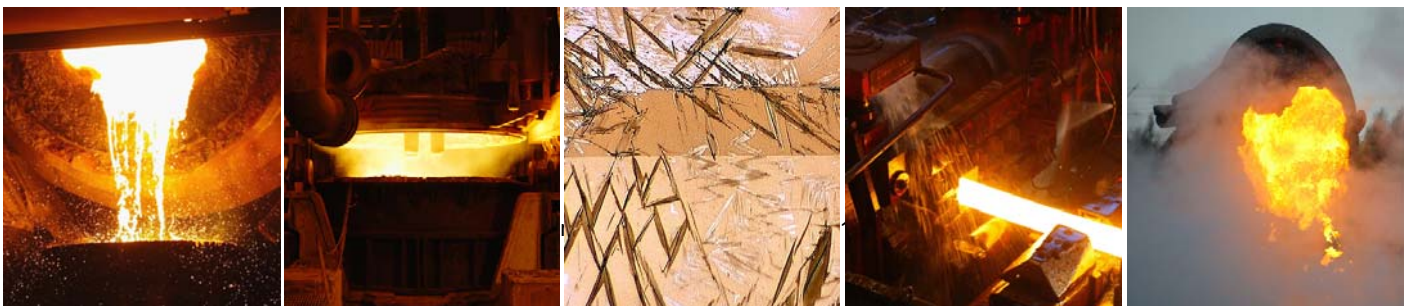


Rekommendationer för användning av slagg i deponikonstruktioner

Krav, lämplighet, materialhantering och utläggning
Exemplet HAGFORS KOMMUNALA DEPONI

Rapport av Lale Andreas, Silvia Diener, Anders Lagerkvist
Luleå tekniska universitet, LTU

Kommitté 55012 publicerad 2012-04-23



Sammanfattning

Metallurgiska slagger från svensk stålindustri är användbara material med goda egenskaper för olika typer av konstruktioner. Beroende på egenskaper och krav på konstruktionerna passar olika slagger för olika användningsområden. Exempel för detta beskrivs i Jernkontorets Handbok för restprodukter 2012 tillsammans med en översikt över alla slagger som genereras inom den svenska stålindustrin.

I dagsläget är det en rad deponier som ska avslutas och sluttäckas. Ljusbågsugnslagg från skrotbaserad stålindustri kan användas som dräneringsmaterial och tillsammans med bindemedel (t.ex. skänkslagg) som tätskikt vid sluttäckning av deponier. Holkesmossen är en kommunal deponi i Hagfors kommun som kommer att sluttäckas under de närmaste åren. Uddeholms AB startade 2003 ett forskningsprojekt tillsammans med Hagfors kommun och Luleå tekniska universitet. Projektet visade att flera av slaggerna från Uddeholm kunde användas i olika delar av konstruktionen. I juni 2009 skrevs ett avtal avseende användning av slagg med Hagfors kommun som därmed inte behöver använda jungfruliga material för sluttäckningen vilket bidrar till en förbättrad hushållning med ändliga resurser.

Designen för sluttäckningskonstruktionen togs fram baserad på för- och laboratorieundersökningar utförda av forskargrupperna i Avfallsteknik och Processmetallurgi vid Institutionen för Samhällsbyggnad och naturresurser på LTU, i samarbete med Uddeholms AB och Hagfors kommun.

I föreliggande rapport redovisas erfarenheterna från detta projekt tillsammans med de krav och risker som finns vid arbetet med konstruktioner på deponier och vad man bör beakta under hela processkedjan från slagguppkomst till färdig konstruktion. Förutom resultat från karakteriseringen av Uddeholms slagger i samband med framtagningen av receptet för tätskiktet beskrivs de lagliga kraven på deponisluttäckningar, rekommendationer för materialhantering, själva byggnationen, samt metoder för kvalitetssäkring.

Ljusbågsugns- och skänkslagg från Uddeholms AB testades i full skala i sluttäckningen av hushållsavfallsupplaget i Hagfors. Slaggerna har använts i avjämningslagret, tätskiktet och i dräneringen. Fem olika provtyper har byggts mellan 2005 och 2011 och följts upp två gånger per år. Resultaten visar att kraven avseende genomsläpplighet och utlakning kan uppfyllas.

Utgående från kraven för en fungerande deponisluttäckning har inom projektet ”Konstruktionsprodukter baserade på slagg” (Vinnova/Jernkontoret 55012), gjorts en sammanställning över slagger från medlemsföretagen som kan tänkas ingå i en sådan konstruktion. Enstaka enkla tester (packning, permeabilitet) gjordes med slagger från andra företag (Ovako Hofors AB, Outokumpu Stainless AB, Sandvik Materials Technology AB) och även dessa resultat visar på slaggernas potential.

Summary

Metallurgical slags from the Swedish steel industry are valuable materials with beneficial properties for use within different types of constructions. Depending on their properties and the specific requirements of the construction, different slags suit different applications. Examples are given in Jernkontorets Handbook for residuals 2012 together with a compilation of all slags that are generated within the Swedish steel industry.

Many landfills have to be covered in Sweden and Europe within the next years. Electric arc furnace slag (EAFS) from scrap metal based steel making can be used as construction material in a landfill top cover: as drainage material and together with a binder (for example ladle slag), also as liner material. The municipal landfill of Hagfors, Holkesmossen, is to be covered during the coming years. In 2003 the steel company Uddeholms AB initiated a joint research project together with the municipality of Hagfors and Luleå University of Technology. The work showed that several slags from the company can be used in the construction. As a result of the project, Hagfors municipality signed a contract with the steel company about using slags instead of natural raw materials in the landfill cover which contributes to a sustainable use of limited natural resources.

The design of the top cover was developed by the research groups of Waste Science and Technology and Process metallurgy at the department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering at Luleå University of Technology in close cooperation with Uddeholms AB and Hagfors municipality.

This report contains experiences from the project, requirements and risks for constructions on landfills and what to consider during the whole process from slag generation to construction. Apart from the results from the slag characterization and the development of the recipe, legal demands for landfill cover constructions are described and recommendations are given for material handling and management, the construction itself as well as methods for quality control.

The EAF and ladle slag from Uddeholms AB was tested in full scale during the covering of the Hagfors landfill. The slags were used in the foundation layer, the liner and the drainage layer. Five test areas were built between 2005 and 2011 and samples were taken twice per year. The results show that the technical and environmental demands with regard to permeability and leaching can be fulfilled.

A compilation of suitable slags from the participating steel companies was made within the research project "Konstruktionsprodukter baserade på slagg" (Construction products based on slag, Vinnova/ Jernkontoret 55012) based on the demands for a well-functioning cover construction. Some slags from other companies than Uddeholms (Ovako Hofors AB, Outokumpu Stainless AB, Sandvik Materials Technology AB) were tested in a number of simple tests and the results indicate a good potential for use of these slags as well.

Keywords:

Ferrous slag, landfill, final top cover, ladle slag, EAF slag, construction material, full scale field test

Nyckelord:

Metallurgisk slagg, deponi, sluttäckning, skänk- och ljusbågsugns slag, konstruktionsmaterial, fullskaleförsök

Innehåll

1	INLEDNING	3
2	SYFTE	3
3	METALLURGISKA SLAGGER	3
4	KRAV OCH DESIGN FÖR DEPONISLUTTÄCKNING	3
5	EXEMPLET: HAGFORS DEPONI	7
6	SLAGGERNA FRÅN UDDEHOLMS AB	8
6.1	SLAGGMÄNGDER, BLANDNINGAR OCH SIKTKURVOR.....	8
6.2	KEMISK OCH MINERALOGISK SAMMANSÄTTNING.....	11
6.3	UTLAKNING	13
6.4	DENSITET OCH PACKNINGSEGENSKAPER.....	14
6.5	HYDRAULISK KONDUKTIVITET.....	16
7	HANTERING AV SLAGG	18
7.1	HANTERING AV SLAGG PÅ STÅLVERKET	18
7.2	HANTERING AV SLAGG PÅ KROSSVERKET	21
7.3	HANTERING AV SLAGG PÅ DEPONIN	24
8	BYGGNATION	25
8.1	AVJÄMNING OCH GASDRÄNERING	25
8.2	UTLÄGGNING OCH PACKNING AV TÅTSKIKTET	25
8.3	DRÄNSKIKT.....	26
8.4	SKYDDS- OCH VEGETATIONSSKIKT.....	26
9	KVALITETSSÄKRING OCH RISKBEDÖMNING	27
9.1	ALLMÄNT.....	27
9.2	PLATSKONTROLL/EGENKONTROLL.....	27
9.3	FUNKTIONSKRAV OCH RISKANALYS VID DEPONIKONSTRUKTIONER	27
9.3.1	<i>Differentialsättningar</i>	28
9.3.2	<i>Uttorkning</i>	29
9.3.3	<i>Fallerande dränering</i>	29
9.3.4	<i>Rotpenetrering</i>	29
10	ANDRA LÄMPLIGA SLAGGER	30
11	GUIDE FÖR KONSTRUKTION AV DEPONI MED SLAGG	31
11.1	MATERIALETS EGENSKAPER.....	31
11.2	SLAGGHANTERING, FRÅN STÅLVERK TILLS SLAGGEN SKA ANVÄNDAS	33
11.3	PRAKTISK DEPONIKONSTRUKTION	33
12	SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER	34
13	UTVECKLINGSBEHOV	35
14	TACK	36
15	REFERENSER	36

Bilagor

1. Arbetsbeskrivning byggnation 2011 inkl exempelprotokoll för byggdokumentation

1 INLEDNING

Svensk deponilagstiftning har radikalt förändrats under det senaste decenniet. Tolkningen och införandet av EU:s deponeringsdirektiv genom nya förordningar och föreskrifter har avsevärt skärpt villkoren för deponering. För närvarande avslutas många befintliga deponier eftersom de inte uppfyller de nya kraven. Därtill nyetableras kontinuerligt deponier, bl a i samband med efterbehandling av förorenade områden. Sammantaget leder detta till en stor efterfrågan på konstruktionsmaterial. Potentialen att använda slagger från ståltillverkning men även andra biprodukter bedöms som stor (Andreas et al., 2008).

Behovet av material för att sluttäcka deponier är omfattande; ca 40-50 kton per hektar. Det är därför värdefullt ur ett nationellt bevarandeperspektiv att även sekundära material kan användas.

Föreliggande rapport beskriver hur slagger från ståltillverkning inom Uddeholms AB har använts i olika delar av sluttäckningskonstruktionen för hushållsavfallsdeponin i Hagfors (Återvinningsstation Holkesmossen). Undersökningen av lämpligheten att använda slaggerna innebär att hänsyn tagits till de miljömässiga och tekniska krav som ställs i deponilagstiftningen.

2 SYFTE

Syftet med denna rapport är att ge rekommendationer för användningen av slagger från stålframställning i deponikonstruktioner baserad på erfarenheter från projektet i Hagfors. Krav på sluttäckningskonstruktioner beskrivs liksom slaggernas tekniska och miljömässiga egenskaper. Rekommendationer ges för hur slaggerna bör hanteras från uppkomst till installation för att konstruktionen ska uppfylla de tekniska och miljömässiga kraven som ställs.

3 METALLURGISKA SLAGGER

Slagg genereras vid stålproduktion för att ge stålet de egenskaper man vill ha. Slaggens sammansättning, funktion och mängd beror på vilka råvaror som används, i vilken process slaggen används, och vilken typ av järn eller stål som tillverkas (Jernkontoret, 2009). Slagger är ofta mycket beständiga och vissa av dem har liknande egenskaper som cement. Detta gör att de kan användas i olika konstruktioner, t ex i vägar eller bundna ytor, dräneringslager, som stabilisering av mark, fyllnadsmaterial i betong eller i barriärer av olika slag. Egenskaper som utnyttjas vid användning i täta konstruktioner som barriärskiktet i en deponisluttäckning är främst finkornighet och de cementliknande egenskaper som kännetecknar sönderfallen skänk- eller AOD-slagg i kombination med hållfastheten och bärigheten hos ljusbågsugns-slagg. De senare egenskaperna samt ljusbågsugns-slaggers slitstyrka och oregelbunden partikelform gör att dessa material med fördel kan användas som dräneringsmaterial i en deponitäckning men även vid vägbyggnad som bärlager eller ballast i asfalt.

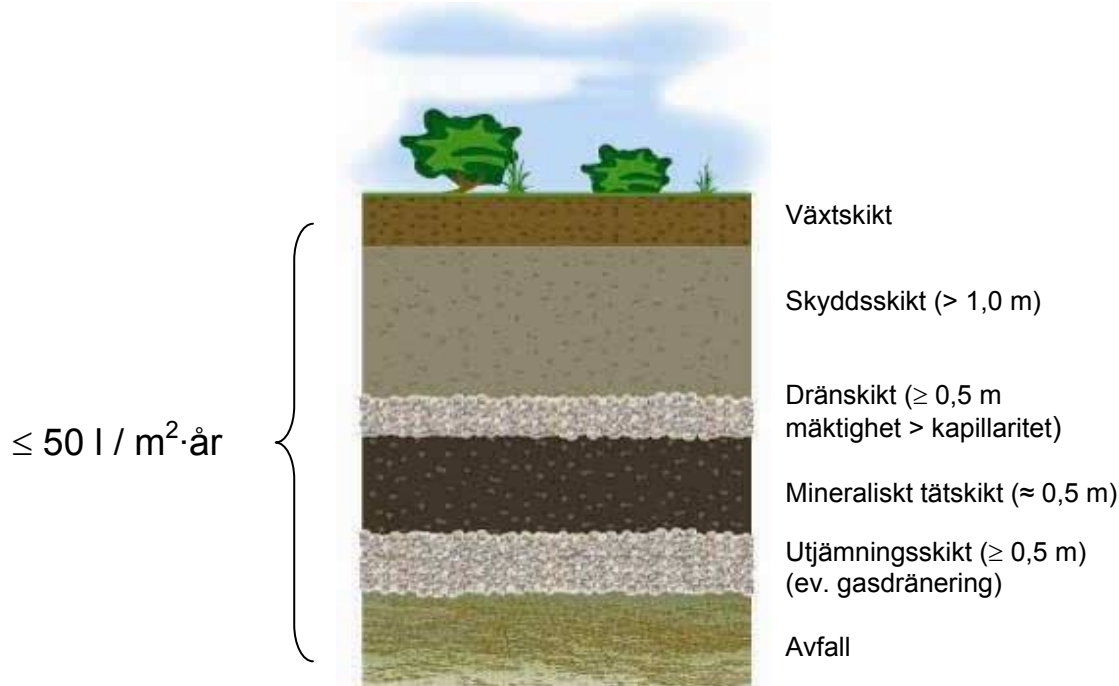
4 KRAV OCH DESIGN FÖR DEPONISLUTTÄCKNING

En sluttäckning på en avfallsdeponi måste följa vissa regler och krav. Grundläggande krav redovisas i deponeringsförordningen (SFS 2001:512) och mera utförliga rekommendationer kan man hitta i Naturvårdsverkets allmänna råd till 3-33 §§ i deponeringsförordningen

(NFS 2004:5) och i vägledningen ”Kvalitetssäkring av bottenkonstruktion och sluttäckning i en deponi” (SNV rapport 5909, 2008).

Sluttäckningens uppgift är, bland annat, att minska vatteninträngningen i avfallet för att minimera mängden lakvatten som behöver samlas in vid botten på deponin och tas hand om. En annan uppgift är att minska emissioner av deponigas till omgivningen. Mängden lakvatten som perkolerar genom täckningen får inte överskrida $50 \text{ l/m}^2 \cdot \text{år}$ för deponier för icke-farligt avfall och $5 \text{ l/m}^2 \cdot \text{år}$ för deponier för farligt avfall. Kravet på fysisk stabilitet innebär att konstruktionen måste vara uppbyggd av sådana material som gör att inte ras eller skred uppkommer. Eftersom en sluttäckning är uppbyggd av flera olika skikt måste materialen ha tillräcklig hållfasthet och friktionen mellan olika skikt måste vara sådan att glidning inte inträffar. Vid användning av avfall eller biprodukter från industriprocesser bör materialen via provningar och dokumenterade resultat i fullskaleförsök visas ha egenskaper som uppfyller krav på genomströmning och beständighet över lång tid. Materialet bör även vara väl undersökt avseende föroreningsinnehåll och lakbarhet. Vid användning inom konstruktioner på en deponi måste materialet uppfylla de platsspecifika krav som finns för konstruktioner på deponin i fråga, vilket ofta sammanfaller med de allmänna kriterierna för det avfall som får läggas på den aktuella deponin.

Figur 1 visar den principiella uppbyggnaden för en sluttäckning och rekommenderad tjocklek för de enskilda skikten enligt Avfall Sveriges deponihandbok (RVF (2006); för exemplet Hagfors, se kapitel 9.3). Materialeparerande skikt (geotextil eller dyl.) tillkommer för skydd av tätskiktsmaterialet och separation av drän- och skyddsskiktsmaterial. Funktionskrav, egenskaper och möjliga material beskrivs i Tabell 1 i den ordning de byggs, dvs. nedifrån och upp. Kravet på genomsläpplighet avser hela sluttäckningskonstruktionen, vilket innebär att alla skikt i sluttäckningskonstruktionen bidrar till det.



Figur 1 Principiell uppbyggnad av sluttäckningskonstruktionen och krav för genomsläpplighet för deponier för icke-farligt avfall

Tabell 1 Funktionskrav för de olika skikten i en sluttäckningskonstruktion, lämpliga egenskaper och miljökrav för materialen samt exempel för möjliga material

Utjämnings- och gastransportskikt	
Syfte	<ul style="list-style-type: none"> • Avjämning, terrassering; fundament för sluttäckningen • Sättningsutjämnande (minska effekten på tätskiktet från differenssättningar i underliggande avfall) • Dräneringslager för deponigas¹
Egenskaper	Dränerande, mekaniskt och kemiskt stabilt, lastbärande/-spridande, kapillärbrytande för vatten från avfallet; hydraulisk konduktivitet $> 10^{-5}$ m/s
Möjliga material	Sand, grus, krossprodukter, grova schaktmassor, stabila metallurgiska slaggar; bottenaska (slaggrus), pannsand. Materialet ska minst uppfylla mottagningskriterierna för respektive deponiklass samt övriga deponeringskrav för underliggande avfall.
Tätskikt	
Syfte	<ul style="list-style-type: none"> • Tätning mot gas och vattentransport
Egenskaper	<p>Låg permeabelt, bra kompakterbart, mekaniskt och kemiskt stabilt, ej biologiskt nedbrytbart, hydraulisk konduktivitet $\sim 10^{-8}$-10^{-9} m/s (beroende på övriga skikt och lutning), beständigt mot sättningarna i deponin, långtidsbeständigt.</p> <p>Vid användning av avfall är utlakning (både via genomströmning och diffusion) en betydande miljöaspekt och emissionen ska såväl under installation, drifttid och tid därefter, visas vara så begränsad att risk för människors hälsa och miljön inte föreligger (NFS 2004:5).</p>
Möjliga material	Leror, bentonitblandat stenmjöl eller sand, GCL (geosyntetiska lergeomembran, t ex bentonitmattor), Geomembran av t ex HDPE (plast-/gummiduk), åldrad bottenaska blandad med lera, flygaska, stabiliserad grönlutslam (med t ex aska, stenmjöl), metallurgiska slaggar med cementliknande egenskaper t ex skänkslagg, finkornig LD- eller masugnsslagg, vissa AOD-slaggar.
Dräneringsskikt	
Syfte	<ul style="list-style-type: none"> • Insamling och borttransport av infiltrerande markvatten, • Lateral vattentransport i skyddsskiktet under omättade förhållanden, • Skydda tätskiktet från uttorkning genom kapillärbrytande effekt.
Egenskaper	<p>Dränerande, mekaniskt och kemiskt stabilt, hydraulisk konduktivitet minst 10^{-4} m/s; avvattnas via vattenlås.</p> <p>Vid användning av avfall för anläggningsändamål ska emissionerna under installation, drifttid och tid därefter visas vara så begränsad att risk för människors hälsa och miljön inte föreligger (NFS 2004:5).</p>
Möjliga material	Grus, sten-, betong- eller glaskross, slaggrus, gummiklipp, pannsand, stabila metallurgiska slaggar med dränerande egenskaper t ex ljusbågsugnsslagg, borstabiliserad AOD-slagg ² , hyttsten.
Skyddsskikt	
Syfte	<ul style="list-style-type: none"> • Skydd av underliggande skikt mot tjäle, uttorkning, växt- och djurpenetration • Vattenlagring och rotetablering

Egenskaper	Vattenhållande, ska ej innehålla lakbara ämnen som påverkar tätskiktet negativt eller fälls ut i dräneringen. Genom att relatera innehållet av näringsämnen till behovet hos växtligheten kan risken för läckage av näringsämnen minskas. Hydraulisk konduktivitet $\sim 10^{-5}$ - 10^{-6} m/s. Rekommenderad tjocklek enligt EG-direktivet är minst 1 m, vilket för svenska förhållanden och vid användning av mineraliska tätskikt måste ses som ett absolut minimum på grund av frostrisken.
Möjliga material	Fin siltig/sandig morän eller motsvarande alternativa material med stor växttillgänglig fältkapacitet, t ex rötat och komposterat slam i blandning med schaktmassor, bioaska, behandlad förorenad jord m m. Inblandning av avfall för anläggningsändamål med betydande föroreningsinnehåll får dock inte överstiga max. 40 vikt-%.
Växtskikt	
Syfte	<ul style="list-style-type: none"> • Växtplats (sådd av gräs rekommenderas, senare etablering av vegetation) • Erosionsskydd
Egenskaper	Humus- och näringshaltigt, vattenhållande, icke syreförbrukande
Möjliga material	Naturlig jord, anläggningsjord, blandningar av kompost och strukturmaterial eller jord
<p>Skydds- och växtskikt tillsammans kallas ibland också rekultiveringsskikt. Den sammanlagda funktionen kan beskrivas som följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> • optimering av vattenbalansen för hela systemet, • skyddsfunktion för djupare skikten, • förhindrande av direkt kontakt av människor, växter, djur med föroreningar. <p>Den totala tjockleken av rekultiveringsskiktet beror huvudsakligen på följande faktorer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nödvändig vattenhållningskapacitet, • maximala rotdjupet, • maximala frostdjupet. 	

¹ Om avfallet innehåller nedbrytbart organiskt material kommer gas att bildas under lång tid. Gas skall insamlas från alla deponier som tillförts biologiskt nedbrytbart avfall. För att möjliggöra en insamling under lång tid rekommenderar EG-deponeringsdirektivet att ett gasdräneringsskikt läggs ut. Det är dock inte krav enligt svensk lagstiftning.

² I och med att dessa slaggar är alkaliska material blir pH-värdet i vattnet som kommer i kontakt med dem hög (11-12). Detta gör att slaggar inte bör användas ovanför ett tätskikt som består av bentonitlera eftersom denna liksom andra smektitrika leror av typen montmorillonit med natrium som adsorberad katjon är mycket känslig mot alkali. Det är främst jonbyte Na-Ca som leder till kraftigt minskad svällningsförmåga av dessa leror.

Sluttäckningens totala funktion

Tätskiktet är den kritiska barriären, men dess funktion beror även på övriga skikt. Från boten är det viktigt för tätskiktets integritet att underliggande gas, som bildas kan avledas så att höga tryck ej lyfter sluttäckningskonstruktionen. Avjämningskiktets material bör därför ha en permeabilitet som är större än 10^{-5} m/s.

Dräneringsskiktet ovan tätskiktet måste vara kapillärbrytande annars kan en uttorkning av tätskiktet ske genom kapillär vattentransport upp till skyddsskiktet, dvs. mäktigheten av dräneringsskiktet måste vara större än materialets kapillära lyfthöjd. Ett tjockare dräneringsskikt krävs på horisontella ytor. Dräneringsskiktet måste även vara isolerat från atmo-

sfären genom att det avvattnas via vattenlås, annars kan det uppstå ”skorstenseffekt” som torrlägger tätskiktets yta. En annan fördel med ett litet luftutbyte mellan dränering och atmosfär är att koldioxidhalten i dräneringen blir högre än i atmosfären, vilken minskar risken för rotpenetration.

Skyddsskikt och växtskikt fungerar som vattenmagasin, som gör att växtligheten kan klara säsongsvariationer i nederbörd utan att behöva utveckla rötter som når till dränering och tätskikt. Det är då viktigt att dessa skikt utformas så att deras vattenhållande förmåga är anpassad till ortens nederbördsförhållanden. Om skikten ovan dräneringsskiktet är riktigt dimensionerade kommer endast ca en tredjedel av årsnederbörden att nå dräneringsskiktet (som dränvatten = perkolat). I förekommande svenska klimatzoner kan man då vänta sig att 100-500 liter dränvatten bildas per kvadratmeter och år. I Hagförstrakten skulle ca 220 liter vara ett väntat värde (genomsnittlig årsnederbörd i Gustavsfors: 671 mm).

Av det bildade dränvattnet kommer det mesta att rinna av i dräneringsskiktet och en mindre del att tränga igenom tätskiktet och så småningom bilda lakvatten. Fördelningen beror på dräneringsmaterialets och tätskiktets genomsläpplighet samt på upplagets utformning (lutning och rinnsträcka).

5 **EXEMPLET: HAGFORS DEPONI**

Hagfors kommunala deponi (Holkesmossen återvinningsanläggning) är en hushållsavfallsdeponi som påbörjades under 1960-talet. Anläggningen ligger vid Holkesmossen, cirka 2 km öster om Hagfors, Värmland. Arean är på 16 hektar och deponeringstillståndet är i dagsläget inte tidsbegränsat.

Avfallsupplaget är inte utrustat med botten tätning. På deponin finns ett gasinsamlingssystem som togs i drift under 2005. Deponigasen används som bränsle. Lakvattnet som bildas i deponin renas i den lokala lakvattenbehandlingsanläggningen.

Delar av deponin har börjat sluttäckas år 2005. I täckkonstruktionen används alternativa byggmaterial, bl a metallurgisk slagg från Uddeholms AB, schaktmassor, kompost osv. En blandning av ljusbågsugns slag (electric arc furnace slag, EAFS) och skänkslag (ladle slag, LS) används i tätskiktet och ljusbågsugns slag används som avjämning under tätskiktet samt i dräneringsskiktet, se Figur 2.

Slagganvändningen leder till en mindre mängd deponerad slagg samt till en besparing av jungfruliga byggmaterial i storleksordningen 30 000 ton per hektar.

Designen för sluttäckningen har tagits fram av Avdelningen för avfallsteknik på LTU i nära samarbete med Uddeholms AB, Hagfors kommun samt Avdelningen för processmetallurgi på LTU och beskrivs närmare på de följande sidorna.

REKOMMENDATIONER FÖR ANVÄNDNING AV SLAGG I DEPONIKONSTRUKTIONER

	Yta 1	Yta 2	Yta 3	Yta 4	Yta 5	
växtskikt	kompost	kompost	kompost	kompost	kompost	≥ 0,25 m
skyddsskikt	80% schaktmassor 10% bioaska 10% rötat och komposterat avloppsslam	100% schaktmassor	100% schaktmassor	80% schaktmassor 10% bioaska 10% rötat och komposterat avloppsslam	80% schaktmassor 10% bioaska 10% rötat och komposterat avloppsslam	≈ 1,5 m
geotextil dränskikt	LB slagg 1+2 (8-60 mm)	LB slagg 1+2 (35-60 mm)	LB slagg 1+2 (35-60 mm)	LB slagg 1+2 (20-60 mm)	LB slagg 1+2 (20-60 mm)	≥ 0,3 m
geotextil tätskikt	50 % LB slagg 1+2 (< 8 mm) 50 % Skänkslagg (< 20 mm)	> 65 % LB slagg 1+2 (< 35 mm) < 35 % LB slagg 4 + Skänkslagg (< 20 mm)	> 65 % LB slagg 1+2+3 (< 35 mm) < 35 % LB slagg 4 + Skänkslagg (< 20 mm)	50 % LB slagg 3 (< 20 mm) 50 % LB slagg 4 + Skänkslagg (< 20 mm)	50 % LB slagg 3 (< 20 mm) 50 % LB slagg 4 + Skänkslagg (< 20 mm)	≈ 0,7 m
avjämningskikt	Gatsopningssand Avfall	Gatsopningssand Avfall	Gatsopningssand Avfall	LB slagg 1+2 (0-150 mm) Avfall	LB slagg 1+2 (0-150 mm) Avfall	≥ 0,3 m

Figur 2 Sluttäckningens uppbyggnad och design på de fem provytorna. Procenttalen är viktprocent i planeringen men i praktiken baserades blandningen för ytorna 1-3 på volymprocent, vilket ledde till att andelen ljusbågsugns slag (LB) blev högre och andelen skänkslagg mindre än i receptet

6 SLAGGERNA FRÅN UDDEHOLMS AB

Uddeholms AB i Hagfors framställer höglegerat verktygsstål och genererar ca 18 000 ton ljusbågsugns- och skänkslagg per år.

6.1 Slaggmängder, blandningar och siktkurvor

Det genereras fyra typer av ljusbågsugns slag (EAFS) vid stålframställningen hos Uddeholms AB i Hagfors och en skänkslagg (LS) vid sekundär stålframställning. Den ungefärliga årliga produktionen av slaggen visas i **Tabell 2**.

År 2004 gjordes en omfattande och representativ provtagning av ca 4500 kg slag inför karakteriseringen (ca 1000 kg av varje EAFS och 400 kg LS) och de tester som var nödvändiga för att ta fram sluttäckningsdesignen. Dessa slagger har varsamt krossats till en största partikelstorlek på ca 20 mm och metall har avlägsnats genom magnetseparation.

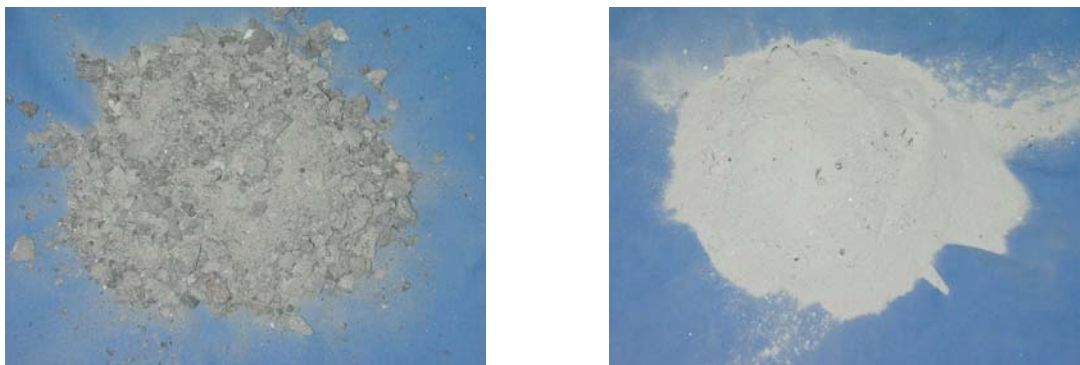
Tabell 2 Producerade slaggmängder år 2010

	EAFS 1	EAFS 2	EAFS 3	EAFS 4	LS
Mängd per år [ton], ca	11 000		3 500	2 900	(1 400 + 1 500)

EAFS 1, 2 och 3 är grovkorniga material medan EAFS 4 liksom skänkslaggen (LS) är sönderfallande och föreligger som fint pulver, se Figur 3. De två senare har cementliknande egenskaper vilket innebär att de härdar och binder vid reaktion med vatten.

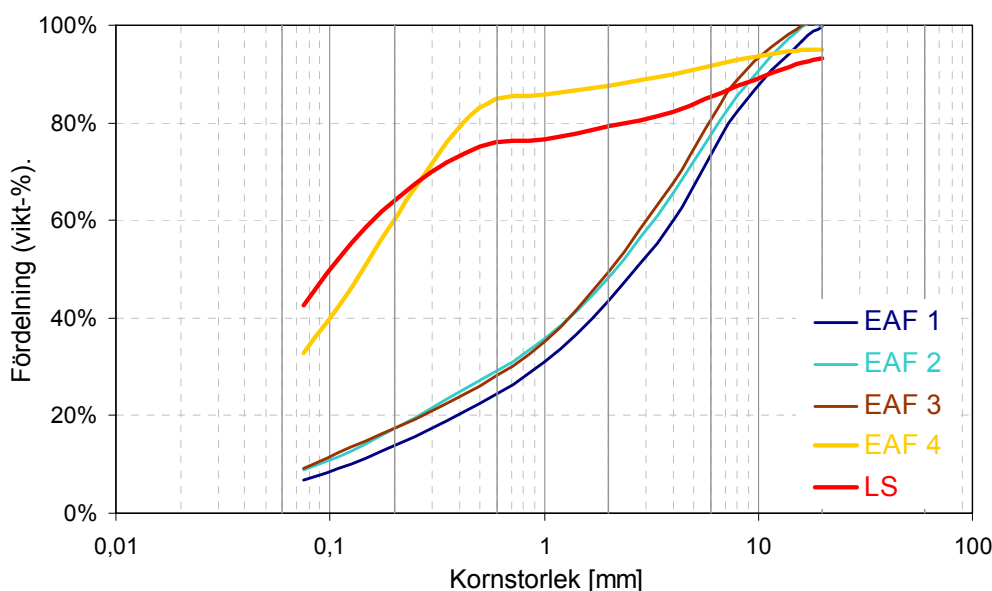
EAFS 1 produceras i reducerande atmosfär med mycket kisel i ljusbågsugnen. Vid detta körsätt används också returstål. EAFS 2 genereras också i reducerande atmosfär; kisel och ferrokrom (FeCr, krom med hög kolhalt) tillsätts till ljusbågsugnen. Efter nedsmältningen utförs en syrgasfärskning. EAFS 3 genereras under oxiderande atmosfär i ljusbågsugnen samt under tillsatsen av Fe-enheter, molybdenoxid, syre i form av glödskal och kol i form av kolpulver. Slaggen dras vid en temperatur av ca 1600°C. Efter slagavdraget tillsätts

FeCr och FeSi till ljusbågsugnen och EAFS 4 dras. Skänkslaggen genereras under stålförädlingen i skänkgugnen.



Figur 3 Ljusbågsugns- och skänkslagg från Uddeholms AB

Figur 4 visar kornstorleksfördelningen för slaggerna efter provtagning och krossning i Hagfors år 2004. Med hjälp av kornstorleksfördelningen kan en preliminär uppskattning av materialets packningsegenskaper, permeabilitet, porositet, friktionsegenskaper och frostkänslighet göras. Om man vill ha ett tätt skikt så bör kornstorleken för materialet inte överskrida en diameter motsvarande ca 1 % av skiktets tjocklek, t ex 10 mm för ett 1 m tjockt skikt. Siktcurvan för tätskiktetsmaterial skall inte vara ensartad utan månggraderad. Graderingstalet C_U (d_{60}/d_{10}) anger kurvans stigning och bör vara minst 10-15. För dräneringsmaterialen eftersträvas det däremot en brantare (ens- eller mellangraderad) siktkurva ($C_U < 6$).





Figur 4 Siktcurvor för Uddeholms slaggar efter provtagning och krossning år 2004

Siktanalysen visar att EAFS 1-3 har liknande kornstorleksfördelning medan EAFS 4 är lik LS. Eftersom EAFS 1-3 är krossade material kan deras kornstorleksfördelning variera beroende på hur krossningen sker. De finkorniga slaggerna är lämpliga som tätskiktetsmaterial,

kombinerades dock med ett grövre ballastmaterial för att förlänga härdningstiden och öka den mekaniska stabiliteten.

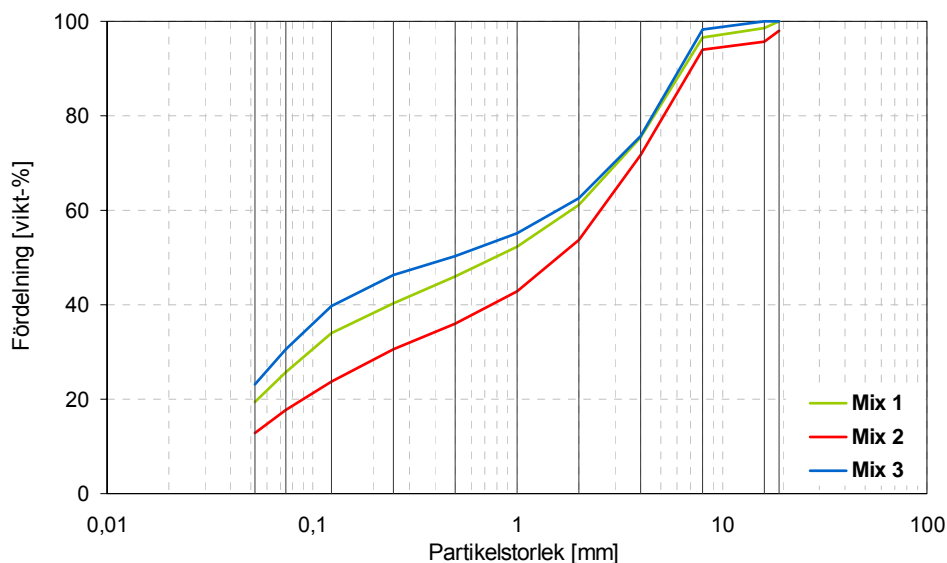
Baserad på förstudier om slaggernas blandnings-, härdnings- och packningsegenskaper (Herrmann et al., 2006) har ett antal olika blandningar av skänk- och ljusbågsugnsslagg testats vidare för att hitta ett bra material till tätskiktet, se **Tabell 3**.

Tabell 3 Recept för tätskiktsblandningar som testats vidare i lab och fält

	Slagg	Andel ¹	grov/fin [%]	Fördelning [%]	Tvärsnitt packad provkropp
Mix 1	EAFS-1	2,6	50	36,1	
	EAFS-2	1		13,9	
	EAFS-3	0		0,0	
	EAFS-4	0	50	0,0	
	LS	1		50,0	
Mix 2	EAFS-1	2,6	65	46,9	
	EAFS-2	1		18,1	
	EAFS-3	0		0,0	
	EAFS-4	1	35	13,5	
	LS	1,6		21,5	
Mix 3	EAFS-1	0	50	0,0	-
	EAFS-2	0		0,0	
	EAFS-3	1		50,0	
	EAFS-4	1	50	19,2	
	LS	1,6		30,8	

¹...enligt fallande mängder i stålverket

I Figur 5 visas siktcurvor för tre blandningar, vilka sedan har testats i full skala. Mix 1 motsvarar receptet som testades i provyta 1. I Mix 2 minskade man andelen finkornig och bindande slagg för att kunna bygga större ytor med den mängd slagg som genereras per år. Denna mix testades i provyta 2 och 3, dock med mindre bra resultat: genomsläppligheten i fält var högre än lagkravet på 50 l/m² och år. Man gick därför tillbaka till en blandning bestående av lika delar finkornig/bindande och grövre slagg (Mix 3: 50 % EAFS 4+LS och 50 % krossad EAFS 3), som testas för närvarande i provytorna 4 och 5. EAFS 3 är något lättare att krossa jämfört med EAFS 1 och EAFS 2 vilket leder till en högre andel finare material i mix 3 jämfört med mix 1.



Figur 5 Siktcurvor för tre olika slaggblandningar: mix 1...50% EAFS 1+2 och 50% LS; mix 2...65% EAFS 1+2 och 35% EAFS 4+LS; mix3...50% EAFS 3 och 50% EAFS 4+LS

6.2 Kemisk och mineralogisk sammansättning

Slaggernas kemiska sammansättning redovisas i **Tabell 4**. Förutom de enskilda slaggerna har även blandningen ”Mix 1” (se **Tabell 3**) och några prover från fältförsöket analyserats.

Tabell 4 Kemisk sammansättning av Uddeholms ljusbågsugns- (EAFS) och skänkslagg (LF), Mix 1 som motsvarar tätskiktblandningen i provyta 1 och tre prover från provyta 1 i fält.

	EAFS1	EAFS2	EAFS3	EAFS4	LF	Mix 1 lab	Yta 1_ytbit 2007	Yta 1_sten 2007	Yta 1 2010
TS (%)	99,86	99,90	99,76	99,90	99,90	97,7	98,6	98,8	99
Huvudoxider (% TS)									
SiO ₂	28,2	29,2	21,4	15,3	11,6	19,4	22,9	24,7	22
Al ₂ O ₃	6,44	9,52	5,9	18,9	27	16,5	11,4	7,29	14,6
CaO	37,2	26,7	25,7	41,1	42,5	35,8	27,1	19,7	31,1
Fe ₂ O ₃	3,46	4,38	24,2	2,0	1,59	1,8	11,6	39,3	5,39
K ₂ O	0,08	0,19	0,89	<0,02	<0,02	0,198	0,443	0,535	0,44
MgO	17,0	17,9	7,8	18,6	14,8	15,4	12,7	11,6	14
MnO	2,16	2,06	3,3	0,3	0,10	0,894	0,572	0,962	0,715
Na ₂ O	0,12	0,25	0,7	0,03	0,02	0,126	0,356	0,428	0,375
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,23	<0,02	<0,02	0,017	0,047	0,053	0,032
TiO ₂	0,28	0,35	0,37	0,2	0,14	0,233	0,221	0,242	0,235
Sum	95,0	90,6	90,5	96,5	97,8	90,4	87,3	104,8	88,9
LOI 1000°C	-	-	-	-	-	5,5	13,3	-3,7	7
CaO/SiO ₂	1,32	0,91	1,20	2,69	3,66	1,85	1,18	0,8	1,41
Spårelement (mg/kg TS)									
As	0,23	0,55	1,03	0,98	0,38	<8	4	12,9	<4
Ba	160	150	200	80	60	129	221	214	200
Be	-	-	-	-	-	<0,6	0,6	0,6	0,822
C	1 300	1 200	1 700	1 400	2 300	-	-	-	-
Cd	<18	<18	<18	<18	<18	<0,1	0,1	0,1	<0,1
Co	-	-	-	-	-	1,05	9,36	43,1	5,65
Cr	17 516	43 515	43 652	3 968	1 916	8 310	9 380	9 470	14 800
Cu	<2 556	<2 556	<2 556	<2 556	<2 556	31,7	113	225	28,3
Hg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	0,0135	0,0169	<0,01

	EAFS1	EAFS2	EAFS3	EAFS4	LF	Mix 1 lab	Yta 1_ytbit 2007	Yta 1_sten 2007	Yta 1 2010
Mo	133	267	2 466	67	53	99,7	218	228	335
Nb	-	-	-	-	-	29,7	17,3	16,1	14,5
Ni	<157	<157	157	<157	<157	21,3	145	336	111
Pb	74	93	278	158	371	11,1	11,2	11,9	9,63
S	400	500	900	1 900	2 300	1 890	1 040	738	1 730
Sn	27,1	12,1	19,5	27	8,95	<20	7,87	15	3,38
Sr	-	-	-	-	-	165	154	137	171
V	2 689	1 905	3 585	224	728	1 080	779	936	1 050
W	-	-	-	-	-	<60	60	60	151
Y	-	-	-	-	-	14,9	12,5	12,5	17,9
Zn	<562	<562	<562	<562	<562	107	226	220	275
Zr	-	-	-	-	-	115	133	117	143

- ... inte analyserad

Uddeholms ljusbågsugnsslagger är mer sura (se **Tabell 4**) än europeiska EAFS-slagger från rostfri eller höglegerad ståltillverkning som i genomsnitt har ett CaO/SiO₂-förhållande mellan 1,6 och 2,2. EAFS 3 innehåller 0,25 % molybden och 24 % järnoxid. Skänkslaggen och även EAFS 4 har höga halter kalcium-aluminater vilket gör att de lätt reagerar med vatten och bildar cementliknande, hårda strukturer.

Halterna i Mix 1 som blandades i laboratoriet ligger nära halter som man får fram om man beräknar sammansättningen baserad på receptet. Proverna som togs från yta 1 i fält avviker dock från denna sammansättning och varierar också för olika provtagningspunkter. De har en lägre CaO/SiO₂-kvot och högre halter på järn, natrium, kalium, barium, fosfor, kobolt, koppar, krom, molybden, nickel och zink. Detta kan bero att proverna för labkarakteriseringen har krossats och metallseparerats mera noggrant än materialet till tätskiktskonstruktionen i den första provytan. Andra orsaker är troligen svårigheter att följa receptet under fältförhållanden tillräckligt noga och slaggblandningens inhomogenitet, men även att mindre mängder av EAFS 3 av misstag kan ha följt med vid hanteringen av materialen i samband med tillverkningen av tätskiktsblandningen.

Skänkslaggen innehåller mycket Al₂O₃ och CaO men även SiO₂, som är byggstenar för mineralfaser som Ca-aluminater och di-kalciumsilikat i den stelade slaggen. Ca-aluminater och di-kalciumsilikat har starka cementbindande egenskaper och ingår i kommersiella aluminat- och portlandcement.

Den mineralogiska sammansättningen har undersökts för ljusbågsugnsslaggerna EAFS 1 och 2 och för skänkslaggen. Huvudmineralen är sammanställda i **Tabell 5**.

Tabell 5 Huvudmineralen i Uddeholms ljusbågsugnsslagg 1 och 2 och skänkslagg

Ljusbågsugnsslag EAFS 1 och 2	Skänkslagg
Iron	Fe
Merwinite	Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂
Monticellite	CaMgSiO ₄
Clinoenstatite	MgSiO ₃
Calcium Silicate	Ca ₂ SiO ₄
Magn. Alum. Oxide	MgAl ₂ O ₄
	Periclase
	Calcium Silicate
	Iron
	Spinel
	Mayenite
	MgO
	γ och α - Ca ₂ SiO ₄
	Fe
	MgAl ₂ O ₄
	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃

6.3 Utlakning

De enskilda slaggerna och två tätskiktsblandningar, Mix 1 och Mix 3a (se **Tabell 6**) testades med avseende på deras lakningsegenskaper genom enstegs skaktest vid L/S 10 enligt SS-EN 12457/2¹ (Svensk standard, 2003). Mix 3a skiljer sig något från Mix 3 i och med att den innehåller 65% EAFS3 jämfört med 50% i Mix 3. Efter vatteninblandning (TS ca 90 %) hade Mix 3 åldrats för 12 dagar i en sluten glasburk.

Koncentrationerna i lakvattnet har jämförts med gränsvärden vid L/S 10 för inert respektive icke-farligt avfall upptagna i Naturvårdsverkets föreskrifter (2004:10) om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall (NFS, 2004). Resultat och gränsvärden finns redovisade i **Tabell 6**.

Tabell 6 Koncentrationer i lakvatten vid L/S10 för de undersökta slaggerna och två blandningar jämfört med gränsvärden för deponering av avfall på deponi avsedd för inert resp. icke-farligt avfall (NFS, 2004). Värden i kursiv stil överskrider gränsvärdet för icke-farligt avfall.

Element	EAFS1	EAFS 2	EAFS 3	EAFS 4	LS	Mix 1	Mix 3a	Gräns för inert avfall	Gräns för icke- farligt avfall
						50% EAFS 1+2 + 50% LS	65% EAFS 3 + 35% EAFS4+LS		
pH (-)	11,3	11,0	11,8	11,6	11,6	11,7	11,9		
El. kond. (mS/cm)	0,51	0,31	1,42	1,65	1,67	1,62	0,21		
Huvudelement (mg/kg TS)									
Ca	519	368	1 290	2 497	2 767	3 216	1 767		
Fe	0,05	<0,04	<0,2	<0,16	0,48	0,2	< 0,05		
K	13,7	5,9	23,6	5,13	<5	5,0	19,7		
Mg	1,62	5,35	0,90	<0,9	<0,9	0,9	< 0,9		
Na	52,7	16,4	10,6	53,5	11,9	37,0	37,0		
S	105	44,9	14,5	5,0	29,4	-	11,5		
Si	44,6	73,5	29,2	0,42	0,45	0,7	1,7		
Al	97,8	25,3	158	2 220	2 670	3 025	652		
Spårelement (µg/kg TS)									
As	<10	<10	<50	<40	<50	<50	< 5	500	2 000
Ba	431	51	576	10 700	7 520	6 231	6,1	20 000	100 000
Cd	<0,5	<0,5	<4,0	<2,3	<3,0	<3,0	< 2	40	1 000
Co	<0,5	<0,5	<3,0	<2,3	<3,0	<3,0	0,63		
Cr	120	106	714	<23	<30	<30	13,6	500	10 000
Cu	<10	<10	<50	<40	<50	<50	9,4	2 000	50 000
Hg	<0,2	<0,2	0,3	2,2	<0,2	<0,2	< 0,2	10	200
Mn	24	17	10	15	12	12	3,8		
Mo	2 460	3 247	27 567	33	<30	44	3 563	500	10 000
Ni	<5	<5	<30	<23	<30	<30	16,8	400	10 000
Pb	<2	<2	<10	<8	<10	<10	< 2	500	10 000
V	637	1 107	2 900	<2	<3	<3	-		
Zn	<20	<20	118	<80	<100	<100	43,7	4 000	50 000

- ... inte analyserad

Förutom kromlakningen från EAFS 3 och molybdenlakningen från EAFS 1-3 ligger alla värden långt under gränsvärdet för inert avfall. Mo-lakningen från ren EAFS 3 överskrider även gränsen för icke-farligt avfall. Försök visade dock att utlakningen efter en kortare åldring (12 dagar i fuktig koldioxidatmosfär) halverades (se JK 55011, 2009; resultaten ej vi-

¹ SS-EN 12457/2 ... Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam – del 2: Enstegs-skaktest vid L/S 10 (L/S-kvot: kg Liquid / kg Solid) för material med partikelstorlek < 4 mm

sade här), och vid användning av denna slagg i tätskiktsblandningen minskar utlakningen till ungefär en tredje del av gränsvärdet, testat för en blandning innehållande 65 % EAFS 3.

Utlakningen från Mix 1 liknar mest skänkslaggens utlakning, vilket troligtvis beror på skänkslaggens lägre vikt (→ högre volymandel i mixen) och mycket finare konsistens (→ större specifik partikelyta).

Utlakningen från provytorna i fält (koncentration av ämnen i lakvattnet; resultaten ej visade här) är också låg och förväntas inte orsaka någon negativ påverkan på omgivande miljön.

6.4 Densitet och packningsegenskaper

Slaggernas densitet (volymvikt) är viktigt att känna till för att kunna framställa blandningar exakt enligt recept och för att kunna beräkna hur mycket slagg som kommer att gå åt per ytenhet.

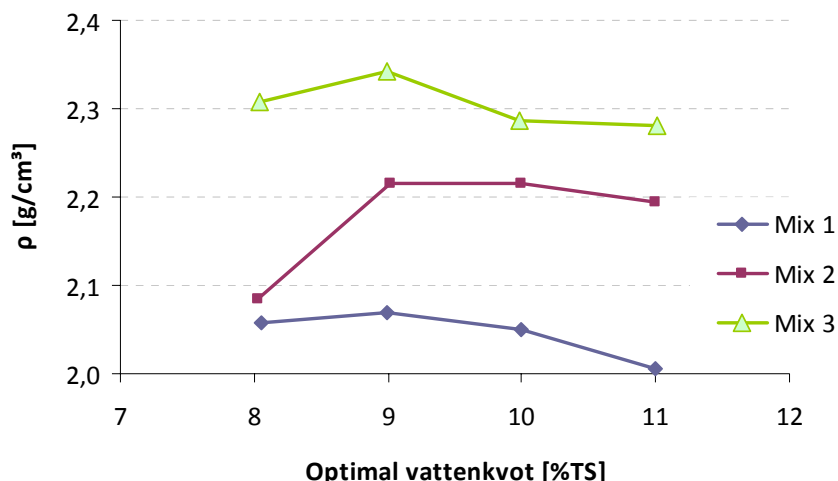
Skrymd- och proctordensitet har bestämts för de enskilda slaggerna och ett antal blandningar (Obs! materialen till labförsöken var krossade och sorterade till < ca 20 mm), se Tabell 7. Proctordensitet är volymvikten efter packning enl. SS 027109 (SIS 1994), lätt resp. tung laboratoriestampning, vid optimal vattenkvot. Konsolidering anger hur mycket materialet sjunker ihop under packningen i % av ursprungshöjden.

Tabell 7 Densitet (volymvikter) och konsolidering vid packning för Uddeholms slaggar och tätskiktblandningar

Slagg	Skrymdensitet, torr [g/cm ³]	Proctordensitet lätt/tung Proctor, torr [g/cm ³]	Optimal vattenkvot [% TS]	Konsolidering [%]
EAFS 1	1,91			
EAFS 2	1,98			
EAFS 3	2,30			
EAFS 4	1,83			
LS	1,73			
Mix 1	1,83	2,07 / 2,26	9,0 / 11,0	37,1
Mix 2	1,87	2,22 / 2,41	9,0 / 11,0	35,4
Mix 3	2,04	2,34	9,0	34,7

Ljusbågsugnsslaggerna 1-3 är tyngre än EAFS 4 och LS, särskilt EAFS 3 pga. sitt järninnehåll. Mix 3 uppnår den högsta packningsdensiteten vid samtidigt minst konsolidering.

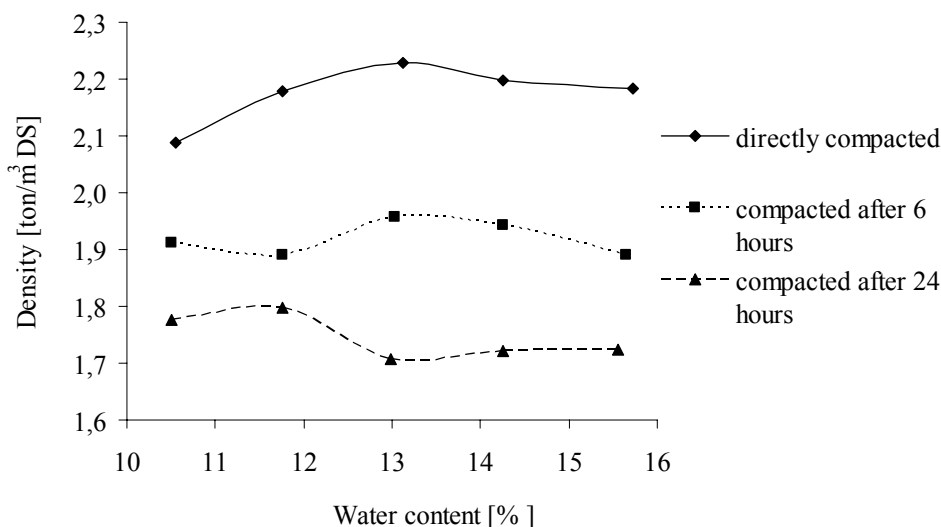
Figur 6 visar instampningskurvorna för Mix 1, 2 och 3. Packningsgraden är för samtliga högst vid ca 9 % vatteninblandning, dock förändras den maximala torrdensiteten bara marginellt i det testade intervallet mellan 8 och 11 %.



Figur 6 Densitet för tre tätskiktblandningar vid olika vattenkvoter efter instampning motsvarande lätt proctorpackning

Densiteten är däremot mera känslig för fördröjning av packningsarbetet, se Figur 7 dvs. ju längre man väntar med packningen efter att vatten har tillsatts till slaggblandningen, desto lägre blir packningsgraden. Detta betyder att packningen i praktiken måste ske så snart som möjligt efter inblandning av vatten.

Konsolideringen mellan ca 35 och 37 % betyder att slaggmängden för ett tätskikt med en mäktighet på 0,7 m motsvarar ett ca 1,1 m tjockt lager med tätskiktblandning.



Figur 7 Exempel för inverkan av tiden på densiteten vid instampning efter olika tidsintervaller (35 % EAFS 1 + LS i förstudie med tung proctorpackning)

Mätningar av skrymdensiteten i fält gjordes på provyta 2 direkt efter packning samt en dag senare. Densiteten var 1,74 t/m³ och 1,8 t/m³ respektive, vilket ligger i samma nivå som labvärden för 24-timmars fördröjd inpackning. Partikelstorleken var större i denna ytas tätskikt och packningen genomfördes med en lätt padda vilket kan förklara skillnaderna till labresultaten för icke-fördröjt instampning.

Med hjälp av densiteten och måttet på konsolidering kan man beräkna mängderna slagg som behövs för 1 000 m² sluttäckning, se **Tabell 8**. Uppgifterna kan variera beroende på krossning (kornstorlek).

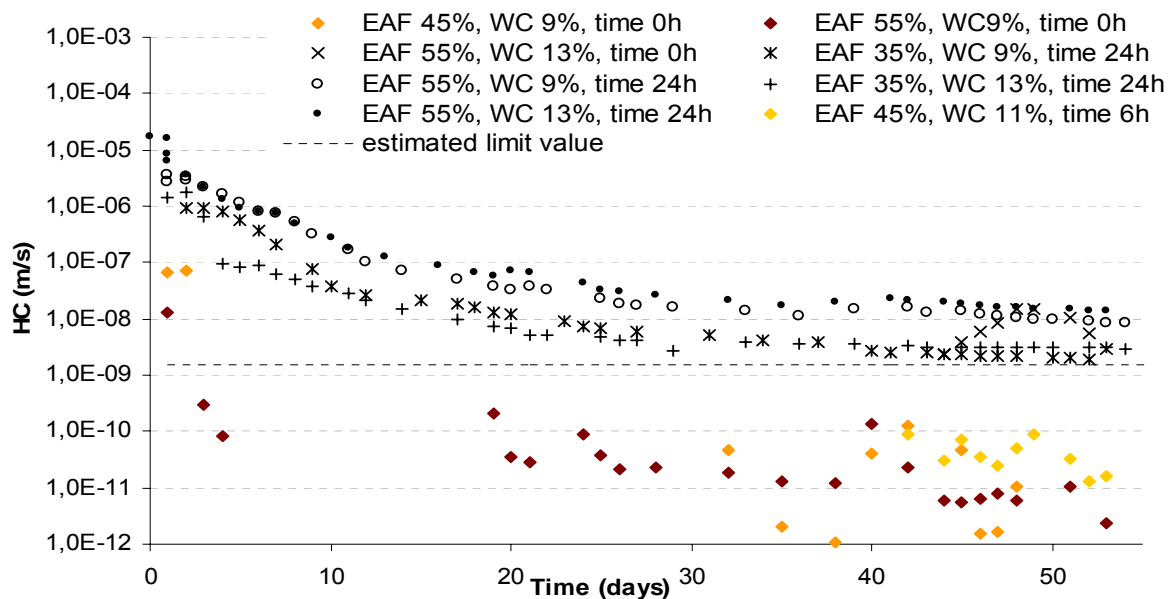
Tabell 8 *Ungefärliga slaggmängder för olika skikt per 1000 m² sluttäckning*

Slagg	Skikt och tjocklek	Slaggmängd
EAFS 1+2	Avjämning ovanpå avfallet, 0,5 m	970 t
	Dränering ovanpå tätskiktet, 0,3 m	580 t
EAFS 3	Finkrossad i tätskiktet, ca 0,45 m (löst lager ¹)	1 040 t
EAFS 4+LS	Tätskikt, ca 0,45 m (löst lager ¹)	800 t
Alternativt:		
Mix 3	Tätskikt, 0,7 m (packat material, torrt)	1 640 t

¹ ett löst lager av *blandad* EAFS 3 och EAFS 4+LS skulle vara ca 1,1 m tjockt; den hypotetiska tjockleken för ett löst lager av var och en slagg är dock mindre än halva lagertjockleken av blandningen eftersom den finare slaggen fyller en del av porutrymmet i den grövre.

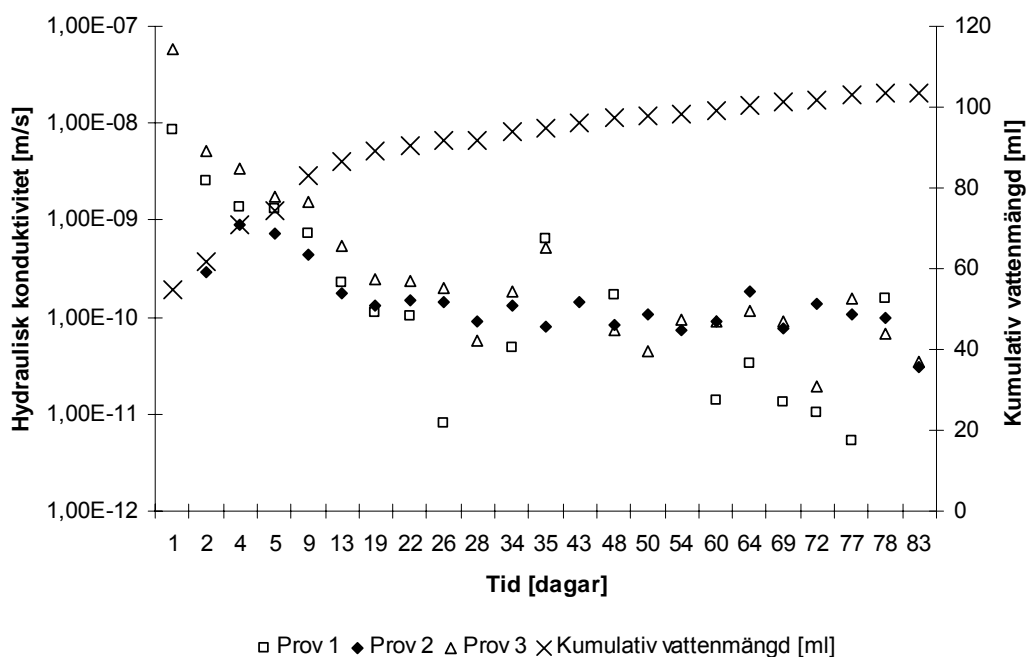
6.5 Hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten (också kallad permeabilitet) är ett mått för att uppskatta mängden vatten som förväntas tränga ner (perkolerar) genom tätskiktet in i deponin. Förutom själva tätskiktet bidrar även övriga lager i sluttäckningen till funktionen men tätskiktets hydrauliska konduktivitet måste vara bekant för att kunna dimensionera skiktets mäktighet. Beroende på konstruktionens lutning och permeabiliteten av dräneringslagret ovanpå behöver tätskiktets hydrauliska konduktivitet ligga mellan 10⁻⁸ och 10⁻⁹ m/s. Figur 8 visar resultat från förstudien där olika slaggblandningar har testats med avseende på deras hydrauliska konduktivitet. Blandningar med högre tillsatt vattenmängd och som har packats efter 6 eller 24 timmars fördröjning var mera genomsläppliga än blandningar med mindre vatten och som hade packats direkt efter vattentillsats.



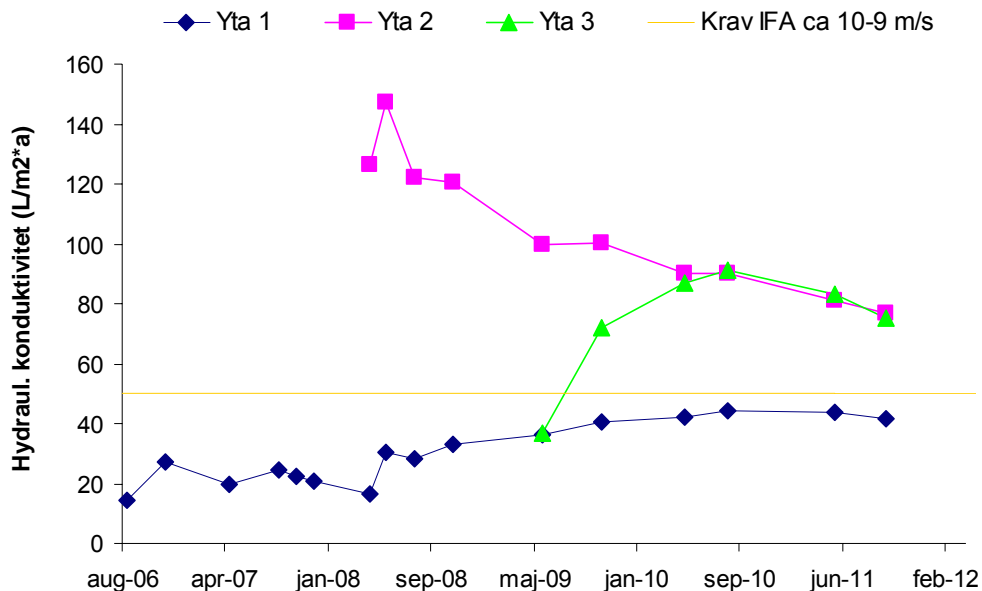
Figur 8 Hydraulisk konduktivitet hos olika tätskiktblandningar (EAFS 1+LS) i förstudien gjord på lab som packades efter olika tidsintervaller och vid olika vattenkvoter (HC... Hydraulic conductivity; WC... water content)

Inför konstruktionen av provyta 2 och 3 testades en blandning bestående av 65 % EAFS 1+2 (≤ 8 mm) och 35 % EAFS 4+LS (≤ 20 mm), Figur 9. Andelen EAFS 4+LS minskades för att kunna bygga större ytor med den mängden av dessa slaggar som faller årligen. Som Figur 9 visar blev genomsläppligheten i labförsöket mycket låg; efter stabilisering av vattenflödet i medel $10^{-10} \text{ m s}^{-1}$. På grund av denna låga permeabilitet i samband med problem vid krossningen valdes även att öka maximal kornstorlek i fält till 35 mm.



Figur 9 Hydraulisk konduktivitet hos en tätskiktblandning bestående av 65 % EAFS 1+2 (≤ 8 mm) och 35 % EAFS 4+LS (≤ 20 mm) gjord på lab som senare testades i provyta 2 och 3

Som resultaten för vattengenomsläppligheten i fält visar (se Figur 9), blev detta recept dock mindre lyckat varför man valde att återgå till en tätskiktsblandning som innehåller (minst) 50 % av de finare slaggerna och en krossning på max 20 mm. Beskrivningen av slagghantering och konstruktion av tätskikt i de följande avsnitt baseras enbart på receptet som användes i de sista två provytorna (yta 4 och 5).



Figur 10 Hydraulisk konduktivitet i fält för provyta 1, 2 och 3 jämfört med kravet för sluttäckning av icke-farligt avfall-deponi på 50 l/m²*a

7 HANTERING AV SLAGG

I det här kapitlet beskrivs hur slaggerna lagras, krossas och blandas inför byggnationen i en kedja från stålverket över krossverket till deponin som skall sluttäckas.

7.1 Hantering av slagg på stålverket

I stålverket är följande processer av betydelse för slaggernas framtida egenskaper och användningsmöjligheter:

- Slaggbildartillsats
- Utmatning, kylning
- Lagring (mellanlagring)

Slaggbildartillsats

Slaggbildartillsatsen kan modifieras på olika sätt så att slaggens sammansättning påverkas i en önskad riktning; t ex genom att använda olika kvalitet respektive olika kemisk sammansättning på den slaggbildare som används, eller genom att ändra blandningen av slaggbildare (kalk, dolomit, recirkulerad slagg, osv.).

Utmatning och kylning

Slaggen matas ut från ljusbågsugnen i slaggrytan som fraktas till fyra slaggtömningsfack vid slagghanteringsytan (se Figur 11). Där töms slaggrytan över kanten: EAFS 3 (Moslagg) i höger fack, EAFS 1 och 2 (blandade) i de två mittersta och EAFS 4 samt LS (blandade) i vänster fack. Under slaggtömning och någon minut efteråt sprider man vatten över respektive fack för snabbare kylning, utom för EAFS 4 och LS som inte vattenkyls för att inte förstöra deras cementegenskaper.



Figur 11 Slaggtömnings- och avsvalningsfack på Uddeholms AB, maj-2010

Lagring

Efter avkylning tas slaggerna ut på nedansidan av facken och forslas till förvaringsfickor/bås (se Figur 13 och Figur 12). Där mellanlagras de en kortare tid innan Emtbjörks AB tar hand om dem (se 7.2). Fickan för EAFS 4 och LS är försedd med tak och dessa två slaggar förvaras här hela tiden fram till att de ska användas. Först då körs de till krossverket för blandning med slagg EAFS 3 och vatten direkt inför utläggning som tätskikt. En ytlig härdning av de reaktiva slaggerna LS och EAFS 4 under lagringstiden kan förekomma i kontakt med fukt, vilket dock inte är något problem för framtida användning eftersom härdningen bara resulterar i en ”skorpa” på någon centimeter. Under senare hantering bryts detta yt-skikt sönder och slaggen blandas med oreagerad slagg. Lagringstiden under projektet har varit maximalt ett år. Enligt erfarenheter från personalen på stål- respektive krossverket bör dock även längre lagringstider vara möjliga.

7.2 Hantering av slagg på krossverket

Företaget Emtbjörks AB driver krossverket och sköter krossning, lagring, blandning, sortering/siktning av slaggerna och genomför även byggnationen av provytorna i samarbete med kommunen (personal från återvinningsanläggningen). Krossverket är beläget granne till deponin Holkesmossen i nordöstlig riktning.

Ljusbågsugnsslaggerna transporteras löpande från stålverket till krossverket där de lagras inför bearbetning och användning i sluttäckningen. EAFS 4 och LS transporteras till krossverket först strax innan användning.

Lagring

Lagring sker i separata högar för EAFS 1+2 och EAFS 3. Eftersom EAFS 3 innehåller lättlöslig molybden lagras den under tak för att undvika utlakning. Lagring av EAFS 4 och LS sker som tidigare nämnt under tak på stålverket.

Tabell 9 Slagger och skikt som de används i

Slagg	Skikt
EAFS 1+2	Avjämnning ovanpå avfallet Dränering ovanpå tätskiktet
EAFS 3	Finkrossad i tätskiktet
EAFS 4+LS	Tätskikt

Krossning och siktning

Krossning och siktning genomförs på följande sätt, se **Tabell 10**.

Tabell 10 Krav för krossning och siktning av slagg för de olika skikten i sluttäckningen

Skikt och skiktjocklek (skiktföljd nerifrån)	Slagg och krossning	Siktning/sortering
Avjämnning ovanpå avfallet	EAFS 1+2: ingen krossning mycket stora bitar sorteras ut	0 - 150 mm
Tätskikt	EAFS 3: fin fraktion efter krossning i flera steg	mindre än 20 mm
	EAFS 4, LS: ingen krossning	mindre än 20 mm
Dräneringsskikt	EAFS 1+2: krossning och sortering	20 - 60 mm

Blandning av tätskiktsmaterial

För tätskiktet har det i laboratorieförsök tagits fram ett antal recept för materialblandningar som efter packning ger ett starkt och lågpermeabelt¹ material som uppfyller både funktions- och miljökraven.

Medan man i provyta 1 testade en blandning av enbart EAFS 1+2 och LS gick man sedan över till ett koncept där alla slaggar kan användas.

Den favoriserade blandningen består av:

- **50 vikt-% krossad+siktad EAFS 3** (0-20 mm)
- **50 vikt-% EAFS 4 och LS** (0-20 mm varav det mesta är < 0,25 mm; andelar EAFS 4 och LS enligt fallande mängder)

Siktcurvor ska göras på olika charger av blandningen för att optimera framställningsprocessen och säkerställa jämn kvalitet. Minst tre prover ska tas i början av varje konstruktionstillfälle (i Hagfors troligtvis ett per år) och sedan ytterligare några prover, förslagsvis ett per vecka under pågående byggnation.

Blandningen sker efter att de rätta materialfraktionerna har krossats fram genom att lägga en skopa med EAFS 1+2 på en hög framför sorterings-/blandningsverket (till höger i Figur 14) och sedan en skopa med samma mängd (vikt!) EAFS 4+LS. Skopan som används har en vågfunktion vilket underlättar att följa receptet exakt. Slaggerna lyfts sedan i snabb takt upp i inmatningsbehållaren varifrån de via bandet transporteras fram till ett sorteringsverk med två siktar: 30 och 20 mm. Materialet som går genom sikten faller sedan ner på marken medan rätt mängd vatten tillsätts via perforerade rör, se Figur 16.

Materialet som inte passerar sikten bestod under byggnationen av provyta 5 år 2011 till största delen av EAFS 3 (slaggbitar har ofta en långsmal form efter krossningen vilket gör att de kan fastna på sikten), men också av glasbitar från skänkslaggen. Mängden av detta spill var under 10 % och materialet kasserades. En annan möjlighet är att föra tillbaka det till krossen, om man bedömer att det huvudsakligen består av EAFS 3 och därmed inte påverka noggrannheten i blandningsförhållanden enligt recept.

Ytterligare blandning sker när materialet lyfts på dumpern för transport till deponin, när det töms från dumpern och slutligen när det fördelas på konstruktionsytan med grävmaskin.

Vatteninblandning

Inblandning av vatten i tätskiktsmaterialblandningen sker så kort tid som möjligt innan utläggning och packning av materialet. Vattnet ska vara jämnt fördelat i materialet. För ovan nämnd blandning bör andelen vatten vara:

10 ± 1 vikt-% räknat på den torra blandningen (dvs. 100 kg vatten per 1 ton torrt material).

Kvalitetskontroll: ta 3 prover á ca 0,2 kg var från varje charge (lass) och bestämma fukthalt (väga fuktigt omgående, torka i 105°C i 24 h, väga torrt efter avkylning i exsickator², beräkna fukthalten).

¹ Det är inte meningen att tätskiktet ska vara helt tätt utan för att inte nedbrytningsprocesserna i avfallet stannar av är det önskvärt att en viss mängd vatten släpps igenom. Lagkravet för hela sluttäckningskonstruktionen är att detta ska vara mindre än 50 liter per m² och år.

² Ett tjockväggigt glaskärl med slipat, lufttätt slutande lock som används för att kyla ner varma prover efter t ex torkning för att förhindra återupptag av vatten i provet.



Figur 14 Utrustning för siktning och inblandning av vatten vid krossverket (2006). Stora bitar sorterades bort vid gallret till höger och efter bandet sorteras slaggarna i fin och grov fraktion. Vatten tillsätts till den fina fraktionen medan den faller ner på marken. Efter att skänkslaggen har börjat lagras under tak har det inte förekommit en sådan grov fraktion i materialet.



Figur 15 Detajlbild grov och fin fraktion efter sortering vid konstruktion av provyta 2 i augusti 2006



Figur 16 Vatteninblandning vid utmatningen från sorteringsverket 2006 (ovan) och 2011

Efter vatteninblandningen ska materialet transporteras omedelbart till byggnationsplatsen på deponin och läggas ut samt packas inom max 6 timmar.

7.3 Hantering av slagg på deponin

I Hagfors förs slaggen till deponin först i samband med byggnationen av sluttäckningen (utom avjämningsmaterial, se nedan). Detta är möjligt tack vare närheten till krossverket. Det är viktigt att materialen finns lättillgängliga eftersom byggnationen måste ske utan stör-

re avbrott. Särskilt tätskiktet är känsligt för uttorkning och måste därför täckas med dräneringslagret och åtminstone 0,5 m skyddsskiktmaterial direkt efter installationen.

8 BYGGNATION

8.1 Avjämning och gasdränering

Deponiytan kompakteras och avjämnas inför installationen av sluttäckningen och erforderliga släntlutningar säkerställs. Slaggen som används i avjämningskiktet bidrar genom sin vikt till kompressionen av underliggande avfall samt fångar upp en del sättningarna vilket minskar risken att tätskiktet skadas genom ojämna sättningar framöver. För att maximalt utnyttja denna effekt kan man med fördel utföra avjämnningen långt före installationen av sluttäckningen. Ljusbågsugnsslaggernas höga densitet är av fördel vid användning som avjämningsmaterial.

För att undvika att deponigas samlas under tätskiktet ska avjämningskiktet anslutas till deponins gasinsamlingssystemet. En samling av deponigas under tätskiktet kan skada tätskiktet dels rent mekaniskt genom tryck och dels genom uttorkning och sprickbildning ifall gasen kommer i kontakt med syre och oxideras (bryts ner) under värmeutveckling.

Utläggningen sker med bandtraktor eller grävmaskin. Ingen kompaktering sker förutom överkörning under utläggningen.

8.2 Utläggning och packning av tätskiktet

Materialen lastas till deponin med dumper och töms på plats för tätskiktskonstruktionen, Figur 17. Därefter dras det ut med grävmaskin, Figur 18. Utläggningen sker i tre lager om 0,35-0,4 m med direkt efterföljande kompaktering. Denna sker med en stor padda eller vält (beroende på storleken på ytan) och minst tre överfarter ska göras innan nästa lager läggs på.



Figur 17 Tömning av slagg från dumpern inför utläggning av tätskiktet



Figur 18 Utläggning av slagg för tätskiktet ovanpå avjämningskiktet

I laboratoriet komprimerades materialet vid inpackning (med lätt Proctortest) med ca 36 %, dvs. ett 0,5 m tjockt skikt skulle efter kompaktering vara ca 0,32 m tjockt. För ett tätskikt på 0,7 m behövs därför tre lager á 0,35-0,40 m.

Det är viktigt att byggnationen sker inom en så kort period som möjligt för att undvika att ytan ligger öppen och torkar ut. Förutom avdunstningen förbrukar också de cementserande härdningsprocesser vatten. Uttorkning kan leda till sprickbildning men även frysning eller för hög vattenhalt vid regn skulle försämra tätskiktets barriärfunktion. Därför måste drän- och skyddsskikt läggas på så snart som möjligt. Detta innebär att byggnationen måste planeras så att tätskiktet byggs i mindre avsnitt som kan slutföras och täckas över inom några dagar.

Kvalitetskontroll: 3 st. kolvprover tas i början av utläggningen för att justera packningen, sedan ytterligare 3 prover per lager tätskikt. Mäta vikt och volym, bestämma TS (se ovan), beräkna packningsgrad (densitet). Resultatet bör ligga vid **2,1 t/m³ ± 10%**.

Provyta närmast lysimetrar i provytorna: Tätskiktet packas med padda – en liten kring och ovanför lysimetrarna samt en stor på övriga ytor.

8.3 Dränskikt

Dränskiktet läggs ut efter att en geotextilduk har placerats ovanpå tätskiktet. Utläggningen sker med gräv- eller bandmaskin som lägger materialet bakom sig så att man undviker att köra i materialet. Någon packning förekommer inte.

Vid utformningen av sluttäckningen bör stor hänsyn tas till släntlängderna. Vid långa flacka slänter måste vatten som når dränskiktet föras bort så att inte allt dränerande vatten belastar tätskiktets yta nära släntfoten. 15-25 m avstånd mellan dränrören är att rekommendera.

8.4 Skydds- och vegetationsskikt

Skyddsskiktet består av en blandning innehållande 80% schaktmassor (typ siltig morän), 10% rötat och komposterat avloppsreningslam och 10% bioaska. Andelen slam kan variera

och höjas till max 40% ifall schaktmassorna innehåller främst sandigt material. Materialet blandas på deponin, med fördel innan själva sluttäckningsinstallationen.

Utläggningen utförs med gräv-/bandmaskin och materialet läggs framför skopan ovanpå en geotextilduk. Det innebär att skiktet packas en gång vid överfart. Hela skiktet ska läggas ut vid ett och samma tillfälle. Ytterligare en överfart sker i samband med utläggning av växtskiktet.

Växtskiktet består av kompost som framställs på anläggningen och läggs ut på samma sätt som skyddsskiktet.

9 KVALITETSSÄKRING OCH RISKBEDÖMNING

9.1 Allmänt

Ansvarig arbetsledning svarar för att utläggningen dokumenteras av entreprenör i dagbok kompletterad med fotografier. Noteringar görs om väderförhållanden, provtagningar och mätningar m m. Provtagning av material och färdig konstruktion sker med en frekvens som bestäms av materialens variation. I samband med detaljprojekteringen upprättas en plan för provtagning och dokumentation. Kvalitetssäkringen omfattar också riskhantering.

9.2 Platskontroll/egenkontroll

Platskontroll utförs av ansvarig arbetsledning och omfattar provtagning på packning av tätskikt, krossning och blandningsförhållanden av olika materialslag och upparbetning av material. Vidare ansvarar arbetsledning för provtagning av material som ska användas som konstruktionsmaterial.

Följande kontroller och intervaller föreslås:

Krossning, sortering och blandning av slagg	Kontroll dagligen i början av skiftet på krossverket, jmf Tabell 10 och texten nedanför
Vattenhalt i tätskiktetsblandningen	Kontroll vid utläggningen på deponin. 3 prover á ca 0,2 kg tas från varje lass för analys
Packningsgrad tätskikt	Kontroll vid utläggningen på deponin. 3 st. kolvprover tas i början av utläggningen för att justera packningen, sedan ytterligare 3 prover per lager tätskikt

9.3 Funktionskrav och riskanalys vid deponikonstruktioner

Utformningen av sluttäckningen har baserats på en analys av funktionskrav och förutsebara risker. Det som inte kan förutses är t ex inverkan av mänsklig aktivitet och olyckor. Studier av befintliga sluttäckningar med tätskikt som motsvarar nuvarande krav på sluttäckning har i Europa framför allt utförts i Tyskland. Resultat därifrån visar att de vanligaste orsakerna till en försämrad täthet är uttorkning med påföljande sprickbildning och penetration av rötter (Ramke et al. 2002). Till detta kan läggas byggfel. Orsak för uttorkning förutom rotpenetrering är framförallt att vatten stiger kapillärt in i skydds- och vegetationsskikt på grund av att dräneringsskiktets kapillärbrytande funktion varit otillräcklig. Det är viktigt att en god dokumentation och kvalitetsuppföljning sker genom hela anläggningen.

Generellt kan det sägas att en sluttäckning utsätts för samma påverkan av väder och vind som all annan mark. Det som därvid speciellt måste tas hänsyn till är effekter av temperatur, nederbörd, vind och vegetation. I den föreslagna konstruktionen ingår tre skikt med syfte att förebygga skador på tätskiktet orsakade genom denna påverkan; vegetationsskikt, skyddsskikt och dränering. Dessa skikt är utformade med hänsyn tagen till dagens klimat i södra Sverige, d v s söder om Sundsvall. En global uppvärmning pågår och kommer att inverka under tätskiktets funktionella livslängd, men effekten på lokal nivå kan inte förutses. I den design som gjorts har en säkerhetsfaktor på ca 2 används m a p typiskt tjäldjup för orten. Frostpåverkan bedöms som en kritisk faktor eftersom tätskiktet kommer att kunna ha ett högt vatteninnehåll.

Effekten av frysning kan beskrivas som uttorkning och porbildning. Rotpenetrering är en risk som kan motivera betydligt större skiktjocklekar, men är mindre sannolik så länge skyddsskiktet inte torkar ut. Undersökningar på existerande mineraliska sluttäckningssystem i Tyskland under de senaste 10 åren har underbyggt en rekommendation om minst 1,5 m mäktighet på skyddsskikt i stället för tidigare riktlinjer där 1 m rekommenderades för att undvika uttorkning (Ramke et al. 2002.) Dessutom motverkas rotpenetrering av att avfallsupplaget har en viss biologisk aktivitet med därpå följande koldioxidbildning. Risk för djupare rotpenetrering uppträder om överliggande skikt är för torra, vilket samtidigt gynnar ventilation av CO₂. De risker som är specifika för konstruktionen är främst:

- Ojämma sättningar i underliggande avfall (Differentialsättningar)
- Uttorkning
- Fallerande dränering
- Rotpenetrering

9.3.1 Differentialsättningar

För hushållsavfallsupplag kan man, beroende på sammansättningen och uppbyggnad av deponi, förvänta sig sättningar mellan 10-40 % av fyllnadshöjden. Sättningarna beror dels på att avfallet trycks samman (och gas och vätska pressas ut) genom sin egen vikt, dels på att en del av avfallet bryts ned. Den förstnämnda konsolideringsmekanismen har störst inverkan under uppbyggnadsskedet och några få år därefter medan nedbrytningen kan fortgå på en relativt jämn nivå under några decennier. Vid en sluttäckning har merparten av sättningarna redan inträffat.

Differentialsättningar uppstår p g av att avfallsupplagets mäktighet varierar över dess yta och att avfallets sammansättning och uppläggning varierar. Differentialsättningar större än en halvmeter över en sträcka på ett par meter är mindre sannolika för ett avslutat hushållsavfallsupplag men i de fall där andra typer av avfall samdeponerats kan stora lokala sättningar inträffa i samband med att kaviteter kollapsar. Tätskikt av enbart EAFS och LS blir stel genom cementeringsprocesser som uppstår i samband med vätning, och sprickbildning kan förekomma i samband med sättningar.

Försiktighetsåtgärder: Upplagets historik bör undersökas, data som behöver utvärderas är underliggande markprofil, fyllnadsdjup, avfallssammansättning, avfallsålder och typ av komprimering. Dessutom kan geoteknisk förundersökning och vid behov förkompaktering utföras. Ett tjockare utjämningskikt kan i någon mån kompensera för lokala sättningar. Tätskiktet i topptätningar bör göras minst en halv till en meter tjocka för att kunna ta upp normala differentialsättningar. En ökad tjocklek medför även att det tar längre tid innan vättnings- och karbonatiseringsprocesser har påverkat allt material, vilket underlättar en självläkning dels genom att oreagerat material lättare kan omlagras och dels har det kvar en

viss reaktivitet. Genom att påföra tätskikten i flera lager uppstår en täthetsstratifiering som torde gynna en olikformig vätning och reaktion. Stratifieringen förväntas förstärka materialets självläkande förmåga. En uppföljning av sättningar görs enligt kontrollprogrammet. Alkalisk slagg kommer att ta upp koldioxid som diffunderar från underliggande lager och utfällningar av karbonater kommer att ske i porer där gas tränger fram. Detta kommer att medföra en själtätning eftersom reaktionen är intensivast där materialet är väl fuktat.

9.3.2 Uttorkning

Uttorkning är i detta sammanhang processer som leder till att tätskiktets vatteninnehåll sjunker eller omfördelas så att sprickor kan uppstå. Torkning kan ske genom flera processer, t ex: växters vattenupptag, frysning (vattnet samlas i islinser), kapillär stigning, utsaltning och avdunstning p g a temperaturgradienter. Även tryckgradienter mellan dränering och atmosfären kan leda till gasutbyte och uttorkning. Avfallsupplag med bioaktivitet har i regel en övertemperatur relativt omgivningen. Beroende på upplagets geometri och bioaktivitet kan man räkna med 10-50 graders övertemperatur jämfört med årsmedelvärdet för lufttemperaturen. Ett särskilt kritiskt fall är om uppströmmande metangas oxideras i eller nära tätskiktet. I gasdräneringsskikt och -ledningar har temperaturer nära 100 grader uppmätts till följd av metanoxidation (Lagerkvist 2003).

Försiktighetsåtgärder: Genom material och utförande av överliggande skikt kan de flesta av ovan nämnda problem undvikas. Genom att hålla dräneringsskiktet utan kontakt med atmosfären minskar risken för uttorkning genom metanoxidation. En uppföljning av dräneringens luftkontakt kan göras genom enkla observationer på insamlat vatten, t ex genom att mäta pH-värdets förändring över en timme i luftkontakt. Ett oluftat dräneringsvatten i koldioxidrik atmosfär kommer att ha ett stigande pH-värde då det kommer i jämvikt med atmosfären.

9.3.3 Fallerande dränering

Om dräneringen ej fungerar kan områden med stående vatten uppstå och skapa tryck på tätskiktet, vilket ökar vattengenomströmningen. Dräneringens funktion kan störas av sättningar som skapar lokala vattensamlingar och böjer ledningar. En annan risk är igensättning pga. erosion från ovanliggande lager eller utfällningar pga. kemiska reaktioner i infiltrat. Dräneringen kan även påverkas av rötter.

Försiktighetsåtgärder: Genom att anlägga utjämningskiktet i erforderlig lutning kan backfall undvikas. Övriga risker hanteras på samma sätt som risker för uttorkning.

9.3.4 Rotpenetrering

Om skyddsskiktet erbjuder möjlighet för etablering av träd och buskar men inte förmår lagra tillräckligt med vatten för överlevnad under torrår ökar risken för att rötter söker sig ned genom dränerings- och tätskikt.

Försiktighetsåtgärder: Rotpenetrering kan motverkas genom en kombination av olika anläggnings- och driftåtgärder:

- Genom att anlägga skikten ovan dräneringen av material med en god vattenhållande förmåga och en relativt stor mäktighet kan drivkraften till rotpenetrering minskas.

- Genom att konstruera avvattningen från dräneringen så att ventilation med självdrag undviks. Därmed ökar koldioxidhalten i dräneringen och detta verkar kvävande på rötter.
- Användning av finmaskig geotextil som materialseparerande skikt mellan skyddsskikt och dränering försvårar rotnedträngning.
- Genom att så in med gräs och buskar som inte bildar djupa rötter och genom att avverka större träd kan risken reduceras. Större träd är även en riskfaktor genom att vindfällan kan uppstå.

10 ANDRA LÄMPLIGA SLAGGER

Utöver de slagger som användes i exemplet Hagfors finns det andra slagger med potentiellt lämpliga egenskaper för användning i sluttäckningskonstruktioner eller applikationer med liknande funktionskrav. Tabell 11 visar en sammanställning över slagger från svensk stål-tillverkning och potentiella användningsområden inom en sluttäckning. Mera information om de olika slaggen och deras tillverkning finns i Jernkontorets handbok för restprodukter ”Stålindustrin gör mer än stål” (JK 2009; en ny upplaga utkommer under 2012).

Tabell 11 Potentiellt lämpliga slagger och användningsområden inom en sluttäckningskonstruktion och företag inom Sverige där dessa slagger genereras

Slagg	Avjämnning ^{1/}	Tätskikt ^{2/}	Dränering ^{3/}	Företag, ort
Masugnslagg	x	x	x (siktad)	SSAB EMEA, Luleå och Oxelösund
Ljusbågsugnslagg	x	x (krossad, siktad)	x (siktad)	Outokumpu, Avesta SMT Sandviken Erasteel Kloster, Söderfors Uddeholms, Hagfors Höganäs, Halmstad Ovako Bar, Smedjebacken Ovako, Hofors Scana Steel, Björneborg
Skänkungslag		x (oreagerad, ej vattnad)		Outokumpu, Avesta Ovako Bar, Smedjebacken Ovako, Hofors SMT Sandviken Scana Steel, Björneborg SSAB EMEA, Luleå SSAB Merox, Oxelösund Uddeholms, Hagfors
AOD slagg, borstabilerad	x	x	x	Outokumpu, Avesta SMT Sandviken
Blandningar av AOD och skänkungslag	x	x (lågpermeabel)		Outokumpu, Avesta SMT Sandviken
LD-slagg	x	x		SSAB EMEA, Luleå och Oxelösund

^{1/} Generellt kan man säga att kraven på renhet (dvs. låg miljöpåverkan, t ex utlakning) ökar ju högre upp man kommer i konstruktionen. Materialet i avjämnings- och tätskiktet bör minst uppfylla samma krav som avfallet som får deponeras i den aktuella deponin.

^{2/} Lagkravet m a p täthet (mindre än 50 liter per m²) och år gäller för hela sluttäckningskonstruktionen vilket innebär att tätskiktets permeabilitet kan variera beroende på hela konstruktionens design (t ex lutningar) och övriga skiktens utformning och kvalitet.

^{3/} Dränmaterialet måste vara mekaniskt stabilt och ha sådan kvalitet att någon ”risk för människors hälsa och miljön inte föreligger” (NFS 2004:5), se Tabell 3.

På varje stålverk och från varje separat metallurgisk process i ståltillverkningen produceras olika typer av slagg med olika egenskaper. Även slaggar av samma typ kan skilja sig åt mellan olika stålverk. Om en slagg är möjlig att använda i t ex avjämningskiktet eller någon annan stans i en sluttäckningskonstruktion eller inte måste därför avgöras från fall till fall

De faktorer som avgör möjligheterna att använda en slagg i olika delar av konstruktionen är

- kemisk stabilitet, dvs. frånvaro av mineralförändringar i slaggen med tiden och låg utlakning till vattenfas
- partikelstorlek
- mekaniska egenskaper
- cementbindande egenskaper

Vissa mineralförändringar kan bidra till ökad mekanisk och kemisk stabilitet (sekundär härdning genom hydratisering, karbonatisering) över tiden men bör vara undersökta noggrant innan slaggerna används.

Egenskaper, så som utlakning, långtidsstabilitet, cementbindande förmåga etc. är beroende på den mineralogiska sammansättningen i materialet. Detsamma gäller troligen de mekaniska egenskaperna, även om dessa samband inte har studerats i större omfattning än. Detta gör att till synes liknande slaggar med ungefär samma kemiska totalsammansättning kan ha olika egenskaper beroende på små skillnader i sammansättning och avkylningsförlopp som ger olika mineralsammansättning i den slutliga slaggen. Vissa ljusbågsugns slaggar uppvisar stor mekanisk hållfasthet och samtidigt låg utlakning, medan exempel på det motsatta också finns. T ex skänkgugnsagg kan generellt sägas ha goda cementbindande egenskaper om den behandlas på rätt sätt, genom dess normalt höga andel av cementbildande aluminater. Potential torde också finnas att styra sammansättningen hos flera slaggtyper så att de cementbindande och andra egenskaperna optimeras.

En grundlig genomgång av vilka faktorer som styr bl a sönderfall, utlakning och cementbindande egenskaper, hur dessa kan påverkas och vilka specifika egenskaper och användningsområden olika slaggar skulle kunna ha presenteras i en annan rapport från detta projekt, ”Rekommendationer för hantering och modifiering av slagg” (Engström et al., 2012).

11 GUIDE FÖR KONSTRUKTION AV DEPONI MED SLAGG

Vid konstruktion av deponitäckning med hjälp av slagg är det utifrån gjorda försök viktigt att beakta nedanstående punkter. Till det kommer även andra saker som är generella för konstruktioner i allmänhet samt för deponisluttäckningar i synnerhet (NFS, 2004a; Andreas & Tham, 2009)

11.1 Materialets egenskaper

Slaggsammansättning

Syfte (varför ska den beaktas): För att få ett fungerande tätskikt är t ex cementbindande egenskaper i slaggen önskvärda. Däremot bör innehåll av mineralfaser som kan försämra slaggens volymstabilitet (*fri* CaO och MgO) minimeras.

Målvärde (hur ska den vara för att uppnå syftet): Slaggen bör innehålla mycket Al_2O_3 och CaO men även SiO_2 , som är byggstenar för mineralfaser som Ca-aluminater och di-kal-

ciumsilikat i den stelnade slaggen. Ca-aluminater och di-kalciumsilikat har starka cementbindande egenskaper och ingår i kommersiella aluminat- och portlandcement.

Utlakningsbeteende

Syfte: Att använda slagger i konstruktioner i samhället får inte medföra risker att skada miljön i angränsande områden eller vattendrag.

Målvärde: Utlakningen av potentiellt miljöstörande ämnen ska vara så låg att, beroende på tillämpningsområde, inga eller enbart ringa risker för påverkan av miljö och hälsa föreligger. Vid användning inom konstruktioner på en deponi måste materialet uppfylla de plats-specifika krav som finns för konstruktioner på deponin i fråga, vilket ofta sammanfaller med de allmänna kriterierna för det avfall som får läggas på den aktuella deponin.

Skrymdensitet och packningsegenskaper

Syfte: Densiteten är viktigt att känna till för att kunna framställa blandningar exakt enligt recept och för att tillsammans med konsolidering under packningsarbetet kunna beräkna mängder/volymer material som behövs per kvadratmeter eller hektar sluttäckningsyta.

Material med hög densitet är av fördel vid användning som avjämningsmaterial.

Målvärde: Värdena är beroende på material och själva storleksordning spelar en underordnad roll. Det viktiga är att testa materialen och känna till värdena. Obs! Med reaktiva material som skänkslagg förändras packningsegenskaper över tid efter vatteninblandning och den maximala densiteten vid optimal vattenhalt blir lägre. Detta leder till försämrad stabilitet och täthet och ska därför undvikas.

Kornstorleksfördelning

Syfte: Partikelstorleken visar vad materialet har för lämpliga användningsområden och hur olika slagger kan blandas för att få olika egenskaper. Med hjälp av kornstorleksfördelningen kan en preliminär uppskattning av materialets packningsegenskaper, permeabilitet, porositet, friktionsegenskaper och frostkänslighet göras.

Målvärde: Finkorniga slagger är lämpliga som tätskiktmaterial i kombination med ett grövre ballastmaterial för att förlänga härdningstiden och öka den mekaniska stabiliteten.

Om man vill ha ett tätt skikt så bör kornstorleken för materialet inte överskrida en diameter motsvarande ca 1 % av skiktets tjocklek, t ex 10 mm för ett 1 m tjockt skikt. Siktcurvan för tätskiktmaterial skall inte vara ensartad utan månggraderad. Graderingstalet C_U (d_{60}/d_{10}) anger kurvans stigning och bör vara minst 10-15.

Grovkorniga material som är kemiskt och mekaniskt stabila kan användas i dräneringsskikt. För dräneringsmaterialen eftersträvas det därför en brantare (ens- eller mellangraderad) siktkurva ($C_U < 6$).

Hydraulisk konduktivitet (permeabilitet)

Syfte: Olika skikt inom sluttäckningen har olika funktioner som direkt eller indirekt hänger ihop på materialets permeabilitet. Den hydrauliska konduktiviteten är ett mått för att uppskatta mängden vatten som förväntas tränga ner (perkolera) genom respektive material. T ex måste tätskiktets hydrauliska konduktivitet vara bekant för att kunna dimensionera skiktets mäktighet.

Målvärde: Hela konstruktionens permeabilitet ska uppfylla kraven i deponiförordningen, dvs mängden lakvatten som perkolerar genom täckningen får inte överskrida 50 l/m²*år för deponier för icke-farligt avfall och 5 l/m²*år för deponier för farligt avfall.

Tätskiktets permeabilitet ska vara låg och bör beroende på skiktets lutning, släntlängd och permeabiliteten av dräneringslagret ligga mellan 10⁻⁸ till 10⁻⁹ m/s.

Dränkskiktets permeabilitet bör vara minst 10⁻⁴ m/s.

Skyddsskiktets permeabilitet bör ligga i storleksordningen 10⁻⁵-10⁻⁶ m/s.

11.2 Slagghantering, från stålverk tills slaggen ska användas

Utmatning och kylning

Syfte: Under kylningsprocessen bildas mineralfaser i slaggen som påverkar slaggernas fysiska och kemiska egenskaper. Beroende på kylningshastighet kan olika mineral formas.

Hur: Slaggar för avjämning, dränering och till ballast i tätskiktet kyls på det vis som ger ett kemiskt och fysiskt stabilt material med bra krossningsegenskaper.

Slaggar med cementbindande egenskaper får svalna utan vattentillsats för att inte förstöra de cementbindande egenskaperna.

Lagring

Syfte: För att få ihop tillräckliga mängder slagg för att kunna bygga en tillräcklig stor yta måste slaggerna lagras under viss tid.

Hur: Reaktiva slaggar ska lagras under tak. En ytlig härdning har visat sig under lagringstiden kan förekomma i kontakt med luftfuktighet, vilket dock inte är något problem för framtida användning.

Lagringen av slaggar till dränering och avjämning kan ske på öppen yta utom ifall man vill undvika utlakning av lösliga ämnen t ex molybden. I sådana fall ska lagringen ske under tak dock gärna i kontakt med atmosfärisk koldioxid och luftfuktighet eftersom dessa kan bidra till mindre utlakning på sikt.

Krossning och sortering (siktning)

Syfte: För att få fram de fraktioner som behövs för de olika skikten är det nödvändigt att krossa och sikta slaggerna. För avjämningen kan dock grov slagg användas.

Hur:

Avjämning	Ingen krossning, mycket stora bitar sorteras ut, 0-150 mm
Tätskikt	Ballast: fin fraktion efter krossning i flera steg, mindre än 20 mm Bindande material: Om sönderfallande behövs ingen krossning. Annars malning
Dräneringsskikt	Krossning och sortering, 20-60 mm

11.3 Praktisk deponikonstruktion

Framställning av tätskiktetsblandningen

Syfte: Finkorniga, reaktiva slaggar är lämpliga som tätskiktetsmaterial i kombination med ett grövre ballastmaterial för att förlänga härdningstiden och öka den mekaniska stabiliteten.

Vatten behöver tillsättas för att starta cementreaktionerna (bindning och härdning). Det är viktigt att en så homogen blandning som möjlig uppnås för att kunna säkerställa materialets egenskaper i varje del av konstruktionen.

Hur: De olika slaggerna blandas enligt framtaget recept i ett sorteringsverk eller annan lämplig utrustning. Ytterligare blandning sker under materialhantering i samband med transport och utläggning. Vattentillsatsen kan ske genom att spraya över rätt mängd över slaggen vid utmatningen från sorteringsverket eller i en tvångsblandare.

Utläggning och packning

Syfte: Utläggning och packning måste ske så snart som möjligt efter vattentillsatsen för att säkerställa kvalitén på det färdiga tätskiktet. I labbförsök uppmättes redan efter 6 timmars fördröjning en 10-15% lägre packningsgrad av slaggblandningen.

Hur: Vattentillsatsen måste ske antingen i en närbelägen anläggning eller direkt på plats på deponin som ska sluttäckas. Utläggningen och packningen ska ske inom max 6 timmar.

Avjämnning Utläggningen sker med bandtraktor eller grävmaskin. Ingen kompaktering sker förutom överkörning under utläggningen.

Tätskikt Tätskiktet påföres och dras ut med grävmaskin. Utläggningen sker i tre lager om 0,35-0,4 m med direkt efterföljande kompaktering med en stor padda eller vibrovält (beroende på storleken på ytan) och minst tre överfarter ska göras innan nästa lager läggs på.

Dränering Utläggningen sker med gräv- eller bandmaskin som lägger materialet bakom sig så att man undviker att köra i materialet. Någon packning förekommer inte.

Det är viktigt att byggnationen sker inom en så kort period som möjligt för att undvika att tätskiktet ligger öppet. Drän- och skyddsskikt måste läggas på närmast omgående, helst inom en vecka, för att undvika uttorkning och eventuellt medföljande sprickbildning, fryshet eller för hög vattenhalt vid regn. Detta innebär att byggnationen måste planeras så att tätskiktet byggs i mindre avsnitt som kan slutföras och täckas över inom några dagar.

12 SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER

Av de drygt 1,3 miljoner ton slagg som genereras inom svensk stålindustri används i dag ungefär 85 % i olika applikationer, både internt inom stålproduktionen och externt, medan resten fortfarande deponeras. Möjligheterna att bygga effektivare konstruktioner med slagg än med konventionella ballastmaterial är stora både vad det gäller själva anläggningsförloppet liksom det fortsatta behovet av drift och underhåll.

Slagger från stålindustrin är material med flera goda, specifika kemiska och tekniska egenskaper. I föreliggande rapport beskrivs ett exempel hur ljusbågsugns- och skänkslagg från höglegerad stålproduktion med fördel kan användas som konstruktionsmaterial inom sluttäckning av deponier. Exemplet Hagfors/Uddeholms AB är den första studien där man har byggt en sluttäckning med slagg i full skala och resultaten är lovande. Egenskaper som man har dragit nytta av i denna applikation är främst skänkslaggens bindande och härdande förmåga (som förekommer även i en av Uddeholms AB:s ljusbågsugnsslagger) och övriga ljusbågsugnsslaggernas kemiska och mekaniska stabilitet men även ljusbågsugnsslaggernas höga volymvikt.

Exemplet i Hagfors har visat att främst följande faktorer är viktiga för att användningen ska bli lyckad, dvs. att konstruktionen uppfyller den tänkta funktionen både på kort och lång sikt:

- Karakterisering och testning – material- och applikationsanpassad karakterisering och testning är nödvändigt för att få fram fungerande material och materialblandningar.
- Recept som har framtagits i lab måste testas även under verkliga förhållanden i fält eftersom andra faktorer spelar in och som kan leda till annorlunda resultat.
- Kommunikation, samverkan och utbildning – är viktigt så att resultaten från labtestning överförs till användningen i full skala på ett korrekt sätt och för att alla parter förstår slaggernas speciella egenskaper.
- Eftersom tätskiktets funktion till stor del beror på skänkslaggens cementbindande egenskaper är det av största vikt att materialet inte utsätts för vatten under hela hanteringskedjan från kylning till kontrollerad inblandning av vatten direkt inför konstruktionen. Lagringen ska ske under tak och inte längre än nödvändigt.
- Efter utläggning och packning av tätskiktet är det viktigt att materialet inte torkar varför drän- och skyddsskikt måste läggas på så snart som möjligt.
- Ljusbågsugnsslaggen (EAFS 1 och 2) är genom sin mekaniska stabilitet och låga utlakning lämplig som dränmaterial ovanför tätskikt. För att säkerställa den dränerande funktionen på lång sikt måste slaggen krossas till lämplig storlek, t ex 20-60 mm, och finandelen sikts bort.
- Metallavskiljning innan krossning rekommenderas för att minska slitaget på krossutrustningen.
- Optimering av processerna – slagghantering, lagring, transporter och byggnation behöver optimeras särskilt med tanke på att slaggblandningen för tätskiktet är ett reaktivt material.
- Kontroll och uppföljning – behövs för att säkerställa korrekt utförande, jämn kvalitet och samla erfarenheter över hur slaggerna fungera under fältförhållanden.

Avseende andra slagger som genereras inom svensk stålindustri finns det ett antal studier som pekar på att slagger med goda cementbindande egenskaper, som de flesta skänkslagger i ovattnat tillstånd, vissa AOD-slagger, mald granulerad masugnsslagg, m fl i kombination med slagger med hög mekanisk hållfasthet, bör kunna användas inom täta konstruktioner som t ex tätskiktet i en deponisluttäckning men även andra markkonstruktioner som vallar, hårdgjorda ytor, bärlager i väggroppar m m. Utlakningsbeteendet måste tas hänsyn till, vilket även är viktigt för användning av slagger i andra delar av en sluttäckningskonstruktion. Mekaniskt och kemiskt stabila slagger som vissa ljusbågsugnsslagger eller masugnsslagg kan användas inom avjämnings- eller dräneringsskikt.

13 UTVECKLINGSBEHOV

Medan man genom ett långsiktigt och vidsynt arbete på Uddeholms AB har löst många praktiska och organisatoriska problem för att till slut komma fram till den framgångsrika lösningen som användningen av slaggerna i sluttäckningen av Hagfors deponi idag är, finns det många utmaningar kvar för att kunna använda flera slagger på flera ställen i liknande men även andra konstruktioner. Utvecklingsbehoven ligger främst inom följande områden:

- Slagghantering – problem med damning leder till att slaggerna vattnas vid slagguttaget i de flesta stålverken. Därmed förstörs dock de cementbindande egenskaperna som behövs för att kunna bygga täta skikt.
- Lagringen kan i vissa fall bli problematiska om skänkslaggens friktionsegenskaper inte tillåter lagring i hög utan materialet ”flyter” isär. FoU behövs för att kunna förstå fenomenet och hitta lösningar. Om slaggen tas ut torrt måste kylning och lagring ske under tak.
- Slaggekemin och främst mineralogin har ett stort inflytande på slaggernas egenskaper samtidigt som de påverkas av slagghantering som kylning, lagringsförhållanden m m. Stora framsteg har gjorts inom det aktuella projektet med mycket arbete kvarstår för att säkert kunna styra slaggegenskaperna i en önskad riktning.

14 TACK

Projektet finansierades av Uddeholms AB, Hagfors kommun, Vinnova, Formas och Jernkontoret. Föreliggande rapport togs fram i samarbete med Börje Gustavsson på Uddeholms AB, medlemmarna inom Jernkontorets projekt 55012 (Konstruktionsprodukter baserade på slagg), Bo Björkman på Processmetallurgi, LTU, Lars-Erik Persson och Anna Sjörs på Hagfors kommun och Sören Haglund och Bengt Dahlgren på Emtbjörks AB. Tack till alla!

15 REFERENSER

- Andreas, L.; Engström, F.; Diener, S.; Björkman, B.; Lind, L. (2009) Konstruktionsprodukter baserade på slagg. Slutrapport JK 55011. *Jernkontorets Forskning* D832, TO55-01. ISSN 0280-249X.
- Andreas L.; Lagerkvist, A.; Tham, G. (2008) Use of Secondary Materials in Landfill Constructions. *5th ICLRS. Intercontinental Landfill Research Symposium*. Colorado, USA, September 10-12, 2008.
- Avfall Sverige (2009) Alternativa konstruktionsmaterial på deponier – Vägledning. Rapport U2009:08. ISSN 1103-4092.
- Engström, F., Yang, Q., Björkman, B., Adolfsson, D. (2012) Rekommendationer för hantering och modifiering av slagg. LTU. Rapport inom Jernkontorets projekt 55012 ”Konstruktionsprodukter baserade på slag II”.
- Friedrich F. (2010) Exploring test methods for and mechanical properties of steel slags with regard to their use as construction materials. Projektarbete *LTU, Samhällsbyggnad / Avfallsteknik*.
- Herrmann, I. Diener, S. Lind, L. Andreas, L. (2010) Steel slag used in landfill cover liners – laboratory and field tests. *Waste Management & Research*. 28(12) 1114-1121.
- Herrman, I. Hamberg, R. Andreas L. Lidström-Larsson M. (2006) Användning av stålslag i slut-täckning av Hagfors kommunal deponi – Delrapport I. *MiMeR-rapp. 2006-2-05*.
- Jernkontoret (2012) Stålindustrin gör mer än stål - Handbok för restprodukter 2012. Jernkontorets Teknikområde 55, Restprodukter. ISBN: 978-91-977783-1-2.
- Lagerkvist, A. (ed) (2003) Landfill Technology, *Technical Report 2003:15*, Luleå University of Technology, 650 p.
- NFS (2004) Allmänna råd till 3-33 §§ i förordningen om deponering av avfall (NFS 2004:5). *Naturvårdsverket*, Stockholm.

- NFS (2004) Naturvårdsverkets föreskrifter (2004:10) om deponering, kriterier och förfarande för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall. *Naturvårdsverket*, Stockholm.
- NFS (2004a), 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), elektronisk publikation. *Naturvårdsverket*, Stockholm.
- NFS (2008) Kvalitetssäkring av bottenkonstruktion och sluttäckning i en deponi – Vägledning till 32 och 37 §§ i deponeringsförordningen (2001:512), SNV rapport 5909, ISBN 978-91-620-5909-5. *Naturvårdsverket*, Stockholm.
- Ramke, H.-G.; Melchior, S.; Maier-Harth, U.; Gartung, E.; Witt, K.-J.; Heibroek, G.; Bohne, K. (ed) (2002) Status-Workshop „Austrocknung von mineral. Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen“. *Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissensch.*, Höxter Fachhochschule Lippe u. Höxter, Band 03. ISBN 3-9807985-2-6. Sammanfattning på http://www.deponie-stief.de/pdf/fachlit_pdf/2002hoexter_bd03_ergebnisse.pdf
- RVF (2006). Drift vid deponeringsanläggningar: Handbok, Återvinning, förbehandling och deponering (Deponihandbok). Arbetsgrupp "Avfallsdeponering" 2002 reviderad 2006-07-27. Malmö, RVF - Svenska Renhållningsverksföreningen/Avfall Sverige.
- SFS (2001) Förordning om deponering av avfall, SFS - Svensk författningssamling no: 2001:512, *Miljödepartementet, Stockholm, Sweden*
- SNV (2010) Återvinning av avfall i anläggningsarbeten Handbok 2010:1. *Naturvårdsverket*, Stockholm
- Svensk standard (2003) Karaktärisering av avfall - Lakttest - Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam - Del 2: Enstegs skaktest vid L/S 10 l/kg för material med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning) *SS-EN 12457/2, SIS Förlag AB, Stockholm*.

FORETAG *Emtbjörks AB*

ORT

ANSVARIG ARBETSLEDARE *B. Dahlgren*

Dagrapport

BYGGDAG NR *4*

VECKODAG *Tis* VECKA NR *38*

ARBETSPLATS AR MÅN DAG *2011 09 20*

VÄDER

TIDPUNKT *0800* TIDPUNKT *1600*

TEMPERATUR *+5* TEMPERATUR *+14*

UPPEHÅLL UPPEHÅLL
 REGN REGN
 SNÖFALL SNÖFALL
VIND M/S VIND M/S

DYGNSTEMPERATUR
MIN. MAX.

PÅBÖRJADE, PÅGÅENDE ARBETEN *Morgan EC210 avjämnings & terasering av yörläggning yta 5*

Robin L60 framkörning av matr. slagg + sand till EC210

Hans Erik FN16 Trp. av matr från Mossjön

NÄRV. ARBETSSTYRKA

EGEN UE/SE

Träarbetare		
Betongarbetare		
Armerare		
Murare		
Bergarbetare		
Maskinförare	<i>3</i>	
Rörmontör		
Vent-montör		
Elmontör		
Plåtslagare		
Målare		
Städare		
Förrädsman		
Summa		
Totalt		

FÄRDIGA ARBETEN

AVVIKELSER STÖRNINGAR, HINDER

Dränledning är läkt mellan 2 brunnar i slänktet. Lans Erik är informerad.

fätsbiktet skall blandas på marken före Poverstindel

ÄNDRINGAR OCH TILLÄGGSARBETEN

Igång för att det bli bra

Möte med Luleå lade Malin Rikard

Börje Anna Sören Lans Erik Bengt Mats Emil

Pratade lite om färdiga höjder på tippen & teraseringen & om matr som är bäst i fätsbiktet

EGENKONTROLL

Se kontrollplan nr *Kont tagits av theras + kanter*

sekt 5. sekt. 4 & väg till sekt 4 för framkörning av fätsbikt

DIREKTIV FRÅN

Beställare/ombud
 Kontrollant
 Byggnadsnämnden
 Miljö- och hälsoskydd

 Se bif. meddelande

ANMÄLAN TILL

Beställare/ombud
 Kontrollant
 Byggnadsnämnden
 Miljö- och hälsoskydd

 Se bif. meddelande

BESIKTNINGAR

Byggnadsnämnden
 Yrkesinspektionen
 Elinspektionen
 Sv. Anläggn-provning
 Miljö- och hälsoskydd

MOTTAGNA RITN.

Arkitekt
 Konstruktör
 Rör
 Ventilation
 El
 Ny/rev. ritning
 Se bif. följesedel

ÖVRIGA NOTERINGAR

Skyddsrand
 Föreslagna åtgärder vid skyddsranden avklarade

PLATSCHEF

BESTÄLLARE/KONTROLLANT

FÖRETAG		Dagrapport		BYGGDAG NR
ORT		PROJEKT/PROJEKTNR	VECKODAG	VECKA NR
ANSVARIG ARBETSLEDARE		ARBETSPLATS	ÅR	MÅN DAG

VÄDER		PÅBÖRJADE, PÅGÅENDE ARBETEN			
TIDPUNKT	TIDPUNKT				
TEMPERATUR	TEMPERATUR				
<input type="checkbox"/> UPPEHÅLL <input type="checkbox"/> REGN <input type="checkbox"/> SNÖFALL <input type="checkbox"/> VIND M/S	<input type="checkbox"/> UPPEHÅLL <input type="checkbox"/> REGN <input type="checkbox"/> SNÖFALL <input type="checkbox"/> VIND M/S				
DYGNSTEMPERATUR MIN. MAX.					
NÄRV. ARBETS-STYRKA <small>EGEN UE/SE</small>				FÄRDIGA ARBETEN	
Träarbetare					
Betongarbetare					
Armerare					
Murare					
Bergarbetare					
Maskinförare					
Rörmontör					
Vent-montör					
Elmontör					
Plåtslagare		AVVIKELSER, STÖRNINGAR, HINDER			
Målare					
Städare					
Förrådsman					
Summa					
Totalt					
DIREKTIV FRÅN		ÄNDRINGAR OCH TILLÄGGS-ARBETEN			
<input type="checkbox"/> Beställare/ombud <input type="checkbox"/> Kontrollant <input type="checkbox"/> Byggnadsnämnden <input type="checkbox"/> Miljö- och hälsoskydd <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Se bif. meddelande					
ANMÄLAN TILL					
<input type="checkbox"/> Beställare/ombud <input type="checkbox"/> Kontrollant <input type="checkbox"/> Byggnadsnämnden <input type="checkbox"/> Miljö- och hälsoskydd <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Se bif. meddelande					
BESIKTNINGAR				EGENKONTROLL <input type="checkbox"/> Se kontrollplan nr	
<input type="checkbox"/> Byggnadsnämnden <input type="checkbox"/> Yrkesinspektionen <input type="checkbox"/> Elinspektionen <input type="checkbox"/> Sv. Anläggning-provning <input type="checkbox"/> Miljö- och hälsoskydd <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
MOTTAGNA RITN.					
<input type="checkbox"/> Arkitekt <input type="checkbox"/> Konstruktör <input type="checkbox"/> Rör <input type="checkbox"/> Ventilation <input type="checkbox"/> EI <input type="checkbox"/> Ny/rev. ritning <input type="checkbox"/> Se bif. följesedel					
ÖVRIGA NOTERINGAR					
<input type="checkbox"/> Skydds rond <input type="checkbox"/> Föreslagna åtgärder vid skydds rond den avklarade					

PLATSCHEF	BESTÄLLARE/KONTROLLANT
-----------	------------------------

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt skatter och avgifter. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, SE-111 87 Stockholm, Sweden • Kungsträdgårdsgatan 10
Telephone +46 8 679 17 00 • Fax +46 8 611 20 89
E-mail office@jernkontoret.se • www.jernkontoret.se

