

Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt bestående av flygkastabiliserat avloppsslam, FSA – Beständighet, täthet och ytutlakning

Josef Mácsik, Märta Ländell, Karsten Håkansson

**Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt
bestående av flygaskastabiliserat avloppsslam, FSA**

– Beständighet, täthet och ytutlakning

**Evaluation of robustness of fly ash stabilized
sewage sludge (FSS) as liner**

**- Durability, percolation and drainage water
quality**

Josef Mácsik
Märta Ländell
Karsten Håkansson

Q9-739

Abstract

This project shows that fly ash stabilized sewage sludge (FSS) is watertight and resistant as liner in landfills. The presented results can lead to that more landfills will use FSS as liner, and landfills already using FSS together with geomembrane, can leave out the latter without risking contamination of the drainage water collected by the closure construction.

Förord

Rapporten riktar sig till dem som utför eller planerar att utföra sluttäckning med tätskikt av flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) och behöver stöd med kommunikation, projektering och entreprenad för sin konstruktion, d.v.s. till deponiägare, konsulter, materialägare och entreprenörer. Resultaten i projektet ska också fungera som stöd för miljömyndigheter genom att de visar hur sluttäckning med FSA utförs fackmannamässigt.

Fältresultat från flertalet deponier sammanställs, där den äldsta FSA tätskiktet 2010 var ca 6,5 år gammalt. Resultat från uppföljning av flera deponier, där FSA har använts i tätskiktskonstruktion, visar att FSA uppfyller funktionskravet på täthet < 50 mm/år för icke-farligt avfall och att tätheten ökar under de första åren. Dräneringsvattnets kvalitet med avseende på bland annat kväveinnehåll förbättras med tiden under de första åren efter sluttäckning. Resultaten kompletterar vägledningen, [1] med avseende på beständighet, hantering och utläggning av FSA och dräneringsvattnets kvalitet.

Projektet har finansierats av Svenskt Vatten Utveckling (SVU), Värmeforsk, Avfall Sverige, Tekniska verken i Linköping (TVL), Eskilstuna Energi och Miljö AB (EEM), Atleverket (Tekniska förvaltningen, Örebro), SRV återvinning, Econova, Geo Innova/Vectura och Ecoloop.

Projektets referens- och styrgrupp har bestått av Daniel Hellström (SVU), Claes Ribbing (Svenska Energiaskor), Stig-Olov Taberman (TVL), Nils Lundkvist (Tekniska kontoret Stockholm), Peter Flyhammar (Avfall Sverige), Birgitta Strömberg (Värmeforsk), Michael Kempf (Tekniska förvaltningen, Örebro), Magnus Jakobsson (EEM), Anna-Karin Norström (Sundsvall Energi AB) och Sami Serti (Citres AB).

Sammanfattning

I Sverige fortgår sluttäckning av ett stort antal deponier och sluttäckningen kommer att fortsätta under de närmaste åren. En av sluttäckningens funktion är att minska lakvattenbildningen, samtidigt är det viktigt att det ytvatten som samlas upp på deponier ska kunna släppas till recipienten utan vidare behandling. Flygaskastabiliserat avloppsslam (FSA) används sedan 2004 på flera deponier som tätskikt, i vissa fall ingår FSA i ett komposittätskikt tillsammans med geomembran.

Syftet med detta projekt var att visa hur tätheten, beständigheten mot nedbrytning och dräneringsvattnets kvalitet från sluttäckningskonstruktioner med FSA påverkas med tiden. Målgruppen för projektet är deponiägare, entreprenörer, konsulter, materialägare och miljömyndigheter. Projektet baseras på tidigare erhållna resultat bl.a. [2] och [3] och undersökningar utförda mellan 2009 och 2010. FSA tätskiktets täthet, hållfasthet, vattenkvot/TS-halter tendens till uttorkning och sprickbildning undersöktes. Dräneringsvatten som är i kontakt med FSA har provtagits och analyserats från bl.a. Dragmossens deponi, Lilla Nyby, Gärstad etc. under > 6,5 års tid fram till 2010.

Resultaten visar att FSA är ett kompressibelt material, kompressionen är ca 30 – 35 %. Undersökningarna visar att det mesta av kompressionen sker under det första året. Kompressionen medför bl.a. följande a) porvatten i FSA pressas ut till avjämningskiktet, vilket leder till en skenbart lägre täthet än väntat b) porvatten i FSA pressas ut till dräneringskiktet, vilket leder till högre halter av metaller, kväve fosfor m.m. i dräneringsvattnet och c) utan materialavskiljande skikt (geotextil) pressas dräneringsgruset in i FSA-skiktet, vilket leder till ökad utlakning.

Slutsatsen är att FSA i tätskikt klarar täthetskravet på icke farligt avfall som är < 50 liter/kvadratmeter och år och efter ca 4,5 år ligger genomsläpligheten generellt på < 15 liter/kvadratmeter och år. Tätheten ökar med tiden och mängden vatten som FSA materialet är i kontakt med är liten. Resultaten indikerar att det tar hundratals år innan mängden vatten som har kommit i kontakt med FSA når den nivå som vid tidigare laborieförsök [4]. I och med att det är små mängder vatten som perkolerar igenom FSA-skiktet blir urlakningen av salter, löst organiskt kol (DOC) etc. begränsad. Laborieundersökningar visar att hög salthalt och högt pH hindrar biologisk nedbrytning. Resultat från Atleverket, där dräneringsgruset ligger på FSA-skiktet utan materialavskiljande lager visar att halterna av metaller, kväve etc. minskar långsamt och efter tre år är halterna fortfarande höga. På Lilla Nyby och Gärstad, där geotextil användes mellan FSA- och dräneringskiktet, visar resultaten att halterna av metallhalter och kväve avtar snabbt, inom några månader efter avslutad sluttäckning.

Projektet visar att FSA är ett material med täthet på < 15 liter/m² och år och baserat på sluttäckningens första 6,5 år och tidigare erhållna laborieresultat [4], [5], [6] bedöms vara ett beständigt material mot nedbrytning. Genom att nyttja materialavskiljande lager mellan FSA och dränskikt kan ytutlakningen begränsas till ursköljning av pressvatten. Projektet bör kunna leda till att fler deponier börjar nyttja FSA och att de deponier som använder FSA i komposittätskikt kan övergå till enbart FSA som tätskikt utan att dräneringsvattnets kvalitet förhindrar detta.

Nyckelord: flygaska, avloppsslam, tätskikt, täthet, beständighet, dräneringsvatten.

Summary

Several Swedish waste sites will be closed up during the next decade. The purpose of final covering is to minimize leachate formation, while it is also important that the drainage water can be released to the recipient without further treatment. The Liners function is to limit the amount of water infiltrating the waste at the same time the collected drainage water should be released to the recipient without treatment. Fly ash stabilized sewage sludge (FSS) is used on several landfills since 2004 as liner or together with an overlaying geomembrane as a composite liner.

The aim of this project was to investigate FSS liners functions such as hydraulic conductivity, durability and drainage water quality after several years in action. The target group with this project is landfill owners, entrepreneurs, consultants, material producers as well as environmental authorities.

Percolation through FSS-liners aged between a few years up to 6,5 years are investigated. This project used data from earlier studies presented in [2] and [3]. Samples were taken of FSS and tested with respect to shear strength, hydraulic conductivity, water content and density. These parameters were measured in order to evaluate if the liner risks losing its shear strength, dries out or cracks. Drainage water which has been in contact with FSS-liner was sampled at different landfill sites and analysed regarding to pH, electric conductivity, content of nitrogen, metals etc during several years.

Results show that FSS is a compressible material, with compression between 30 – 35 %. Most of the compression takes place during the first year or two. Compression leads to a) pore water transport from the liner in to the underlying soil cover layer with an indication of higher hydraulic conductivity than actual, b) pore water transport from the liner into the overlaying drainage layer leading to increased contents of metals, nitrogen, DOC etc. in the drainage water and c) without separation layer even material transport between the liner and the drainage layer, which leads to leaching.

The conclusion of this report is that FSS is a layer with low hydraulic conductivity. The amount of water after about 4,5 years is less than 15 liters per square meter and year. After 4,5 years the L/S ratio (the ratio of water percolating through the material and the solid material, dry weight) is less than 0,11. These results indicate that it will take several hundred years to reach L/S ratio 10, which were used in laboratory tests [4]. Pore water collected in lysimeters underlying FSS layers has high pH, and high content of K, Na and DOC during the first 4 to 6 years. Results from Atleverket, where drainage layer and FSS are not separated by a geotextile show that the contents of nitrogen, metals, DOC, and pH, EC are decreasing slowly and after more than three years are still high. Drainage water collected at Lilla Nyby and Gärstad have high initial contents of nitrogen, metals, DOC and high pH and EC, however levels are decreasing within a few month after closure to levels equal to the recipients level.

This project shows that the FSS-liner is watertight and resistant to biological degradation. This project can lead to that more landfills will use FSS as liner and landfills already using FSS together with geomembrane can leave out the latter without risking contamination of drainage water.

Key words: Fly ash, sewage sludge, liner durability, hydraulic conductivity, drainage water.

Abstract

Background

This projects main focus was to investigate whether the functions of a landfill closure with FSS can meet functional requirements on a) percolation, b) drainage water quality and c) durability.

Earlier investigations and experience showed that FSS:

- Has low hydraulic conductivity.
- Is a compressible material.
- Can leach dissolved organic carbon (DOC), nutrients and metals

The hypothesis of the project was that high pH and electric conductivity in the FSS as well as compression leads to low hydraulic conductivity which is maintained for a long time.

FSS liners were investigated at six locations, Dragmossen (Älvkarleby), Lilla Nyby (Eskilstuna), Atleverket (Örebro), Gärstadverket (Linköping), Blåberget (Sundsvall) and Sofielund (Huddinge). Laboratory investigations have been going on since 2001 and field investigations since spring 2004. There are similarities and some differences between these sites according to design and performance.

At Dragmossen the closure of the landfill with FSS as liner was carried out as a development project may 2004, starting with a pilot test with 2000 m² landfill area. On the rest of the landfill site, ca 1 hectare a composite liner, including FSS-liner and an overlaying geomembrane was used. Geotextile as separation layer was not used between the FSS-layer and the drainage layer on the pilot area. The pilot test area was instrumented with water and gas lysimeters in the cover, liner, drainage and protection layers.

At Blåberget a minor pilot test site (400 m²) was built during the autumn of 2004. In the protection layer 1,3 m of till layer was used and the drainage layer consists of tire shreds. Geotextile was only used between the drainage and protection layers, and was not considered as necessary on top of the FSS liner, due to the flat form of the tire shreds. Lysimeters were installed to collect percolating water in order to measure percolation through the liner and to analyze water quality. The test site was closed after 2005 (November) due to the lack of water percolating the liner. Further, it was concluded that the closure of the landfill was not due until earliest 2015. Choice of material and quality is considered as different from the material used in this pilot test. New pilot test are planned later with fly ash and sewage sludge which will be produced during the time of the closure.

At Lilla Nyby closure is performed with FSS as liner since autumn 2005. Handling of fly ash and sewage sludge, mixing of FSS and installation of the different layers are “industrialized” and following the guidelines described by [1]. The closure between 2005 and 2006 was considered as a pilot test and was instrumented with 20 lysimeters in the cover, liner and drainage layers. At the end of 2010 about an area of 6 hectares

were finished. The drainage layer is enclosed by two geotextile layers. Since 2008 the drainage water is collected on the east and west side of the landfill site. The quality of the drainage water is controlled and the aim is to release the collected water to the recipient without treatment. Today the collected drainage water is pumped and treated together with leachate water from the landfill.

At Atleverket a pilot test site of 1500 m² was built with FSS as liner during 2006. On the test area, glass splitter was used as drainage material. Separation layer between FSS and drainage layers were not used. The test area was instrumented with lysimeters in the vegetation layer, protection layer, and drainage layer and under the FSS layer (liner).

This lysimeters have been sampled on a regular basis.

During 2008-2010 an additional two hectare landfill area was finished with FSS and geomembrane as liner. Mixing of FSS and installation of liner and other layers are now made in a more commercial way, mainly in accordance with [1]. The FSS is combined with a geomembrane to form a composite layer. In this large scale closure, a drainage mat is used on top of the liner.

At Gärstadverket a pilot test was conducted during the autumn of 2004. The test area was 5 500 m². Between the FSS layer and the drainage layer a separation layer was installed. The test site was also divided into smaller areas with different design and constructions in order to compare the results. Each area has its own water and gas lysimeters in the waste, liner, drainage layer and protection layer.

At Sofielund a test area of 1000 m² was built during the summer of 2005. The liner is composed of FSS with some content of bottom ash, to ensure the strength. Water and gas lysimeters were installed and a separation layer was used between the FSS layer and the drainage layer.

Hydraulic conductivity

In common for these landfills is that FSS has low hydraulic conductivity without regard to the origin of the fly ash and sewage sludge used and how the liners were installed. FSS is a compressible material and compression is around 30 % to 35 % and most of the compression takes place during the first year or two after installation. Due to compression water is transported into the underlying layer as well as into the drainage layer. The age of the landfills with FSS liner during the last measurements was between 4 to 6,5 years. Results indicate that the volume of percolated water through the liner decreases with time. Most of the lysimeters indicate very low water transport through the FSS liner and no site has higher percolation than 10 mm/year. The test at Blåberget was ended due to the lack of water collected below the liner.

Different fly ash and sewage sludge were used at different sites, from fly ash directly from production, with high contents of Cl, sulfate, high pH and electric conductivity (EC) to fly ash that was stocked during a longer time and thereby with lower content of salts, lower conductivity and pH. At Dragmossen freshly produced fly ash was used, and results indicate that pH is about 9,2 in the percolating water and only marginally lowers during the first year. The content of DOC in the percolating water is about the same as it was from the beginning, about 6000 mg/liter. At Gärstad pH is lower than

from the beginning, ca 7,5 (from 8-9 in the beginning), but DOC content is about the same as from the start. At Lilla Nyby the amount of water collected in the lysimeters below the FSS liner is too little to be sent to analyses.

Generally, after 4,5 to 6,5 years the accumulated L/S ratio is less than 0,11. With actual rate of yearly L/S ration it will take several hundred years to reach the same L/S ratio of 10 as was used during laboratory tests described by [3].

Drainage water quality

The quality of the drainage water is easy to follow up at Lilla Nyby. Drainage water from 6 hectares of the landfill is collected in two ditches, west and east of the landfill. The quality of the water has been followed up since summer 2008. The closure of the landfill was done in stages. Interestingly the quality of the water varies with high contents of metals, DOC, N-tot, etc and low levels. There is also a correlation with the closure work. When work is done on one side of the ridge line drainage water on the opposite side shows a decreasing content of contaminants with time. When new areas on one side of the ridge line are being under construction the levels of contaminants increase again. This leads to the conclusion that fresh FSS liner releases pore water into the drainage layer due to compression and erosion. After compression of the FSS the drainage water is flushed with fresh water after each rain and water quality improves. During compression pore water with high contents of DOC, Cl, sulfate, metals N-tot etc is transported into the drainage layer. Within a few months after the closure works have finished, the EC and DOC of the drainage water (Y801&Y802) reaches the same level as recipient water (Y503&Y506), Figure 1 and 2.

However, at the test area at Atleverket the drainage water, collected from a lysimeter, shows that EC and content of DOC is about the same as from the start. There is only a marginal decrease during the last year (2008 – 2009). These results have no resemblance with the results from Lilla Nyby, where EC has decreased from 1000 mS/m to 30 mS/m, while at Atleverket it stays around 1000 mS/m, Figure 1.

The drainage water from the large scale cover at Atleverket is controlled by sampling surface water along the landfill. The content of nutrients in these waters is increasing during the construction of the FSS-liner and in the case when the liner is not covered immediately. As the covering work is proceeding, the levels of nutrients are decreasing. The decrease is probably a result of both that the landfill is being covered and that the drainage water from the FSS on the large scale cover do not contain high levels of nutrients.

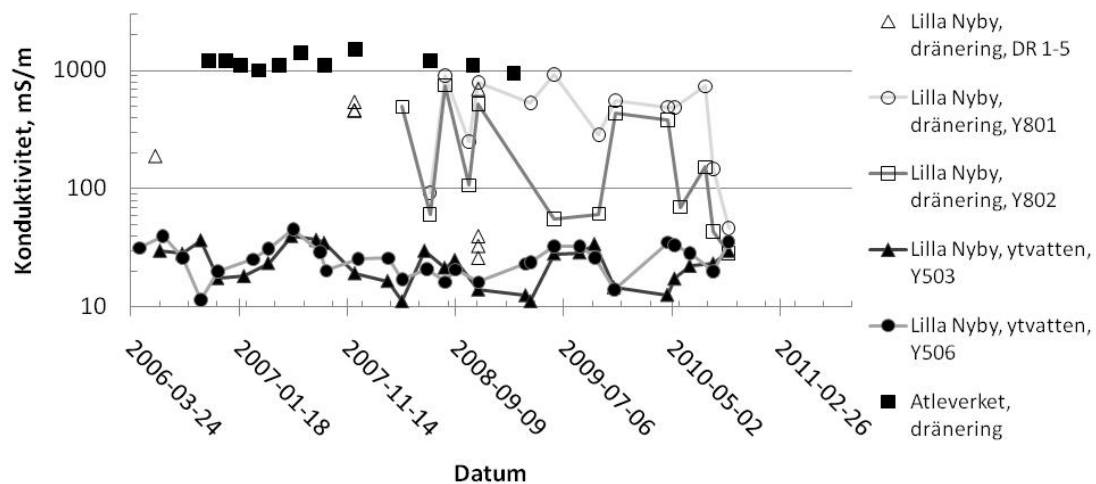


Figure 1 Measured electric conductivity in the drainage water (dränering) from Lilla Nyby (Y801 & Y802) and in surface waters (ytvatten) upstream from the landfill (Y503&506) compared to drainage water conditions at Atleverket.

In the same way the total content of DOC in the drainage water in Lilla Nyby decreases from between 100 - 900 mg/liter to around 10 mg/liter compared to 10 – 30 mg/liter in the recipient. At Atleverket the DOC-content in the drainage water from the test area decreases only marginally and after three years the latest value measured was > 1000 mg/liter Figure 2.

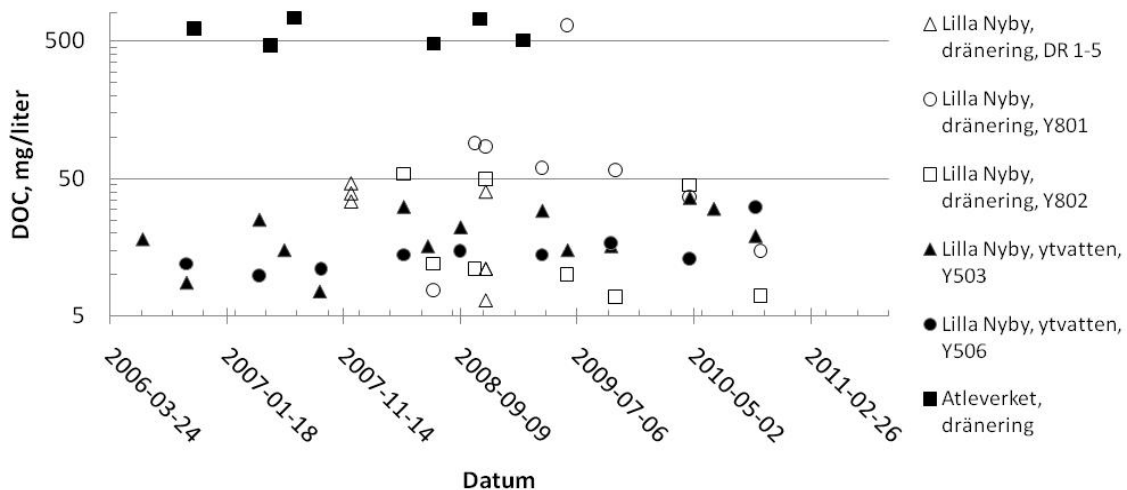


Figure 2 Measured content of DOC in the drainage water (dränering) from Lilla Nyby (Y801 & Y802) and in surface waters (ytvatten) upstream from the landfill (Y503&506) compared to drainage water conditions at Atleverket.

A major difference between these two sites is the use of separation layer between FSS layer and the drainage layer. At Lilla Nyby a geotextile is used above and under the

drainage layer. As shown in Figure 3, gravel and FSS is not mixed during compression and only pore water is transported into the drainage layer, and the resulting contact area between these two layers is smooth, Figure 4a-c. Compression of the fly ash stabilized sewage sludge layer leads to pore water transport into the cover soil and drainage layer. As precipitation leads to formation of drainage water the drainage layer is flushed clean and drainage water quality improves. As the major part of the compression takes place during the first month to half a year, the highest levels of EC and DOC etc are measured during and directly after landfill closure. Geotextile is an effective separation layer which hinders material transport between liner and drainage layer.

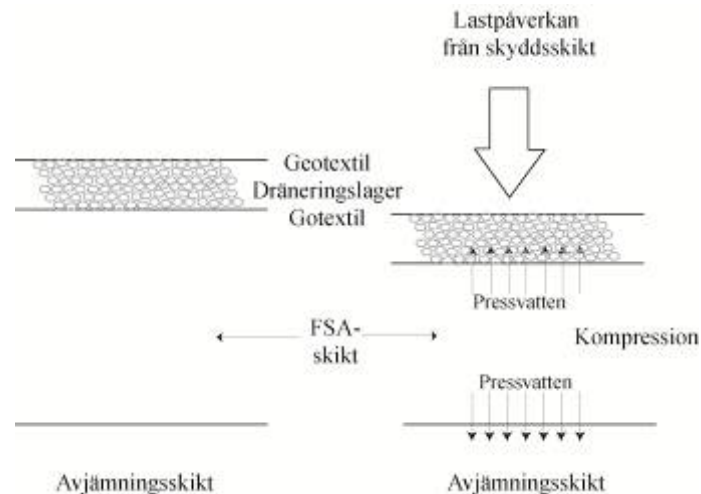


Figure 3 Geotextile as separation layer under and over the drainage layer is an effective protection against blockage.



Figure 4 a) Excavation of the protection layer at the landfill site of Lilla Nyby, ca 6 month after closure, b) control of the drainage layer and c) sampling of fly ash stabilized sewage sludge layer.

Without separation layer, as at Atleverket, compression leads to material transport during compression. Gravel is pressed into the soft FSS layer and vice versa, Figure 5. The effect is that the drainage capacity of the drainage layer decreases and the area

between the two layers increases due to an uneven structure. This leads to increased leaching as water will stand still on this rough and uneven surface. Five years after closure precipitation still leads to the formation of drainage water with high levels of EC and DOC, Figure 1 and Figure 2.

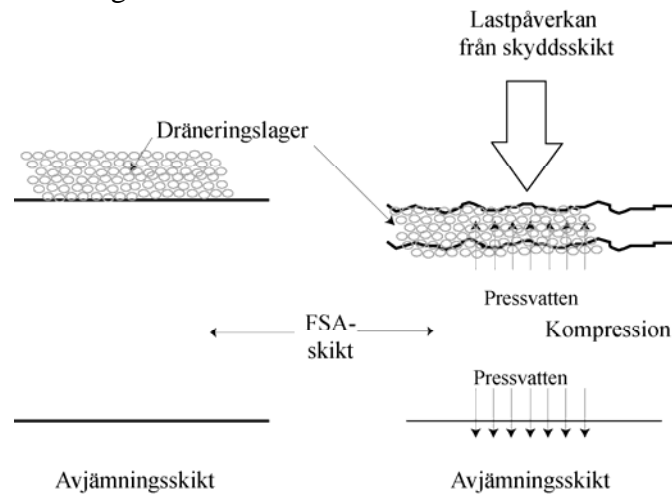


Figure 5 Without a separation layer compression of the fly ash stabilized sewage sludge layer leads to material transport between the liner and the drainage layer.

The compression of FSS layer is between 30 – 35 % and 80 % of this compression takes place during the first six month, Figure 6, Lenströmer 2002 [7]. During this compression excess water is pressed out, density increases from $1,1 \text{ ton/m}^3$ to $1,35 \text{ ton/m}^3$ and shear strength from ca 20 kPa to $> 50 \text{ kPa}$.

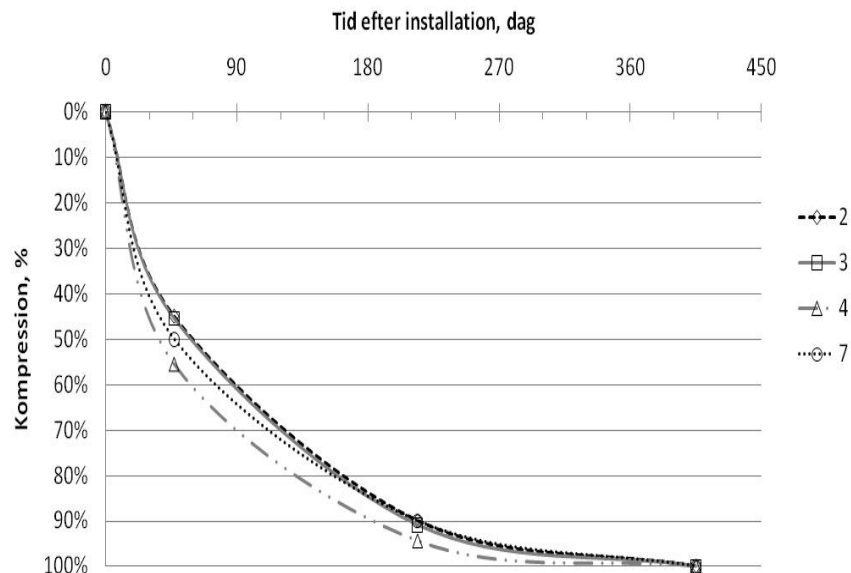


Figure 6 Compression of the fly ash stabilized sewage sludge layer as percentage of the total compression during the first year at Blåberget landfill. The measurements were performed 2 m, 3 m, 4 m and 7 m in from the edge of the test cell, after Lenströmer 2002 [7].

Durability

Durability of the FSS layer can be affected by three major factors, 1) leaching and material transport, 2) biological degradation of organic matter and 3) mechanical impact due to dry out and solidification.

1) Laboratory investigations [3] show that only a small amount, 2 % of DS of FSS material can be leached out as DOC at L/S 10. Leaching is limited by low hydraulic conductivity (Figure 6). During the first year excess water is pressed out due to compression. The cumulative L/S during the first 4,5 years is less, about L/S 0,1.

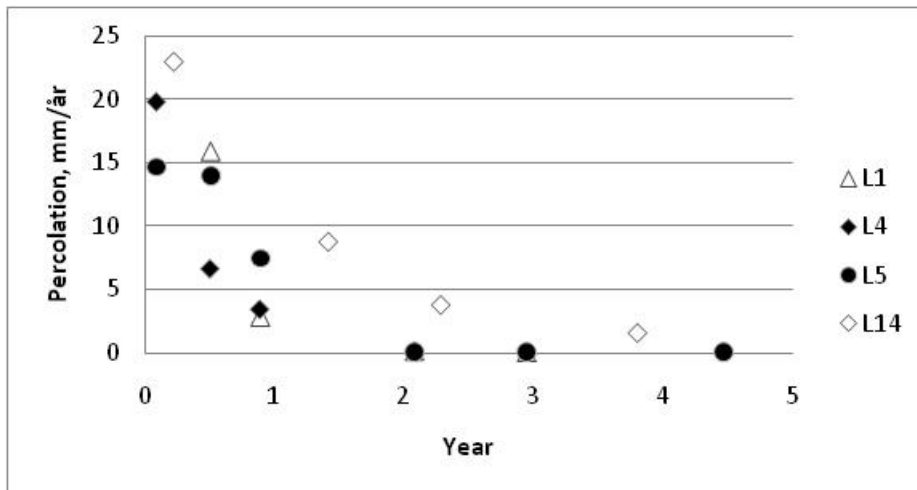


Figure 6 The water percolation of the fly ash stabilized sewage sludge layer during 4,5 years, Lilla Nyby.

2) Degradation of organic matter is slow when pH is high, and combined with high EC degradation rate is slow. A low yearly L/S ratio indicates slow processes. Fly ash content of between 50 – 55 % (of DS) is therefore recommended in order to inhibit degradation of organic matter. Water collected under FSS liners indicates that high pH and most often high EC. At Dragmossen high pH was measured 6,5 years after closure, however EC was low, due to a decrease of Cl, Though water contents of Na and K, 6,5 years after closure, are as high as during the first year.

3) A liner material can be damaged by mechanical strain, cracks and settlements of closure construction. Sampling of FSS six month after construction at Lilla Nyby and one, four and six years after construction on Gärstad show that the FSS has water content of 100 % (DS 50 %). Even if the surface of the FSS dries out during construction precipitation and infiltration through the protection and drainage layers will re-wet the top layer of the FSS liner. At Lilla Nyby a part of the landfill area is subjected to settlement. Two lysimeters installed under the FSS liner in this area, showed high volumes of percolated water. However, the volume of the pumped water was higher than the volume of the lysimeters. This indicates that water is accumulated in the area.

Conclusions

The aims of the project was to investigate how percolation develops with time of an FSS liner, to investigate if and when drainage water can be released into the recipient without treatment and to investigate if FSS is a durable liner material. The projects hypothesis, that the function of low volumes of percolated water through the FSS liner is guaranteed of high pH and electric conductivity that helps to decrease biologic degradation of organic matter in the FSS, and that compression of the FSS decreases the materials hydraulic conductivity has been shown.

FSS as liner has an initial density of 1,1 – 1,2 ton/m³ and is compressibel. After compression density of the liner is about 1,35 – 1,4 ton/m³. Field investigations show that compressibility is about 30 – 35 %. During compression pore gas and pore water is pressed out of the FSS liner. Over 90 % of the total compression of the first year takes place during the first six month. Compression after the first year is minimal.

Lysimeters under FSS liners will collect pore water pressed out into the cover layer. As compression declines the amount of water collected in these lysimeters will be less and consist of mainly percolated water. The compressed water increases the accumulated L/S ration, however after 4,5 years the L/S is about 0,1. Percolation after 4,5 years is less than 10 mm/year which represents a yearly L/S ration < 0,04. Leaching through the FSS liner is thereby very slow. Results indicate that content of DOC and pH is the same during the first 4,5 – 6,5 years. To reach L/S ratio 10 takes several hundred years.

One major difference between the closure constructions investigated in this study is the use of drainage layer with or without a separation layer. Atleverket (test area) and Dragmossen are examples where separation layers are not used and Lilla Nyby, Gärstad, Atleverket (full scale) and Sofielund where separation layer was used between FSS and drainage layers. In those cases where separation layer was used drainage water quality improves after closure (except at Sofielund where bottom ash was used in the FSS), while at Atleverket where drainage water was analysed the results indicate that drainage water continues to have high EC and contents of DOC, N-tot etc., partly due to the fact that some time elapsed between the application of FSS and geomembrane. At lilla Nyby drainage water quality, a few month after closure is not different from the quality of the reference water recipient. The difference is that separation layer prevents material transport and only excess water is transported into the drainage layer. As this layer is flushed with drainage water, water quality improves. It is therefore recommended that separation layer should be used in order to release drainage water without further treatment. As compression takes place during the first years and compressed FSS has increased shear strength (from 20 to > 50 kPa) the function of the separation layer is most important during the first years.

Controll at Gärstad shows that FSS has the same water content, 100 % (or DS 50 %) 6 years after installation as in laboratory tests, so no drying effect can be noticed. The results from this investigation indicate that FSS is a durable material. If used with separation layer under the drainage layer drainage water can be released into the recipient without treatment. FSS built according to the description presented by [1] and together with a separation layer can be used as liner without additional geomembrane layers.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP	3
2	METODIK OCH MATERIAL	4
2.1	ALLMÄNT	4
2.2	FLYGASKASTABILISERAT AVLOPPSSLAM (FSA) SOM TÄTSKIKT	4
2.3	UPPFÖLJNING AV FÄLTUNDERSÖKNINGAR	5
2.4	MILJÖGEOTEKNISKA EGENSKAPER, 2010	5
3	RESULTAT	8
3.1	LILLA NYBY, ESKILSTUNA	8
3.2	BLÅBERGET, SUNDSVALL	17
3.3	DRAGMOSSAN, ÄLVKARLEBY	20
3.4	GÄRSTAD - TEKNISKA VERKEN I LINKÖPING	25
3.5	ATLEVERKET - ÖREBRO	35
3.6	SOFIELUND – SRV ÅTERVINNING, HUDDINGE	43
4	PRAKTISKA ERFARENHETER FRÅN UTFÖRANDET	49
4.1	OLIKA DEPONIER - OLIKA FÖRUTSÄTTNINGAR	49
4.2	UTFÖRANDE VID SLUTTÄCKNING	50
5	SYNTES/DISKUSSION	53
5.1	TÄTHET	53
5.2	DRÄNERINGSVATTNETS KVALITET	53
5.3	BESTÄNDIGHET	61
6	SLUTSATSER	64
7	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	66
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEJDE	68
9	LITTERATURREFERENSER	69

Bilagor

- A ESKILSTUNA, LILLA NYBY
- B ÖREBRO, ATLEVERKET
- C ÄLVKARLEBY, DRAGMOSSAN
- D LINKÖPING, GÄRSTAD
- E HUDDINGE, SOFIELUND

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det finns ett stort antal äldre deponier som avslutas under den närmaste femtioårsperioden genom sluttäckning. Vid flertalet av dessa deponier pågår idag avslutningsarbeten.

Tätskiktet fyller en viktig funktion i sluttäckningskonstruktioner för att reducera lakvattenbildningen och därmed minska den potentiella utlakningen till omgivningen under en lång tid. Flertalet utredningar och en vägledning, finansierade av bl.a. Stockholm Vatten AB, VA-forsk, Värmeforsk, RVF, Avfall Sverige och RTK, har gett underlag för hur flygaskastabiliserat avloppsslam (FSA) ska blandas och läggas ut för att uppfylla god teknisk funktion som tätskikt [1], [4] och [8]. FSA har använts som tätskikt på deponier på ett flertal provytor och i tillståndsgiven sluttäckning på några anläggningar:

Provytor:

- Blåbergstippen i Sundsvall
- Sofielund i Huddinge
- Gärstadverket i Linköping

Sluttäckning:

- Dragmossen i Älvkarleby
- Atleverket i Örebro
- Lövsta i Stockholm
- Lilla Nyby i Eskilstuna

Undersökningarna har visat att materialets täthet är < 50 liter/m² och år, ökar med tiden och att tätskiktet uppfyller kravet för deponier för icke-farligt avfall med marginal (maximal infiltration: 50 liter/m² och år) [9]. Viss nedbrytning av materialet har konstaterats, men detta har inte bedömts påverka tätskiktets funktion. Däremot har analyser av det vatten (dräneringsvatten) som avrinner ovanpå tätskiktet (i dräneringslagret) visat att halterna av näringsämnen och metaller är förhöjda. Resultat från Lilla Nyby, Gärstad och Sofielund visar att halterna sjunker, men uppföljningstiden har hittills varit för kort för att avgöra om avrinnande vatten med tiden kan ledas till recipienten utan behandling. Vid sluttäckningen av Atleverket (Örebro) har ett syntetiskt geomembran lagts ovan tätskiktet för att reducera utlakningen. Även vid Lilla Nyby och Lövsta har FSA-material använts i stor skala. I Lilla Nyby hanteras yt- och lakvatten tillsammans, dvs renas under de närmaste åren. [1],[2], [3] [4] och [8].

Uppföljning av tätskiktets täthet gav indikation om hur tätheten utvecklats. Gasbildningen under de första 3–4 åren, visar att det råder anaeroba förhållanden i tätskiktet och att viss begränsad nedbrytning av organiskt material pågår, men avtar med tiden.

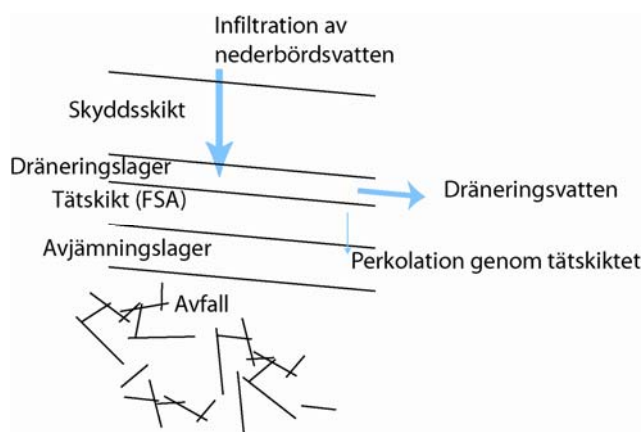
I bl.a. Eskilstuna och Lövsta, har FSA använts som tätskikt i sluttäckningskonstruktioner på deponier för icke-farligt avfall. I Eskilstuna täcks ca 1-1,5 ha/år med FSA sedan 2005.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Vid flertalet pilotförsök och fullskalig sluttäckning har flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) använts som tätskiktsmaterial och följts upp under de första åren. [1],[2], [3] [4] och [8]. De deponier där FSA har använts som tätskiktsmaterial på provytor är Dragmossens deponi i Älvkarleby, Blåbergstippen i Sundsvall, Sofielund i Huddinge, Gärstad i Linköping, Atleverket i Örebro etc. På Lilla Nyby (Eskilstuna), Lövsta (Stockholm) och Atleverket i Örebro har upp till drygt 10 ha sluttäckts med FSA. I samtliga fall visar undersökningar att FSA har hög täthet som uppfyller kraven på tätskikt på deponier för icke-farligt avfall. Det har visat sig att dräneringslager som ligger på tätskiktet kan medföra utlakning av främst kväve, men även en del metaller [2]. Bidraget av kväve och metaller kan härledas till ytutlakning från FSA-skiktet men dränerings- och skyddslagret kan också bidra. I Lilla Nyby (Eskilstuna), Sofielund (Huddinge) och Gärstad (Linköping) har detta dräneringsvatten undersökts nu under fyra till fem års tid.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

En viktig målsättning med sluttäckning är att minska inläckage av nederbördsvatten i deponin och därmed minimera bildningen av lakvatten. Det nederbördsvatten som samlas upp och dräneras genom dräneringsskiktet ska kunna släppas ut utan rening. När FSA har används i tätskiktet finns det en indikation på att dräneringsvattnet innehåller kväveföreningar, DOC och vissa metaller och därmed inte ännu kan släppas ut utan rening, Figur 1.1. Dokumentation av dräneringsvatten från bl.a. Eskilstuna och Linköping visar dock att utlakningen minskar med åren och klingar av. Sammanfattningsvis kan konstateras att korttidsuppföljningar har gjorts med ofta goda resultat. Däremot saknas långtidsuppföljning av lakvattenkvalitet och täthet.



Figur 1.1 Dräneringsvattnet har varit i kontakt med skyddsskiktet och följer dräneringslagret som överlagrar FSA-skiktet.

Figure 1.1 The drainage water has percolated through the protection layer and follows the drainage layer which is overlaying the FSS-layer.

I detta projekt följs tidigare undersökta deponier upp ytterligare för att ett bättre underlag för de slutsatser som dragits i de tidigare projekten ska erhållas [2] och [3]. Det som huvudsakligen undersöks är dels materialets beständighet som funktion av täthet och dels utlakning från tätskiktet via dräneringsvattnet. Arbetet har omfattat vatten-, gas- och materialprovtagning i fält. Undersökningen är av stor vikt för det fortsatta arbetet att öka förutsättningarna för nyttjande av FSA som tätskiktsmaterial.

Detta uppföljningsprojekt syftar till:

- Avstämning av miljögeotekniska egenskaper:
 - kontrollera FSA-materialets täthet även efter längre tid
 - kontrollera nedbrytning av organiskt material i FSA och hur detta påverkar tätskiktsfunktionen efter 6,5 år
 - uppföljning av halter av näringsämnen och metaller i avrinnande vatten, för att bekräfta en tidigare observerad minskning och göra en preliminär bedömning av om vattnet på sikt kan släppas till recipient utan föregående behandling.
- Sammanställning av praktiska erfarenheter från utförandet
 - Blandning
 - Utläggning
- Att ge förslag på revidering/justering av inriktning på kontrollprogram som föreslås i vägledning för FSA som tätskikt [1].

1.4 Mål och målgrupp

Den övergripande målsättningen med projektet är att verifiera tidigare erhållna resultat och bygga upp den redan befintliga erfarenhetsbanken för att bidra till en ökad regelmässig och riskfri användning av FSA som tätskikt. FSA i tätskikt blir mer tekniskt och, framförallt, ekonomiskt attraktivt om det kan visas att avrinningsvattnet kan släppas till recipient utan föregående rening och att syntetiskt geomembran inte behövs på längre sikt. En annan målsättning är att informera och kommunicera erhållna resultat, genom t.ex. rapportering och medverkan vid seminarier. För att öka metodens acceptans är det centralt att konstruktionslösningens beständighet utreds på fackmannamässiga grunder som ger underlag för den argumentation som behövs vid kontakt med miljömyndighet och miljödomstol.

2 Metodik och material

2.1 Allmänt

Tätskiktet fyller en viktig funktion i sluttäckningskonstruktioner. Syftet är att reducera lakvattenbildningen och därmed minska den potentiella utlakningen till omgivningen under en lång tid. Tätskiktet ska med andra ord vara tätt och vatten som infiltrerar skyddsskiktet ska ledas bort genom ett dräneringslager. Detta dräneringsvatten är i kontakt med tätskiktet. De miljötekniska egenskaper som detta projekt söker svar på är följande:

- Hur har tätskiktets täthet förändrats med tiden?
- Hur förändras dräneringsvattnets halter?
- Sker det nedbrytning av det organiska materialet som ingår i FSA och i så fall påverkas materialets täthet?

Projektets problemställning var om FSA tätskiktets täthetsfunktion kan garanteras av ett högt pH och elektrisk konduktivitet i FSA-materialets porvatten, som leder till att biologisk nedbrytning av organiskt material avstannar och att kompression leder till att tätskiktets hydrauliska konduktivitet bibehålls. Hypotesen var att dessa egenskaper leder till att FSA materialet är ett beständigt material och kommer att uppfylla funktionskravet på < 50 liter/m² och år. En sidoeffekt av kompressionen bedöms vara att dräneringsvattnets halter av näringsämnen och metaller är förhöjda medan kompressionen är igång och minskar efter avslutad kompression.

Under 2004 – 2009 utfördes flertalet pilot- och fullskalesluttäckningar med FSA. Fält och laboratorieundersökningar har utförts och avrapporterats och tätskiktens egenskaper beskrevs samt långtidsegenskaper bedömdes. Detta projekt bygger på data som tidigare är avrapporterade, data som har samlats in men inte är publicerade och data som har samlats in under våren och hösten 2010 samt våren 2011. Data från följande deponier nyttjas i projektet:

- Dragmossen (Älvkarleby),
- Lilla Nyby (Eskilstuna),
- Atleverket (Örebro),
- Gärtstad (Tekniska Verken i Linköping),
- Sofielund (Huddinge)
- Blåberget (Sundsvall).

I denna rapport beskrivs ålder för FSA-konstruktion, provpunkter, sammanställning av analyserade parametrar samt andra faktorer som påverkar möjligheten att göra en långtidsuppföljning.

2.2 Flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt

FSA (flygkastabiliserat avloppsslam) utgörs av en blandning av flygaska från förbränning av biobränsle och rötat avloppsslam (rötslam). FSA är ett tätskiktsmaterial som har använts som ensamt skikt (exempelvis Lilla Nyby, TVL) eller i kombination med andra tätskiktsmaterial (exempelvis Örebro) vid sluttäckning av deponier med icke farligt avfall.

2.2.1 Råmaterial

Slam har en naturligt låg hydraulisk konduktivitet, men inte tillräckligt hög hållfasthet för att fungera som material till tätskikt på deponier. Genom en tillsats av aska kan hållfasthets- och packningsegenskaperna förbättras, samtidigt som blandningen får ett högre pH vilket motverkar biologisk nedbrytning av det organiska materialet.

Flygaska från rökgasrening, bottenaska och bäddaska har använts i tidigare tätskiktsprojekt. Utmärkande för flygaskor är dess härdande egenskaper, höga pH och salthalt (elektrisk konduktivitet) som är intressanta att utnyttja i en FSA-blandning [4] och [5]. Beroende på panntyp, benämns den aska som faller ut i botten av pannan för bottenaska eller bäddaska. Bottenaska har generellt en grövre kornstorleksfördelning och lägre pH än flygaska. Av de ytor som följts upp i detta projekt har inblandning av bottenaska (som komplement till flygaskan) endast använts vid Sofielunds avfallsanläggning i Huddinge.

Generellt är utlakningen av miljöstörande ämnen lägre i askor från förbränning av bio-, torv- och kolbränsle än från förbränning av t ex returträ eller avfall. Det innebär att det i första hand är flygaska från biobrännleddade pannor som har använts som tätskiktmaterial.

2.3 Uppföljning av fältundersökningar

2.3.1 Parametrar av intresse

Parametrarna som är av intresse för att verifiera tidigare erhållna resultat och bygga upp den redan befintliga erfarenhetsbanken för att bidra till en ökad regelmässig användning av FSA (flygaskastabiliserat avloppsslam) som tätskikt är främst:

- täthet
- lakningsegenskaper (långtidsegenskap)
- nedbrytning
- kompressionsegenskaper
- dräneringsvattnets kvalitet

Deponier som är aktuella att följas upp är sådana där det pågår kontinuerlig uppföljning av en eller flera parametrar. De deponier som projektet främst har hämtat data från är Dragmossen (Älvkarleby), Lilla Nyby (Eskilstuna), Atleverket (Örebro), Gärstad (Tekniska Verken i Linköping), Sofielund (Huddinge) och Blåberget (Sundsvall). Det blir naturligtvis olika data beroende på deponi, se tabell 2.1

En sammanställning finns i Tabell 2.1 över data från olika deponier som använt sig av aska-slamblandningar som tätskikt. I denna beskrivs ålder för FSA-konstruktion, provpunkter, sammanställning av analyserade parametrar samt andra faktorer som påverkar möjligheten att göra en långtidsuppföljning.

2.4 Miljögeotekniska egenskaper, 2010

Uppföljning av tätskiktets täthet - Provtagning har utförts genom att installerade vattenlysimetrar på deponierna kontrollerats, Tabell 2.1. Lysimetrar installerades så att vattenprover kan tas i skydds-, dräneringsskikt, under tätskikt och under avjämningskikt. Mätning av insamlat vatten har gjorts för att kontrollera mängden

vatten och därigenom bedöma tätskiktets täthet. Dessa värden har jämförts med resultaten från de första årens mätningar för att se om och hur tätskiktets genomsläpplighet förändrats. Vattenprover från lysimetrar har analyserats med avseende på metaller och näringsämnen för att kontrollera hur utlakningen förändrats med tiden. Det perkolerade vattnets pH, elektriska konduktivitet., näringsämnen och innehåll av metaller, ger information om lakningsförhållandena i de olika skikten.

Gasbildning - Gasbildningen under det första året visade att det rådde anaeroba förhållanden i tätskiktet och att nedbrytning av organiskt material pågick, men avtog med tiden. Gaslysimetrarna har tömts på gas vid Älvkarleby och Gärdstadsverket. Syftet är att se förändringar i gassammansättningen och därigenom kunna göra en bedömning av FSA-skiktets beständighet.

Dräneringsvattnets kvalitet - På Lilla Nyby, Gärstad, Sofielund och Atleverket har dräneringsvatten samlats upp för analys under de senaste åren (under upp till sex år på vissa deponidelar). Utvecklingen på bl.a. Lilla Nyby och Gärstad är att under de första fem åren har halterna av kväveföreningar och DOC mm minskat. Utvärdering av denna utveckling och hur den fortskrider har utförts. En av målsättningarna med tätskikt är att kunna säkerställa att dräneringsvattnet kan släppas ut utan rening.

Sättningar och hållfasthetsutveckling – Kolvprovtagning utfördes med hjälp av borrhandsvagn på FSA-materialet. Proverna togs på Gärstad deponi. Provernas densitet (skrym- och torrdensitet), vattenkvot (TS-halt) och skjuvhållfasthet har undersökas.

Tabell 2.1 Utförda och nyttjade mätningar vid de aktuella deponierna
 Table 2.1 Description of measurements conducted at the actual landfill sites.

Indata	Lilla Nyby			Atleverket			Sofielund			Blåberget			Dragmossen			Gärstad		
	2001 - 2008	2008 - 2009	2010	2001 - 2008	2008 - 2009	2010	2001 - 2008	2008 - 2009	2010 - 2011	2001 - 2008	2008 - 2009	2010	2001 - 2008	2008 - 2009	2010	2001 - 2008	2008 - 2009	2010 - 2011
FSA-blandning (Flygaska/Slam %)	50/50	50/50	50/50	53/47	53/47	53/47	40/15			45/55	45/55	45/55	40/60	40/60	40/60	50/50		
Annan blandning (%)							45 % bottenaska											
Yta (aska slam som tätskikt)	2 ha	2 ha	2 ha	0,15 ha	1,2 ha	0,8 ha	0,1 ha						0,2 ha			0,55 ha		
Laboratorieundersökning (fast mtrl)																		
Täthet (CRS)	x			x	x	x	x			x			x			x		
Halt (metall)	x						x			x			x			x		
Lakningsegenskaper(näringsämnen)	x						x			x			x			x		
Halt organiska ämnen							x									x		
Nedbrytning					x		x						x			x		
Kompressionsegenskaper (CRS)	x			x	x	x	x			x			x			x		
Geotekniska egenskaper	x			x	x	x	x						x			x		
Långtidsegenskaper (lakning)							x			x			x			x		
Fältundersökning																		
Täthet (lysimeter)		x	x	x			x	x	x	x				x	x	x	x	x
Lysimetervattnets halt metall		x	x	x	x	x	x		x					x	x	x		x
Lysimetervattnets halt näringsämnen		x	x	x	x	x	x		x					x		x		x
Lysimetervattnets halt organiska ämnen		x	x				x							x		x		
Dräneringsvattnets kvalitet	x	x	x	x	x	x	x		x					x		x		x
Nedbrytning (gassammansättning)							x								x	x		x
Sättningar							x			x				x		x		x
Geotekniska egenskaper -Fasta prover	x			x			x							x		x		x
Täthet -Fasta prover	x			x			x									x		x
Analys -Fasta prover	x			x			x							x		x		x
Referenser som användes i detta arbete (# indikerar arbete som utfördes i detta projekt)	[1] [3]	#	#	[2]	#		[1] [2]	#	[7] [11]				[1] [3] [4] [13] [14]	#	#	[1] [5]	[2]	#

Programmet har utformats i görligaste mån så att data från de olika deponierna kan jämföras med varandra men också så att utvecklingen på den enskilda deponin kan följas över tid.

3 Resultat

3.1 Lilla Nyby, Eskilstuna

3.1.1 Bakgrund Lilla Nyby

Sluttäckningen av Lilla Nyby pågår sedan senhösten 2005 och den totala ytan som kommer att sluttäckas är ca 30 – 35 hektar stort. Sluttäckningstakten är ca 1 hektar per år och den första etappen på ca 7 hektar beräknas bli klar under våren 2011. Därefter kommer omkringliggande deponiytor att sluttäckas allt eftersom områdena är klara för sluttäckning. Den nu sluttäckta deponidelen är den äldsta på Lilla Nyby-området och här bedöms det organiska avfallet vara nedbrutet i och med att metanproduktionen har minskat år efter år. Därmed bedöms sättningarna bli små inom området och sluttäckning är möjlig. Den yta på ca 1 hektar som sluttäcktes 2005 – 2006 instrumenterades med lysimetrar under avjämningskiktet och tätskiktet samt fyra brunnar installerades för kontroll av dräneringsvattnets kvalitet (gulmarkerat i Figur 3.1 med numrering 1 – 4). Dräneringsvatten från den sluttäckta ytan samlas upp i dräneringsdiken, se rödmarkering i Figur 3.1. Det uppsamlade dikesvattnet rinner dels mot Y801 (öster om deponin) samt dels mot Y802 (väster om deponin). Vattnet från dessa punkter pumpas med övrigt lakvatten till reningsverk. Det finns möjlighet att omdirigera detta vatten till recipienten. Den tilltänkta recipienten är Eskilstuna ån och inte de närliggande vattendragen.



Figur 3.1 Området som är sluttäckt med FSA som tätskikt är ca 6 hektar stort.
 Figure 3.1 Landfill area covered with fly ash stabilized sewage sludge is ca 7 hectares.

Sluttäckningskonstruktionen består av avjämningslager, 0,3 – 1 m, FSA (flygkastabiliserat avloppsslam) som tätskikt, ca 0,4 – 0,5 m (efter kompression). På FSA finns ett 0,2 m dräneringsgruslager. Över tät- och dräneringsskiktet lades geotextil som materialavskiljande skikt. Skyddsskiktet har en mäktighet på drygt 1,3 m, se Tabell 3.1 och Figur 3.2. Det bör noteras att dräneringsvattnets sammansättning kan påverkas av skydds- och dräneringsskiktet (det som kan lakas ut) och av kontakten med tätskiktet då dräneringsvattnet är i kontakt med FSA-materialet.

Tabell 3.1 Täckningens olika delar, Lilla Nyby.

Table 3.1 Different layers of the closure construction, Lilla Nyby.

Skikt	Mäktighet	Material
Växtetableringsskikt	0,2 m	Anläggningsjord
Skyddslager	> 1,1 m	Jord med askskikt som rotpenetrationsskydd
Materialskiljande lager	-	Geotextil
Dräneringslager	0,2 m	Bergkross
Materialskiljande lager	-	Geotextil
Tätskikt	0,4-0,5 m	Flygkastabiliserat avloppsslam FSA50 (50%/50%)
Avjämningslager	0,3 - 1	Aska och bottensand
Avfall		Hushållsavfall

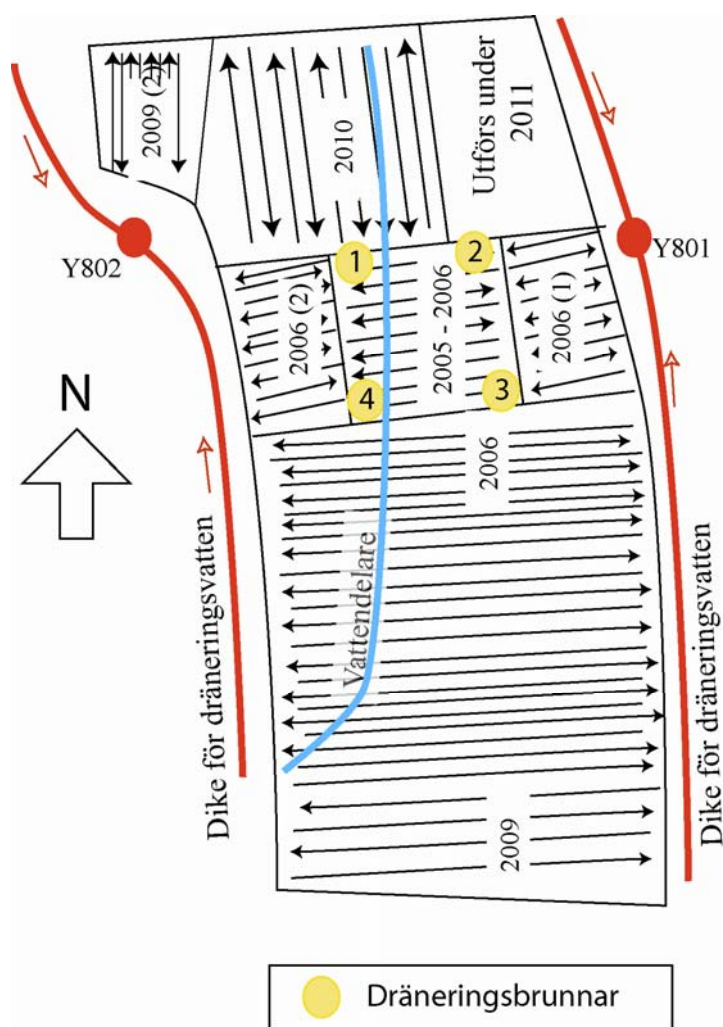


Figur 3.2 Utlagt FSA-, dränerings- och skyddsskikt, Lilla Nyby, Eskilstuna, [1].

Figure 3.2 Layer of liner (FSS), drainage layer (gravel) and protection layer on the landfill at Lilla Nyby, Eskilstuna, [1].

3.1.2 Utförande Lilla Nyby

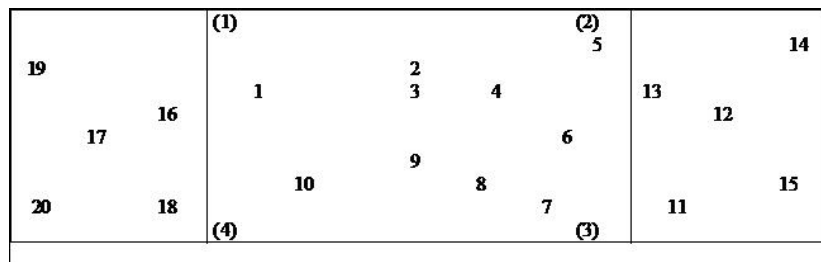
Sluttäckningen utfördes i etapper med ca 1 hektar per år. Som framgår av Figur 3.1 finns en vattendelare (blå linje) som delar deponiytan i två delar. Den första etappen som byggdes, ca 1 hektar, under 2005 – 2006, instrumenterades med lysimetrar och dräneringsbrunnar. Ytan som byggdes söder om den instrumenterade ytan slutfördes mellan 2006 och 2009, se Figur 3.3. Utläggningen utförs i vådor med en bredd på 5 m och en FSA-tjocklek på 0,6 m. Våden av FSA täcks med geotextil som materialavskiljande skikt, innan dräneringsgrus läggs ut med tillhörande geotextil. På geotextilen läggs skyddslagret. Nästa våd läggs ut efter att geotextilen vikts upp och gammalt och torkat FSA-material i kanterna tas bort. Förfarandet leder till att under konstruktionstiden finns det nytt FSA-material utlagt som inte hinner täckas samt vådor som utsätts för kompression från utlagt skyddsskikt.



Figur 3.3 *Principskiss, deponiytan sluttäcktes i omgångar och våden riktning. Observera att ca 1 hektar deponiyta återstår att sluttäckas under 2011.*

Figure 3.3 *Schematic picture of the landfill closure in stages with progression. Observe that about 1 hectare area will be finished early in 2011.*

Kompressionen leder till att FSA pressas ihop till ca 0,4 – 0,5 m och pressvatten når dräneringslagret. Detta vatten sköljs sedan ut med dräneringsvattnet.



Figur 3.4 Principskiss, deponiytan (ca 1 hektar) som byggdes 2005 – 2006 instrumenterades med 20 lysimetrar och 4 dräneringsbrunnar (inom parentes).

Figure 3.4 The landfill area (ca 1 hectare) built during 2005 – 2006 was instrumented with 20 lysimeters and four wells to control drainage water (within brackets).

3.1.3 Insamlade data Lilla Nyby

Sluttäckningen av deponiytan som är ca 6 hektar baserades på laboratorie- och pilotförsök som bl.a. finns dokumenterade i [1] och [3]. Pilotförsöket, ca 1 hektar, Figur 3.4, följs upp vad gäller täthet och halter av metaller, kväve, fosfor, DOC etc. Dräneringsvattnets kvalitet upp följs med hjälp av installerade lysimetrar, brunnar och dräneringsvatten från den nu sluttäckta deponiytan som samlas upp i två punkter i dräneringsdiken väster och öster om ytan, Figur 3.3. I väster rinner vattnet till punkten Y802 och i öster till punkt Y801. Det uppsamlade vattnet pumpas idag till reningsverk via lakvattenbassängen. Målsättningen är att kunna leda vattnet direkt till ytvattenrecipienten när halterna är tillräckligt låga. Som jämförvärden nyttjas bäckar i närområdet som inte är påverkade av deponin. Två av dessa punkter som redovisas i denna rapport är Y503 som avvattnar ett skogsområde sydöst om deponin och Y506 som avvattnar ett jordbruksområde sydväst om deponin. Tabell 3.2 och 3.3 redovisar installerade lysimetrar, dräneringsbrunnar och provtagningspunkter för dräneringsvatten (dräneringsdike) samt ytvattenreferenser. Fram till 2008 kontrollerades dräneringsvattnets kvalitet genom analys av vatten från dräneringsbrunnarna (DR 1 – 4). Sedan 2008 sker denna kontroll genom analys av vatten från dräneringsdiken i punkterna Y801 och Y802.

Tabell 3.2 *Lysimetrar installerade under tätskiktet för mätning av FSA-skiktets genomsläpplighet och innehåll.*

Table 3.2 *Lysimeters are installed under the FSS liner in order to measure hydraulic conductivity and water quality.*

Lysimeternummer	Kommentarer
L1	Fungerar, pressvatten
L2	Fungerar, inget vatten
L4	Fungerar, pressvatten
L5	Fungerar, pressvatten
L7	Fungerar, inget vatten
L9	Fungerar, inget vatten
L10	Fungerar, inget vatten
L11	Trasig/fungerar ej
L12	Trasig/fungerar ej
L14	Fungerar, pressvatten
L17	Fungerar, mer vatten än lysimetern rymmer
L18	Fungerar, mer vatten än lysimetern rymmer
L19	Fungerar, inget vatten

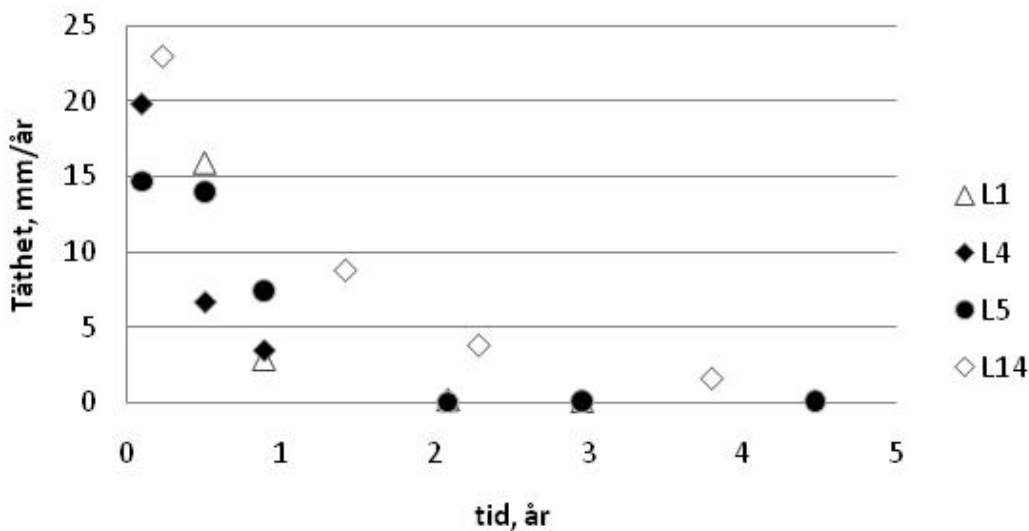
Tabell 3.3 *Kontroll utförs av dräneringsvattnets kvalitet i fyra brunnar (DR 1-4) och i två punkter i dräneringsdiken (Y801 och Y802) samt av ytvattnet i två referenspunkter (Y503 och 506).*

Table 3.3 *Control of the drainage water is done in four wells (DR 1-4) and in two separate ditches collecting drainage water (Y801&Y802). In addition two reference points are investigated where background levels are measured (Y503&506).*

	Kommentarer
DR 1 - 4	Dräneringsvatten i som ansamlas i brunnar i fyra hörn av pilotförsökets yta.
Y801	Dräneringsvatten från deponiytan öster om aktuell deponiyta
Y802	Dräneringsvatten från deponiytan väster om aktuell deponiyta
Y503	Referens - ytvatten från bäck som avvattnar ett skogsområde öster om deponin
Y506	Referens - ytvatten från bäck som avvattnar ett jordbruksområde väster om deponin

3.1.4 Resultat Lilla Nyby

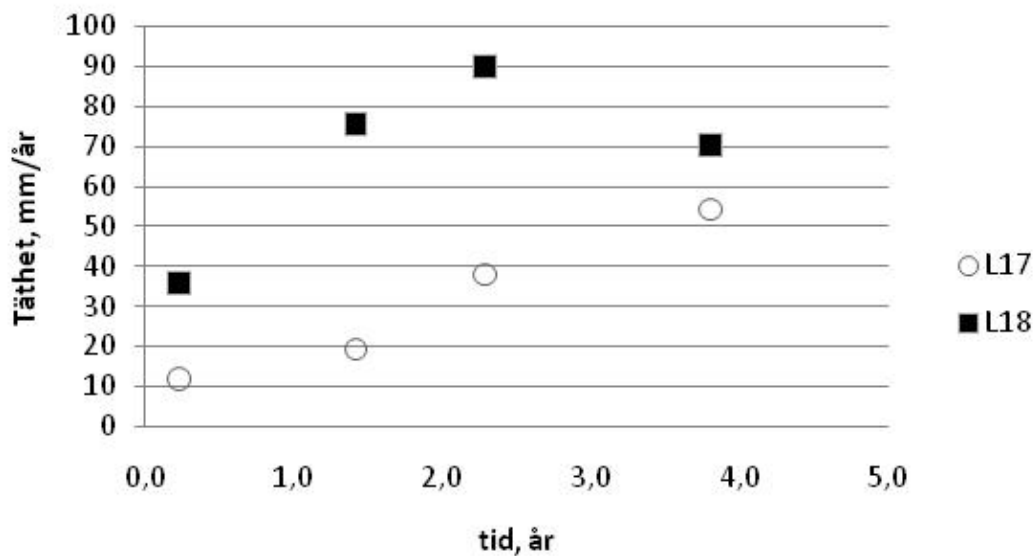
Av totalt 13 lysimetrar är två stycken trasiga L11 och L12. Lysimetrarna L2, L7, L9, L10 och L19 var torra under hela perioden, trots att lysimetrarna bedöms fungera. Lysimetrarna L1, L4, L5 och L14 är de lysimetrar som samlade upp vatten från början. I Bilaga A, Eskilstuna, Lilla Nyby redovisas dräneringsvattnets och ytvattenreferensens halter för perioden 2006 – 2010. I Figur 3.5 redovisas hur tätskiktets täthet ökar med tiden. En del av det uppsamlade vattnet bedöms vara pressvatten från FSA-skiktet. Tätheten efter 4 år ligger klart under 5 mm/år (5 liter/m² och år).



Figur 3.5 Täthetens utveckling med tiden.

Figure 3.5 Development of the liner's water percolation property with time.

I två punkter L17 och L18 visar resultaten att tätheten minskar med tiden, se Figur 3.6. Lysimetrarna rymmer ca 6 liter vatten, vilket motsvarar en genomsläpplighet på ca 40 - 50 mm/år för den aktuella mätperioden. Volymen vatten som pumpades upp från lysimetrarna var större än de 6 liter som lysimetrarna rymmer. En rimlig förklaring till detta är att lokala sättningar har medfört att vatten ansamlas i området runt L17 och L18. Vatten däms därmed upp inom detta område under tätskiktet. En sammanställning av uppmätta täthetsvärden och en bedömning av området på deponin som har påverkats av sättningar i avfallet redovisas i Bilaga A, Eskilstuna, Lilla Nyby. (OBSERVERA. Bedömningen är att det som mäts är inte FSA-skiktets täthet, utan den volym vatten som rinner till lågpunkten, dvs mot området med lysimetrarna L17 och L18. Det betyder att lysimetrarna samlar upp vatten som har runnit in och ansamlats inom detta område. De lokala sättningarna beror på att avfallet sätter sig, antagligen på grund av nedbrytning.



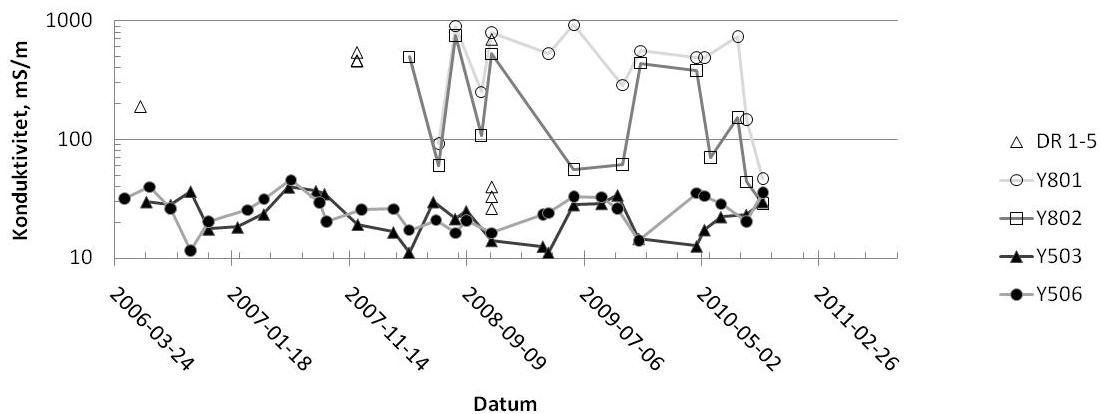
Figur 3.6 Bedömd täthet baserat på vattenvolym pumpad från lysimetrarna L17 och L18.

Figure 3.6 Assumed water percolation according to measured water volume in lysimeters L17 and L18.

Provtagning av fasta prover från tätskiktet utfördes 2006 ca 6 månader efter utläggning och redovisad i [3]. Provtagningen visade att FSA skiktet komprimerades från utlagda 0,6 m till ca 0,4 -0,5 m. Analys av TS på FSA-skiktet visade att den är runt 50 %, med undantag av de översta två decimetrarna som har påverkats av viss uttorkning. Undersökningen visar dock att det sker en återfuktning tack vare att nederbördsvatten började nå FSA-skiktet, se [3]. Laboratiormätning av hydraulisk konduktivitet gav en täthet på $< 10^{-9}$ m/s i hela FSA-profilen.

Dräneringsvattnets halter från deponiytan jämförs i detta projekt med ytvattenrecipientens halter i området och vattnets tillståndsklass (Naturvårdsverket) [10]. Ytvattenreferensens (Y503 och Y506) lägen redovisas i redovisas i Figur 3.1 . I Bilaga A, Eskilstuna, Lilla Nyby redovisas uppmätta halter i vattenprover från lysimetrar, dräneringsbrunnar, dräneringsdiken och ytvattenrecipienten. Analysparametrarna som undersöktes är pH, elektrisk konduktivitet, halt av syre, kväve, fosfor, DOC, klorid, sulfat och metaller.

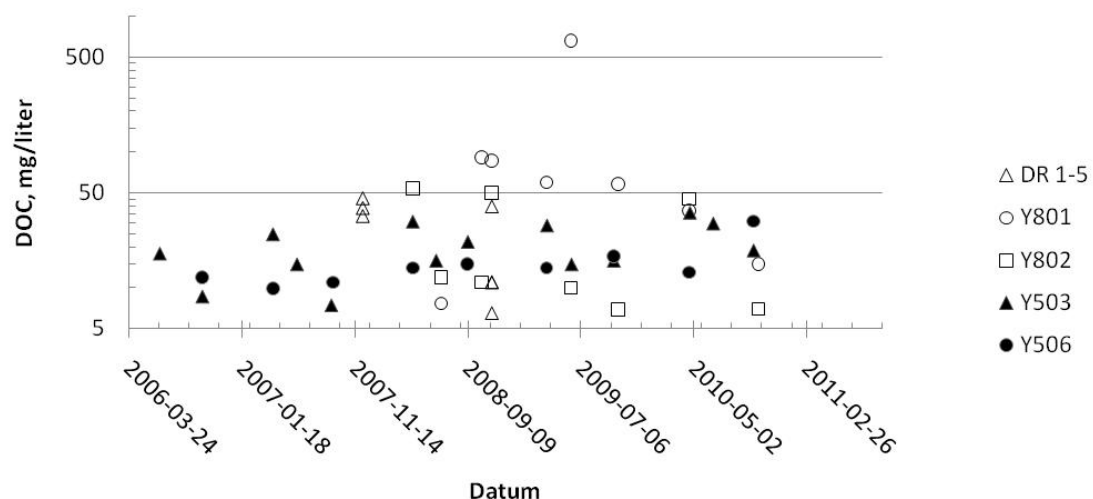
Dräneringsvattnets konduktivitet varierar under perioden mellan 2006 och 2010. Konduktiviteten minskar med tiden vid de senaste mätningarna. Vid de senaste uppmätta tillfällena låg dräneringsvattnets elektriska konduktivitet i Y801 och Y802 på samma nivå som ytvattnets elektriska konduktivitet i referenspunkterna Y503 och Y506, Figur 3.7.



Figur 3.7 Uppmätta konduktivitetvärden i dräneringsvattnet (DR1-4, Y801 och Y802) och i ytvattenrecipienten (Y503 och 506) uppströms deponin.

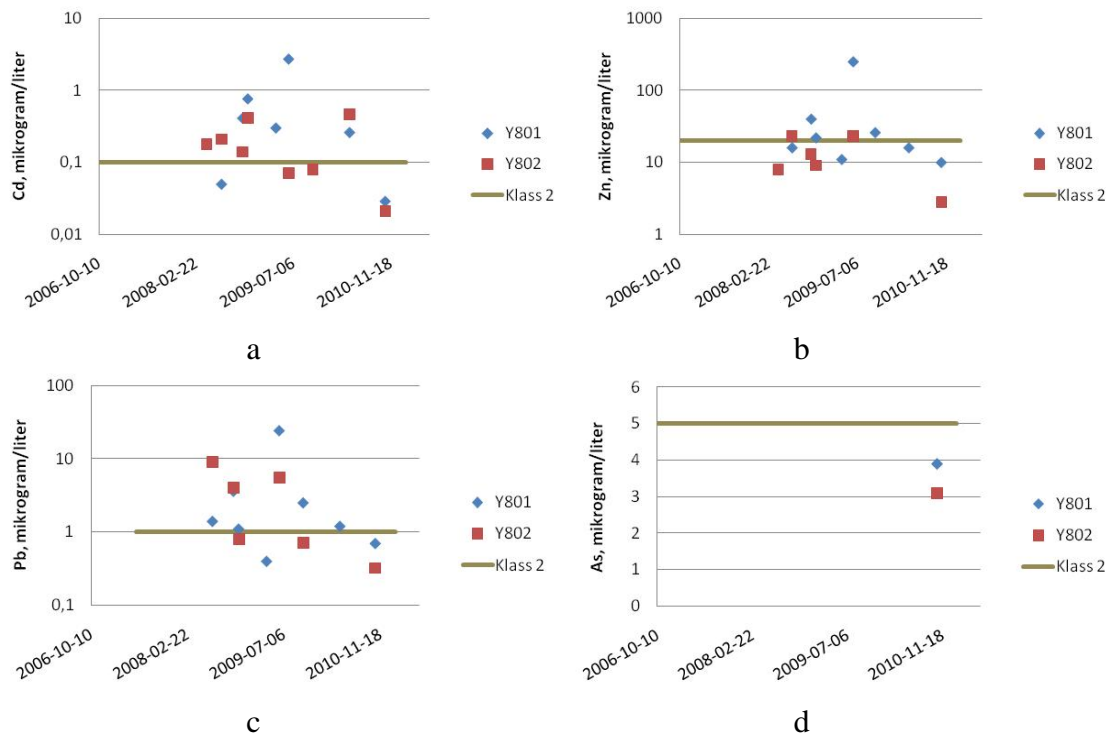
Figure 3.7 Measured electric conductivity values in the drainage water from the landfill (DR1-4, Y801 & Y802) and in surface waters upstream from the landfill (Y503&506).

Det framgår av Figur 3.8, att dräneringsvattnets DOC-halt varierar mellan höga och låga halter under mätperioden. Halten DOC i Y801 (dräneringsdiket på östra sidan av deponin) minskar med tiden efter 2009 då den högsta halten uppmättes, se Figur 3.8. En förklaring till de minskande halterna är att efter juni 2009 har FSA-skikt inte installerats öster om vattendelaren. En jämförelse mellan DOC halterna i ytvattnet (Y503 och Y506) och dräneringsvattnet (Y801 och Y802) visar att vid de senaste mätningarna är halterna jämförbara, se Figur 3.8. På motsvarande sätt minskar vattnets halter av metaller, Figur 3.9 och halten av kväve Figur 3.10. Dräneringsvattnets halter av Cd, Zn, Pb och As minskar med tiden och en jämförelse med vattnets tillstånd i Klass 2, [10] visar att dräneringsvattnets halter är låga, se Figur 3.9.



Figur 3.8 Uppmätta DOC-halter i dräneringsvattnet (Y801 & Y802) och i ytvattenrecipienten (Y503&506) som anses vara opåverkade av deponin.

Figure 3.8 Measured content of DOC in the drainage water from the landfill (Y801 & Y802) and in surface waters upstream from the landfill (Y503&506).



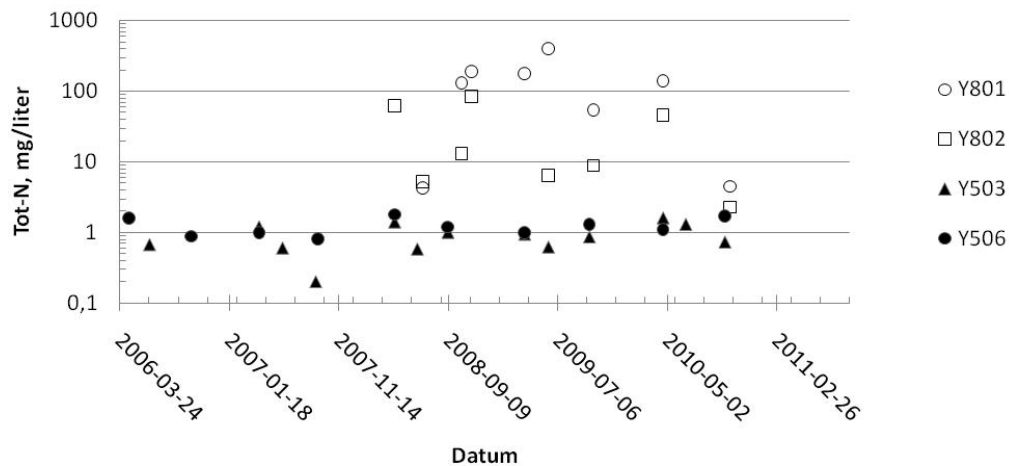
Figur 3.9 Halterna av a) kadmium, b) zink, c) bly och d) arsenik i punkterna Y801 och Y802 relaterat till tillstånd Klass 2¹ i vatten, NV (1999) (

Figure 3.9 Water contents of a) cadmium, b) zinc, c) lead and d) arsenic in the drainage water in Y801 and Y802 and levels of natural waters Class 2¹, NV (1999)

Jämförelsen med Klass 2¹ kan möjligen ses som något missvisande eftersom det finns många delflöden inom flertalet deponiområden som överskrider denna gräns. Acceptabel halt och acceptabel mängd av föroreningar fastslås av tillsynsmyndighet efter dialog med deponiägaren, och varierar beroende på lokala förutsättningar. Just på grund av lokala variationer har vi valt en generell gräns som är någorlunda välkänd.

Under byggnationstiden låg halten av kväve, (tot-N) över ytvattenrecipientens halter. Vid den senaste mätningen var dräneringsvattnets halter i nivå med ytvattnets kvävehalter Figur 3.10.

¹ Klass 2. Små risker för biologiska effekter. Majoriteten av vattnen inom denna klass har förhöjda metallhalter till följd av utsläpp från punktkällor och/eller långtidsspridning. Klassen kan dock inrymma halter som är naturliga i till exempel vissa geologiskt avvikande områden. Haltförhöjningen är sådan att mätbara effekter i allmänhet inte kan registreras. Naturvårdsverkets rapportserie Bedömningsgrunder för miljökvalitet, "Sjöar och vattendrag" Rapport 4913 [10]



Figur 3.10 Halter av kväve i dräneringsvattnet i punkterna Y801 och Y802 och i referenspunkterna Y503 och Y506.

Figure 3.10 Measured content of tot-N in the drainage water from the landfill (Y801 & Y802) and in surface waters upstream from the landfill (Y503&506).

3.2 Blåberget, Sundsvall

3.2.1 Bakgrund Blåberget

Pilotförsöket på Blåberget, Figur 3.11, utfördes under 2004, baserat på laboratorieundersökningar som bl.a. avrapporterades av [7]. Undersökningen hade fokus på FSA:s geotekniska egenskaper. Resultaten visar att en högre tillsats av flygaska höjer FSA-materialets hållfasthet och minskar dess kompression.



Figur 3.11 Pilotförsök med FSA som tätskikt på Blåbergets deponi. (Foto: Stina Lenströmer, Ramböll)[11]

Figure 3.11 Pilot test at landfill Blåberget with fly ash stabilized sewage sludge as liner (Photo: Stina Lenströmer, Ramböll) [11]

Vidare har FSA hydraulisk konduktivitet på ca $3 - 6 \cdot 10^{-10}$ m/s. Fältförsöken utfördes med FSA 40, dvs 40 % flygaska.

3.2.2 Utförande Blåberget

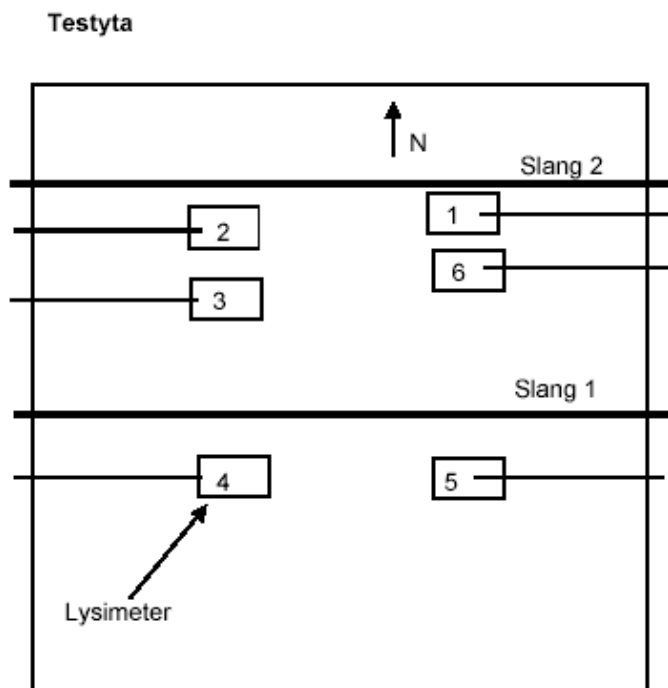
Pilotförsöket utgjordes av en testcell med ytan 20*20 m och höjden ca 2,3 meter. Testcellen byggdes under september-oktober 2004 enligt tabell 3.4.

Tabell 3.4 Täckningens olika delar, Blåberget

Table 3.4 Different layers of the closure construction, Blåberget.

Skikt	Tjocklek, material	Total tjocklek
Skyddsskikt	1,3 m moränjord/fyllnadsmassor	2,3 m
Geotextil	-	
Dräneringsskikt	0,2 m gummiklipp	1,0 m
Tätskikt	0,5 m FSA40	0,8 m
Avjämningskikt	Ca 0,3-0,5 m pansand	0,3 m

Fyra lysimetrar installerades under tätskiktet och två stycken ovan tätskiktet (under dräneringsskiktet), Figur 3.12. Slangarna för slangställningsmätning installerades tvärs över testcellen, en under och en ovan tätskiktet för att kunna mäta eventuella sättningar i tätskiktet. Nollmätningen utfördes i september 2004, därefter utfördes 3 st. kontrollmätningar i november 2004 och april och november 2005.



Figur 3.12 Schematisk bild över lysimetrar (1-6) och slangar för sättningsmätning på testcellen.

Figure 3.12 Sketch of the position of the installed lysimeters (1 – 6) and tubes for measuring settlement on the test site.

3.2.3 Insamlade data Blåberget

Från Blåberget finns undersökningar utförda under perioden 2001-2005 se Tabell 2.1. Undersökningarna omfattar laboratorieundersökningar av fast material, geotekniska

undersökningar och lysimeterundersökning (täthet och innehåll) [7]. Ytan följdes upp mellan november 2004 och november 2005 [11]. Målsättningen var att uppsamlat vatten i lysimetrarna skulle kontrollerades med avseende på volym/tidsenhet och innehåll av metaller.

Lysimetrarna provtogs vid tre tillfällen efter installationen i september 2004, Tabell 3.5. Den första kontrollen utfördes i november 2004. Därefter utfördes kontrollmätningar under april och november 2005. Inga mätningar har utförts sedan 2005.

3.2.4 Resultat Blåberget

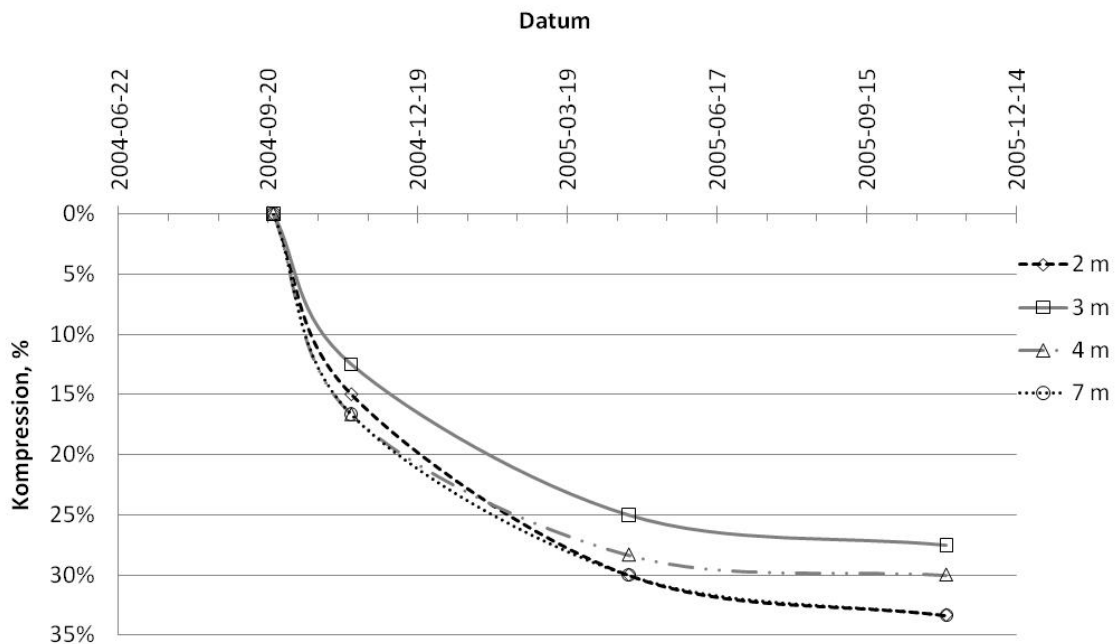
Från de fyra lysimetrarna som ligger under tätskiktet har knappt något vatten erhållits. Mängden vatten som perkolerade genom tätskiktet är mindre än 1 l/m^2 och år, se Tabell 3.5. Från lysimeter 2 som ligger ovan tätskiktet har vid de två senaste mättillfällena 100 respektive 50 ml vatten erhållits, vilket motsvarar en perkolation på $1\text{-}2 \text{ l/m}^2$ och år, tabell 3.5.

Tabell 3.5 Testcellen byggdes i september 2004. Lysimetrarna kontrollerades vid tre mättillfällen (under tätskikt)

Table 3.5 The test cell was built in September 2004. The lysimeters were controlled at three occasions during a one year period (below liner).

Lysimeter	04-11-09		05-04-25		05-11-02	
	Vatten (ml)	Perkolation ($\text{l/m}^2/\text{år}$)*	Vatten (ml)	Perkolation ($\text{l/m}^2/\text{år}$)*	Vatten (ml)	Perkolation ($\text{l/m}^2/\text{år}$)*
3	0	0,00	0	0,00	0	0,00
4	0	0,00	0	0,00	2	0,04
5	0	0,00	1	0,02	2	0,04
6	0	0,00	1	0,02	2	0,04

Undersökningens resultat från pilotförsöket visar att FSA med gummiklipp i dräneringsskiktet och moränjord som skyddsskikt ger en täthet som ligger under 5 mm/år (5 liter/m^2 och år). Sättningsmätningen visar att kompressionen hos FSA40 är $30 - 35 \%$, Figur 3.13. Av intresse är att sättningarna i FSA-skiktet avtar med tiden enligt både fält och laboratorieundersökningar. Kompressionsförloppet visar också att den största hoptryckningen sker under de första månaderna till halvåret och att kompressionen avstannar de sista månaderna. Laboratorieresultat indikerar också att FSA-materialets tryckhållfasthet ökar från 20 kPa till ca 50 kPa i och med kompressionen. Kompression av FSA ökar materialets täthet och en kompression på 30% medför att materialets täthet ökar till $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$, [7].



Figur 3.13 Kompressionen hos FSA-skiktet i fyra mätpunkter i testcellen, på Blåbergets deponi, efter [11].

Figure 3.13 Compression of the FSS layer at four different positions in the test cell, Blåberget, after [11]

Pilotförsöket på Blåberget avslutades ett år efter installation. Orsaken var bland annat att sluttäckningen inte skulle genomföras förrän 8 – 10 år senare och då med avloppsslam och flygaska som kan ha annat ursprung. Planer på nytt pilotförsök finns för de kommande åren.

3.3 Dragmossen, Älvkarleby

3.3.1 Bakgrund Dragmossen

Under våren 2004 utfördes ett pilotförsök på Dragmossens deponi, där 0,2 hektar av deponiytan sluttäcktes med FSA som tätskikt [8]. Entreprenaden utfördes av Econova. Pilotförsöket förbereddes med ett antal olika laboratorieundersökningar där recept för blandningsförhållandet mellan avloppsslam och flygaska bestämdes. De blandningsförhållanden som valdes för tätskiktetsmaterial var 40 till 50 viktprocent TS-flygaska och 50 till 60 viktprocent TS-avloppsslam (FSA40 till FSA50), [4]. Utläggningen utfördes under maj 2004 och uppföljningsarbeten pågår sedan dess.

Syftet med pilotförsöket har varit att besvara frågeställningar kring:

- Tillverkning och utläggning av FSA
- Teknisk funktion och miljöegenskaper
- Beständighet

Undersökningen [8] visar att blandningens homogenitet är en viktig faktor som styr tätskiktets täthet under de första månaderna. I Cell 4 och Cell 1 som byggdes först var problemet med kvaliteten hos FSA-blandningen stor. Trenden är dock att FSA-skiktets

täthet ökar med tiden och att efter 1 – 2 år klarar även mindre homogena blandningar täthetskravet på deponi med icke-farligt avfall (50 liter/m² och år).

Det finns ett samband mellan kompressionen av FSA-skiktet och skiktets täthet. Med ökande kompression, dvs. ökning av densiteten, ökar tätheten. Den största delen av kompressionen sker under de första månaderna efter att skyddsskiktet blev installerat. Resultaten från fältmätningarna visar att utlakningen av metaller, DOC etc, styrs utspädning, dvs av mängden vatten som perkolerar igenom tätskiktet. Halterna är lägre i de fall mängden vatten är större [8].

Under perioden 2004 – 2006 följdes lysimetrarna upp med dels kontroll av mängden vatten som samlades upp i lysimetrarna och dels med analys av lysimetervattnets halter av metaller, pH, elektrisk konduktivitet, gasprover togs och analyserades med avseende på metan, koldioxid, kväve och syre. [3].

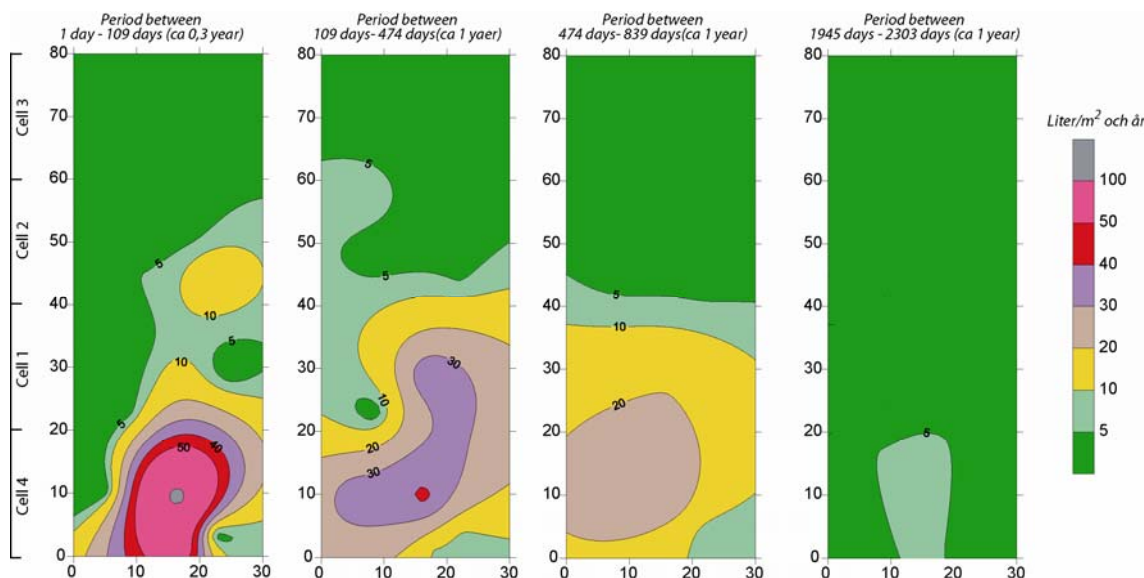
En viktig slutsats från laboratorieundersökningen är att ökad mängd flygaska i FSA minskar risken för eventuell nedbrytning [4]). Vid 40 % flygaska i FSA sker det nedbrytning av organiskt material vid höga L/S (>10) och förutsatt att salterna sköljs ur. Det framgår dock att det är enbart en liten del av det organiska materialet som kan brytas ner. Vid 60 % flygaskatillsats sker det ingen nedbrytning. Baserat på dessa resultat bör därför andelen flygaska vara större än 40 % och blandningen vara homogen.

3.3.2 Insamlade data Dragmossen

Under de första 4,5 åren har deponiytan följts upp med avseende på tätskiktetskonstruktionens egenskaper och finns redovisade i [3]. Mellan 2007 – 2010 utfördes tömning av lysimetrarna vid två tillfällen, 2009 och 2010. Uppföljningen omfattade undersökning av tätheten, provtagning och analys av vatten- och gasprover.

3.3.3 Resultat Dragmossen

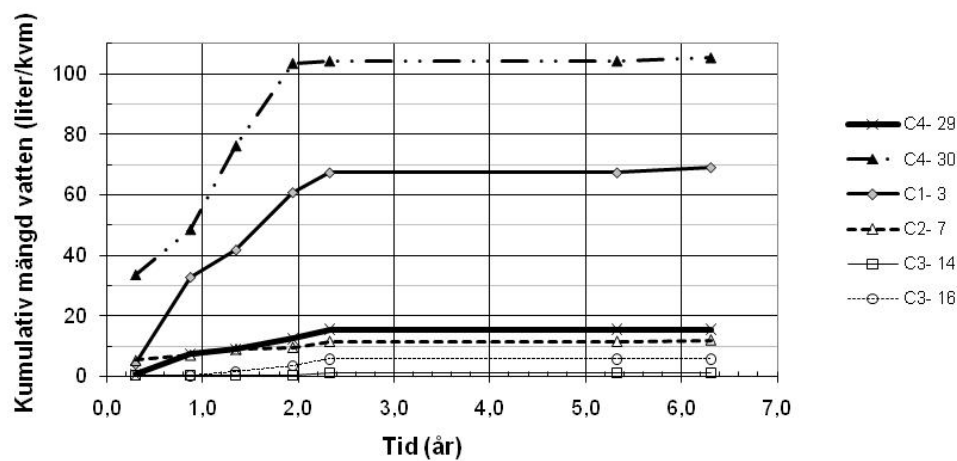
Vid det senaste tillfället var det enbart mycket små mängder vatten som kunde pumpas från lysimetrarna, hösten 2010. Figur 3.14 redovisar hur tätskiktets genomsläpplighet minskar med tiden och är vid den senaste mätningen < 10 liter/kvadratmeter och år. Mängden vatten som samlas upp totalt under de första 6,5 åren redovisas i Figur 3.15. Mängden vatten är störst under de första två åren och avtar sedan. Orsaken till detta bedöms vara att det är pressvatten som samlas upp av lysimetrarna. Under de första två åren sker en del kompression av FSA skiktet vilket förklarar en del av den förhållandevis låga tätheten. I och med att kompressionen avstannar minskar mängden vatten som samlas upp.



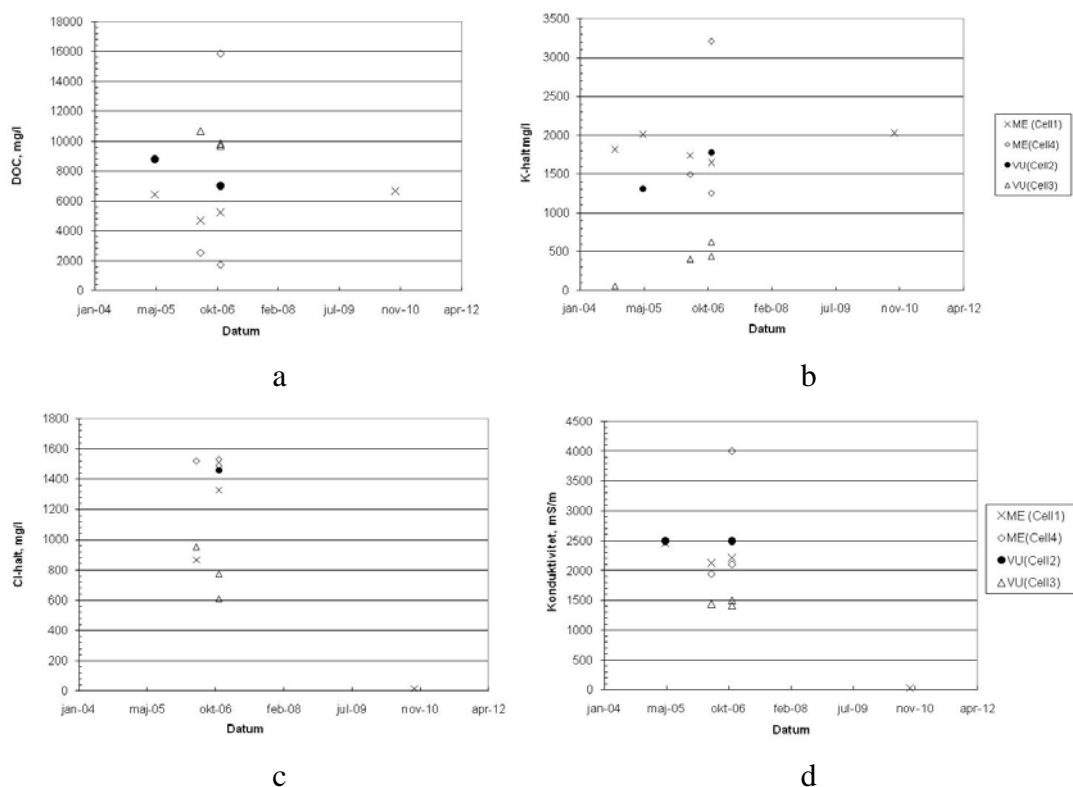
Figur 3.14 Tätskiktets täthet uttryckt i liter/m² och år (mm/år) efter 109, 474, 839 och 2303 (6,3 år) dagar.

Figure 3.14 Percolation through the liner, measured in liter/m² and year (mm/year) after 109, 474, 839 and 2303 (6,3 years) days.

Cellerna 1 och 4, som byggdes först hade problem med FSA-kvaliteten. De första två åren hade området två lysimetrar som indikerar täthet som är > 50 liter/m² och år, Figur 3.15. Två lysimetrar, C4-30 och C1-3 (Cell 4-lysimeter 30 och Cell 1- lysimeter 3), indikerar låg täthet som avtar med tiden. Vid det senaste mättillfället oktober 2010 var det enbart lysimeter 3 som hade tillräcklig mängd vatten för analys. Övriga lysimetrar var antingen torra eller hade mycket små mängder vatten. Mängden vatten och täthetsvärden redovisas i Bilaga C, Älvkarleby, Dragmossen. Det perkolerade vattnet i lysimeter 3 hade högt pH, ca 9,1 som är marginellt lägre än under det första året. L/S-kvoten (liquid/solid ratio) för området runt lysimetern ligger runt 0,2 – 0,3, medan lysimeter 4 har en L/S kvot runt 0,4 efter 6,3 år. Den årliga L/S kvoten för det senaste året är < 0,002. Vidare visar undersökningen att lakvattnet från FSA-materialet har ungefär samma halt DOC-, och K-halter efter 6,3 år som direkt efter utläggning, Figur 3.16a och b. Baserat på erfarenheter från undersökning av homogena blandningar i fält uppskattas att L/S kvot 10 uppnås efter hundratals år. Även i det område, delar av cellerna 1 och 4, där kvalitetsproblem med FSA medförde att tätheten under de första åren var låg, kommer det att ta mycket lång tid att uppnå L/S > 10. Mätning av det perkolerade vattnets kloridhalt och elektriska konduktivitet i lysimeter 3 vid den senaste mätningen visar på låga nivåer jämfört med mätningen 2006, se Bilaga C, Älvkarleby, Dragmossen. Elektriska konduktiviteten sjönk från 2210 mS/m till 23 mS/m. Kloridhalterna minskade från ca 1300 mg/liter till 17 mg/liter, Figur 3.16 d. De övriga lysimetrarna, ca 30 stycken gav inte tillräckligt med vatten för analys. Denna bedömning bygger alltså på de resultat som erhöles för de områden på deponiområdet som hade lägst täthet. Jämför lysimeter 3 och 29 med övriga presenterade lysimetrar i Figur 3.15.



Figur 3.15 Kumulativ mängd vatten uppsamlad i lysimetrarna under tättskiktet.
 Figure 3.15 Cumulative water volume collected in different lysimeters below the liner.



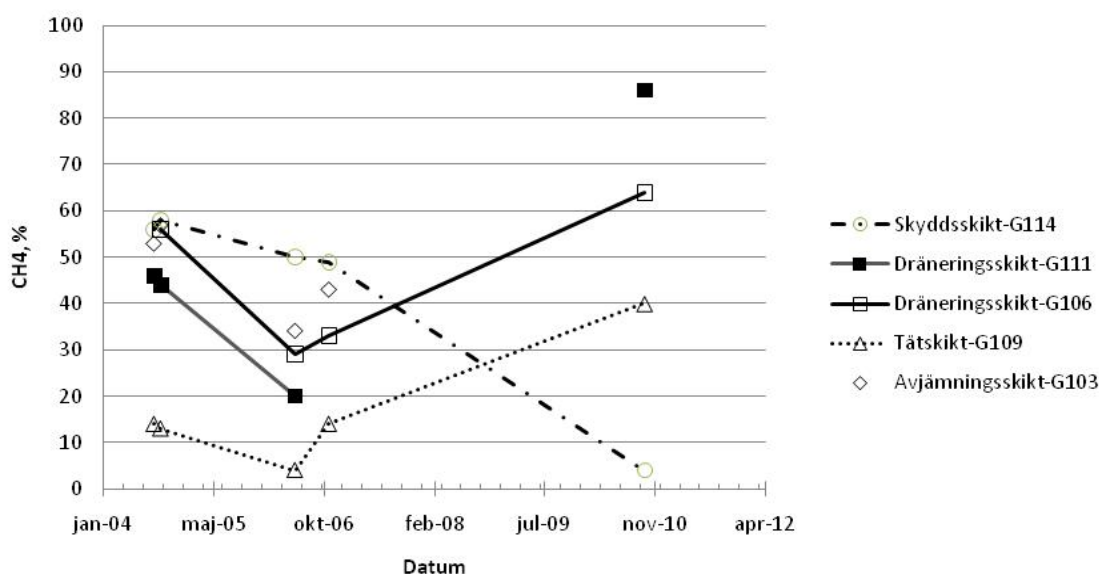
Figur 3.16 Lysimetervattnets a) halt av DOC och b) kalium och c) klorid, samt d) elektriska konduktivitet.

Figure 3.16 Contents of the percolated water collected under the liner of a) DOC, b) K, c) Cl and d) measured electric conductivity.

Provtagning av porgas har utförts vid fem tillfällen på Dragmossens deponi. Resultat från de fyra första provtagningarna har redovisats tidigare [3] och [8]. Här sammanställs samtliga resultat för att trender ska kunna följas. Proverna är tagna i september och

oktober 2004, juni och november 2006 samt oktober 2010. Halterna redovisas i Bilaga C, Älvkarleby, Dragmossen.

Gasprov tagna i skyddsskiktet hade förhöjda halter av metan och koldioxid vid de första provtagningstillfällena. Detta kan indikera att lätt nedbrytbart material förekommer i skyddsmassorna. Vid provtagning av lysimetervatten från skyddsskiktet under 2004 och 2006 förekom en temperatur som var större än 20 C. Höga metanhalter och förhöjd temperatur indikerar att organiskt material bryts ned. Trenden är klar att halten av metan i skyddsskiktet minskar med tiden och den sista mätningen låg halten av metan på ca 5 %, dvs en sänkning från ca 50 % metanhalt fram till ca 2006.



Figur 3.17 Uppmätta metanhalter mellan 2004 och 2010.

Figure 3.17 Measured methane levels in the closure profile during 2004 and 2010..

Dräneringsskiktets halt av metan uppmätt i G106 och G111 var mellan 45 och 60 % under mätningarna 2004. De uppmätta metahalterna under 2006 var hälften så höga. 2010 var en av gaslysimetrarna ur funktion. Den andra gaslysimetern gav metanhalt på ca 64 %, en markant ökning av halten.

Tätskiktets metanhalt i G109 var drygt 10 % under 2004, medan mätningen juni 2006 var halten ca 5 %. Oktobermätningen 2006 indikerar att metanhalten stiger till ca 12 %. Mätningen 2010 visar på halt runt 40 %.

En av lysimetrarna under tätskiktet (G103) har gett tillförlitliga resultat fram till oktober 2006. Mätningarna indikerar att metanhalten i avfallet sjönk fram till juli 2006 från drygt 50 % till drygt 30 %.. Oktobermätningen 2006 indikerar att halten av metan i avfallet steg till drygt 40 %. På grund av läckage av luft in i slangsystemet gick det inte att mäta metanhalten (i avjämningskiktet) under tätskiktet under år 2010.

Ursprunget till de tidigare höga halterna av metangas är inte säkerställt. Stora volymer avloppsslam deponerades i deponin under årens lopp. De höga halterna av metan i avjämningskiktet som utgörs av flygaska beror med stor sannolikhet på de bildade nedbrytningsprodukterna från underliggande avfall som har diffunderat upp i avjämningskiktet.

Även i dräneringsskiktet har förhöjda halter av metan och koldioxid uppmätts, och haltutvecklingen följer trenden för haltutvecklingen under tätskiktet. Dräneringsmaterialet utgörs av sand och slaggrus. Inte heller dessa fraktioner innehåller lätt nedbrytbart material. Därför antas nedbrytningsprodukterna även i detta skikt härröra från underliggande material.

Övrig deponiyta på Dragmossen sluttäcktes mellan 2006 och 2008. Det användes ett komposittätskikt bestående av FSA med en ovanliggande geomembran. Mätningen 2010 visar att i dräneringsskiktet finns metan ackumulerat. I skyddsskiktet indikerar mätningen låga metanhalter, ca 5 %, jämfört med > 60 % i dräneringsskiktet. Metanhalten låg på ca 50 % de första åren då nedbrytning av lätt nedbrytbart organiskt material pågick. Den senaste mätningen indikerar att skyddsskiktet skulle kunna utgöra en sänka för metan som produceras i avfallet.

3.4 Gärstad - Tekniska Verken i Linköping

3.4.1 Bakgrund Gärstad

På Gärstad deponi anlade Tekniska Verken i Linköping en provyta med FSA i tätskiktet under hösten 2004. Ytan som täcktes var ca 5 500 m². Vid inledande laboratorieförsök togs recept för blandningen fram. De proportioner som gav bäst kombination av täthet och hållfasthet var 50 % flygaska och 50 % slam, d.v.s. FSA50. Blandningen utfördes i ett modifierat asfaltverk, där de olika materialen matades in. Mot slutet av blandningsperioden kompletterades detta med förblandning med skopa och matning via stjärnsikt till blandningskammaren. Det material som erhöles genom denna blandningsmetod var homogent, askan och slammet var väl blandade. Däremot var blandningsstationen känslig för störningar, såsom väderlek, främmande föremål i råmaterialen och avvikelser i blandningsproportionerna, vilket ledde till flera driftstopp. I övrigt är täckningen konstruerad enligt tabell 3.6.

På ytan installerade utrustning för uppföljning av tätskiktets funktion och beständighet.

Tabell 3.6. Täckningens olika delar, Gärstad deponi.

Table 3.6 Different layers of the closure construction, Gärstad

Skikt	Mäktighet	Material
Skyddsskikt	1,5 m	Behandlad oljeskadad jord. Inget speciellt växtetableringsskikt anlades. Sådde skedd i skyddsskiktet.
Materialskiljande lager		Geotextil
Dräneringsskikt	0,2 m	Bergkross/slaggrus (på en delyta lades inget dränlager)
Materialskiljande lager		Geotextil
Tätskikt	0,5 m	Flygkastabiliserat avloppsslam FSA50 (50%/50%)
Avjämningskikt	varierande	Slaggrus och annan bottenaska

3.4.2 Insamlade data Gärstad

Sedan ytan anlades har uppföljning gjorts genom provtagning och volymmätning av vatten som avrinner på tätskiktet och som perkolerar genom tätskiktet, provtagning av gas, kontroll av vattennivå i dränskiktet, avvägning av pegrar för sättningskontroll samt provtagning av fast material. På ytan finns fyra lysimetrar och fyra avrinningsytor, se tabell 3.7. Lysimetrarna är konstruerade så att de samlar upp vatten från en viss yta, medan avrinningsytorna samlar upp vatten som avrinner på tätskiktet uppströms avrinningsytan.

Under denna uppföljningsperiod (våren 2010-januari 2011) har volymmätning och analys av vatten utförts liksom provtagning av fast material och undersökning av gas. Sammanställning av utförda kontroller finns i tabell 3.8.

Tabell 3.7 Beskrivning av lysimetrar och avrinningsytor på provytan på Gärstad deponi, Tekniska Verken i Linköping.

Table 3.7 Description of lysimeters and drainage surfaces (avrinningsytor) at the site at Gärstad

Beteckning	Typ och placering	Uppsamlingsarea (m ²)
Lys1	Lysimeter över tätskiktet, dränskikt: bergkross	4
Lys2	Lysimeter under tätskiktet, dränskikt: bergkross	16
Lys3	Lysimeter över tätskiktet, dränskikt: saknas	4
Lys4	Lysimeter under tätskiktet, dränskikt: saknas	16
Avr1	Avrinningsyta på den flacka delytan, dränskikt: bergkross	Ej definierad
Avr2	Avrinningsyta på den flacka delytan, inget dränskikt	Ej definierad
Avr3	Avrinningsyta på den branta delytan, dränskikt: slaggrus	Ej definierad
Avr4	Avrinningsyta på den branta delytan, dränskikt: bergkross	Ej definierad

Tabell 3.8 Tidpunkter för undersökningar på provytan på Gärstad deposit Tekniska Verken i Linköping.

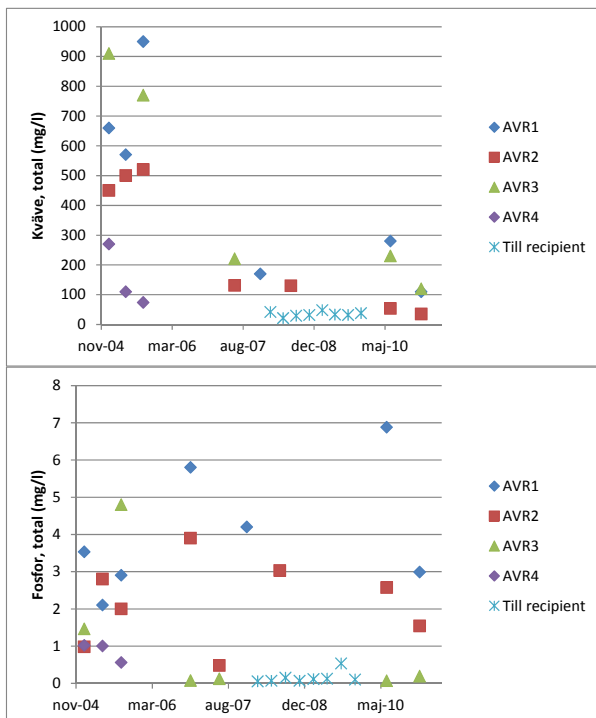
Table 3.8 Schedule for investigations at the test area at Gärstad

Undersökning	Tidpunkt	
Volymkontroll, lysimetrar och avrinningsytor	Sommaren 2010	
Vattenanalys, lysimetrar och avrinningsytor	September 2010	Januari 2011
Gasprovtagning	November 2010	Mars 2011
Provtagning av fast material	September 2010	

3.4.3 Resultat Gärstad

Flödet genom tätskiktet har kontrollerats genom avläsning av lysimetrarna under tätskiktet under hösten 2004 till sensommaren 2010. Resultaten visar att kravet för ett tätskikt på en deponi för icke farligt avfall (50 l/(m² och år)) uppfylls mer än väl. Flödet för en av lysimetrarna ligger på 5,5-6 l/(m² och år), vilket är i nivå med kravet för en deponi för farligt avfall (5 l/(m² och år)). För den lysimeter (Lys4) som är installerad på en delyta där dräneringsskikt saknas, uppgår flödet till 15-20 l/(m²och år). Detta visar att ett fungerande dräneringsskikt minskar perkolationen genom tätskiktet, då det leder bort vatten och eliminerar vattentrycket på tätskiktet.

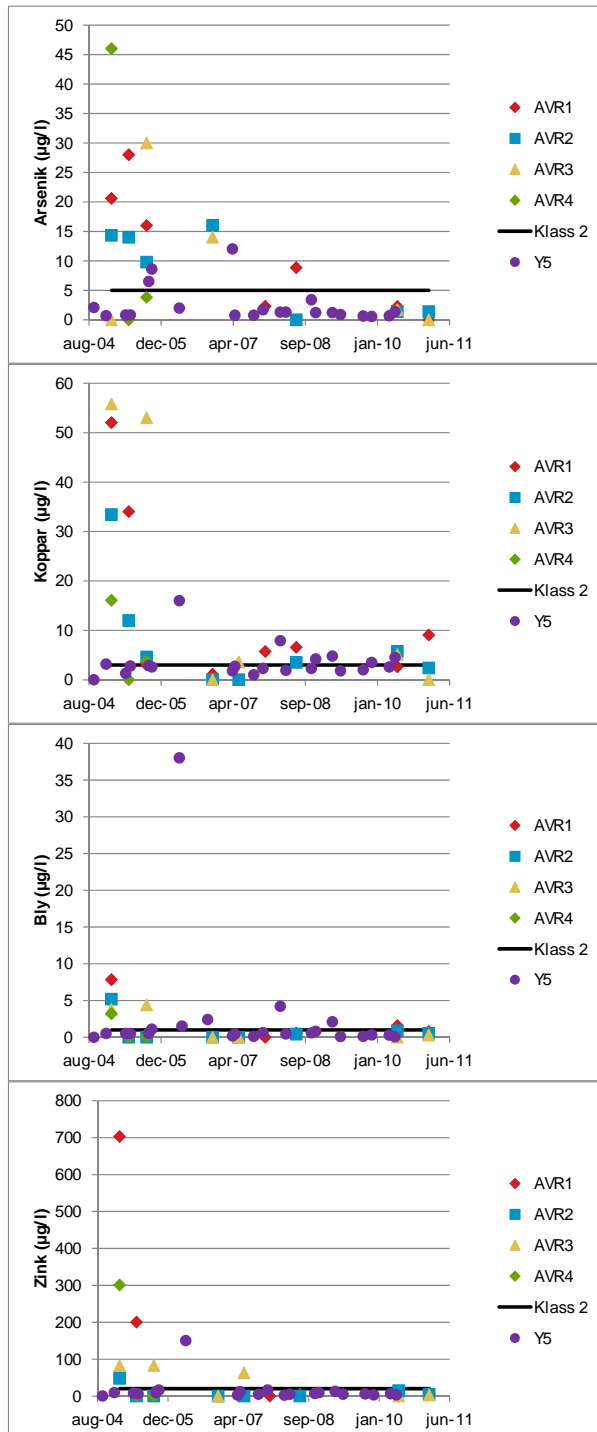
I tidigare uppföljning av provytan [2] konstaterades förhöjda halter av näringsämnen och metaller i det vatten som avrinner på FSA-ytan. Metallhalterna var dock avtagande med tiden. I föreliggande uppföljning har provtagning av avrinnande vatten utförts vid två tillfällen, juni 2010 och januari 2011. Halter av näringsämnen i det vatten som avrinner på FSA-skiktet presenteras i figur 3.18. Jämfört med Naturvårdsverkets klassning för ytvatten (2000) betraktas halterna som mycket höga eller extremt höga. I figuren jämförs halterna även med halter i renat lakvatten som släpps till recipienten, värden anges per kvartal för 2008 och 2009. Jämfört med dessa värden är kvävehalterna från FSA-ytan lite högre för ett par lysimetrar och på ungefär samma nivå för en av lysimetrarna. Det kan också konstateras att kvävehalterna från FSA-ytan var kraftigt förhöjda initialt, men sedan har sjunkit till en halt i nivå med övrigt lakvatten. Fosforhalterna är för en lysimeter lägre än det som släpps till recipienten, medan de för de två övriga är högre. Någon entydig reduktion av fosforhalterna över tiden kan inte konstateras.



Figur 3.18 Halter av a) kväve och b) fosfor i avrinnande vatten från tätskiktet relaterat till vatten efter reningssystemet som släpps till recipient.

Figure 3.18 Concentrations of a) nitrogen and b) phosphor in drainage water from the liner compared with treated water released to the recipient.

Uppmätta halter av några metaller i det vatten som avrinner på tätskiktet presenteras i figur 3.19. Halterna är generellt ”låga” (klass 2) eller ”mycket låga” (klass 1) relativt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för ytvatten [10]. I figuren nedan anges övre gräns för klass 2 samt uppmätta värden för det ytvattendrag som är recipient för deponin. Metallhalterna från FSA-ytan var initialt mycket höga, men sjönk sedan. Ett och ett halvt år efter att provytan anlades och framåt har halterna varit i nivå med värdet för klass 2 och uppmätta värden i referenspunkt. Att halterna är i nivå med halterna i ytvattenrecipienten innebär att dräneringsvattnet inte skulle medföra någon höjning av halterna i recipienten om det släpptes dit.



Figur 3.19 Halterna av a) arsenik, b) koppar, c) bly och d) zink i avrinnande vatten från tätskiktet relaterat till tillstånd Klass 2 i vatten, [10] och kontrollpunkt för ytvatten nedströms upplaget.

Figure 3.19 Concentrations of a) arsenic, b) copper, c) lead, d) zinc in drainage water from the liner compares to "Class 2" in water, [10] and reference point for surface water downstream the deposit.

3.4.4 Provtagning Gärstad

Provtagning av fast material och porgas har utförts på Gärstad under denna uppföljningsperiod. Tidigare har provtagning utförts vid två tillfällen, hösten 2005 samt i juni 2008. Detta redovisas av [2] och [15] respektive. Materialet undersöktes också i samband med utläggning av provytan, hösten 2004.

3.4.4.1 Provtagning av fast material

Provtagning av tätskiktet gjordes i september 2010. Proverna togs med kolvprovtagare på borrhandsvagn. För att kunna ta kolvprover av tätskiktet, avlägsnades material i överliggande skikt (bergkross och fyllnadsmassor) med hjälp av grävmaskin. En grop grävdes ner till tätskiktets överyta, gränsen mellan dränskikt och tätskikt var mycket tydlig, se Figur 3.20. Därefter kördes borrhandsvagnen ner i gropen och proverna togs från ytan, se Figur 3.21. Lagerföljd noterad vid provgropsgrävningen redovisas i tabell 3.9. Tjocklek för FSA-skiktet uppmättes till 30-37 cm.

Tabell 3.9 Lagerföljd och mäktighet för deponitäckningen, noterad vid provtagning i september 2010.

Table 3.9 Stratification and thickness of the cover, noted during sampling in September 2010

Djup under markytan, m	Material
0-0,1	Växtskikt
0,1-1,5	Skyddsjord
	Geotextil
1,5-1,7	Grus, bergkross
	Geotextil
	FSA

Efter provtagning återställdes tätskiktet genom att borrhålen återfylldes med bentonit. Ovanliggande massor (dränskikt och skyddsskikt) återfylldes i den ordningsföljd de tagits bort.



Figur 3.20 Framgrävning av FSA-skiktet. Notera geotextilen mellan drännskikt och FSA-skikt.

Figure 3.20 Exposure of the FSS-layer. Notice the geotextile between drainage layer and FSS-layer.



Figur 3.21 Provtagning med borrbandvagn.

Figure 3.21 Sampling with drilling machine.

Kolvprover togs i fem punkter på ytan, sammanställning av fältanteckningar finns i Bilaga D, Linköping, Gärstad. Tjockleken för de upptagna proverna var 30-37 cm, vilket är 60-75 % av ursprunglig tjocklek. Detta visar att materialet har komprimerats, men troligen är tätskiktet något mäktigare än provtagningen visar. Materialet trycks förmodligen ihop vid provtagning och kan också skjutas framför provtagaren.

Vid provtagningen kunde noteras att aska/slamblandningen var mörk, nästan svart, och luktade slam, se Figur 3.22. Inga synliga förändringar av materialet jämfört med vid utläggningen kunde konstateras, förutom att materialet var relativt torrt.



Figur 3.22 Prov från tätskiktet, Gärstad september 2010.

Figure 3.22 Sample from the liner, Gärstad, September 2010.

Sammanställning av laboratorieresultaten presenteras i Tabell 3.10 och Tabell 3.11. Jämfört med vid utläggning av materialet var pH-värdet lägre vid provtagningarna. En tendens till sjunkande pH kunde ses mellan de båda första provtagningstillfällena. Vid den senaste provtagningen ses inte längre detta. Troligen har pH stabiliserats på en nivå kring 8,0-8,5. Resultat från mätning av vattenkvot (w)² har inte förändrats nämnvärt vid den senaste provtagningen jämfört med tidigare provtagningar. Materialet har vid samtliga tillfällen varit torrare än vid utläggning. Inte heller vid detta undersökningstillfälle kunde någon ökande eller minskande trend noteras för den organiska halten (glödgningsförlust) i materialet. Minskande organisk halt hade kunnat tyda på nedbrytning av materialet.

Skjuvhållfastheten för prov tagna under hösten 2010 är märkbart högre än vid tidigare tillfällen. Vid tidigare provtagningstillfällen var hållfastheten för materialet något högre än för färskt material från blandning och utläggning, se Figur 3.23.

² Vattenkvot (w) är kvoten mellan massa vatten och massa TS (m_w/m_s). Sambandet mellan vattenkvot och TS är $TS = 1/(1+w)$

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 tre kolprovtagningarna (en 5 års-period), bedöms den hydrauliska konduktiviteten inte ha förändrats nämnvärt, vilket överensstämmer med beräknade värden från uppmätt flöde i lysimetrarna. I Figur 3.24 relateras hydraulisk konduktivitet till torrdensitet för proverna. Något tydligt samband kan inte ses.

Sammanfattningsvis kan konstateras att pH, vattenkvot, densitet och hydraulisk konduktivitet förändrats mellan utläggning av materialet och första provtagningen, men sedan varit stabila. Glödgningsförlust (mått på innehåll av organiskt material) har legat på samma nivå vid samtliga undersökningar, även vid utläggning av materialet. Skjuvhållfastheten ökade något mellan utläggning och första kolvprovtagningstillfället. Mellan första och andra provtagningen (2005 resp. 2008) var förändringarna små. Vid tredje provtagningen (2010) hade hållfastheten ökat markant.

Tabell 3.10 Laboratorieresultat för prover av FSA från Gärstad.

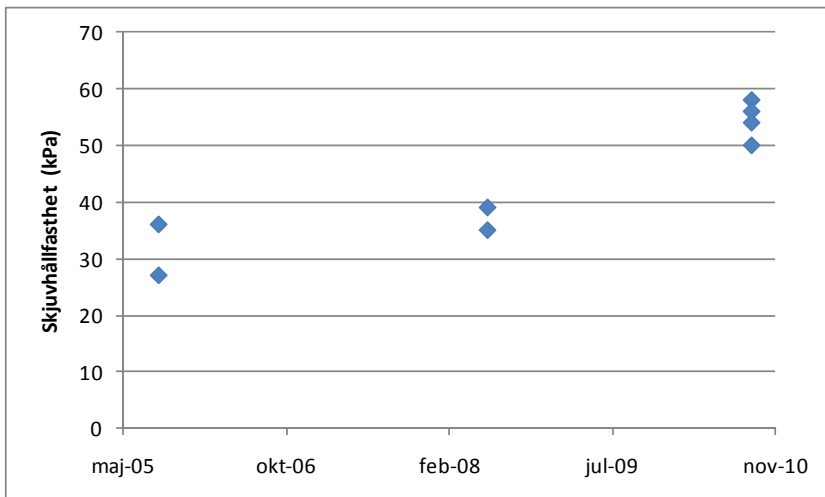
Table 3.10 Laboratory results for samples of FSS from Gärstad.

	pH	w (%)	TS (%)	GF, 950°C (% av TS)
Kolvprovtagning (september 2010)	8,2-8,4	91-106	49-52	33-37
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 3.11 Laboratorieresultat för prover av FSA från Gärstad. Skjuvhållfasthet har uppmätts genom enaxliga tryckförsök och hydraulisk konduktivitet genom CRS-försök.

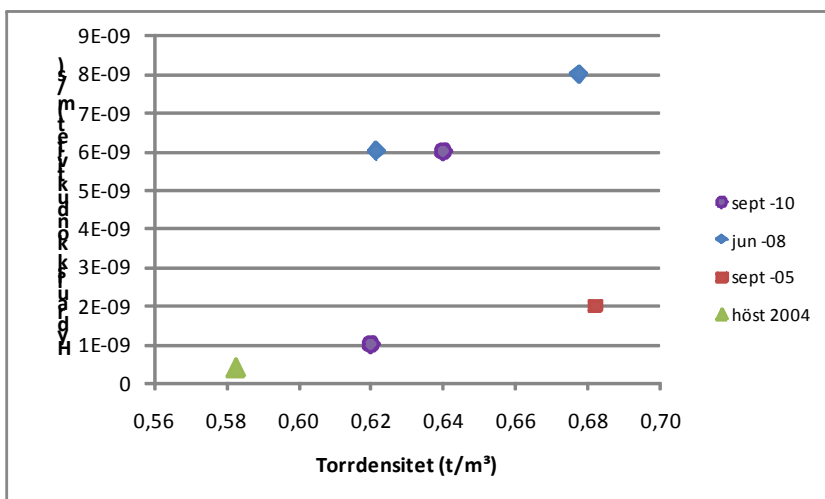
Table 3.11 Laboratory results for samples of FSS from Gärstad. Shear strength have been measured through shear tests and hydraulic conductivity through CRS.

Prov	Skjuvhållfasthet (kPa)		Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Densitet (t/m³)
Kolvprovtagning (september 2010)	50-58		$1 \cdot 10^{-9}$	0,62-0,72
Kolvprovtagning (juni 2008)	35-39		$4-8 \cdot 10^{-9}$	0,62-0,68
Kolvprovtagning (september 2005)	27-36		$2 \cdot 10^{-9}$	0,68
I samband med utläggning (höst 2004)	Dag 1	21	$4 \cdot 10^{-10}$	0,58
	Dag 30	32		



Figur 3.23 Skjuvhållfasthet för kolvprover tagna från provytan på Gärstad vid tre olika tillfällen.

Figure 3.23 Shear strength for samples (tubes) taken from the site area at Gärstad at three different occasions.



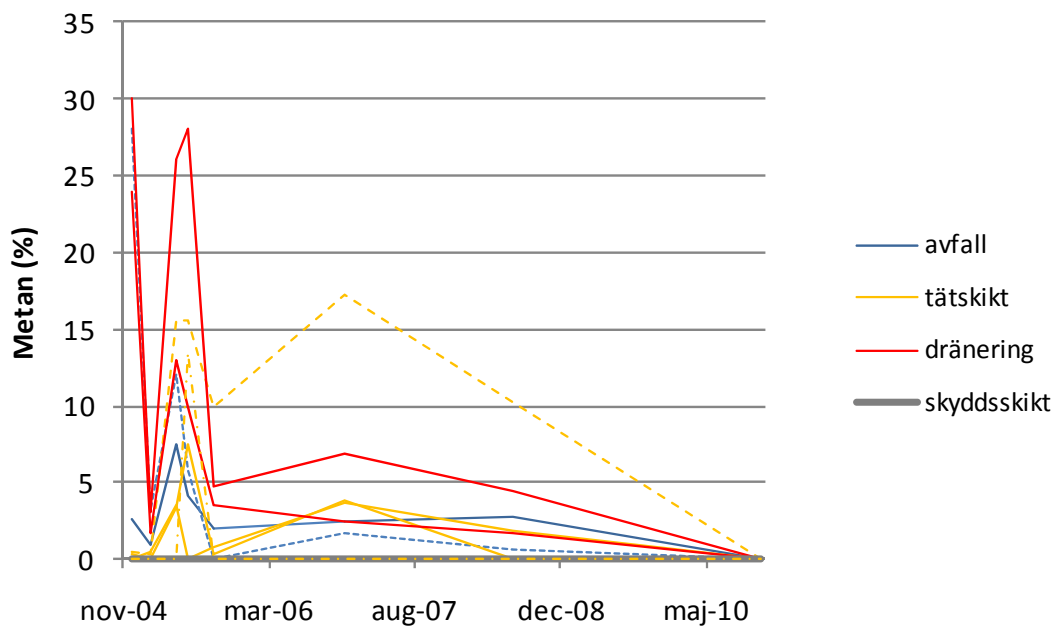
Figur 3.24 Hydraulisk konduktivitet jämfört med densitet för prover av FSA från Gärstad.

Figure 3.24 Hydraulic conductivity compared to density for samples of FSS from Gärstad.

3.4.4.2 Provtagning av porgas

Provtagning av porgas har utförts vid två tillfällen under uppföljningsperioden 2010/2011, dels i november 2010 och dels i mars 2011.

Tidigare resultat (2004-2008) tyder på att det sker en omsättning av organiskt material i tätskiktet [2] Detta grundas främst på förhöjda metanhalter i tätskiktet på den delyta som saknar dränsikt. I Figur 3.25 presenteras resultat för utvecklingen av metan i de olika skikten.



Figur 3.25 Metanhalter i olika skikt i Gärstad. Metanhalter i olika skikt i Gärstad. Streckad linje visar metanmätningar där dräneringsskikt saknas.

Figure 3.25 Concentrations of methane in different layers in Gärstad. The dashed line refers to measurements of methane in areas without a draining layer.

Samtliga prover från båda tillfällena (2010/2011) innehåller en gasblandning som är mycket lik luft till sammansättningen. Detta avviker från tidigare resultat och bedöms inte vara sannolikt, särskilt eftersom detta gäller också för prover tagna i avfallet (1,5-2 m under markytan). Orsaken till de avvikande resultaten är inte klarlagd, men det finns flera tänkbara förklaringar. Proberna användes senast sommaren 2008 och livslängden för utrustningen antas vara begränsad. Det bedöms dock inte troligt att samtliga prover slutat fungera under denna tid. En mer sannolik förklaring är brister i hantering av provkärn, provtagning och hantering av prover. Någonstans i denna kedja kan läckage ha skett och luft har trängt in. I något fall var det undertryck i proben, vilket gjorde det svårare att ta ut prov. Resultaten kan ha påverkats av detta. Den kalla vintern innebar att det troligen var tjäle i marken vid båda tillfällena. Även om det inte var tjäle på det djup där proberna sitter kan det ha bildats en ispropp någonstans i slangarna som leder ner till proberna. Detta skulle möjligen kunna leda till att luft läcker in i någon skarv ovan jord. Ytterligare en tänkbar förklaring är analysfel.

3.5 Atleverket - Örebro

3.5.1 Bakgrund Atleverket

Sommaren 2006 anlades en provyta på Atleverket, där FSA användes som tätskikt i en sluttäckningskonstruktion (figur 3.26). I samband med detta gjordes laboratorieförsök för kontroll av hållfasthet och hydraulisk konduktivitet för det aktuella materialet. Försöken gjordes vid SGI:s laboratorium. [12].



Figur 3.26 Provytan, tre år efter anläggning. Uppsamlingskärl för lysimetrarna finns i containern. (foto: Märta Ländell)

Figure 3.26 Sample area three years after construction. Vessels for the lysimeters are located in the container (photo: Märta Ländell)

Vidare inhämtades erfarenheter från andra anläggningar, bl.a. via Geo Innova [2]. Uppföljning av tätskiktets genomsläpplighet och av utlakade mängder näringsämnen och metaller från de olika delarna i konstruktionen har utförts kontinuerligt [2].

Därefter har man använt FSA som en del i ett komposittätskikt vid sluttäckning av deponin. Totalt har man sluttäckt ca 2 ha med FSA på Atleverkets deponi. Tekniska förvaltningen menar i sin ansökan för 2010 års etapp, att FSA uppfyller de krav som ställs på ett tätskikt vad gäller genomsläpplighet, hållfasthet, handhavande samt stabilitet. Däremot är miljöpåverkan stor, på grund av ytutlakning av näringsämnen och i viss mån metaller. För att begränsa denna miljöpåverkan, har tätskiktet konstruerats som ett komposittätskikt där FSA utgör det undre skiktet som överlagras av ett geomembran (LLDPE). På detta sätt minimeras ytutlakningen från FSA-skiktet.

Tabell 3.12 Sluttäckningens konstruktion på Atleverket.

Table 3.12 Different layers of the closure construction at Atleverket

Skikt	Måktighet	Material
Växtetableringsskikt	0,3 m	Siktrest, komposterat slam etc.
Skyddslager	1,2 m	Jord (massor under MKM)
Dräneringsmatta	-	Motsvarar 3 dm dräneringsmaterial
Geomembran	0,0015	LLDPE
Tätskikt	0,4-0,5 m	Flygkastabiliserat avloppsslam FSA50 (50%/50%)
Gasdräneringsskikt	0,2 m	Pannsand + dränslang
Avjämningslager	varierande	Morän, jord
Avfall		

3.5.2 Insamlade data Atleverket

På provytan installerades fyra lysimetrar, enligt tabell 3.13. Från lysimetrarna leds vattnet via slangar till uppsamlingsbehållare i en container. På de ytor där FSA använts som sluttäckning finns ingen installerad utrustning för provtagning. Däremot finns fyra provtagningspunkter för ytvattenanslutning till deponin. Detta vatten provtas regelbundet för kontroll av avrinnande vatten från deponin. Under denna uppföljningsperiod (våren 2010-januari 2011) har undersökningar av vatten utförts på provytan vid Örebro kommuns anläggning Atleverket.

Tabell 3.13 Beskrivning av lysimetrar och avrinningsytor på Atleverkets provyta.

Table 3.13 Description of lysimeters and drainage area at Atleverket.

Beteckning	Typ och placering	Uppsamlingsarea (m ²)
Drän FSA	Lysimeter över tätskiktet	40
Drän Yt	Lysimeter samlar upp vatten i växtetatbleringsskiktet, 1-2 dm under markytan	40
Skydd	Lysimeter, samlar upp vatten ca 1 m ner i skyddsskiktet	8
Tät	Lysimeter under tätskiktet	8

Provtagning för analys har utförts vid två tillfällen. Sedan tidigare finns resultat från regelbundna provtagningar från oktober 2006 och framåt [2]. Sammanställning av vilka undersökningar som utförts under denna uppföljningsperiod finns i tabell 3.14. Resultaten finns sammanställda i tabeller och diagram i Bilaga B, Örebro, Atleverket.

Tabell 3.14 Tidpunkter för undersökningar på provytan på Atleverket, Örebro.

Table 3.14 Investigations on sample area at Atleverket, Örebro

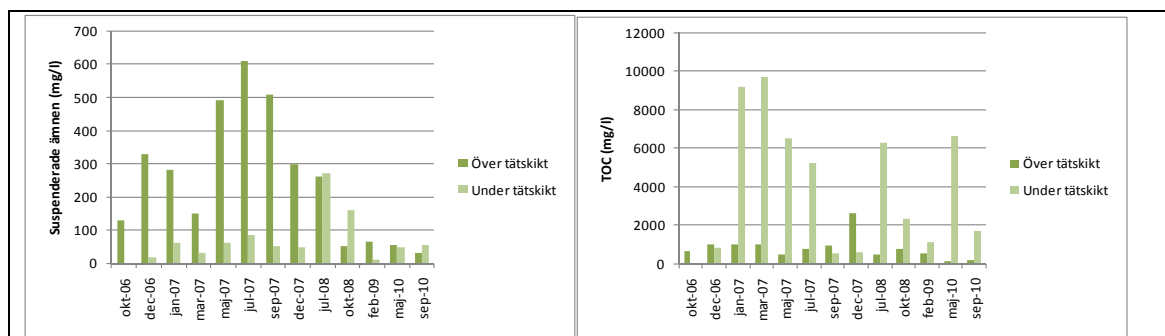
Undersökning	Tidpunkt (time)	
Vattenanalys, lysimetrar	Maj 2010	September 2010

3.5.3 Resultat Atleverket

Volym för det vatten som passerar tätskiktet och når lysimetern betecknad ”Tät” har mätts med vippflödesmätare under en ettårsperiod från det att provytan anlades 2006. Mätning genom frekvent uppsamling och tömning utfördes under fyra månader under sommarhalvåret 2010. Under det första året motsvarade den uppmätta volymen ett flöde om 6 l/(m² och år). Funktionskravet, vad gäller täthet, för en deponi för icke farligt avfall bedömdes därmed vara uppfyllt och mätningen avslutades. Vattenvolymer över och under tätskiktet under denna period uppvisar inget samband. Ovan tätskiktet har stora volymer uppmätts vid några tillfällen, t.ex. beroende på kraftig nederbörd. Flödet under tätskiktet uppvisar inte motsvarande mönster. Mängderna är låga och mer jämt fördelade över tiden. Detta tyder på att genomströmmat vatten till stor del kan utgöras av pressvatten från kompression av tätskiktet samt att det vatten som perkolerar bromsas upp kraftigt. Vid kontrollen under 2010 uppmättes ett flöde genom tätskiktet motsvarande 7,6 l/(m³ och år).

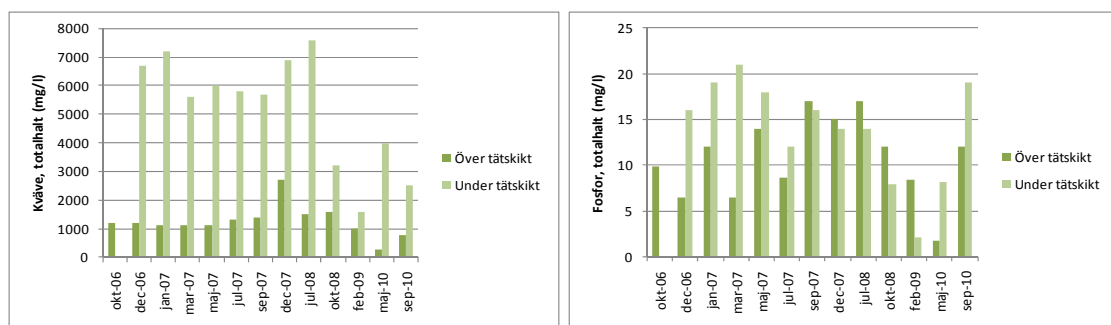
I figur 3.27 visas halter av suspenderade ämnen och TOC (total organic carbon) i vattenprov tagna i lysimetrar för vatten avrinnande på tätskiktet och för vatten som perkolerat genom tätskiktet. Det kan konstateras att halten suspenderade ämnen är högre

i det vatten som avrinner på tätskiktet än i det som passerat tätskiktet. Halterna i vatten från växtetableringsskiktet och skyddsskiktet har halter i nivå med det under tätskiktet. Det är alltså bara vattnet från FSA-ytan och dränskiktet som har markant högre halt suspenderade ämnen. Halten totalt organiskt kol ökar vid passage över FSA-skiktet jämfört med övriga skikt. I figur 3.28 visas halterna av kväve och fosfor i samma lysimetrar. Halterna av kväve ökar vid passage av tätskiktet medan halterna av fosfor påverkas mindre.



Figur 3.27 Halter av suspenderade ämnen och TOC (total organic carbon) i vatten från lysimetrar över och under tätskiktet på provytan på Atleverket.

Figure 3.27 Concentrations of suspended substances and TOC in water from lysimeters located above (över) and below (under) the liner at Atleverket.



Figur 3.28 Totalhalter av kväve och fosfor i vatten från lysimetrar över och under tätskiktet på provytan på Atleverket.

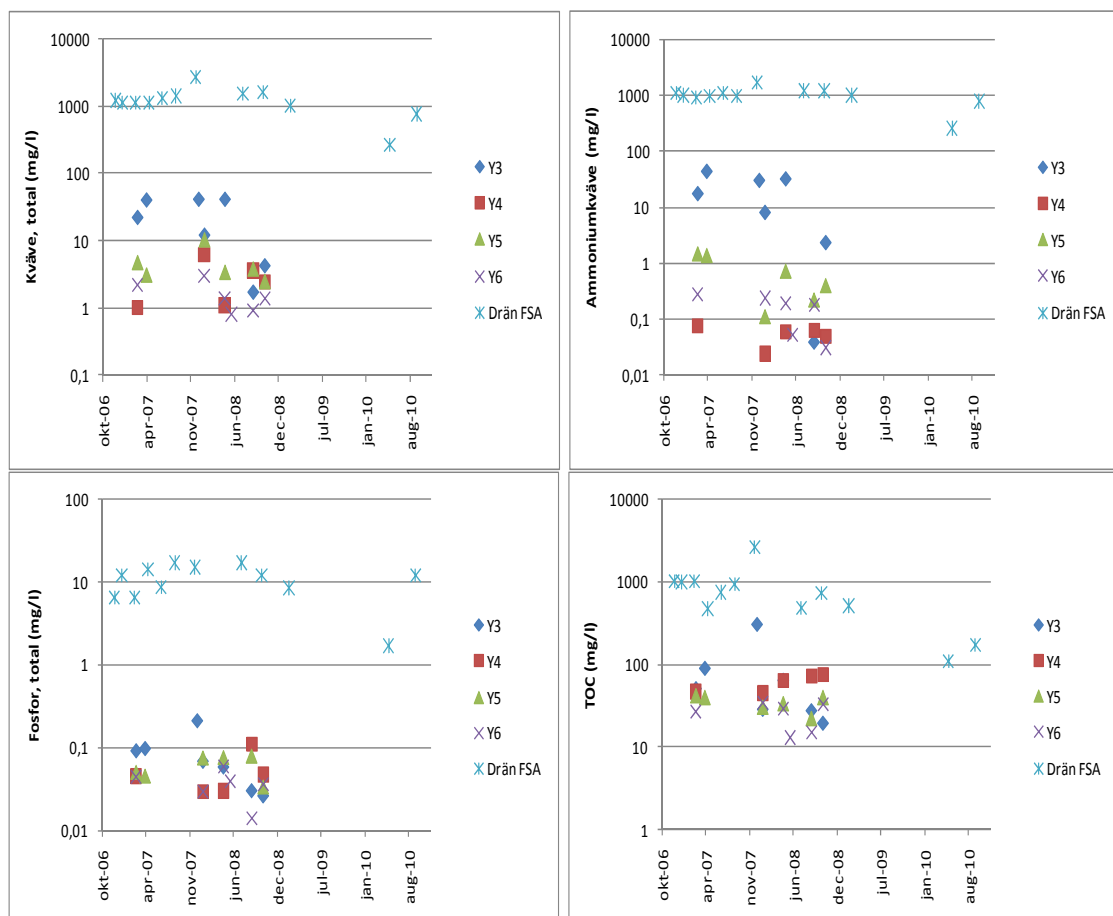
Figure 3.28 Concentrations of total nitrogen and total phosphorus in water from lysimeters located above (över) and below (under) the liner at Atleverket.

På Atleverkets provyta finns en lysimeter som samlar upp det vatten som avrinner på FSA-ytan, betecknad ”Drän FSA”.

Vid anläggning av provytan gjordes försök att använda glaskross som tätskikt. Detta skulle kunna påverka kvaliteten på det avrinnande vattnet. Då man visste att glaskrossen innehöll fluorid, analyserades detta under en tvåårsperiod. Fluoridhalterna var låga, varför man avslutade denna kontroll under 2008. Det bedöms därför som sannolikt att utlakningen från glaskrossen är relativt liten, det kan dock inte uteslutas att metaller som arsenik och bly kan lakas ut från glaset.

Halter av näringsämnen och organiskt kol i det avrinnande vattnet är höga jämfört med Naturvårdsverkets jämförvärden [10]. Avrinnande vatten från deponin kontrolleras i ett antal ytvattenpunkter längs deponin (Y3, Y4, Y5 och Y6). Punkterna Y5 och Y6 har länge varit påverkade av anläggningen. Ytvattenpunkterna Y3 och Y4 användes tidigare som referenser för provytan. Då sluttäckningen fortskridit har även dessa punkter blivit

påverkade av FSA-ytorna. Punkten Y3 är i nuläget högst belastad. Detta antas bero dels på påverkan från deponin under en längre period, men under 2010 har halterna stigit ytterligare. Det senare är troligen en följd av att FSA-ytan legat öppen under en tid, i avvaktan på möjlighet att färdigställa täckningen. Detta bekräftas också av att andelen ammoniumkväve av totala halten kväve, är hög både i avrinnande vatten på FSA-skiktet och i Y3. Under de senaste åren har sjunkande halter av främst näringsämnen konstaterats i ytvattenpunkten Y5. Detta antas bero på att den del av deponin som har avrinning mot denna punkt har sluttäckts. Att halterna sjunkit visar dels att FSA-tätskiktet fyller sin funktion väl och att FSA:n i sig inte medför förhöjda halter näringsämnen. I figur 3.29 jämförs halter i det avrinnande vattnet med halter i ytvatten i anslutning till deponin.

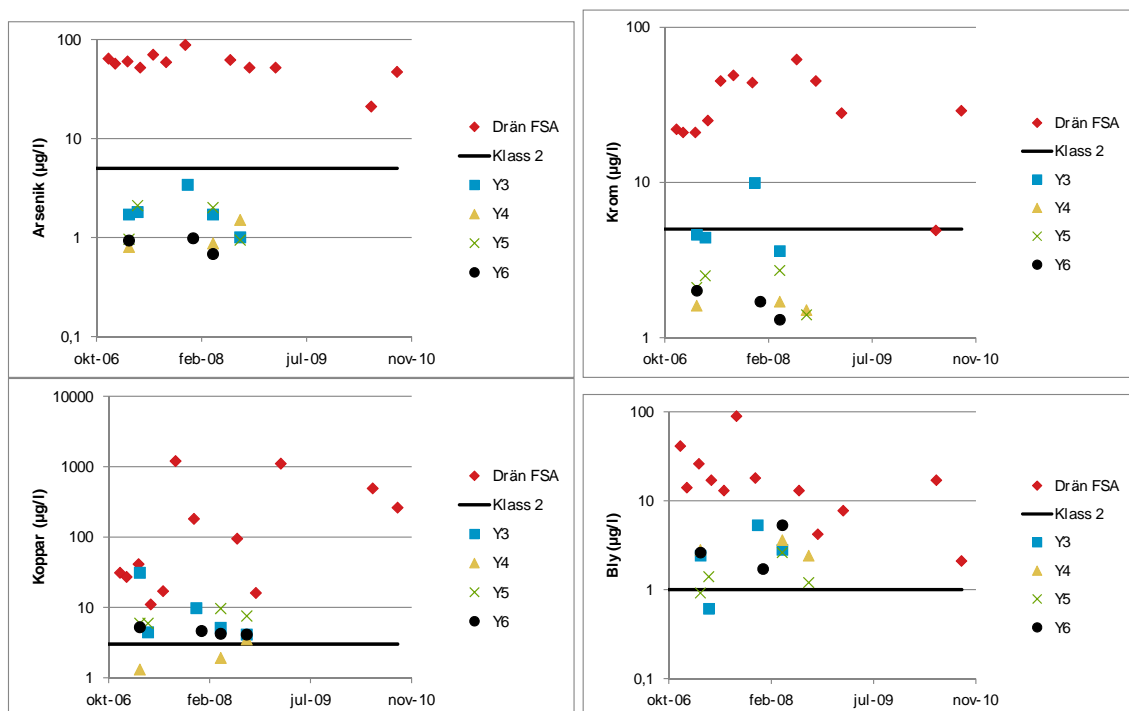


Figur 3.29 Halter av totalkväve, ammoniumkväve, totalfosfor och organiskt kol i ytvatten vid Atleverket. Vatten i punkterna Y3, Y4, Y5 och Y6 påverkas av deponin.

Figure 3.29 Concentrations of total nitrogen, ammonium nitrogen, total phosphorus and organic carbon in surface waters at Atleverket.

I figur 3.30 visas halter av arsenik, krom, koppar och bly i det vatten som avrinner på tätskiktet (samlas upp i lysimeter ”Drän FSA”). Halterna jämförs med Naturvårdsverkets klassning av ytvatten [10]. I diagrammen finns också resultat för kontrollpunkter i ytvatten vid deponin. Det kan konstateras att halterna av samtliga här redovisade metaller i avrinnande vatten på FSA-ytan är höga. För koppar och bly, och vid något tillfälle även krom, har förhöjda halter uppmätts även i kontrollpunkterna för ytvatten. Detta tyder på att det även finns andra källor till förhöjda halter, t.ex. andra material som används på deponin.

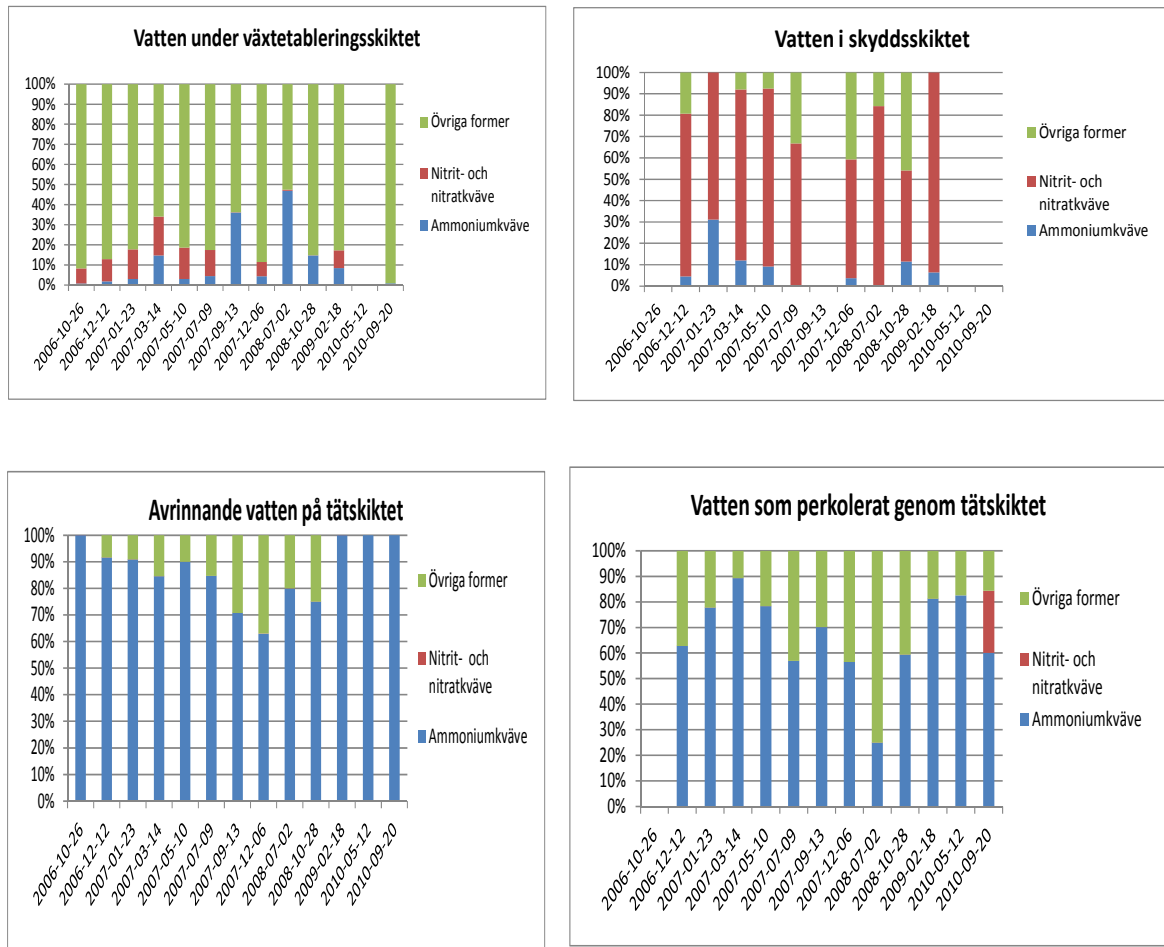
Halterna av övriga undersökta metaller, t.ex. kadmium, nickel och zink, är lägre i förhållande till jämförvärdena.



Figur 3.30 Halterna av a) arsenik, b) krom, c) koppar och d) bly i avrinnande vatten från tätskiktet relaterat till ytvattenprovtagning vid deponin och tillstånd Klass 2 i vatten, Naturvårdsverket [10].

Figure 3.30 Concentrations of a) arsenic, b) chromium, c) copper and d) lead in draining water related to surface water sampling at the deposit and state (tillstånd) Class 2 according to Naturvårdsverket [10]).

Vid Atleverket utfördes också analyser i olika nivåer under växtetableringsskikt och i skyddsskiktet för att kunna bedöma en eventuell påverkan från dessa lager. Vid Atleverket har totalkväve, ammoniumkväve samt nitrit- och nitratkväve analyserats från olika nivåer i täckningen. De olika nivåerna är 1-2 dm under markytan, 1 m ner i skyddsskiktet (ej i kontakt med FSA), avrinnande vatten på tätskiktet samt direkt under tätskiktet. Det kan konstateras (se figur 3.31) att vatten i växtetableringsskiktet och i skyddsskiktet till stora delar utgörs av nitrit och nitrat eller övriga (ej analyserade) förekomstformer av kväve. I det vatten som avrinner på FSA-ytan och det som perkolerat genom FSA förekommer kväve huvudsakligen i form av ammoniumkväve.

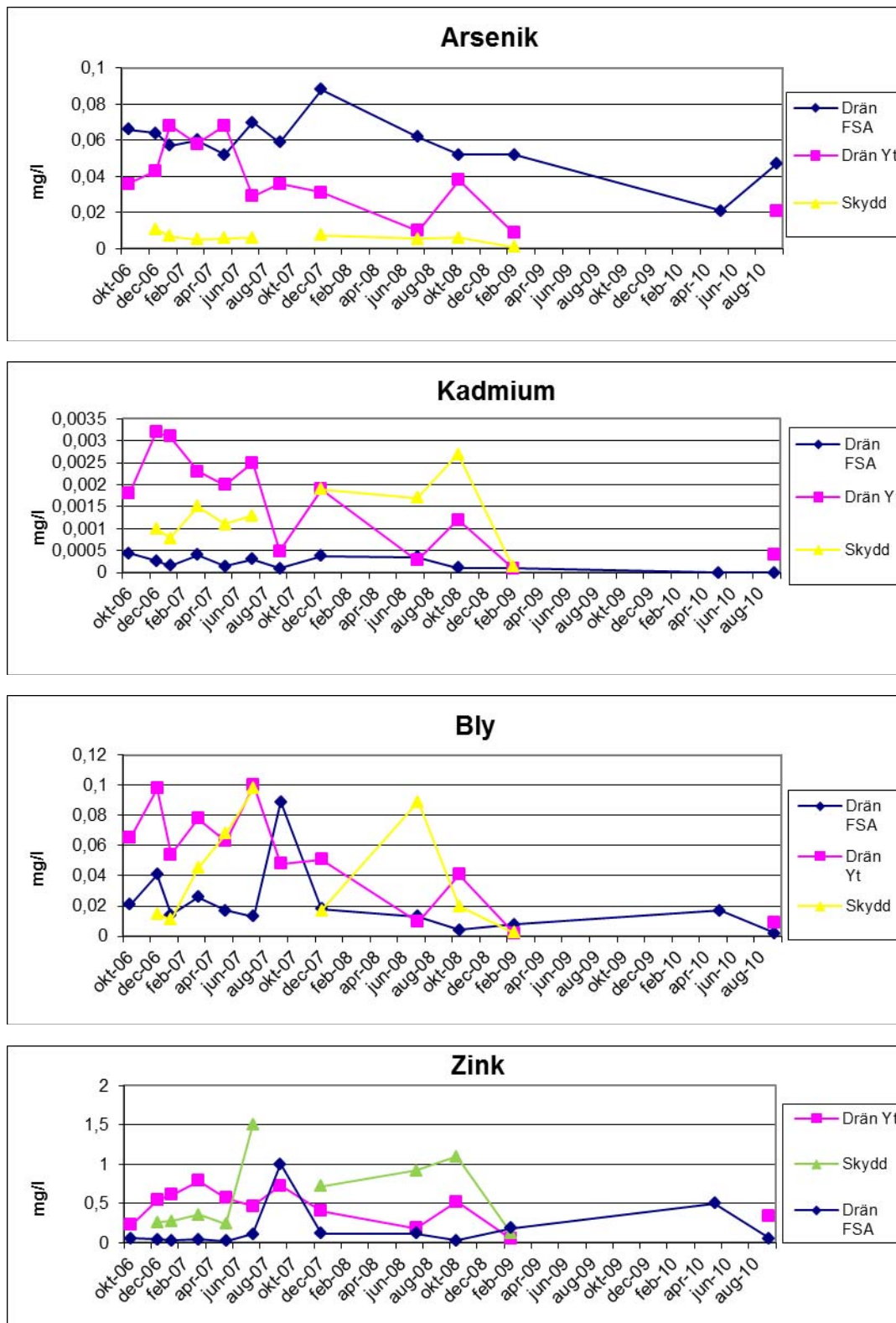


Figur 3.31 Halter av kvävefraktioner i lysimetrar och i avrinningsvatten från olika skikt från Atleverket.

Figure 3.31 Concentrations of nitrogen species in lysimeters and drainage waters from different layers (Atleverket, Örebro).

Metaller har också analyserats i alla prov från de olika nivåerna (figur 3.32).

Skyddsskiktet utgörs av schaktmassor, ofta i form av s.k. MKM-massor som härrör från efterbehandling av förorenade områden. MKM (Mindre Känslig Markanvändning) innebär att markkvaliteten på ett område är begränsande för användningen enligt Naturvårdsverkets klassning (2009). Områden med föroreningshalter upp till MKM-värdet kan användas för vägar, industrier, kontor, affärsområden etc. MKM-massor definieras som massor med föroreningshalter upp till riktvärdet för MKM. Därmed kan massorna i skyddsskiktet innehålla metaller som kan lakas ut och bidra till de halter som uppmätts i lysimetervattnet. I diagram nedan (figur 3.32) finns uppmätta halter i vatten uppsamlat strax under markytan (Drän Yt), i skyddsskiktet (Skydd) och det vatten som avrinner på FSA-ytan (Drän FSA) för några grundämnen. Det kan noteras att halterna är i samma nivå, i några fall högre, i de ovanliggande skikten jämfört med på FSA:n. Således bedöms FSA-materialet inte vara den enda källan till metaller i avrinnande vatten och ursprunget för de höga halterna kan inte fastställas.



Figur 3.32 Halterna av a) arsenik, b) kadmium, c) bly och d) zink i avrinnande vatten från ytskikt, skydds-skikt och avrinnande vatten från FSA.

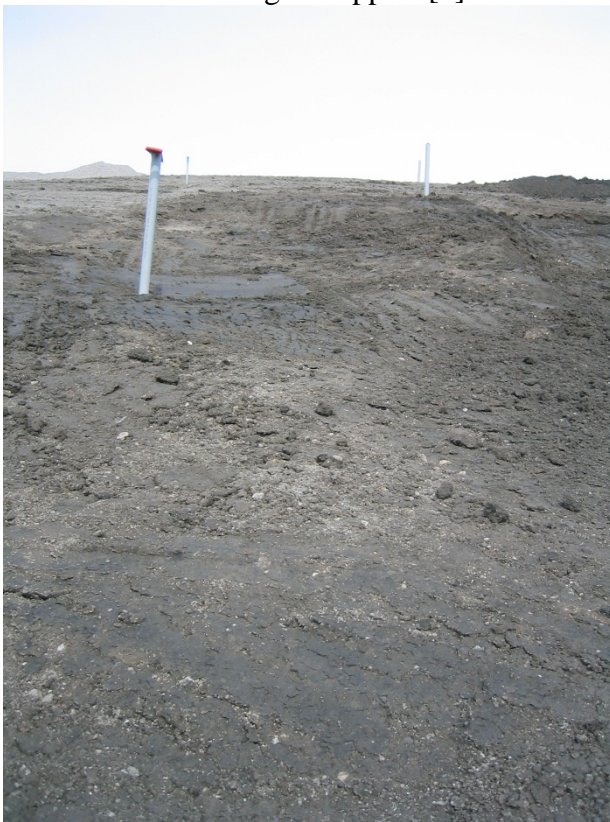
Figure 3.32 Concentrations of a) arsenic, b) cadmium, c) lead and d) zinc in draining water from surface layer, protective layer and draining water from FSS.

3.6 Sofielund – SRV återvinning, Huddinge

3.6.1 Bakgrund Sofielund

På SRV återvinnings anläggning Sofielund i Huddinge kommun, anlades en provyta av FSA under sommaren 2005. Den FSA-blandning som användes utgjordes av 15 % slam, 40 % flygaska och 45 % bottenaska. Orsaken till inblandning av bottenaska var främst att förbättra hållfastheten för materialet. Den aktuella blandningen bedömdes ha tillfredställande hållfasthet och hydraulisk konduktivitet.

Vid utläggning av ytan installerades ett flertal typer av utrustning för uppföljning av vattenvolymer, vattenkvalitet, sättningar och gassammansättning, se bild 3.33. Uppföljning av tätskiktets funktion har utförts sedan juni 2005. Resultat fram till hösten 2008 redovisas i tidigare rapport [2].



Figur 3.33 Skyddsror för prover för gasprovtagning på provytan på Sofielund. (foto: Märta Ländell)

Figure 3.33 Protective tube for probes for sampling of gas at the sample area at Sofielund (photo: Märta Ländell)

3.6.2 Insamlade data Sofielund

Under denna uppföljningsperiod (våren 2010-januari 2011) har undersökningar av vatten utförts på provytan vid SRV:s anläggning i Sofielund. Halter från provtagningar i Sofielund redovisas i Bilaga E, Huddinge, Sofielund. Vattenvolymer som nått lysimetrarna har kontrollerats under sommaren. Provtagning för analys har utförts vid två tillfällen. Fyra lysimetrar och två avrinningsytor finns installerade, enligt tabell 3.15. Lysimetrarna är konstruerade så att de ska samla upp vatten från en viss yta, medan

avrinningsytorna samlar upp vatten som avrinner på tätskiktet uppströms avrinningsytan.

Sammanställning av undersökningarna finns i tabell 3.15. Övrig provtagningsutrustning har inte utnyttjats under denna period. Resultat från tidigare uppföljning finns i tidigare rapport [2]. Peglar för sättningsmätning och uttagspunkter för porgas har delvis blivit övertäckta vid uppläggning av massor för sluttäckning av angränsande delar av deponin. Därmed är en del av dessa installationer inte längre användbara.

Tabell 3.15 Beskrivning av lysimetrar och avrinningsytor på provytan på Sofielund, SRV återvinning.

Table 3.15 Description of lysimeters and drainage areas at Sofielund

Beteckning	Typ och placering	Uppsamlingsarea (m ²)
ÖL1:20	Lysimeter över tätskiktet, flack delyta	4
UL1:20	Lysimeter under tätskiktet, flack delyta	16
AVR1:20	Avrinningsyta, flack delyta	Ej definierad
ÖL1:3	Lysimeter över tätskiktet, brant delyta	4
UL1:3	Lysimeter under tätskiktet, brant delyta	16
AVR1:3	Avrinningsyta, brant delyta	Ej definierad

Tabell 3.16 Tidpunkter för undersökningar på provytan på Sofielund, SRV återvinning.

Table 3.16 Investigations on sample area at Sofielund

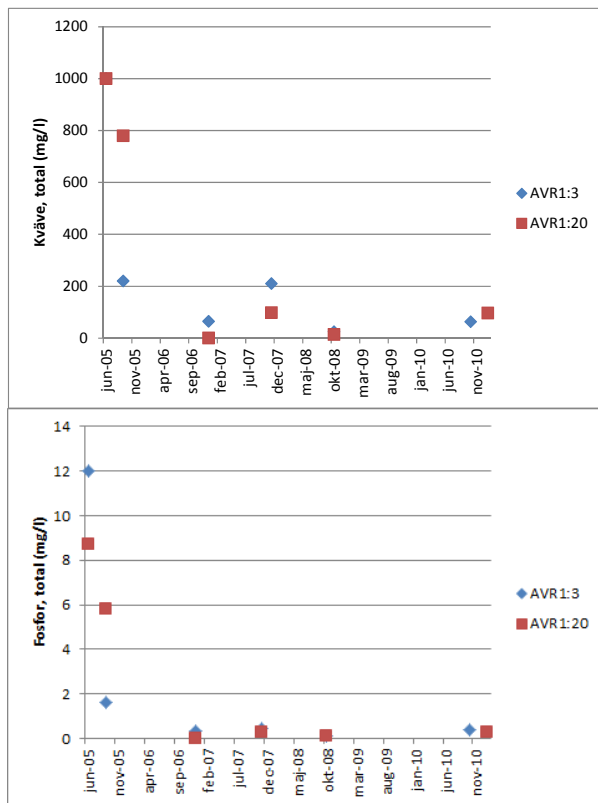
Undersökning	Tidpunkt (time)	
Volymkontroll, lysimetrar och avrinningsytor	Sommaren 2010	
Vattenanalys, lysimetrar och avrinningsytor	September 2010	Januari 2011

3.6.3 Resultat Sofielund

Lysimetrarna på Sofielund är kopplade till dunkar som rymmer 25 l. Dessa töms manuellt i samband med provtagning och kontroll av volym. Denna lösning för volymmätning kräver att dunkarna töms regelbundet. Tidigare har dunkarna för avrinningsytorna fyllts mycket snabbt och det har runnit över vid flera tillfällen. Om dunkarna får stå för länge mellan tömningarna kan det också medföra att uppsamlat vatten avdunstar eller kemiska förändringar i vattnet. Viss risk finns också att nederbörd når dunkarna direkt.

Den volym vatten som nått uppsamlingskärnen för lysimetrar och avrinningsytor har kontrollerats under en kort period under sommarhalvåret 2010. Samtliga dunkar tömdes i maj. I juli kontrollerades dunkarna och en volym om ca 17 liter tömdes från ÖL1:20. I övriga dunkar var volymerna små, och de tömdes därför inte. I september tömdes ca 15 liter från UL1:20 och ca 20 liter från AVR1:3. I de övriga, även ÖL1:20, fanns endast mycket litet vatten. Från dessa volymer beräknas genomströmmad volym per år och ytenhet, utom för avrinningsytan där uppsamlingsarean inte är definierad. Den volym vatten som når lysimetern över tätskiktet uppgår till 30 l/(m²·år). Detta kan jämföras med 35 l/(m²·år), som uppmättes under perioden december 2006 till december 2007. I lysimetern under tätskiktet uppmättes volymen 3 l/(m²·år). Tidigare uppmätt volym i de undre lysimetrarna har uppgått till 0,1-0,3 l/(m²·år), vilket bedömts vara orimligt lågt i förhållande till resultat från laboriemätningar av materialets täthet. Årets resultat (3 l/(m²·år)) indikerar att FSA:n med god marginal uppfyller funktionskravet för ett tätskikt på en deponi för icke farligt avfall.

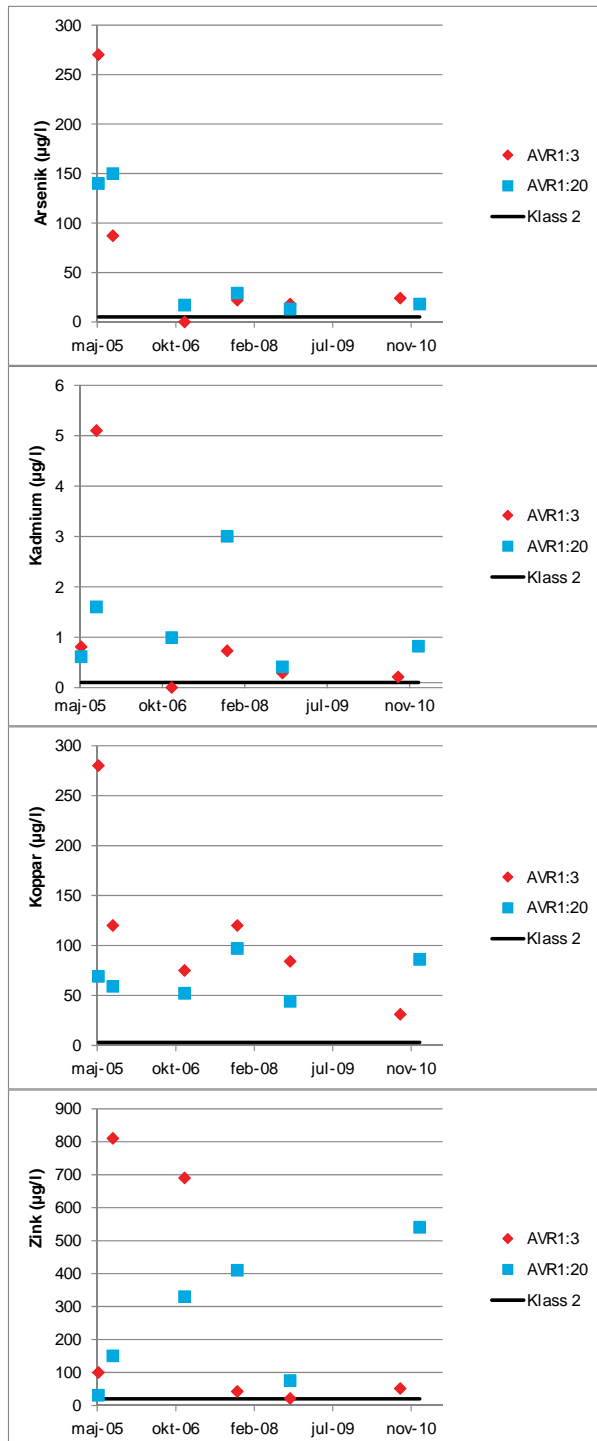
Halter av näringsämnen i det vatten som avrinner på FSA-ytan presenteras i diagram i figur 3.34. Jämfört med Naturvårdsverkets klassning [10] är uppmätta halter ”extremt höga”, med något undantag då halterna var lägre. Det kan dock konstateras att initialt, efter anläggning av provytan, uppmättes mycket förhöjda halter. Detta gäller för provtagningarna i juni och september 2005. Därefter dröjde det till december 2006 innan ny provtagning utfördes. Vid detta tillfälle (ca 1,5 år efter anläggning av ytan) hade näringsämneshalterna sjunkit och sedan legat på en jämn nivå. Avrinnande vatten från den del av deponin där FSA-ytan är belägen samlas upp i diken tillsammans med vatten från andra typer av verksamhetsytor. Det går därför inte att dra några slutsatser om förändringar i avrinnande vatten från deponin, orsakade av anläggande av FSA-provytan.



Figur 3.34 Halterna av a) totalkväve och b) fosfor i avrinnande vatten från tätskiktet i Sofielund.

Figure 3.34 Concentrations of a) total nitrogen and b) phosphorus in draining water from the liner at Sofielund.

Uppmätta halter av några metaller i avrinnande vatten presenteras i figur 3.35. Halterna överstiger nivån för klass 2 enligt Naturvårdsverkets klassning [10]. De metaller som uppvisar högst halter i förhållande till jämförvärden presenteras, men flera metaller förekommer i förhöjda halter. Det kan konstateras att halterna av arsenik, kadmium, koppar, krom, nickel och bly har sjunkit sedan provytan byggdes 2005. Zinkhalterna uppvisar en sjunkande trend för den ena lysimeterna och en stigande för den andra. Zink kan också härröra från andra delar i deponitäckningen, som t.ex. dräneringsskiktet.



Figur 3.35 Halterna av a) arsenik, b) kadmium, c) koppar och d) zink i avrinnande vatten från tätskiktet relaterat till tillstånd Klass 2 i vatten, Naturvårdsverket [10].

Figure 3.35 Concentrations of a) arsenic, b) cadmium, c) copper and d) zinc in draining water from the liner related to state (tillstånd) Class 2 in water according to Naturvårdsverket [10].

Vid tidigare uppföljning noterades mycket anmärkningsvärda resultat för det vatten som samlades upp i lysimetern under tätskiktet på den flacka delytan, se [2]. Under hösten 2008 uppmättes pH 3,6 och kraftigt förhöjda halter av kväve, kalcium, kalium, natrium, koppar, mangan, zink, aluminium etc., se figur 3.36. Olika orsaker till detta

diskuterades, men inga säkra slutsatser kunde dras. Vid de provtagningar som utfördes hösten och vintern 2010/2011 hade pH-värdet åter stigit till samma nivå som under 2005. Halterna av näringsämnen och metaller var i flera fall högre än under 2005, men har sjunkit kraftigt sedan 2008.

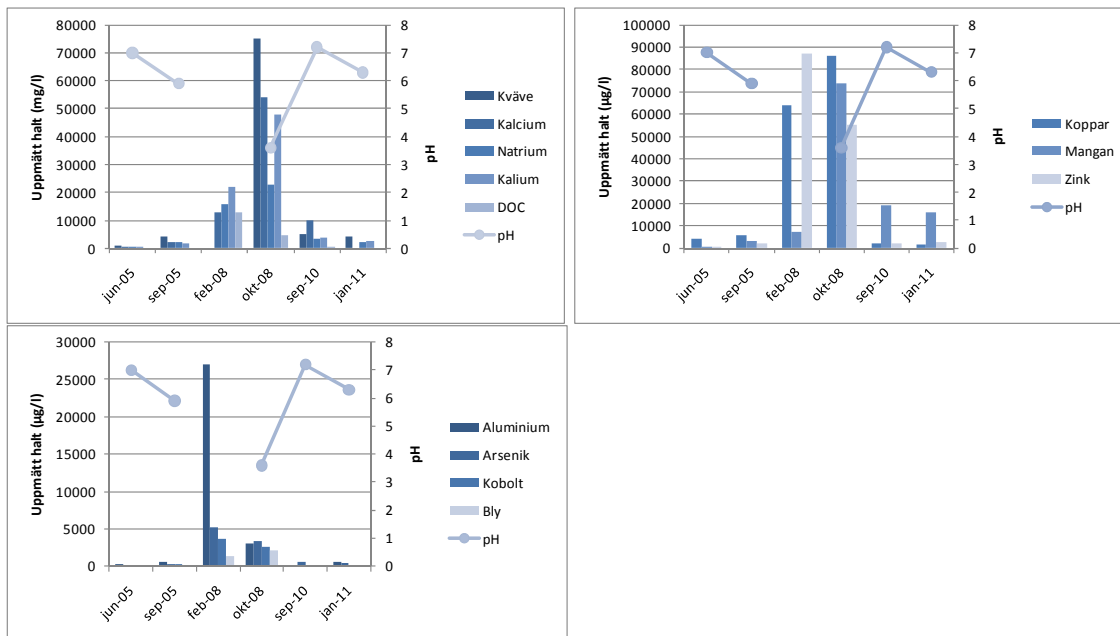


Figure 3.36 Resultat för näringsämnen, DOC, metall och pH för vatten som passerat tätskiktet (lysimeter under tätskiktet på den flacka delytan).

Figure 3.36 Results for nutrients, DOC, metals and pH for water passing the liner (lysimeter below the liner on the flat part of the test area).

4 Praktiska erfarenheter från utförandet

4.1 Olika deponier - olika förutsättningar

I detta projekt undersöktes FSA-skiktets egenskaper på sex olika lokaler, Dragmossen (Älvkarleby), Lilla Nyby (Eskilstuna), Atleverket (Örebro), Gärstadverket (Linköping), Blåberget (Sundsvall) och Sofielund (Huddinge). Undersökningar har pågått sedan 2001 och i fält sedan våren 2004. Det finns stora likheter men också skillnader vad gäller utförande och lokala förutsättningar. Det bör noteras att Sofielund använde en blandning av 15 % avloppsslam, 40 % flygaska och 45 % bottenaska. Denna blandnings geotekniska och miljöegenskaper skiljer sig från de FSA-blandningar som studeras på de andra lokalerna.

På Dragmossen utfördes sluttäckningen FSA som ett utvecklingsprojekt, där pilotförsöket på 2000 m² enbart har FSA som tätskikt. Geotextil, som materialavskiljande skikt, användes inte mellan FSA och dräneringsskiktet. Resterande 1 hektar deponiyta har sluttäckts med ett komposittätskikt, där FSA-skiktet överlagras av geomembran ((LLPDE)). Pilotförsöksytan instrumenterades med lysimetrar i skydds-, drän-, tät- och avjämningslagren. Pilotförsöket utfördes våren 2004.

På Blåberget anlades ett pilotförsök på ca 400 m² hösten 2004. Skyddsskiktet består av ca 1,3 m moränlager och gummiklipp användes i dräneringsskiktet. Geotextil, som materialavskiljande skikt, användes ovanpå dräneringsskiktet. Lysimetrar installerades under FSA-skiktet för att mäta täthet och det perkolerade vattnets kvalitet (halter av metaller). Pilotförsöket avslutades 2005 (november) eftersom mängden vatten som perkolerade genom tätskiktet inte räckte till för analys. Vidare gjordes bedömningen att sluttäckning inte var aktuell förrän ca 2015 och att de material, slam och aska, som då kommer att användas, kommer att skilja sig från dagens. Nytt pilotförsök planeras senare.

På Lilla Nyby sker sluttäckning med FSA som tätskikt sedan 2005. Arbetet har ”industrialiserats” med rutiner och kontroll som i stort följer vägledningen enligt [1]. Verksamheten startade hösten 2005 med en pilotyta på 1 hektar och idag är ca 7 hektar sluttäckt. Geotextil, som materialavskiljande skikt, användes under och över dräneringsskiktet. Sedan 2008 går dräneringsvattnet från deponin till ett dräneringsdike öster och väster om deponiytan. Dräneringsvattnets kvalitet/tillstånd från hela deponiytan följs upp genom provtagning från dessa diken. Dräneringsvattnet pumpas idag till lakvattenbassängen, men det finns möjlighet att pumpa det uppsamlade dräneringsvattnet direkt till recipienten.

På Atleverket anlades en provyta under 2006 med FSA som tätskikt. Ytan är ca 1 500 m². Inget materialavskiljande skikt användes mellan FSA och dräneringsskiktet. Under 2008-2010 har ytterligare ca 2 ha sluttäckts med ett komposittätskikt, där FSA-skiktet överlagras av ett geomembran. På provytan installerades lysimetrar för uppsamling av vatten i växtetableringsskiktet, i skyddsskiktet, i dränskiktet och strax under tätskiktet. Sluttäckt yta följs upp genom kontroll av ytvatten norr om deponin.

På Gärstad deponi utfördes ett pilotförsök under hösten 2004. Ytan är ca 5 500 m² stor och har enbart FSA som tätskikt. Geotextil, som materialavskiljande skikt, användes

mellan FSA och dräneringsskiktet. Provytan är indelad i delytor med något olika konstruktion, för jämförelse. På de olika delarna finns utrustning för insamling av vatten över och under tätskiktet och för gasprovtagning på olika nivåer.

På SRV återvinnings anläggning, Sofielund i Huddinge kommun, anlades en pilotyta på ca 1 000 m² under sommaren 2005. Tätskiktet utgörs av FSA, med inblandning av bottenaska. På ytan finns utrustning för provtagning av vatten och gas. Geotextil, som materialavskiljande skikt, användes mellan FSA och dräneringsskiktet.

4.2 Utförande vid sluttäckning

Hanteringen och blandningsprocessen av flygaska och avloppsslam är kritiska faktorer för FSA-materialets kvalitet. Erfarenheter från de deponier som utför sluttäckning (Atleverket och Lilla Nyby) är att kvaliteten, särskilt vattenhalten, hos slam och aska är en viktig faktor. Blöta massor medför att FSA-blandningen blir svårhanterlig. Nedan görs en sammanställning av erfarenheter från blandningsförfarandet och hur detta har utvecklats sedan vägledningen utförd av [1]. Utläggning av FSA är en annan viktig faktor som varierar mellan de olika lokalerna. En sammanställning görs därför av utläggningsteknik, rekommenderad tid för blandning och utläggning och vunna erfarenheter. Den längsta erfarenheten finns i Eskilstuna (Lilla Nyby) och Atleverket (Örebro).

4.2.1 Lilla Nyby

Tillverkningen av FSA följer i stort sätt den metodik som beskrivs av [1]. Ytan där blandningen av flygaska och avloppsslam utförs är asfalterad, vilket har lett till ökad blandningskvalitet och att ALU-skopans livslängd har ökat i och med mindre slitage orsakat av grus. Det har byggts en avlastningsficka för flygaska och en för slam. Baserat på flygaskans och avloppsslammets vattenkvot förblandas 50 % TS flygaska med 50 % TS avloppsslam med vanlig skopa. Denna första blandning utförs dag 1. Nästa blandning utförs ett par veckor senare med ALU-skopa, se figur 4.1. Blandningen lagras i stack under drygt en månads tid innan en ny blandningsomgång med ALU-skopa sker. Den sista blandningen med ALU-skopa utförs ytterligare en månad senare. Utläggningen sker i anslutning till den sista blandningen. FSA läggs ut i ca 0,6 m tjocklek i 5 m breda våder, som täcks direkt med dräneringsskikt och minst 0,5 m skyddsskikt.



Figur 4.1 Blandning av FSA med ALU-skopa (Bild: Magnus Jakobsson, Eskilstuna Energi och Miljö AB)

Figure 4.1 Mixing of fly ash stabilized sewage sludge with ALU-mixer (Photo: Magnus Jakobsson, Eskilstuna Energi och Miljö AB)

4.2.2 Atleverket

Även vid Atleverket i Örebro följer tillverkningen av FSA i stort sett metodiken som beskrivs i vägledningen [1]. Avjämning av deponin utförs med fyllnadsmassor, främst morän men med inslag av lera. Ovanpå avjämningskiktet läggs pannersand för gasdränering på de delar av deponin där det förekommer gasavgång.

Flygaska och slam grovblandas först med hjullastare. Vattenkvot och densitet har kontrollerats, så att materialen kan mätas upp med skopa till blandningsproportionerna 52-56 % aska baserat på torrsvikt (FSA52-FSA56). Det grovblandade materialet läggs upp i limpa/hög och lagras upp till en månad. Därefter blandas materialet med ALU-skopa. För att materialet ska bli väl blandat och homogent får det gå igenom skopan två gånger. Man har konstaterat att blandningen med ALU-skopa underlättas om materialen grovblandats först och om det grovblandade materialet lagrats några dagar. Lagring och blandning sker på en iordningställd asfalterad yta. Totala antalet blandningar kan variera. Askan finns i huvudsak tillgänglig under vinterhalvåret och lagras tills blandning ska utföras. Fördel med detta är att lagrad aska dammar betydligt mindre än färsk, vilket dels gör att materialen blandar sig bättre och dels är bättre ur arbetsmiljöhänseende. Asfalten minskar risken för inblandning av främmande material. Vidare ligger ytan i lä, då den är omgiven av skog på tre sidor. Detta minskar risken spridning av ammoniak med vinden.

FSA:n körs ut på deponin med dumper och läggs ut i våder. Materialet läggs ut 60-80 cm tjockt och kompakteras med skopa till 40-50 cm, se figur 4.2. FSA:n har under arbetets gång bedömts vara relativt okänsligt för kortare perioder av uttorkning och nederbörd. Endast den ytligaste delen har påverkats och materialet har återtagit sina ursprungliga egenskaper vid ändrade väderleksförhållanden. Därefter täcks FSA:n med geomembran (LLPDE) och dräneringsmatta. Slutligen läggs skyddsskiktet, bestående av schaktmassor, på.



Figur 4.2 Utläggning av FSA. (Foto: Michael Kempfi, Atleverket)

Figure 4.2 Construction of the FSS liner. (Photo: Michael Kempfi, Atleverket)

5 Syntes/Diskussion

5.1 Täthet

Generellt visar resultaten att tätheten hos sluttäckningskonstruktionen med FSA som tätskikt ökar med tiden. Gemensamt är också att FSA komprimeras med 15 – 40 % av den utlagda tjockleken. Kompressionen medför att porvatten i FSA pressas ut dels i dräneringsskiktet och dels i avjämningskiktet. Deponiytorna med FSA var vid mättillfället hösten 2010 mellan 4,5 och 6,5 år gamla. Tätheten bedöms idag ligga under 10 mm/år i samtliga mätpunkter, oberoende av deponi, med ett par undantag. Undantagen avser en lysimeter på Gärstad, där frånvaron av dräneringsskikt medför att ett högt vattentryck byggs upp på tätskiktet, samt de två (av totalt 13) lysimetrar på Lilla Nyby där lokala sättningar även där byggt upp ett högt vattentryck. Undersökningar av fast material på provytan på Gärstad deponi bekräftar att tätheten är hög. Laboratorieförsök på upptaget material gav en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-9}$ m/s efter sex år. Resultaten från Blåberget avseende slangställningsmätningar som visar en kompression av materialet är ytterligare en oberoende indikation på att tätheten är bra och att den ökar med tiden. Lysimetrarna på Blåberget avslutades på grund av att FSA-skiktet var för tätt och inget vatten kunde skickas för analys.

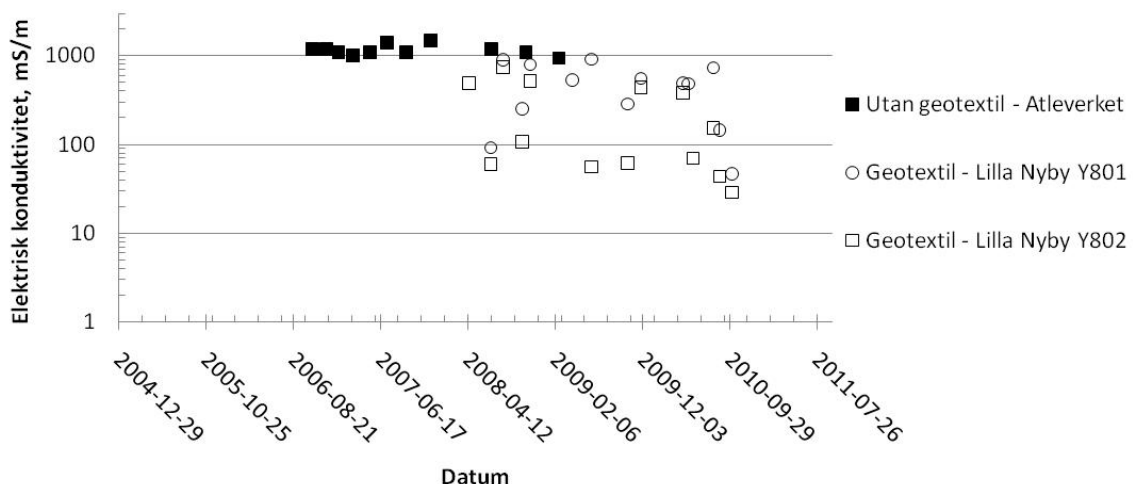
Även i övrigt kompletterar de undersökta deponiytorna varandra. Olika flygaskor har används i de olika projekten, från färska askor med höga halter av sulfater och klorider samt högt pH, till askor som har lagrats och har lägre ursprungshalter samt lägre pH. För de fall där askorna är färska visar undersökningen att utlakningen är begränsad. Analys på vatten som har perkolerat FSA på Dragmossens visar att pH är i stort sett oförändrat > 9 , att DOC halten är på samma nivå som vid den första mätningen 6,5 år tidigare. Detta tyder på att utlakningen är mycket långsam. Även på Atleverket har pH legat relativt konstant på 8-9 sedan provytan anlades. DOC-halter har inte kontrollerats, men TOC-halten på det perkolerande vattnet har uppmätts. Halterna har varierat kraftigt över tiden, och någon stigande eller sjunkande trend kan inte säkerställas. På Gärstad har pH sjunkit något, från ca 8-9 till ca 7,5, medan DOC-halten är ungefär på samma nivå som vid den första provtagningen. På Lilla Nyby var mängden vatten som samlades upp under FSA-skiktet för liten för att DOC-halterna skulle kunna kontrolleras. Generellt kan sägas att efter 4,5 – 6,5 år är L/S-kvoten i storleksordningen 0,1. Med dagens perkolationshastighet kommer utlakning motsvarande L/S 10 att uppnås först efter 100-tals år.

5.2 Dräneringsvattnets kvalitet

På Lilla Nyby kan dräneringsvattnets tillstånd för hela deponitäckningen följas upp, eftersom det är dräneringsvatten från uppsamlingsdiken som avvattnar deponiytan på 7 hektar som provtas. Under provtagningsperioden pågick sluttäckningsarbeten etappvis på deponiytan. Dräneringsvattnets halter varierar i och med att det finns ”färsk” ytor som inte är skyddade av skyddsskikt och ytor som har försetts med skyddsskikt och där FSA komprimeras. Kompression leder till att pressvatten från FSA höjer halten av bl.a. DOC, kväve och metaller i dräneringsvattnet. Här kan också konstateras att halterna minskar inom några månader efter att ett område är avslutat och pressvattnet har sköljts ur från dräneringslagret, se Figur 5.1 och Figur 5.2.

För provytan på Gärstad deponi har uppföljning av dräneringsvatten som når lysimetrar på ytan gjorts under sex år. Detta vatten skiljer sig alltså från det som kontrolleras på Lilla Nyby, genom att det utgörs av just det vatten som avrinner på FSA-ytan medan dräneringsvattnet på Lilla Nyby är ett samlingsvatten av avrinning på alla nivåer i täckningen. Det vatten som avrinner på FSA-ytan på Gärstad uppvisar initialt kraftigt förhöjda halter av näringsämnen och metaller. Halterna sjunker efter 0,5-1 år och har sedan dess legat ungefär konstant. Även här antas detta bero på att vatten pressas ut ur FSA:n och sedan sköljs bort.

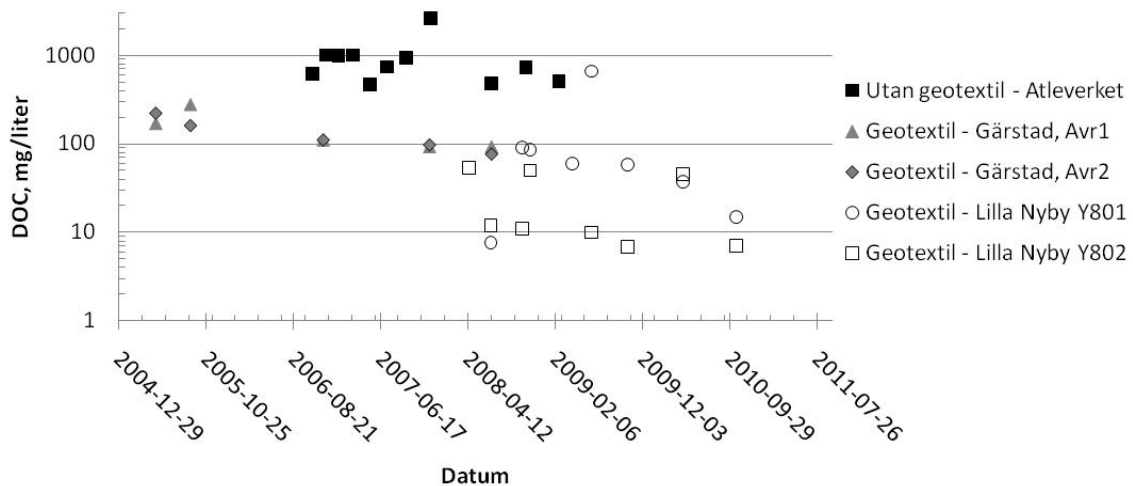
På Atleverket har en lysimeter på 40 m² installerats i dräneringsskiktet på provytan i syfte att följa upp hur dräneringsvattnets halter klingar av. Här kan inte samma effekt ses som på Lilla Nyby och Gärstad. Halterna i lysimetern är höga under hela mätperioden på ca fyra år. På Lilla Nyby minskar exempelvis dräneringsvattnets konduktivitet från ca 1000 mS/m till < 30 mS/m inom några månader efter avslutad sluttäckning, Figur 5.1. I fallet Atleverket pendlar dräneringsvattnets elektriska konduktivitet runt 1000 mS/m under tre års tid efter avslutad sluttäckning. På motsvarande sätt sjunker kvävehalterna från några hundra mg/liter till under 3 mg/liter i dräneringsvattnet på Lilla Nyby. De senare motsvarar haltnivåer som finns i recipienten. På Atleverket ligger halterna runt 1000 mg/liter under hela mätperioden se Figur 5.3.



Figur 5.1 Dräneringsvattnets elektriska konduktivitet i dräneringsvatten från Lilla Nyby och Atleverket.

Figure 5.1 Measured content of electric conductivity in the drainage water from Lilla Nyby (Y801 & Y802) and in surface waters upstream from the landfill (Y503&506) compared to drainage water conditions at Atleverket.

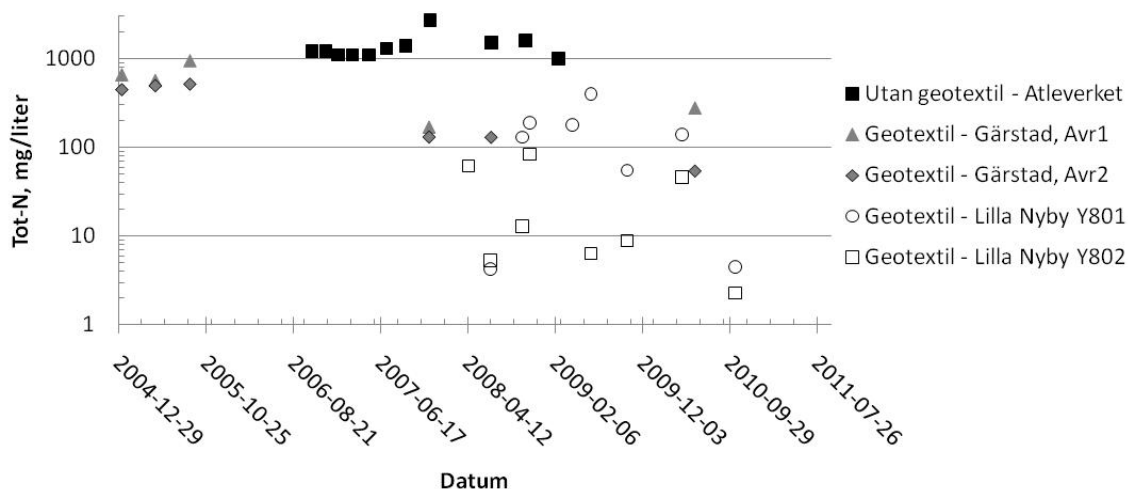
Även för metaller ses liknande trender. Metallhalterna i dräneringsvatten från FSA-ytan på de platser där FSA och dräneringsmaterial är åtskilda, är initialt mycket höga men sjunker relativt snabbt till en lägre nivå. Där geotextil inte används för separering av FSA och dräneringsmaterial ses inte denna trend. I figur 5.4 visas uppmätta halter av bly, som exempel på detta. De totala mängderna kväve och metaller som dräneringsvattnet har sköljts ut via dräneringsvattnet kan inte bedömas i och med att vattenflödet inte är mätt.



Figur 5.2 Dräneringsvattnets halt av DOC i dräneringsvatten från Lilla Nyby och Atleverket.

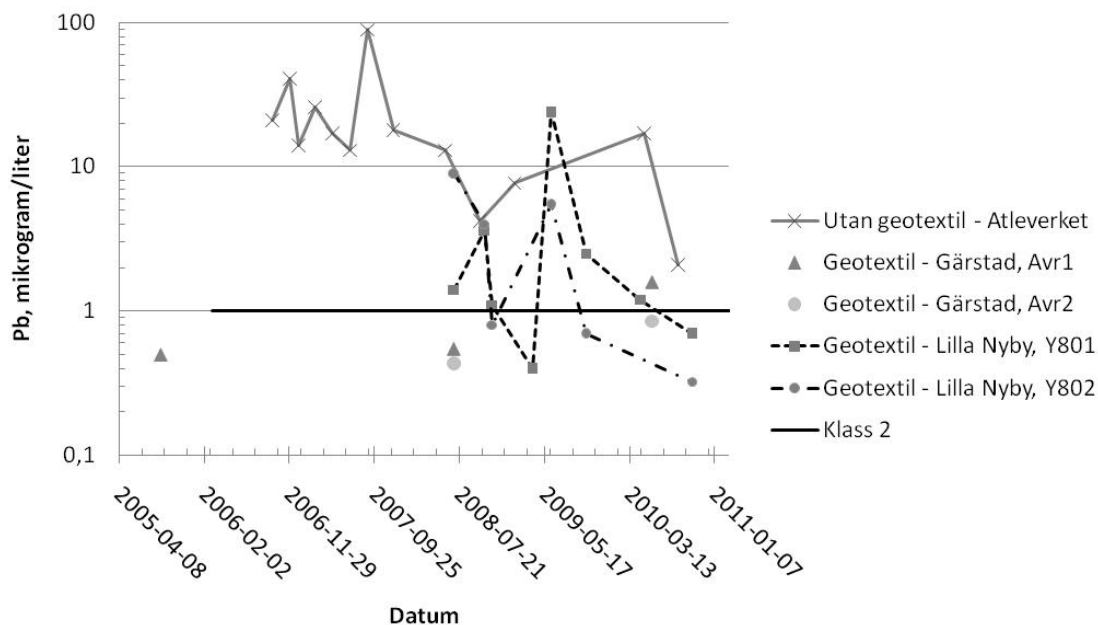
Figure 5.2 Measured content of DOC in the drainage water from Lilla Nyby (Y801 & Y802), Atleverket and Gärstad (Avr1 & Avr2).

En förklaring till att halterna på Lilla Nyby och Gärstadverket minskar efter avslutad täckning kan vara att dräneringslagret omges med materialavskiljande lager. Detta medverkar till att det under kompressionstiden pressas vatten ut ur FSA-skiktet men finmaterialet fångas upp av geotextilen. Samtidigt ger geotextilen en stor angreppsytta vilket förhindrar att grusmaterial pressas in i FSA-skiktet. En principiell beskrivning av hur dräneringslagrets funktion påverkas av materialavskiljande lager redovisas i Figur 5.5. Resultatet blir en förhållandevis jämn yta mellan FSA och dräneringsskikt. Vattnet som tas upp i dräneringsskiktet kan effektivt dräneras ut ur dräneringsskiktet. Vid provtagningen 2006 på Lilla Nyby, ca 6 månader efter installation, fanns ingen tendens till att mer än pressvatten har nått dräneringslagret, se Figur 5.6, b och c.



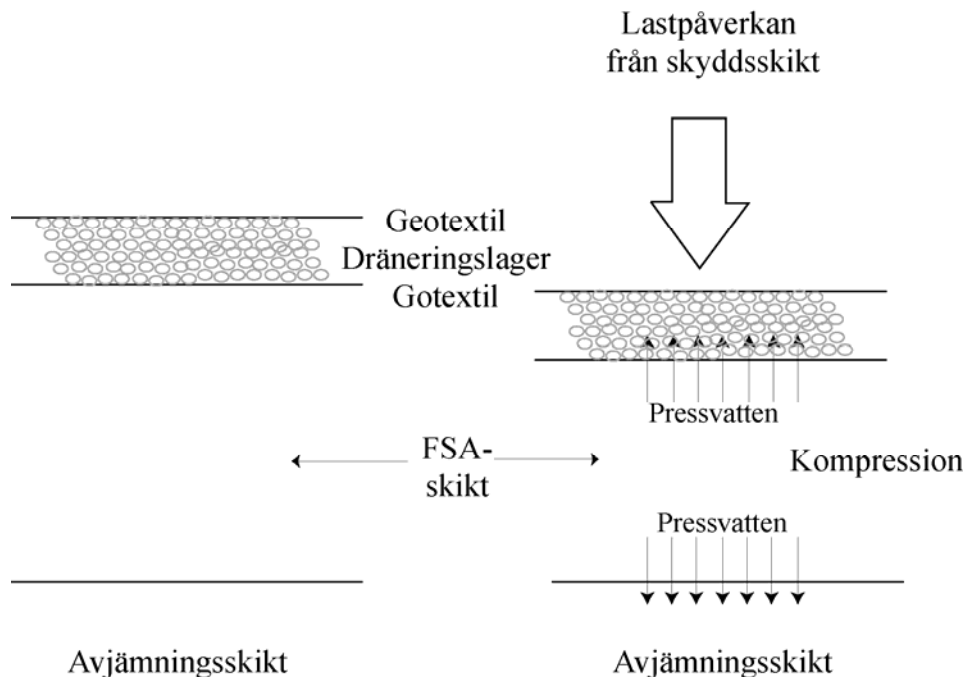
Figur 5.3 Dräneringsvattnets halt av kvävehalt (tot-N) i dräneringsvatten från Lilla Nyby (Y801&Y802), Atleverket och Gärstad (Avr1 och Avr2).

Figure 5.3 Measured content of nitrogen (tot-N) in the drainage water from Lilla Nyby (Y801&Y802), Atleverket and Gärstad (Avr1 and Avr2).



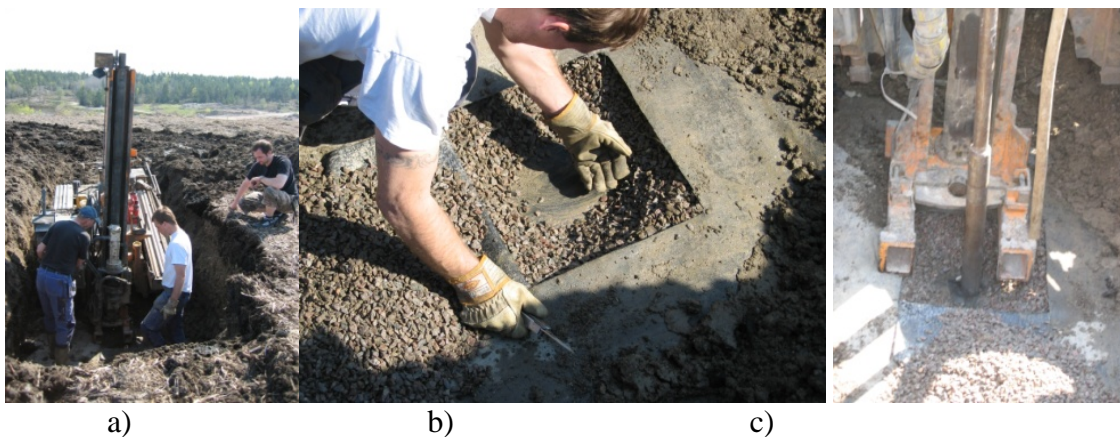
Figur 5.4 Halt av bly i dräneringsvatten som avrinner på FSA-ytan, Atleverket, Gärstad och Lilla Nyby.

Figure 5.4 Content of lead in drainage water from the surface of the FSS-liner, Atleverket, Gärstad and Lilla Nyby.



Figur 5.5 Geotextil som materialavskiljande lager under och över dräneringsskiktet skyddar dräneringslagret från igensättning. Kompression av FSA-skiktet medför att porvatten pressas in i dränerings- och avjämningskiktet.

Figure 5.5 Geotextile as separation layer under and over the drainage layer is an effective protection against blockage. Compression of the fly ash stabilized sewage sludge layer leads to pore water transport in to the cover soil and drainage layers

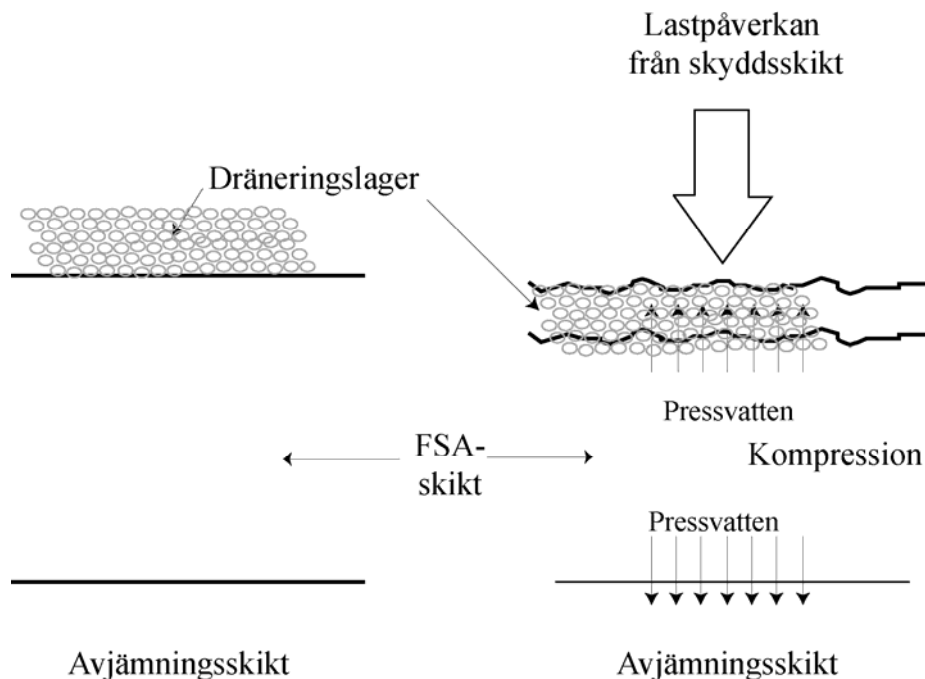


Figur 5.6 a) Provtagning av FSA och kontroll av dräneringsskikt på Lilla Nyby ca 6 månader efter sluttäckning av provytan, b) blottläggning av dräneringslagret inför c) provtagning av FSA.

Figure 5.6 a) Excavation of the protection layer at the landfill site of Lilla Nyby, ca 6 month after closure, b) control of the drainage layer and c) sampling of fly ash stabilized sewage sludge layer.

Utan geotextil som materialavskiljare, kan porvatten och FSA-material pressas in i dräneringslagret och grusmaterial kan pressas in i FSA-skiktet, Figur 5.7. Därmed minskar dräneringslagrets dränerande kapacitet och det finns risk för att FSA lakas och sköljs med dräneringsvattnet. Utan mellan FSA och dräneringslagret blir ojämn med

små svackor där dräneringsvatten kan ansamlas, trots släntlutningar. Ytutlakningen ökar i och med att lagningsytan är stor och att stående vatten kan sköljas ur efter nederbördstillfälle. På Atleverket lades dräneringsskiktet ut direkt ovanpå FSA-skiktet vilket kan förklara de höga halterna och att dessa halter minskar långsamt.



Figur 5.7 Utan geotextil som materialavskiljande lager medför kompressionen av FSA-skiktet att porvatten och FSA-material pressas in i dräneringsskiktet.

Figure 5.7 Without a separation layer compression of the fly ash stabilized sewage sludge layer leads to material transport between the liner and the drainage layer.

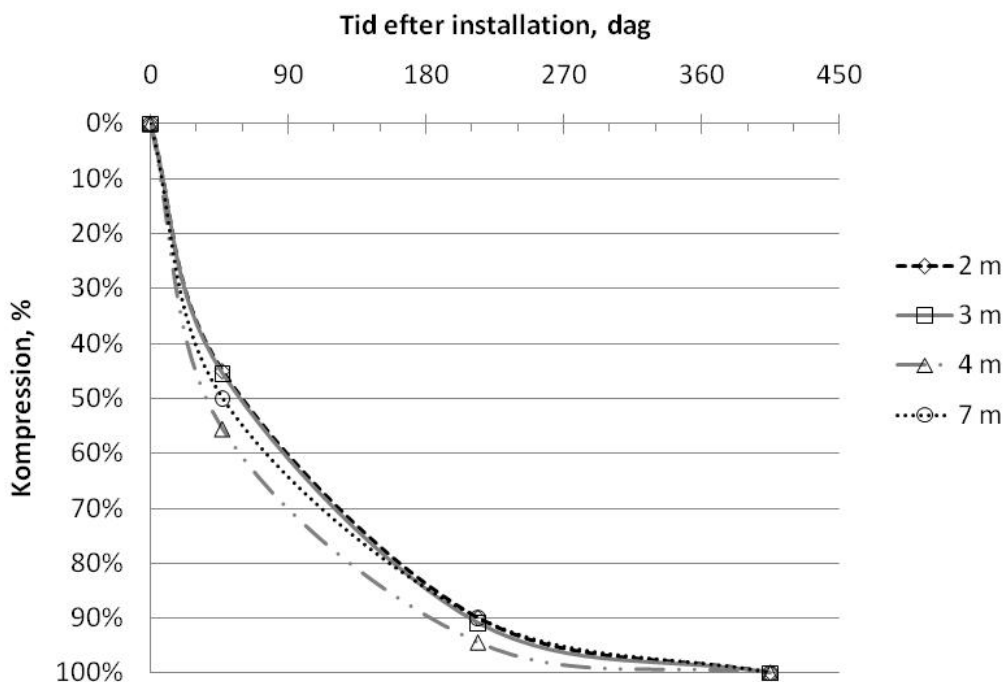
På deponierna Lilla Nyby, Gärstadverket och Sofielund användes geotextil mellan FSA- och dräneringsskikten, se Figur 5.6 och 5.8. Kompressionen medför att porvatten pressas in i dräneringsskiktet, medan det materialavskiljande lagret skyddar effektivt från att finmaterial pressas in i dräneringsskiktet. Geotextilen ger en jämn yta mellan FSA- och dräneringsskikten, vilket leder till att den effektiva ytan som kan lakas är liten. När pressvattnet sköljs ut från dräneringslagret minskar dräneringsvattnets halter. Dräneringsvattnets halter når låga värden inom några månader efter avslutad sluttäckning.



Figur 5.8 Provtagning av fast material på Gärstadverket. September 2010. Geotextilen har hindrat FSA och dränskikt från att tryckas in i varandra.

Figure 5.8 Sampling of fly ash stabilized sewage sludge layer at Gärstadverket, September 2010. Geotextile is an effective separation layer which hinders material transport between liner and drainage layer.

Sättningsförloppet hos FSA studerades med sättnings slang på Blåbergets deponi. Resultaten visar att kompressionen hos FSA skiktet är ca 30 % under det första året, Lenströmer 2006 [7]. Kompressionsförloppet som andel av den totala kompressionen som sker under det första året redovisas i Figur 5.9. Kompressionen under de sista tre månaderna är < 10 % av första årets totala kompression och kompressionskurvan visar att kompressionen planar ut på slutet av året. Efter det första året begränsas omlagringen av material därmed. Detta bekräftas av de undersökningar som gjorts av fast material från Gärstad deponi. Jämfört med vid utläggning har tjocklek för skiktet, vattenkvot och densitet ökat till första undersökningen och sedan varit relativt konstanta. Undersökningarna har också visat att skrymdensiteten hos FSA ökar från 1,1 ton/m³ till ca 1,4 ton/m³ och hållfastheten ökar från 20-30 kPa till 50-60 kPa, vilket till stor del antas bero på kompression av materialet. Minimal kompression, högre densitet och tryckhållfasthet bidrar till att dräneringslagret hindras från att pressas in i FSA-skiktet även om geotextilen bryts ner.



Figur 5.9 Kompressionsförloppet som andel av den totala kompressionen under det första året på Blåbergets deponi. Mätningarna utfördes med slangställningsmätare, 2 m, 3 m, 4 m och 7 m in i testytan, efter Lenströmer (2006).

Figure 5.9 Compression of the fly ash stabilized sewage sludge layer during the first year at Blåberget landfill. The measurements were performed 2 m, 3 m, 4 m and 7 m in from the edge of the test cell, after Lenströmer (2006).

På Sofielund, där 85 % av FSA materialet är aska (40 % flygaska och 45 % bottenaska), konstaterades att kompressionen var liten. Den maximala kompressionen var vid laborieförsök 8 %. Sättningsmätningar bekräftar bilden av att kompressionen var betydligt lägre än på andra deponier. Det bör också noteras att dräneringsvattnets halter av kväve och fosfor visserligen minskar, men halterna av metaller som Cr, Cu och Zn är höga även flera år efter installation. Bottenaska lakar generellt höga halter av bland annat dessa metaller. En annan möjlig förklaring till de höga halterna är att dräneringsmaterialet bidrar till utlakningen av metaller.

Av intresse är också dräneringsvattnets låga pH. I Sofielund kunde ett sjunkande pH konstateras i dräneringsvattnet och 1,5 år efter utläggning var pH ca 3,6. Därefter ökade pH i dräneringsvattnet. Flygaskor har generellt höga pH-värden > 7. Oxidation av sulfidmineraler i drän- och/eller skyddsskiktet kan däremot förklara de låga pH-värden. Oxidation av sulfidmineral leder också till förhöjda halter av metaller.

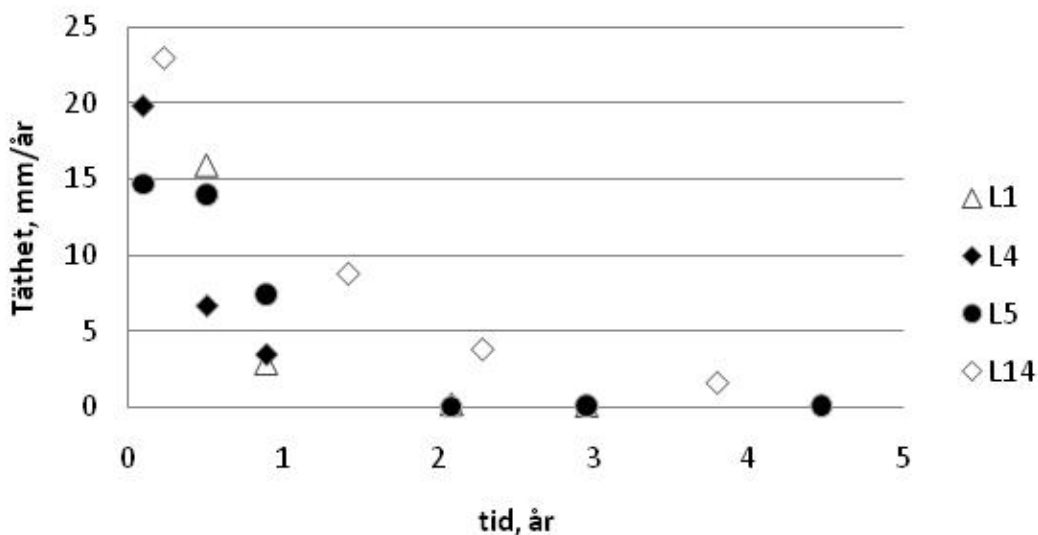
I dagsläget är det omöjligt att bedöma om de förhöjda halterna i dräneringsvattnet orsakades av drän- och/eller skyddsskiktet eller av utlakning från bottenaskan.

5.3 Beständighet

Beständigheten hos ett FSA-tätskikt kan huvudsakligen påverkas av tre faktorer, 1) utlakning/ursköljning av material, 2) nedbrytning av nedbrytbart organiskt material och 3) mekanisk påverkan orsakad av uttorkning och härdning.

5.3.1 Laboratorieförsök

Enligt [2] lakas ca 2 % av FSA-materialet ut som DOC vid L/S 10⁽³⁾. Utlakningen begränsas av FSA-materialets täthet. Utlakningen under de första åren kompenseras av kompression. Som framgår av Figur 5.10 minskar mängden vatten som tränger igenom tätskiktet. Kompressionen ger ett allt tätare material. Den kumulativa L/S kvoten som uppnås efter 4,5 år är ungefär 0,1. Detta ger att det kommer att ta hundratals år att nå L/S 10. Utlakningen bedöms ej påverka FSA-skiktets täthet under överskådlig tid.



Figur 5.10 FSA-skiktets täthet under upp till 4,5 år, Lilla Nyby.

Figure 5.10 Percolation through the FSS layer during a 4,5 year period, Lilla Nyby.

5.3.2 Nedbrytning av organiskt material

Nedbrytning av FSA, dvs. nedbrytning av organiskt material som finns i slammet som ingår i FSA, kan leda till att organiskt material omvandlas till icke fasta föreningar dvs. till gasfas eller löst fas i porvatten. Laboratorieförsök, [3] visar att nedbrytning av FSA hindras effektivt om pH övertiger 9. Hög salthalt bidrar också till att nedbrytningstakten är mycket låg. Laboratorieförsök visar att nedbrytning och gasbildning kan konstateras vid låg tillsats av flygaska. Ökad halt av flygaska medför att nedbrytning av organiskt material bromsas upp och vid 60 % tillsats av flygaska kunde ingen nedbrytning konstateras trots L/S 100. Det perkolerade vattnets kloridhalt i lysimeter på Atleverket

³ Anta att FSA har en mäktighet på 0,5 m, skrymdensiteten är på 1,35 ton/m³, och TS är 50 %. Detta ger att mängden TS FSA-material per m² är 338 kg (0,5x1390 kg* 0,5). Vid L/S 10 ska 3380 liter vatten ha perkolerat igenom FSA materialet. Mängden vatten som perkolerar igenom FSA skiktet per år är < 15 liter/m². För att nå L/S 10 behövs alltså > 225 år (3380 liter/15 liter/år).

visar att halterna varierar mellan 1700 mg/liter och 1100 mg/liter under mätperioden 2006 och 2009. Någon tydlig trend till minskande halter med tiden finns inte. pH ligger konstant runt pH 9 under samma period. Den buffring av pH som förekommer beror troligen på att kalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ från flygaskan finns i materialet. Buffringen medför att pH når ett trappsteg och ligger på samma nivå tills all $\text{Ca}(\text{OH})_2$ förbrukats. Omvandling sker sedan till CaCO_3 . Det finns en risk att förrådet av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tar slut i lokala delar av tätningen om det genom luft eller nedbrytning kan bildas koldioxid. Detta ger emellertid upphov till CaCO_3 som kommer att hålla pH på en något lägre nivå under mycket lång tid. Utförda överslagsberäkningar av löslighet hos lysimetervatten och avrinningsvatten visar att vattnet ligger nära jämvikt med CaCO_3 , och en buffring av denna vid pH kring 8 bedöms kunna ske under mycket lång tid.

På Dragmossen hade det perkolerade lysimetervattnet i lysimeter 3 mycket låg kloridhalt (negativt laddad), trots att halterna av natrium och kalium (positivt laddade) var oförändrat höga efter 6,5 år. Eftersom laddningsbalans råder i det utströmmande vattnet (lika många positiva laddningar som negativa) måste antingen något ämne med negativ laddning *ökat* i samma mån som kloridhalten minskat, eller måste något ämne med positiv laddning *minskat* i samma omfattning som kloridhaltens minskning. De enda realistiska alternativen är att sulfathalten ökat (negativ laddad) eller att kalciumhalten minskat (positiv laddning). Eftersom den elektriska konduktiviteten minskat med två tiopotenser måste den totala mängden laddningar ha minskat dramatiskt och alternativet att sulfaten ökat faller därmed bort. Återstår alltså alternativet att en minskning av kalciumhalten skett. Kalciumhalten minskar visserligen, men minskningen är inte på långa vägar tillräcklig för att väga upp kloridens minskning räknat på respektive ämnens laddningar. Bedömningen är därför att ett fel har skett i analysen av klorid och den elektriska konduktiviteten.

Vid den senaste mätningen av lysimeter 3 på Dragmossen oktober 2010 var pH oförändrat hög och låg runt pH 9,2. Samma lysimeter har under de första åren samlat upp de största uppmätta mängderna vatten som perkolerat igenom och eller tryckts ur FSA materialet. Mängden vatten som perkolerade igenom motsvarar ca 50 liter/m² och år under de första åren. Detta område runt lysimeter 3 och 29 byggdes först och kvaliteten på FSA bedömdes vara av sämre kvalitet. Trots den förhållandevis låga tätheten under de första åren, ligger tätheten idag på en låg nivå, under 1 liter/m² och år. Det bör noteras att vattenmängden från de övriga lysimetrarna inte räckte till för analys.

Även resultat från gasmätningar kan ge en indikation på om nedbrytning av organiskt material sker. I prover från Dragmossen har nedbrytningsprodukter som tyder på omsättning av organiskt material uppmätts i alla delar av deponitäckningen under perioden från anläggning av ytan. Då nedbrytningsprodukter uppmätts även under FSA-skiktet, antas att nedbrytning sker av avfallet. Organiskt avfall har deponerats och nedbrytning av detta sker sannolikt. Eftersom det inte är uteslutet att gaserna kan diffundera upp genom de olika skikten är det inte klarlagt om nedbrytning sker även av FSA-materialet.

På Gärstad har tidigare metan och koldioxid uppmätts i FSA-skiktet och i dränkskiktet ovanpå FSA:n. På denna deponi utgörs avfallet av material som inte bedöms vara mikrobiellt nedbrytbart. Initialt uppmättes förhöjda halter av metan i avjämningskiktet, men dessa sjönk efter ca 1 år. Gassammansättningen i de olika skikten tyder därför på att viss omsättning av det organiska materialet i tätskiktet sker. Detta gäller för

undersökningar fram till 2008. En detaljerad beskrivning av resultaten gjordes i avsnitt 3.4.4.

5.3.3 Mekanisk påverkan

Mekanisk påverkan av yttre last, sprickbildning och sättningar i avfallet kan leda till att ett tätskikt helt eller delvis förlorar sin funktion. Detta gäller oberoende vilket material som väljs som tätskiktsmaterial. Provtagning av FSA på Lilla Nyby 6 månader efter installation och på Gärstad 1, 4 respektive 6 år efter installation visar att FSA-materialets vattenkvot (TS) ligger runt 100 % (TS: 50%). På Lilla Nyby kunde en viss uttorkning av FSA-materialet noteras på ytan av FSA-skiktet. Uttorkningen kan hänvisas till perioden från installation till att den första nederbörden når dräneringslagret. Det kunde konstateras att nederbördsvatten som har perkolerat ner till dräneringsskiktet återfuktar FSA-ytan till ca 100 %, [3]. Från undersökningarna på fast material från Gärstad deponi kan konstateras att pH, vattenkvot, densitet och hydraulisk konduktivitet förändrats mellan utläggning och första provtagningstillfället (efter ca 1 år) men sedan legat på en jämn nivå. Detta tyder på att materialet initialt komprimeras och porvatten pressas ut. Två lysimetrar på Lilla Nyby indikerar att deponiytan har satt sig, vilket hindrar dränering. Pumpning av lysimetrarna visar att mängden vatten som pumpades upp var större än lysimetrarnas volym.

Samtliga fältundersökningar visar att FSA-skiktets täthet ökar med tiden och att den motsvarar funktionskrav som kan ställas på tätskikt.

6 Slutsatser

Flygkastabiliserat avloppslam (FSA) har använts i tätskikt på ett antal deponier, både på provytor och för sluttäckning. I tidigare uppföljningar som gjorts har man konstaterat att materialets täthet är god, men att viss utlakning av näringsämnen och metaller från FSA:n sker. Syftet med detta projekt var att kontrollera täthet och nedbrytning och att följa halterna av näringsämnen och metaller i avrinnande vatten efter ca 6,5 år. Målsättningen var att på så sätt hoppas kunna verifiera om FSA kan användas i tätskikt på deponier för icke-farligt avfall och kunna göra en bedömning av om det avrinnande vattnet på sikt kan släppas till recipient, utan föregående, kostsam rening. De kriterier som ställs kommer naturligtvis att variera mellan olika deponier.

FSA som läggs ut som tätskikt är ett kompressibelt material som har en skrymdensitet på ca 1,1 – 1,2 ton/m³ [1]. Fältundersökning bekräftar laboratorieresultaten att FSA komprimeras ca 30 % när last motsvarande dränerings- och skyddsskikt läggs på [2] och [3]. Kompressionen medför att 0,5 - 0,6 m FSA komprimeras till 0,35 - 0,4 m. Vid kompressionen pressas porgas/porvatten ur FSA-materialet. Vattnet pressas ut i dräneringsskiktet och i avjämningskiktet. Över 95 % av kompressionen tas ut under de första 6 – 7 månaderna [3]. Kompressionen efter det första året bedöms som minimal. Sämre blandningskvalitet, blöta slammmaterial, härdad och utlakad deponiaska kan bidra till större sättningar och sämre hållfasthet hos utlagt FSA-material.

Täthet

Kompressionen leder till att vatten pressas ut ur FSA och lysimetrar installerade under tätskiktet fångar upp pressvattnet. På Dragmossen har FSA släppt igenom motsvarande 50 – 100 liter vatten/m² och år på delområden med sämre FSA kvalitet [3]. Allt eftersom kompressionen klingar av minskar mängden vatten som uppsamlas i lysimetrarna. Även FSA med sämre kvalitet visar denna trend. Resultat från Lilla Nyby, Älvkarleby, Atleverket, Gärstad och Sofielund visar tydligt att tätheten, mätt som mängd vatten som perkolerar igenom tätskiktet under ett år minskar med tiden. Tätheten är i samtliga fall < 15 liter/m² och år (15 mm/år) vid de senaste mätningarna. Detta motsvarar en hydraulisk konduktivitet på ca $5 \cdot 10^{-10}$ m/s. Mängden vatten som har perkolerat igenom FSA materialet begränsas till en L/S kvot på ca 0,1 efter 4,5 – 6,5 år. De lysimetrar som ligger under FSA med sämre kvalitet nådde en L/S kvot på ca 0,3 -0,5 efter drygt 6 år. Resultaten visar också att ca 80 % av detta vatten perkolerar under det första halvåret. Utlakningen är därmed långsam efter de första åren. Resultaten indikerar att det perkolerade vattnets halter av DOC, klorid, sulfat och pH inte har påverkats nämnvärt under de första 4,5 – 6,5 åren. Hög täthet medför att det tar hundratals år att uppnå L/S-förhållanden på 10. Det bör dock noteras att FSA med sämre kvalitet har förhållandevis låg täthet och salthalten kan därmed minska.

Beständighet

Det är enbart fåtal prover som togs upp av utlagt FSA-material. Provserien från Gärstad med FSA-material omfattar prover från 2004, 2005, 2008 och 2010, [2] och [12]. Det bör observeras att antalet prover är begränsade och att enbart Gärstad har undersökts, vilket begränsar möjligheten att ge en långtidsprognos. Den utförda provtagningen indikerar dock:

- att FSA-materialets TS-halt håller sig vid ca 50 %, dvs materialet torkar inte ut.

- att skjuvhållfastheten hos FSA ökar med tiden från ca 20 - 30 kPa vid utläggning till ca 55-60 kPa efter drygt 6 år.
- att med antagandet att tätskiktet är vattenmättat och att tätskiktets tjocklek är 0,5 m, motsvarar < 10 liter/m² och år, en hydraulisk konduktivitet på $< 3,2 \cdot 10^{-10}$ m/s.
- att tätskiktet blir allt tätare med tiden och den låga perkolationshastigheten hindrar utlakning och nedbrytning av FSA-skiktet.

Resultaten från Lilla Nyby, Atleverket, Gärstad och Dragmossen indikerar att FSA-tätskiktets täthet ökar med tiden och att täthetsfunktionen är oförändrad (under den undersökta perioden på 6,5 år). [2], [3], [4], [5], [8] och [12].

Ytutlakning

Två principlösningar har använts vid utläggning av dräneringsskikt ovanpå FSA-skiktet. I det ena fallet, bl.a. provytan på Atleverket, användes inte geotextil som materialavskiljande lager. I det andra fallet, bl.a. Lilla Nyby och Gärstad, användes geotextil mellan dränerings- och FSA-lagren. På Atleverket har dräneringsvattnet höga halter av DOC, klorider, sulfater, metaller under hela mätperioden på 4,5 år. Halterna minskar enbart marginellt med tiden. På Lilla Nyby, och Gärstad har dräneringsvattnet höga initiala halter under etableringstiden, men halterna avtar snabbt och inom 3 - 6 månader är haltnivån tillräckligt låg för att kunna släppa dräneringsvattnet till ytvattenrecipienten. Kompressionen i det första fallet leder till att dräneringsgrus pressas in i FSA materialet och FSA pressas in i dräneringsskiktets porvolym. Detta leder till att dräneringsvattnet rinner av i kontakt med stor FSA-yta, vatten kan stå i ojämnheter som sedan sköljs ut när nederbördsvatten når dräneringsskiktet. I det andra fallet, blockerar geotextil transport av material mellan skikten. Pressvatten når dräneringsskiktet, och efter ca tre månader klingar halterna av DOC, klorid, sulfat mm av. Kompressionen och därmed risken för materialtransport minskar med tiden. Dräneringsmatta kan vara ett alternativ till geotextil och dräneringsgrus, förutsatt att skyddsskiktet kan bidra till dränering även när geotextilen i dräneringsmattan har brutits ner.

Övrigt

I Sofielund består FSA av en blandning av 15 % slam, 40 % flygaska och 45 % bottenaska. Innehållet av flygaska 73 % av TS vilket skiljer sig markant från de övriga FSA blandningarna, där tillsatsen slam är mellan 45 – 55 % av TS. Dessutom finns en tillsats av och bottenaska i Sofielund så att summan flygaska och bottenaska blir 85 % av TS. Geotextil lades ut mellan den så kallade FSA- och dräneringsskiktet. Kompressionen var dock mycket liten som högst 8 % i laboratorieförsök. Utlakningen från denna yta via dräneringsvattnet kan mycket väl bero på de material som ingår i dränerings- och eller skyddsskiktet.

7 Rekommendationer och användning

Vägledningen, [1] bör följas vid sluttäckning med FSA som tätskikt. Vid avvikelser bör funktionen hos FSA skiktet verifieras. Detta är också viktigt för en fortsatt kunskaps- och erfarenhetsuppbyggnad. Nedan ges några förslag på kompletteringar för att säkra FSA-skiktets täthet, beständighet och minimera risken för ytutlakning. Baserat på erhållna resultat bör FSA-blandningar hålla ca 50 TS-vikt% flygaska ($\pm 5\%$). För att behålla flygaskans salthalt, härdningsegenskaper och pH ska flygaska och avloppsslam blandas utan långvarig mellanlagring av befuktad flygaska. Hur länge flygaskor kan lagras utan att förlora salthalt, härdningsegenskaper och pH varierar från aska till aska och bör utredas från fall till fall. Vissa askor är snabbhärdande och ska blandas omgående med avloppsslam, innan flygaskan härdar, medan andra flygaskor kan lagras i ett halvår utan problem.

Atleverket (Örebro) och Lilla Nyby (Eskilstuna) täcker upp till några hektar deponiyta per år och sluttäckningen utförs under flertalet år. Entreprenaden utförs inte kontinuerligt utan i kampanj. Entreprenadarbetet i liknande fall kan följa Vägledningen [1] utan större avsteg eller ändringar. I de fall sluttäckning av en deponi sker under ett eller två års tid ställs det naturligtvis högre krav på logistik vad gäller materialförsörjning, men också blandning och utläggning.

Nedan anges ett exempel på utförande som fungerar väl och som är anpassad till 1 – 2 hektar sluttäckning per år:

Den första blandningen kan ske med en skopblandning. En vecka efter den första grovblandningen blandas FSA med en skopblandare (ALU-skopa) för första gången. Därefter blandas FSA vid ytterligare ett eller två tillfällen med ALU-skopa. Homogenitet för blandningen kontrolleras för bedömning av hur många blandningar som krävs. Efter varje blandningstillfälle lagras FSA i stack under ca en månad. Utläggningen sker direkt efter den sista blandningen. FSA läggs ut i minst 0,6 högst 0,8 m tjocklek i 5 m breda våder. Ytan där FSA tillverkas bör vara en asfalterad yta. Detta medför att FSA-blandningens kvalitet ökar, och slitaget på ALU-skopan minskar i och med att grus från ytan inte blandas in.

Geotextil läggs ut mellan FSA-skiktet och dräneringsskiktet samt mellan dränerings- och skyddsskiktet. Geotextilen bidrar till att ytutlakningen minimeras och till att dräneringslagret bibehåller en god dränerande funktion. Under den för kompression mest aktiva fasen ökar hållfasthet hos FSA-skiktet. Geotextilen mellan FSA- och dränkskikten gör störst nytta under de första åren efter utläggning, då FSA-skiktet komprimeras. Efter kompression ökar FSA-materialets tryckhållfasthet till >50 kPa, varvid risken för blandning av FSA och dräneringsgrus minskar.

Bedömningen är att geotextil mellan FSA- och dräneringslagret ger tillräcklig skydd för att kunna släppa dräneringsvattnet från ytavrinning utan rening inom några månader efter sluttäckning. I fallet Lilla Nyby minskar halterna i dräneringsvattnet när sluttäckningen avslutas.

Erfarenheter från Lilla Nyby och Atleverket, där sluttäckning med FSA utförs, säger att det är mycket viktigt att föra en dialog med tillsynsmyndigheten redan i tidigt skede

och utöver samrådsprocessen. FSA är ett relativt nytt tätskiktsmaterial, vars egenskaper dessutom varierar från anläggning till anläggning beroende på ingående materials egenskaper. Resultat från utförda försök, krav på materialets funktion, vilka undersökningar som krävs för att visa att funktionen klaras, vilken uppföljning som ska göras, erfarenheter från andra anläggning etc. bör kommuniceras under hela processen.

Resultaten från Sofielund visar med tydlighet att den framtagna Vägledningen bör följas. Inblandning av bottenaska kan ha bidragit till utlakning av metaller som Cr och Cu. Valet av dräneringsmaterial är också av stor vikt, i detta fall kan oxidation av sulfidmineral kunna ha bidragit till låga pH, utlakning av Cr, Cu och Zn. Valet av dränerings- och skyddsmaterial är därmed viktiga att beakta.

8 Förslag till fortsatt forskningsarbete

I Sofielund användes bottenaska och en låg inblandning av slam. Av resultaten framgår att flera olikheter i täthet och utlakning föreligger jämfört med andra deponier samt också anomalier i fråga om pH. Lämpligheten av bottenaska i FSA bör därför utredas vidare.

Gasmätning på Dragmossens deponi visar att metan produceras i det sluttäckta avfallet. Metanhalterna i avfallet är höga och dominerar porgasens sammansättning i sluttäckningskonstruktionen. Mätningarna indikerar att metanhalten i skyddsskiktet är låg trots att dräneringsskiktet är anrikt på metan. Detta indikerar nedbrytning av metan i skyddsskiktet. Här finns det en bra förutsättning att kontrollera om skyddsskiktets metanoxiderande kapacitet och följa flödet av metan genom sluttäckningskonstruktioner.

Exemplen från Eskilstuna och Örebro visar att kontinuerlig dialog utöver samrådsprocessen mellan miljömyndigheter och deponiägare är viktiga för att hitta hållbara lösningar. Det finns ett behov av metodbeskrivning för participativa processer som är nödvändiga.

Kurs i utförande, hantering, utläggning och kontroll- uppföljning för att säkerställa att god kvalitet erhålls är viktig för att bygga upp rutiner.

9 Litteraturreferenser

- [1] Carling, M., Håkansson, K., Mácsik, J., Mossakowska och A. Rogbeck Y. 2007. Flygkastabiliserad tätskiktmaterial vid sluttäckning av deponier – en vägledning. VA-Forsk rapport 2007-10.
- [2] Ländell, M., Carling, M., Håkansson, K., Myrhede, E., Svensson, B. 2009: *Uppföljning av provtytor med tätskikt av FSA Gärstad deponi och Sofielunds deponi*. Värmeforsk rapport
- [3] Mácsik, J., Maurice, C., Mossakowska, A., Eklund, C. & Erlandsson Å. 2007: *Uppföljning – Kontroll av tätskiktstrukturen på Dragmossens deponi*. Värmeforsk rapport
- [4] Mácsik, J., Rogbeck, Y., Svedberg, B., Uhlander, O. & Mossakowska, A., 2003: *Linermaterial med aska och rötslam – Underlag för genomförande av pilotförsök med stabiliserat avloppsslam som tätskiktmaterial*. Värmeforsk rapport 837.
- [5] Sundberg, J., Carling, M., Ländell, M., Svensson, B. 2003: *Täckning av deponier med blandning av avloppsslam och aska. Erfarenheter, beständighet och andra egenskaper*. VA-Forsk rapport 2003-21. (även som RVF-rapport 02:18)
- [6] Wikman K., Berg M., Svensson M., Ecke H. 2005. *Nedbrytningshastigheten för tätskikt uppbyggda av slam och aska*. Värmeforsk rapport 943.
- [7] Lenströmer S. 2002. *Avloppsslam som tätskikt på avfallsdeponier*. Examensarbete 2002:284 CIV. Luleå tekniska universitet, avdelningen för geoteknik, Luleå.
- [8] Mácsik, J., Maurice, C., Mossakowska, A. & Eklund, C., 2005: *Pilotförsök med flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt*. Värmeforsk rapport 942.
- [9] SFS 2001:512 - Förordning (2001:512) om deponering av avfall.
- [10] Naturvårdsverkets, 1999: *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, "Sjöar och vattendrag"* (Rapport 4913).
- [11] Lenströmer S (2006). *Avrapportering pilotförsök, Blåbergets avfallsanläggning*. PM-61810617478 Ramböll.
- [12] Carling, M., Ländell, M., Håkansson, K., Myrhede, E. 2006: *Täckning av deponier med aska och slam - erfarenheter från tre fältförsök*. Värmeforsk rapport
- [13] Scandiaconsult Sverige AB (2001). *Slam i mark- och anläggningsbyggande- Avvattnat vattenverks- och avloppsslam*. Stockholm Vatten AB.
- [14] Mácsik, J., Svedberg, B., Lenströmer, S. & Nilsson, T., 2004: *FACE. Flygaska i geotekniska tillämpningar. Etapp 1: Inventering/tillämpbarhet*. Värmeforsk rapport 870.

Bilagor

A Eskilstuna, Lilla Nyby

A.1 Provtagning

Dräneringsvatten från Dräneringsbrunnarna DR1 – DR4 provtogs och analyserades mellan 2006-02-23 och 2008-11-12. Efter 2008 utfördes provtagning av dräneringsvattnet i punkterna Y801 och Y802.

	Datum	Konduktivitet	Tot-N	NH4-N	Tot-P	Cd	Cr	Cu	Ni	SO4	Pb	Zn	As	DOC
		Dr 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5	mg/l	DR 1 - 5	DR 1 - 5	DR 1 - 5
DR1	2006-02-23	80	100	88	0,79									
DR1	2006-05-30					<0,05	<0,9	6,86	4,01		<0,6	66,7	3,64	
DR1	2007-12-04	453	96	1	0,08	<0,25	7,3	42	8,7	1400	<0,5	20	<2,5	34
DR1	2008-11-12	691	76	5,8	1,7	0,09	18	22	41	1650	0,5	27		40
DR2	2006-02-23	112	57	44	0,99									
DR2	2006-05-30	188	19	7,1	0,91	0,0746	1,12	12,5	10,6	340	<0,6	26,6	<3	
DR2	2007-12-04	538	92	1,1	0,17	<0,50	<5,0	71	20	1700	<0,5	37	<5,0	46
DR2	2008-11-12	25,90	5,8	0,14	2,3	0,34	4,1	27	3,3	116	4,8	120		6,5
DR3	2008-11-12	32,7	24	18	6,8	0,05	0,2	15	1,2	62	0,6	<5		11
DR4	2008-11-12	39,6	24	14	5,7	0,21	1	8,2	3,7	160	0,8	73		11

Provtagning av dräneringsvattnet i Y801 (öster om deponiytan) utfördes efter 2008-06-30.

Datum	Konduktivitet	Syre	TOC	Tot-N	NH4-N	Tot-P	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	DOC
	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	mg/l
2008-06-30	92,5		7,7	4,3	<0,1	0,15	0,05	12	9,3	2	1,4	16		
2008-08-11	900													
2008-10-16	251,0	9,9	91	130	110	2,5	0,41	15,0	55	94	3,6	40		86
2008-11-12	794,0	9,8	86	190	110	2,8	0,76	41	36	100	1,1	22		68
2009-04-06	531	8,9	60	180	40	2,3	0,3	16	20	63	0,4	11		53
2009-06-10	920		660	400	310	13	2,7	16	79	230	24	250		
2009-10-12	286	10,1	58	55	8,1	1,3	<0,12	9	47	76	2,5	26		
2009-11-27	556	10,6												
2010-04-20	491		37	140	<0,1	1,2	0,26	2,7	29	48	1,2	16		
2010-05-10	486													
2010-08-03	734	9,23												
2010-08-25	146,7	8,21												
2010-10-06	46,5	11,09												
2010-10-20			15	4,5	0,15	0,47	0,029	2,1	24	7,2	0,7	10	3,9	

Provtagning av dräneringsvattnet i Y802 (väster om deponiytan) utfördes sedan 2008-06-30.

Datum	Konduktivitet	Syre	TOC	Tot-N	NH4-N	Tot-P	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	DOC
	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	mg/l
2008-04-15	494	10,1	54	62	1,7	2,1	0,18	7,7	26	26	<0,5	8		
2008-06-30	60,5		12	5,3	1,5	0,47	0,21	6,2	23	8,5	9	23		
2008-08-11	748,0													
2008-10-16	107,0	10	11	13	<0,1	0,79	0,14	5,5	13	9	4	13		10
2008-11-12	523	9,3	50	84	15	1,9	0,41	31	30	47	0,8	9		39
2009-06-10	55,8		10	6,4	<0,1	0,72	0,07	2,1	4,9	2,3	5,5	23		
2009-10-12	61,3	11,1	6,9	8,9	<0,1	0,36	0,08	3,6	7,4	4,3	0,7	<5		
2009-11-27	439,0	10,8												
2010-04-20	382		45	46	<0,1	1,70	0,46	4,7	33	37	<1,2	<12		
2010-05-25	70	8,44												
2010-08-03	152,4	9,09												
2010-08-25	43,8	8,12												
2010-10-06	28,8	11,21												
2010-10-20			7	2,3	<0,1	0,56	0,021	1,3	7,4	1,5	0,32	2,8	3,1	

Provtagning av ytvattenrecipienten i Y503 uppströms och öster om deponin utfördes sedan 2006-06-14. Ytvattenrecipienten avvattnar ett skogsområde.

Datum	Konduktivitet mS/m	Syre mg/l	TOC mg/l	Tot-N mg/l	NH4-N mg/l	Tot-P mg/l	Cd ug/l	Cr ug/l	Cu ug/l	Ni ug/l	Pb ug/l	Zn ug/l	As ug/l
2006-06-14	29,9	6,3	18	0,67	<0,1	<0,05							
2006-08-15	28,30												
2006-10-05	36,6	9,4	8,7	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,9	2,19	1,7	<0,6	<4	<1
2006-11-20	17,60												
2007-02-02	18,3												
2007-04-10	23,5	10,9	25	1,2	<0,1	0,036	<0,05	<0,9	5,48	3,15	0,823	11,4	<1
2007-06-13	39,7		15	0,6	<0,1	<0,05							
2007-08-21	36,9												
2007-09-12	34,8	9,6	7,5	0,2	<0,1	<0,05	<0,05	6,4	2,9	0,6	<0,5	<5	<0,5
2007-12-06	19,3												
2008-03-06	16,6												
2008-04-15	11,2	10,2	31	1,4	<0,1	0,05	<0,05	1,9	120	2,3	1,1	16	
2008-06-16	29,9	9,9	16	0,58	<0,1	<0,05							
2008-08-11	21,5												
2008-09-08	25	10,4	22	1	<0,1	0,05	<0,05	1,1	8,1	2,9	0,9		1
2008-11-12	14,1	10,8											
2009-03-23	12,6												
2009-04-06	11,2	11,9	29	0,94	<0,1	0,014	<0,05	1,2	3,6	2,2	0,7	10	
2009-06-10	28,2		15	0,62	<0,1	0,023	<0,05	1,6	0,7	0,9	<0,5	<5	
2009-08-20	28,9												
2009-09-30	34,1	11,5	16	0,86	<0,1	0,032	<0,12	2	4,2	4	<1,2	13	<1,2
2009-11-23	14,64	10,2											
2010-04-20	12,7		36	1,6	<0,1	0,17	<0,12	1,5	5,1	2,3	<1,2	34	
2010-05-10	17,38												
2010-06-21	22,3		30	1,3	0,2	0,039							
2010-08-25	23,3	9,51											
2010-10-06	29,9	10,82	19	0,73	<0,1	0,025	0,038	0,55	3	1,7	0,3	5,2	0,48

Provtagning av ytvattenrecipienten i Y506 uppströms och väster om deponin utfördes sedan 2006-06-14. Ytvattenrecipienten avvattnar ett jordbruksområde.

Datum	Konduktivitet mS/m	Syre mg/l	TOC mg/l	Tot-N mg/l	NH4-N mg/l	Tot-P mg/l	Cd ug/l	Cr ug/l	Cu ug/l	Ni ug/l	Pb ug/l	Zn ug/l	As ug/l
2006-04-18	31,6	7		1,6	0,18	0,073							
2006-06-21	39,70												
2006-08-15	26,0												
2006-10-05	11,60	4	12	0,89	<0,1	0,22	<0,05	<0,9	16,7	1,78	2,15	41,5	<1
2006-11-20	20,2												
2007-02-27	25,4												
2007-04-10	31,4	9,3	9,9	1	0,2	0,092							
2007-06-18	45,5												
2007-08-30	29,3												
2007-09-17	20,3	3,4	11	0,82	<0,1	0,31	<0,12	3,1	12	2,1	2,5	29	
2007-12-15	25,5	9,8											
2008-03-06	25,9												
2008-04-15	17,2	9,9	14	1,8	0,11	0,17							
2008-06-23	20,9												
2008-08-11	16,3												
2008-09-08	20,8	8,1	15	1,2	0,23	0,21	<0,05	1,7	13	3,2	2,7	31	
2008-11-12	16,3	9,3											
2009-03-23	23,2												
2009-04-06	24,0	10,7	14	1	<0,1	0,057	<0,05	2	4,6	2,9	0,8		
2009-06-10	32,9												
2009-08-20	32,6												
2009-09-30	26,2	7,7	17	1,3	<0,1	0,42	<0,12	2,6	22	4,2	4,2	30	
2009-11-23	14	10,8											
2010-04-20	35,2		13	1,1	<0,1	0,11							
2010-05-10	33,2												
2010-06-21	28,6												
2010-08-25	20,2	6,56											
2010-10-06	35,6	3,49	31	1,7	<0,1	0,56	0,11	2,8	41	3,2	5,1	44	-

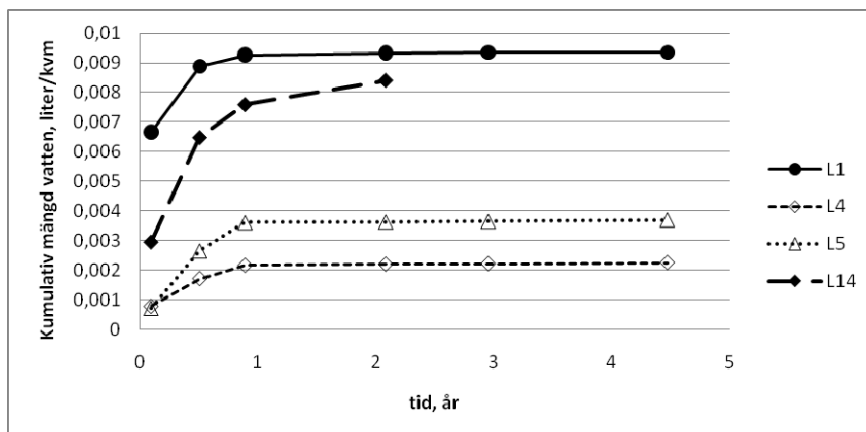
Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - Sjöar och vattendrag, rapport 4913 [10]
Haltnivåer i Klass 2 är µg/liter.

Cd	Zn	Pb	As
Klass 2	Klass 2	Klass 2	Klass 2
0,1	20	1	5

Uppnådd L/S-kvot i Lilla Nyby (Eskilstuna)

Datum	2005-12-08	2006-05-08	2006-09-25	2007-12-04	2008-10-16	2010-04-23
Summa, år	0,1	0,5	0,9	2,1	3,0	4,5
Lysimeter						
L1, liter	1,8	0,6	0,1	0,02	0,005	0
L1, L/S	0,00667	0,00889	0,00926	0,00933	0,00935	0,00935
L4, liter	0,212	0,25	0,12	0,01	0,005	0,01
L4, L/S	0,00079	0,00171	0,00216	0,00219	0,00221	0,00225
L5, liter	0,19	0,525	0,26	0,005	0,005	0,015
L5,L/S	0,00070	0,00265	0,00361	0,00363	0,00365	0,00370

Datum	2006-09-25	2007-12-04	2008-10-16	2010-04-23
Summa, år	0,2	1,42	2,29	3,81
Lysimeter				
L14, liter	0,80000	0,95000	0,30000	0,22000
L14, L/S	0,00296	0,00648	0,00759	0,00841



B Örebro, Atleverket

B.1 Provtagning

Analys av vatten från dräneringsskiktet som överlagrar FSA (Drän FSA), som överlagrar tätskikt med geomembran (drän Yt), som har perkolerat igenom två typer av skyddsskikt (Skydd 1 & Skydd 2), tätskiktet (Tät). Undersökningen omfattar ett stort antal parametrar, där halterna är mg/liter. Undersökningen omfattar perioden mellan 26 oktober 2006 och 20 september 2010.

	2006	2007	2008	2009	2010						
Suspenderande ämnen						pH					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	130	190				26-okt	8,1	7,4			
12-dec	330	84	6,4	16		12-dec	8	7,9	7,8	8,8	
23-jan	280	110	6,1	60		23-jan	7,8	7,9	7,8	8,7	
14-mar	150	81	24	30		14-mar	7,8	7,9	8	8,7	
10-maj	490	58	55	60		10-maj	7,7	8,2	7,6	8,7	
09-jul	610	200	12	85		09-jul	7,7	7,3	8,1	8,7	
13-sep	510	17		52		13-sep	8,1	8,2		8,8	
06-dec	300	95	12	47	32	06-dec	7,8	8	8,1	8,7	8,1
02-jul	260	34	11	270	6,6	02-jul	8,1	7,5	7,9	9	8,3
28-okt	51	43	21	160	6,9	28-okt	8	7,7	8,6	9,1	8,3
18-feb	65	4	3,6	9,7	11	18-feb	8,3	8,2	8,8	9,2	8,5
12-maj	53			47	13	12-maj	7,9			8,4	8,5
20-sep	32	19		54		20-sep	8	7,8		7,9	
Konduktivitet						Sulfat					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	1200	1300				26-okt	1300	530			
12-dec	1200	530	680	2900		12-dec	1200	400	440	7100	
23-jan	1100	361	640	3000		23-jan	970	48	470	8600	
14-mar	1000	242	339	3000		14-mar	1300	170	570	11000	
10-maj	1100	242	315	3700		10-maj	500	170	600	13000	
09-jul	1400	193	296	3400		09-jul	150	180	640	11000	
13-sep	1100	175		2900		13-sep	17	1,4		7000	
06-dec	1500	177	500	2800	225	06-dec	24	300	810	4700	610
02-jul	1200	55	270	2000	140	02-jul	340	8,2	510	5300	470
28-okt	1100	110	180	2200	140	28-okt	310	270	380	2300	290
18-feb	940	37	44	1300	45	18-feb	13	0,9	38	660	63
12-maj	410			2500	89	12-maj	390			6,5	160
20-sep	820	64		1900		20-sep	1,6	30		1900	
BOD7						COD-Cr					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	920	22				26-okt	1800	2700			
12-dec	940	10	2,9	4100		12-dec	2900	2500	750	21000	
23-jan	1200	14	2,9	6700		23-jan	2700	2300	610	24000	
14-mar	1300	8	4	9800		14-mar	3200	4000	880	30000	
10-maj	890	12	22	6000		10-maj	2500	1800	740	17000	
09-jul	1000	15	15	8300		09-jul	2900	1900	430	15000	
13-sep	680	13		7100		13-sep	1900	1100		14000	
06-dec	3100	5	2,9	5400	12	06-dec	6000	2100	430	14000	230
02-jul	290	34	2,9	5700	2,9	02-jul	1300	360	360	12000	170
28-okt	990	2,9	2,9	2200	2,9	28-okt	2000	1800	580	6400	150
18-feb	540	2,9	2,9	1600	2,9	18-feb	1500	130	52	3100	40
12-maj	15			8800	<3	12-maj	290			15000	110
20-sep	110	5		320		20-sep	680	840		5000	

Ammonium-nitrogen						Nitrat-nitrit					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	1200	4,6				26-okt	0,16	48			
12-dec	1100	6,3	19	4200		12-dec	0,09	39	320	0,09	
23-jan	1000	6,3	140	5600		23-jan	0,09	31	310	0,09	
14-mar	930	25	30	5000		14-mar	0,09	33	200	0,09	
10-maj	990	4,9	22	4700		10-maj	0,19	25	200	0,09	
09-jul	1100	7,7	0,17	3300		09-jul	0,21	22	180	0,09	
13-sep	990	22		4000		13-sep	0,12	0,09		0,09	
06-dec	1700	6,1	10	3900	25	06-dec	0,18	10	150	0,09	8
02-jul	1200	7,5	0,084	1900	1,3	02-jul	0,09	0,09	160	0,09	0,09
28-okt	1200	13	8,6	1900	0,032	28-okt	0,09	0,09	32	0,09	7
18-feb	1000	0,54	0,59	1300	0,01	18-feb	0,09	0,57	8,7	0,09	1,3
12-maj	260			3300	2,7	12-maj	<0,1			<0,1	0,17
20-sep	790	0,16		1500		20-sep	<0,1	<0,1		610	
Fosfor total						Fluorid					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	
26-okt	9,8	3,6				26-okt					
12-dec	6,5	9,6	1,1	16		12-dec	0,47			0,2	
23-jan	12	16	0,79	19		23-jan					
14-mar	6,4	15	0,91	21		14-mar	0,58				
10-maj	14	16	0,51	18		10-maj	0,52			0,41	
09-jul	8,6	9,2	1,5	12		09-jul	0,5			1,9	
13-sep	17	20		16		13-sep	0,32			0,26	
06-dec	15	12	1,1	14	1,4	06-dec	0,54			0,19	
02-jul	17	8,6	0,82	14	0,63	02-jul	Avslutat				
28-okt	12	16	1,1	7,9	0,24						
18-feb	8,4	5,1	0,2	2,1	0,087						
12-maj	1,7			8,1	0,2						
20-sep	12	10		19							
Arsenik						Kadmium					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	0,066	0,036				26-okt	0,00044	0,0018			
12-dec	0,064	0,043	0,011	0,63		12-dec	0,00027	0,0032	0,001	0,0049	
23-jan	0,057	0,068	0,0069	0,47		23-jan	0,00016	0,0031	0,00078	0,0038	
14-mar	0,06	0,058	0,0051	0,59		14-mar	0,0004	0,0023	0,0015	0,0047	
10-maj	0,052	0,068	0,0058	0,72		10-maj	0,00014	0,002	0,0011	0,0041	
09-jul	0,07	0,029	0,0061	0,57		09-jul	0,0003	0,0025	0,0013	0,002	
13-sep	0,059	0,036		0,52		13-sep	0,00009	0,00049		0,00086	
06-dec	0,088	0,031	0,0075	0,75	0,02	06-dec	0,00038	0,0019	0,0019	0,0012	0,00009
02-jul	0,062	0,01	0,0056	0,0015	0,0042	02-jul	0,00035	0,00028	0,0017	0,00035	0,00014
28-okt	0,052	0,038	0,006	0,42	0,0024	28-okt	0,00011	0,0012	0,0027	0,0013	0,00009
18-feb	0,052	0,0089	0,00087	0,24	0,0028	18-feb	0,00009	0,0001	0,00013	0,00078	0,00009
12-maj	0,021			0,27	0,0028	12-maj	<0,0001			0,0019	0,00011
20-sep	0,047	0,021		0,29		20-sep	<0,0001	0,0004		0,00074	
Koppar						Järn					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät *1000	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	0,034	0,44				26-okt	2,5	1			
12-dec	0,031	0,43	0,78	0,33		12-dec	4,9	13	0,11	0,65	
23-jan	0,027	0,57	0,62	0,23		23-jan	5,3	15	0,15	1,1	
14-mar	0,041	1,3	0,56	0,32		14-mar	5,1	17	0,71	2,1	
10-maj	0,011	0,48	0,44	0,13		10-maj	1,2	7,9	0,5	1,8	
09-jul	0,017	0,42	1	0,053		09-jul	0,88	13	0,099	0,88	
13-sep	1,2	0,37		0,05		13-sep	0,94	2,7		0,57	
06-dec	0,18	0,28	0,58	0,08	0,067	06-dec	1	13	0,14	0,62	5,1
02-jul	0,094	0,073	0,6	0,13	0,063	02-jul	0,77	2	0,17	0,82	0,21
28-okt	0,016	0,54	0,93	0,0026	0,085	28-okt	0,72	11	1,5	0,095	2,5
18-feb	1,1	0,047	0,07	0,0019	0,089	18-feb	0,59	0,33	0,055	0,045	2,7
12-maj	0,49			0,0024	0,043	12-maj	22			0,084	0,58
20-sep	0,26	0,42		0,03		20-sep	0,9	2,4		0,41	

Magnesium						Mangan					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	80	230				26-okt	0,67	0,19			
12-dec	89	62	180	4,3		12-dec	1,3	0,53	0,094	0,26	
23-jan	70	38	110	13		23-jan	0,27	0,58	0,052	0,49	
14-mar	79	33	81	27		14-mar	0,36	0,54	0,13	0,55	
10-maj	66	31	83	50		10-maj	0,48	0,38	0,07	0,31	
09-jul	35	33	86	31		09-jul	0,1	0,51	1,5	0,18	
13-sep	54	18		9,5		13-sep	0,11	0,12		0,1	
06-dec	44	26	150	11	49	06-dec	0,44	0,5	0,9	0,14	6
02-jul	34	3,9	65	20	35	02-jul	0,33	0,084	0,083	0,19	1,7
28-okt	38	18	38	62	50	28-okt	1,3	0,24	0,28	0,031	3,9
18-feb	25	2,4	7,4	22	15	18-feb	0,34	0,014	0,0059	0,013	0,94
12-maj	55			48	23	12-maj	4			0,054	1,2
20-sep	47	13		50		20-sep	1,2	0,048		0,55	
Bly						Zink					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	0,021	0,065				26-okt	0,059	0,23			
12-dec	0,041	0,098	0,015	1,8		12-dec	0,041	0,55	0,26	130	
23-jan	0,014	0,054	0,011	3,9		23-jan	0,029	0,61	0,28	100	
14-mar	0,026	0,078	0,045	2,9		14-mar	0,042	0,79	0,36	71	
10-maj	0,017	0,063	0,068	2,1		10-maj	0,023	0,57	0,24	44	
09-jul	0,013	0,1	0,098	1		09-jul	0,11	0,47	1,5	17	
13-sep	0,089	0,048		1,7		13-sep	1	0,73		30	
06-dec	0,018	0,051	0,017	2	0,0094	06-dec	0,12	0,41	0,72	41	0,16
02-jul	0,013	0,0094	0,089	2,4	0,07	02-jul	0,12	0,19	0,92	34	0,28
28-okt	0,0042	0,041	0,02	0,23	0,0009	28-okt	0,03	0,52	1,1	1,2	0,13
18-feb	0,0077	0,0021	0,0025	0,26	0,0067	18-feb	0,19	0,052	0,12	1,1	0,089
12-maj	0,017			0,066	0,0044	12-maj	0,5			1,2	0,15
20-sep	0,0021	0,0091		0,026		20-sep	0,056	0,34		2,5	
Alkalinitet						Krom					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	3800	540				26-okt	0,018	0,0068			
12-dec	3600	610	190	7300		12-dec	0,022	0,026	0,0016	0,01	
23-jan	3700	770	210	9200		23-jan	0,021	0,025	0,0014	0,018	
14-mar	2600	740	290	6400		14-mar	0,021	0,026	0,003	0,04	
10-maj	4500	880	330	7200		10-maj	0,025	0,014	0,0024	0,02	
09-jul	6200	720	470	5500		09-jul	0,045	0,026	0,0011	0,017	
13-sep	5400	680		8500		13-sep	0,049	0,006		0,015	
06-dec	6900	590	380	9800	520	06-dec	0,044	0,023	0,0013	0,025	0,0009
02-jul	6200	270	170	3900	420	02-jul	0,062	0,0028	0,0016	0,0035	0,0005
28-okt	5700	530	550	10000	550	28-okt	0,045	0,021	0,0037	0,035	0,0062
18-feb	4800	150	120	5900	140	18-feb	0,028	0,0009	0,0009	0,015	0,0009
12-maj	1700			10000	390	12-maj	0,0049			0,044	<0,001
20-sep	4500	260		1800		20-sep	0,029	0,0055		0,021	
Klorid						Kalium					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	1300	3000				26-okt	590	1300			
12-dec	1300	810	1400	1400		12-dec	660	870	48	1700	
23-jan	1100	470	1200	1700		23-jan	490	680	59	2200	
14-mar	880	240	540	1800		14-mar	580	520	140	2600	
10-maj	1100	250	540	1800		10-maj	690	540	130	2500	
09-jul	1300	160	720	1600		09-jul	790	380	79	2300	
13-sep	1000	200		1300		13-sep	690	510		1900	
06-dec	1000	140	890	1300	190	06-dec	820	280	74	2200	26
02-jul	890	16	400	1700	71	02-jul	690	120	85	2700	29
28-okt	640	62	190	1400	110	28-okt	500	250	51	2300	21
18-feb	630	7,1	42	1100	26	18-feb	440	94	22	1400	8,2
12-maj	260			1300	26	12-maj	200			1700	13
20-sep	410	25		1600		20-sep	450	160		1700	

TOC						Nickel					
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2		Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2
26-okt	620	1200				26-okt	0,081	0,052			
12-dec	1000	920	350	800		12-dec	0,095	0,074	0,032	1	
23-jan	990	960	260	9200		23-jan	0,097	0,06	0,03	1,3	
14-mar	1000	390	270	9700		14-mar	0,098	0,057	0,052	1,3	
10-maj	470	710	280	6500		10-maj	0,091	0,047	0,048	1	
09-jul	740	760	190	5200		09-jul	0,11	0,066	0,045	0,66	
13-sep	930	450		550		13-sep	0,085	0,022		0,56	
06-dec	2600	880	170	590	81	06-dec	0,15	0,046	0,05	0,61	0,031
02-jul	480	94	150	6300	17	02-jul	0,15	0,0051	0,05	0,81	0,022
28-okt	730	700	230	2300	60	28-okt	0,11	0,03	0,07	0,48	0,0097
18-feb	510	48	17	1100	15	18-feb	0,068	0,0018	0,0041	0,21	0,0047
12-maj	110			6600	45	12-maj	0,035			0,51	0,03
20-sep	170	310		1700		20-sep	0,056	0,0097		0,64	
Kväve total											
	Drän FSA	Drän Yt	Skydd	Tät	Skydd 2						
26-okt	1200	630					Förklaring:				
12-dec	1200	350	420	6700			Drän FSA är en 40 m2 lysimeter som samlar upp vatten som rinner på tätskiktet				
23-jan	1100	210	370	7200			Drän Yt är 40 m2 lysimeter som samlar upp ytvatten 1-2 dm under markytan				
14-mar	1100	170	250	5600			Skydd är en 8 m2 lysimeter som samlar upp vatten som perkolerat ned i bädden c a 1 m men över tätskiktet (Skydd 2 likadan)				
10-maj	1100	160	240	6000			Tät är en 8 m2 lysimeter som samlar upp vatten under tätskiktet				
09-jul	1300	170	270	5800							
13-sep	1400	61		5700							
06-dec	2700	140	270	6900	33						
02-jul	1500	16	190	7600	14						
28-okt	1600	88	75	3200	11						
18-feb	1000	6,4	8,4	1600	2,1						
12-maj	260			4000	8,3						
20-sep	760	19		2500							

C Älvkarleby, Dragmossen

C.1 Provtagning av lysimetervatten

Data från Lysimeter 3 från Cell 1, mellan oktober 2004 och oktober 2010.

		Cell 1	Cell 1	Cell 1	Cell 1	Cell 1
		okt-04	maj-05	maj-06	nov-06	okt-10
ELEMENT	SAMPLE	Lysimeter 3	Lysimeter 3	Lysimeter 3	Lysimeter 3	Lysimeter 3
Filtrerad		JA	Nej	Nej	Nej	ja
Ca	mg/l	1070	593	1050	464	95,8
Fe	mg/l	0,273	0,207	0,23	0,138	0,204
K	mg/l	1820	2010	1740	1650	2030
Mg	mg/l	12,5	13,3	6,21	4,65	6,33
Na	mg/l	953	1030	821	770	1320
S	mg/l	1560	1680	1650	1580	
Si	mg/l	8,62				
Al	µg/l	<100	44,5	29,5	52,5	37,9
As	µg/l	177	112	<60	71,2	87,2
B	µg/l	785				
Ba	µg/l	192	63,7	101	34,3	69,5
Cd	µg/l	<20	1,17	<0,3	<0,6	<0,05
Co	µg/l	39,1	33,2	35,2	38,6	34,8
Cr	µg/l	<20	0,694	0,635	1,54	1,53
Cu	µg/l	258	51,4	34,6	43,3	125
Li	µg/l	71,4				
Hg	µg/l		<0,02	<0,02	<0,04	<0,02
Mn	µg/l	44	12,8	38,6	7,43	67,7
Mo	µg/l	1920				
Ni	µg/l	225	204	202	242	331
P	µg/l	9500		4670	5390	
Pb	µg/l	<100	4,71	7,45	2,82	3,19
Zn	µg/l	62,7	55,2	28,2	47,2	133
N-tot	mg/l			3360	3990	149
NH4-N	mg/l				3530	
Cl	mg/l			868	1330	17
DOC	mg/l		6400	4710	5220	6690
pH			9,3	9,4	9,3	9,1
Kond.	mS/m		2460	2130	2210	23
Kumulativ vattenmängd	Liter	0,49	3,99	6,29	7,09	7,24
Liter prov	Liter	0,49	3,5	2,3	0,8	0,15
Ålder	Dagar	109	212	216	141	1454
Täthet, liter/kvm, år	mm/år	14	50	32	11	0,46

Data från Lysimeter 29, och 30 från Cell 4 och Lysimeter 7 från Cell 2, mellan oktober 2004 och oktober 2010.

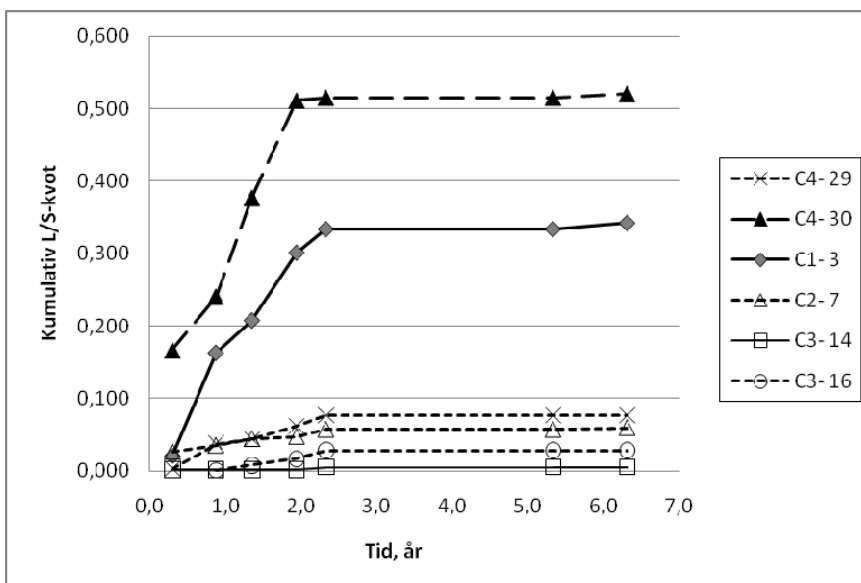
		Cell 4	Cell 4	Cell 4	Cell 2	Cell 2
	SAMPLE	maj-06	nov-06	nov-06	maj-05	nov-06
ELEMENT		Lysimeter 30	Lysimeter 29	Lysimeter 30	Lysimeter 7	Lysimeter 7
Filtrerad		Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Ca	mg/l	12	706	10,5	1290	706
Fe	mg/l	0,443	0,867	0,609	0,205	0,197
K	mg/l	1500	3210	1260	1310	1780
Mg	mg/l	19,2	27,3	12,6	3,14	5,75
Na	mg/l	675	1290	561	1020	1140
S	mg/l	1910	2990	66,9	1640	1530
Si	mg/l					
Al	µg/l	155	77,9	351	32,6	78,9
As	µg/l	259	163	382	121	54,6
B	µg/l					
Ba	µg/l	242	126	172	171	73,7
Cd	µg/l	0,472	<0.6	1,18	1,28	<0.4
Co	µg/l	36,7	123	56,7	52,8	49,7
Cr	µg/l	14,4	7,18	40,6	<3	3,36
Cu	µg/l	14,4	57,9	29,8	56,8	22,1
Li	µg/l					
Hg	µg/l	0,0657	0,0604	0,119	<0,02	<0.04
Mn	µg/l	82,7	267	138	90,1	40
Mo	µg/l					
Ni	µg/l	472	588	606	452	299
P	µg/l	11200	26700	8530		10500
Pb	µg/l	16,4	29,6	35,4	28,9	4,64
Zn	µg/l	87,7	127	180	106	27,1
N-tot	mg/l	2450	8100	3630		3230
NH4-N	mg/l		5880	2170		2700
Cl	mg/l	1520	1530	1490		1460
DOC	mg/l	2540	15860	1740	8800	7000
pH		8,6	8,9	8,9	9	9,1
Kond.	mS/m	1939	4000	2100	2500	2500
Kumulativ vattenmängd	Liter	3,3	3,76	3,86	4,06	4,29
Liter prov	Liter	3,3	0,46	0,1	0,2	0,23
Ålder	Dagar	216	141	141	212	141
Täthet, liter/kvm, år	mm/år	47	6,6	1,4	2,9	3,3

Data från Lysimeter 14, 15 och 16, från Cell 4 och Lysimeter 7 från Cell 2, mellan oktober 2004 och oktober 2010.

		Cell 3	Cell 3	Cell 3	Cell 3
		okt-04	maj-06	nov-06	nov-06
ELEMENT	SAMPLE	Lysimeter 15	Lysimeter 16	Lysimeter 16	Lysimeter 14
Filtrerad		JA	Nej	Nej	Nej
Ca	mg/l	254	2730	2130	2420
Fe	mg/l	0,0406	0,47	0,69	0,169
K	mg/l	56,2	405	626	442
Mg	mg/l	0,147	0,493	<0.5	<0.5
Na	mg/l	40,2	628	644	493
S	mg/l	248	1590	597	535
Si	mg/l	15,2			
Al	µg/l	394	199	95,4	169
As	µg/l	<100	434	551	649
B	µg/l	88,8			
Ba	µg/l	142	624	423	359
Cd	µg/l	<20	0,602	<0.06	<0.06
Co	µg/l	61,7	945	512	126
Cr	µg/l	<20	1,06	3,05	1,97
Cu	µg/l	1170	595	174	23,6
Li	µg/l	<10			
Hg	µg/l		0,075	<0.04	<0.04
Mn	µg/l		248	164	64,5
Mo	µg/l	249			
Ni	µg/l	40,8	1620	1390	761
P	µg/l	1610	28200	12500	14200
Pb	µg/l	<100	6,61	1,96	6,99
Zn	µg/l	28,8	67,9	27,6	57
N-tot	mg/l		3780	4390	4530
NH4-N	mg/l			2480	2980
Cl	mg/l		951	773	608
DOC	mg/l		10690	9690	9850
pH			9,7	9,7	9,6
Kond.	mS/m		1441	1415	1500
Kumulativ vattenmängd	Liter	0,07	0,3	0,6	0,7
Liter prov	Liter	0,07	0,23	0,3	0,1
Ålder	Dagar	109	216	141	141
Täthet, liter/kvm, år	mm/år	2	3	4	1

Uppnådd L/S-kvot i Dragmossen (Älvkarleby), se tabell och figur nedan.

Datum	2004-10-01	2005-04-29	2005-10-20	2006-05-24	2006-10-12	2009-10-12	2010-10-05
Antal dagar	109	318	492	708	849	1945	2303
Antal år	0,3	0,9	1,3	1,9	2,3	5,3	6,3
Lysimeter							
C4- 29	0,003	0,037	0,044	0,062	0,077	0,077	0,077
C4- 30	0,167	0,241	0,377	0,511	0,515	0,515	0,521
C1- 3	0,021	0,163	0,207	0,301	0,333	0,333	0,342
C2- 7	0,027	0,035	0,044	0,047	0,057	0,057	0,059
C3- 14	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,005	0,005
C3- 16		0,001	0,008	0,017	0,028	0,028	0,028



C.2 Provtagning gaslysimetrar

Följande korrigeringar har föreslagits för att komma till rätta med luft kontaminationer:

* Kvävevärde > 80% korrigeras till 80 och syre minskas i samma proportion därtill.

** Totalsumman >>100% och närvaro av syre och metan justeras som om systemet skulle vara anaerobt dvs syre sätts till 0 och kväve justeras i proportion till detta.

		CH4	CO2	N	O2	
Skikt	Gaslysimeter	2010-okt	2010-okt	2010-okt	2010-okt	Summa %
Skyddsski	G114	4	4	80	15	103*
Skyddsski	G117	0	9	80	18	107*
Tätskikt	G109	40	7	46	0	93**
Tätskikt	G112	0	1,6	61	15	78
Tätskikt	G104	0	5	80	17	102*
Dränering	G111	86	0	21	0	107**
Dränering	G106	64	1	33	0	98**
Avjämnin	G103	0	2,1	76	18	96,1

Sammanställning av gasmättningsresultaten från Älvkarleby.

		CH4			CO2			N			O2		
Skikt	Gaslysimeter	2006-jun	2006-nov	2010-okt	2006-jun	2006-nov	2010-okt	2006-jun	2006-nov	2010-okt	2006-jun	2006-nov	2010-okt
Skyddsskikt	G114	50	49	4	18	13	4	25	27	80	7	11	15
Skyddsskikt	G117	2	1	0	6	3	9	77	80	80	14	16	18
Tätskikt	G109	4	14	40	0	3	7	88	72	46	8	10	0
Tätskikt	G112	3	16	0	1	0	1,6	78	77	61	17	7	15
Tätskikt	G104	0	0	0	0	2	5	78	76	80	21	22	17
Dräneringsskikt	G111	20	0	86	1	1	0	72	77	21	7	22	0
Dräneringsskikt	G106	29	33	64	0	1	1	63	59	33	0,5	0,6	0
Avjämningskikt	G103	34	43	0	1	2	2,1	58	47	76	5	5	18

D Linköping, Gärstad

D.1 Provtagning av avrinningsvatten och lysimetrar

Analys av vatten från avrinningsvatten (från dräneringsskiktet) som överlagrar FSA (Avr1 – Avr4), och från lysimeter med vatten som har perkolerat igenom FSA-skiktet (Lys1 – Lys4). Analysen omfattar perioden mellan januari 2005 och januari 2011. Halterna är i mg/liter.

Linköping, Gärstad										2005		2007		2008		2010		2011										
pH										NH4-N																		
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		
jan 05	7,5	7,3	7	7,3	8,2	8,9	9	9	jan 05	650	430	910	250		4600	730	3600		jan 05	530	470	95		5000	850	3100		
maj 05	7,8	7,2		7,2	6,9	7,4	7,9	7,9	maj 05	900	480	720	65		3500				sep 05									
sep 05	7,9	7,6	7,4	7,4	7,4				sep 05										dec 05									
dec 05									dec 05										jun 07									
jun 07									jun 07										sep 07									
sep 07									sep 07										dec 07									
dec 07									dec 07										jul 08									
jul 08									jul 08										jun 10	7,8	7,6	7,9		7,4	7,9	7,5		
jun 10	7,8	7,6	7,9		7,4	7,9	7,5	7,5	jun 10	250		220			2600	420	2300		jan 11	7,5	7,6	7,5		7,9	7,4			
jan 11	7,5	7,6	7,5		7,9	7,4			jan 11	110	26	110				400	2300											
Kväve total										NO3-N																		
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		
jan 05	660	450	910	270	4700	730	3600	3600	jan 05										jan 05	<0,01	280		0,53	<0,2	0,33	<0,2		
maj 05	570	500		110	5300	890	3400	3400	maj 05	0,0091	<0,050	0,19	0,11		<0,01				sep 05	0,0039	2,7	<0,025	1,2	<0,025	<0,025	<0,025		
sep 05	950	520		74	3700				sep 05	0,022	0,015	0,022			<0,01				dec 05	0,014	<0,01	<0,01	7,1	<0,01	1,7	<0,01		
dec 05									dec 05										jun 07							<0,01		
jun 07		131	221		3800		3300	3300	jun 07		0,59	84			0,017				sep 07							19		
sep 07						650			sep 07							<1			dec 07	0,23								
dec 07	170								dec 07	0,23									jul 08		1,1			<0,1	13,6	<0,1		
jul 08		130			3100	620	3050	3050	jul 08		1,1				<0,1				jun 10	280	54	230		2700	440	2400		
jun 10	280	54	230		2700	440	2400	2400	jun 10	4,8	0,7	4,8			0,2			jan 11	110	35	120		400	2300	2300	2300		
jan 11	110	35	120		400	2300	2300	2300	jan 11	1,8	0,72	0,51															1,4	
Fosfor total										NO2-N																		
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		
jan 05	3,53	0,983	1,46	1,02	1,16	3,53	0,85	4,12	jan 05										jan 05	4,2	<25		<0,025	<0,025	<0,025	<0,025		
maj 05	2,1	2,8		1	4,7	0,67	3,9	3,9	maj 05	0,0039	2,7	<0,025	1,2		<0,025				sep 05	0,014	<0,01	<0,01	7,1	<0,01	1,7	<0,01		
sep 05	2,9	2	4,8	0,56	4,4		1,8	1,3	sep 05	0,014	<0,01	<0,01			<0,01				dec 05							<0,01		
dec 05	5,8	3,9	0,075		1	1,8	1,3	1,3	dec 05										jun 07							<0,01		
jun 07		0,48	0,12				2,72	2,72	jun 07			7,1							sep 07							19		
sep 07							3,4	3,4	sep 07										dec 07	0,024								
dec 07	4,2								dec 07	0,024									jul 08		3,03			2,15	2,36	1,95	43	0,0165
jul 08		3,03				2,15	2,36	1,95	jul 08		0,4				0,013				jun 10	6,88	2,57	0,068		2,14	2,37	1,51	7,7	0,029
jun 10	6,88	2,57	0,068		2,14	2,37	1,51	1,51	jun 10	2,5	0,14	0,31			0,016				jan 11	2,99	1,54	0,19			3,1	1,28	0,56	<0,01
jan 11	2,99	1,54	0,19				3,1	1,28	jan 11	<0,01	<0,01	<0,01																
TOC										Kjeldal-N																		
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		
jan 05									jan 05										jan 05	570	500		110		5300	890	3400	
maj 05	220	240		52			880	880	maj 05	950	520	770	73		3400				sep 05	360	370	350	42	3200	3400	3400		
sep 05	360	370	350	42	3200			3400	sep 05	340	170	240			3300	790	3400		dec 05							3300		
dec 05									dec 05	340	170	240			3300	790	3400		jun 07							3800	3300	
jun 07									jun 07		130	130			3800				sep 07							630	3300	
sep 07									sep 07										dec 07	170							630	
dec 07									dec 07	170									jul 08		130				3100	560	3050	
jul 08									jul 08		130				3100	560	3050		jun 10	120	76	86		1800	56	3300	3300	
jun 10	120	76	86		1800	56	3300	3300	jun 10	270	53	220			2700	430	2400		jan 11	52	47	28		59	3300	3300	3300	
jan 11	52	47	28		59	3300	3300	3300	jan 11	110	34	120															410	2300

VÄRMFORSK

Arsenik									DOC									
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4	
jan 05	20,6	14,3	<20		46	80,2	69,4	39,2	107	jan 05	170	220		43			670	
maj 05	28	14		<4			86	44	140	maj 05	280	160	270	120		2600	3100	
sep 05	16	9,8	30	3,8			81		57	sep 05	110	110	60		2500	96	3300	
dec 05	16	16	14				70	20	57	dec 05		97	46		2900		3400	
jun 07							45	8,3	56	jun 07								
sep 07									56	sep 07								
dec 07	2,3								56	dec 07	92							
jul 08	8,85	<4					95,2	<10	56,9	jul 08	92,3	76,2			1850		3110	
jun 10	2,24	1,39	1,72				37,6	3,86	58	jun 10								
jan 11	<1	1,39	<1				42,3	1,92	47,5	jan 11								
Aluminium									Antimon									
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4	
jan 05	15,7	13,9	26,1	15,5	58,3	90,8	59,5	141	jan 05	5,09	3,23	4,34	4,23	49	18,8	7,73	27,1	
maj 05	830	870	<20			94	23	84	maj 05	<20	<20		<20		<20	<20	23	
sep 05	550	1600	86	<10		110		97	sep 05	2,3	<1	<10	<10		<20		<20	
dec 05	<50	<50	<50			<50	<50	<50	dec 05	<1	<1	<1			2,3	1,1	6,1	
jun 07		50	<50			<50	<30	<50	jun 07						4,6	2	7,4	
sep 07									sep 07									
dec 07	<50								dec 07	<1								
jul 08	<2	3,32				68,9	2,21	14,95	jul 08									
jun 10	<50	<50	<50			<50	<50	<50	jun 10									
jan 11	12,9	7,03	8,57			40,2	4,57	12,1	jan 11	0,458	0,48	0,279			1,83	0,308	3,61	
Jäm									Kalium									
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4	
jan 05	220	74,8	776	189	2460	69,3	49,9	174	jan 05	734	624	1490	221	1220	1250	1050	1220	
maj 05	28	600		75		100	0,07	190	maj 05	470	450		98		2100			
sep 05	29	59	1000	16		42		380	sep 05	700	450	1900	110		1500		1800	
dec 05	<60	111	<60			337	<60	277	dec 05	206	154	240			1430	526	1560	
jun 07		<60	<60			231	61	528	jun 07		130	287			1670	390	1630	
sep 07									sep 07									
dec 07	169								dec 07	210								
jul 08	15,6	34,7				67,1	13	133	jul 08	202	103				1610	386	1650	
jun 10	1580	2520	23,8			127	41,6	94,1	jun 10	166	56,1	253			1340	285	1330	
jan 11	9670	13500	5220			67,4	33,3	110	jan 11	68,1	38,5	121			1250	259	1200	
Barium									Bly									
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4	
jan 05	211	281	319	198	224	41,1	258	410	jan 05	7,82	5,19	3,79	3,21	30,4	4,1	4,94	2,63	
maj 05	120	200		300		200	250	350	maj 05	<1	<1		<1		3,1	1,9	<1	
sep 05	220	210	1500	180		200		410	sep 05	0,5	<0,5		4,4	<5	10		8,7	
dec 05	87	120	150			1500	260	270	dec 05	<2	<2	<2			<2	<2	<2	
jun 07						1600	170	170	jun 07		<2	<2			<2	3,1	<2	
sep 07									sep 07									
dec 07	54								dec 07	<2								
jul 08	64,4	33,5				1480	132	209,5	jul 08	0,549	0,434				5,65	1,29	2,93	
jun 10	95,4	119	45,6			2440	113	300	jun 10	1,58	0,849	<0,6			2,56	0,823	0,871	
jan 11	84,3	77,7	100			1640	79	521	jan 11	0,783	0,496	0,298			1,4	0,296	0,491	
Kadmium									Kalcium									
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4	
jan 05	0,0531	0,0651	<0,1	<0,05		0,553	<0,1	<0,1	12,2	jan 05	1150	1390	1420	115	1800	30	2160	1940
maj 05	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4		<0,4	<0,4		3	maj 05	1300	1800		430		220	1600	2000
sep 05	<0,2	<0,2	<1	<0,2		<0,4			0,63	sep 05	590	750	2100	230		190	1900	
dec 05	<0,2	<0,2	<0,2			<0,2	<0,2	<0,2		dec 05	558	584	354			81,6	481	1060
jun 07			0,2	0,32		<0,2		0,085	<0,2	jun 07		434	348			88,8	590	1110
sep 07										sep 07								
dec 07	<0,2									dec 07	423							
jul 08	<0,05	<0,05				<0,05	<0,05	<0,05		jul 08	594,25	307			65,65	416,5	1250	
jun 10	0,108	<0,05	<0,05			0,0546	<0,05	<0,05		jun 10	293	348	88,2		117	400	1290	
jan 11	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05		jan 11	412	436	271		53,7	321	1050	

Kobolt									Koppar								
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4
jan 05	12,3	5,23	15,2	14,7	44,8	42	14,7	109	jan 05	52	33,4	55,8	16,1	220	290	130	5180
maj 05	18	13		4,7		36	23	99	maj 05	34	12	<4			59	15	6300
sep 05	11	6,4	<10	3,7		20		32	sep 05	3	4,6	53	3,8		24		86
dec 05	2	<2	<2			21	5	24	dec 05	1,1	<1	<1			122	1,7	156
jun 07		<2	<2			21	5,5	30	jun 07			1	3,6		<1	38	24,1
sep 07									sep 07								
dec 07	2								dec 07	5,7							
jul 08	3,21	1,88				18,1	4,2	25,5	jul 08	6,565	3,5				9,01	6,05	0,81
jun 10	2,65	1,11	0,654			21,4	2,6	28,8	jun 10	2,62	5,7	5,07			38,5	6,66	7,4
jan 11	1,02	0,984	0,31			23,8	2,07	22,7	jan 11	9,05	2,4	<1			5,9	1,67	1,72
Krom									Mangan								
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4
jan 05	1,15	1,81	1,42	0,868	1,65	8,82	<1	5,76	jan 05	1460	2700	1800	18,1	790	2,29	111	486
maj 05	<4	<4		<4		22	<4	16	maj 05	1700	3500		2500		330	170	190
sep 05	1,2	1,6	<10	<2		17		8,2	sep 05	1,5	2300	1400	450		0,48		630
dec 05	5,3	3,7	<2			110	2,9	12	dec 05	1930	2030	405			69,5	168	76,7
jun 07		<2	<2			50	0,61	<5,5	jun 07			647			160	850	62,4
sep 07									sep 07								
dec 07	<2								dec 07	1250							
jul 08	0,801	0,897				30,3	1,23	7,82	jul 08	1835	582				210	497	81,25
jun 10	0,933	<0,9	<0,9			24,7	<0,9	9,74	jun 10	970	1300	52,4			551	757	83,3
jan 11	0,684	<0,5	<0,5			22,2	0,539	7,97	jan 11	1680	1830	566			245	719	28,9
Kvicksilver									Magnesium								
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4
jan 05	0,0217	<0,02	0,0971	<0,02	0,441	0,0536	<0,02	0,0899	jan 05	143	174	201	61,8	21,2	16,8	46	23,5
maj 05	<0,01	<0,01		<0,01		0,59	<0,01	0,04	maj 05	110	270		57		58	64	51
sep 05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1		<0,1	sep 05	96	200	440	56		30		55
dec 05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	dec 05	144	157	133			75,9	140	108
jun 07						<0,05	0,016	<0,05	jun 07		125	113			84,2	160	78,7
sep 07									sep 07								
dec 07	<0,1								dec 07	120							
jul 08	<0,02	<0,02				<0,02	<0,02	<0,02	jul 08	134,5	122				98,2	131	80
jun 10	<0,02	<0,02	<0,02			<0,02	<0,02	<0,02	jun 10	102	85,5	84,9			112	116	77,9
jan 11	<0,02	<0,02	<0,02			<0,02	<0,02	<0,02	jan 11	82,6	87,8	76,5			102	122	71,9
Natrium									Nickel								
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4
jan 05	1340	1440	3150	326	1760	1910	1780	1840	jan 05	63,2	48,7	85,8	38,6	216	566	184	5720
maj 05	1200	1600		200		2800	1600	2300	maj 05	59	42		8		600	140	5700
sep 05	1200	1000	4900	250		2100		2500	sep 05	57	37	88	11		260		400
dec 05	493	483	657			2180	923	2570	dec 05	9	8	4			251	26	160
jun 07		414	688			2490	770	2480	jun 07		22	9			350	25	202
sep 07									sep 07								
dec 07	423								dec 07	10							
jul 08	483	363				2680	657	2630	jul 08	25,4	11,3				229	21,4	240
jun 10	336	199	463			2210	465	2110	jun 10	12,9	7,05	4,24			231	13,4	274
jan 11	174	165	234			2010	404	1880	jan 11	4,43	5,97	2,51			309	9,62	165
Zink									Svavel								
	avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4		avr1	avr2	avr3	avr4	lys1	lys2	lys3	lys4
jan 05	703	48,1	82,1	301	842	236	2080	48800	jan 05	465	979	153	57,2	495	661	508	816
maj 05	200	<20		<20		180	210	6600	maj 05	880	540		130		990	390	770
sep 05	9,5	<10	83	<10		29		1200	sep 05	430	420	150	120		430		910
dec 05	<60	<60	<60			81	<60	80,6	dec 05	300	210	250			32	400	540
jun 07		<50	63,2			65,8	1200	74,6	jun 07						74	610	570
sep 07									sep 07								
dec 07	<50								dec 07	290							
jul 08	5,435	<2				24,7	17,9	5,805	jul 08	394,5	234				56,7	486	502
jun 10	<4	14,6	<4			12,8	6,69	17,4	jun 10								
jan 11	7,04	4,07	2,47			31,7	4,1	10,7	jan 11								

E Huddinge, Sofielund

E.1 Provtagning av avrinningsvatten och lysimetrar

Analys av vatten från avrinningsvatten (från dräneringsskiktet) som överlagrar FSA (AVR1:20 och AVR1:3) och från lysimeter med vatten som har perkolerat igenom FSA-skiktet (UL1:20 och UL1:3). Skyddsskiktet undersöktes med lysimetrarna ÖL1:20 och ÖL1:3), där 1:20 och 1:3 är släntens lutning. Analysen omfattar perioden mellan januari 2005 och januari 2011. Halterna är i mg/liter. Vissa prov analyserades efter filtrering.

Huddinge, Sofielund														2005		2006		2007		2008		2010		2011				
pH														Et.kond														
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		
jun-05	7,2	7			5,8	7	7,3		jun-05										jun-05									
sep-05	8	6,7			4,6	5,9	7		sep-05										sep-05									
dec-06	7,2	6,78					7,88		dec-06	2,52	8,63								dec-06						2,2			
feb-07									feb-07										feb-07									
jul-07									jul-07										jul-07									
nov-07	7,9	7,8					6,7		nov-07										nov-07									
feb-08									feb-08										feb-08									
okt-08	8,3	8,1			8,4	3,6	8,7		okt-08										okt-08									
sep-10							8,5	7,2	sep-10										sep-10									
jan-11	7,1					6,3			jan-11										jan-11									
Ammoniumkväve, NH4-N														Kväve total														
jun-05									jun-05	1000	1000				790	500		jun-05										
sep-05									sep-05	780	220			390	4100	550		sep-05										
dec-06									dec-06	0,31	65			23		34		dec-06										
feb-07									feb-07									feb-07										
jul-07									jul-07							36		jul-07										
nov-07									nov-07	98	210					100		nov-07										
feb-08									feb-08				24	47				feb-08										
okt-08									okt-08	14	25			12	75000	26		okt-08										
sep-10								2,2	990							63	5200	sep-10										
jan-11	1,8					780			jan-11	97					4100			jan-11										
NO3-N														NO2-N														
jun-05									jun-05									jun-05										
sep-05									sep-05									sep-05										
dec-06									dec-06									dec-06										
feb-07									feb-07									feb-07										
jul-07									jul-07									jul-07										
nov-07									nov-07									nov-07										
feb-08									feb-08									feb-08										
okt-08									okt-08									okt-08										
sep-10								63	4300								0,56	15	sep-10									
jan-11	98					3200			jan-11	0,82					0,84			jan-11										
Kjeldal-N														DOC														
jun-05									jun-05									jun-05										
sep-05									sep-05									sep-05										
dec-06									dec-06	2,1	29					20		dec-06										
feb-07									feb-07					26				feb-07										
jul-07									jul-07							15		jul-07										
nov-07									nov-07	31	33				48		nov-07											
feb-08									feb-08				24	35	13000			feb-08										
okt-08									okt-08	18	25			29	4800	30		okt-08										
sep-10									sep-10								23	620	sep-10									
jan-11									jan-11									jan-11										
Fosfor total														TOC														
jun-05	8,7	12				3,7	7		jun-05									jun-05										
sep-05	5,8	1,6			2,5	3,5	0,95		sep-05									sep-05										
dec-06	<0,01	0,34			0,58		0,17		dec-06									dec-06										
feb-07									feb-07									feb-07										
jul-07							0,12		jul-07									jul-07										
nov-07	0,31	0,47					0,23		nov-07									nov-07										
feb-08				1,3	0,13				feb-08									feb-08										
okt-08	0,12	0,13			0,09	91	0,05		okt-08									okt-08										
sep-10								0,41	1,3								64	620	sep-10									
jan-11	0,36					2,9			jan-11	93	23				64			jan-11										

Arsenik										Kadmium									
filtrerat										filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		
jun-05	140	270		130	43	45			jun-05	0,61	0,81		0,86	2,2	0,36				
sep-05	150	87		88	230	63			sep-05	1,6	5,1		1,7	39	5,1				
dec-06	17	<50				13			dec-06	0,99	<4				0,39				
feb-07				19					feb-07				0,45						
jul-07						21			jul-07						1,3				
nov-07	29	22				43			nov-07	3	0,73				8,7				
feb-08			48	4,7	5200				feb-08			1,1	<0,01	60					
okt-08	13	18		17	3300	16			okt-08	0,41	0,29			0,19	<10	0,63			
sep-10		17			560		24	590	sep-10		0,26				140		0,21	100	
jan-11	18				450				jan-11	0,82					90				
Aluminium										Antimon									
filtrerat										filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		
jun-05	190	410		140	200	85			jun-05	4	4		23	75	13				
sep-05	75	59		210	630	81			sep-05	17	47		15	86	12				
dec-06	6	<100				17			dec-06	<1	21				10				
feb-07				10					feb-07				16						
jul-07						570			jul-07						<1				
nov-07	58	<50				360			nov-07	26	27				21				
feb-08			14	15	27000				feb-08			4,1	16	1300					
okt-08	11	5		24	3000	<25			okt-08	21	32		27		37				
sep-10		340			<300		<5	<100	sep-10		28				28		27	32	
jan-11	500				630				jan-11	17					27				
Barium										Bly									
filtrerat										filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		
jun-05	260	390		160	420	230			jun-05	13	5,3		86	0,7	12				
sep-05	230	230		100	770	250			sep-05	7,5	3,1		23	22	5,1				
dec-06	64	150				75			dec-06	<0,5	<40				<0,5				
feb-07				45					feb-07				<0,5						
jul-07						300			jul-07						11				
nov-07	66	140				89			nov-07	<0,5	<0,5				3,8				
feb-08			34	26	9000				feb-08			0,43	0,096	1400					
okt-08	35	43		29	12000	32			okt-08	2,3	<0,5		<0,5	2100	1				
sep-10		91			1300		39	1200	sep-10		2,9			<40		<0,5	<40		
jan-11	160				940				jan-11	7,7				<40					
Kobolt										Koppar									
filtrerat										filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		
jun-05	15	55		32	56	22			jun-05	69	280		120	4100	220				
sep-05	11	10		7,9	210	16			sep-05	59	120		89	5900	360				
dec-06	1,5	<10				1,8			dec-06	52	75				44				
feb-07				1,4					feb-07				46						
jul-07						3,4			jul-07						100				
nov-07	6,3	3,4				13			nov-07	97	120				120				
feb-08			5,5	1,8	3700				feb-08			160	47	64000					
okt-08	1,2	1,7		1,2	2600	2,4			okt-08	44	84		42	86000	71				
sep-10		2,3			170		1,1	100	sep-10		42			2200		31	2000		
jan-11	4,2				170				jan-11	86				1700					
Krom										Nickel									
filtrerat										filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		
jun-05	13	21		15	9,3	9,5			jun-05	120	270		110	85	93				
sep-05	17	1,9		1,9	7,5	3,8			sep-05	67	40		37	320	93				
dec-06	13	<10				15			dec-06	62	<20				63				
feb-07				7,2					feb-07				10						
jul-07						3,6			jul-07						15				
nov-07	<5	<5				<5,0			nov-07	22	15				57				
feb-08			1	0,54	130				feb-08			12	7,8	3900					
okt-08	1,5	2,6		2,2	<100	<2,5			okt-08	18	7,7		9,5	4400	15				
sep-10		1,8			<20		4,3	<20	sep-10		6,8			1300		4,6	1100		
jan-11	4				<20				jan-11	12				1200					

Kvicksilver								Zink									
filtrerat								filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil
jun-05	<0,1	0,22		0,43	0,12	<0,1			jun-05	31	100		360	74	75		
sep-05									sep-05	150	810		370	2100	720		
dec-06	<0,1	<0,1				<0,1			dec-06	330	690				190		
feb-07				<0,1					feb-07				160				
jul-07									jul-07						1100		
nov-07	<0,1	<0,1				<0,1			nov-07	410	42				2300		
feb-08			<9	<9	1,9				feb-08			4300	78	87000			
okt-08	<0,1	<0,1		<0,1	2	<0,1			okt-08	75	21		41	55000	77		
sep-10	<0,13	<0,13			<0,13	<0,13	<0,1	<0,1	sep-10		90			2500		51	2300
jan-11	<0,13				<0,13				jan-11	540				2800			
Magnesium								Kalcium									
filtrerat								ej filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil
jun-05	34	29		94	31	89			jun-05	950	1700		2100	340	1800		
sep-05	29	100		25	170	64			sep-05	470	1400		290	2200	760		
dec-06	27	40				17			dec-06	0,66	560	140	140	9100	250		
feb-07				23					feb-07								
jul-07						26			jul-07						360		
nov-07	170	52				150			nov-07	650	610				810		
feb-08			3,7	29	2700				feb-08			73	210	13000			
okt-08	21	16		26	3800	39			okt-08	180	140		190	54000	310		
sep-10		25			560		24	550	sep-10							330	10000
jan-11	47				410				jan-11								
Natrium								Kalium									
filtrerat								filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil
jun-05	1400	1200		2000	660	1200			jun-05	2300	1900		3300	500	1800		
sep-05	790	490		440	2300	540			sep-05	1400	700		700	2000	730		
dec-06	99	1000				91			dec-06	140	210				240		
feb-07				190					feb-07				110				
jul-07						230			jul-07						300		
nov-07	250	680				300			nov-07	250	210				390		
feb-08			24	110	16000				feb-08			30	83	22000			
okt-08	51	110		67	23000	90			okt-08	62	82		74	48000	130		
sep-10		51			3400		50	3500	sep-10		75			3700		72	3900
jan-11	260				2400				jan-11	62				2700			
Jäm								Mangan									
filtrerat								filtrerat									
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil		AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil
jun-05	250	60		1400	<50	2200			jun-05	86	66		670	140	590		
sep-05	320	100		180	180	100			sep-05	380	1200		200	3100	700		
dec-06	<50	<50				<50			dec-06	210	140				160		
feb-07				<50					feb-07				190				
jul-07						60			jul-07						410		
nov-07	<50	<50				80			nov-07	600	32				1700		
feb-08			8,2	5,4	8200				feb-08			30	0,29	7400			
okt-08	<50	<50		<50	2400	<50			okt-08	2,1	1,9		0,9	74000	240		
sep-10		0,45			0,16		<0,05	0,1	sep-10		52			20000		<0,5	19000
jan-11	0,66				1,3				jan-11	150				16000			
Svavel																	
filtrerat																	
	AVR 1-20	AVR 1-3	UL 1-3	ÖL 1-3	UL 1-20	ÖL 1-20	AVR 1-3 fil	UL 1-20 fil									
jun-05	520	610		1000	360	660											
sep-05	380	300		280	950												
dec-06	93	220				81											
feb-07				73													
jul-07						53											
nov-07	250	260				280											
feb-08			34	110	1500												
okt-08	81	81		86	590	130											
sep-10		140			330		140	340									
jan-11	150				260												

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGI MYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35