

# Tätskiktsmaterial i sluttäckning av deponier

– En litteratur- och fallstudie om  
tätskiktsmaterial ur ett miljömässigt och  
ekonomiskt perspektiv.

*Tove Juhl Andersen*

---

Examensarbete 2015  
Miljö- och Energisystem  
Institutionen för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola





**LUNDS UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**Tätskiktsmaterial i sluttäckning av deponier**  
En litteratur- och fallstudie om tätskiktsmaterial ur ett  
miljömässigt och ekonomiskt perspektiv

Tove Juhl Andersen

Examensarbete

Augusti 2015



Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från  LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Examensarbete
	Utgivningsdatum
	Augusti 2015
	Författare
	Tove Juhl Andersen

#### Dokumenttitel och undertitel

Tätskiktmaterial i sluttäckning av deponier- En litteratur- och fallstudie om tätskiktmaterial ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv.

#### Sammandrag

Strängare lagstiftning (SFS 2001:512) har medfört att ett stort antal deponier kommer att avslutas och sluttäckas inom de närmaste åren. Till detta behövs stora mängder material, som lever upp till olika krav som täthet och långtidsbeständighet. Då det finns ett överskott av material som exempelvis avloppsslam, aska och andra restprodukter från industrier, skulle dessa kunna vara ett alternativ till de naturliga och syntetiska materialen som ofta används idag. Men både ur ett miljömässigt och ur ett ekonomiskt perspektiv kan materialens lämplighet variera. Syftet med detta examensarbete är därför att analysera vilka för- och nackdelar det finns med de olika typerna av tätskiktmaterial, ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv. Detta har gjorts genom en litteraturstudie och en fallstudie. I litteraturstudien sammanfattas tidigare studier och erfarenheter av olika material. I fallstudien görs mätningar på lakvattnet från en pilotsluttäckning på en deponi i Lessebo, där fiberslam används i tätskiktmaterial. Fallstudien inkluderar även en marknadsundersökning av tillgången på material i området.

Resultaten av litteraturstudien visar att de flesta material som har undersökts, går att använda som tätskiktmaterial. Endast sammanpressad lera kunde få för hög permeabilitet efter en tid. Tätskikt med material som innehåller slam, har högre risk för ammoniakbildning och därmed dålig lukt. Material med slam kräver även hög packningsgrad, för att minimera nedbrytning och sprickbildning. Alla materialen ifrågasätts med avseende på långtidsbeständighet. Kostnaderna för materialen varierar från fall till fall och är därför svåra att generalisera.

Resultaten av fallstudien i Lessebo visar att tätheten på tätskiktet varierar beroende på andelen fiberslam i materialet. Den bästa tätheten uppnåddes med 80 % fiberslam och 20 % flygaska. Dessutom finns det stora skillnader på urlakning av näringsämnen, vilket kan bero på andelen fiberslam och flygaska. Resultatet av marknadsundersökningen visar att tillgången på fiberslam och flygaska i området runt Lessebo är begränsat, men att vid kombination av olika bruk och förbränningsanläggningar skulle det kunna finnas material att tillgå inom en rimlig tid.

Slutsatserna i detta examensarbete är att det finns många potentiella alternativa material som kan användas som tätskiktmaterial, men de behöver undersökas noggrant innan de används. Ur ett miljöperspektiv är det positivt att det finns möjlighet att använda restprodukter från industrin då material på så sätt kan återanvändas, istället för att naturresurser eller syntetiska material används. Fallstudien visar att det går att använda fiberslam som tätskiktmaterial, men att kontinuerliga analyser av lakvattnet bör göras. För deponiägare som planerar att sluttäcka, kan det vara fördelaktigt att lägga lite tid på att undersöka vilka material som finns att tillgå i området, då de både kan vara miljömässigt och ekonomiskt gynnsamt.

#### Nyckelord

Tätskiktmaterial, sluttäckning, deponi, lakvatten, Deponiförordningen, fiberslam, lysimeter

Sidomfång	Språk	ISRN
71	Svenska	LUTFD2/TFEM--15/5104--SE + (1-70)

Organisation, The document can be obtained through  LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	Master thesis
	Date of issue
	August 2015
	Authors
	Tove Juhl Andersen

---

Title and subtitle

Materials for low permeability liner in landfill capping- a literature review and case study of low permeability liner materials from an environmental and economic perspective.

---

Abstract

Stricter EU regulations have resulted in an increase in final capping of landfills, which will continue into the near future. Therefore a large amount of material, that fulfills the requirements of Landfill Directives e.g. with regards to permeability, are needed. Various industries generate byproducts such as sewage sludge and ashes, and these could serve as an alternative to the traditional lining materials that are often used today. But the suitability of these materials might vary. The purpose of this Master thesis is to analyze benefits and disadvantages with the use of different kinds of low permeability materials in landfill capping, from an environmental and economic perspective. This has been carried out through a literature review and a case study. The literature review consists mainly of summaries of earlier studies and experiences from using different kinds of material. The case study consists of monitoring of leachate from the final capping at Lessebo landfill, where paper sludge mixed with fly ash is used as low permeability liner. The case study also includes market research, in the access of paper sludge and fly ashes in the region around Lessebo.

Results from the literature review shows that most investigated materials are suitable for use in the low permeability liner of landfill caps. Materials containing sludge have a higher risk of releasing ammonia which causes an unpleasant smell. These materials also require a higher degree of compaction in order to limit decomposition and formation of cracks. All studied materials are uncertain in regard to its performance over time. The cost of the materials varies from site to site and it is therefore difficult to draw any general conclusions.

Results from the case study in Lessebo shows that the permeability depends on the amount of paper sludge in the low permeability liner. The lowest permeability was accomplished with 80 % paper sludge and 20 % fly ash. Furthermore, large variability of nutrients in the leachate was observed which could be due to the proportions in the low permeability liner mix. Results from the market research shows that the access of paper sludge and fly ashes in the area surrounding Lessebo is limited. However, if a combination of different mills and incinerating plants is used, enough material could be found within a reasonable time scale.

The conclusions from this Master thesis are that there are many kinds of materials that can be used as low permeability liner. However, critical investigations and source evaluation studies should be carried out before the materials are used. From an environmental perspective this is a positive result since waste products can be reused instead of e.g. using natural or synthetic resources. The case study shows that paper sludge works as material in the low permeability liner as long as continuous analyzes of the leachate are carried out. Landfill owners that are planning to initiate final capping of their landfills are recommended to put some effort into researching the possibilities of alternative materials in the area around the landfill. This could benefit them both from an environmental and economic point of view.

---

Keywords

Low permeability liner material, final capping, landfill, leachate, Landfill Directive, paper sludge, leachate catchment basin

---

Number of pages	Language	ISRN
71	Swedish	LUTFD2/TFEM--15/5104--SE + (1-70)

---

## Förord

Detta examensarbete har genomförts som avslutning på civilingenjörsprogrammet i Ekosystemteknik vid Lunds Tekniska Högskola och har skrivits för avdelningen Miljö- och energisystem vid institutionen för Teknik och samhälle. Examensarbetet har utförts i samarbete med Sweco, i gruppen för VA-processer och avfall i Malmö.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på Sweco, Hanna Modin, som har delat med sig av sin ovärderliga kunskap om allt från deponier till vetenskapliga artiklar. Jag vill även rikta ett stort tack till mina handledare på LTH, Eva Leire och Charlotte Retzner, som har inspirerat mig till att skriva ett examensarbete inom avfallsområdet och som har gett mig många värdefulla kommentarer under arbetets gång. Tack även till att snälla människor på Sweco för det varma mottagandet jag fick på kontoret och alla som har hjälpt mig i labbet, tagit med mig på studiebesök och gjort vardagen med skrivandet så mycket roligare.

Slutligen vill jag även tacka min familj och mina vänner som har stöttat mig och stått ut med att lyssna på allt prat om deponier och sluttäckningar det senaste halvåret. Även tack till Sarah, som har gett mig många goda råd under arbetets gång och till Anton, som har stöttat och uppmuntrat mig i alla lägen.

Malmö, augusti 2015

Tove Juhl Andersen

## Ordlista

**BOD**=Biochemical Oxygen Demand. Ett mått på mängden löst syre som behövs för att syreförbrukande organismer ska kunna bryta ner organiskt material i en bestämd mängd vatten.

**BOD<sub>7</sub>**=Den mängd syre som förbrukas i vattnet under sju dygn. Se BOD ovan.

**Diffusion**= den spridningsprocess som sker då koncentrationsdifferenser inom vätskor eller gaser jämnas ut.

**DOC**= Dissolved Organic Carbon. Mått på den totala mängden löst organiskt kol i vatten.

**Fackling**= uppeldning av gas utan nyttiggörande.

**L/S-kvot**= Liquid/Solid-kvot. Förhållandet mellan vätska och fast material.

**Lysimeter**= behållare som placeras under tätskiktet för att samla upp lakvatten.

**Permeabilitet**= ett mått på hur tät ett material är med hänsyn till genomsläpplighet av vatten.

**Pilotsluttäckning**=Sluttäckning i mindre skala för att utvärdera funktionen.

**Pressvatten**=vatten som finns i tätskiktsmaterial från början och som sedan utgör en del av lakvattnet.

**Stabiliserat material**=göra materialet lättare att arbeta med, t.ex. genom att blanda in aska.



# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>3</b>
1.1 BAKGRUND.....	3
1.2 SYFTE, FRÅGESTÄLLNING OCH HYPOTES.....	3
1.3 METOD .....	4
1.4 AVGRÄNSNINGAR .....	4
<b>2. Teori</b> .....	<b>6</b>
2.1 DEPONERING AV AVFALL.....	6
2.2 KLASSNING AV DEPONIER.....	6
2.3 AVFALLSHIERARKIN .....	6
2.4 HÄNSYNSREGLERNA.....	8
2.5 REGELVERK FÖR DEPONIER .....	8
2.5.1 Miljöbalken 15 kap.....	8
2.5.2 Deponiförordningen.....	8
2.5.3 Lagen om skatt på avfall .....	10
2.6 SVERIGES MILJÖMÅLSSYSTEM .....	10
2.7 SLUTTÄCKNING AV DEPONIER .....	11
2.7.1 Vegetationsskikt.....	12
2.7.2 Skyddsskikt .....	12
2.7.3 Dräneringsskikt .....	13
2.7.4 Tätskikt .....	13
2.7.5 Gasdräneringsskikt.....	13
2.7.6 Utjämningskikt.....	13
2.8 MATERIAL TILL TÄTSKIKT .....	14
2.8.1 Naturliga material.....	14
2.8.2 Alternativa material .....	15
2.9 AVGÖRANDE FAKTORER VID VAL AV TÄTSKIKTSMATERIAL .....	16
2.9.1 Materialbehov vs. tillgänglighet .....	17
2.9.2 Tekniska egenskaper .....	17
2.9.3 Miljöpåverkan .....	19
2.9.4 Anläggning av materialet.....	20
2.10 TIDIGARE STUDIER OCH ERFARENHETER – MILJÖASPEKTER.....	21
2.10.1 Pilotförsök med fiberslam och moränlera som tätskikt.....	21
2.10.2 Långtidsegenskaper hos tätskikt innehållande bentonit.....	22
2.10.3 Användning av avloppsslam för tätning av deponier.....	23
2.10.4 Försök med tätning och täckning av avfallsupplag genom användning av fiberslam, gjuterisand, slaggranulat och slaggrus.....	24
2.10.5 Täckning av deponier med blandning av avloppsslam och aska .....	24
2.10.6 Alternativa tätskiktmaterial – kostnadseffektiva lösningar .....	25
2.10.7 Pilotförsök med flygaskastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt.....	26
2.10.8 Miljöriktig användning av askor – askanvändning i deponier .....	27
2.10.9 Steel slag used in landfill cover liners: laboratory and field tests.....	27
2.10.10 Water balance and effectiveness of landfill cover systems: 20 years measurements at the landfill Hamburg-Georgswerder.....	28
2.10.11 Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt bestående av flygaskastabiliserat avloppsslam, FSA. Beständighet, täthet och utlakning .....	28

2.10.12 Kunskapssammanställning – beständigheten hos geosynteter i deponikonstruktioner.....	29
2.11 TIDIGARE STUDIER OCH ERFARENHETER – EKONOMISKA ASPEKTER .....	30
<b>3. Fallstudien Lessebo .....</b>	<b>31</b>
3.1 BAKGRUND.....	31
3.1.1 Lessebo deponi .....	31
3.2 SLUTTÄCKNING AV LESSEBO DEPONI .....	33
3.3 METOD .....	33
3.3.1 Pilotsluttäckningen.....	33
3.3.2 Mätning av lakvatten.....	39
3.4 MARKNADSUNDERSÖKNING .....	40
3.4.1 Bakgrund.....	40
3.4.2 Behov av material.....	40
3.4.3 Metod.....	40
<b>4. Resultat.....</b>	<b>42</b>
4.1 LITTERATURSTUDIE - MILJÖASPEKTER .....	42
4.1.1 Tekniska faktorer.....	42
4.1.2 Anläggningstekniska faktorer.....	43
4.2 LITTERATURSTUDIE - EKONOMISKA ASPEKTER .....	44
4.3 FALLSTUDIEN LESSEBO .....	44
4.3.1 Lakvatten .....	44
4.3.2 Marknadsundersökning.....	51
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>53</b>
5.1 LITTERATURSTUDIEN – MILJÖMÄSSIGA ASPEKTER.....	53
5.2. LITTERATURSTUDIEN – EKONOMISKA ASPEKTER .....	54
5.3 FALLSTUDIEN LESSEBO .....	54
5.3.1 Lakvattnet.....	54
5.3.2 Marknadsundersökningen .....	55
5.4 FELKÄLLOR .....	56
<b>6. Slutsats.....</b>	<b>58</b>
<b>7. Förslag till fortsatta studier.....</b>	<b>60</b>
<b>8. Källförteckning.....</b>	<b>61</b>

Bilaga 1 – Volym lakvatten

Bilaga 2 – Koncentrationer i lakvattnet

Bilaga 3 – Nederbördsmängder

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

På grund av strängare lagstiftning förväntas ett stort antal deponier avslutas och sluttäckas inom de närmaste åren (SFS 2001:512). Sluttäckningen består av olika skikt som tillsammans ska säkerställa att mängden vatten som tränger in i deponin minimeras. På så sätt hindras urlakning av föroreningar som kan vara skadliga för människors hälsa och miljön. Ett av skikten är tätskiktet, vars syfte bland annat är att förhindra nederbörd från att tränga ner till avfallet. (Avfall Sverige 2014a) Till detta behövs material som lever upp till olika krav på exempelvis täthet i enlighet med Deponiförordningen (2001:512) och som är beständiga över lång tid. Typen av material som väljs varierar till stor del beroende på vad som finns tillgängligt i regionen och på vilka krav myndigheterna ställer (Avfall Sverige 2014b).

Idag används allt från naturliga leror och syntetiska material till restprodukter av olika slag som tätskiktsmaterial, ibland i kombination med varandra. För att uppnå ett bra resultat behövs stora mängder material per hektar. Vid användning av naturligt material är det belastande för miljön på grund av exploatering av naturliga resurser. (Travar, Lidelöw, Andreas, Tham & Lagerkvist 2008) Dessutom kan naturligt material vara en bristvara i vissa områden och därför behövs substitut som har rätt egenskaper. Syntetiska material kan ibland vara dyra och det finns osäkerheter kring hur beständiga de är efter en längre tid. (Svenska Renhållningsverksföreningen (RVF) Utveckling 2001a). Då det finns ett överskott av alternativa material som exempelvis avloppsslam, aska och andra restprodukter från industrier, så skulle dessa kunna vara ett alternativ till de naturliga och syntetiska materialen. De behöver dock undersökas noggrant så att lämpligheten av materialen säkerställs innan de kan användas. (Herrmann, Andreas, Diener & Lind 2009)

Många av de alternativa materialen, som har undersökts med avseende på lämplighet som sluttäckningsmaterial, har visat att de uppfyller de kvalitetskrav som lagen kräver. Men både ur ett miljömässigt och ur ett ekonomiskt perspektiv kan materialens lämplighet variera, bland annat på grund av anläggningstekniska faktorer. Enligt Avfall Sverige finns det i dagsläget ett behov av att undersöka miljöprestandan och att göra kostnadsberäkningar för olika sluttäckningsmaterial. (Avfall Sverige 2014a)

## 1.2 Syfte, frågeställning och hypotes

Syftet med detta examensarbete är att, ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv, jämföra några av de olika material och materialkombinationer som idag används i tätskiktet vid sluttäckning av deponier. Materialen kategoriseras som naturliga samt alternativa material. Alternativa material involverar både tillverkade material och restprodukter från industrin.

Den problemställning som kommer att analyseras i arbetet är:

- Vilka för- och nackdelar finns det med de olika typerna av tätskiktsmaterial ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv?
- Är det möjligt, ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv, att använda restprodukter som tätskiktsmaterial i sluttäckning av deponier?

### **1.3 Metod**

Detta examensarbete bygger på en litteraturstudie, som ligger till grund för kapitel 2, och en fallstudie som inkluderar fältarbete och en marknadsundersökning. Nedan kommer en beskrivning av metoden som har använts för litteraturstudien och en sammanfattning av metoden för fallstudien. Metoden i fallstudien, både för fältarbetet och för marknadsundersökningen, beskrivs mer ingående i kapitel 3.

För litteraturstudien har databassökningar gjorts i LUBsearch (Lunds Universitets Bibliotek) och Google scholar. Rapporter har även hittats direkt på Avfall Sveriges, Naturvårdsverkets och Värmeforsk ABs hemsidor. Slutligen har en genomgång av artiklar från tidsskriften Bygg & Teknik gjorts, från utgivningsår 2000 och framåt. För sammanfattning av tidigare studier och erfarenheter (kapitel 2.10) valdes ett begränsat antal rapporter ut på följande kriterier:

- Rapporterna behandlar ämnet tätskiktmaterial i sluttäckningar av deponier.
- Rapporterna bygger på fältundersökningar och/eller analyser i laboratorium av olika material som har använts till tätskikt.
- Rapporterna avser endast deponier som innehåller icke farligt avfall.
- Tillsammans ska rapporterna ge en god bredd inom området och därför behandla så många olika typer av tätskiktmaterial som möjligt.

Under litteraturstudien gång, upptäcktes det att det finns mer information om vissa material än om andra. Då det finns ett stort intresse för att undersöka funktion, lämplighet och erfarenheter kring användandet av flygkastabiliserat avloppsslam (FSA), finns det även många rapporter som behandlar just den materialkombinationen. Därför behandlar en övervägande del av de sammanfattande rapporterna i kapitel 2.10 just tätskikt innehållande FSA eller liknande material.

Förutom litteraturstudien görs även en fallstudie. Fallstudien omfattar fältarbete på ett pilotsluttäckningsprojekt i Lessebo där fiberslam, en restprodukt från pappersbruk, används som tätskiktmaterial. Pilotsluttäckningen har gjorts av en entreprenör. Fältarbetet har utförts för att mäta kvantitet och kvalitet på det vatten som rinner igenom tätskiktet. På så sätt bidrar fallstudien med ny empirisk data till forskningsområdet och ger en indikation på hur bra fiberslam är som tätskiktmaterial.

Fallstudien inkluderar även en marknadsundersökning av materialtillgången i området kring Lessebo. Metoden för marknadsundersökningen beskrivs i kapitel 3.5.3.

### **1.4 Avgränsningar**

Endast tätskikt har studerats då omfattningen på arbetet annars skulle bli för stort. Hänsyn har därför inte tagits till vilken typ av material som har använts vid de andra skikten i sluttäckningen, som annars kan påverka exempelvis hur mycket vatten som kommer ner till tätskiktet.

Val av tätskiktmaterial i sluttäckningar påverkar även den gas som bildas i deponin. På grund av omfattningen på detta examensarbete, har endast lakvatten valts som fokus. Påverkan på gasbildning i deponin beroende på vilken typ av material som används i tätskiktet, har därför uteslutits ur projektet.

Många av de undersökningar som gjorts tidigare har utvärderat materialet i minst ett år och oftast jämfört fältstudier och laborativa analyser. På grund av begränsad tid för detta examensarbete, har mätningar i fallstudien Lessebo endast gjorts under ett par månader precis efter att pilotsluttäckningen var klar. Resultatet förväntas ändå kunna ge en indikation på hur kvantiteten och kvaliteten av vattnet kommer att se ut under en längre tidsperiod.

Merparten av de deponier som avslutas till följd av strängare EU-krav innehåller icke farligt avfall (RVF Utveckling 2004). Därför kommer detta examensarbete endast att omfatta sluttäckning av deponier med icke farligt avfall. En del av de forskningsartiklar som kommer att användas som underlag i examensarbetet är inte gjorda i Sverige. Även om de bygger på undersökningar för icke farligt avfall, så kan definitionen av klassningen variera mellan olika länder. Detta kommer att ses som en felkälla i arbetet.

## 2. Teori

### 2.1 Deponering av avfall

En mindre del av det avfall som uppkommer idag är svårt att återvinna eller återanvända på ett miljömässigt gynnsamt sätt. Det kan bero på bland annat avfallets egenskaper, löslighet eller formen på avfallet. Om avfallet exempelvis har ett lågt energiinnehåll eller ger upphov till oönskade föroreningar vid förbränning, kan det både miljömässigt och ekonomiskt vara deponering som är det bästa alternativet. (Avfall Sverige Utveckling 2012) Porslin, fönsterglas, kakel, gipsavfall och vissa förorenade jordar är exempel på material som deponeras (Avfall Sverige Utveckling 2012, Avfall Sverige 2014b).

Deponering var för några decennier sedan den vanligast förekommande behandlingsmetoden av avfall i Sverige. Historiskt sett var det vanligt att industrier hade egna deponier då detta ansågs praktiskt. Kommunerna hade också en eller flera deponier där avfallet omhändertogs. (Avfall Sverige Utveckling 2012) Andelen avfall som deponeras har gradvis minskat. Strängare lagstiftning har medfört att det endast är de avfallsfraktioner som inte går att oskadliggöra eller behandla på annat sätt, som hamnar på deponierna. (Avfall Sverige 2015) Den 1 januari 2002 förbjöds deponering av brännbart avfall och den 1 januari 2005 förbjöds deponering av organiskt avfall (2001:512).

År 2014 deponerades totalt 1 432 200 ton avfall på svenska deponier, vilket var en ökning med knappt tre procent jämfört med år 2013. Mängden avfall som deponeras på enskilda anläggningar kan dock variera mycket från år till år beroende på behovet av deponering av förorenade massor. (Avfall Sverige 2015) Industrierna står för den största andelen avfall som deponeras (Naturvårdsverket 2014a).

### 2.2 Klassning av deponier

Klassning av deponier kan vara svårt då avfallet i deponin ibland är okänt och dessutom heterogent (Sveriges geotekniska institut 2011). Enligt 7 § i förordningen om deponering av avfall (2001:512), även kallad Deponiförordningen, ska varje deponi klassificeras som farligt avfall, icke farligt avfall eller inert avfall. Definitionerna för de olika klassningarna återfinns i Deponiförordningen (2001:512) och Avfallsförordningen (2011:927). I bilaga 4 till Avfallsförordningen (2011:927) listas avfall med en siffrig kod. Om koden efterföljs av en asterisk (\*), klassas avfallet som farligt. Inert avfall är, något förenklat, sådant avfall som inte ändras fysikaliskt, kemiskt eller biologiskt över tid.

Farligt avfall består till stor del av förorenade jordar, asfalt, avfall från förbränning samt mineralavfall. Det icke-farliga avfallet består till stor del av hushållsavfall, aska och slagg från förbränning och sorteringsrester. (Naturvårdsverket 2014a)

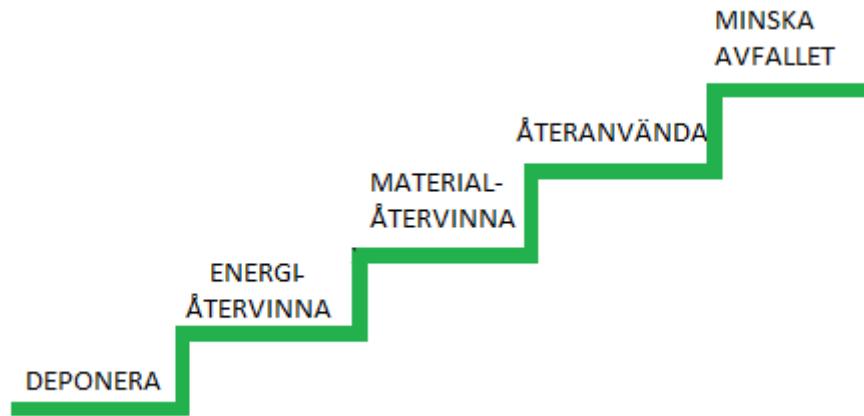
År 2009 fanns det enligt Naturvårdsverket 157 deponier som var i drift i Sverige, varav 96 stycken var klassade för icke farligt avfall, 28 klassade för farligt avfall och 33 för inert avfall (Naturvårdsverket 2014a).

### 2.3 Avfallshierarkin

År 2008 införde EU ett ramdirektiv med syfte att kontrollera avfallets livscykel från uppkomsten av avfallet till att det bortskaffas. Syftet med direktivet är även att förebygga de

negativa effekter som kan uppstå i samband med avfallshantering och på så sätt skydda miljön och människors hälsa<sup>1</sup>.

I ramdirektivets fjärde artikel redogörs för *avfallshierarkin* som är en prioriteringsordning för hur avfall ska hanteras inom lagstiftning och politik. Avfallshierarkin ska även fungera som vägledning när behandlingsmetod av avfall väljs (Ammenberg och Hjelm 2011). En förenkling av avfallshierarkin kan ses i Figur 1 nedan.



Figur 1 Avfallshierarkin (Dir 2008/98/CE 4 artikeln)

Enligt ramdirektivets fjärde artikel ska medlemsländerna i EU tillämpa avfallshierarkin på ett sätt som ger ett så bra resultat som möjligt för miljön ur ett helhetsperspektiv. På grund av miljömässiga, ekonomiska eller tekniska anledningar kan det ibland vara svårt att nå översta steget i avfallshierarkin (Avfall Sverige 2014c).

Överst i avfallshierarkin ligger den del som är högst prioriterad i både Sveriges och EU:s avfallslagstiftning, vilket är att minska uppkomsten av avfallet (Avfall Sverige 2014c). Därefter kommer återanvändning, materialåtervinning och energiåtervinning i fallande ordning. Längst ner i avfallshierarkin kommer deponering av avfall (Ammenberg 2012).

Det är skillnad på återanvändning och återvinning av avfall. Återanvändning innebär att förbrukade varor används på nytt (Nationalencyklopedin 2015a). Materialåtervinning innebär att använt material sorterar och återinförs i tillverkningsprocesser, istället för att jungfruligt material används (Nationalencyklopedin 2015b). På så sätt minskas uttaget av nya naturresurser och energi sparas (Avfall Sverige 2014d). Detta i sin tur minskar utsläpp av bland annat koldioxid och försurande ämnen (Naturvårdsverket 2013).

Energiåtervinning innebär att energi utvinns ur avfallet genom förbränning. Drygt 800 000 genomsnittliga villahushåll i Sverige får sin energi från fjärrvärme som har framställts genom förbränning av avfall. (Avfall Sverige 2014e)

Deponering är det sista steget i avfallshierarkin och är den behandlingsmetod som används när ingen annan metod är lämplig och är ett sistahandsalternativ (Avfall Sverige 2014b).

<sup>1</sup> Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/CE av den 19 november 2008 om avfall och om upphävande av vissa direktiv

## 2.4 Hänsynsreglerna

Alla som bedriver eller planerar att bedriva en verksamhet är skyldiga att tillämpa och beakta *De allmänna hänsynsreglerna* i 2 kap miljöbalken (1998:808), MB. Detta gäller alltså även deponier som enligt MB 9 kap 1 § är en miljöfarlig verksamhet. De allmänna hänsynsreglerna består av *Tillämpning och bevisbörda*, *Hänsynsregler*, *Val av plats*, *Rimlighetsavvägning*, *Ansvar för skadad miljö* och *Slutavvägning*. Enligt 1 § gäller Hänsynsreglerna (2-5 §§) för alla verksamheter och även för enstaka åtgärder som inte är av försumbar betydelse. Den som har ansvar för verksamheten eller åtgärden är även den som ska se till och visa att Hänsynsreglerna uppfylls. Skillnaden mellan en verksamhet och en åtgärd är att verksamhet är något som är varaktigt, medan en åtgärd endast sker för tillfället (Michanek & Zetterberg 2012, s.100).

Hänsynsreglerna innefattar *Kunskapskravet* i 2 §, *Försiktighetsprincipen* i 3 §, *Produktvalskravet* i 4 § och *Hushållningskravet* i 5 §, vilka alla är krav på förebyggande försiktighetsmått som verksamhetsutövaren ska vidta (Michanek & Zetterberg 2012, s.98-99). *Kunskapskravet* innebär att verksamhetsutövaren är skyldig att ha den kunskap som krävs för att verksamheten inte ska medföra fara eller olägenhet för miljön eller människors hälsa. *Försiktighetsprincipen* säger bland annat att bästa möjliga teknik ska användas, *Produktvalskravet* säger att bästa möjliga produkt ska användas och *Hushållningsprincipen* säger att verksamhetsutövaren ska hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheter till att återvinna och återanvända. (MB 2 kap 2-5 §§)

## 2.5 Regelverk för deponier

Den 26 april 1999 antogs direktivet om deponering av avfall<sup>2</sup>. Målet med direktivet är att förebygga negativa effekter till följd av generering och hantering av avfall och på så sätt skydda miljön och människors hälsa. Enligt direktivets första artikel ska detta uppnås genom stränga och operativa krav på avfall och deponering. Sverige har implementerat direktivet i svensk lagstiftning genom Deponiförordningen (2001:512), MB 15 kap och förordningen (1998:901) om verksamhetsutövares egenkontroll (Avfall Sverige 2014a).

### 2.5.1 Miljöbalken 15 kap

MB 15 kap handlar om avfall och producentansvar. I 34-35 §§ finns lagstiftning som gäller vid deponering av avfall. Av 34 § framgår det att verksamhetsutövaren är skyldig att säkerställa kostnaderna som kan behövas för att avhjälpa eventuell miljöskada eller annat återställande som kan behövas i samband med deponin. I 35 § står det att verksamhetsutövaren ska göra en kostnadsberäkning för de kostnader som uppkommer i samband med inrättandet och drivandet av deponin.

### 2.5.2 Deponiförordningen

Utöver den lagstiftning som finns i MB 15 kap, finns även Deponiförordningen (2001:512). Av 1 § framgår att syftet med förordningen är att skydda människors hälsa och miljö, genom att förebygga de negativa effekter som kan uppstå i samband med deponering av avfall. Detta gäller speciellt grund- och ytvatten samt mark och luft. Mängden avfall som deponeras har minskat avsevärt efter att Deponiförordningen (2001:512) infördes (Naturvårdsverket 2014a).

I 19 § står det att en deponi ska vara lokaliserad så att transporttiden för lakvatten genom den geologiska barriären är minst 200 år för farligt avfall, 50 år för icke farligt avfall och 1 år för

---

<sup>2</sup> Rådets direktiv 1999/31/EG av den 26 april 1999 om deponering av avfall



inert avfall. I 20 § står det att om det på grund av naturliga förhållanden inte går att uppfylla kraven i 19 §, så ska deponin förses med en geologisk barriär. Den geologiska barriären ska vara minst en halv meter tjock under deponin och på de sidor där lakvatten riskerar att förorena mark och vatten. Genomträngligheten (permeabiliteten) och tjockleken (mäktigheten) ska, beroende på klassningen av deponin, uppfylla vissa värden. Dessa värden presenteras i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Krav på permeabilitet för olika avfallsklassningar

Klassning	Permeabilitet (m/s)	Mäktigheter (m)
<i>Farligt avfall</i>	$1 \times 10^{-9}$	5
<i>Icke farligt avfall</i>	$1 \times 10^{-9}$	1
<i>Inert avfall</i>	$1 \times 10^{-7}$	1

I 31-32 §§ redogörs för vad som gäller vid sluttäckning av en deponi. Av 31 § framgår det att när verksamhetsutövaren har avslutat en deponi så ska den sluttäckas. Det står även att sluttäckningen ska konstrueras så att den mängd vatten som passerar genom täckningen inte överskrider 5 liter per kvadratmeter och år för farligt avfall och 50 liter per kvadratmeter och år för deponier med icke farligt avfall. I 32 § står det att en deponi först kan anses var avslutad när tillsynsmyndigheten har inspekterat och godkänt den.

Enligt Deponiförordningen (2001:512) 38 § så ska verksamhetsutövare för de deponier som finns eller omfattas av tillstånd sedan 16 juli 2001, senast den 1 juli 2002 lämna in en plan för anpassning eller avslutning av deponin. Det står även att det i anpassningsplanen ska framgå vilka åtgärder som ska vidtas för att senast i slutet av år 2008 följa de bestämmelser som står i förordningen.

#### **Naturvårdverkets allmänna råd**

År 2004 gav Naturvårdsverket ut en handbok med allmänna råd till Deponiförordningen (2001:512) och till MB 15 kap 34 §. Syftet med handboken är att ge vägledning till både tillsynsmyndigheter och verksamhetsutövare vid tillämpning av relevant lagstiftning för deponier (Naturvårdsverket 2004).

Enligt handboken så bör sluttäckningen ske så fort som möjligt efter att deponin har avslutats så att inte lakvattenbildningen blir för stor. Tidpunkt för sluttäckningen varierar mellan olika deponier och en individuell plan för avsedd deponi bör göras, i vilken det framgår när och hur sluttäckningen ska ske. Det bör även göras beräkningar och tester för att säkerställa att kraven i Deponiförordningen (2001:512) följs. Beräkningar bör även göras för att undersöka hur mycket läckage som kan ske genom tätskiktet. Lämplig lutning på tätskiktet bör ligga mellan 1:20 och 1:3. De olika skiktens egenskaper, samt förslag på kontrollparametrar för undersökning av hur kravet på genomströmningen av vatten uppfylls, bör redovisas. (Naturvårdsverket 2004)

När material till tätskiktet väljs är det viktigt att beakta den långsiktiga funktionen. Vid användning av restprodukter i tätskiktet ska detta undersökas noggrant så att det uppnår de kriterier som krävs för genomströmning, föroreningsinnehåll och lakbarhet. Samma krav gäller om jungfruliga material används. Materialet bör inte påverka funktionen av täckningen på ett negativt sätt. Det bör inte heller påverka vattnet som rinner på eller genom täckningen på ett sätt som kan medföra en risk för människors hälsa eller för miljön. Enligt handboken

bör material som är biologiskt nedbrytbart inte användas i tätskikt. För att inte rotpenetration ska ske bör tätskiktet ligga minst 1,5 m från markytan. (Naturvårdsverket 2004)

### 2.5.3 Lagen om skatt på avfall

Enligt lagen om skatt på avfall (2014:1499) ska skatt betalas, s.k. avfallsskatt, för avfall som förs in till en anläggning där det slutligt förvaras mer än 50 ton avfall per år eller om avfallet förvaras i mer än tre år. Samma sak gäller för avfall som uppkommer på anläggningar där det huvudsakligen bedrivs annan verksamhet.

Kostnadmässigt så innebär avfallsskatten att verksamhetsutövaren år 2014 ska betala 500 kr per ton avfall (4 §). Enligt 7 § så är det den som bedriver verksamheten på anläggningen som är skyldig att betala avfallsskatt. Det förekommer både undantag från skatteplikten och möjlighet till avdrag. Undantag för skatteplikten gäller bland annat för material som förs till en avfallsanläggning utan att ha ett direkt samband med avfallshanteringen (6 § p.1). Den som är skyldig att betala avfallsskatt får göra avdrag för skatt, om avfall som förs in till anläggningen används för sluttäckning. Detta gäller så länge detta avfall förvaras skilt från annat avfall. (10 § p. 4)

### 2.6 Sveriges miljömålssystem

Som ett riktmärke för Sveriges miljöarbete och strävan att uppnå hållbar utveckling, har ett miljömålssystem införts. Miljömålssystemet består av generationsmålet, de 16 nationella miljömålen och 24 etappmål. (Naturvårdsverket 2015a) Generationsmålet fungerar som en vägledning för miljöpolitiken, som ska ge förutsättningarna för att uppnå miljö kvalitetsmålen (Naturvårdsverket 2012a). De 16 miljömålen beskriver vilket tillstånd den svenska miljön ska befinna sig i för att vara hållbar. Varje miljömål har en precisering av vad målet innebär. (Naturvårdsverket 2014b) Etappmålen tydliggör vilka insatser som behövs för att uppnå generationsmålet och miljömålen (Naturvårdsverket 2014c).

Framförallt fyra av miljö kvalitetsmålen, *God bebyggd miljö*, *Giftfri miljö*, *begränsad klimatpåverkan* och *Ingen övergödning*, berör avfallshantering, deponier och val av material vid sluttäckning av deponier.

Riksdagen definierar miljömålet *God bebyggd miljö* enligt följande:

*"Städer, tätorter och annan bebyggd miljö ska utgöra en god och hälsosam livsmiljö samt medverka till en god regional och global miljö. Natur- och kulturvärden ska tas till vara och utvecklas. Byggnader och anläggningar ska lokaliseras och utformas på ett miljöanpassat sätt och så att en långsiktigt god hushållning med mark, vatten och andra resurser främjas."*

(Naturvårdsverket 2015b)

*God bebyggd miljö* är ett exempel på ett miljömål som berör avfallshantering, speciellt vid preciseringen av miljömålet. I preciseringen finns det en punkt om hållbar avfallshantering där det står följande:

*"Avfallshanteringen är effektiv för samhället, enkel att använda för konsumenterna och att avfallet förebyggs samtidigt som resurserna i det avfall som uppstår tas till vara i så hög grad som möjligt samt att avfallets påverkan på och risker för hälsa och miljö minimeras."*

(Naturvårdsverket 2012c)

Riksdagen definierar miljömålet *Giftfri miljö* enligt följande:

*"Förekomsten av ämnen i miljön som har skapats i eller utvunnits av samhället ska inte hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Halterna av naturfrämmande ämnen är nära noll och deras påverkan på människors hälsa och ekosystemen är försumbar. Halterna av naturligt förekommande ämnen är nära bakgrundsnivåerna."*

(Naturvårdsverket 2015c)

Miljömålet *Giftfri miljö* berör avfallshantering exempelvis vid lagring och hantering av avfall där det kan finnas risk för att föroreningar sprider sig i marken och till grundvattnet (Miljömål 2009). Enligt en utvärdering av Deponiförordningens (2001:512) effekter som Naturvårdsverket har gjort, blir detta miljömål extra relevant för deponier där man återanvänder avfall i sluttäckningen. Anledningen till det är att risken för att gifter sprids kan bli större i samband med återanvändningen. (Naturvårdsverket 2010)

Miljömålet *Begränsad klimatpåverkan* innebär framförallt att utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser ska stabiliseras på en nivå som inte är farlig för människans hälsa och för miljön (Naturvårdsverket 2015d). Deponier läcker gas i form av bland annat metan och koldioxid, vilket bidrar till att påskynda växthuseffekten (Biogasportalen 2014). Även vid transporter av sluttäckningsmaterial sker en viss klimatpåverkan vars storlek varierar beroende på fordon, bränsle, transportmängder m.m. (Naturvårdsverket 2002a).

Riksdagen definierar miljömålet *Ingen övergödning* enligt följande:

*"Halterna av gödande ämnen i mark och vatten ska inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten."*

(Naturvårdsverket 2015e)

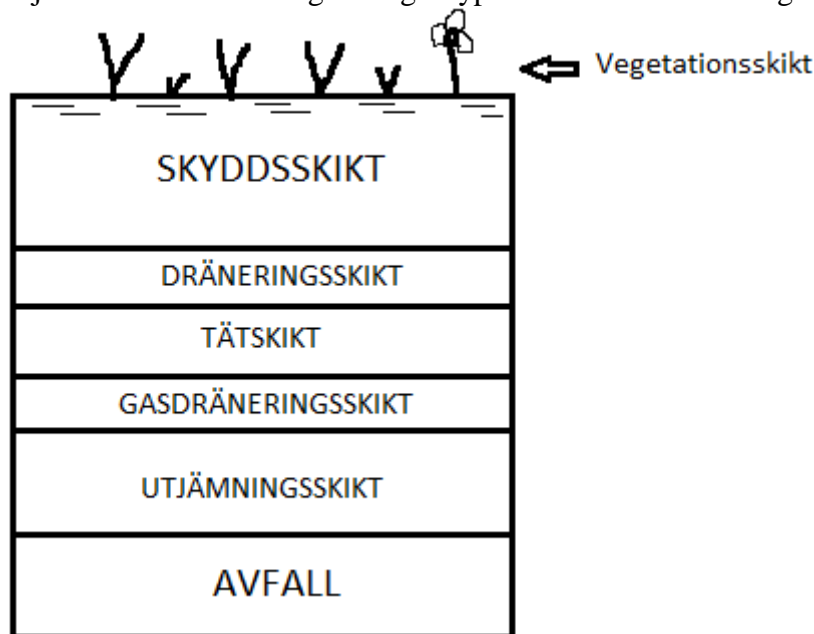
Övergödning av mark och vatten är ett allvarligt hot mot växter och djur. Den orsakas då höga halter av kväve och fosfor släpps ut från exempelvis industrier, jordbruk och avloppsreningsverk. (Naturvårdsverket 2015e)

## **2.7 Sluttäckning av deponier**

I slutet av år 2008 trädde strängare krav ikraft för deponering och en följd av detta blev att många deponier lades ner. De nerlagda deponierna ska nu sluttäckas vilket beräknas ta flera år. (Avfall Sverige 2014b) De flesta av de deponier som lades ner till följd av de strängare kraven, förväntas sluttäckas fram till år 2030 (Avfall Sverige 2015). Enligt Deponiförordningen (2001:512) ska verksamhetsutövaren se till att sluttäcka en nerlagd deponi. I en deponi med avfall klassat som icke farligt avfall, ska sluttäckningen konstrueras så att mängden lakvatten som rinner igenom deponin inte överskrider 50 liter per kvadratmeter och år (se avsnitt 2.5.2 om Deponiförordningen).

Deponier innehåller ofta många olika typer av föroreningar. Då dessa kan utgöra en fara för miljön och för människors hälsa är det viktigt att förhindra föroreningarna från att sprida sig okontrollerat till exempelvis grundvattnet (Rihm 2014). En av de viktigaste anledningarna till att deponier sluttäcks, är att förhindra vatten från att tränga ner till avfallet. Detta ska säkerställas under en lång tid. Tjockleken, homogeniteten och permeabiliteten på tätskiktet är avgörande för hur tät hela sluttäckningen är. (Statens geotekniska institut 2007)

Sluttäckning av deponin bör ske så fort som det är möjligt efter att deponin har lagts ner (Naturvårdsverket 2004). För att uppnå de krav som lagen ställer och för att skydda miljön och människors hälsa så långt möjligt, brukar sluttäckningen bestå av flera olika skikt, se Figur 2. Nedan följer en kort beskrivning av några typiska skikt i sluttäckningskonstruktioner.



Figur 2 Principskiss av de olika skikten vid sluttäckning av deponier.

### 2.7.1 Vegetationsskikt

Vegetationsskiktet är det översta och sista skiktet på sluttäckningen av en deponi. Detta skikt syftar till att minska erosionsrisken och till att främja vegetationen på deponin (Svenska Energiaskor 2013). Skiktet brukar ha en tjocklek på mellan 15-30 cm (RVF Utveckling 2000). Genom att plantera exempelvis lågt växande gräs, kan evaporationen öka och mängden lakvatten som bildas minskas genom upptag av växterna. (Avfall Sverige Utveckling 2012) Vegetationsskiktet är inte enbart funktionellt, utan syftar även till att öka estetiken som deponin utgör i landskapet. (Svenska Energiaskor 2013) Material som kan användas till vegetationsskiktet är bland annat rötat avloppsslam, kompost och matjord (Avfall Sverige Utveckling 2012).

Ett problem som kan uppstå i samband med växtetablering på vegetationsskiktet är bland annat risken för rotpenetration som kan skada tätskiktet. Ofta har trädrötter svårt att tränga igenom komprimerat och finkornigt material. Tillgången på syre och vatten är en begränsande faktor för hur djupt ner rötterna kan överleva. (RVF Utveckling 2002)

### 2.7.2 Skyddsskikt

Skyddsskiktet ligger under vegetationsskiktet och har som funktion att skydda underliggande skikt mot bland annat deformation (Svenska Energiaskor 2013). Det ska även skydda tätskiktet mot väderrelaterad och mekanisk påverkan som frost, uttorkning, erosion och rotpenetration. Därför är det fördelaktigt om skiktet innehåller material med låg permeabilitet. (Avfall Sverige Utveckling 2012) Skyddsskiktet brukar ha en tjocklek på mellan 50-200 cm (RVF Utveckling 2000). Material som ofta används i skyddsskiktet är bland annat morän, jord, schaktmassor, aska och avloppsslam (Svenska Energiaskor 2013). Det är ofta fördelaktigt att blanda in slam eller matjord i det övre lagret i skyddsskiktet för att göra det mer fukthållande, vilket i sin tur underlättar för växtetableringen i vegetationsskiktet (Naturvårdsverket 2004). Biologiskt nedbrytbart avfall, exempelvis avloppsslam, bör vara

stabiliserat om det ska användas i skyddsskiktet för att undvika sättningar och urlakning av näringsämnen (Naturvårdsverket 2004).

### **2.7.3 Dräneringsskikt**

Dräneringsskiktet har som funktion att snabbt avleda nederbördsvatten innan det når tätskiktet och även att minska vattenbelastningen på tätskiktet. Vanliga material i dräneringsskiktet är makadam, grus, bottenaska och slagg. (Svenska Energiaskor 2013) Dräneringsskiktet brukar ha en tjocklek på mellan 20-30 cm (RVF Utveckling 2000). Enligt deponihandboken, som gavs ut av Avfall Sverige år 2012, så innehåller nederbördsvatten inte avsevärda mängder partiklar som tenderar att sätta igen dräneringsskiktet. Däremot kan det finnas en risk för att finkornigt material följer med vattnet från skyddsskiktet, vilket på sikt kan medföra igensättning i dräneringsskiktet. (Avfall Sverige Utveckling 2012)

Enligt direktivet om deponering av avfall rekommenderas att dräneringsskiktet bör vara minst en halv meter djupt. Detta har inte införlivats i den svenska Deponiförordningen (2001:512) och enligt Avfall Sverige (2012) är det mer rimligt att beräkningar ska visa att dräneringsskiktet har den kapacitet som krävs för att avleda det vatten som skiktet utsätts för.

### **2.7.4 Tätskikt**

Syftet med tätskiktet är att hindra nederbörd och syre från luften att komma i kontakt med avfallet i deponin (Avfall Sverige 2014a), samt begränsa mängden utgående gas från deponin (Svenska Energiaskor 2013). Vanliga material i tätskiktet är exempelvis bentonitmatta, moränlera, syntetiska geomembran, aska och avloppsslam (Svenska Energiaskor 2013). Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd till Deponiförordningen (2001:512) är det viktigt att se till att materialets funktion över lång tid beaktas. Avståndet mellan tätskiktet och markytan bör vara minst 1,5 meter för att minimera riskerna för rotpenetration (Avfall Sverige Utveckling 2012). Tätskiktet brukar ha en tjocklek på mellan 1-60 cm (RVF Utveckling 2000).

### **2.7.5 Gasdräneringsskikt**

Syftet med gasdräneringsskiktet är att samla upp och leda bort gas för att förbränna metan och därmed minska växthuseffekten (Svenska Energiaskor 2013). Skiktet brukar ha en tjocklek på mellan 20-30 cm (RVF Utveckling 2000). Material som kan användas i gasdräneringsskiktet är sand, grus, restprodukter och återvunnet material (Svenska Energiaskor 2013). Om deponin innehåller nedbrytbart organiskt material så kommer gas att bildas efter en viss tid. Så länge det ur miljösynpunkt är motiverat ska gasen samlas upp och tas omhand. Gasen kan antingen behandlas och utnyttjas, eller också kan den facklas. (Avfall Sverige Utveckling 2012)

### **2.7.6 Utjämningskikt**

Utgjämningskiktet underlättar utläggandet av övriga skikt. Genom att först kompaktera avfallet och sedan lägga ett utjämningskikt, fås ett jämt och stabilt underlag till de övre skikten. Skiktet syftar också till att förhindra eventuella sättningar och till att ge rätt lutning på deponin så att avrinningen av vattnet fungerar som den ska. (Avfall Sverige Utveckling 2012) Material som kan användas i utjämningskiktet är exempelvis sand, grus, gjuterisand och jord (Svenska Energiaskor 2013). Enligt Avfall Sverige Utveckling (2012) bör skiktet i möjligaste mån bestå av avfall för att spara på naturliga resurser. I fall där avfall används är det dock viktigt att användningen inte gör att klassningen av deponin ändras. Om materialet som används har dränerande egenskaper så kan utjämningskiktet ibland även fungera som gasdräneringsskikt. (Avfall Sverige Utveckling 2012) Utjämningskiktet brukar ha en tjocklek på ca 50 cm (RVF Utveckling 2000).

## 2.8 Material till tätskikt

Naturvårdsverket har i handboken med allmänna råd till Deponiförordningen (2001:512), listat ett antal faktorer som ska beaktas vid val av material till tätskikt vid sluttäckning av deponier. Några av faktorerna som Naturvårdsverket listar är rotpenetration, erosion, tjäle, fysikalisk påverkan av överlast och biologisk och kemisk åldring. (Naturvårdsverket 2004) Vidare bör försiktighetsprincipen i MB tillämpas vid användning av avfall i sluttäckningen. Om avfallet innehåller betydande mängder närsalter, organiska föroreningar eller metaller, får inte mer än 40 viktprocent av avfallsslaget blandas i täckningen. (Naturvårdsverket 2004)

Enligt Naturvårdsverket (2014) så är naturliga material oftast mer fördelaktiga i ett långsiktigt perspektiv jämfört med syntetiska material. Naturliga material har ur ett historiskt perspektiv varit det populäraste valet att använda till tätskiktet vid sluttäckningar av deponier, men de senaste decennierna har syntetiska material blivit allt vanligare (RVF 2001). Då antalet deponier som ska sluttäckas har ökat till följd av strängare lagstiftning, förväntas behovet av lämpligt material till täckning och tätning vara stort de kommande åren (Svenska Energiaskor 2013). Oavsett vilken typ av material som väljs, så är det viktigt att materialet uppvisar den lämplighet som krävs i form av beständighet och genomsläpplighet. Nedan ges några exempel samt en kort beskrivning av naturliga material och alternativa material som kan användas i tätskikt vid sluttäckning av deponier.

### 2.8.1 Naturliga material

Exempel på naturligt material som används som tätskiktsmaterial är olika typer av naturliga leror som moränlera och bentonit (Svenska Energiaskor 2013). Naturliga leror kännetecknas av att de har en låg permeabilitet tack vare små och komplexa porstrukturer. Dessutom hindrar naturliga leror även transport av lösta ämnen. (Cuevas, Ruiz, de Soto, Sevilla, Procopio, Da Silva, Gismera, Regadío, Sánchez Jiménez, Rastrero & Leguey (2011) Generellt gäller det att jordars förmåga att släppa igenom eller hålla kvar vatten beror på kornfördelningen i materialet. Oftast har jordar med mindre kornfraktioner även en lägre permeabilitet, d.v.s. de släpper igenom mindre vatten. (Statens geotekniska institut 2015)

Nedan följer en kort beskrivning av material som faller under kategorin naturligt material och som förekommer i tätskikt.

#### **Bentonit**

Lera som innehåller mineral från gruppen *smektiter*, är den vanligaste typen av material som används i tätskikt vid sluttäckning av deponier (Musso, Parolo, Pettinari & Francisca 2014, Imperial College London 2013). Mineralen *montmorillonit* som tillhör gruppen *smektiter* är huvudbeståndsdelen i bentonit; en lera med vulkaniskt ursprung och egenskaper som gör att det lätt sväller. När leran sväller bildas en tät gel, vilket är en egenskap som gör att den fungerar bra som tätskiktsmaterial. (RVF 2001) Bentonit i tätskikt används både rent och blandat med andra material i form av bentonitpulver blandat med exempelvis stensmjöl eller sand (Statens geotekniska institut 2007).

#### **Moränlera**

Morän är den vanligaste jordarten i Sverige och täcker ca 75 procent av landets yta. Morän bildades när inlandsisen började röra sig och då drog med löst material och delar av berggrunden. Jordarten består av en variation av kornstorlekar, från partiklar till stora block. (Sveriges geologiska undersökning 2015) När naturliga material används vid sluttäckning av deponier, väljs ofta finkorniga och kompakta leror om det finns tillgängligt. Naturliga leror

som finns i morän fungerar bra i sluttäckningar, då de har låg permeabilitet och andra lämpliga egenskaper som minskar mängden vatten som transporteras genom deponin. (Elshorbagy och Mohamed 2000)

### 2.8.2 Alternativa material

Då behovet av sluttäckningsmaterial är stort har olika typer av alternativa material som användning i tätskikt börjat undersökas (Avfall Sverige Utveckling 2009a). En del av materialen tillverkas med syftet att användas till tätskikt i sluttäckningar av deponier. Exempel på dessa är syntetiska geomembran och bentonitmattor. Det är vanligt att kombinera syntetiska och naturliga material för att barriärerna då fungerar oberoende av varandra och sannolikheten att det uppstår fel samtidigt i materialen är väldigt låg. (RVF 2001) Andra material, som de senaste åren har undersökts som potentiella tätskiktsmaterial, uppstår från början som restprodukter i olika industrier, exempelvis stålindustrin och skogsindustrin. Både materialen som uppstår som restprodukter i industrier och de som är tillverkade specifikt för att användas till tätskikt, hamnar i detta arbete under kategorin ”alternativa material”.

Nedan följer en beskrivning av några av dessa material.

#### Syntetiska geomembran

Syntetiska geomembran, eller geosynteter som de ibland kallas, är ett samlingsnamn för många olika typer av material som oftast ger en hög täthet trots en tunn struktur. Dimensionerna kan variera mycket, men oftast har materialet en tjocklek på mellan 0,5-5 mm. I tillverkningsprocessen sammanfogas ibland olika material för att uppnå önskade egenskaper. De syntetiska materialen är oftast helt täta och därför brukar permeabiliteten inte redovisas i samband med dessa. (Svenska geotekniska föreningen 2001)

Ofta används olika polymerer som råmaterial vid tillverkning av syntetiska geomembran. I Sverige har de syntetiska geomembran som använts i tätskikt oftast tillverkats av högdensitetspolyeten (HDPE) eller lågdensitetspolyeten (LDPE) (Avfall Sverige 2014f). Högre densitet innebär att materialet är mer beständigt mot kemikalier och åldrande. Lägre densitet gör att materialet är mer flexibelt. (Svenska geotekniska föreningen 2001) Även polypropen (PP), polyvinylklorid (PVC) eller gummi, exempelvis butylgummi, förekommer som råmaterial i syntetiska geomembran (Avfall Sverige 2014f).

#### Bentonitmatta

Den vanligaste typen av bentonit i tätskikt i Sverige är en s.k. bentonitmatta (*eng* Geosynthetic clay liner). En bentonitmatta består oftast av ett tunt bentonitskikt som är omslutet av geotextiler både på undersidan och på översidan. Textilerna är hopfogade vilket gör att bentonitmattan från början har hög hållbarhet mot skjuvkrafter. (Statens geotekniska institut 2007) Bentonitmattor brukar ha en tjocklek på ca 5-10 mm (Stenmarck & Sundqvist 2006).

#### Fiberslam

Fiberslam är en restprodukt som uppstår när vatten har behandlats i pappersbruk. Det består av samma material som har använts vid papperstillverkningen, vilket till största del är cellulosafiber, kalciumkarbonat, vatten, lera och överskott av mikroorganismer som har tillkommit i samband med biologiska behandlingsprocesser vid tillverkningen. Många länder i världen, inklusive Sverige, undersöker möjligheterna för att använda fiberslam som konstruktionsmaterial i sluttäckningar. (Kortnik, Černeck & Hrast 2008)

### **Grönlutslam**

Grönlutslam (GLS) är en restprodukt som uppstår i sulfatmassabruken vid kemikalieåtervinningsprocessen. Slammet är basiskt och kornstorleksfördelningen påminner om den i silt. GLS innehåller ofta olika halter av mesakalk, vilket också är en restprodukt från massaframställningen. Utöver mesakalk så ingår ofta lignin, natriumkarbonat och ballastkemikalier som aluminium och kisel. Denna sammansättning varierar dock mellan olika massabruk där olika råvaror och avvattningsprocesser används. (Northweste infrastructure 2013) Moränlera blandat med ca tio procent grönlutslam har visats ha lämpliga egenskaper som tätskikt (Filipsson, Odén, Mauric, Mäkitalo & Mácsik 2015).

### **Gjuterisand**

Stål- och järnindustrin använder stora mängder sand, framförallt till tillverkning av gjutformar. En stor del av sanden återanvänds internt inom industrin efter användning, men en del av tillverkningen kräver ny sand. Därför sorteras ca 200 000 ton sand bort i Sverige varje år. Sanden har oftast en låg föroreningshalt och innehåller ca fem procent bentonitlera. Dessa egenskaper gör det till ett utmärkt material att använda i tätskikt. (Miljö & Utveckling 2002)

### **Flygaska**

De askämnen som följer med rökgaserna i förbränningsanläggningar och som fångas upp av olika reningsfilter, kallas för flygaska (Statens geotekniska institut 2003). Aska har länge använts som sluttäckningsmaterial på deponier (Svenska Energiaskor 2015). Flygaska används bland annat för att stabilisera slam som också används som tätskiktmaterial. Askor som kommer från förbränning av bio-, torv- och kolbränsle ger generellt mindre utlakning av ämnen som har en negativ inverkan på miljön, jämfört med askor från förbränning av exempelvis avfall. (Avfall Sverige Utveckling 2011) Askor har visats vara lämpliga i tätskikt både blandat med exempelvis slam, men också som enskilt material (Tham & Ifwer 2006).

### **Flygaskastabiliserat avloppsslam**

Flygaskastabiliserat avloppsslam (FSA) består av en blandning av rötat avloppsslam och flygaska från förbränning av biobränsle (Avfall Sverige Utveckling 2011). När avloppsvatten renas i reningsverk bildas avloppsslam. Avloppsslam innehåller i princip allt som avloppsvatten innehåller, d.v.s. näringsämnen och organiskt material. (Naturvårdsverket 2014e) FSA används som tätskikt, ibland i kombination med geomembran, på ett flertal deponier för icke farligt avfall (Avfall Sverige Utveckling 2011). Sammansättningen på slammet, med avseende på exempelvis organiskt material och vattenhalt, varierar från slam till slam. Även samma typer av slam kan variera om de har olika ursprung. Därför är det viktigt att analysera allt slam för att avgöra lämpligheten till det avsedda användningsområdet innan det används. (Henriksson, Palm, Davidsson, Ljung & Sager 2012)

## **2.9 Avgörande faktorer vid val av tätskiktmaterial**

Tätskiktet ska tåla de mekaniska, kemiska och biologiska påfrestningar som kan uppstå i sluttäckningen och ändå klara gränserna för genomsläpplighet. Samtidigt ska det vara praktiskt möjligt att använda materialet. (Svenska geotekniska föreningen 2001) Därför finns det många faktorer som är avgörande vid val av tätskiktmaterial. Några av dem är tillgången på materialet, materialets egenskaper, hur utläggningen av materialet sker och miljöpåverkan.

Nedan följer en kort beskrivning av några av de olika faktorerna.



## 2.9.1 Materialbehov vs. tillgänglighet

Stora mängder material behövs till sluttäckning av en deponi. Enligt en rapport skriven av RVF Utveckling (2001a) så behövs det mellan 150 000 och 400 000 ton material till en deponi på 10 ha, beroende på geografisk placering och design på sluttäckningen. Speciellt material till tätskiktet kan vara svårt att få tag på då det ställs höga krav på kvaliteten. På grund av kraven på hög kontroll och kvalitet på materialet, går det inte att använda tillgängliga schaktmassor utan att först göra analyser och provtagningar. (RVF Utveckling 2001a)

## 2.9.2 Tekniska egenskaper

### Hållfasthet

För att säkerställa en deponis stabilitet brukar man bland annat fastställa skjuvhållfastheten. Genom att analysera skjuvhållfastheten i ingående material i sluttäckningen och i avfallet som ligger lagrat i deponin, går det att beräkna släntstabiliteten. Beräkning av skjuvhållfasthet på avfall är oftast svårt då materialet inte är homogent och nedbrytning kan göra att hållfastheten i materialet ändras. För att få en uppfattning om hållfastheten på avfallet görs beräkningar baserade på minimivärden och erfarenheter. (Statens geotekniska institut 2007)

Stabilitetsrelaterade problem på deponier hänger ofta ihop med tätskiktet och beror på vilken typ av material som används. Många av materialen är svällande och beroende på hur den svällande processen fortlöper kan materialet ha olika hållfasthet. Bentonit är ett exempel på material som sväller och där omfattningen av svällningen bland annat beror på belastningen från ovanliggande material. Generellt kan det sägas att ju mer ett material sväller, desto sämre blir hållfastheten. Hantering av materialet har också visat sig vara väldigt avgörande för hållfastheten. Andra faktorer som kan vara avgörande är hur hög friktionen är mellan materialen i de olika skikten i sluttäckningen. (Statens geotekniska institut 2007)

I lera kan hållfastheten variera mycket beroende på ingående kornfraktioner och vatteninnehåll. För att en bra hållfasthet ska uppnås i lera måste den kompakteras och blandas till en homogen massa. Dessutom får vattenhalten i materialet inte bli för hög då det kan bli svårt för maskiner att köra på materialet. Detsamma gäller för exempelvis slam. (Statens geotekniska institut 2007)

För att säkerställa en god hållfasthet hos material i tätskiktet, är det lämpligt att göra provpackningar. Provpäckningar innebär att en mindre yta med materialet läggs ut och sedan packas med olika typer av maskiner och med olika tryck för att avgöra vad som ger bäst resultat med avseende på täthet och skjuvhållfasthet. (Statens geotekniska institut 2007)

### Långtidsbeständighet

Då konstruktionen av en sluttäckning på en deponi kräver en lång funktionstid, finns det höga krav på beständigheten hos de ingående materialen. Alla skikt måste ha rätt tekniska egenskaper så som permeabilitet, hållfasthet och beständighet mot yttre påverkan. Ur ett längre tidsperspektiv är det svårt att avgöra hur bra materialen håller med tanke på exempelvis klimatförändringar. Därför bygger många av dagens bedömningar angående materialets långtidsegenskaper på erfarenheter och den kunskap som finns just nu. (Svedberg, Mácsik & Wilhelmsson 2004)

Enligt en rapport utgiven av Avfall Sverige (2014g) är långtidsbeständigheten för flera material osäker när den överstiger ett hundraårsperspektiv. Undersökningar visar att

exempelvis bentonitmattor och plastgeomembraner borde vara beständiga under hundra år, men att det finns stora osäkerheter angående hur bra de håller när tidsperspektivet blir längre. De flesta material som används i tätskikt anses ha en beständighet på några hundra år. Men om ett 1000-års perspektiv förväntas, så ifrågasätts material som exempelvis plastmembran och gummi. Däremot leror och finkorniga moräner förväntas, vid rätt blandning och packning, ha längre långtidsbeständighet och samtidigt uppfylla kraven på täthet. (Statens geotekniska institut 2007)

Vissa material, som bentonit och leror med liknande egenskaper som bentonit, kan ibland anses vara något styva och mindre flexibla vilket gör att de lätt bryts ner om sättningar uppstår. (Statens geotekniska institut 2007) Beständighet hos material med högt organiskt innehåll, exempelvis fiberslam och avloppsslam, beror ofta på i vilken grad materialet bryts ner (Sundberg, Carling, Ländell & Svensson 2003).

### **Sättningar**

Sättningar innebär att markytan sjunker på grund av underliggande jordlagars sammanpressning (Nationalencyklopedin 2015c). Brantare lutning ger ofta en större risk för sättningar vilket i sin tur gör att infiltrationen i tätskiktet kan öka. Däremot bidrar en brantare lutning till att mer vatten rinner av innan infiltration i materialet kan ske. (RVF Utveckling 2000) Om sättningar uppstår i deponin efter att sluttäckningen är utlagd, ökar risken för läckage från deponin. Därför är det lämpligt att vänta med sluttäckningen så att deponin hinner sätta sig först. Hur lång tid det tar varierar beroende på vilken typ av avfall som finns i deponin. (Svenska Energiaskor 2013) I vissa fall kan det vara fördelaktigt att belasta deponin innan sluttäckningskonstruktionen påbörjas, så att sättningarna kan ske först (Svedberg et al. 2004).

### **Permeabilitet**

Permeabilitet är ett mått på hur tätt ett material är med hänsyn till genomsläpplighet av vatten. Enligt Deponiförordningen (2001:512) får genomsläppligheten i tätskiktet maximalt ha en permeabilitet på  $1 \times 10^{-9}$  m/s. Mängden vatten som tränger igenom tätskiktet förväntas vara betydligt högre i början efter att sluttäckningen har installerats (Travar et al. 2008). Permeabiliteten hos ett material påverkas bland annat av densitet och kornstorleksfördelning i materialet. Genomsläppligheten av vatten har stor betydelse för vattenbalansen i materialet och därför också för urlakningen av föroreningar i deponin. Generellt kan det sägas att ju mer finkornigt och enhetligt materialet är, desto lägre permeabilitet har det. (Gustafsson, Bahr, Ekvall, Johansson, Reuterhage & Wallman 2003)

### **pH**

För att miljöbedöma olika fasta ämnen görs ibland lakteter som kan ge information om egenskaper hos materialet, exempelvis pH-värdet. pH-värdet på den vätska som rinner genom materialet påverkar urlakningen av olika ämnen. (Naturvårdsverket 2002b) Vissa material har en buffrande förmåga, d.v.s. de är okänsliga mot utspädning och deras pH-värde ändras väldigt långsamt vid påverkan från omgivande syror eller baser. Olika material har olika buffringskapacitet och därför påverkas de olika mycket av pH-värdet i vätskan som de kommer i kontakt med. (Gustafsson et al. 2003). Enligt Sundberg et al. (2003) så har pH-värdet en avgörande roll för hur fort materialet bryts ner. Ett högre pH kan ha en fördröjande effekt på nedbrytning av tätskikt som innehåller organiskt material. (Sundberg et al. 2003) pH är även ett mått på lösligheten av ämnen (Naturvårdsverket 2008).

### **Elektrisk konduktivitet**

Elektrisk konduktivitet är ett mått på koncentrationen av de olika jonslagen i en vattenlösning. Rent praktiskt så mäts ibland den elektriska konduktiviteten när exempelvis lakvatten från deponier undersöks för att ta reda på salthalten i vattnet. (Nationalencyklopedin 2015f) Generellt kan det sägas att en hög elektrisk konduktivitet i lakvattnet indikerar att halten föroreningar är hög.

### **Torrsubstanshalt**

Torrsubstansen av ett ämne är den mängd som återstår när allt vatten har avlägsnats. Torrsubstanshalten (TS-halten) är alltså den procentdel av ämnet som inte består av något vatten. (Nationalencyklopedin 2015e) TS-halten i materialet kan vara avgörande för hur lätt materialet är att hantera och hur bra hållfasthet det har. Exempelvis så härdar flygaska vid kontakt med vatten, vilket gör att det blir grovkornigt och därmed svårt att blanda ihop med andra material och få en homogen massa. (Carling, Håkansson, Mácsik, Mossakowska & Rogbeck 2007)

Enligt en förstudie gjord av Carling et al. (2007) uppnås en högre skjuvhållfasthet i en FSA-blandning, om flygaskan som används är torr istället för fuktig. Det kan även medföra att materialet blir tätare. I samma förstudie påpekades att packningsegenskaper hos materialet styrs mer av TS-halten än av hur stor mängd flygaska som används. Sammanfattningsvis kan både en för låg och en för hög TS-halt ge problem med avseende på hållfasthet, täthet och hantering av materialet. Om TS-halten är för låg blir materialet svårhanterligt. Om TS-halten är för hög så är risken högre för att syre kan komma ner till materialen och följden av det skulle kunna bli aerob nedbrytning. (Carling et al. 2007)

### **2.9.3 Miljöpåverkan**

Materialbehovet vid sluttäckning av deponier är stort och inte alltid oproblematiskt att uppfylla. Ofta uppstår långa transporter och uttag av naturliga resurser för att få tag på material, vilket medför effekter på miljön. Enligt Tham och Ifwer (2006) beräknas sluttäckning av 1 ha med naturligt material kräva 1300 transporter med lastbil, om lastbilen antas kunna transportera 30 ton material per transport.

De gifter som lagras i deponier kan påverka miljön på lång sikt (Naturvårdsverket 2002a). Sluttäckningen av svenska deponier behöver inte vara helt tät. Istället eftersträvas en långsam utlakning som sker över lång tid så att omgivningen har möjlighet att ta hand om de gifter som uppstår från deponin. (Svenska geotekniska föreningen 2001)

### **Lakvatten**

Den miljöpåverkan som nedlagda deponier främst orsakar uppstår genom läckage av lakvatten och metangas till naturen omkring deponin (Naturvårdsverket 2002a). Lakvatten är det vatten som har varit i kontakt med avfallet i deponin. Det uppstår när nederbörd infiltrerar deponin och sedan med tiden ansamlas eller pressas ut. På gamla deponier, där det inte finns någon bottentätning, kan lakvatten även uppstå när grund- och ytvatten kommer i kontakt med avfallet. (Naturvårdsverket 2014d) Lakvatten innehåller framförallt näringsämnen som kväve, men även syreförbrukande ämnen, metaller och organiska miljögifter. Om lakvattnet sprider sig till mark, sjöar och vattendrag finns det en risk att de miljöpåverkande ämnena från deponin sprids. (Naturvårdsverket 2008) Tätskiktet har en stor miljömässig betydelse för att på sikt förhindra spridning av föroreningar (Naturvårdsverket 2004).

## Nedbrytningsfaser

Avfallet i en deponi bryts med tiden ner av mikroorganismer. Beroende på förhållandena i deponin varierar nedbrytningen och därför har nedbrytningen delats in i olika faser. Faserna kan variera för olika deponier, men i en rapport utgiven av Naturvårdsverket (2008) så skulle de kunna se ut enligt följande:

1. Efter några dagar till några veckor så är nedbrytningen av avfallet i en syre- och nitratreducerande fas. Under denna fas är miljön aerob, d.v.s. det finns tillgång till syre.
2. Efter några veckor till upp till ca tio år, går nedbrytningen in i en sur anaerob fas. Under denna fas så kännetecknas lakvattnet från hushållsdeponier av att ha ett lågt pH. Halterna av kväve, svavel och BOD är höga.
3. Efter några månader till hundra år så går nedbrytningen in i den metanogena fasen. Många av de svenska deponierna är inne i denna nedbrytningsfas. Den metanogena fasen kännetecknas av att pH är neutralt eller basiskt. Halten av BOD är medelhög och halterna av COD, kväve, järn och klorider är hög.
4. Den sista nedbrytningsfasen kallas den humusbildande fasen. Denna fas uppstår först efter några hundra år och uppgifterna om vad som händer här är osäkra.

I samma rapport (Naturvårdsverket 2008) presenteras en tabell med olika parametrar som är sammanställda av obehandlat lakvatten från elva deponier med hushålls- och verksamhetsavfall och som befinner sig i den metanogena fasen. En del av den informationen presenteras i Tabell 2 nedan.

Tabell 2 Metanogent obehandlat lakvatten från elva deponier med hushålls- och verksamhetsavfall. (Naturvårdsverket 2008)

Parameter	Obehandlat lakvatten	Median
pH	6,4–8,5	7,6
konduktivitet	430-2700 mS/m	913
Klorid	360-4900 mg/l	870
DOC	49-460 mg/l	300
BOD <sub>7</sub>	4-110 mg/l	13
Fluorid	9-12 mg/l	11
Sulfat	22-460 mg/l	160
Totalfosfor	0,16-4 mg/l	0,66
Ammoniumkväve	93-870 mg/l	230
N-nitrit+nitrat	0,18-35 mg/l	2,0
Totalkväve	30-900 mg/l	240

### 2.9.4 Anläggning av materialet

Den miljöpåverkan som kan uppstå i samband med sluttäckning av deponier kan inte enbart kopplas till vilket material som används, utan även till rent anläggningstekniska metoder och konstruktionen av sluttäckningen (Avfall Sverige Utveckling 2009a). Olika material kräver olika typer av förbehandlingar och utläggningsmetoder. Exempelvis så behövs utrullningsmaskiner och maskiner för skarvning vid utläggande av bentonitmattor. För naturliga jordar och för olika slammaterial behövs blandare, utbredningsmaskiner och packningsmaskiner. (Svenska geotekniska föreningen 2001)

## 2.10 Tidigare studier och erfarenheter – miljöaspekter

Nedan sammanfattas tolv rapporter som bygger på fältundersökningar och/eller analyser i laboratorium av olika material som har använts till tätskikt. Varje deponi är unik och det kan därför vara svårt att jämföra olika värden för olika material rakt av. Förhoppningen är att de sammanfattade rapporterna ska ge en idé om vilka fördelar och nackdelar det kan finnas vid val av olika material i tätskiktet. I Tabell 3 nedan presenteras en kronologisk översikt av vilka rapporter som sammanfattas och vilka material som har undersökts i rapporten.

Tabell 3 Kronologisk översikt av sammanfattade rapporter

Kapitel	Namn	Material i tätskikt	Referens
2.10.1	<i>Pilotförsök med fiberslam och moränlera som tätskikt</i>	Fiberslam och moränlera	RVF Utveckling 2000
2.10.2	<i>Långtidsegenskaper hos tätskikt innehållande bentonit</i>	Bentonitmatta eller blandningar av bentonit och andra material	RVF 2001
2.10.3	<i>Användning av avloppsslam för tätning av deponier</i>	Avloppsslam	RVF Utveckling 2001a
2.10.4	<i>Försök med tätning och täckning av avfallsupplag genom användning av fiberslam, gjuterisand, slaggranulat och slaggrus</i>	Gjuterisand	RVF Utveckling 2001b
2.10.5	<i>Täckning av deponier med blandning av avloppsslam och aska</i>	Avloppsslam och aska	RVF Utveckling 2002
2.10.6	<i>Alternativa tätskiktsmaterial – kostnadseffektiva lösningar</i>	Mesa och fiberlera/fiberslam	Svedberg et al. 2004
2.10.7	<i>Pilotförsök med flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt</i>	Flygkastabiliserat avloppsslam (FSA)	Mácsik et al. 2005
2.10.8	<i>Miljöriktig användning av askor</i>	Askor	Tham och Ifwer 2006
2.10.9	<i>Steel slag used in landfill cover liners: laboratory and field tests</i>	Slagg från stålindustrin	Herrmann et al. 2009
2.10.10	<i>Water balance and effectiveness of landfill cover systems: 20 years measurements at the landfill Hamburg-Georgswerder</i>	Sammanpressad lera och geomembran (HDPE)	Berger et al. 2009
2.10.11	<i>Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt bestående av flygkastabiliserat avloppsslam, FSA. Beständighet, täthet och utlakning</i>	Flygkastabiliserat avloppsslam (FSA)	Avfall Sverige Utveckling 2011
2.10.12	<i>Kunskapssammanställning – beständigheten hos geosynteter i deponikonstruktioner</i>	Geosynteter	Avfall Sverige 2014f

### 2.10.1 Pilotförsök med fiberslam och moränlera som tätskikt

Detta projekt utfördes av Svenska Renhållningsverksföreningen. Syftet med pilotförsöket var att undersöka om tätskikt bestående av fiberslam och tätskikt bestående av mineraliskt

material klarar kravet på en infiltration på maximalt 50 l/m<sup>2</sup>×år. Dessutom undersöktes hur materialet förändrades efter deponering. För att göra detta gjordes en sluttäckning med fiberslam på NÅRABs anläggning i Hyllstofta och en sluttäckning med moränlera på Filbornas avfallsanläggning i Skåne. För att undersöka materialen anlades fyra pilotytor, en flack och en med lutning per material. Utöver provytorna gjordes även analyser av materialen i laboratorium. (RVF Utveckling 2000)

Enligt studien så förändrades inte fiberslammet med tiden och laborativa analyser visade att cellulosan i materialet inte bröts ned under en 20-årsperiod. Däremot började fiberslammet först fungera som förväntat efter en månad. Den första månaden kom det mycket pressvatten till följd av de lager som lades upp på tätskiktet. När detta vatten dränerades bort fungerade dock fiberslammet som väntat. (RVF Utveckling 2000)

Ett tydligt samband mellan hög nederbörd och ett stort flöde genom tätskiktet, visar att fiberslam inte fungerar som tätskikt på de flacka ytorna. Försöken visade även att fiberslammet behöver förbehandlas om det ska fungera som tätskikt. Endast 8 l/m<sup>2</sup>×år infiltrerade ytan när lutning var 1/3. Detta antas vara en följd av den höga lutningen som bidrar till att mer vatten rinner av innan det infiltrerar materialet. Samtidigt blir avrinning bättre i dräneringsskiktet. I slutsatsen ifrågasätts därför om tätskikt överhuvudtaget behövs vid sådana lutningar. (RVF Utveckling 2000)

Försöken med moränlera som tätskikt gav initialt låg infiltration. Många andra försök har visat att moränlera som tätskikt nästan inte ger någon infiltration alls under det första året. Därför dras slutsatsen att materialet fungerar bra som tätskikt och utan problem uppfyller kravet om maximalt 50 l/m<sup>2</sup>×år infiltration. Det behövs dock längre perioder för att utvärdera leran som tätskikt för att uppnå mer stabila värden. (RVF Utveckling 2000)

### **2.10.2 Långtidsegenskaper hos tätskikt innehållande bentonit**

Syftet med detta projekt har varit att undersöka vilka faktorer som på kort och lång sikt kan påverka tätskikt som består av bentonitmatta eller blandningar av bentonit och andra material. Syftet var även att ta fram råd om när och hur dessa material är bra att använda som tätskiktsmaterial. För att lyckas med detta har en litteraturstudie, en enkätundersökning och tre fallstudier gjorts. (RVF 2001)

Resultatet av enkätundersökningen visade att bentonit används i alla delar av sluttäckningen, oavsett vilken typ av avfall som finns i deponin. Oftast används lokal lera som ett komplement till bentonit om det finns tillgängligt. Enkätsvaren visade att anledningen till att bentonit väljs är att det är ett tätt material, som har visat sig hålla sin stabilitet under lång tid. Dessutom betonades vikten av att utföra utläggandet av bentoniten noggrant på ett lämpligt och ändamålsenligt sätt. Det måste även finnas en god planering angående de olika arbetsmomenten då utläggandet av materialet ska ske. Ett fåtal svar visade missnöje med användningen av bentonit, vilket i de fallen berodde på att noggrannheten och planeringen inte hade varit tillräckligt bra. (RVF 2001)

Slutsatserna som dras i projektet är att bentonit och bentonitblandade material fungerar bra som tätskikt i sluttäckningar. Bentonitmattor anses vara ett smidigt val till tätskikt, då de är lätta att applicera och därmed ge en kvalitetssäkrad installation. Vid användning av bentonit i tätskiktet finns det dock ett antal faktorer som behöver tas hänsyn till. Dessa innefattar bland annat sättningar, varierande tillgång till vatten, frysning samt tining av mark, gasbildning och topografiska förhållanden. (RVF 2001)

### 2.10.3 Användning av avloppsslam för tätning av deponier

Förstudien gjordes med syfte att ta fram underlag för hur lämpligt det är att använda avloppsslam till tätskikt vid sluttäckning av deponier, ur ett tekniskt och ett ekonomiskt perspektiv. I viss mån har även fiberslam undersökts. Förstudien är en litteraturstudie kombinerad med kontakt med anläggningsägare. (RVF Utveckling 2001a)

Enligt studien finns det en del undersökningar som visar att rötat avloppsslam uppvisar en permeabilitet som är lägre än  $10^{-9}$  m/s och dessutom minskar denna under packning och vid ökad belastning. Slam innehåller en ganska stor andel organiskt material, vilket på sikt kan göra att permeabiliteten ökar till följd av nedbrytning som orsakar en porositetsökning. Därför är det positivt för tätheten på sluttäckningen om en hög andel icke-organiskt material blandas i slammet. Det är även fördelaktigt med en hög packningsgrad för att motverka nedbrytning och sprickbildning. (RVF Utveckling 2001a)

Tätskiktet är ofta vattenhållande, vilket gör att rötter försöker tränga ner i skiktet som därför kan bli skadat och förlora tätheten. Då slam har ett högt innehåll av närsalter och organiskt material kan risken för rotpenetration öka. Risken för rotpenetration kan dock minskas genom att exempelvis införa en rotspärr, eller öka pH-värdet i materialet genom att blanda i aska eller kalk. (RVF Utveckling 2001a)

TS-halten i rötat slam kan variera beroende på vilken typ av avvattning som har använts, men ligger oftast mellan 25 % och 30 %. Innehållet av totalkväve brukar ligga på 3-4% och totalfosfor på 2,5-3%. Den organiska halten av torrsubstansen uppgår till 50 %. Närsalter som organiskt kväve bryts ofta ner under rötningsprocessen av slammet och avgår i rejektvattnet. I samma process bildas ammoniumkväve. (RVF Utveckling 2001a)

En mera direkt miljöpåverkan som påvisas i förstudien är lukt och kväveutlakning. Lukten uppstår på grund av ammoniak, som släpps ut från slammet vid inblandning av aska eller kalk i materialet. Kväveutlakningen undersöktes både i fält och på laboratorium och visade sig vara icke försumbar. Om utlakning sker via diffusion brukar utlakningen av kväve minska med tiden, men det visade sig inte vara fallet i den här undersökningen. Dock brukar kväveutlakningen från deponier generellt vara ganska stor. Genom att exempelvis lägga ut en tunn folie så kan utlakningen minskas initialt och istället ske över en längre tid. På så sätt kan naturen ta hand om överskottet av näringsämnen. (RVF Utveckling 2001a)

Slam som inte är bearbetat kan ge praktiska problem, då det ofta har en lös konsistens och därför är svårt att köra på. Detta medför att packning av materialet försvåras och därmed är det även svårt att få materialet tillräckligt tätt. Även stabiliteten i slänter försämras på grund av detta. Enligt förstudien finns det två lösningar på detta. Den ena lösningen är att avvattna materialet ytterligare och den andra är att blanda i ett annat material i slammet som ger en mer medgörlig konsistens. Förslag på material att blanda i slammet är kalk, kol-och bioaska, stenmjöl eller andra finkorniga material. (RVF Utveckling 2001a)

Ur miljösynpunkt är det bra att använda avloppsslam som tätskiktmaterial istället för naturliga material för att undvika att förbruka naturresurser. Även transportbehovet för att frakta materialet blir oftast mindre då materialet kan finnas på närmare avstånd. (RVF Utveckling 2001a)

#### **2.10.4 Försök med tätning och täckning av avfallsupplag genom användning av fiberslam, gjuterisand, slaggranulat och slaggrus**

Denna studie syftar framförallt till att undersöka förutsättningarna för att använda bentonitbunden överskottssand, även kallat gjuterisand, som tätskikt vid sluttäckning av deponier. Inledningsvis gjordes analyser i laboratorium för att undersöka vilken bentonithalten i materialet bör vara och vilken permeabilitet materialet förväntas ge. Analyserna visade att gjuterisand kan vara lämpligt som tätskiktsmaterial. Det finns dock en hel del faktorer som måste klargöras innan det praktiska arbetet med utläggning kan påbörjas. (RVF Utveckling 2001b)

Tätheten hos gjuterisand varierar beroende på halten bentonit och på densiteten. För att uppnå önskad densitet krävs det att materialet packas. För att uppnå ett bra packningsarbete måste materialet dessutom ligga i rätt vattenkvotsintervall. Laboratorieanalyserna gav resultatet att bentonithalten i materialet bör ligga över 8 %, vattenkvoten mellan 8-12 % samt att packningsgraden måste vara över 80 %. Faktorer som kan påverka ovanstående krav är bland annat att obearbetad gjuterisand inte håller en konstant halt av bentonit, vilket kan göra det svårt att avgöra vilken procentuell inblandning av bentonit som ska göras. Vattenkvoten kan påverkas av vädret, vilket innebär att planering runt utläggning av gjuterisanden måste göras. Packningsgraden kan påverkas av undergrundens stabilitet. Därför bör det bestämmas om avfallet behöver stabiliseras och hur packningsarbetet ska utföras för att få en så hög packningsgrad som möjligt. (RVF Utveckling 2001b)

Gjuterisanden bearbetades i en tvångsblandare med en kapacitet på ungefär 70 ton/timme. Innan bearbetningen låg bentonithalten i materialet på 4-10 %. Under bearbetningen tillsattes 3,4 % bentonit, vilket resulterade i att den bearbetade gjuterisanden hade en bentonithalt på 8,3–10,5 %. I rapporten belyses dock att bentonithalten i materialet är något som måste avgöras från fall till fall. (RVF Utveckling 2001b)

Vattenkvoten i det bearbetade materialet låg på 8-14 %. När det var varmt och torrt ute uppmättes de lägsta vattenkvoterna. Detta ansågs vara dåligt då materialet borde ha uppnått en bättre stabilitet med avseende på vattenkvoten under utläggning och packning. (RVF Utveckling 2001b)

Utläggningen och packningen av gjuterisanden var svår, vilket ansågs vara på grund av att undergrunden, bestående av enbart fiberslam, gav ett dåligt mothåll. För att uppnå rätt packningsgrad användes en oscillerande vält, men detta resulterade i att ytan på tätskikten sprack. Sedan prövades packning med vibrerande vält vilket gav ett ännu sämre resultat. Efter stabilisering av fiberslammet och genom att packa med först statisk vält och sedan oscillerande vält, uppnåddes goda resultat med avseende på packningsgrad och sprickfri yta. I slutsatsen konstaterar författarna att det är möjligt att ersätta naturmaterial med gjuterisand i tätskiktet. Det är dock viktigt att ta hänsyn till att olika material och olika skikt har olika egenskaper. (RVF Utveckling 2001b)

#### **2.10.5 Täckning av deponier med blandning av avloppsslam och aska**

Detta är en fortsättning på förstudien som gjordes 2001 av RVF Utveckling. Rapporten syftar till att ytterligare kartlägga problematik och möjligheter med avseende på tekniska egenskaper, långsiktig beständighet och dokumentation av tidigare erfarenheter vid användning av avloppsslam och aska i tätskikt.



Syretillgången i tätskiktet är en viktig faktor som är avgörande för hur beständigt materialet är. Fältundersökningar i projektet har visat att syretillgången generellt minskar med djupet i marken. Om skyddsskiktet byggs så att mindre syre kan komma i kontakt med tätskiktet, är risken för nedbrytning av tätskiktet mindre. (RVF Utveckling 2002)

En högre vattenhalt i materialet kan också ge en lägre syrehalt. Diffusionen av syrgas blockeras i jordar där porerna är fyllda med vatten istället för exempelvis gas. Nedbrytning av materialet kan dock ske både anaerobt och aerobt. För att motverka att porositeten ökar till följd av nedbrytning, vilket i sin tur kan leda till en högre permeabilitet, krävs det att ovanliggande skikt är så pass mäktiga att de ger en överlast så att håligheter trycks bort. (RVF Utveckling 2002)

Slam har generellt en låg bärighet, vilket gör att hållfastheten kan bli ett problem vid användning av slam i tätskikt. Vid inblandning av aska ökar hållfastheten och materialet bedöms då vara tillräckligt bärigt för att användas som tätskikt. (RVF Utveckling 2002)

Urlakning av näringsämnen, som exempelvis fosfor, ur deponier med tätskikt bestående av slam kan inledningsvis vara av betydande mängd. Hur detta påverkar miljön är helt beroende på lokalisering av deponin. Deponier med slamtätskikt kan under en kortare tid läcka ut höga halter av näringsämnen, men det totala läckaget är litet jämfört med exempelvis det läckage som sker från jordbruk. Då den betydande urlakningen sker under en begränsad tidsperiod bedöms inte läckaget av näringsämnen utgöra ett problem. Dock gäller inte detta för kvävet. Enligt den laboratorie- och fältstudie som gjordes, kan kväveurlakningen inte försummas och minskar inte heller med tiden. Urlakningen sker när partiklar löses upp vid kontakt med nederbörd och även på grund av diffusion. (RVF Utveckling 2002)

Sammanställningar av olika fältförsök och laboratorieanalyser, både i Sverige och utomlands, visar att slam och blandningar av slam och aska uppfyller kravet om en låg permeabilitet. Vid användning av slam och aska i tätskikt är det dock viktigt att värdera påverkan från de andra skikten i sluttäckningen. Exempelvis kan dränskiktet utgöra ett problem om det medför att mer syre transporteras ner till tätskiktet, vilket i sin tur kan öka risken för nedbrytning. Om skyddsskiktet packas väl kan detta hindra syre från att tränga ner till tätskiktet. (RVF Utveckling 2002)

### **2.10.6 Alternativa tätskiktsmaterial – kostnadseffektiva lösningar**

I en artikel utgiven av Bygg&Teknik år 2004 presenteras en sammanställning från ett pilotförsök av en sluttäckning där mesa från två olika platser och fiberlera från ytterligare två olika platser har använts som tätskiktsmaterial. Mesa består av kalk och fiberlera består av fiberslam, kaolinlera och kalk i lerfraktion. Både mesa och fiberlera är restprodukter från skogsindustrin. Fiberlera består av upp till 45 % fiber, som är inbäddade i mineralpartiklar. Materialet har tidigare använts i Finland där det har uppvisat goda tekniska egenskaper som tätskiktsmaterial. (Svedberg et al. 2004)

Pilotförsöket genomfördes på Stordalens deponi i Timrå kommun. Lutningsvinkeln på täckningen var ca 1:9. För att kontrollera materialets täthet installerades bland annat lysimetrar. Lysimetrarna placerades på ett 0,2 meter tjockt avjämningslager bestående av sand. Tätskiktet fick en mäktighet på ca 0,3 meter. TS-halten på mesan låg på 93 % och 79 %. TS-halten på fiberleran låg på 58 % och 41 %. Entreprenören gav uttryck åt att materialen var lätta att hantera vid utläggning och packning. Dock kunde arbetet försvåras vid regn, speciellt

vid arbetet med fiberleran. Mätningar av sättningar i tätskiktet visade få deformationer, vilka endast var på enstaka centimeter. (Svedberg et al. 2004)

Tätheten på sluttäckningen bedömdes som god. Resultatet visade att konstruktionen med fiberlera med god marginal uppfyllde kravet för icke farligt avfall angående genomsläpplighet av vatten. Mängden vatten som perkolerade igenom tätskiktet av fiberlera var under 2 liter per kvadratmeter och år. I lysimetrarna som var installerade under tätskiktet av mesa, var genomsläppligheten i tre av fyra lysimetrar så låg att det i många fall inte gick att mäta. Därför gjordes en konservativ bedömning, som byggde på genomsläpplighet under fem månader, där mängden vatten skulle motsvara mindre än 20 liter per kvadratmeter och år. Författarna menar dock att den verkliga siffran skulle bli mycket mindre än så. (Svedberg et al. 2004)

Då mesa består av kalk kan det påverkas av sur nederbörd, men då materialet har en mycket låg permeabilitet så begränsas den potentiella påverkan som skulle kunna uppstå. Fiberlera består av en hög mängd organiskt material vilket skulle kunna brytas ned med tiden. Författarna menar dock att nedbrytningen är väldigt begränsad och pekar då på erfarenheter hämtade från andra studier, där nedbrytningen som har skett, endast har varit enstaka centimeter i överytan av tätskiktet där en aerob miljö råder. (Svedberg et al. 2004)

### **2.10.7 Pilotförsök med flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt**

Detta projekt gjordes med syfte att reda ut frågeställningar som ansågs obesvarade kring användandet av FSA i tätskikt vid sluttäckningar av deponier. Med hjälp av ett pilotförsök på Dragmossens deponi studeras hur utläggning av materialet görs på bästa sätt för att få ett bra resultat, tekniska funktioner och miljöegenskaper hos materialet och beständigheten av materialet. För att undersöka beständigheten hos materialet gjordes dessutom kompletterande analyser av nedbrytningsförsök i laboratorium. (Mácsik, Maurice, Mossakowska & Eklund 2005)

Tätheten i tätskiktet undersöktes genom lysimetrar som hade installerats. Mätningar visade att mängden vatten som trängde igenom tätskiktet låg under gränsvärdet för icke farligt avfall och att mängden minskade med tiden. Man kom dock fram till en del rekommendationer för att FSA ska fungera så bra som möjligt som tätskiktmaterial. Dessa innefattar följande:

- Det är viktigt att blandningen blir homogen och att detta kvalitetssäkras. Dessutom bör TS-halten kvalitetssäkras innan materialet används.
- Andelen flygaska i materialet bör ligga mellan 45-55 % TS. En för låg halt flygaska kan ge sämre beständighet och göra materialet svårhanterligt, en för hög halt flygaska kan ge sämre täthet.
- Flygaskan bör vara så färsk som möjligt så att härdningskapaciteten kan utnyttjas.

När avloppsslammet lagras och vid tillverkning av FSA finns det risk för att dålig lukt uppkommer på grund av ammoniakavgång. Därför är det viktigt att tänka på lokaliseringen av deponin med hänsyn till vilka och hur många som drabbas av lukten om FSA väljs som material. (Mácsik et al. 2005)

Det är viktigt att undersöka materialet i laboratorium innan det används i full skala på en deponi. Då det ofta saknas information om vilket avfall äldre deponier innehåller, finns det

risk att kemiska och fysikaliska förutsättningarna förändras med tiden. Det är därför viktigt att bedöma helhetseffekterna av täckningen på deponin. (Mácsik et al. 2005)

### **2.10.8 Miljöriktig användning av askor – askanvändning i deponier**

Denna rapport, skriven av Tham och Ifwer (2006), syftar till att undersöka hur aska kan användas på ett miljöriktigt och tekniskt bra sätt i olika anläggningsarbeten. En stor del av rapporten handlar om askor i sluttäckning av deponier. Rapporten bygger på undersökningar från elva olika deponier där aska har använts i sluttäckningen.

Enligt Tham & Ifwer (2006) är askor väl lämpade att användas som sluttäckningsmaterial på deponier. I rapporten har fyra anläggningar undersökts där aska har använts i tätskiktet vid sluttäckning av deponier, både som enskilt material och även blandat med slam, där alla klarade kraven som finns i Deponiförordningen (2001:512).

I ett försök på Dragmossen deponi i Älvkarleby och på Gärstad deponi i Linköping, drogs slutsatsen att släntlutningen på täckningen är betydande för tätskiktets täthet. Anledningen till detta är att en brantare lutning kan vara svårare för maskiner att arbeta på och därmed blir det svårare att packa materialet. (Tham & Ifwer 2006)

Tham och Ifwer (2006) menar att fler studier och försök behöver göras för att undersöka långtidsegenskaper hos askor. Däremot så finns det studier som indikerar att askor inte försämrar tätheten med tiden. Tvärtom så kan askors benägenhet att under vissa förutsättningar omvandlas till lermineral göra att tätskiktet blir ännu tätare med tiden.

De problem som kan uppstå i samband med blandning av slam och aska är bland annat lukt. Askan medför att pH på slammet ökar, vilket i sin tur ger upphov till att ammoniak bildas. Beroende på nederbörds mängder och temperatur sprids sedan lukten till närboende som kan störas. Hantering av aska kan även orsaka damning, vilket framförallt uppstår vid blandning av olika material och därmed är störande för de som arbetar med utläggningen av materialet samt för närboende grannar. (Tham & Ifwer 2006)

I rapporten jämförs inte askor i tätskikt med andra material. Författarna bedömer dock sammanfattningsvis att askor är likvärdigt naturmaterial eller geomembran, vilka genom tidigare studier och undersökningar har visats vara vedertagna material. (Tham & Ifwer 2006)

### **2.10.9 Steel slag used in landfill cover liners: laboratory and field tests**

I denna studie undersöks lämpligheten av att använda slagg från stålindustrin som tätskiktmaterial på deponier. Försöket utfördes genom analyser i laboratorium av skänkslagg och ljusbågsugnsslagg. Faktorer som undersöktes var hållfastheten, kornstorleksfördelningen, sammanpressningsegenskaper och permeabilitet. Dessutom gjordes det ett fältförsök på en deponi med icke farligt avfall, där skänkslagg och ljusbågsugnsslagg användes i tätskiktet. Fältförsöket syftade till att bland annat undersöka om materialen uppfyllde de krav som ställs på täthet i Deponiförordningen (2001:512). (Herrmann et al. 2009)

De slutsatser som kunde dras av analyserna i laboratoriet var att blandningen av materialen gav tillsammans ett material med en permeabilitet på mindre än  $10^{-11}$  m/s. Sammanpressningsegenskaperna påverkades mycket av hur lång tid det gick mellan att vatten tillförts till att materialet kompakterades. Testerna visade att efter att vatten adderats bör kompakteringen ske så fort som möjligt, då en försening på 24 timmar gav ett oacceptabelt

høgt värde på permeabilitet. Hållfastheten i materialet motsvarar betong med hög hållfasthet. (Herrmann et al. 2009)

Fältstudierna utfördes under två år då vatten samlades in och mättes med hjälp av tio stycken lysimetrar som installerades under tätskiktet. Försöken visade att gränsen för permeabiliteten som ställs för icke farligt avfall i Deponiförordningen (2001:512) (maximalt  $10^{-9}$  m/s), uppfylldes utan problem. Mängden lakvatten som samlades in i lysimetrarna varierade mycket utan att något mönster gick att läsa av. Varken temperaturvariationer, pH eller nederbörds mängder kunde förklara variationerna. Författarna drog slutsatsen att variationerna antagligen berodde på ojämnheter i tätskiktet och eventuellt bildandet och tilltäppningen av sprickor. (Herrmann et al. 2009)

#### **2.10.10 Water balance and effectiveness of landfill cover systems: 20 years measurements at the landfill Hamburg-Georgswerder**

Sedan 1988 har försök gjorts på en deponi i Tyskland, på deponin Hamburg-Georgswerder, med olika tätskiktmaterial. Syftet har varit att, med hjälp av installerade lysimetrar under tätskiktet, undersöka vattenbalansen och långtidsbeständigheten hos de olika materialen. Tre stycken testområden (F1, F2, F3) lokaliserades över ett område med relativt liten lutning (4 %, 1:25) och tre stycken testområden (S1, S2, S3) lokaliserades över ett mer lutande område (ca 20 %, 1:5). Tätskiktmaterialen i F1 och S1 bestod av sammanpressad lera. I F2, S2 och F3 bestod tätskiktet av en blandning av geomembran (HDPE) och sammanpressad lera. Tätskiktet i S3 bestod också av sammanpressad lera, men under det hade man dessutom lagt ett kapillärbrytande lager, bestående av fin sand vilket inte fanns i de andra testområdena. Ett kapillärbrytande lager används bland annat för att undvika att vatten tränger upp i sluttäckningen underifrån. (Berger et al. 2009)

Slutsatserna som kunde dras om de olika tätskiktmaterialen efter 20 års studier var bland annat att tätheten av den sammanpressade leran minskade avsevärt under de första åren. Studien visar att mellan 90 och 220 mm/år rann igenom tätskiktet, vilket är nästan hälften av det vatten som rinner igenom de övre skyddsskikten och når dräneringsskiktet. Permeabiliteten steg med tiden, speciellt efter ovanligt torra somrar som resulterade i sprickbildning och rotpenetration. I början av studien var permeabiliteten  $1-5 \times 10^{-10}$  m/s och i slutet uppmättes den till  $4-10 \times 10^{-8}$  m/s. (Berger et al. 2009)

Tätskikten som bestod av en blandning av geomembran och sammanpressad lera visade, under de 20 åren som mätningarna pågick, en genomsläpplighet på i genomsnitt 2 mm/år. Författarna menar även att det kapillärbrytande lagret presterade bra i förhållande till att det var första gången den metoden provades. I början rann i genomsnitt 22 mm/år ner till det kapillärbrytande lagret och efter ett par år ökade denna siffra till 160 mm/år. Endast 10 % av den sistnämnda mängden trängde sedan vidare igenom det kapillärbrytande lagret. (Berger et al. 2009)

#### **2.10.11 Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt bestående av flygaskstabiliserat avloppsslam, FSA. Beständighet, täthet och utlakning**

Denna studie bygger på undersökningar av sex olika deponier där sluttäckningar och provytor har installerats. Sluttäckningar gjordes på Dragmossen i Älvkarleby, Lilla Nyby i Eskilstuna och Atleverket i Örebro. Provytor gjordes på Gärstadverket i Linköping, Blåberget i Sundsvall och Sofielund i Huddinge. Syftet var att undersöka hur lämpligt det är att använda FSA som tätskikt i sluttäckning av deponierna. Genom bland annat provtagningar på lakvatten och dränvatten har materialet undersökts med avseende på permeabilitet, beständighet över tid

och utlakning av näringsämnen och metaller över tid. Målet var att på så sätt bekräfta att FSA fungerar som tätskikt i sluttäckningar på deponier för icke farligt avfall och att vattnet som rinner av från deponin på sikt kan släppas direkt till recipient utan att först genomgå rening. (Avfall Sverige Utveckling 2011)

Både laboratorieundersökningar och fältundersökningar visar att FSA komprimeras med ungefär 30 % när överliggande skikt har lagts på. I samband med kompressionen pressas porgas och porvatten ut ur materialet. Om materialet har blandats dåligt, har en för hög vattenhalt eller om askan har härdats eller urlakats, så är risken för sättningar och sämre hållfasthet större i tätskiktet. (Avfall Sverige Utveckling 2011)

Det första porvattnet som pressas ut kallas också pressvatten och detta samlades i fältförsöken upp i lysimetrar, som var installerade under tätskiktet. Med tiden, när kompressionen minskar, avtar även mängden pressvatten som samlas i lysimetrarna. Denna trend gäller även för områden med FSA av sämre kvalitet. Tätheten uppmättes till mindre än 15 liter/m<sup>2</sup>×år på Lilla Nyby, Älvkarleby, Atleverket, Gärstad och Sofielund. Den motsvarande permeabiliteten är ungefär  $5 \times 10^{-10}$  m/s. (Avfall Sverige Utveckling 2011)

En av slutsatserna som drogs från analyser i laboratorium, var att nedbrytningen minskade med en större procentdel flygaska i materialet. Med 40 % flygaska sker nedbrytning av det organiska materialet om L/S-kvoten är hög (>10) och om salterna sköljs ut. Om däremot FSA-materialet består av 60 % flygaska, sker ingen nedbrytning. Dock visade fältundersökningarna en väldigt låg permeabilitet, vilket medför att det skulle dröja hundratals år innan en L/S-kvot på 10 uppnås. FSA med sämre kvalitet visade högre permeabilitet, vilket också kan medföra att salthalten i materialet minskar. (Avfall Sverige Utveckling 2011)

Undersökningarna i fält och på laboratorium visade att tätskiktet av FSA blir tätare med tiden och tack vare att perkolationen sker långsamt hindras urlakning och nedbrytning av materialet. TS-halten i materialet håller sig på ungefär 50 %, vilket innebär att materialet inte torkar ut. Skjuvhållfastheten i materialet ökar med tiden efter utläggningen från ca 30 kPa till 60 kPa på drygt sex år. (Avfall Sverige Utveckling 2011)

### **2.10.12 Kunskapssammanställning – beständigheten hos geosynteter i deponikonstruktioner**

Syftet med denna litteraturstudie och enkätundersökning utförd av Avfall Sverige, var att undersöka hur användningen av geosynteter ser ut idag, hur långtidsbeständiga de är och hur de påverkar en deponis konstruktion med avseende på täthet, dränering och stabilitet. (Avfall Sverige 2014f)

Enkäten som skickades ut visade att geosynteter är vanliga i deponikonstruktioner i Sverige. Anledningen till att geosynteter väljs är att de ofta totalt sett är billigare, speciellt tack vare att de är lätta och snabba att lägga ut. (Avfall Sverige 2014f)

Nedbrytning av geosynteter orsakas ofta av kemisk påverkan eller oxidation p.g.a. att fria radikaler i polymeren kommer i kontakt med syre. Polymerstrukturen och additiv i materialet har stor betydelse för hur beständigt materialet är. Mekanisk påverkan är också avgörande för beständigheten hos materialet. Exempel på mekanisk påverkan är rotpenetration, skador vid utläggning och skador orsakade av väder. (Avfall Sverige 2014f)

Litteraturstudien visade att de flesta geosynteter har en beständighet och livslängd som sträcker sig över 100 år. Geosynteter av HDPE kan ha en livslängd på flera hundra år. Detta gäller dock endast geosynteter som är väl stabiliserade och vid temperaturer omkring 20 °C. Beständigheten försämras vid högre temperaturer. (Avfall Sverige 2014f)

## **2.11 Tidigare studier och erfarenheter – ekonomiska aspekter**

En sluttäckning kan konstrueras på olika sätt, så länge den uppfyller de krav om funktioner som finns lagstiftade. Oftast väljs det sätt som är bäst ur ett ekonomiskt perspektiv. En stor kostnad som uppstår, vid användning av restprodukter, är transportkostnader. (RVF Utveckling 2001b). Kostnaden för sluttäckningen, avgörs ofta av tillgången på materialet och hur lång transportsträckan blir (Svedberg et al. 2004).

Kostnaden för att lägga ut ett tätskikt kan skilja sig med så mycket som 100 procent trots att det handlar om samma material (Svedberg et al. 2004). Detta har att göra med att anbudet oftast läggs på hela sluttäckningen och inte på ett enskilt skikt. För att sedan få anbudet att matcha kundens önskemål kan kostnader dras ifrån eller läggas till på olika delar, exempelvis för transporter, anläggningsarbetet eller för ett av skikten, även om det inte stämmer överens med den egentliga prisbilden för den delen av arbetet. Specifika detaljer, som exempelvis den egentliga kostnaden för tätskiktsmaterialet och kostnaderna i samband med utläggningen av tätskiktet, kan därför variera väldigt mycket från fall till fall.<sup>3</sup>

I en studie utförd av RVF Utveckling (2001b) gjordes ekonomiska kalkyler på vad kostnaderna skulle bli med ett tätskikt bestående av bearbetad gjuterisand och ett tätskikt bestående av bentonitblandat stenmjöl. De antaganden som gjordes vid beräkningarna var följande:

- Restprodukten gjuterisand gav inte några materialkostnader vid inköp. Eventuella skattereduktioner räknades inte heller med.
- Transportsträckan för gjuterisand var sex mil och för stenmjöl två mil.
- Kostnaderna avser helt färdigt arbete.

För tätskiktet där gjuterisand användes i tätskiktet, blev kostnaden 230 kr/m<sup>2</sup>. Mäktigheten på gjuterisanden var 0,3 m och det tillsattes 3 % bentonit till materialet. För tätskiktet där stenmjöl användes, blev kostnaden 300 kr/m<sup>2</sup>. Mäktigheten på stenmjölet var 0,3 m och det tillsattes 6 % bentonit till materialet. (RVF Utveckling 2001b)

I en studie utförd av RVF Utveckling (2005), gjordes en ekonomisk kalkyl där användning av FSA och bentonitmatta i tätskikt jämförs med varandra. Enligt studien kostar den traditionella tätskiktskonstruktionen med bentonitmatta 75 kr/m<sup>2</sup>. Kostanden för FSA beräknades vara ca 65 kr/m<sup>2</sup> när en mäktighet på 0,6 m användes. I kalkylen för FSA inkluderades kostnader för förblandning av materialet, transport av materialet och utläggning av skiktet. Materialkostnaden antogs vara 0. I studien dras slutsatsen att FSA ur ett ekonomiskt perspektiv kan konkurrera med traditionella tätskiktmaterial. (RVF Utveckling 2005)

Enligt Avfall Sverige (2014g) så väljs geosynteter oftast av kostnadsmässiga skäl. De är lätta att hantera och är snabba att installera vilket gör att anläggningskostnaderna kan hållas nere.

---

<sup>3</sup> Samtal med Hanna Modin, Miljökonsult VA-processer och avfall på Sweco Environment AB, 2015-07-06.

Tham och Ifwer (2006, s. 24) skriver i sin rapport att användning av askor har en viktig ekonomisk betydelse och att användning av askor istället för naturmaterial ger en besparing på uppskattningsvis 100 kr per ton material. Denna summa motsvarar upp mot ”ett par miljoner per hektar”.

På en deponi i Markaryd användes bentonitmatta som tätskiktmaterial. Totalt skulle en area på knappt 20 000 m<sup>2</sup> täckas. För inköp och utläggning av bentonitmattan blev kostnaden ca 40 kr/m<sup>2</sup>. Samma kostnad har uppskattats för Slitedeponin på Gotland, om bentonitmatta ska användas som tätskiktmaterial. Där ska en area på drygt 50 000 m<sup>2</sup> med en mäktighet på ca 0,05 m täckas.<sup>4</sup>

### **3. Fallstudien Lessebo**

#### **3.1 Bakgrund**

År 2009 gjorde Sweco en sluttäkningsplan för deponin i Lessebo på uppdrag av Lessebo kommun (Sweco 2009). I augusti 2012 beslutade Länsstyrelsen i Kronobergs län att godkänna planen (Länsstyrelsen i Kronobergs län 2012). Innan hela deponin sluttäcks, ska en pilotsluttäckning göras för att säkerställa att val av material och metod fungerar enligt de krav som finns. För att hitta lämplig entreprenör till arbetet, skrevs ett förfrågningsunderlag som bygger på sluttäkningsplanen (Lessebo kommun 2014). Enligt tidsplanen i förfrågningsunderlaget, förväntas sluttäckningen av hela deponin att vara klar år 2022. På grund av förseningar, är det mer rimligt att anta att sluttäckningen kommer att bli klar år 2025 istället.

Den information som presenteras i kapitel 3, Fallstudien Lessebo, bygger på förfrågningsunderlaget om inte annat anges.

#### **3.1.1 Lessebo deponi**

Lessebo är en kommun i Kronobergs län i södra Sverige. En kilometer sydväst om Lessebo tätort ligger Lessebo avfallsanläggning och deponi, se Figur 3 nedan. Deponin anlades 1979 och upphörde år 2008 och har en yta på ungefär 6 ha. Den närmaste omgivningen består av skog och nordväst om anläggningen ligger en invallad del av sjön Öjen. Öjen ligger som minsta avstånd 50 meter från avfallsanläggningen. Närmaste bostadsområdet ligger ca 1000 meter från avfallsanläggningen. 400 meter sydväst om anläggningen ligger även ett enstaka bostadshus. Mellan bostadshuset och anläggningen växer det skog.

---

<sup>4</sup> Samtal med Åsa Kolmert Strickland, Miljökonsult VA-processer och avfall Sweco Environment AB, 2015-08-05.



Figur 3 Karta över Lessebo. Avfallsanläggningen och pappersbruket är understrukna med svart (Länsstyrelserna 2015).

Lessebodeponin är klassad som en deponi för icke farligt avfall. De deponerade massorna på deponin består i huvudsak av hushållsavfall, byggnads- och rivningsavfall, industriavfall, aska, industrislam, avloppsslam och skrot. Fram till år 2000 har den största enskilda fraktionen varit slam. Sedan deponin avslutades har uppskattningsvis 1,3 ha täckts med ett ca 2 meter tjockt lager fiberslam från Lessebo pappersbruk. På grund av skred och bökande från vildsvin, har täckningen idag betydande skador. Lakvattnet och avfallsmassorna innehåller föroreningar som, enligt förfrågningsunderlaget, anses vara normala för en äldre kommunal deponi.

### Lakvatten

Lakvattnet pumpas, med hjälp av en avloppspumpstation, från diken till en utjämningsbassäng. Utjämningsbassängen har kapacitet att hålla 8000 m<sup>3</sup> lakvatten och fungerar även som ett brandvattenmagasin. Därifrån leds vattnet vidare via en självfallsledning till Lessebo reningsverk där det renas och sedan släpps ut till Lesseboån. År 2008 utgjorde lakvattnet från deponin mindre än 1,6 % av tillflödet till reningsverket.

År 2014 gjordes analyser av vattnet i lakvattendammen som ligger vid Lessebo deponi. Värdena från en del av analysen presenteras i Tabell 4 nedan.



Tabell 4 Analys av vattnet i lakvattendammen på Lessebo deponi

Analys av:	Resultat	osäkerhet	enhet
<b>Kväve total, N</b>	14	±2.1	mg/l
<b>Fosfor total, P</b>	0.39	±0.059	mg/l
<b>Elek. Konduktivitet (25 °C)</b>	265	±13.3	mS/m
<b>pH (20 °C)</b>	9.1	±0.2	

### 3.2 Sluttäckning av Lessebo deponi

Då Lessebo deponi är avslutad ska den enligt Deponiförordningen (2001:512) förses med en sluttäckning, som uppfyller de krav som finns om bland annat täthet. Innan en komplett sluttäckning görs, förekommer det att en pilotsluttäckning görs för att studera egenskaperna hos de ingående materialen och på så sätt avgöra om det är lämpligt att använda till den efterföljande täckningen av hela deponin. Ett av kraven i förfrågningsunderlaget är att de massor som används i pilotsluttäckningen, ska väljas så att pH-värdet i det samlade lakvattnet från deponin inte understiger 6,5 eller överstiger 10.

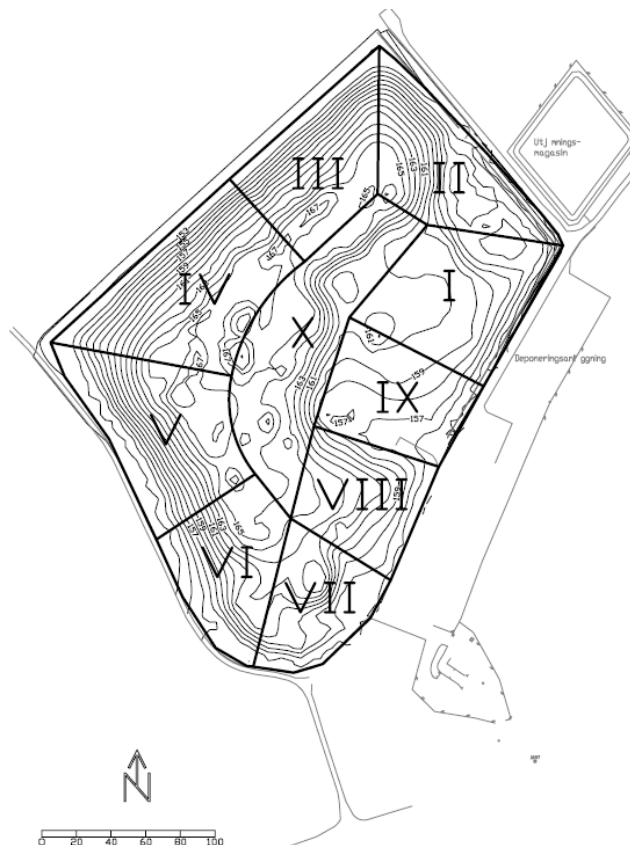
Då det i Lessebo finns ett pappersbruk (se Figur 3 ovan) som har fiberslam som restprodukt, valdes detta, blandat med flygaska från biobränsleförbränning, som tätskiktmaterial.

### 3.3 Metod

Nedan kommer en beskrivning av hur fallstudien har genomförts. Detta involverar hur pilotsluttäckningen har lagts ut, hur lysimetrarna har anordnats och hur mätningarna på lakvattnet är utförda. Utläggning av pilotsluttäckningen och av lysimetrarna har utförts av entreprenören. Mätningar av lakvattnet gjordes som en del av examensarbetet.

#### 3.3.1 Pilotsluttäckningen

Lessebo deponi har i avslutningsplanen delats in i olika etapper, som fungerar som ett preliminärt förslag på i vilken ordning olika områden av deponin ska sluttäckas. Pilotsluttäckningen har gjorts på norra delen av deponin i etapp III, se Figur 4 nedan. Detta område valdes då det är en av de brantaste delarna av deponin och därför är svårt att lägga ut material på.



Figur 4 Ritning med etappindelning över Lessebo deponi och lakvattendammen. Pilotsluttäckningen sker i etapp III. Ritningen visar topografin före avjämning. (Sweco 2009, återges med tillstånd från uppdragsgivaren Lessebo kommun).

Pilotsluttäckningen lades ut under april och maj 2015. Ett krav för att kunna lägga ut provytan var att det inte fick vara för blött och att det inte fick finnas tjäle i marken. Lutningen på pilotsluttäckningen är 1:3. Nedan kommer en beskrivning av de olika skikten och hur de har lagts ut samt packats.

### **Material, utläggande och packning av de olika skikten**

Pilotsluttäckningen delades in i två delar, norra delen och södra delen. Från början var det tänkt att varje delområde skulle bli 50m×30m stort, men då materialet inte räckte blev ytorna mindre. Den norra delen blev 30m×16m och den södra delen blev 36m×17m. Anledningen till att området delades in i två delar var för att prova olika blandningsförhållanden av fiberslam och aska i tätskiktet. I den södra delen består tätskiktet av 70-80 % fiberslam och resterande del biobränsleaska. I den norra delen består tätskiktet av 60-70% fiberslam och resterande del biobränsleaska. Figur 5 nedan visar två bilder på fiberslammet som används i sluttäckningen.



Figur 5 Fiberslammet som används i sluttäckningen på Lessebo deponi. I den vänstra bilden består materialet av mer lera. I den högra bilden ser materialet ut som små och blöta servettbitar. Foto: Tove Juhl Andersen

Närmast avfallet har ett avjämningskikt lagts ut som består av samma typ av aska som finns i tätskiktet. Enligt entreprenören var askan svår att packa. Ovan avjämningskiktet ligger tätskiktet som lades ut med en schaktmaskin med en maskinvikt på 20 ton. Blandningen av fiberslammet och askan gjordes i en trumblandare för att få en så homogen massa som möjligt. Vid utläggningen av tätskiktet skulle varje lager, enligt förfrågningsunderlaget, högst ha en mäktighet på 0,5 m för att göra packningen så optimal som möjligt. Mäktigheten på det färdigpackade tätskiktet blev ca 1 meter enligt entreprenören.

Över tätskiktet ligger dränskiktet, som har en mäktighet på 0,3 meter och består av makadam. För att förhindra igensättning och för att skydda de andra skikten i sluttäckningen, lades geotextil ut på båda sidorna om dränskiktet. Skyddsskiktet består av jordmaterial, schaktmassor och ca 20 % fiberslam. Skiktet lades ut och packades till en mäktighet som tillsammans med vegetationsskiktet blev 1,2 meter. Detta gjordes med en larvgående maskin.

Det sista och översta lagret på pilotsluttäckningen är vegetationsskiktet, som består av komposterat avloppsslam. Detta lager packades också med maskin och lades ut med en mäktighet på 0,2 meter.

Enligt entreprenören så var det ingen skillnad mellan de två ytorna vid utläggandet av tätskiktet, förutom andelen fiberslam och flygaska. Ytorna lades ut och packades på samma sätt. Tätskikten lades ut två dagar efter varandra i torrt väder. Resterande ytor lades också ut på samma sätt och i torrt väder.

### Lysimetrar

Under tätskiktet installerades behållare för uppsamling av lakvatten, s.k. lysimetrar. I detta fall var de gjorda av plastdunkar med ytan 1 m<sup>2</sup>, som var avskurna så att de hade en höjd på ungefär 15-20 cm. På ventilen kopplades en armerad plastslang med diametern 20 mm med hjälp av en slangklämma, så att lakvatten kunde tappas upp för mätningar av volym och analyser, se Figur 6 nedan. Slangen placerades i en storleksanpassad kanal och täcktes sedan för att minska risken för att den skulle tryckas ihop och orsaka stopp. I änden av slangen kopplades en kulventil fast som öppnades och stängdes manuellt vid mätningarna. Den 12 maj stängdes ventilerna till slangarna då pilotsluttäckningen var klar. Inga större mängder lakvatten noterades innan ventilerna stängdes enligt entreprenören.



Figur 6 Plastslang med kulventil för manuell öppning och stängning. Foto: Tove Juhl Andersen

Lysimetrarna (se Figur 7 nedan) grävdes ner en bit i avjämningskiktet, lades ovanpå geotextil, fylldes med makadam och täcktes slutligen också med geotextil. Från början var tanken att de skulle grävas ner med hjälp av en grävmaskin, men då denna inte kunde stå tillräckligt stabilt gjordes grävningen för hand istället. I Figur 8 nedan har dock en grävmaskin använts till att gräva hålet.



Figur 7 Lysimeter innan den är nergrävd. Foto: Tove Juhl Andersen



Figur 8 Lysimeter fylls med makadam och täcks sedan med geotextil. Foto: Tove Juhl Andersen

Slangarna som kopplats till lysimetrarna drogs ner till lakvattendiket nedanför pilotsluttäckningen för att tappning av dessa skulle kunna ske. Se Figur 9 och Figur 10 nedan.





Figur 9 Slangarna som är kopplade till lysimetrarna. Slangarna ligger längst ner för slänten vid lakvattendiket.  
Foto: Tove Juhl Andersen



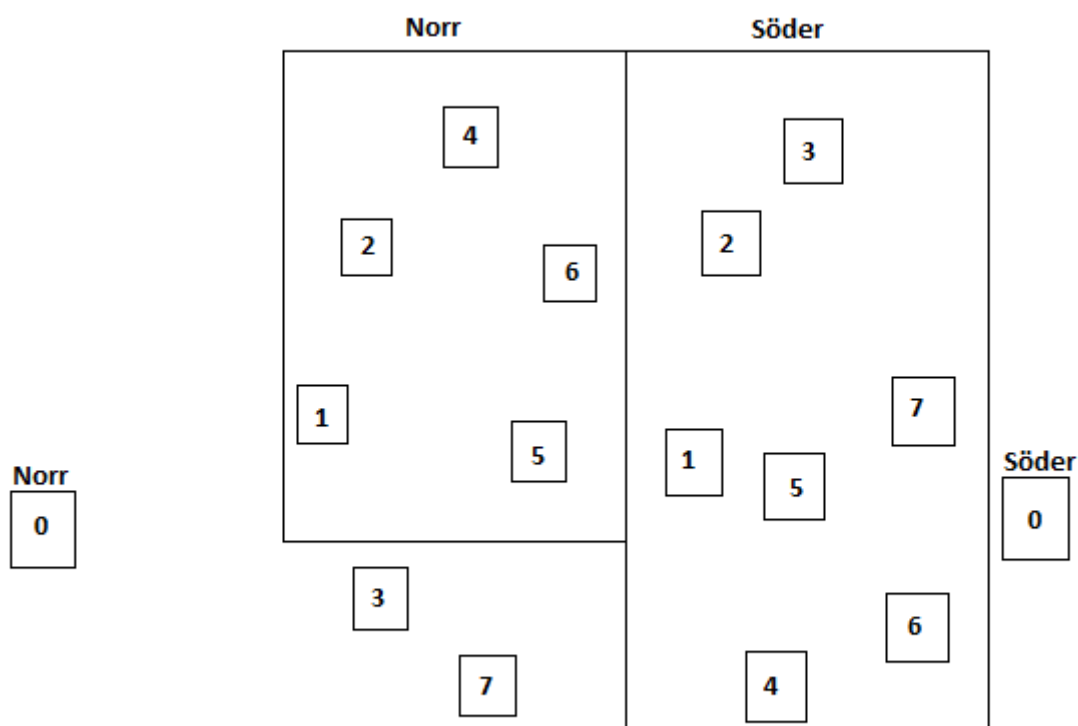
Figur 10 slangarna och lakvattendiket sett från sidan. Foto: Tove Juhl Andersen

Totalt installerades 14 lysimetrar fördelade över två delområden, norr och söder. Placeringen av lysimetrarna skedde slumpmässigt. Då materialet inte räckte till, ligger lysimeter Norr 3 och Norr 7 utanför sluttäckningen. Båda dessa är, precis som de täckta lysimetrarna, nergrävda, fyllda med makadam och täckta med geotextil. De har dock ingen annan täckning utöver detta. Utanför den norra respektive den södra delen ligger det lysimetrar som inte är täckta. De gjordes för att få volymer från lysimetrar som inte är övertäckta och därför ger volymer som är intressant att jämföra med. Dessa lysimetrar kallas Norr 0 och Söder 0. Även de är nergrävda, fyllda med makadam och övertäckta med geotextil, se Figur 11 nedan.



Figur 11 Lysimeter Norr 0 placerad utanför pilotsluttäckningen. Foto: Tove Juhl Andersen

I Figur 12 nedan visas en ritning över pilotsluttäckningen. Kvadraterna med siffror i är lysimetrarna. Ritningen är inte skalenlig.



Figur 12 Ritning över pilotsluttäckningen med placering av lysimetrar på norra och södra sidan, samt lysimetrar som ligger utanför täckningen

Tabell 5 nedan visar vilket avstånd lysimetrarna ligger från den övre kanten av pilotsluttäckningen. Värdena i tabellen är ungefärliga, då de mättes förhand med ett måttband på rulle.

Tabell 5 Lysimetrarnas ungefärliga avstånd från den övre kanten av pilotsluttäckningen

Lysimeter	Avstånd från övre kant (m)
L Norr 1	39
L Norr 2	34
L Norr 3	47
L Norr 4	28
L Norr 5	42
L Norr 6	33
L Norr 7	52
L Söder 1	46
L Söder 2	36
L Söder 3	24
L Söder 4	50
L Söder 5	43
L Söder 6	47
L Söder 7	31

I mitten av juli år 2015 gjorde Sweco gasmätningar från lysimetrarna i pilotsluttäckningen, där bland annat syre- och metanhalt mättes. Resultatet av dessa presenteras i Tabell 6 nedan.

Tabell 6 Andel metan och syre från lysimetrarna från den norra och södra provytan

Lysimeter	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)
L Norr 1	10,9	0,2
L Norr 2	0,4	0,3
L Norr 3	0	19,2
L Norr 4	6,8	0,6
L Norr 5	22	0,5
L Norr 6	1,1	0,7
L Norr 7	0	11,5
L Söder 1	0,4	10,7
L Söder 2	0,1	6,5
L Söder 3	0	17,5
L Söder 4	0,5	0,6
L Söder 5	0	12,9
L Söder 6	0	17,7
L Söder 7	0	7,5

### 3.3.2 Mätning av lakvatten

För att bedöma tätskiktsmaterialets täthet har volymmätningar av lakvatten gjorts vid fem tillfällen under två månader, från slutet av maj till slutet av juli 2015. Detta gjordes med hjälp av en 1-liters mätcylinder med en milliliterskala, genom att tömma vattnet från lysimetrarna. Slangarna som är kopplade till lysimetrarna stängdes den 12 maj 2015. Alla mätningar gjordes systematiskt i den ordning som lysimetrarna är numrerade och påbörjades på den norra provytan. D.v.s. den första mätningen gjordes på L Norr 1, andra på L Norr 2 o.s.v. upp till L Norr 7. Sedan upprepades samma mönster på södra provytan från L Söder 1 till L Söder 7.

Vid två tillfällen under samma period som volymmätningarna gjordes, mättes även temperatur, pH och elektrisk konduktivitet på lakvattnet. Detta gjordes med hjälp av en multimeter som användes direkt efter att vattnet tappats. Vattnet samlades först i en 1-liters kanna. Multimetern hölls under konstant omrörning i vattnet i 5-10 minuter. När värdena för pH, konduktivitet och temperatur hade stabiliserats lästes dessa av. Vattnet samlades sedan in i två bägare, vilka under mätningsdagen och natten efter, låg i kylväskor med kylklampar. Bägarnas respektive volym var 164 ml. Dagen efter mätningarna skickades de till ett laboratorium för analys av innehållet av ammoniumkväve, fosfatfosfor och DOC. (se **Bilaga 2 – Koncentrationer i lakvattnet** för samtliga analysvar).

#### Mättillfällen

Första mätningen på lakvattnet gjordes den 20 maj 2015. Vädret var soligt med lätt vind och temperaturen var runt 15°C. Mätinstrumentet som användes på plats var en handburen multimeter (smarTROLL). I fem av de tolv lysimetrar som ligger under pilotsluttäckningen, fanns det inte tillräckligt med vatten för att varken mätningar på plats, eller för att senare

analys skulle kunna genomföras. I några av slangarna kom vattnet med ett väldigt tryck. Detta medförde att mer än hälften av vattnet i lysimeter L Norr 4 gick till spillo. Vattnet var allt från ljusgult till mörkbrunt och hade en skarp lukt av svavel.

Andra mätningen på lakvattnet gjordes den 23 juni 2015. Vädret var molnigt och temperaturen var omkring 15 °C. I slutet av mätningstillfället började det regna. Först togs proverna för norra delen av pilotsluttäckningen och sedan togs prover för södra delen. Mätinstrumentet som användes på plats var en handburen multimeter (Aquameter). I två av de tolv lysimetrarna som ligger under sluttäckningen, fanns det inte tillräckligt med vatten för att varken göra mätningar på plats eller för att senare analys skulle kunna genomföras. Vattnet var i många lysimetrar mörkbrunt och luktade skarpt av svavel. Även denna gång kom en del av vattnet ut med ett väldigt tryck.

Totalt mättes volymen på lakvattnet fem gånger. I Tabell 7 nedan visas vilka dagar som mätningarna ägde rum och hur många dagar det hade gått sedan förra tömningen av lysimetrarna. Observera att första datumet som presenteras i tabellen är då ventilererna på slangarna som kopplade till lysimetrarna stängdes.

Tabell 7 Datum för mätningar av lakvattenvolymen från pilotsluttäckningen, samt antalet dagar som gått sedan förra gången lysimetrarna tömdes

Datum	12 maj	20 maj	5 juni	23 juni	1 juli	13 juli
Dagar sedan förra tömningen	0	8	16	18	8	13

### 3.4 Marknadsundersökning

#### 3.4.1 Bakgrund

Tillgången på material är en faktor som är väldigt avgörande för vilken typ av material som används vid en sluttäckning. Då pappersbruket i Lessebo har varit ur drift under vinterhalvåret 2014-2015, är mängden fiberslam begränsad. Från början var tanken att pilotsluttäckningen skulle vara i storleksordningen 3000 m<sup>2</sup>, men på grund av bristen på fiberslam blev ytan endast ca 1000 m<sup>2</sup>. Om mätningarna som görs visar att materialsammansättningen uppfyller de krav som finns, är tanken att hela deponin ska sluttäckas som det är gjort under pilotsluttäckningen. Då måste det dock först undersökas, om den mängd fiberslam och flygaska som behövs finns tillgängligt.

#### 3.4.2 Behov av material

Mängden fiberslam som behövs till tätskiktet, för sluttäckning av hela deponin, beräknas enligt Sweco att vara ungefär 60 000 ton, vilket sedan kommer att packas så att tätskiktet blir ca en meter tjockt. Densiteten på fiberslammet är ungefär 1 ton/m<sup>3</sup>. Mängden flygaska som behövs till tätskiktet, beräknas enligt Sweco att vara ca 40 000 ton. Vikten på flygaska varierar mycket, men enligt en rapport utgiven av Avfall Sverige Utveckling (2013) är volymvikten på materialet 500-800 kg/m<sup>3</sup>. För att vara säker på att askan håller rätt kvalitet är det endast flygaska från förbränning av biobränsle som får användas enligt förfrågningsunderlaget.

#### 3.4.3 Metod

För att kartlägga mängden tillgänglig fiberslam och flygaska, påbörjades arbetet med att hitta förbränningsanläggningar och massabruk. Genom att kontakta länsstyrelserna i Kronobergs



län och avgränsande län till Kronoberg, erhöles information om de anläggningar som har länsstyrelsen som tillsynsmyndighet. För att även hitta de anläggningar som har kommunen som tillsynsmyndighet, kartlades kommunerna i de avgränsande länen. Då det inte fanns tid att kontakta alla kommunerna, avgränsades undersökningen till de kommuner som ligger på rimligt avstånd från Lessebo kommun. I detta fall bestämdes det, efter samtal med entreprenören, att 15 mil från Lessebo kommun kan anses vara ett rimligt avstånd.

Efterhand som svaren från kommunerna kom in, visade det sig att det finns en hel del förbränningsanläggningar där potentiell flygaska skulle kunna finnas, men inte så många massabruk. På grund av tidsbrist kontaktades därför endast de tio förbränningsanläggningar som ligger närmast Lessebo kommun. Av de kommuner som ligger på avståndet 15 mil eller närmare Lessebo kommun, fanns det totalt endast fyra pappers- eller massabruk.

De förbränningsanläggningar som kontaktades fick följande frågor:

1. Har ni flygaska från er förbränning av biobränsle?
2. Hur mycket flygaska har ni? Om ni har flygaska, vart tar den vägen idag?
3. Använder ni rosterpanna eller bubblande/fluidiserad bäddpanna?
4. Hur mycket är ni beredda att betala för att bli av med flygaskan?

Fråga 3 ställdes då rosterpanna ger väldigt lite flygaska medan en bubblande/ fluidiserad bäddpanna ger mer flygaska.

De pappers- och massabruk som kontaktades fick följande frågor:

1. Hur mycket fiberslam har ni idag? Hur mycket förväntar ni att ni kommer att ha framöver?
2. Vad gör ni med fiberslammet idag? (T.ex. lägger ni det på deponi? Förvarar ni det vid bruket? Är det någon annan som använder fiberslammet och i så fall hur länge förväntas de göra det?)
3. Hur mycket lera innehåller fiberslammet?
4. Hur ser den senaste analysen på torrsubstanshalten på slammet ut?
5. Hur mycket är ni beredda att betala för att bli av med fiberslammet och vad ingår i så fall i dessa kostnader?

Fråga 3 ställdes då för lite lera kan bidra till att tätheten i materialet försämras.

## 4. Resultat

### 4.1 Litteraturstudie - Miljöaspekter

#### 4.1.1 Tekniska faktorer

##### **Täthet**

Nästan alla material som studerats har visat sig kunna ge en god täthet och hålla permeabilitet som krävs, för att det ska kunna användas som tätskiktsmaterial. Sammanpressad lera var det enda material som påvisades kunna få en för hög permeabilitet efter en tid. Om den sammanpressade leran blandades med geomembran erhöles ett bättre resultat, men infiltrationen ökade ändå med tiden. Vid användning av slagg från stålindustrin bör kompaktering ske så fort som möjligt efter att vatten har adderats för att inte få för hög permeabilitet.

Moränlera hade en väldigt låg infiltration redan från början, medan fiberslammet uppnådde goda resultat med avseende på infiltrationen först efter en månad p.g.a. det initiala pressvattnet. I material som innehåller slam, bör en hög andel icke-organiskt material blandas in för att undvika att tätheten minskar.

Askor kan, under vissa omständigheter, förbättra tätheten i tätskiktet med tiden tack vare omvandling till lermineral. FSA förväntas också bli tätare med tiden, vilket dess hållfasthet också förväntas bli efter installationen. Dock kan det finnas en risk för rotpenetration vid användning av FSA eftersom skiktet är vattenhållande.

##### **Långtidsbeständighet och hållfasthet**

De flesta tätskiktsmaterial som används idag anses ha en beständighet på flera hundra år. Exempelvis kan geosynteter av HDPE, som är väl stabiliserade, ha en livslängd på flera hundra år. Denna beständighet kan dock försämrats vid temperaturer som ligger över 20°C. Även fiberslam har en god beständighet över tiden, tack vare att cellulosan inte bryts ner avsevärt. Om det däremot talas om mer än flera hundra år, ifrågasätts hur beständiga exempelvis plastmembran och gummi är. Även bentonit och leror med liknande egenskaper som bentonit, ifrågasätts ibland med avseende på långtidsbeständighet, då de kan vara styva vilket gör att de lätt bryts ner om sättningar uppstår.

Slagg från stålindustrin anses ha en hållfasthet som motsvarar betong med hög hållfasthet. Bentonit väljs ofta som tätskiktsmaterial, då det anses vara ett tätt material med god stabilitet under lång tid. Hållfastheten i lera beror på ingående kornfraktioner och vatteninnehållet. För att en god hållfasthet ska uppnås vid användning av lera måste det kompakteras väl och blandas till en homogen massa. För tätskikt innehållandes aska eller moränlera, bör fler undersökningar göras och under en längre tid för att säkerställa tätheten och beständigheten under en längre tidsperiod.

##### **Yttre påverkan**

Vid användning av FSA eller annan blandning av avloppsslam och aska i tätskiktet, är det viktigt att ha en hög packningsgrad för att motverka nedbrytning och sprickbildning. Det är även viktigt att det ovanliggande skyddsskiktet utformas så att så lite syre som möjligt kommer i kontakt med tätskiktet för att minska risken för nedbrytning. Vid användning av geosynteter i tätskiktet finns det en risk för oxidation om materialet kommer i kontakt med syre. Det är alltså även då viktigt att så lite syre som möjligt kommer i kontakt med tätskiktet.

Alla material påverkas på något sätt av väder och klimat. Bentonit och blandningar av bentonit och andra material påverkas av varierande tillgång på vatten, då detta behövs för att det ska svälla ordentligt och jämnt. Frysning och tining av materialet kan också påverka tätheten av detta material. Mesa kan påverkas negativt av sur nederbörd. Sammanpressad lera påverkas negativt av för torrt väder, då detta kan orsaka sprickbildning och därmed även rotpenetration som förstör tätskiktet. Vattenkvoten i gjuterisand bör ligga mellan 8-12 %, vilket kan försämrats vid torrt väder.

### **Utlakning**

Inledningsvis efter installationen kan utlakningen av näringsämnen vara betydande när tätskiktet utgörs av FSA. Läckage av näringsämnen bedöms dock inte utgöra ett problem då det sker under begränsad tid. Undantaget för detta är kväve, vars utlakning inte alltid kan försummas. Detta verkar vara ett problem som endast uppstår med material bestående av slam. För material innehållande slam, är risken för dålig lukt stor p.g.a. ammoniakbildning i samband med att material blandas med exempelvis aska. Även vid lagring av avloppsslam finns det risk för att lukt uppstår. Detta problem uppstår inte med andra material.

#### **4.1.2 Anläggningstekniska faktorer**

Bentonitmattor och geosynteter är lätta att hantera och snabba att installera. Detta gäller även mesa och fiberlera, så länge TS-halten i materialen ligger på en bra nivå. Dock kan arbetet med de två sistnämnda materialen försvåras något vid regn, speciellt för fiberlera.

Packning av gjuterisand kan vara svårt beroende på underliggande material. Även avloppsslam kan ge praktiska problem som gör att det är svårt att packa och därmed svårt att få tillräckligt tätt. Det finns dock metoder för att undvika problemen med avloppsslammet. Vid användning av slam är släntlutningen betydande för tätheten på tätskiktet, då en för brant lutning kan göra så att packningsarbetet försvåras. Vid användning av lera i tätskiktet är det viktigt att vattenhalten i materialet inte bli för hög då det kan bli svårt för maskiner att köra på materialet. Detsamma gäller för exempelvis slam.

FSA komprimeras med ca 30 % när ovanliggande material har installerats. Vid dålig blandning, hög vattenhalt eller om askan har härdats, kan kompressionen orsaka sättningar och sämre hållfasthet. Det är även viktigt att TS-halten kvalitetsäkras innan materialet används. För material som innehåller en hög andel organiskt material, som exempelvis avloppsslam, är en hög mäktighet av ovanliggande material viktigt så att eventuella håligheter, till följd av nedbrytning, trycks ut med hjälp av överlast. Detta gäller exempelvis för FSA.

En högre skjuvhållfasthet kan uppnås i tätskikt bestående av FSA, om flygaskan som används är torr istället för fuktig. Vid användandet av aska finns det dock en risk för att damning kan uppstå. Det finns emellertid metoder för att undvika att damningen blir störande för närliggande grannar eller för de som utför anläggningsarbetet.

Avfallsmaterial anses ofta ge en kortare transportsträcka, då det ofta finns tillgängligt nära deponin. Ur ett miljöperspektiv är det dessutom bra att återvinna material som exempelvis slam istället för att utvinna naturresurser som lera.

## 4.2 Litteraturstudie - Ekonomiska aspekter

I Tabell 8 nedan visas en sammanställning av kostnaden för olika tätskiktmaterial presenterat i enheten SEK/m<sup>2</sup>. Tabellen är sammanställd från avsnitt 2.10.2, *Tidigare studier och erfarenheter – ekonomiska aspekter*.

För de material som har uppkommit som en restprodukt i industrin, skulle det i teorin kunna stå en negativ siffra i kalkylen för den totala kostnaden i Tabell 8, helt beroende på avtalen som görs mellan deponiägaren och materialägaren. Kostnaderna baseras även på olika transportsträckor och skulle alltså se helt olika ut för olika deponier beroende på lokalisering i förhållande till var materialet finns.

Tabell 8 Sammanställning av kostnaden för olika tätskiktmaterial

Material	Total kostnad (SEK/m <sup>2</sup> )
Gjuterisand med 3 % bentonit	230
Stenmjöl med 6 % bentonit	300
FSA	65
Bentonitmatta	75
Bentonitmatta (Gotland och Markaryd)	40

## 4.3 Fallstudien Lessebo

I detta kapitel presenteras resultaten från de mätningar och analyser som gjordes av lakvattnet på Lessebo deponi. För att tydliggöra innebörden av diagrammen, efterföljs varje diagram av en analys som senare diskuteras i diskussionen, kapitel 5.

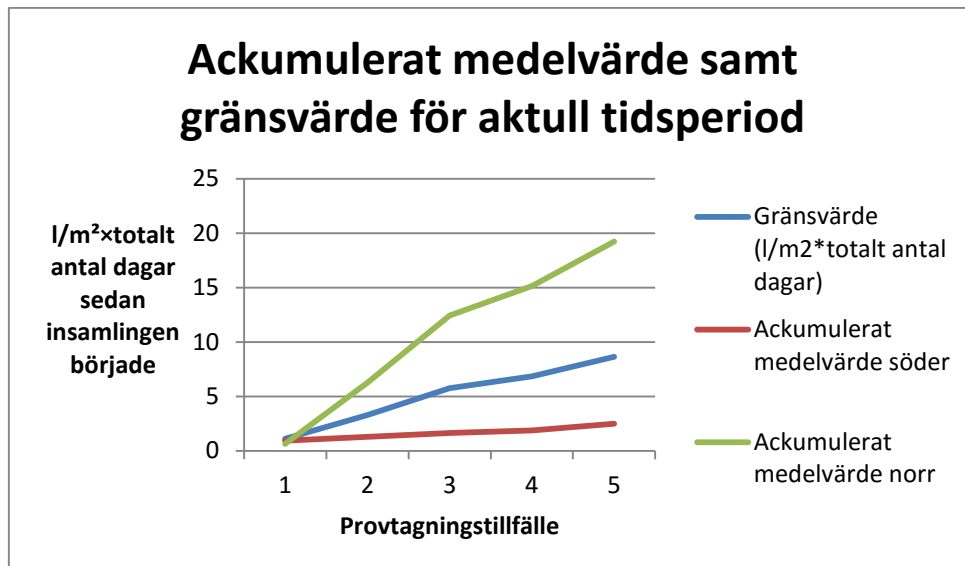
Insamlad data samt nederbörds mängder per dygn i Lessebo under perioden 28 april till 13 juli, redovisas i Bilaga 1 – Bilaga 3.

### 4.3.1 Lakvatten

För att på ett tydligt sätt visa hur mycket lakvatten som tappades från den norra delen och den södra delen, jämfört med kravet i Deponiförordningen (2001:512), gjordes ett diagram som visar de ackumulerade mängderna lakvatten. Därför räknades även gränsvärdet om till motsvarigheten för antalet dagar som tidsperioden mellan mätningarna täcker. Detta gjordes genom att beräkna hur många liter/m<sup>2</sup> som får släppas ut per dag och sedan multiplicera den siffran med det totala antalet dagar som har gått sedan ventilerna stängdes den 12 maj. Se ekvation 1 nedan.

$$\frac{50 \text{ liter}}{\text{m}^2 \times \text{år}} \times \frac{1 \text{ år}}{365 \text{ dagar}} \times \text{totalt antal dagar sedan ventilen stängdes 12 maj} \quad \text{ekv 1}$$

Resultatet presenteras i Figur 13 nedan. Samtliga uppmätta volymhalter presenteras i Bilaga 1. Då värdena är ackumulerade, kommer gränsvärdet att stiga tills det når värdet 50 l/m<sup>2</sup> efter ett år.

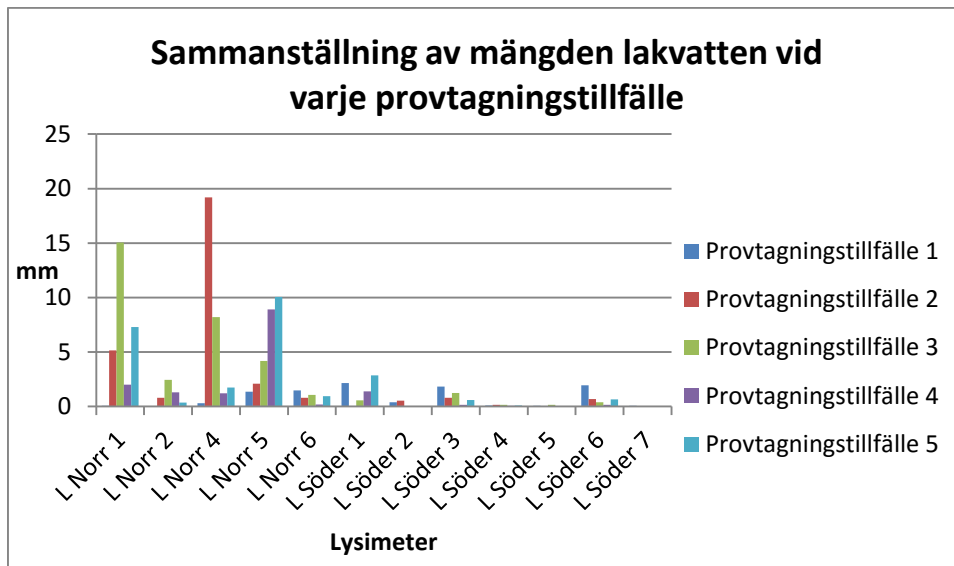


Figur 13 Ackumulerat medelvärde av lakvattenvolymer från norra och södra provytan, samt Deponiförordningens gränsvärde

Figur 13 ovan visar att mängden lakvatten från den norra delen ligger över Deponiförordningens gränsvärde (2001:512). Den södra delen ligger under gränsvärdet. För att säkerställa att det verkligen finns en statistisk skillnad mellan den norra och den södra delen, gjordes ett t-test i Excel. I t-testet antogs det att volymerna är normalfördelade, vilket inte var så tydligt att se då de uppmätta volymmängderna plottades i ett diagram. Däremot visade de logaritmiska värdena en normalfördelning och därför gjordes ett t-test på dessa istället. Testet gav ett p-värde på 0,01 och visar alltså att det finns en statistisk skillnad mellan volymerna från den norra provytan och den södra provytan.

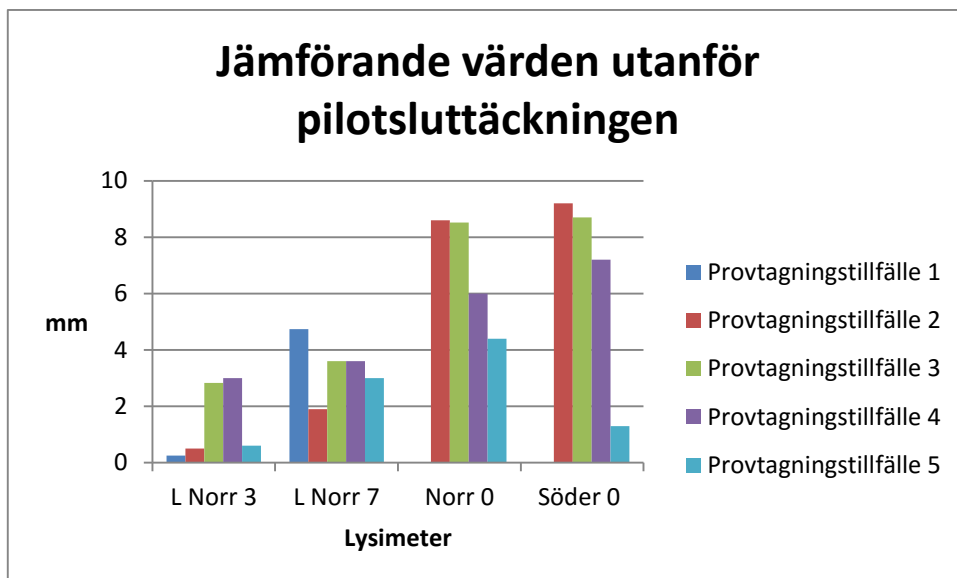
På södra ytan var det fler provtagningar som gav volymen noll jämfört med den norra ytan. Då det inte går att utesluta att detta kan bero på att en eller flera lysimetrar inte fungerar som de ska, exempelvis p.g.a. att en slang har lossnat, gjordes även ett t-test där alla provtagningsvärden som visade noll togs bort. Testet gav ett p-värde på  $9,2 \times 10^{-6}$  på de logaritmiska värdena och visade alltså att det ändå finns en statistisk skillnad mellan den södra och norra provytan med avseende på mängden lakvatten.

I Figur 14 nedan presenteras samtliga uppmätta volymer vid de olika lysimetrarna. Staplarna motsvarar de fem olika provtagningsstillfällena då volymen av lakvattnet mättes. Observera att y-axeln nu har enheten mm istället för  $l/m^2$ . De två enheterna motsvarar samma värden, men mm har valts då det blir lättare att jämföra mängden lakvatten med mängden nederbörd som i Figur 16 och Figur 17.



Figur 14 Sammanställning av alla volymmätningar av lakvattnet i lysimetrarna

Lysimeter L Norr 3 och L Norr 7 presenteras inte i sammanställningen i Figur 14 ovan, då de ligger utanför pilotsluttäckningen och därför inte är täckta. Mätningarna av volymerna som samlades i de utanför liggande lysimetrarna gjordes ändå, då detta ansågs kunna ge ett jämförande värde. Mätningar gjordes även i Norr 0 och i Söder 0. Värdena från Norr 0, L Norr 3, L Norr 7 och Söder 0, presenteras i Figur 15 nedan. Vid provtagningstillfälle 1 gjordes ingen mätning på Norr 0 och Söder 0.



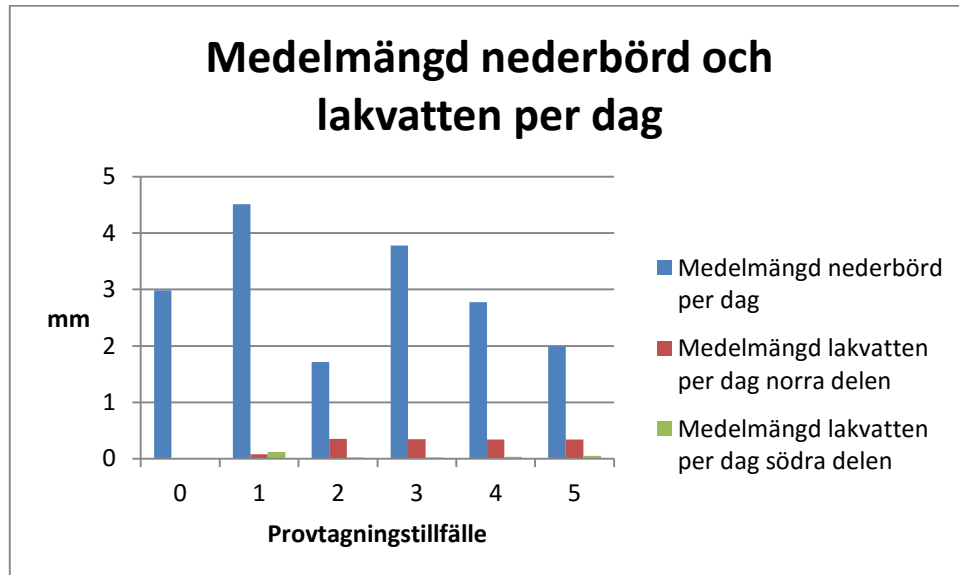
Figur 15 Mängd lakvatten från lysimetrarna som ligger utanför pilotsluttäckningen

L Norr 3 och L Norr 7 ligger otäckta precis nedanför pilotsluttäckningen på den norra ytan. Anledningen till att Norr 0 och Söder 0 har en större mängd vatten än L Norr 3 och L Norr 7, skulle kunna vara att de två förstnämnda ligger fritt på slänten och att mer dagvatten därför kan tränga ner till dem. De två sistnämnda däremot ligger nedanför pilotsluttäckningen (Figur 12).

#### Lakvatten vs. Nederbörd

För att undersöka att det inte har varit helt torrt under perioden som mätningarna har gjorts, togs data fram för mängden nederbörd som varit under perioden. Data för nederbördsmängd

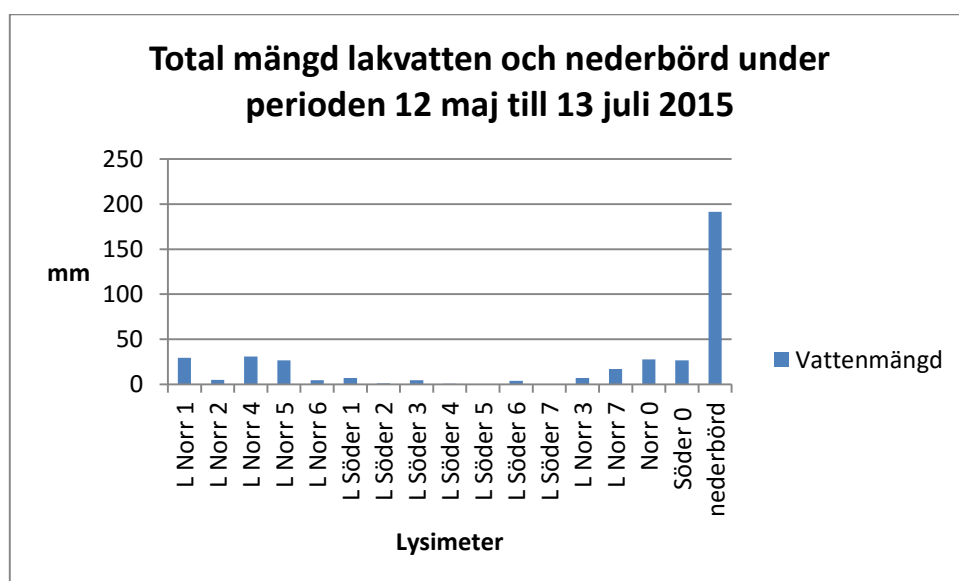
per dygn under perioden 28 april till 12 juli hämtades på SMHIs hemsida för en mätstation som ligger sydost om Lessebo på positionen 56.74 ; 15.35 (Latitud : Longitud) (SMHI 2015). I Figur 16 nedan presenteras den genomsnittliga nederbörds mängden per dag och den genomsnittliga mängden lakvatten per dag från alla lysimetrar som ligger under pilotsluttäckningen.



Figur 16 Medelmängd lakvatten och nederbörd vid varje provtagningsstillfälle

Diagrammet i Figur 16 ovan visar att det har kommit en del nederbörd under mätperioden. Provtagningsstillfälle 0 visar endast den genomsnittliga nederbörden per dag två veckor innan provtagningarna påbörjas, 28 april till 11 maj. Diagrammet visar även att sluttäckningarna både på norra och på södra delen håller undan en stor del av nederbörden. Något samband, varken direkt eller förskjutet, mellan mängden nederbörd och mängden lakvatten från de två delarna syns inte.

I Figur 17 nedan, redovisas den totala mängden lakvatten och nederbörd som har uppmätts under provtagningsperioden, d.v.s. 12 maj till 13 juli år 2015.



Figur 17 Total mängd lakvatten och nederbörd från 12 maj till 13 juli 2015

Figur 17 visar den totala mängden uppmätt lakvatten och den totala mängden nederbörd under perioden 12 maj till 13 juli. Då Norr 0 och Söder 0 ligger helt utanför pilotäckningen (se Figur 12), borde mängden vatten från dem rimligtvis vara lika stor som nederbörden. Enligt Figur 17 är mängden vatten där endast ca 30 mm, medan nederbörden är ca 160 mm. Både Norr 0 och Söder 0 är fyllda med makadam och övertäckta med geotextil. Slangarna till Norr 0 och Söder 0 är inte mer än några meter långa. När mycket regn har kommit på en gång, har antagligen geotextilen orsakat en hel del avrinning. Då slangarna inte är så långa till Norr 0 och Söder 0, har det mesta av vattnet legat i lysimetern mellan mätningarna. Med andra ord har även en del avdunstning från lysimetern antagligen skett.

Det finns även en risk att anledningen till att mängderna vatten var små i lysimetrarna som ligger utanför sluttäckningen, är att kopplingen mellan slangar och lysimetrar läcker. Om detta är fallet, så är risken stor att problemet är samma i de lysimetrar som ligger under sluttäckningen och att värdena i Figur 17 i så fall är en underskattning av den egentliga mängden lakvatten.

Under två månader har det kommit nästan 200 mm regn. Lysimetrarna har en volym på mellan 150 l/m<sup>2</sup> och 200 l/m<sup>2</sup>. De är fyllda med makadam och ligger dessutom på ett underlag med lutningen 1:3. Om makadammet antas ha en porositet på 50 %, kan lysimetern fyllas med drygt 15 liter innan den svämmar över. Då de uppmätta mängderna i några av lysimetrarna vid tillfällena har varit över 15 liter, finns det anledning att anta att de värdena är en underskattning av realiteten.

### Koncentrationer och pH

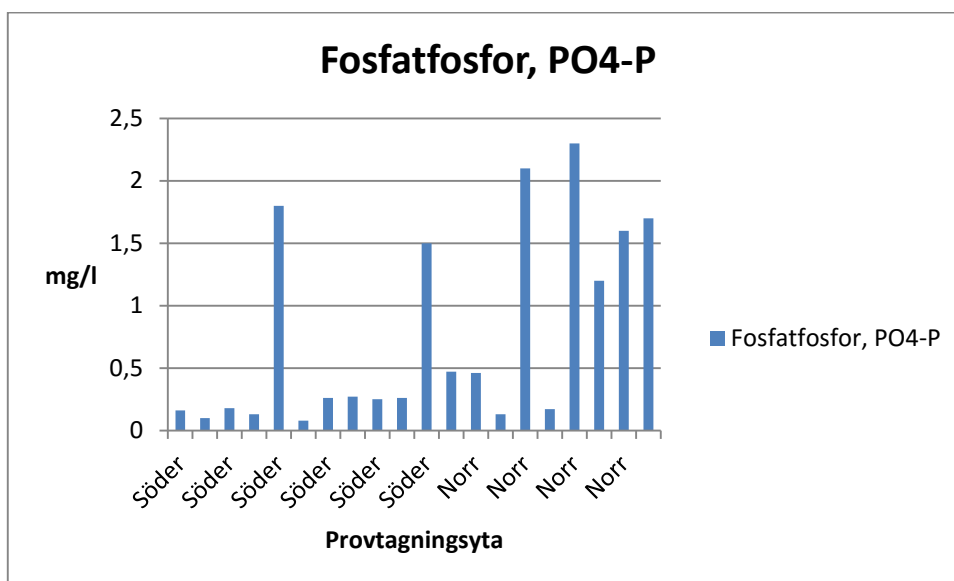
I Tabell 9 nedan presenteras medelvärde och standardavvikelse för de koncentrationer som uppmättes i lakvattnet på den norra och den södra provytan. Även resultaten av t-testen, både för de uppmätta värdena och för de logaritmiska värdena, presenteras i tabellen. En komplett tabell med samtliga uppmätta värden finns i Bilaga 2.

Tabell 9 Medelvärde, standardavvikelse och t-test för koncentrationerna av fosfatfosfor, ammoniumkväve, DOC, elektrisk konduktivitet och pH, från den norra och den södra provytan

Konc.	Enhet	Södra			Norra			T-test	T-test log
		Antal mätn.	Medelv ärde	Stdav	Antal mätn.	Medelv ärde	Stdav		
PO4-P	mg/l	12	0,46	0,55	8	1,21	0,80	0,030	0,037
NH4-N	mg/l	12	30,40	38,31	8	290	146,79	3×10 <sup>-5</sup>	0,001
DOC	mg/l	11	1549	848	6	3738	1929	0,008	0,033
Elek. kond.	mS/m	9	1278,6	955,7	8	13754	30002	0,259	0,471
pH		9	7,65	0,44	8	8,98	1,44	0,026	

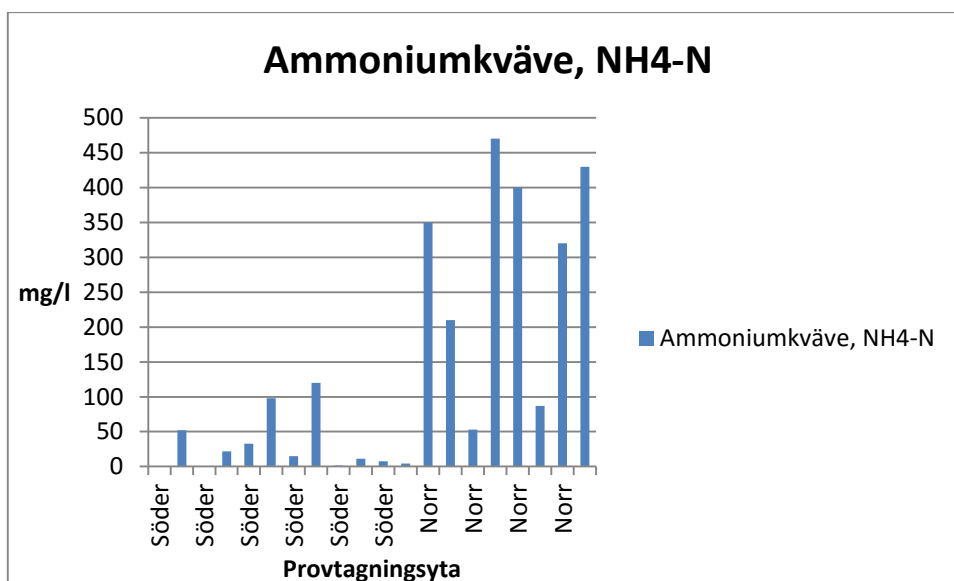
Enligt Tabell 9 ovan så finns det en statistisk skillnad mellan den norra och den södra provytan för samtliga koncentrationer, med undantag för elektrisk konduktivitet. I Figur 18 till Figur 20 nedan visas diagram över uppmätta koncentrationer vid de två provtagningsstillfällena. Provtagningsytorna är endast uppdelade i söder och norr, för att tydligare visa skillnaden på de två provtagningsytorna.





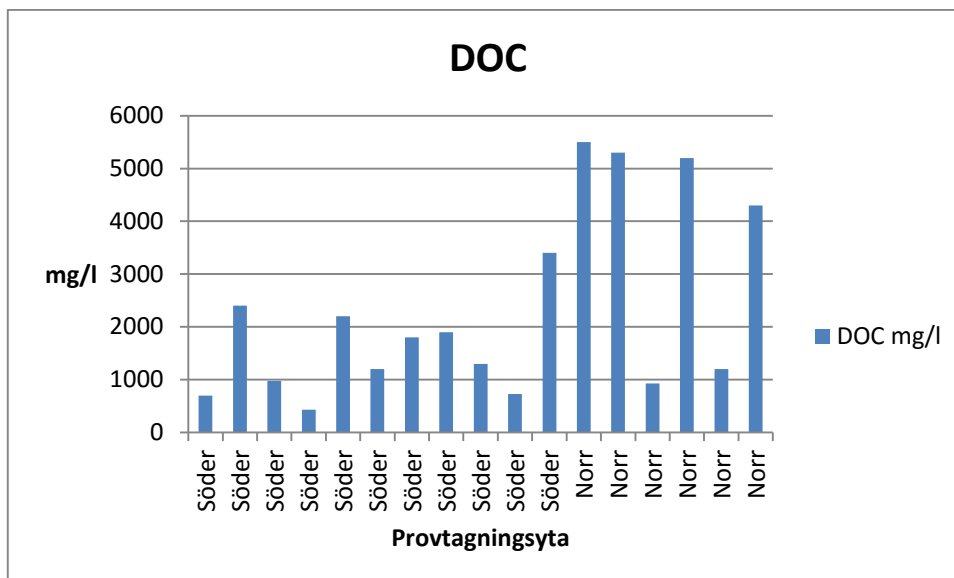
Figur 18 Uppmätt koncentration fosfatfosfor i lakvattnet från norra och södra provytan

Staplarna i Figur 18 ovan visar koncentrationen av fosfatfosfor som fanns i vattnet från varje lysimeter på södra provytan och på norra provytan från de två provtagningstillfällena. I vissa fall, fanns det för lite vatten för att kunna ta några prover och skicka till analys på labb.



Figur 19 Uppmätt koncentration ammoniumkväve i lakvattnet från norra och södra provytan

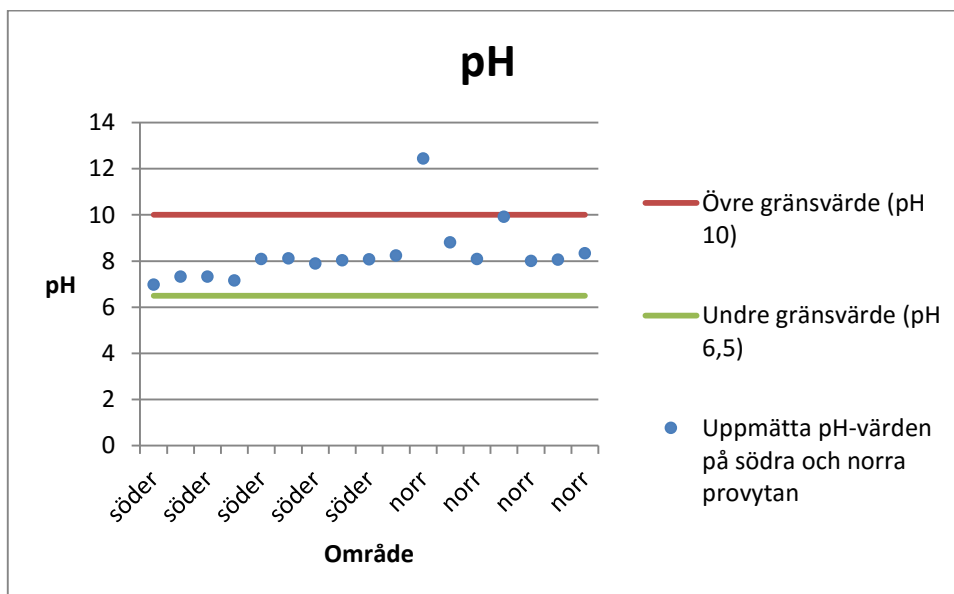
Staplarna i Figur 19 ovan visar koncentrationen av ammoniumkväve som fanns i vattnet från varje lysimeter på södra provytan och på norra provytan från de två provtagningstillfällena. I vissa fall, fanns det för lite vatten för att kunna ta några prover och skicka till analys på labb.



Figur 20 Uppmätt koncentration DOC i lakvattnet från norra och södra provytan

Staplarna i Figur 20 ovan visar koncentrationen av DOC som fanns i vattnet från varje lysimeter på södra provytan och på norra provytan från de två provtagningstillfällena. I vissa fall, fanns det för lite vatten för att kunna ta några prover och skicka till analys på labb.

I Figur 21 nedan visas de uppmätta pH-värdena på södra och norra provytan. Den röda linjen visar den övre gränsen för vad pH-värdet i lakvattnet får vara och den gröna linjen visar det undre gränsvärdet för vad pH-värdet i lakvattnet får vara.



Figur 21 Uppmätt pH-värde i lakvattnet från norra och södra provytan

Som diagrammet ovan visar ligger pH-värdet, med undantaget för en punkt, innanför det intervall som det ska ligga. De två punkter som sticker ut och ligger högre i förhållande till de andra punkterna, är båda uppmätta i lysimetern L Norr 5. Ett t-test visar att den statistiska skillnaden mellan den norra och den södra provytan kvarstår, även när de två högsta mätpunkterna inte räknas med.

### 4.3.2 Marknadsundersökning

I Tabell 10 och Tabell 11 nedan redovisas resultat från de frågor som ställdes till förbränningsanläggningarna och massabruken. Innan varje tabell visas frågorna ytterligare en gång för att underlätta för läsaren.

#### Förbränningsanläggningar

##### Frågor

1. Har ni flygaska från er förbränning av biobränsle?
2. Hur mycket flygaska har ni? Om ni har flygaska, vart tar den vägen idag?
3. Använder ni rostpanna eller bubblande/ fluidiserad bäddpanna?
4. Hur mycket är ni beredda att betala för att bli av med flygaskan?

Tabell 10 Svar från förbränningsanläggningar

Anläggning	Fråga 1	Fråga 2	Fråga 3	Fråga 4
1	Ja	Ca 50 m <sup>3</sup> . All aska blandas. Vet ej vart den tar vägen.	Rostpanna	X
2	Ja	Förra året drygt 2500 ton. Askans sprids i skogen.	Alla sorter	Affärsfråga. Idag har de avtal med ett annat företag.
3	Ja	Ca 50 ton från rent bioeldade pannor. Deponeras på lokal avfallsanläggning.	Rostpanna	Så lite som möjligt.
4	Ja	Förra året knappt 1500 ton. Olika användning bl.a. spridning i skog samt konstruktionsmaterial på deponi, främst avjämningskikt.	Fluidiserad bäddpanna	300 kr/ton vilket de tycker är för dyrt.
5	Ja	350ton/år. Den läggs på deponi.	Rostpanna	200kr-300kr/ton
6	Ja	150ton/år. Blandas med all annan aska och läggs i en container.	Rostpanna	550kr/ton
7	Ja	220ton/år	Rostpanna	300kr/ton
8	Nej	-	-	-
9	Nej	-	-	-
10	X*	X	X	X

\*Ett X innebär att anläggningen ifråga inte ville svara på frågorna.

#### Massabruk

##### Frågor

1. Hur mycket fiberslam har ni idag? Hur mycket förväntar ni att ni kommer att ha framöver?
2. Vad gör ni med fiberslammet idag? (T.ex. lägger ni det på deponi? Förvarar ni det vid bruket? Är det någon annan som använder fiberslammet och i så fall hur länge förväntas de göra det?)

3. Hur mycket lera innehåller fiberslammet?
4. Hur ser den senaste analysen på torrsubstanshalten på slammet ut?
5. Hur mycket är ni beredda att betala för att bli av med fiberslammet och vad ingår i så fall i dessa kostnader?

Tabell 11 Svar från massabruk

Anläggning	Fråga 1	Fråga 2	Fråga 3	Fråga 4	Fråga 5
1	<i>De köper själva in fiberslam då de har för lite p.g.a. problem i processen.</i>	<i>Det lilla som de har och köper in blandar de in i bioslammet för att stabilisera det</i>	-	-	-
2	<i>De har redan avtal med en annan kommun där slammet används som täckmaterial på en deponi.</i>	-	-	-	-
3	<i>Knappt 4000 ton/år som de använder själva.</i>	<i>Eldar fiberslammet och lägger askan på deponi.</i>	<i>Fiberslammet innehåller ingen lera, men den innehåller mesa.</i>	<i>Vanligen runt 21 %</i>	<i>Osäkert. Men eventuellt att användaren får betala för transporter och sedan får materialet gratis.</i>
4	<i>6000 ton/år förra året, men osäkert hur produktionen ser ut de kommande åren.</i>	<i>Idag används fiberslammet som sluttäckningsmaterial på deponi.</i>	<i>Innehållet av lera i fiberslammet varierar.</i>	-	<i>Mellan 0-200kr/ton inklusive transporter</i>

## 5. Diskussion

### 5.1 Litteraturstudien – miljömässiga aspekter

Tätskiktmaterial är en mycket aktuell fråga då många deponier sluttäcks i dagsläget och efterfrågan på användbart material ökar. Därför finns det en del studier inom ämnet, oftast i form av utvärderingar av sluttäckningar som är gjorda med specifika material på en specifik deponi. Många av studierna fokuserar på hur materialet har lagts ut och hur det var att arbeta med det. Stort fokus ligger även på om materialet lyckas hålla den täthet som Deponiförordningen (2001:512) kräver. Anläggningsarbetet och tätheten på materialet är två viktiga frågor som är mycket avgörande för både kostnaden och miljöpåverkan som uppstår vid användandet av materialen.

En viktig aspekt som oftast inte presenteras lika ingående, om den överhuvudtaget har undersökts, är koncentrationen av olika ämnen i lakvattnet. Materialen har testats och analyserats i laboratorium innan de används i sluttäckningen och ibland har även fältförsök gjorts med materialet. Om materialet uppvisar en god täthet, bedöms det ofta som användbart som tätskiktmaterial. Ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv är det viktigt att också undersöka näringsinnehållet i lakvattnet vid användning av olika tätskiktmaterial. Höga koncentrationer skulle exempelvis kunna påverka dimensioneringen av reningsanläggningen i de tillfällen då lakvattnet renas på deponin innan det släpps ut till recipienten. I värsta fall skulle höga koncentrationer av näringsämnen kunna orsaka problem för lakvattenrecipienten, om reningsanläggningen inte klarar av reningen i den utsträckning som behövs. Om så är fallet, kan val av tätskiktmaterial som bidrar till en större urlakning av näringsämnen stjäla miljömålet *Ingen övergödning*.

De flesta material, naturliga och alternativa, uppvisar att de skulle kunna fungera som möjliga tätskiktmaterial. De avgörande faktorerna vid val av material är ofta hur nära till hands materialet finns, hur lätt materialet är att hantera och om materialet uppfyller kravet på täthet. Därför går det inte att generalisera och säga att ett material är bättre än ett annat, utan detta är något som måste avgöras för varje enskild deponi. Exempelvis om ett material väljs som ligger nära till hands, minskas transportsträckorna och därmed har ett bidrag skett till att uppfylla miljömålet om *Begränsad klimatpåverkan*. Samtidigt måste det dock säkerställas att materialet inte bidrar till större läckage av metan, då detta istället skulle stjäla miljömålet om *Begränsad klimatpåverkan*. Det måste även säkerställas att materialet inte innehåller farliga ämnen som kan urlakas och därmed stjäla miljömålet *Giffri miljö*. Det är alltså svårt att säga att ett specifikt material är bättre än ett annat. Att däremot titta på en enskild deponi och sedan, utifrån lokalisering och närliggande industrier, avgöra vilket material som är mest lämpligt, är något som kan och bör göras.

För att det ska vara möjligt att använda restprodukter från industrin som tätskiktmaterial, måste materialet undersökas och analyseras utförligt för att säkerställa att varken miljön eller människors hälsa påverkas negativt. Det är viktigt att skaffa kunskap om materialet, både i laboratorie- och fältförsök. Genom fältundersökningar kan bästa möjliga teknik lättare tas fram. Om en restprodukt från industrin väljs som material, tillämpas även *hushållningsprincipen* då material på så sätt återanvänds. Samtidigt bidrar det till att uppfylla miljömålet *God bebyggd miljö*, då avfall som uppstår tas till vara istället för att naturresurser förbrukas. Detta gäller om det är säkerställt att materialet inte medför en risk för människors hälsa och miljön.

## **5.2. Litteraturstudien – ekonomiska aspekter**

Informationen om kostnader för tätskiktmaterial är väldigt sparsam och det är inte lätt att hitta faktiska siffror på vad ett material kostar. När en siffra väl har hittats, är det ofta otydligt vad som egentligen ingår i priset med avseende på transporter, utläggning av materialet, maskinkostnader och kostnaden för själva materialet. Antagligen är detta något entreprenörer i branschen gärna vill hålla för sig själva, speciellt nu när många sluttäckningar kommer att göras framöver och gör marknaden för materialet större.

Precis som att de miljömässiga aspekterna delvis är beroende av lokalisering av deponin i förhållande till naturen och vilka industrier som finns i närheten, beror även de ekonomiska aspekterna på detta. Om industrier med ett potentiellt tätskiktmaterial ligger i närheten av deponin, kan transporterna minskas avsevärt och därmed även kostnaden för sluttäckningen.

Från marknadsundersökningen märktes en skillnad i hur deponiägare och materialägare ser på värdet av materialet. Båda parter vill självklart tjäna eller spara så mycket pengar som möjligt. Deponiägaren verkar ofta tänka att de borde få betalt för materialet, då de antar att materialägaren ser materialet som ett problem som behöver tas bort. P.g.a. deponiskatten är detta inte en helt orimlig tanke med tanke på att skatteavdrag kan göras för material som används i konstruktionen av sluttäckningen. Materialägaren däremot har insett att det finns ett stort behov av material till sluttäckningar framöver och att materialet därför faktiskt har ett värde. I framtiden skulle det antagligen vara fördelaktigt om någon form av kompromiss arbetades fram. Exempelvis där deponiägaren eventuellt kan få köpa materialet för en mindre summa pengar och materialägaren står för transportkostnader för att få bort materialet. Det skulle kunna bli gynnsamt både miljömässigt och ekonomiskt för båda parter.

Enligt Tabell 8, där sammanställningen av kostnaderna för tätskikt presenteras, är bentonitmatta det material som är billigast att använda som tätskiktmaterial. Hur väl överensstämmande detta är med verkligheten är dock något osäkert, eftersom det i nuläget verkar som att en del materialägare betalar deponiägaren för att bli av med materialet. Kostnaden kan alltså variera väldigt mycket från fall till fall och beroende på vad som avtalas mellan deponiägaren och materialägaren. Dessutom kommer några av kostnaderna i Tabell 8 från kalkyler som är över tio år gamla. Med tanke på att deponiskatten har ökat och att reglerna för vad som får och inte får deponeras har ändrats, kan kostnaderna för materialen se annorlunda ut idag.

## **5.3 Fallstudien Lessebo**

### **5.3.1 Lakvattnet**

Mätningarna som gjordes på mängden lakvatten från pilotsluttäckningen, visar att det finns en skillnad mellan den norra och den södra provytan. Då det enda som, i teorin, skiljer provytorna från varandra är förhållandet mellan fiberslam och flygaska i tätskiktmaterial, är det rimligt att anta att det är detta som är anledningen. Fiberslammet som användes var från början inhomogent och hade en blandad kvalitet. Om materialet var svårt att blanda och därmed gjorde det svårt att få en helt homogen massa, kan det ha funnits stora skillnader i kvaliteten på fiberslammet som användes. Det går därför inte att utesluta att den norra ytan fick ett parti som var sämre blandat, med större materialvariationer och eventuellt även blötare, än den södra ytan.

Mängden flygaska skulle i praktiken kunna vara 0-20 % större i den norra provytan jämfört med den södra. Enligt entreprenören var askan ganska svår att packa. Det skulle kunna

innebära att den norra provytan var svårare att packa än den södra och därmed inte har blivit lika tät. Detta skulle kunna vara en annan anledning till att större mängd lakvatten har lakats ut från den norra ytan jämfört med den södra.

Under perioden som pilotsluttäckningen har funnits, har en del regn fallit. I förhållande till mängden nederbörd, håller både den norra och den södra delen mycket vatten borta. Mätningarna visar dock att den norra delen hittills inte klarar det gränsvärde som finns i Deponiförordningen (2001:512). Det klarar däremot den södra delen som, om den framöver visar samma trend, skulle kunna användas över hela deponin som sluttäckning med avseende på mängden lakvatten som rinner igenom. Om det antas att fiberslammet på den norra provytan är mycket blötare är på den södra, skulle anledningen till de större volymerna lakvatten kunna bero på pressvatten. I så fall borde mängderna avta med tiden. För att säkerställa att resultatet från framtida mätningar av volymen stämmer överens med verkligheten, bör det inte gå för lång tid mellan att mätningarna görs. I så fall riskerar lysimetrarna att svämma över.

Medelvärdena för koncentrationerna av ammoniumkväve, fosfatfosfor och DOC, är högre i lakvattnet från den norra delen jämfört med den södra delen. Detta var något oväntat, med tanke på att mängden organiskt material är högre i den södra provytan där det finns mer fiberslam. Enligt gasmätningarna som Sweco har gjort, finns det mer syre på den södra delen än den norra. Detta innebär att nedbrytningen som sker är aerob och andelen ammonium av det totala kvävet är mindre. I så fall är det rimligt att koncentrationen av ammoniumkväve är mindre i den södra delen. Om det antas att deponin befinner sig i en metanogen fas och koncentrationen av ammoniumkväve i lakvattnet från Lessebo jämförs med det värde som finns i Tabell 2, är koncentrationerna dock inte onormalt höga.

De analyser som gjordes av vattnet i lakvattendammen år 2014, visade att mängden totalkväve var 14 mg/l. Lakvattnet från både den södra och den norra delen visar ammoniumkvävehalter som är över det värdet. Koncentrationen av fosfatfosfor är också hög i förhållande till de värden som mättes i lakvattendammen år 2014. Sannolikt är totalfosforhalten ännu högre. Mängden fosfatfosfor i lakvattnet från den södra provytan är däremot ganska nära den halt som uppmättes i lakvattendammen. En risk med de höga koncentrationerna av näringsämnen är att de skulle kunna påverka dimensioneringen av reningsprocessen av lakvattnet. Dock utgör lakvattnet från Lessebo deponi endast en procentdel av tillflödet till Lessebo reningsverk.

pH-värdet i lakvattnet från södra och norra delen ligger innanför de gränsvärden som har angetts i förfrågningsunderlaget, bortsett från en mätning i L Norr 5. Båda mätningarna i L Norr 5 ligger högt i förhållande till medelvärdet för den norra provytan. Från den södra delen ligger pH-värdet något under det uppmätta värdet i lakvattendammen med medelvärde på 7,65, jämfört med det i lakvattendammen på 9,1. Det är inte helt oväntat att pH-värdet i lakvattnet från den norra provytan är högre jämfört med den södra delen. Då mängden flygaska på den södra provytan är lägre, borde rimligtvis även pH-värdet vara lägre med tanke på att askan är basisk.

### **5.3.2 Marknadsundersökningen**

Marknadsundersökningen gjordes med syftet att hitta fiberslam och flygaska till tätskiktet i Lessebo deponis sluttäckning, inom ett rimligt avstånd från deponin och för en rimlig kostnad. Sju av de tio utfrågade förbränningsanläggningarna har flygaska som en restprodukt. Undersökningen visar att det finns flygaska inom rimligt avstånd, men att de flesta

anläggningar antingen redan har ett annat användningsområde för askan, deponerar det eller förvarar det med andra askor.

Kostnadmässigt betalar de flesta anläggningar ca 300kr/ton för att bli av med flygaskan. För att täcka hela Lessebo deponi skulle detta motsvara ca tolv miljoner kronor för flygaskan i tätskiktet, beroende på hur mycket flygaska som behövs i slutändan. Med andra ord skulle den totala kostanden för täckningen kunna bli tolv miljoner kronor billigare om flygaska väljs, istället för material som antingen kostar att köpa in eller ett material där materialägaren inte betalar för att deponin tar hand om materialet.

Det kan bli svårt att hinna klart med sluttäckningen till år 2025 om avtal görs med endast en förbränningsanläggning. Enligt marknadsundersökningen är det förbränningsanläggning nummer 2 som har mest aska, ca 2500 ton/år. Det skulle dock ta 16 år att samla in tillräckligt med flygaska, om avtal görs med förbränningsanläggning nummer 2. För att korta ner tiden skulle avtal kunna göras med flera förbränningsanläggningar.

Marknadsundersökningen visar att tillgången på fiberslam, inom ett rimligt avstånd från Lessebo deponi, inte är stor i nuläget. Om en tillräckligt stor mängd skulle gå att få tag på ändå, blir det antagligen från bruk nummer 3 eller 4. Om avtal görs med bruk nummer 3, skulle vinsten, ur ett ekonomiskt perspektiv, bli att inte behöva betala för ett annat material. Om avtal görs med bruk nummer 4 skulle deponiägaren eventuellt få 200 kr/ton material. Vid sluttäckning av hela deponin skulle detta motsvara ca åtta miljoner kronor.

Om ett avtal görs med bruk nummer 3 skulle det ta minst 15 år att samla in den mängd fiberslam som behövs för att täcka hela deponin. Om ett avtal görs med bruk nummer 4 skulle det ta ca tio år att få in den mängd fiberslam som behövs för att täcka hela Lessebo deponi. Om fiberslam väljs som tätskiktsmaterial till hela deponin, skulle sluttäckningen inte hinna bli klar till år 2025. Om däremot avtal görs med både bruk nummer 3 och 4, skulle det endast ta sex år att samla in tillräckligt med fiberslam för att täcka hela deponin. Dock är produktionen av fiberslam från bruk nummer 4 osäker i nuläget. Det är inte orimligt att skjuta fram sluttäckningen av Lessebo deponi ett par år för att hinna samla in tillräckligt med material. Det är däremot orimligt att vänta upp till 15 år för att samla in material och påbörja sluttäckningen.

## **5.4 Felkällor**

I litteraturstudien användes ibland källor som är nästan 15 år gamla, då nyare rapporter med den typen av material som avsågs inte fanns att hitta. Då materialen används på deponier, finns det förhoppningsvis interna undersökningar som visar att materialet är lämpligt att använda. Då dessa inte har funnits att tillgå, valdes de äldre rapporterna ändå för att ge en bredd i examensarbetet och för att få med fler material. Det bör dock observeras att det kan finnas nyare forskning inom området.

De rapporter som har sammanfattats i litteraturstudien, handlar om undersökningar och analyser av tätskiktsmaterial på specifika deponier. Ingen deponi är den andra lik och ingen sluttäckning är identisk med en annan. Det är därför något förenklat att dra generella slutsatser om enskilda material utifrån valda aspekter.

Mätningarna som utfördes på Lessebo deponi, gjordes systematiskt i samma ordning. Det går därför inte att utesluta systematiskt mätvärdefel till följd av exempelvis icke ordentligt rengjort mätinstrument.



Säkrare och noggrannare resultat hade antagligen erhållits, om fler mätningar hade gjorts och under en längre period. P.g.a. omfattningen på detta examensarbete har detta tyvärr inte varit möjligt.

I utvärderingen av pilotsluttäckningen har det antagits att materialet är homogent blandat. Det går dock inte att utesluta vissa materialskillnader i materialet som användes i tätskiktet på Lessebo deponi.

## 6. Slutsats

Det finns många potentiella tätskiktmaterial till sluttäckning av deponier. Med tanke på hur stora mängder material som kommer att krävas framöver till sluttäckningar, är det positivt att restprodukter från industrier har visats vara användbara till tätskikten. Det kommer dock att krävas kontinuerliga och noggranna analyser av de olika materialen, för att säkerställa att de inte bidrar till urlakning av ämnen som är dåliga för miljön och människors hälsa.

Vid undersökning av materialen, bör hänsyn inte enbart tas till de krav som finns i Deponiförordningen (2001:512). Koncentrationer av olika ämnen i lakvattnet, kan ha stor betydelse både för miljön och för den framtida kostnaden för sluttäckning. Om ett tätskiktmaterial bidrar till att koncentrationerna i lakvattnet av exempelvis kväve och fosfor blir högre, skulle det kunna stjäla möjligheten att uppnå miljömålet *Ingen övergödning*. Även dimensioneringen av lakvattenreningen kan behöva ändras vilket antagligen skulle orsaka förhöjda kostnader i slutändan.

En positiv konsekvens av behovet av material, är att restprodukter från industrier kan återanvändas istället för att bortskaffas. En följd av det är att en marknad för restprodukterna skapas. Så länge användning av restprodukterna gör att den totala sluttäckningen blir billigare, finns det antagligen anledning att välja dem trots att de behöver analyseras och ibland är svårare att arbeta med. Om kostnaden däremot blir för hög, är det förståeligt om deponiägaren väljer exempelvis bentonitmatta istället. Därför är det viktigt att en balans hittas, där det lönar sig både för deponiägaren och för materialägaren att använda restprodukterna från industrin. Det hade dessutom kunnat bidra till att nå miljömålen *God bebyggd miljö* och *Begränsad klimatpåverkan*.

Fallstudien på Lessebo deponi, visar att det är möjligt att använda fiberslam som tätskiktmaterial. I nuläget är det endast blandningen som finns på den södra provtagningsytan som uppfyller kraven om täthet. Fler mätningar på pilotsluttäckningen kommer dock att behövas för att säkerställa resultatet. Även om det visar sig att materialet ur ett kvalitetsperspektiv fungerar bra, är det osäkert om det kommer att finnas tillräckligt med material att tillgå inom rimlig tid. Om det visar sig att massabruk 4 kommer att kunna produceras tillräckliga mängder material framöver, eventuellt kombinerat med massabruk 3, finns det helt klart möjligheter för Lessebo att använda fiberslam i tätskiktet. Det skulle vara ekonomiskt gynnsamt för deponiägaren. Dock bör kontinuerliga prover tas på innehållet i lakvattnet, för att säkerställa att koncentrationerna av näringsämnen inte blir för höga.

I många av de rapporter som har gått igenom i detta examensarbete, har fokus legat på om materialet uppfyller kravet i Deponiförordningen (2001:512) om täthet. Detta är självklart väsentligt för att materialet ska kunna användas, men en viss trend att lägga mindre vikt vid koncentrationer av ämnen i lakvattnet har identifierats. Detta är en kunskapslucka som skulle behöva fyllas igen framöver för att säkerställa kvaliteten på materialen ännu mer. Noggranna analyser, inklusive observationer från försök med olika material, skulle vara ett värdefullt bidrag till ämnesområdet.

För deponiägare som planerar att sluttäcka, kan det vara fördelaktigt att lägga lite tid på att undersöka vilka material som finns att tillgå i området. Om restprodukter finns tillgängliga i tillräckligt stora mängder, finns det goda möjligheter att sluttäckningen kan bli billigare. För att säkerställa kvaliteten på material bör någon form av försök göras som komplement till labbanalyser, för att utvärdera materialet i den miljö som det sedan kommer att befinna sig i flera hundra år framöver.



## **7. Förslag till fortsatta studier**

Mätningarna som gjordes i fallstudien på Lessebo deponi sträckte sig endast över två månader. För att säkerställa resultatet av pilotsluttäckningen, måste fortsatta undersökningar göras under en längre tid. Både för att få fler mätvärden och för att se hur täckningen ändras med tiden och under olika väderförhållanden.

Då sluttäckning av deponier i allra högsta grad är aktuellt nu och de kommande åren, behöver fler undersökningar av olika material att göras. Noggrann dokumentation och riktiga fältstudier kommer vara av stor vikt för att avgöra hur väl lämpade olika material är för att användas i tätskiktet. Undersökningarna bör även göras kontinuerligt under en lång period, för att erhålla information om långtidsbeständigheten hos olika material.

## 8. Källförteckning

Ammenberg, J. (2012). *Miljö Management, Miljö- och hållbarhetsarbete i företag och andra organisationer*. Studentlitteratur AB, Upplaga 1:1, ISBN 978-91-44-06914-2.

Ammenberg, J. och Hjelm, O. (2011). *Miljöteknik - för en hållbar utveckling*. Industriell Miljöteknik vid IEI, Linköpings universitet. Studentlitteratur AB. ISBN 9789144092751.

Avfall Sverige. (2014a). *Sammanställning av erfarenheter från sluttäckningsprojekt*. Rapport D2014:01. ISSN 1103-4092. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/D2014-01.pdf> (2015-03-31)

Avfall Sverige. (2014b). *Deponering en liten men viktig del av verksamheten*. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/deponering/> (2015-03-31)

Avfall Sverige. (2014c). *Förebyggande av avfall*. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/foerebyggande-av-avfall/> (2015-04-01)

Avfall Sverige. (2014d). *Materialåtervinning gör avfall till en värdefull resurs*. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/materialaatervinning/> (2015-04-10)

Avfall Sverige. (2014e). *Energiåtervinning*. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/energiaatervinning/> (2015-04-10)

Avfall Sverige. (2014f). *Kunskapssammanställning – beständigheten hos geosynteter i deponikonstruktioner*. Rapport 2014:06. ISSN 1103-4092.

Avfall Sverige. (2015). *Svensk avfallshantering 2015*. Tillgänglig: [http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Statistikfiler/sah\\_2015.pdf](http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Statistikfiler/sah_2015.pdf) (2015-08-14)

Avfall Sverige Utveckling. (2009a). *Alternativa konstruktionsmaterial på deponier Vägledning*. Rapport U2009:08. ISSN 1103-4092

Avfall Sverige Utveckling. (2009b). *Uppföljning: Kontroll av tätskiktstrukturen på Dragmossens deponi*. Rapport 2007:06. ISSN 1103-4092.

Avfall Sverige Utveckling. (2011). *Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt bestående av flygaskstabiliserat avloppsslam, FSA. Beständighet, täthet och utlakning*. RAPPORT U2011:09. ISSN 1103-4092.

Avfall Sverige Utveckling. (2012). *Avfall Sveriges Deponihandbok – Reviderad handbok för deponering som en del av modern avfallshantering*. Rapport D2012:02. ISSN 1103-4092.

Avfall Sverige Utveckling. (2013). *Volymvikter för avfall*. Rapport U2013:19. ISSN 1103-4092. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/U2013-19.pdf> (2015-08-07)

Berger, K., Melchior, S., Sokollek, V., Steinert, B. och Vielhaber, B. (2009). *Water balance and effectiveness of landfill cover systems: 20 years measurements at the landfill Hamburg-Georgswerder*. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and

Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 - 9 October 2009. CISA publisher.

Biogasportalen. (2014). *Biogas från deponi*. Tillgänglig: <http://www.biogasportalen.se/BiogasISverigeOchVarlden/FoU/Biogasfrandeponi> (2015-08-24)

Carling, M., Håkansson, K., Mácsik, J., Mossakowska, A. och Rogbeck, Y. (2007). *Vägledning – Flygaskastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt*. Värmeforsk rapport Q6-602. ISSN 1653-1248.

Cuevas, J., Ruiz, A.I., de Soto, I.S., Sevilla, T., Procopio, J.R., Da Silva, P., Gissera, M.J., Regadío, M., Sánchez Jiménez N.S., Rastrero, M.R. & Leguey, S. (2011). *The performance of natural clay as a barrier to the diffusion of municipal solid waste landfill leachates*. Journal of Environmental Management 95, (175-181).

Elshorbagy, W.A. och Mohamed, A.M.O. (2000). *Evaluation of using municipal solid waste compost in landfill closure caps in arid areas*. Waste Management 20 (499-507).

Filipsson, M., Odén, P., Mauric, C., Mäkitalo, M. & Mácsik, J. (2015). *Efterbehandling av gruvavfall med morän/grönlutslam i tätskiktskonstruktionen: Massor med fördelar*. Bygg och Teknik nr 1/15 s. 66-70.

Gustafsson, M., Von Bahr, B., Ekvall, A. Johansson, P., Reuterhage, Å. och Wallman, S. (2003). *Inledande laboratorieförsök project AIS 32 – delrapport 1*. VINNOVA Rapport 2003:8. ISBN: 91-89588-97-5. ISSN: 1650-3104.

Henriksson, G., Palm, O., Davidsson, K., Ljung, E. och Sager, A. (2012). *Rätt slam på rätt plats*. WASTE REFINERY SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Projektnummer WR-41. Tillgänglig: [http://www.wasterefinery.se/SiteCollectionDocuments/Publikationer/Rapporter/WR41\\_slutrapport\\_120508.pdf](http://www.wasterefinery.se/SiteCollectionDocuments/Publikationer/Rapporter/WR41_slutrapport_120508.pdf) (2015-06-24)

Herrmann, I. (2006). *Use of Secondary Construction - Material in Landfill Cover Liners*. Licentiate Thesis 2006:65. Luleå University of Technology

Herrmann, I., Andreas, L. Diener, S. och Lind, L. (2009). *Steel slag used in landfill cover liners: laboratory and field tests*. Waste management and research 28, (1114-1121).

Imperial College London (2013). *Imperial College Rock Library – Smectite*. Tillgänglig: <https://www.imperial.ac.uk/earthscienceandengineering/rocklibrary/viewminrecord.php?minimal=smectite> (2015-04-28)

Kortnik, J., Černec, F. och Hrast, K. (2008). *Paper Sludge Layer as Low Permeability Barrier on Waste Landfills*. Soil & Sediment Contamination 17, (381–392).

Lessebo Kommun. (2014). *Sluttäckning av Lessebodeponin, Lessebo kommun. Administrativa föreskrifter*. Handling 9:1.

Länsstyrelsen i Kronobergs län. (2012). *Beslut – sluttäckning av deponin vid Lessebo avfallsanläggning*. Ärendenummer 555-1238-10. Datum: 2012-08-31.

Länsstyrelserna. (2015). *Sveriges Länskarta*. Tillgänglig: <http://ext-webbgis.lansstyrelsen.se/sverigeslanskarta/?visibleLayerNames=L%C3%A4nsstyrelsens%20kontor&zoomLevel=9&x=516238.125&y=6289484.65625> (2015-08-04)

Mácsik, J., Maurice, C., Mossakowska, A. och Eklund, C. (2005). *Pilotförsök med flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt*. VÄRMEFORSK Service AB. Projektnummer Q4-237

Michanek, G. & Zetterberg, C. (2012). *Den svenska miljörätten*. Iustus Förlag AB, tredje upplagan, Uppsala 2012. Miljömål (2009). *Avfallshantering*. Tillgänglig: <http://miljomal.se/sv/Naringslivets-miljoarbete/Foretagen-och-Sveriges-miljomal/Foretagets-miljopaverkan-och-miljomalen-/Avfallshantering/> (2015-04-01)

Miljö & Utveckling. (2002). *Gjuterisand ger täta deponier*. Tidningsartikel författade av Helena Anderson 2 oktober 2002. Tillgänglig: <http://miljo-utveckling.se/gjuterisand-ger-tata-deponier/> (2015-05-11).

Musso, T.B., Parolo M.E., Pettinari, G. & Francisca F.M. (2014). *Cu(II) and Zn(II) adsorption capacity of three different clay liner materials*. Journal of Environmental Management 146, (50-58).

Nationalencyklopedin. (2015a). *Återanvändning*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/s%C3%B6k/?t=all&q=%C3%A5teranv%C3%A4ndning> (2015-04-10)

Nationalencyklopedin. (2015b). *Återvinning*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/s%C3%B6k/?t=all&q=%C3%A5tervinning> (2015-04-10)

Nationalencyklopedin. (2015c). *Sättning*. Tillgänglig: [http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/s%C3%A4ttning-\(byggteknik\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/s%C3%A4ttning-(byggteknik)) (2015-04-10)

Nationalencyklopedin. (2015d). *Diffusion*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/diffusion> (2015-05-22)

Nationalencyklopedin. (2015e). *Torrsubstans*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/torrsubstans> (2015-06-09)

Nationalencyklopedin. (2015f). *Konduktivitet*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/konduktivitet> (2015-06-12)

Naturvårdsverket. (2002a). *Ett ekologiskt hållbart omhändertagande av avfall*. Rapport 5177. Februari 2002. ISBN 91-620-5177-6. ISSN 0282-7298.

Naturvårdsverket. (2002b). *Sammanställning av lakteter för oorganiska ämnen*. Rapport 5207. Maj 2002. ISBN 91-620-5207-1.pdf.

Naturvårdsverket. (2004). *Deponering av avfall - Handbok 2004:2 med allmänna råd till förordningen (2001:512) om deponering av avfall och till 15 kap. 34 § miljöbalken (1998:808)*. Handbok 2004:4, maj 2004. SBN 91-620-0134-5.pdf. ISSN 1650-2361.

Naturvårdsverket. (2008). *Lakvatten från deponier*. Fakta 8306. Mars 2008.

- Naturvårdsverket. (2010). *Effekter av deponiförordningens införande, en effektutvärdering*. Rapport 6381. November 2010. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&pid=3688&downloadUrl=/Documents/publikationer/978-91-620-6381-8.pdf> (2015-04-02)
- Naturvårdsverket. (2012a). *Generationsmålet*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/Generationsmalet/> (2015-03-31)
- Naturvårdsverket. (2012b). *Alla 16 miljömål*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Publikationer-och-bilder/Logotyper-och-bilder/Alla-16-miljokvalitetsmalen/> (2015-05-07)
- Naturvårdsverket. (2012c). *Precisering av God Bebyggd miljö, hållbar avfallshantering*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/15-god-bebyggd-miljo/Preciseringar-av-god-bebyggd-miljo/> (2015-04-01)
- Naturvårdsverket. (2013). *Återvinning och återanvändning av avfall – förslag till nytt etappmål i miljömålssystemet*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Redovisade-2013/Fem-nya-etappmal/Atervinning-och-ateranvandning-av-avfall/> (2015-04-10)
- Naturvårdsverket. (2014a). *Om deponering av avfall idag*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Om-deponering-av-avfall/> (2015-04-01)
- Naturvårdsverket. (2014b). *Miljökvalitetsmålen*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/> (2015-03-31)
- Naturvårdsverket. (2014c). *Etappmål*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/etappmalen/> (2015-03-31)
- Naturvårdsverket. (2014d). *Miljöproblemet vid deponering*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Mark/Deponier/> (2015-04-24)
- Naturvårdsverket. (2014e). *Avloppsslam*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Avlopp/Avloppsslam/> (2015-04-29)
- Naturvårdsverket. (2015a). *Sveriges miljömål*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/> (2015-03-31)
- Naturvårdsverket. (2015b). *God bebyggd miljö*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/15-God-bebyggd-miljo/> (2015-04-02)
- Naturvårdsverket. (2015c). *Giftfri miljö*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/4-Giftfri-miljo/> (2015-04-02)
- Naturvårdsverket. (2015d). *Begränsad klimatpåverkan*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/1-Begransad-klimatpaverkan/> (2015-05-27)



- Naturvårdsverket. (2015e). *Ingen övergödning*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/7-Ingen-overgodning/> (2015-08-24)
- Norden. (2009). *Materials for construction of top cover in landfills - Experience in the Nordic countries*. TemaNord 2009:549. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2009 ISBN 978-92-893-1886-0.
- Northwaste infrastructure. (2013). *Rester från pappersproduktion ska täta tippen*. Tillgänglig: <http://northwaste.se/sv/start/artiklar/55--rester-fran-pappersproduktion-ska-tata-tippen> (2015-04-29)
- Rihm, T. (2014). *Inventering, undersökning och riskklassning av nedlagda deponier – Information och råd*. Statens geotekniska institut, SGI. Publikation 14, Linköping.
- SMHI. (2015). *SMHI Öppna data – Meteorologiska observationer*. Tillgänglig: <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/> (2015-08-03)
- Stahre, N.(2012). *Grönlutslam och flygaska som tätskiktmaterial för sluttäckning av sulfidhaltig anrikningssand Utvärdering efter 5 års användning*. Examensarbete för Civilingenjörsexamen Naturresurstechnik. Luleå tekniska universitet Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser.
- Statens geotekniska institut. (2003). *Inventering av restprodukter som kan utgöra ersättningsmaterial för naturgrus och bergkross i anläggningsbyggande*. Projektnummer 11243. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&downloadUrl=/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/avfall/deponering/bakgrundsrapporter/inventering-restprodukter-sgi.pdf> (2015-05-11)
- Statens geotekniska institut. (2007). *Deponiers stabilitet - Vägledning för beräkning*. Information 19. Linköping 2007. ISSN 0281-7578.
- Statens geotekniska institut. (2011). *Underlag för vägledning beträffande inventering, undersökning och riskklassning av gamla deponier - Lakvatten och deponigas*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&downloadUrl=/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/deponi/deponi-rapport-sgi-lakvatten-o-deponigas.pdf> (2015-04-22)
- Statens geotekniska institut. (2015). *Jordarter*. Tillgänglig: [http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage\\_3282.aspx?epslanguage=SV](http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_3282.aspx?epslanguage=SV) (2015-04-29)
- Stenmarck, Å. och Sundqvist, J-O. (2006). *Användning av täta oorganiska restprodukter som tätskikt i deponier*. IVL svenska Miljöinstitutet Rapport B1665. Augusti 2006.
- Sundberg, J., Carling, M., Ländell, M. och Svensson, B. (2003). *Täckning av deponier med blandning av avloppsslam och aska - Erfarenheter, beständighet och andra egenskaper*. VA-forsk rapport nr 21 mars 2003.

Svedberg, B., Mácsik, J. och Wilhelmsson, A. (2004). *Alternativa tätskiktmaterial – kostnadseffektiva lösningar*. Artikel i tidningen Bygg & Teknik nr 1/04.

Svenska Energiaskor. (2013). *Kartläggning av sluttäckning av deponier*. En rapport framtagen av Thyréns. Författare: David Hansson. Tillgänglig: [http://www.energiaskor.se/pdf-dokument/Rapport%20deponier/Kartlaggningavdeponier\\_DHansson.pdf](http://www.energiaskor.se/pdf-dokument/Rapport%20deponier/Kartlaggningavdeponier_DHansson.pdf) (2015-04-22)

Svenska Energiaskor. (2015). *Användning av askor på deponier*. Tillgänglig: <http://www.energiaskor.se/Deponier.html> (2015-05-11).

Svenska geotekniska föreningen. (2001). *Tätskikt i mark – vägledning för beställare, projektörer och entreprenörer*. SGF rapport 1:99. ISSN 1103-7237.

Sveriges geologiska undersökning. (2015). *Morän – spår av inlandsisen*. Tillgänglig: <http://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/> (2015-04-24)

Svenska Renhållningsverksföreningen. (2001). *Långtidsegenskaper hos tätskikt innehållande bentonit*. RVF rapport 01:12. ISSN 1103-4092. ISRN RVF-R--01/12—SE.

Svenska Renhållningsverksföreningen Utveckling. (2000). *Pilotförsök med fiberslam och moränlera som tätskikt*. Rapport nr 2 2000. ISSN 1403-8617.

Svenska Renhållningsverksföreningen Utveckling. (2001a). *Användning av avloppsslam för tätning av deponier – förstudie*. RVF Rapport 01:17. ISSN 1103-4092. ISRN RVF-R--01/17—SE.

Svenska Renhållningsverksföreningen Utveckling. (2001b). *Försök med tätning och täckning av avfallsupplag genom användning av fiberslam, gjuterisand, slaggranulat och slaggrus*. Rapport 01:07 ISSN 1404-4471.

Svenska Renhållningsverksföreningen Utveckling. (2002). *Täckning av deponier med blandning av avloppsslam och aska - Erfarenheter, beständighet och andra egenskaper*. RVF Utveckling 2002:18 ISSN 1103-4092.

Svenska Renhållningsverksföreningen Utveckling. (2004). *Sluttäckning av avfallsupplag - Alternativa metoder att uppnå gällande krav avseende infiltration, Förstudie*. RVF Utveckling 2004:09. ISSN 1103-4092.

Svenska Renhållningsverksföreningen Utveckling. (2005). *Pilotförsök med flygaskstabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt*. RVF Utveckling 2005:17. ISSN 1103-4092.

Sweco. (2009). *Lessebo Kommun – Sluttäckningsplan Lessebo*. Reviderad 2011. Författare: Martijn van Praagh.

Tham, G. och Ifwer, K. (2006). *Miljöriktig användning av askor - Askanvändning i deponier*. Rapport 966. Mars 2006. ISSN 1653-1248.

Travar, I., Lidelöw, S., Andreas, L., Tham, G. och Lagerkvist, A. (2008). *Assessing the environmental impact of ashes used in a landfill cover construction*. Division of Waste Science and Technology, Luleå University of Technology. Waste Management 29, (1336-1346).

# Bilagor

## Bilaga 1 – Volym lakvatten

Uppmätta volymer i lysimetrarna vid fem mättillfällen redovisas i Tabell 12 nedan. Volymen är angiven i enheten ml.

Tabell 12 Uppmätta volymer i lysimetrarna vid fem mättillfällen.

Datum	20/5	5/6	23/6	1/7	13/7
<b>Lysimeter</b>					
L Norr 1	60	5150	15050	2000	7300
L Norr 2	0	800	2450	1300	350
L Norr 4	300	19200	8200	1200	1750
L Norr 5	1357	2100	4180	8900	10050
L Norr 6	1472	800	1080	200	950
L Söder 1	2162	50	560	1400	2850
L Söder 2	378	550	0	0	10
L Söder 3	1832	800	1250	150	600
L Söder 4	100	150	160	75	100
L Söder 5	75	25	150	25	0
L Söder 6	1952	700	400	150	650
L Söder 7	80	50	0	0	0

## Bilaga 2 – Koncentrationer i lakvattnet

Uppmätta koncentrationer i lakvattnet vid provtagningstillfälle 1, 20 maj 2015, redovisas i Tabell 13 nedan.

Tabell 13 Koncentrationer i lakvattnet, 20 maj 2015.

Konc.	Enhet	Söder 1	Söder 2	Söder 3	Söder 4	Söder 5	Söder 6	Söder 7	Norr 4	Norr 5	Norr 6
PO4-P	mg/l	0,26	0,079	1,8	0,13	0,18	0,1	0,16	2,1	0,13	0,46
NH4-N	mg/l	15	98	33	22	0,05	52	0,17	53	210	350
DOC	mg/l	1800	1200	2200	430	980	2400	700	930	5300	5500
Elek. kond.	µS/cm	18065	9505	23263			19360		6449	18990	12352
pH		7,14	7,32	7,32			6,96		8,8	12,44	8,23

Uppmätta koncentrationer i lakvatten vid provtagningstillfälle 2, 23 juni 2015, redovisas i Tabell 14 nedan.

**Tabell 14 Koncentrationer i lakvattnet, 23 juni 2015.**

Konc.	Enhet	Söder 1	Söder 3	Söder 4	Söder 5	Söder 6	Norr 1	Norr 2	Norr 4	Norr 5	Norr 6
PO4-P	mg/l	0,47	1,5	0,26	0,25	0,27	1,7	1,6	1,2	2,3	0,17
NH4-N	mg/l	4,3	7,5	11	1,8	120	430	320	87	400	470
DOC	mg/l		3400	730	1300	1900		4300	1200		5200
Elek. kond.	µS/cm	18560	24780	32	20	1490	924700	12510 0	10860	1810	18
pH		8,06	8,02	7,88	8,11	8,08	8,32	8,05	7,99	9,91	8,07

### Bilaga 3 - Nederbörds mängder

Nederbörds mängd per dygn i Lessebo från den 28 april 2015 till den 13 juli 2015, redovisas i Tabell 15 nedan.

**Tabell 15 Nederbörds mängd per dygn i Lessebo (SMHI 2015).**

Representativt dygn	Nederbörds mängd (mm)	Representativt dygn	Nederbörds mängd (mm)
2015-04-28	0.0	2015-06-06	0.0
2015-04-29	0.0	2015-06-07	0.0
2015-04-30	4.5	2015-06-08	0.0
2015-05-01	14.0	2015-06-09	0.0
2015-05-02	1.0	2015-06-10	0.0
2015-05-03	1.3	2015-06-11	0.0
2015-05-04	2.6	2015-06-12	0.0
2015-05-05	13.2	2015-06-13	18.4
2015-05-06	0.0	2015-06-14	0.0
2015-05-07	2.1	2015-06-15	0.0
2015-05-08	0.0	2015-06-16	0.0
2015-05-09	1.8	2015-06-17	7.4
2015-05-10	1.3	2015-06-18	4.3
2015-05-11	0.0	2015-06-19	8.7
2015-05-12	14.0	2015-06-20	9.5
2015-05-13	2.0	2015-06-21	11.0
2015-05-14	0.0	2015-06-22	8.7
2015-05-15	0.0	2015-06-23	19.1
2015-05-16	1.2	2015-06-24	0.0
2015-05-17	3.5	2015-06-25	0.0
2015-05-18	4.1	2015-06-26	0.0
2015-05-19	11.3	2015-06-27	0.0
2015-05-20	0.0	2015-06-28	1.7
2015-05-21	0.0	2015-06-29	1.4

<b>2015-05-22</b>	0.2	<b>2015-06-30</b>	0.0
<b>2015-05-23</b>	0.0	<b>2015-07-01</b>	0.0
<b>2015-05-24</b>	0.0	<b>2015-07-02</b>	0.0
<b>2015-05-25</b>	0.6	<b>2015-07-03</b>	0.0
<b>2015-05-26</b>	0.4	<b>2015-07-04</b>	0.0
<b>2015-05-27</b>	0.0	<b>2015-07-05</b>	1.0
<b>2015-05-28</b>	6.0	<b>2015-07-06</b>	0.0
<b>2015-05-29</b>	2.0	<b>2015-07-07</b>	4.0
<b>2015-05-30</b>	7.3	<b>2015-07-08</b>	10.5
<b>2015-05-31</b>	5.4	<b>2015-07-09</b>	3.2
<b>2015-06-01</b>	0.0	<b>2015-07-10</b>	0.0
<b>2015-06-02</b>	2.7	<b>2015-07-11</b>	0.4
<b>2015-06-03</b>	2.8	<b>2015-07-12</b>	4.8
<b>2015-06-04</b>	0.0	<b>2015-07-13</b>	13.7
<b>2015-06-05</b>	0.0		