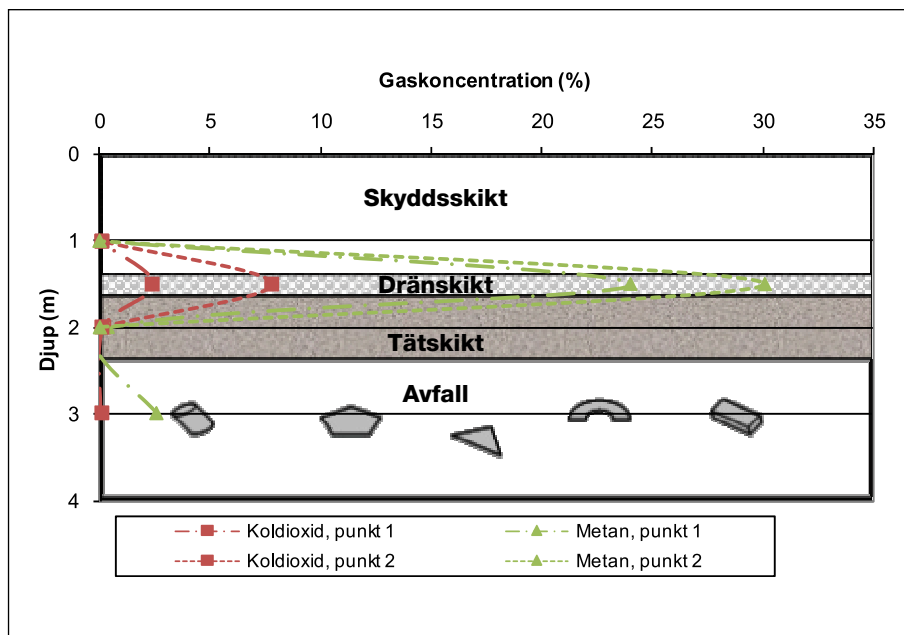


Flack delyta

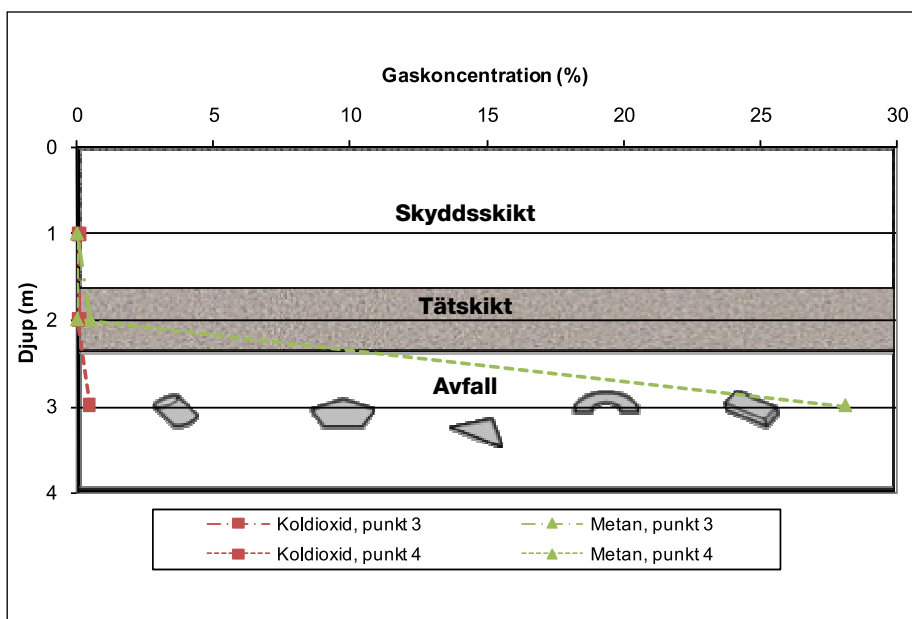


Brant delyta

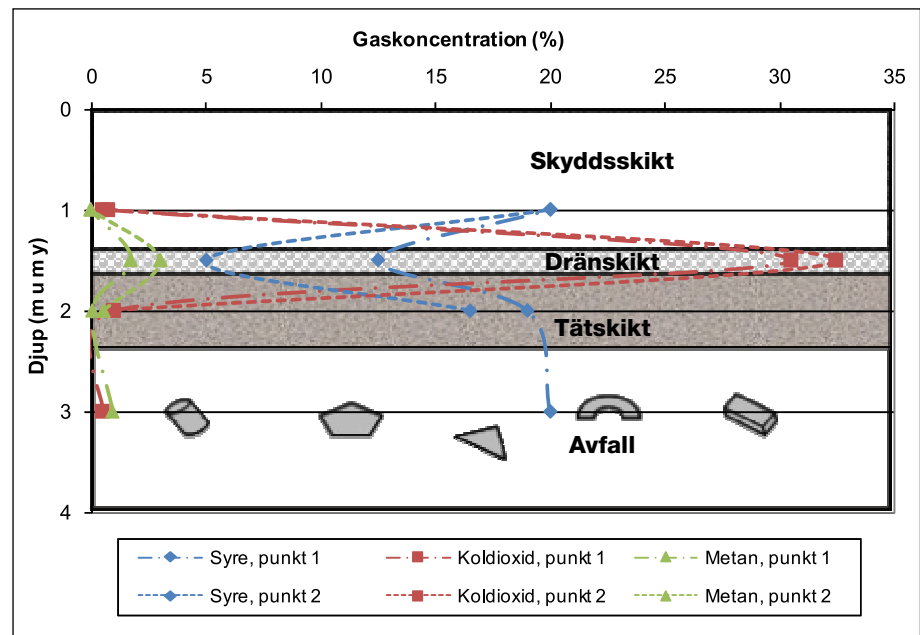
I Resultat från gasmätningar, Gärstad



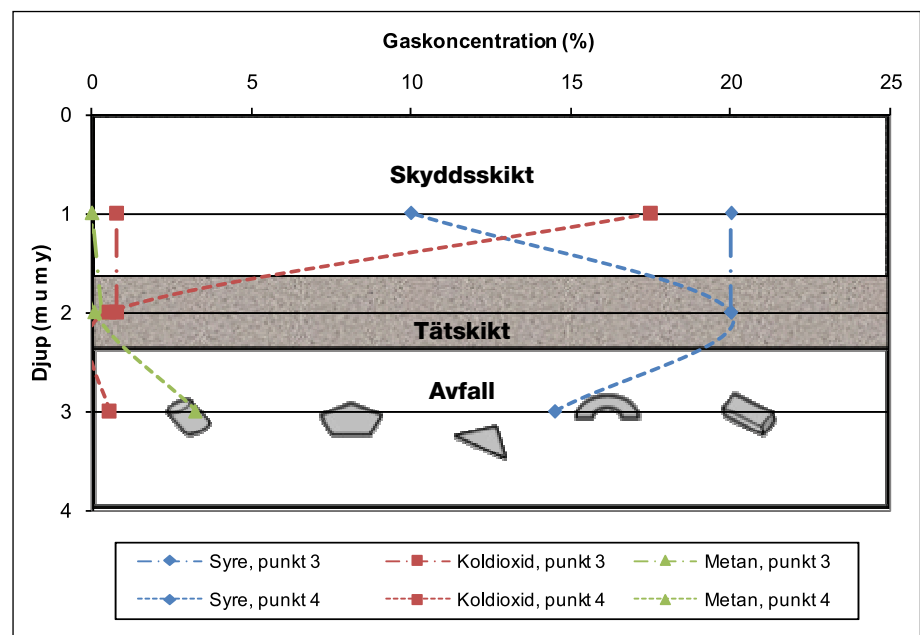
Delyta med dränskikt – december 2004



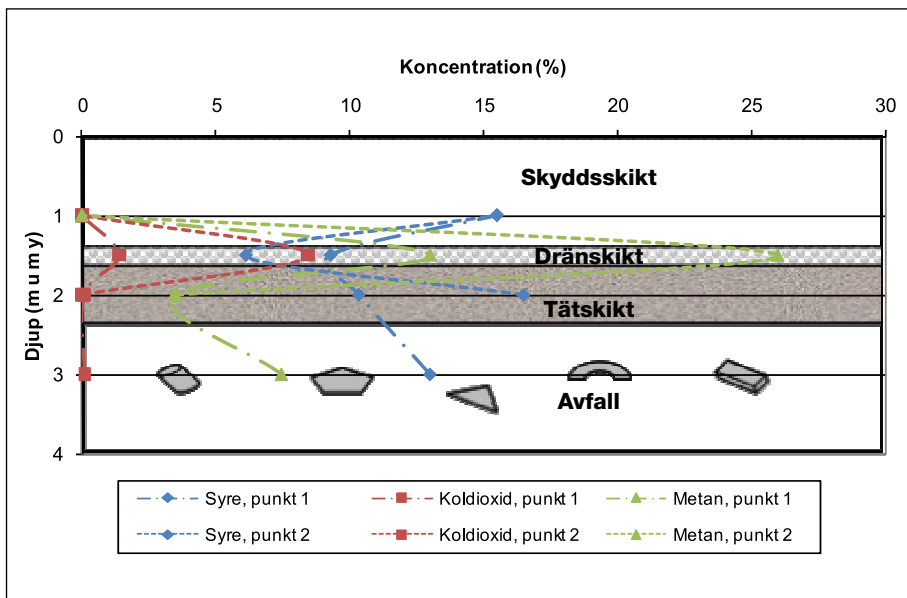
Delyta utan dränskikt – december 2004



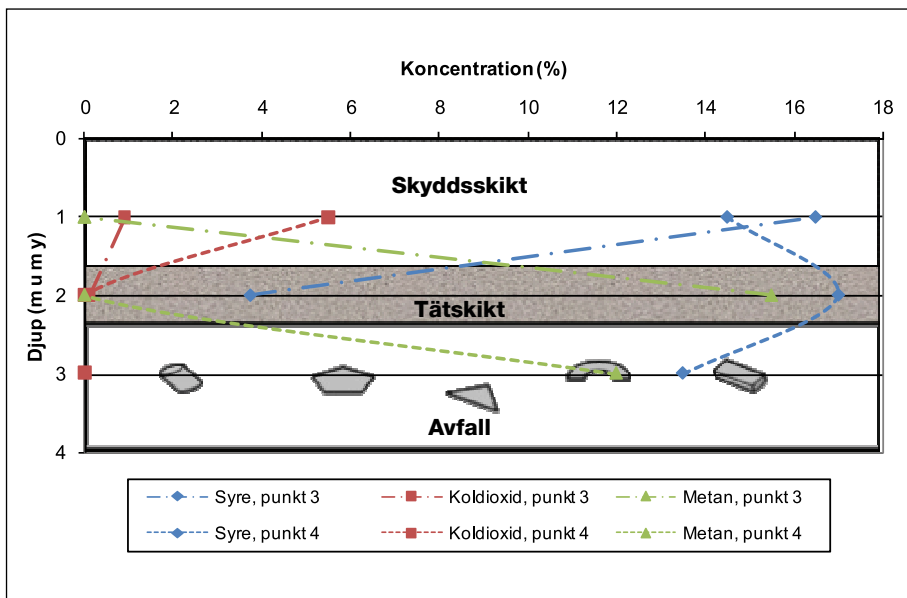
Delyta med dränskikt – februari 2005



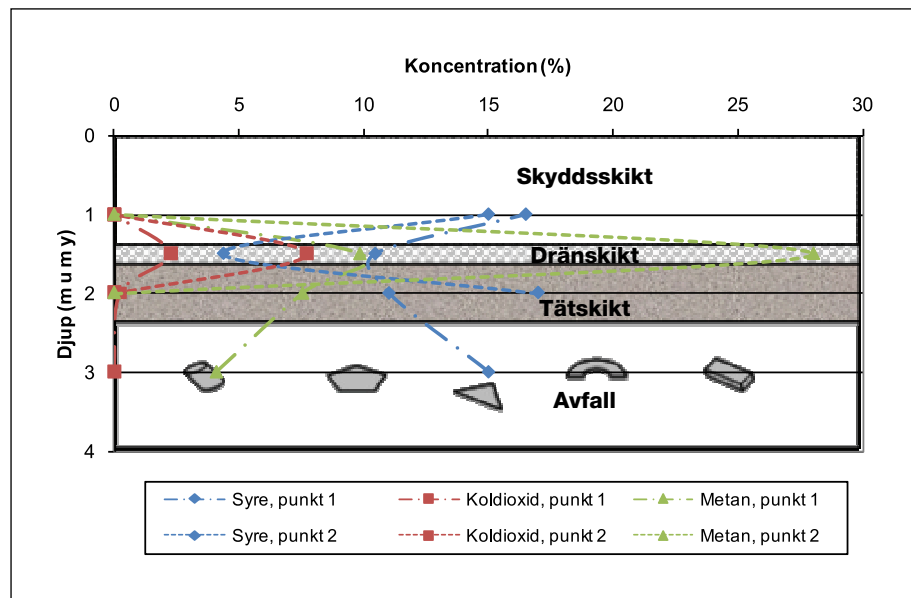
Delyta utan dränskikt – februari 2005



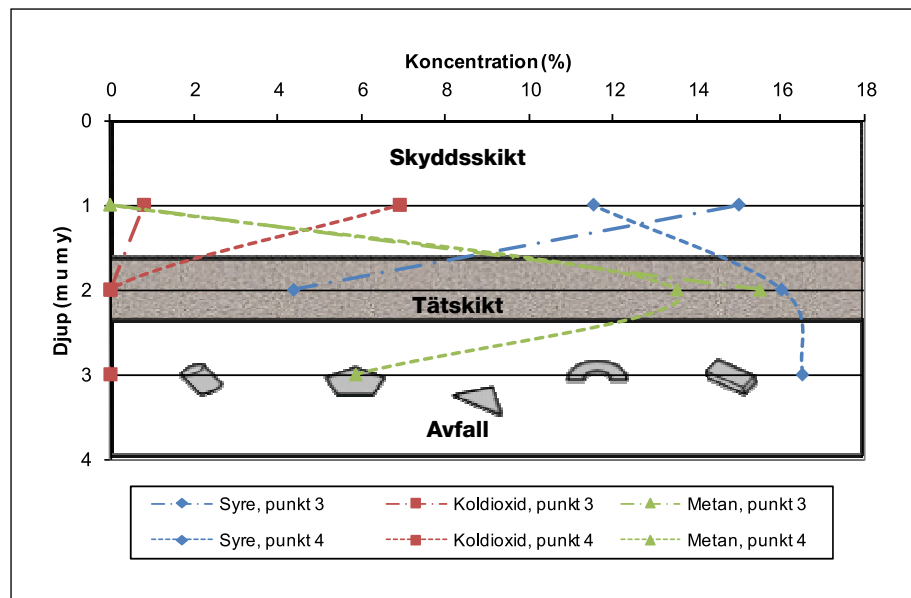
Delyta med dränskikt – maj 2005



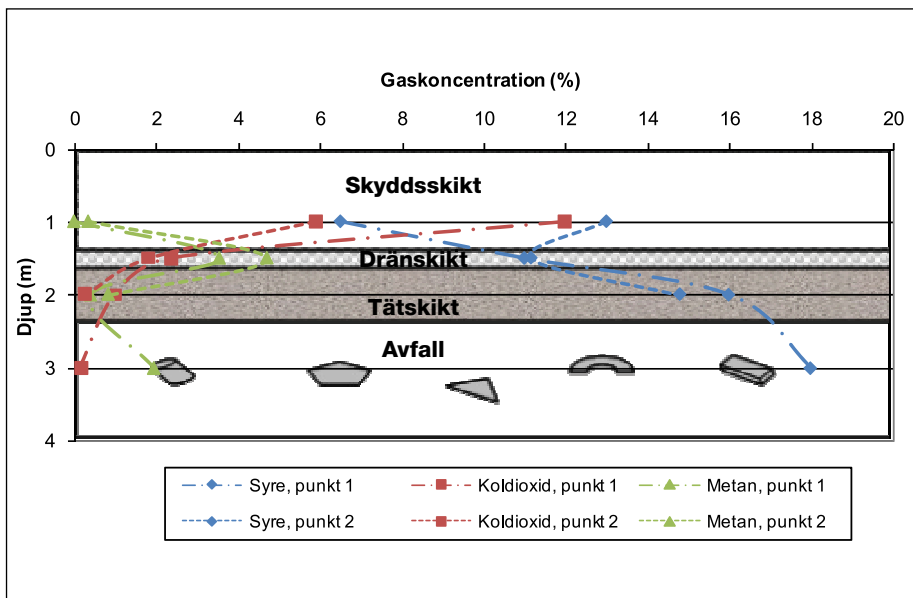
Delyta utan dränskikt – maj 2005



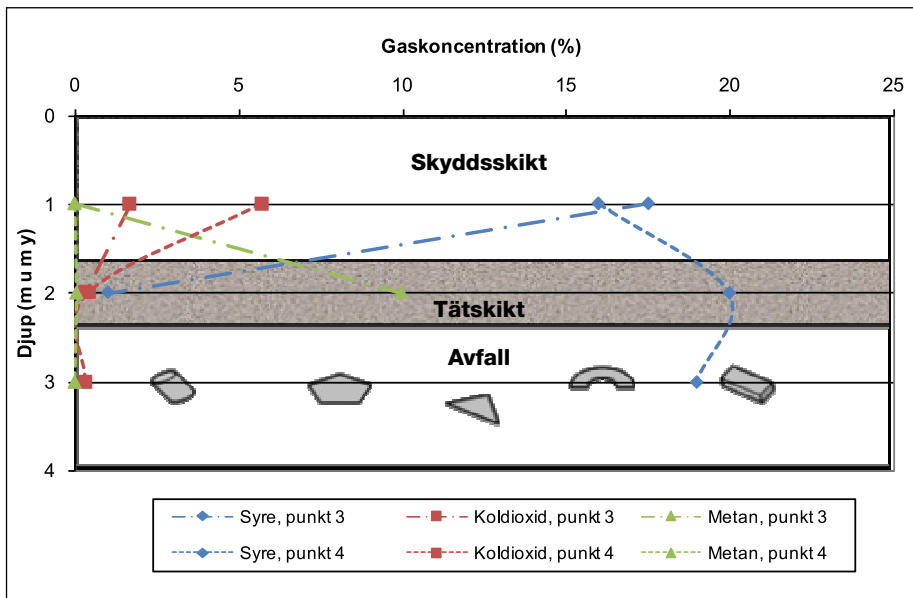
Delyta med dränskikt – juni 2005



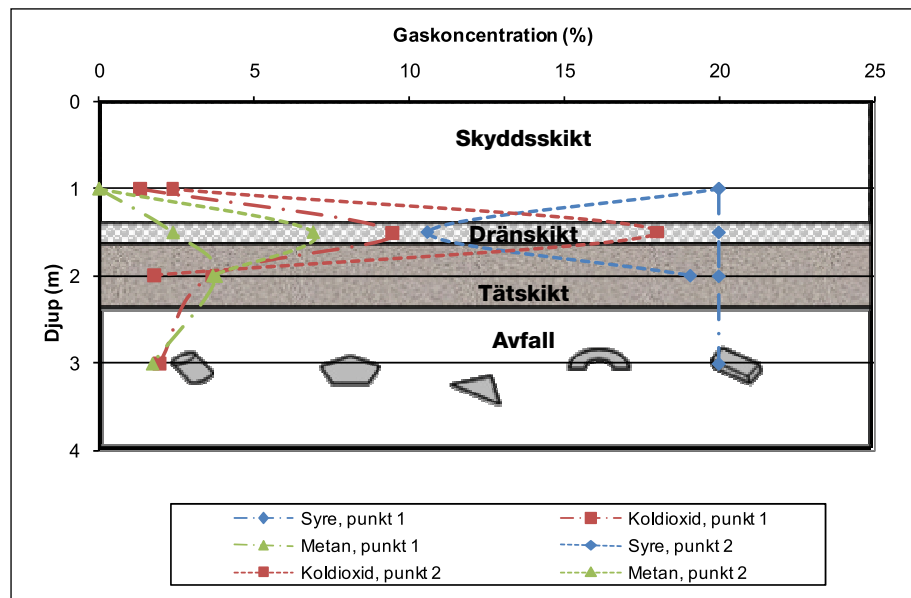
Delyta utan dränskikt – juni 2005



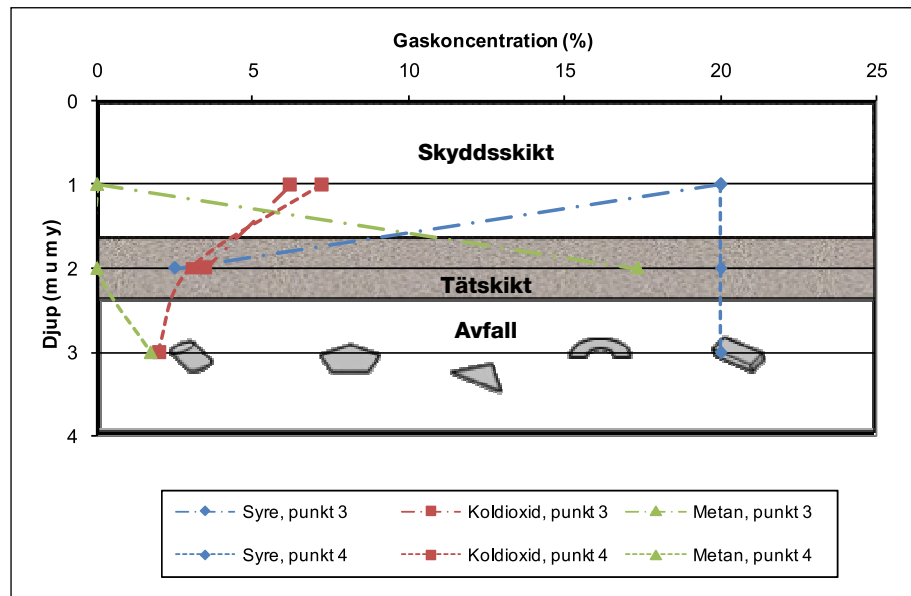
Delyta med dränskikt – september 2005



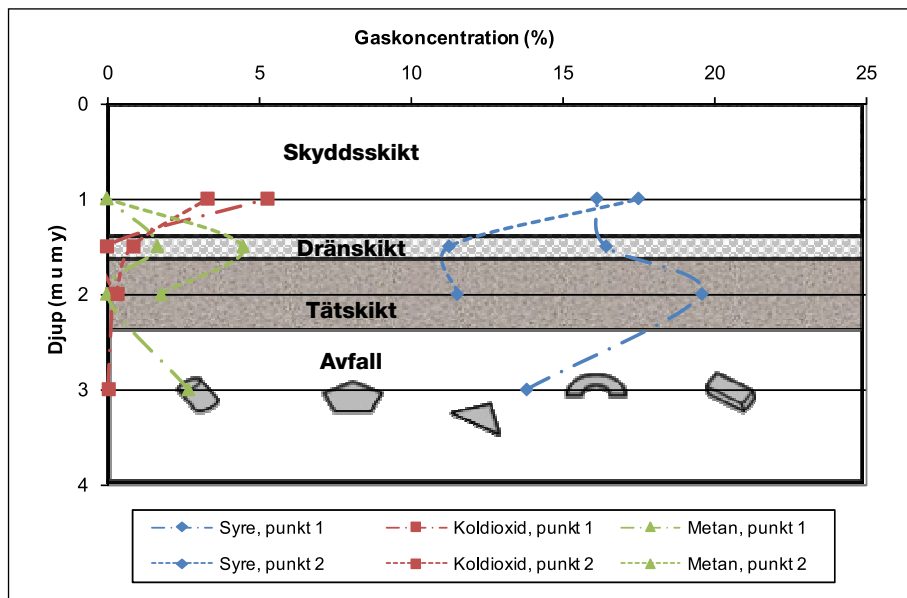
Delyta utan dränskikt – september 2005



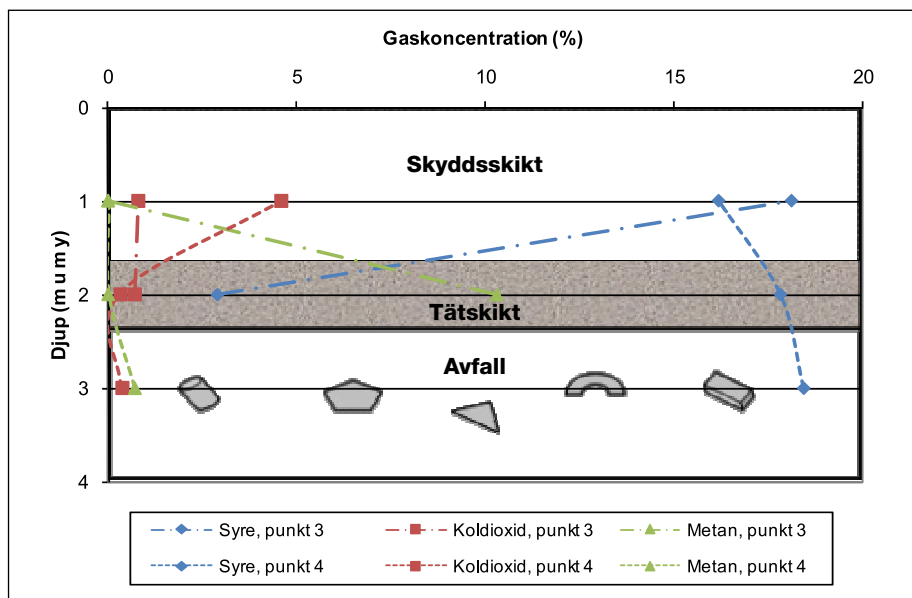
Delyta med dränskikt – december 2006



Delyta utan dränskikt – december 2006

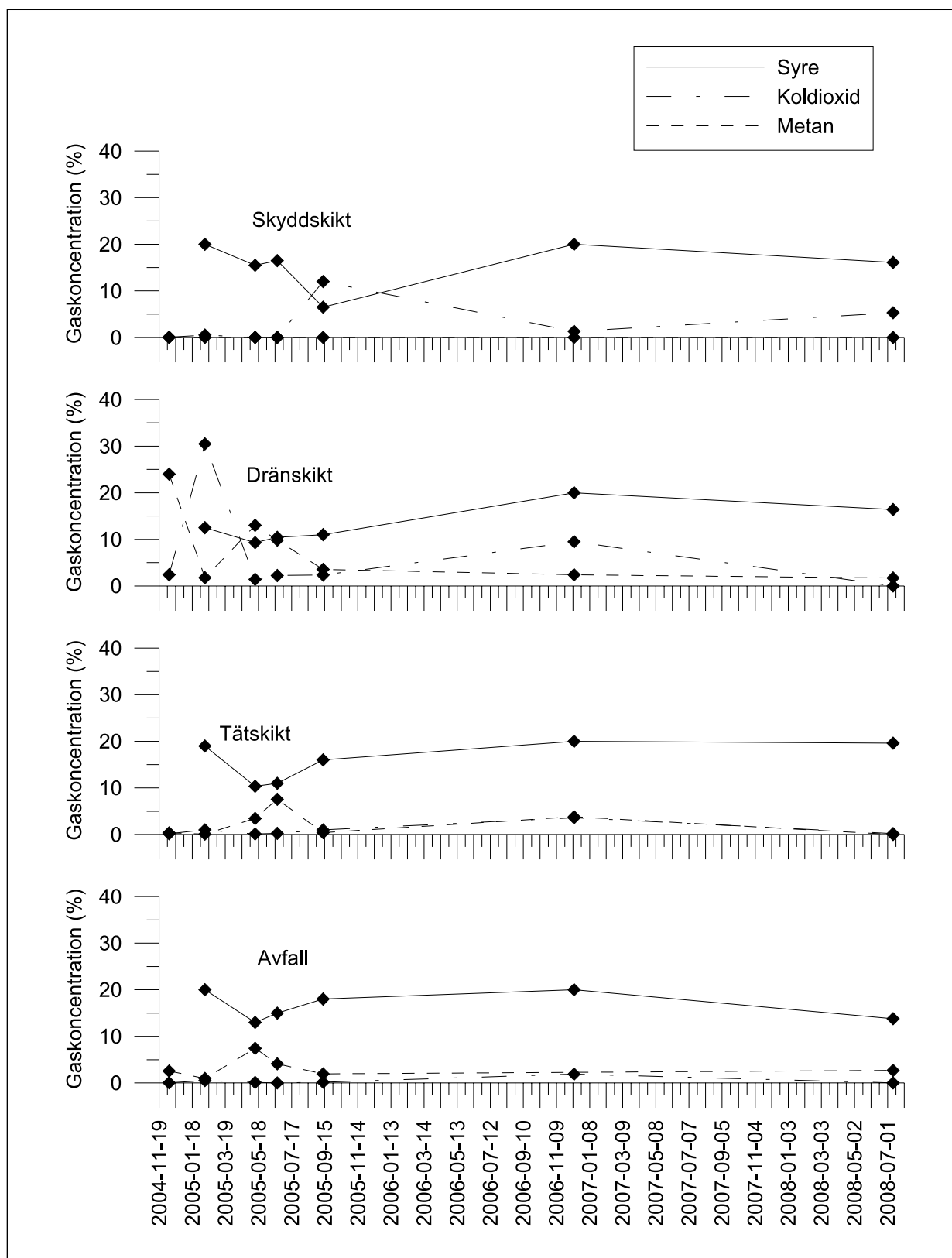


Delyta med dränskikt – juli 2008

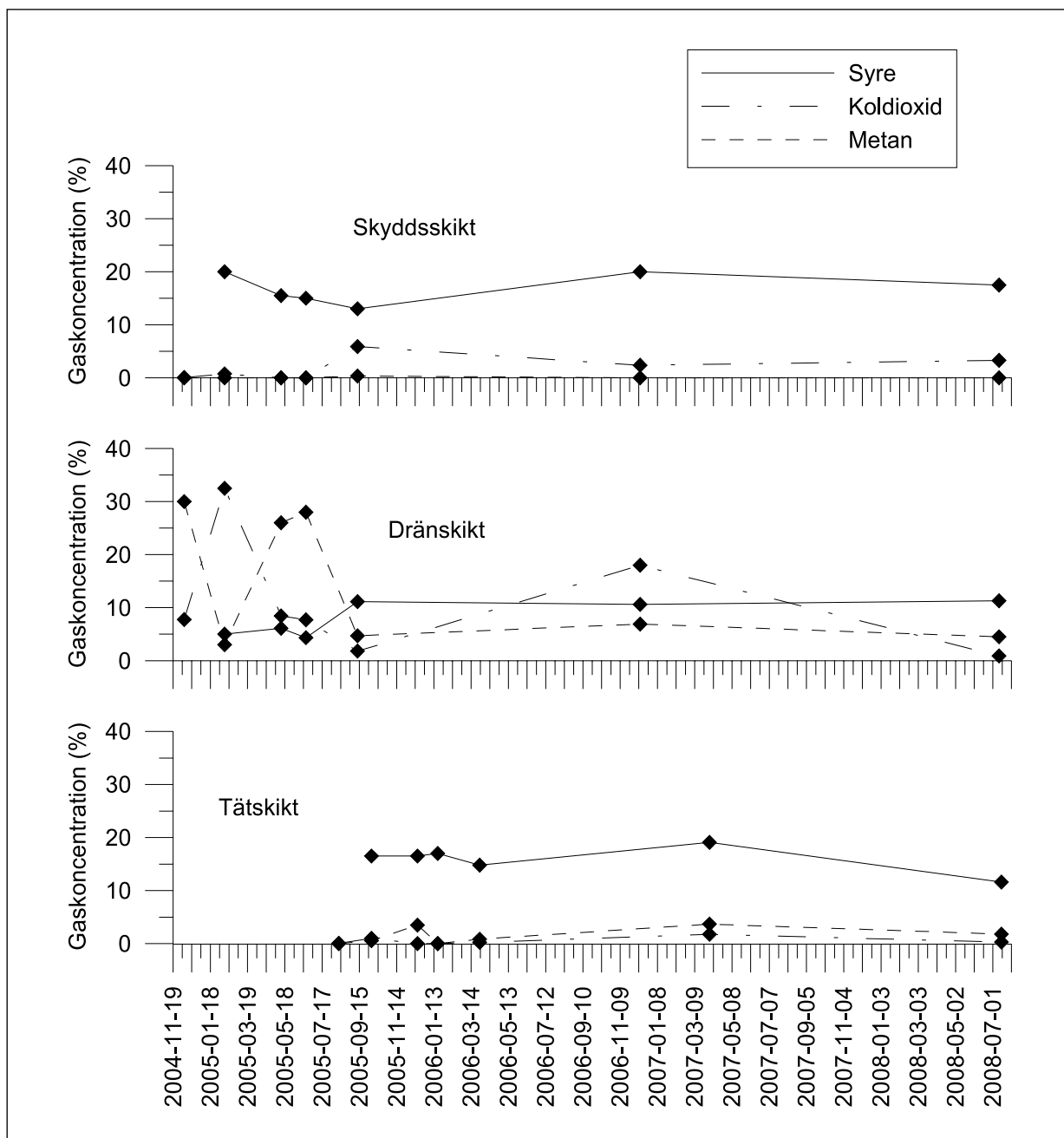


Delyta utan dränskikt – juli 2008

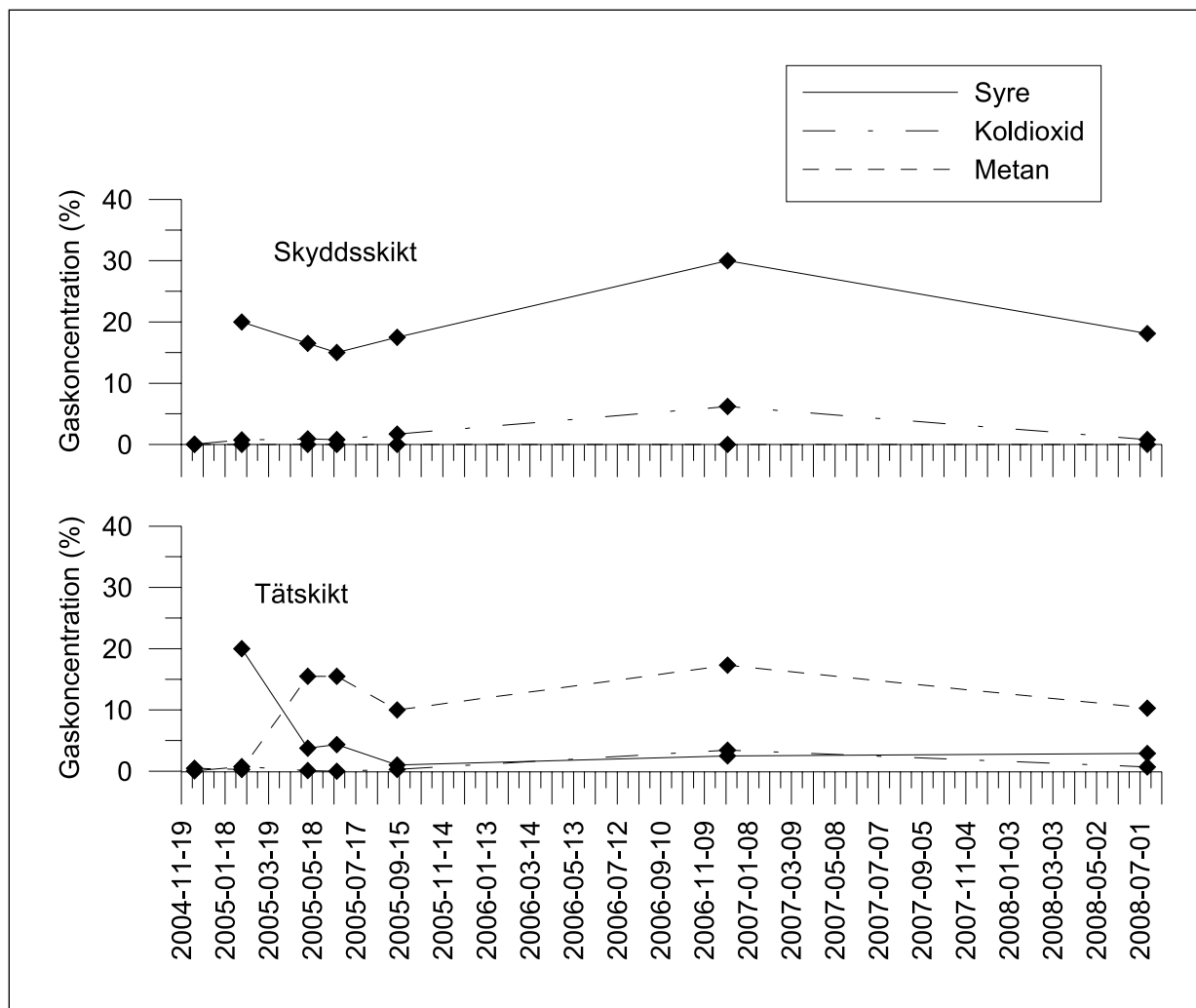
J Resultat från gasanalyser – halt mot tid, Gärstad



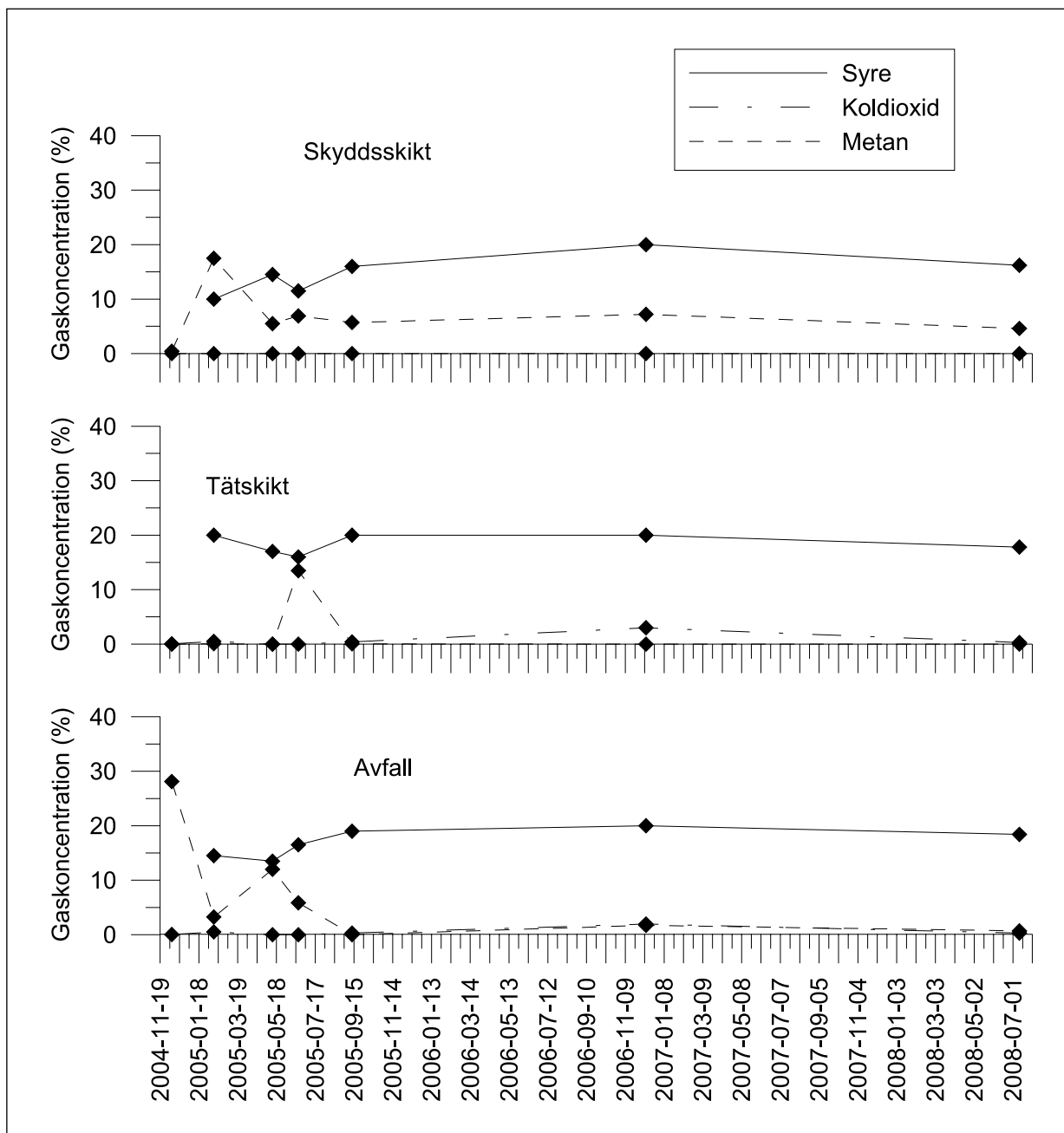
Provtagningspunkt 1



Provtagningspunkt 2



Provtagningspunkt 3



Provtagningspunkt 4



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se