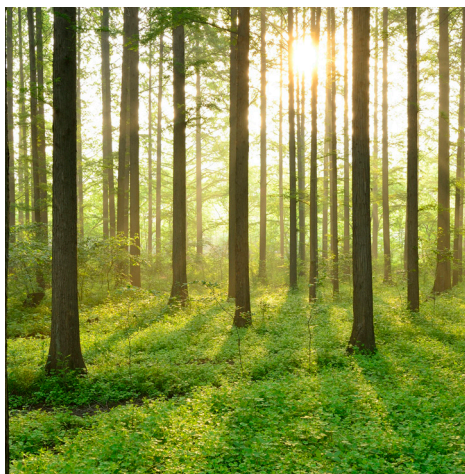


KORROSION VID LAGRING AV SLAGG FRÅN AVFALLSFÖRBRÄNNING

RAPPORT 2016:304



MILJÖRIKTIG ANVÄNDNING
AV ASKOR



Korrosion vid lagring av slagg från avfallsförbränning

Lagringens påverkan på miljöegenskaper samt möjlighet
att återvinna metaller

ANDERS HEDENSTEDT, ANDERS HJÖRNHEDE, DANIEL RYDE, JONAS DAHL OCH
INGE JOHANSSON, SP SVERIGES TEKNISKA FORSKNINGSPINSTITUT SAMT
KARIN KARLFELDT FEDJE, RENOVA

ISBN 978-91-7673- 304-2 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Q14-228 Lagringens påverkan på bottenaskans miljöegenskaper samt möjligheter att återvinna metaller (Energimyndighetens projektnummer 40210 1) inom programmet Miljöriktig användning av askor som bedrivs av Energiforsk. Programmet startade inom ramen för Värmeforsks forskningsprogram och ingår liksom all övrig forskningsverksamhet inom Värmeforsk numera i Energiforsk.

Projektet har undersökt hur utlakning av ämnen från slagg och korrosionshastigheten av metaller påverkas av olika lagringsförfaranden.

Projektet har genomförts av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut med Anders Hedenstedt som huvudprojektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Kenneth Strandljung, Ragn-Sells AB
Lale Andreas, LTU
Raul Grönholm, SYSÄV
Niklas Hansson, Vattenfall
Monica Lövström, Svenska Energiaskor
Kenneth Strandljung, Ragn-Sells AB
Jan Österbacka, SAKAB.

Stockholm oktober 2016

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

Restprodukter från avfallsförbränning i rosterpannor utgör i regel 18-25 % (våt vikt) av den ingående avfallsmängden. Av restprodukterna utgörs huvuddelen av slagg/bottenaska (c:a 80 % våt vikt). Slaggen innehåller betydande mängder metaller som bedöms uppgå till c:a 7–15 % magnetiskt skrot och 1-2% icke- magnetiskt skrot. Slaggen lagras vanligen utomhus på en avfallsanläggning för att den ska torka samt för att metaller ska fastläggas. Detta är en förutsättning för att slaggen sedan ska kunna användas i olika anläggningsapplikationer. Efter lagringen sorteras slaggen för utvinning av metaller samt för att erhålla så kallat slaggrus som kan användas som konstruktionsmaterial.

Vid lagring av slagg korroderar metallerna som finns i slaggen. Om korrosionen begränsas kan utvinningen av metaller öka och miljöegenskaperna hos slaggruset eventuellt förbättras. Detta skulle kunna minska behovet av brytning av både metaller och naturgrus. Tidigare laboratorieförsök visar att korrosionshastigheten i våt slagg är hög för att sedan avta när slaggen torkar. När slaggen utsätts för väta igen ökar korrosionshastigheten kraftigt.

I detta projekt undersöktes vilken betydelse olika lagringsförfaranden har för korrosionen av metaller i slaggen samt dess miljöegenskaper. Försöket utfördes på Tagene avfallsanläggning under c:a 7 månader. Försöksuppställningen omfattade fem mindre slagghögar som representerade olika lagringsförfaranden – lagring med respektive utan väderskydd, med respektive utan omblandning samt tidigare lagd metallsortering. Korrosionshastigheten med avseende på stål- respektive aluminiuelektroder registrerades kontinuerligt och genom regelbunden omkoppling erhöles mätresultat för respektive lagringsförfarande för vart femte dygn. För verifiering av resultaten från korrosionsmätningarna utfördes också en visuell analys av korrosionselektrodena efter avslutat försök. Provuttag gjordes från färsk slagg samt från respektive hög efter c:a 3,5 och 7 månaders lagring. Proverna analyserades med avseende på totalhalt och utlakning. Dessutom gjordes provuttag efter 6 månader på olika djup i ett par av högarna för bestämning av hur den syraneutraliserande kapaciteten varierar lokalt.

Resultaten från projektet visar att lagringsförfarandet inte har någon väsentlig påverkan vare sig med avseende på korrosionen av metaller i slaggen eller utlakningen av ämnen från slaggen. Det finns således ingen anledning att frångå det lagringsförfarande som vanligen tillämpas med avseende på slagg, det vill säga utomhus utan omblandning. Däremot bör utsortering av metaller göras så tidigt som möjligt under lagringsperioden eftersom korrosionshastigheten för åtminstone järn är stabilt hög redan efter en månads lagring.

Summary

Residues from waste combustion in grate boilers typically represent 18-25 % (wet weight) of the input waste. The major constituent of the residues is slag/bottom ash (about 80 % wet weight). The slag contains a significant amount of metals, which is estimated to about 7-15 % magnetic scrap and 1-2 % non-magnetic scrap. The slag is normally stored outdoors in a waste site in order to reduce the moisture content and to immobilize metals. This is required in order to use the slag for construction purposes. After the storage period, the slag is sorted for extraction of metals and to obtain a refined slag as aggregates which can be used as a construction material.

As slag is stored, the metals in the slag corrode. If corrosion can be reduced, the extraction of metals may be increased and the environmental properties of the slag as aggregates are possibly improved. This could reduce the needs for extraction of natural resources - both metals and gravel. Previous laboratory studies show that the rate of corrosion in wet slag is high and then decreases as the slag gets drier. If moisture is added to the slag again the rate of corrosion increases dramatically.

This project examined the impact of different storage procedures with respect to the corrosion of metals in the slag and its environmental properties. The study was performed on Tagene waste site for about 7 months. The experimental setup consisted of five smaller slag heaps that represented the different storage procedures - storage with and without coverage, with and without mixing procedures, as well as early metal sorting. The corrosion rate with respect to steel and aluminum electrodes was continuously recorded and by performing regular switching, corrosion results were obtained for each storage procedure every five days. To verify the results of the corrosion measurements a visual analysis of corrosion electrodes was carried out after termination of the study. Sampling was made from fresh slag and then from the respective slag heap after about 3.5 and 7 months of storage. The samples were analyzed with respect to total content of substances and leaching. In addition, sampling was made after 6 months of storage at different depths in two of the slag heaps to determine how the acid neutralizing capacity varies locally.

The results from the project show that the storage procedure does not have any significant impact either in terms of the corrosion of metals in the slag or leaching of substances from the slag. There is thus no reason to abandon the storage procedure that is usually applied with respect to the slag, i.e. outdoors without any coverage and mixing procedures. On the other hand, the sorting of metals should be carried out as early as possible during the storage period since the rate of corrosion for at least iron is high already after a month of storage.

Innehåll

1	Bakgrund	10
2	Syfte och mål	13
3	Metod	14
3.1	Mätning av korrosionshastighet	14
3.2	Analys	14
3.2.1	Totalhalter	14
3.2.2	Utlakning	15
3.2.3	Syraneutraliserande kapacitet	15
3.2.4	Visuell analys	15
3.2.5	Metallografi på elektroder	15
4	Genomförande	17
4.1	Metodutveckling korrosionsmätningar	17
4.2	Försöksuppställning och praktiska förfaranden	17
4.3	Insamling av klimatdata	20
4.3.1	Lufttemperatur och nederbörd	20
4.4	Provuttag	21
4.4.1	Inför analys av totalhalt och utlakning	21
4.4.2	Inför analys av syraneutraliserande kapacitet	22
4.5	Temperaturgradient	22
5	Resultat	23
5.1	Korrosionsmätningar	23
5.1.1	Korrosionshastigheter för stålelektroder instuckna 1 m	23
5.1.2	Korrosionshastigheter för stålelektroder instuckna 15 cm	24
5.1.3	Korrosionshastigheter för aluminiumelektroder instuckna 50 cm	25
5.1.4	Konduktans vid stålelektroder instuckna 1 m	26
5.1.5	Konduktans vid stålelektroder instuckna 15 cm	27
5.1.6	Konduktans vid aluminiumelektroder instuckna 50 cm	28
5.2	Visuell analys	29
5.3	Metallografi på elektroder	29
5.4	Totalhalter	32
5.5	Utlakning	33
5.6	Syraneutraliserande kapacitet (ANC)	34
5.7	Temperatur	36
6	Diskussion	37
6.1	Dimensionering av försöksuppställning	37
6.2	Korrosionsmätningar	37
6.3	Omblandningsförfarande	37
6.4	Val av analysmetoder	37
6.5	Utförande av analyser	38

7	Slutsatser	39
7.1	Korrosion	39
7.2	Miljöpåverkan	39
7.3	Lagringsförfarande	39
7.4	Ekonomisk potential	40
8	Referenser	41
9	Bilagor	42
	Bilaga 1: Översikt slagghögar	43
	Bilaga 2. Visuellt utvärdering av sonder	44
	Bilaga 3a. Totalhalter (tabell)	56
	Bilaga 3b. Totalhalter (diagram)	57
	Bilaga 3c. Totalhalter i jämförelse med Renovas slagg från år 1994-2014 (diagram)	60
	Bilaga 4. Utlakning vid L/S 2 (tabell)	62
	Bilaga 5a. Utlakning vid L/S 10 (tabell)	63
	Bilaga 5b. Utlakning vid L/S 10 (diagram)	64
	Bilaga 6. Titreringsförfarande med avseende på slagg från H4S3	67
	Bilaga 7. Titreringsförfarande med avseende på slagg från H4S4	69

1 Bakgrund

Restprodukter från avfallsförbränning i rosterpannor utgör i regel 18-25 % (våt vikt) av den ingående avfallsmängden³. Av restprodukterna utgörs huvuddelen av slagg/bottenaska (c:a 80 % våt vikt) medan flygaska, rökgasreningsrest från torr rening och slam från våt rening står för resterande 20 %. Slaggen innehåller betydande mängder metaller som enligt litteratordata uppgår till c:a 7–15 % magnetiskt skrot och 1-2 % icke- magnetiskt skrot⁹. På årsbasis motsvarar det c:a 60 000-135 000 ton järnskrot och 9 000-18 000 ton icke-magnetiska metaller i slagg från svenska avfallsförbränningsanläggningar. Sett till det kemiska innehållet så utgör icke-magnetiska metaller snarare över 6 % av slaggen¹². Metallinnehållet i slagg kan ställas i relation till återvinningen av metallförpackningar i Sverige som år 2013 var c:a 28 000 ton⁸. Ekonomiskt motsvarar skrotvärdet för järn 60-120 Mkr. Det potentiella värdet för det totala metallinnehållet (värdet för det kemiska metallinnehållet utan hänsyn till vad kostnaderna är för att återvinna dem ur slaggen) är däremot i storleksordningen 1 500-2 000 Mkr¹².

Traditionellt matas slaggen ut i ett vattenbad för snabb avkylning varefter den förs vidare till en slaggbunker eller liknande temporärt lager. Därefter transporteras den vanligen ut till en avfallsanläggning för lagring och vidare bearbetning. Lagringen görs delvis för att slaggen ska torka, vilket underlättar den efterföljande mekaniska hanteringen, men också för att slaggen ska åldras. Under åldringen sker det olika processer i slaggen, varav en är karbonatisering. Processerna som sker i slaggen binder in metaller i en hårdare matris och på så sätt minskas tillgängligheten (lakningen) av dessa metaller. Detta är en förutsättning för att slaggen sedan ska kunna användas i olika anläggningsapplikationer.

Efter lagringen sorteras slaggen mekaniskt. Sorteringen innebär en avskiljning av metaller (magnetiska och icke-magnetiska) samt utsällning av en fraktion med grusliknande egenskaper. Den sistnämnda fraktionen benämns slaggrus och det har visats att det fungerar väl att ersätta jungfruliga material helt eller delvis med slaggruset i vissa applikationer^{1,16}. Internationellt används slaggrus i mycket högre omfattning än i Sverige för exempelvis vägkonstruktioner^{2,17}. Efter sorteringen kan slaggruset eventuellt behöva lagras ytterligare. Sorteringen sker kampanjvis - vanligen ett par gånger per år - vid de flesta svenska anläggningar och utförs av entreprenörer. Undantaget är SYSAV, som driver en sorteringsanläggning i Malmö i egen regi.

En fråga som blivit väldigt aktuell i takt med ökade råvarupriser på metaller är möjligheten att återvinna större mängder metall ur slaggen samt hur kvaliteten på de utvunna metallerna kan förbättras. En annan viktig fråga är hur användningen av slaggruset kan öka. Idag används detta material främst vid sluttäckning av avfallsdeponier där materialbehovet för närvarande är stort, men detta behov förväntas minska de närmaste åren¹⁰. Till viss del är dessa frågor kopplade till varandra eftersom en alltmer effektiv metallutvinning ur slaggen i sig minskar metallinnehållet i återstoden, vilket kan underlätta användningen av materialet. En ökad metallutvinning kan därmed bidra till ett minskat behov av brytning av både metaller och naturgrus.

Det finns olika teorier om hur metallutvinningen kan öka och hur miljöegenskaperna hos slaggen i vissa fall samtidigt kan förbättras. Ett av de koncept som fått störst uppmärksamhet är torr utmatning av slagg med en direkt efterföljande utsortering av metallerna. Detta koncept har främst utvecklats av ZAR¹⁹ vid en anläggning i Schweiz. Fördelarna som lyfts med denna metod är att en mycket större andel av metallerna kan

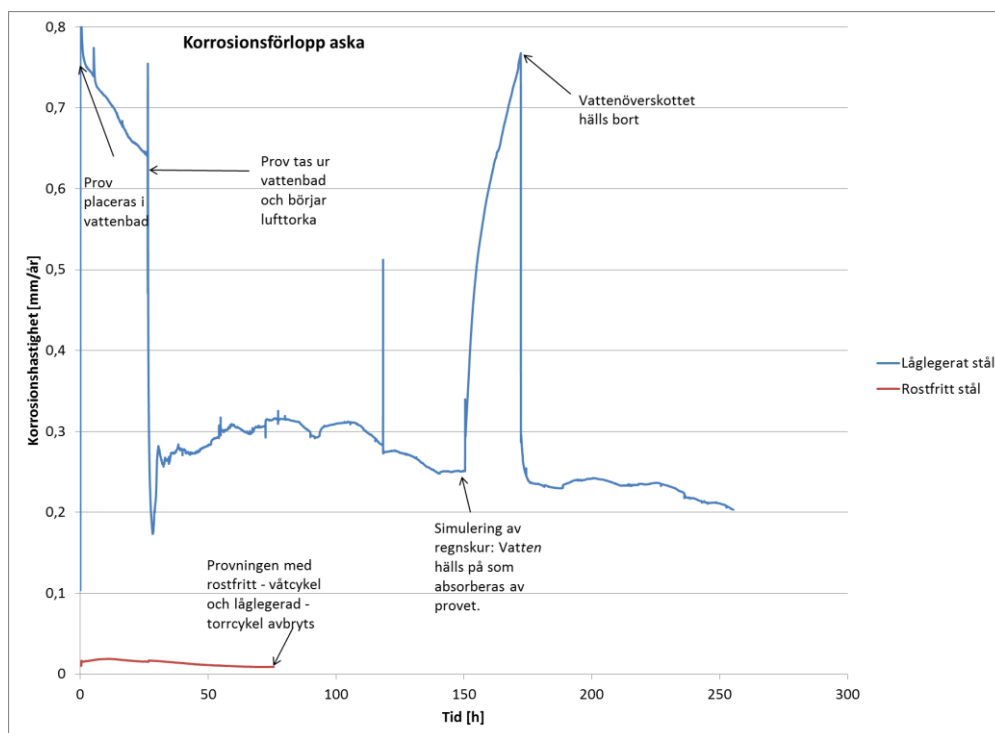
sorteras ut när materialet är torrt från början. Detta eftersom slaggens cementlika (puzzolana) egenskaper inte aktiveras vilket därmed underlättar avskiljningen av små metallpartiklar. Dessutom minskar oxidationen av aluminium kraftigt vid en torr utmatning jämfört med våt utmatning. Vissa observationer tyder också på att lakningsegenskaperna förbättras. Om detta beror på avlägsnandet av de fina metallpartiklarna i sig eller om det beror på strukturen i slaggen (eller en kombination) är inte fastställt. Även kvaliteten på den avskilda metallen anses vara bättre vilket ger ett högre skrotvärde. Den största nackdelen med metoden är att den ger upphov till damning, vilket innebär att slaggen måste hanteras i ett slutet system.

Parallellt med utvecklingen av det torra utmatningskonceptet pågår även utveckling för att öka metallutvinningen vid traditionell våt utmatning. Det kan exempelvis ske genom att sikta slaggen i fler storleksfraktioner innan den passerar magnetavskiljare och virvelströmsapparater (för avskiljning av icke-magnetiska metaller), då framförallt virvelströmsapparaterna är effektivast om de kan användas på partiklar med en begränsad storleksfördelning. Andra koncept är ADR-teknologin (Advanced Dry Recovery) som är utvecklad vid universitetet i Delft och kommersialiserad av Inashco. Den bygger på att fukt och partiklar < 0,5 mm avlägsnas för att minska problemen med agglomererade partiklar i slaggen vilka försvårar metallavskiljningen. Denna fraktion deponeras eller används för konstruktionsändamål. Den efterföljande processen består av standardavskiljning med hjälp av virvelströmsapparater. Processen uppskattas ge 8 kg mer icke-magnetiska metaller/ton slagg jämfört med traditionella metoder¹⁸.

Parallellt med utveckling av tekniker enligt ovan behövs också en utveckling av åtgärder som enkelt kan implementeras i den nuvarande slagghanteringen i Sverige. Det har genomförts ett flertal studier med avseende på lagring och åldring av slagg^{5,6,15} och det finns också ett kvalitetssäkringsprogram för slaggrus som togs fram i början av 2000-talet¹¹. Studier avseende effekterna på metaller vid lagring är dock mycket begränsade.

Vid lagringen av slagg korroderar metallerna i slaggen, vilket försämrar möjligheterna till metallavskiljning. Tidigare laboratorieförsök som SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har utfört med avseende på slagg från Renovas avfallsförbränningsanläggning visar att korrosionshastigheten i den våta slaggen är hög för att sedan avta när slaggen torkar (Figur 1). När slaggen utsätts för väta igen (regn) så ökar korrosionshastigheten kraftigt. Grovt uppskattat utifrån laboratorieförsöken så skulle materialförlusterna för järnskrot vid en lagringstid om 6 månader kunna vara i storleksordningen 10-30 % till följd av korrosion.

Baserat på resultaten av försöken bedöms det som intressant att minimera lagringstiden alternativt begränsa hur mycket fukt som tillförs slagghögarna under lagring innan metallerna sorteras ut. Laboratorieförsöken ger en förenklad bild av verkligheten och det skulle därför vara relevant och unikt att mäta dessa materialförluster i fält. Om man också i fält kan påvisa stora materialförluster på grund av korrosion kan det visa sig lönsamt att öka frekvensen av sorteringskampanjerna (vilka i dagsläget vanligen görs 2-3 gånger per år) och/eller väderskydda slaggen i samband med lagring. Eventuella vinster måste dock ställas i relation till kostnaderna för åtgärderna och ett nytt förfarande får inte heller generera slagg som har försämrade lakningsegenskaper jämfört med dagens hantering.



Figur 1. Korrosionshastighet i slagg från Renovas avfallsförbränningsanläggning.

2 Syfte och mål

Projektets övergripande syfte är att minska miljöpåverkan från slagg från avfallsförbränning genom ökad utvinning av metaller ur slaggen. Metall som utvinns från slaggen kan ersätta jungfruliga resurser och därmed bidra till minskat behov av gruvbrytning. En effektivare metallutvinning ur slaggen bidrar till ett minskat metallinnehåll i slaggruset vilket kan skapa bättre möjligheter för användning av slaggruset som konstruktionsmaterial. På så sätt kan slaggrus ersätta jungfruliga råvaror och därmed bidra till ett minskat behov av brytning av naturgrus.

En målsättning inom projektet är att fastställa vilken betydelse olika förfaranden i samband med lagring av slagg har på:

- korrosion av metaller och därmed möjligheterna till utvinning
- lakningsegenskaperna hos slaggruset
- slaggrusets totalhalter av exempelvis metaller, klorider och sulfater

För att kunna dra sådana slutsatser studeras följande förfaranden:

- lagring med respektive utan väderskydd
- lagring med respektive utan omblandning
- tidpunkten för metallsortering

Utifrån ovan är målsättningen sedan att ta fram en korrelation mellan lämplig lagringstid ur ett metallutvinningsperspektiv och ekonomiskt utbyte från metallerna.

3 Metod

3.1 MÄTNING AV KORROSIONSHASTIGHET

I detta projekt har en ny mätteknik för bestämning av korrosionshastighet tillämpats – användande av så kallade realtidskorrosionssensorer. Korrosionsmätning som utförs i realtid ger mer kvalificerad information om korrosionsprocessen jämfört med konventionell metallografi. En konsekvens av användandet av metallografi för korrosionsanalyser är att det förutsätts att korrosionshastigheten är konstant eftersom materialförlusten orsakad av korrosion divideras med exponeringstiden. Erfarenheter visar dock att korrosionshastigheten sällan är konstant. Exempelvis kan den verkliga korrosionsbelastningen tänkas fortgå under 10 % av tiden men utgöra 90 % av materialförlusten. Transienter i korrosionshastigheter uppstår under förlopp och dessa kan inte detekteras om inte korrosionshastigheten mäts i realtid. Resultatet av realtidskorrosionsmätningarna är att de mest korrosiva betingelserna identifieras.

Korrosionsmätmetoderna som används i denna studie ger information om korrosionen i slagg vid olika lagringsförfaranden, vid olika djup i slagg samt på olika legeringar utan att provmaterial behöver tas ut för att göra analyser. Om korrosionsutvärderingarna istället skulle göras på provuttag med hjälp av korrosionskupper skulle omfattningen bli så stor att studien knappast skulle kunna genomföras.

Det finns flera tekniker för mätning av korrosionshastighet i realtid. I denna studie mäts den allmänna korrosionshastigheten med Linjär Polarisations Resistans (LPR) samt konduktans (som ej ska förväxlas med konduktivitet). Den utrustning som används beräknar korrosionshastigheten i programvaran. Korrosionspotentialer och korrosionsströmmar är därmed inte tillgängliga för användare. Enligt tillverkarna är det heller inte möjligt som användare att få tillgång till potentialer och spänningar för att själv göra utvärderingar.

Transmittern eller korrosionssensorn är uppbyggd runt ett treelektrodigt system - korrosionssonden - där respektive elektrod består av samma materialtyp. En fullständig mätcykel, som är nödvändig för att beräkna korrosionshastigheten, gropfrättningsaktiviteten och ledningsförmågan, tar c:a 21 minuter med aktuell transmitter. Gropfrättningsaktiviteten mäts men används inte i detta arbete. Storleken på den aktiva elektrodytan är fritt definierbar vilket ger en stor flexibilitet att ändra utformningen på elektroderna. Ett stort antal material kan testas bara genom att ändra materialspecifika parametrar i beräkningsalgoritmen.

Allmänkorrosion mäts i mm/år eller $\mu\text{m}/\text{år}$. Konduktans, eller elektrisk ledningsförmåga mäts i Siemens [S] vilket motsvarar inversen av resistans.

3.2 ANALYSER

3.2.1 Totalhalter

För bestämning av totalhalter av Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Ba, Na, K, P, Be, Sc, Sr, Y, Zr, Nb och W i slaggen tillämpades mod. ASTM D 3682 (ICP-OES samt ICP-MS). För spårelementen As, Pb, Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Zn, V, Mo, Sb, Sn, Se tillämpades mod. ASTM D 3683 (ICP-OES samt ICP-MS). För bestämning av kvicksilverinnehållet tillämpades EPA 7473.

Fukt i slaggen fastställdes genom torkning av proverna till 105°C. Andelen oförbränt material bestämdes med tillämpning av standard SS 18 71 87 som glödförlust vid 550°C. Svavelinnehållet fastställdes genom användning av standard SS 18 71 86 och för andelen TOC tillämpades standarden SS-EN 13137.

Inför analys plockades synliga metallbitar bort från proverna och vägdes. Detta var dock inte möjligt vid analys på de prover som togs ut efter avslutat försök (efter c:a 7 månader) eftersom slaggpartiklar och metallbitar då smält ihop i stor utsträckning. Samtliga analyser utfördes som enkelprov.

3.2.2 Utlakning

För bestämningen av utlakningen från proverna tillämpades standard SS-EN 12457-3 (ett tvåstegs skaktest vid L/S 2 l/kg och L/S 8 l/kg för material med hög fastfashalt och med partikelstorlek mindre än 4 mm, utan eller med nedkrossning). Inför provning torkades proverna vid 35°C och neddelades. Synliga metallbitar plockades bort från proverna och vägdes. Metallhalterna i lakvattnet bestämdes med ICP-OES (Induktivt kopplat plasma-optisk emissionsspektrometri). Anjoner bestämdes med jonkromatograf. Samtliga analyser utfördes som enkelprov.

3.2.3 Syraneutraliserande kapacitet

För bestämning av den syraneutraliserande kapaciteten hos slaggproverna tillämpades en metod för bestämning av markens buffrande förmåga och total aciditet⁴ som utgångspunkt, men av praktiska skäl gjordes vissa anpassningar. Exempelvis användes automatisk pH-stat-mätning istället för manuell titrering.

Förfarandet innebär att 5 gram av respektive prov lakades genom kontinuerlig skakning med avjoniserat vatten (milli-Q) i c:a 42 timmar. Därefter läts slaggen sedimentera och pH mättes i lösningen. Syra (0,2 M HCl) tillsattes i små portioner till lösningen (med slaggen kvar), medan pH detekterades kontinuerligt med en pH-stat. Detta fortgick tills pH 7 uppnåddes och bibehölls utan ytterligare syratillsats i minst 5 minuter.

Utöver analyserna ovan utfördes dessutom ett motsvarande förfarande med endast 1 timmes lakning med avseende på ett prov av råslagg.

I samband med dessa analyser bestämdes också fukthalten i de respektive proverna för att kunna relatera den syraneutraliserande kapaciteten till mängd torr slagg. Fukthaltsbestämningen gjordes genom torkning vid 105°C.

3.2.4 Visuell analys

För verifiering av de resultat som erhålls vid korrosionsmätningarna utfördes också en visuell analys av korrosionselektroderna efter avslutat försök. Fotografier av elektroderna granskades och jämfördes sinsemellan för att bedöma hur mycket som korroderat då försöket avslutades efter sju månaders lagring. Samtliga 25 elektroder utvärderades och för de elektroder som varit instuckna i högar som hade blandats om granskades även fotografier av elektroderna från omblandningstillfällena.

3.2.5 Metallografi på elektroder

Genom att uppskatta tjocklekarna på de bildade korrosionsprodukterna kan en uppskattning av korrosiviteten göras. Med hjälp av metallografi på tvärsnitt på de

använda elektroderna erhålls mått på de bildade korrosionsprodukternas tjocklek. Elektroderna kapades och den kapade ytan slipades för att korrosionsangreppen ska bli tydliga. Efter ovan provberedning studerades korrosionsangreppen i mikroskop och korrosionsangreppen dokumenterades med fotografier. Resultaten kompletterar korrosionshastighetsmätningarna. Analyser av både stålelektroder och aluminiumelektroder gjordes.

4 Genomförande

4.1 METODUTVECKLING KORROSIONSMÄTNINGAR

I detta arbete utvecklades utformningen av korrosionssonder samt konstruerades en helautomatiserad lösning för roterande korrosionsdatainsamling.

För att i försöket registrera korrosionen i fem olika punkter i var och en av de fem slagghögarna (se avsnitt 4.2) tillverkades 25 korrosionssonder.

Vid försöken fanns endast tre korrosionssensorer till förfogande. Därmed var det bara möjligt att mäta korrosionshastigheten på tre korrosionssonder simultant. För att utnyttja de tre korrosionssensorerna på bästa sätt konstruerades därför en helautomatiserad lösning för roterande korrosionsdatainsamling. Metoden utformades för mätning med avseende på tre korrosionssonder i en slagghög under ett dygn. Denna process fortsatte tills mätningar var gjorda i alla fem högar och därefter började mätningarna om i den första högen. Detta innebär att realtidsmätningar gjordes var femte dag, alltså 20 % av exponeringstiden. De två korrosionssonder som placerades ut som reserv i varje hög och som inte användes till realtidskorrosionsmätningar användes i den visuella korrosionsanalysen.

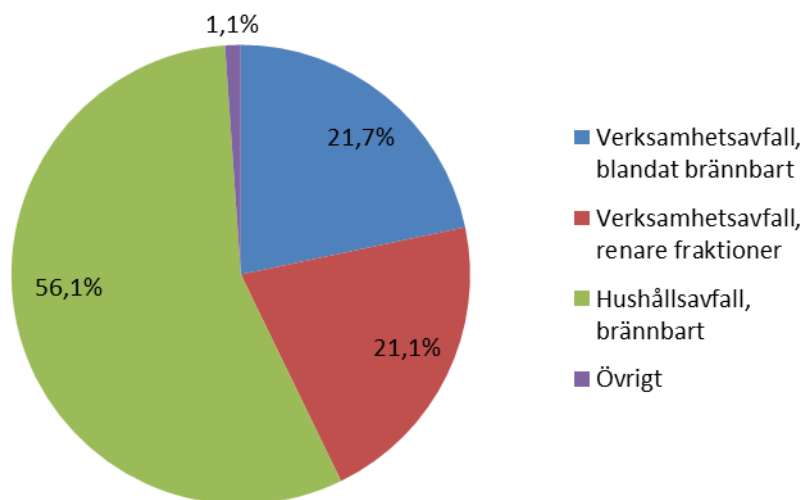
4.2 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING OCH PRAKTISKA FÖRFARANDEN

Fältförsöken påbörjades på Tagene avfallsanläggning utanför Göteborg den 28-29 september 2015 och avslutades den 27 april 2016. Därmed pågick försöken i totalt c:a 7 månader.

För försöken användes slagg från Renovas avfallsförbränningsanläggning i Göteborg, se Figur 2. Slagg från processen matas ut i ett vattenbad för snabb avkylning varefter den förs vidare till en slaggbunker. Därefter transporterades slaggen till Tagene avfallsanläggning för lagring. Sammansättningen av bränslet i förbränningsanläggningen i samband med uttaget av slagg redovisas i Figur 3.



Figur 2. Slagg från Renovas avfallsförbränningsanläggning i Göteborg som användes i försöket.



Figur 3. Bränslesammansättning i Renovas avfallsförbränningsanläggning i samband med uttaget av slagg som användes i försöket. Verksamhetsavfall, renare fraktioner omfattar trä, flisat och oflisat ris, bränslekross samt RDF-material (utsorterade fraktioner av papper, trä och plast). Verksamhetsavfall, blandat brännbart omfattar övrigt verksamhetsavfall.

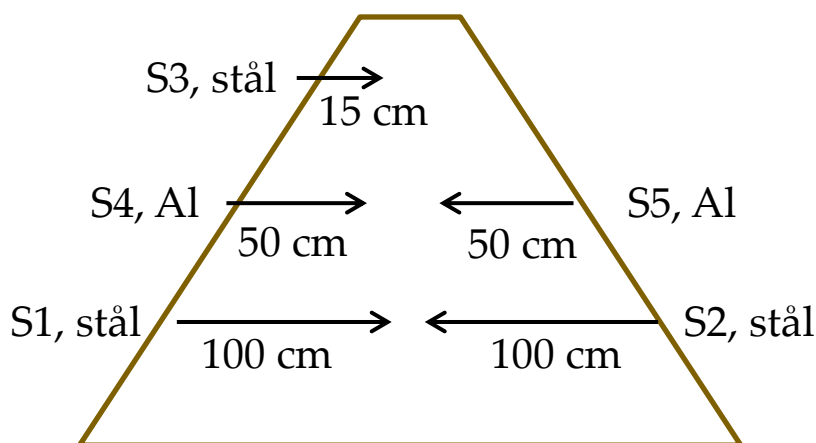
I syfte att studera betydelsen av lagring med respektive utan väderskydd, lagring med respektive utan omblandning samt vilken betydelse tidpunkten för metallsortering har för metallutvinningen från slaggen och lakningsegenskaperna hos slaggruset upprättades slagghögar enligt nedan beskrivning. Deras respektive benämningar anges inom parentes.

- En hög lagrades enligt normalt förfarande, det vill säga väderutsatt i 7 månader (H5)
- Ytterligare en hög lagrades enligt normalt förfarande, det vill säga väderutsatt i 7 månader (den användes enbart för provuttag efter 3,5 månaders lagring för att därefter kasseras) (H5 kopia)
- En hög lagrades väderutsatt i 7 månader med regelbunden omblandning under lagringstiden (H4)
- En hög lagrades väderskyddat (tält) i 7 månader (H2)
- Ytterligare en hög lagrades väderskyddat (tält) i 7 månader (den användes enbart för provuttag efter 3,5 månaders lagring för att därefter kasseras) (H2 kopia)
- En hög lagrades väderskyddat (tält) i 7 månader med regelbunden omblandning under lagringstiden (H3)
- En hög lagrades väderskyddat (tält) i 5 månader varefter den sorterades med avseende på metaller och därefter lagrades väderutsatt i ytterligare 2 månader (H1)

Högarna var c:a 3 meter i basen och 1,5 meter höga. Fyra av högarna placerades under väderskydd (tält) med öppningar i vardera kortsida för att skapa luftgenomströmning. Övriga tre placerades utanför tältet. En översikt över försökssupställningen redovisas i bilaga 1.

I var och en av de fem slagghögarna H1-H5 placerades fem korrosionssonder, det vill säga totalt 25 stycken. De placerades på samma sätt i samtliga högar. Tre av sönerna i respektive hög var tillverkade i stål (S1, S2 och S3) och två i aluminium (S4 och S5).

Sonder S1 och S2 fördes in c:a 100 cm i slagghögarna, sonder S4 och S5 c:a 50 cm och sonder S3 c:a 15 cm. Sondernas placering redovisas i Figur 4. Kolstålets kemiska sammansättning av legeringsämnena består i huvudsak av 0,2 % kisel och < 0,65 % magnesium. Stålet, som också betecknas S255, är ett av de mest vanligen förekommande. Den kemiska sammansättningen av legeringsämnena i aluminiumlegeringen är ur 3xxx-serien och innehåller c:a 5 % magnesium och 1,5 % mangan. Legeringen är vanligt förekommande i förpackningsmaterial och burkar.



Figur 4. Placering av korrosionssonder i de fem slagghögarna H1-H5.

Realtidskorrosionsmätningar utfördes på de tre sonder som benämns S1, S3 och S4 i respektive slagghög. Kablaget till korrosionssonderna som löpte genom slagghögarna från utsidan skyddades med stålrör. Stålrören fungerade också som skydd vid omrörning av högarna och uttag av korrosionssonderna.

Registrering av korrosionshastigheter och konduktans påbörjades 12 oktober 2015. Eftersom det endast fanns tillgång till tre korrosionssensorer för registrering av korrosionshastighet utfördes regelbunden automatisk omkoppling av elektroderna. På så sätt registrerades korrosionen i S1, S3 och S4 i respektive hög vart femte dygn. Det utfördes inga motsvarande mätningar på sonder S2 och S5 utan dessa utgjorde endast redundanta sonder som skulle kunna användas vid behov.

Slagghögarna H3 och H4 blandades om vid tre tillfällen under försöksperioden – efter c:a 1 månad (3 november 2015), c:a 3,5 månader (14 januari 2016) samt c:a 6 månader (31 mars 2016). Omblandningsförfarandet visas i Figur 5. Korrosionssonderna var fastfrusna i slagghögarna vid flera tillfällen under vintern och de behövde därför värmas upp med varmluftpistol innan de kunde avlägsnas från högarna.



Figur 5. Omblandning av slagghög H3.

Slagghög H1 sorterades med avseende på metaller efter c:a 5 månader (25 februari 2016). Sorteringen utfördes av det danska företaget SSH Recycling som då var inhyrda av Renova för att sortera övrig slagg på anläggningen. Förutom att metaller sorterades ut erhöles tre mineralfraktioner som samlades upp separat men sedan blandades samman igen.

Korrosionssonderna dokumenterades också med fotografier för att sedan kunna göra visuell analys med avseende på korrosionsomfattningen på respektive sond. Korrosionssonderna i slagghög H3 och H4 dokumenterades i samband med omblandningstillfällena och slagghög H1 i samband med förflyttning från väderskyddad till icke väderskyddad position. Samtliga korrosionssonder dokumenterades också i samband med avslutning av försöket (efter sju månader).

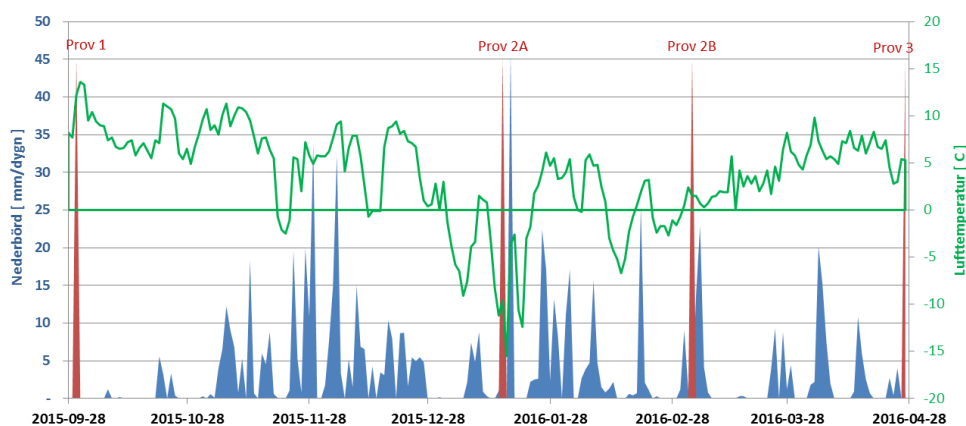
4.3 INSAMLING AV KLIMATDATA

4.3.1 Lufttemperatur och nederbörd

För redovisning av lufttemperaturens variation under försöksperioden inhämtades dataunderlag från SMHI:s mätstation i Kärna och för motsvarande redovisning av nederbördsvariationen används mätdata från SMHI:s mätstation Mollsjönäs, se Figur 6. Dessa mätstationer bedömdes ha mest likartade förutsättningar med de som råder vid Tagene avfallsanläggning. Dataunderlaget avseende lufttemperatur och nederbörd utgörs av dygnsmedelvärden deras variation över tiden redovisas i Figur 7. Genom att studera nederbörden i kombination med lufttemperaturen i Figur 7 identifieras grovt under vilka perioder nederbörden fallit som snö respektive regn. Exempelvis föll den stora nederbördsmängden i mitten av januari som snö.



Figur 6. Kärna och Mollsjönäs mätstationer i förhållande till Tagene avfallsanläggning.



Figur 7. Nederbörd (enhet mm, baseras på dygnsmedelvärden och redovisas som blå fält) och lufttemperaturens variation (enhet °C, baseras på dygnsmedelvärden och redovisas som grön linje) under försöksperioden. Tidpunkterna för provuttagen inför analys av totalhalt och utlakning markeras med Prov 1, Prov 2A, Prov 2B och Prov 3.

4.4 PROVUTTAG

4.4.1 Inför analys av totalhalt och utlakning

För att utföra provuttag från slaggen - inför bestämning av totalhalt och utlakning - tillämpades som utgångspunkt den provtagningsstandard som beskrivs i bilaga 3 till RVF Rapport 2002:10¹¹ (men med förenklat uttag av delprover enligt nedan). Eftersom

de respektive mängderna som togs ut var förhållandevis små (< 30 ton) behövdes inga delprover enligt metoden. För att ändå försöka skapa relativt representativa prover framställdes samlingsprover genom uttag av c:a 10 delprover som sedan slogs samman. Samtliga provuttag gjordes i samband med omblandningsförfaranden och delproverna togs ut från olika delar av respektive hög efter bästa förmåga med hänsyn till praktiska svårigheter att hantera klumpar och metallstycken.

De respektive provuttagen redovisas i **Fel! Hittar inte referenskölla..** I samband med initieringen av projektet (28-29 september 2015) gjordes uttag av två samlingsprover från hela den tillgängliga slaggmängden som användes för försöken (benämns råslag och anges som Prov 1 i **Fel! Hittar inte referenskölla..**). Vid efterföljande provtillfällen gjordes uttag av två samlingsprover från varje enskild slagghög. Vid provtillfället efter c:a 3,5 månader (15 januari 2016, angivet som Prov 2A i **Fel! Hittar inte referenskölla..**) gjordes uttag av totalt åtta samlingsprover från högarna H2-H5. Provuttaget från H1 gjordes efter c:a 6 månader (3 mars 2016, angivet som Prov 2B i **Fel! Hittar inte referenskölla..**) med avseende på den sammanslagna mineralfraktionen som återstod efter metallsortering. Vid provtillfället efter c:a 7 månader (27 april 2016, angivet som Prov 3 i **Fel! Hittar inte referenskölla..**) gjordes uttag av totalt tio samlingsprover från samtliga högar.

Samtliga prover togs ut i samband med omblandningsförfaranden och uttaget av delproven gjordes efter bästa förmåga från olika punkter i slagghögarna för att skapa så god representativitet som möjligt. H2 och H5 blandades inte om under försöksperioden. För provuttaget från dessa efter 3,5 månader utnyttjades istället de två slagghögar som var identiska med dem och vars enda syfte var att användas för provuttag för att sedan kasseras, H2 kopia och H5 kopia.

4.4.2 Inför analys av syraneutraliserande kapacitet

För att få en uppfattning om hur förhållandena varierar inom slagghögarna gjordes också provuttag i H3 och H4 efter c:a 6 månader i anslutning till de punkter där sonderarna var instuckna. En mindre mängd slagg togs ut lokalt runt sonder S3, S4 och S1 som var instuckna c:a 15 cm, 50 cm respektive 100 cm in i slagghögarna.

Utöver detta analyserades slaggprov som togs ut initialt i samband med initieringen av försöken (28-29 september 2015) som referens (råslag).

Totalt analyserades sju prover med avseende på syraneutraliserande kapacitet.

4.5 TEMPERATURGRADIENT

Samtidigt med provuttaget i slagghög H3 och H4 efter c:a 6 månader utfördes också en mätning av temperaturen i samma punkter i de två högarna.

5 Resultat

5.1 KORROSIONSMÄTNINGAR

5.1.1 Korrosionshastigheter för stålelektroder instuckna 1 m

Figur 8 visar korrosionshastigheterna uppmätta i mm/år för de sonder med stålelektroder som varit instuckna c:a 1 m i slagghögarna H1, H2, H3, H4 och H5. Datumen för omblandningstillfällena med avseende på H3 och H4 respektive för H1 är markerade. Symbolerna i Figur 8 visar stabila korrosionshastigheter efter viss insvängning.

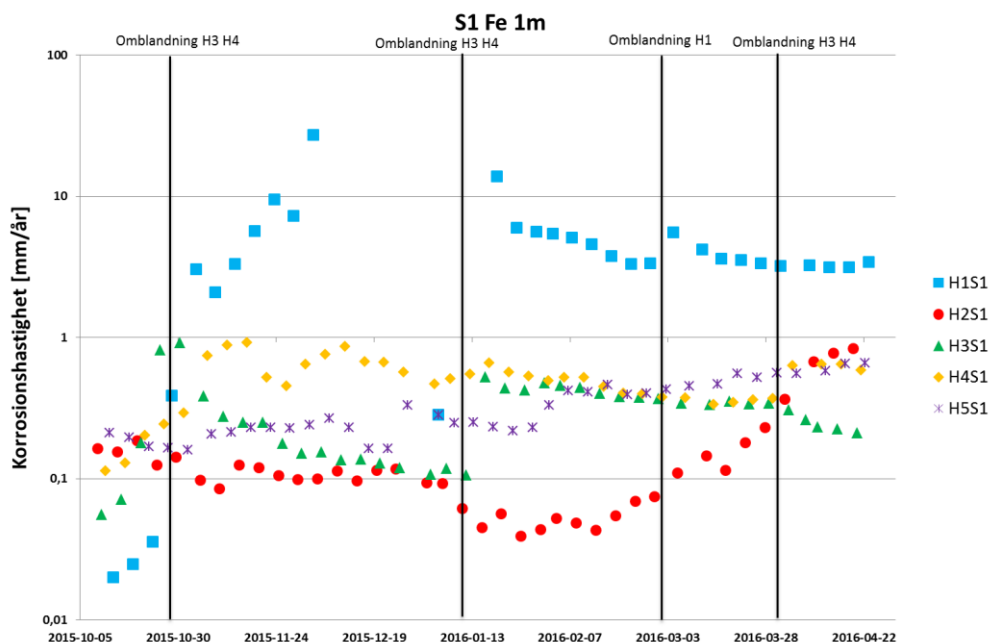
Under de första 3-4 veckorna ökar korrosionshastigheterna i H1, H3 och H4 markant. De uppmätta korrosionshastigheterna i H2 och H5 är ganska stabila under motsvarande tid.

Korrosionshastigheten i H1 är starkt varierande och är tidvis mycket hög. Initialt är dess korrosionshastighet lägre än 0,1 mm/år för att senare öka till över 10 mm/år. Vid omblandning av H1 den 3 mars 2016 sker en förändring av korrosionshastigheten men den återtar sedan ungefär samma hastighet som innan omblandning. Korrosionshastigheten stabiliseras på c:a 2-10 mm/år.

Korrosionshastigheten i H3 minskar efter den första omblandningen den 3 november 2015 men ökar kraftigt vid den andra omblandningen den 14 januari 2016. Vid den sista omblandningen den 31 mars 2016 sker en mindre minskning av korrosionshastigheten. Korrosionshastigheten varierar mellan 0,1 och 1 mm/år förutom i början av försöket.

Korrosionshastigheten i H4 ökar vid alla tre omblandningstillfällena, dock olika kraftigt. Hastigheten varierar mellan 0,3 – drygt 1 mm/år förutom i början av försöket.

H2 och H5 har inte blandats om under exponeringsperioden utan förändringarna i korrosionshastigheter beror följaktligen på andra orsaker. Hastigheten i H2 varierar från drygt 0,01 mm/år till knappt 1 mm/år och hastigheten i H5 varierar från knappt 0,1 mm/år till knappt 1 mm/år.



Figur 8. Korrosionshastighet uppmätt i sond S1 (stål) instucken 1 meter i respektive slagghög H1-H5. Y-axeln visar korrosionshastighet (mm/år, logaritmisk skala) och x-axeln visar försökperioden. De tre ombländningstillfällena för H3 och H4 respektive det enda ombländningstillfället för H1 är markerade med svarta streck.

5.1.2 Korrosionshastigheter för stålelektroder instuckna 15 cm

Figur 9 visar korrosionshastigheterna uppmätta i mm/år för de stålelektroder som varit instuckna c:a 15 cm i slagghögarna H1, H2, H3, H4 och H5. Datumen för ombländningstillfällena med avseende på slagghög H3 och H4 respektive för slagghög H1 är markerade. Symbolerna i Figur 9 visar stabila korrosionshastigheter efter viss insvängning.

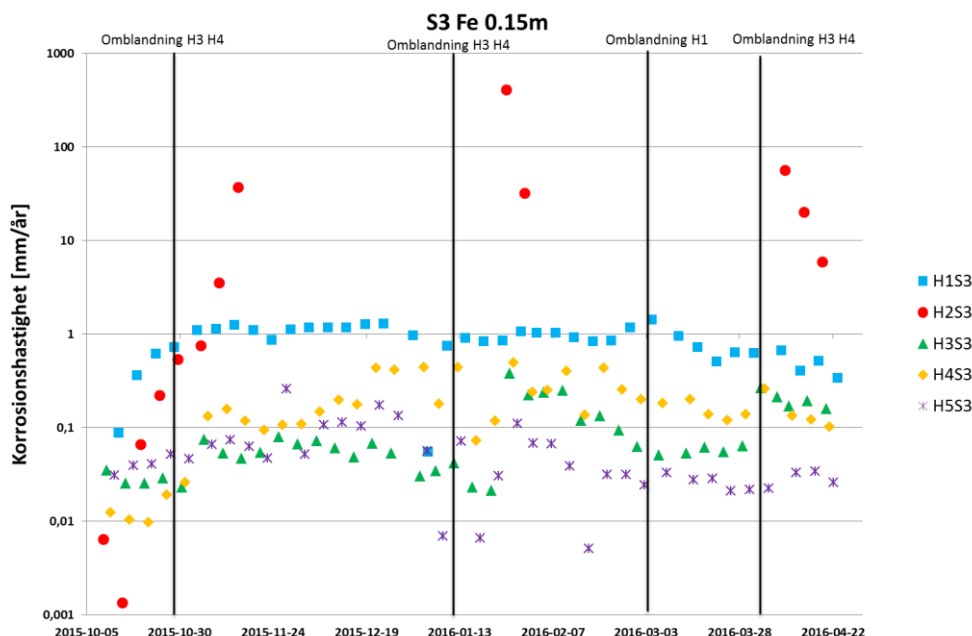
Under de första 3-4 veckorna ökar korrosionshastigheterna i H1 och H2 markant från < 0,1 och < 0,01 mm/år till c:a 1 mm/år. Korrosionshastigheten i H4 ökar måttligt från 0,01 till 0,03 mm/år. Övriga korrosionshastigheter uppmätta i H3 och H5 ligger förhållandevis stabilt på låga korrosionshastigheter, 0,01 respektive 0,03 mm/år.

Vid ombländning av H1 den 3 mars 2016 sker möjligen en minskning av korrosionshastigheten från drygt 1 mm/år till c:a 0,3 mm/år.

Vid ombländning av H3 och H4 den 3 november 2015 ökar korrosionshastigheten från c:a 0,02 mm/år till nästan 0,1 mm/år dock med stark variation för H3 och till över 0,1 mm/år för H4. I samband med nästa ombländning sker ingen omedelbar förändring av korrosionshastigheten för H3 men för H4 minskar hastigheten från c:a 0,4 till c:a 0,2 mm/år för att senare åter stiga. Vid den sista ombländningen ökar båda korrosionshastigheterna till c:a 0,3 mm/år för att sedan avta till c:a 0,1 mm/år. Korrosionshastigheten för H2 skenar efter c:a 1 månad och visar hastigheter långt över 10 mm/år. Under slutet av mätperioden mäts hastigheten till c:a 5 mm/år.

För H5 varierar korrosionshastigheten mellan c:a 0,01 mm/år eller mindre till c:a 0,2 mm/år. För två av högarna, H1 och H2, är korrosionshastigheterna c:a 1 mm/år eller mycket högre. För högen H4, varierar hastigheten i huvudsak mellan 0,1 till 1 mm/år och för de övriga högarna ligger korrosionshastigheten på runt 0,1 mm/år eller lägre.

Efter den inledande hastighetsökningen är den generella trenden att korrosionshastigheten är relativt stabila med hög korrosionshastighet i H2 som undantag. Omblandningsförfarandet av högarna tycks inte påverka korrosionshastigheten mer än den naturliga variationen.

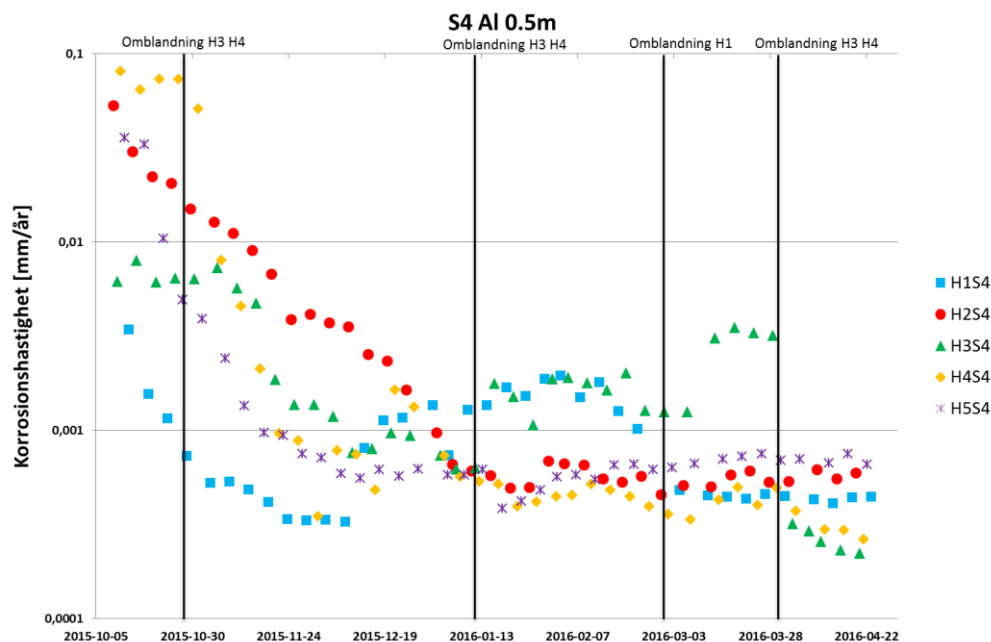


Figur 9. Korrosionshastighet uppmätt i sond S3 (stål) instucken 15 cm i respektive slagghög H1-H5. Y-axeln visar korrosionshastighet (mm/år, logaritmisk skala) och x-axeln visar försökperioden. De tre omblandningstillfällena för H3 och H4 respektive det enda omblandningstillfället för H1 är markerade med svarta streck.

5.1.3 Korrosionshastigheter för aluminiumelektroder instuckna 50 cm

Figur 10 visar de uppmätta korrosionshastigheterna för de aluminiumelektroder som varit instuckna c:a 50 cm i slagghögarna H1, H2, H3, H4 och H5. Datumen för omblandningstillfällena med avseende på slagghög H3 och H4 respektive för slagghög H1 är markerade. Symbolerna i Figur 10 visar stabila korrosionshastigheter efter viss insvängning.

Korrosionshastigheterna reduceras från c:a 0,01 – 0,1 mm/år till c:a 0,001 mm/år ($1\mu\text{m}/\text{år}$) efter inte fullt tre månader. Generellt kan sägas att korrosionshastigheter $< 10\mu\text{m}/\text{år}$ är en helt försumbara i detta sammanhang. Omblandningstillfällena påverkar förvisso korrosionshastigheten men förändringen bedöms också som försumbar.

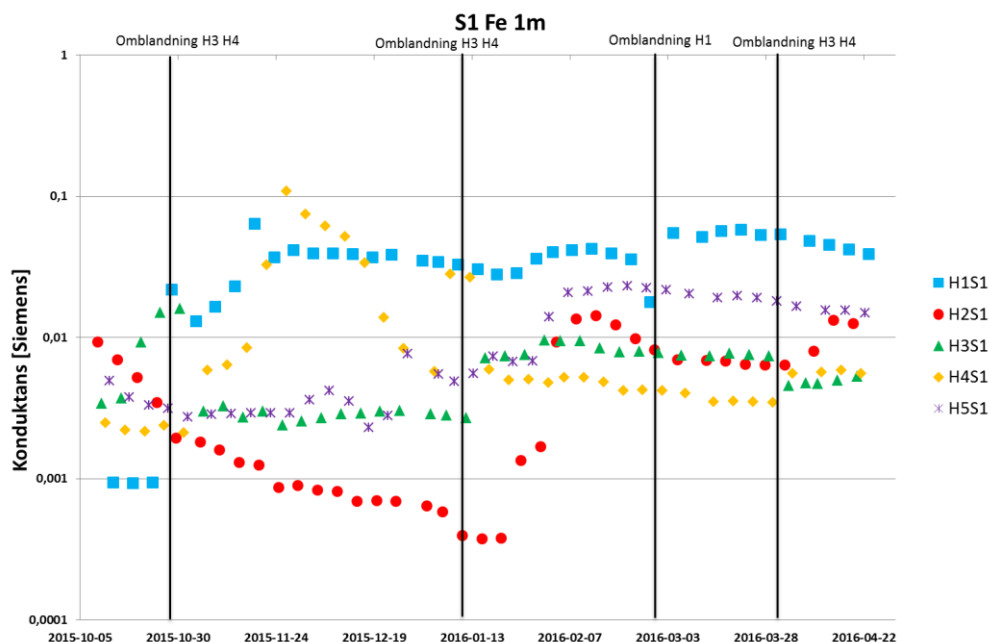


Figur 10. Korrosionshastighet uppmätt i sond S4 (aluminium) instucken 50 cm i respektive slagghög H1-H5. Y-axeln visar korrosionshastighet (mm/år, logaritmisk skala) och x-axeln visar försökperioden. De tre ombländningstillfällena för H3 och H4 respektive det enda ombländningstillfället för H1 är markerade med svarta streck.

5.1.4 Konduktans vid stålelektroder instuckna 1 m

Figur 11 visar den uppmätta konduktansen (ledningsförmågan) uttryckt i Siemens för de stålelektroder som varit instuckna c:a 1 m i slagghögarna H1, H2, H3, H4 och H5.

I H2, H3 och H5 uppmäts en mycket låg konduktans under de fyra första månaderna. Därefter ökar konduktansen något men nivåerna är fortfarande låga. H1 och H4 uppvisar varierande konduktans under mätningarna och endast konduktansen i H1 varierar i samband med ombländning vid flytt.



Figur 11. Konduktans uppmätt i sond S1 (stål) instucken 1 m i respektive slagghög H1-H5. Y-axeln visar konduktans (enhet Siemens, logaritmisk skala) och x-axeln visar försökperioden. De tre ombländningstillfällena för H3 och H4 respektive det enda ombländningstillfället för H1 är markerade med svarta streck.

5.1.5 Konduktans vid stålelektroder instuckna 15 cm

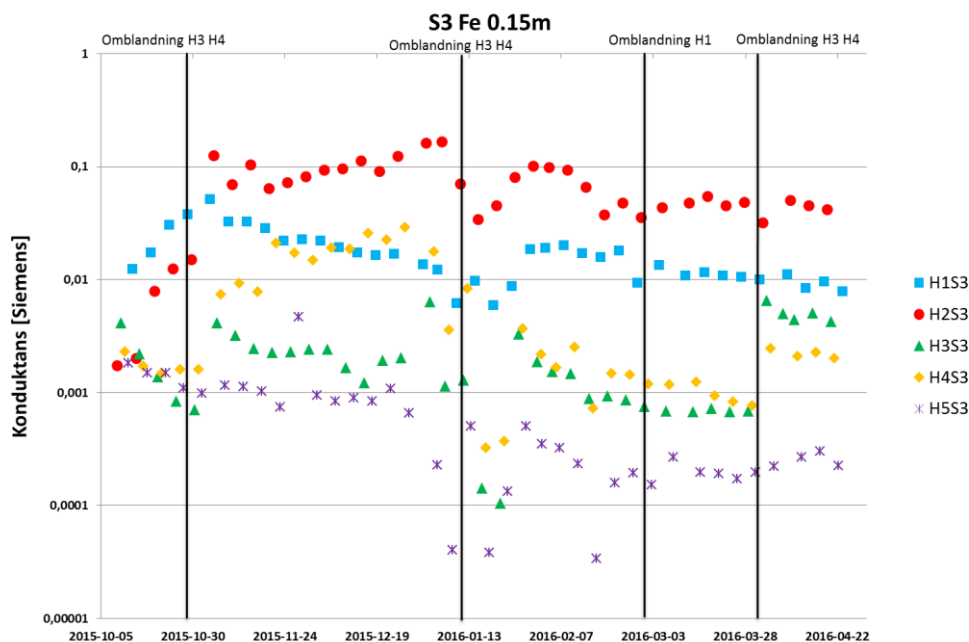
Figur 12 visar motsvarande konduktansmätningar vid de stålelektroder som varit instuckna c:a 15 cm.

I H3 och H5 uppmäts mycket låg konduktans under hela mätperioden.

Förändringar av den uppmätta konduktansen i H4 uppvisar förändringar efter tre av fyra ombländningstillfällena för att därefter stabiliseras.

Konduktansen ökar i hög H2 ökar initialt och stiger kraftigt i samband med den första ombländningen. Därefter varierar den utan direkta samband med de följande ombländningarna.

Det sker smärre förändringar av den uppmätta konduktansen i H1 i samband med ombländning men de underliggande variationerna är större.

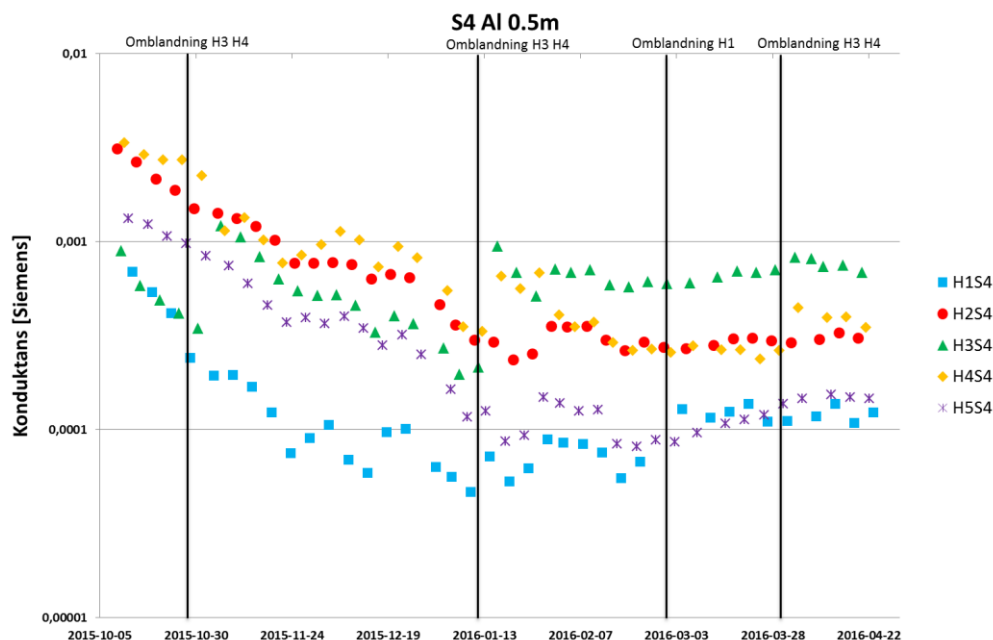


Figur 12. Konduktans uppmätt i sond S3 (stål) instucken 15 cm i respektive slagghög H1-H5. Y-axeln visar konduktans (enhet Siemens, logaritmisk skala) och x-axeln visar försökperioden. De tre ombländningstillfällena för H3 och H4 respektive det enda ombländningstillfället för H1 är markerade med svarta streck.

5.1.6 Konduktans vid aluminiumelektroder instuckna 50 cm

Figur 13 visar de uppmätta konduktanserna vid de aluminiumelektroder som varit instuckna c:a 50 cm.

Från en mycket låg nivå avtar konduktansen till extremt låga nivåer med tiden. Förloppet påminner om de uppmätta korrosionshastigheterna med aluminium-elektroder. Det täta aluminiumoxidskikt som bildas gör, förutom att korrosionen upphör också att konduktansmätningar inte kan genomföras.



Figur 13. Konduktans uppmätt i sond S4 (aluminium) instucken 50 cm i respektive slagghög H1-H5. Y-axeln visar konduktans (enhet Siemens, logaritmisk skala) och x-axeln visar försökperioden. De tre ombländningstillfällena för slagghög H3 och H4 respektive det enda ombländningstillfället för slagghög H1 är markerade med svarta streck.

5.2 VISUELL ANALYS

Resultatet från den visuella analysen redovisas i bilaga 2.

Överlag är korrosionsangreppen förhållandevis begränsade under tiden fram till första ombländningstillfället den 2 november 2015 för sonder med stålelektroder. Efter det ökar korrosionshastigheterna markant.

Sonderna har korroderat olika mycket trots att de var instuckna lika långt i samma hög. Detta indikerar att den lokala miljön påverkar korrosionsangreppen starkt. Det finns heller inget enkelt samband med uppmätt fukthalt och korrosionsangrepp.

Korrosionsangreppen varierar inte heller med sondens instickdjup. För högar H1 och H2 har sonderna vid 15 cm insticksdjup korroderat mer än vid 1 m instickdjup. Resultaten är de omvända för högar H4 och H5. För hög H3 är korrosionsangreppen likvärdiga för de båda djupen.

Sonder med elektroder av aluminium ändrar utseende marginellt under den totala exponeringsperioden. Något fler föroreningar tycks fastna i korrosionsprodukten med tiden och färgnyansen ändras något.

Korrosionen tycks fortgå även vid minusgrader. Tjäle, med okänt djup, har bildats men tycks inte inverka på korrosionsangreppen. Det är dock svårt att uppskatta när tjälen bildades och försvann.

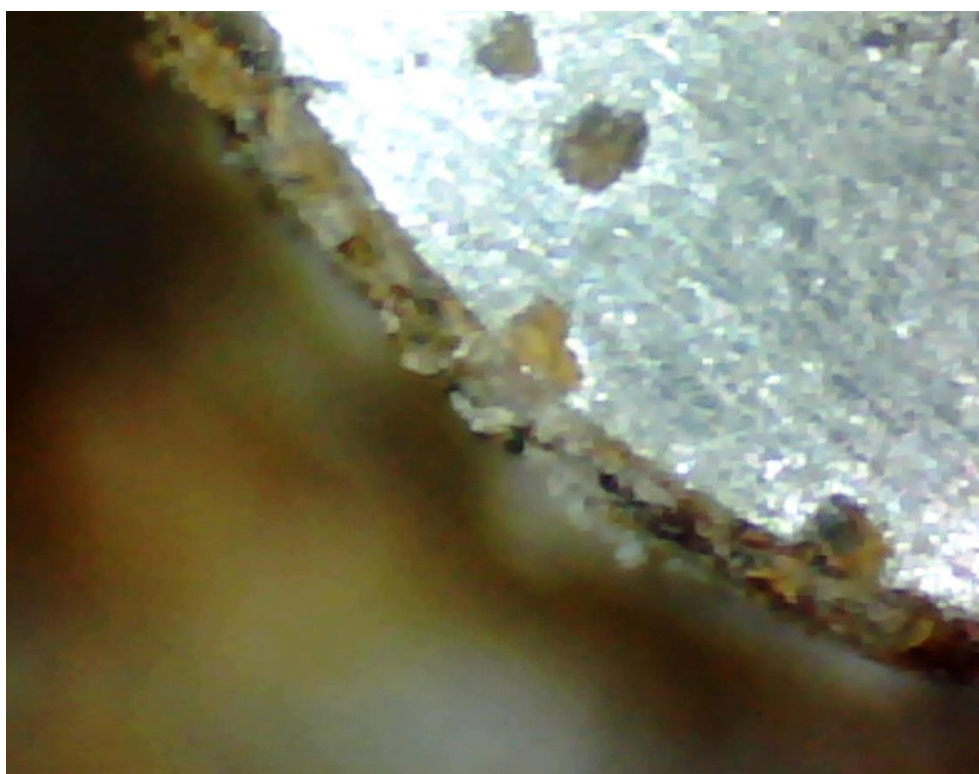
5.3 METALLOGRAFI PÅ ELEKTRODER

Figurer 14-16 nedan visar fotografier tagna på tvärsnitt av exponerade elektroder.

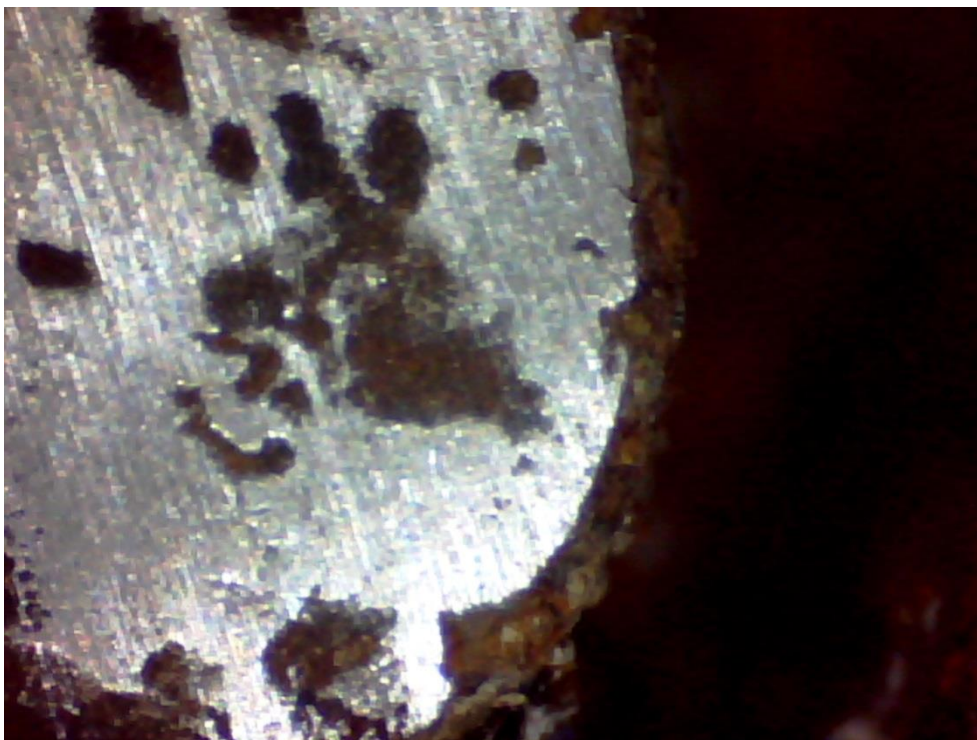
Figur 14 visar del av tvärsnittet av en stålelektrod från sond som varit instucken 1 m i hög H3. En korrosionsprodukt som är några 1/10-dels millimeter har bildats efter c:a 7 månaders exponering. Att korrosionsangrepp syns inne i elektroden beror på att kapningen gjordes så nära elektrodänden som möjligt eftersom korrosionsangreppen var mest omfattande där.

Figur 15 visar ett tvärsnitt från stålelektrod från sond som varit instucken 15 cm i hög H1. Korrosionsangreppen är lokalt relativt omfattande. I bildens nedre kant har korrosionsangreppet förgrenat sig djupare in i elektrodmaterialiet. Korrosionsproduktens tjocklek uppskattas till c:a 0,5 mm vid det område där den är likartad i sin tjocklek.

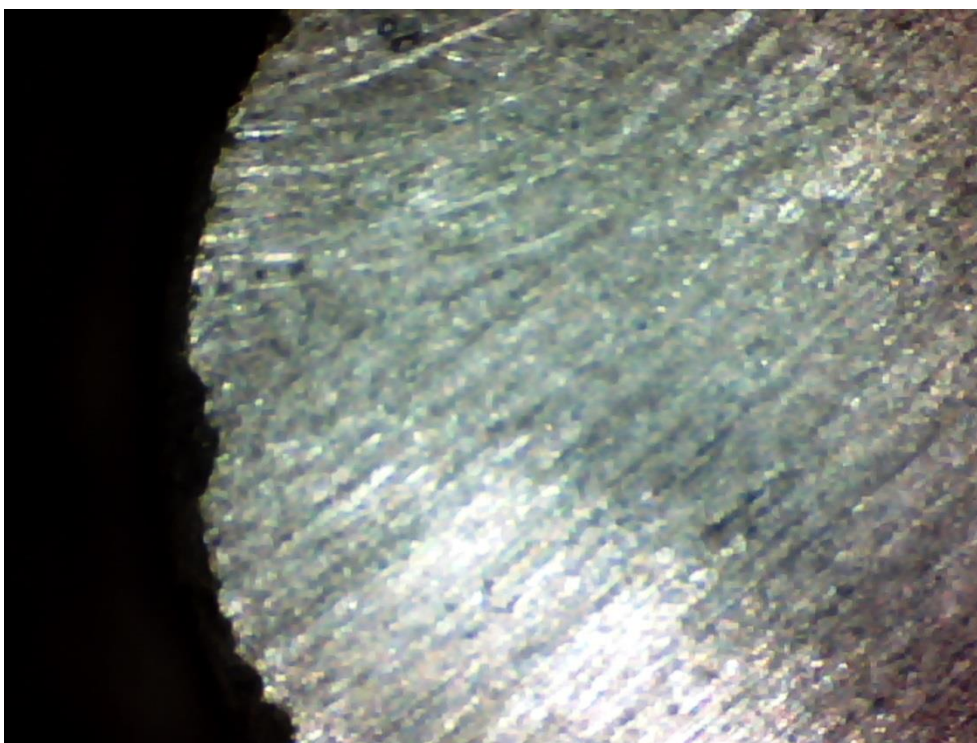
Tvärsnittet som visas i Figur 16 kommer från aluminiumelektrod från sond som varit instucken 50 cm i hög H3. I fotografiet syns inte korrosionsprodukterna på samma sätt som på stålelektroderna ovan eftersom de är mycket tunnare. Lokalt saknas dock material på mantelytan vilket ger ett groplikande utseende. Uppkomsten kan bero på korrosion men omfattningen antas ha förvärrats vid provberedningen.



Figur 14. Tvärsnitt av stålelektrod från sond som varit instucken 1 m i hög H3. En korrosionsprodukt som är några 1/10-dels millimeter har bildats efter c:a 7 månaders exponering.



Figur 15 Tvärsnitt av stålelektrod från sond som varit instucken 15 cm i hög H1. Korrosionsangreppen är lokalt relativt omfattande.



Figur 16. Tvärsnittet av aluminiumelektrod från sond som varit instucken 50 cm i hög H3. På fotografiet syns inte korrosionsprodukterna på samma sätt som på stålelektroden ovan eftersom de är mycket tunnare.

5.4 TOTALHALTER

Resultat från analys av totalhalter av ingående ämnen, fukt, samt andel oförbränt och TOC redovisas i bilaga 3a (tabell) och bilaga 3b (diagram). Av sammanställningen i bilaga 3a framgår också provernas vikt samt hur mycket metall som plockats bort från respektive prov inför analys (angivet i vikt respektive viktprocent). De ämnen som förekommer i större omfattning uttrycks i viktprocent relaterat till torr slagg och spårelementen uttrycks i enheten mg/kg torr slagg.

Renova tar regelbundet ut prover från den slagg som uppkommer vid avfallsförbränning och analyserar proverna med avseende på de ämnen som bedöms som mest relevanta ur miljösynpunkt – arsenik, bly, kadmium, krom, koppar, kvicksilver, nickel och zink. Min-, max- och medianvärden för Renovas slagg avseende perioden år 1994-2014 (underlagsdata utgörs av årsmedelvärden) utgör referensvärden i bilaga 3a (tabell) och bilaga 3c (diagram).

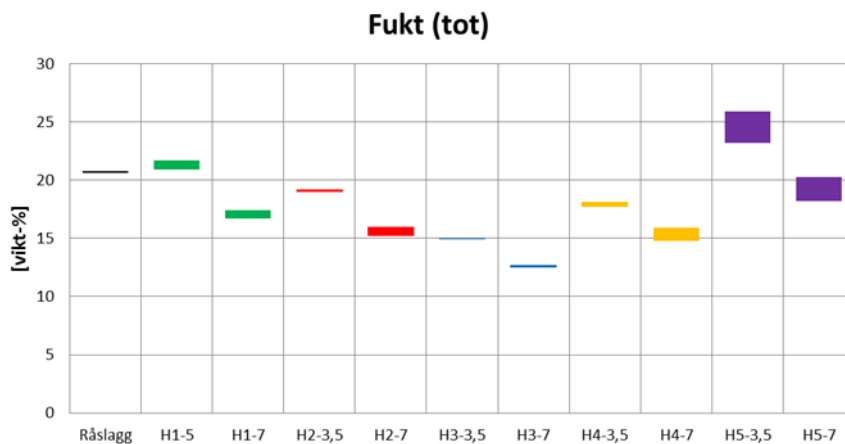
Totalhalterna i slagghögarna avseende dessa ämnen varierar i stort sett i samtliga prover inom ramen för de min- och maxvärden som fastställts för Renovas slagg för perioden år 1994-2014, se bilaga 3a (tabell) och bilaga 3c (diagram). De enda värden som avviker är ett kromvärde i råslag (870 mg/kg vilket överstiger maxvärdet 813 mg/kg), ett kopparvärde i slagghög H4 (28 000 mg/kg vilket överstiger maxvärdet 24 533 mg/kg) samt ett zinkvärde i råslag (800 mg/kg vilket underskrider minvärdet 833 mg/kg). Medianvärdena för dessa ämnen är också i paritet med motsvarande medianvärden för Renovas slagg för den ovan angivna perioden. Avvikelsen mellan de respektive medianvärdena varierar från 0,2 % (arsenik) till 38 % (koppar). Att avvikelsen mellan de respektive medianvärdena för totalhalten av koppar är relativt stor bekräftas av erfarenheterna från en tidigare studie¹² där koppar uppvisar den största standardavvikelsen med avseende på repeterbarhet för enkelprov i jämförelse med ett antal andra metaller.

Totalhalterna avseende dessa ämnen uppvisar inga tydliga samband, varken avseende trender relaterat till lagringstid eller lagringsmetod, se bilaga 3b, Figur a-h. Variationen mellan värdena inom respektive dubbelprov är i många fall större än skillnaderna mellan råslag och de olika slagghögarna. En förändring som eventuellt är signifikant är den något lägre totalhalten av krom i samtliga slagghögar i jämförelse med råslagen.

Fukthalten i råslagen är drygt 20 viktprocent, se Figur 17. Fukthalten i de respektive slagghögarna efter 3,5 månader (5 månader för H1) varierar mellan c:a 15 % (H3) och 25 % (H5). Fukthalten sjunker sedan i samtliga slagghögar med tiden och har efter 7 månader minskat med 2,5-5 procentenheter i de respektive högarna. Fukthalten är som högst i slagghög H5 som lagrades utan väderskydd och utan omblandning under hela försöket. Den lägsta fukthalten påvisades i slagghög H3 som lagrades under väderskydd med omblandning.

Reduktionen av fukthalt över tiden samt skillnaderna i fukthalt mellan de respektive slagghögarna som påvisats ovan har inte kunnat verifieras visuellt vid iakttagelser i fält i samband med omblandningsförfaranden och metallsortering. Något som dock noterats i fält är att slagghögarna var täckta av snö under en period i januari/februari 2016. Det har däremot inte noterats vattenansamlingar på någon slagghögarna.

Fukthalten i slagghögarna är generellt högre än den fukthalt som fastställts i ett tidigare projekt där slagg från SYSAV:s förbränningsanläggning lagrades i 6 månader (slaggruset var då 5-7 månader gammalt)⁶. Fukthalten varierade då mellan c:a 14-16 %.



Figur 17. Fukthalt (viktprocent) i råslagg samt i slagghög H1-H5 efter 3,5 respektive 7 månaders lagring (5 respektive 7 månader för H1).

5.5 UTLAKNING

Resultat från analys av utlakning vid L/S 2 och L/S 10 redovisas i bilaga 4 (tabell) respektive bilaga 5a (tabell) och bilaga 5b (diagram). Provernas vikt samt mängd bortplockad metall utgörs av samma värden som vid analys av totalhalt ovan. Samtliga parametrar förutom pH uttrycks i enheten mg/kg slagg. Som referens för L/S 10 anges de begränsningsvärden som gäller för icke-farligt avfall vid samdeponering med farligt avfall¹³, vilka ofta tillämpas som referensvärden i samband med bedömning av huruvida slaggrus kan användas i anläggningsarbeten.

Resultatet av analyserna vid L/S 2 och L/S 10 visar att utlakningen är under detektionsgränsen för samtliga slagghögar med avseende på följande ämnen: barium, bly, järn, kadmium, nickel, selen och zink. För arsenik, krom och kvicksilver är värdena något över detektionsgränsen för några få prover, se bilaga 4 samt 5a.

De ämnen vars värden tydligt är över detektionsgränsen och därmed går att utvärdera är följande: aluminium, antimon, koppar, molybden, klorid, fluorid, sulfat, DOC och pH, se bilaga 5b. Alla dessa omfattas av begränsningsvärden enligt ovan förutom aluminium och pH, men det enda begränsningsvärdet som överskrids är utlakningen av DOC från råslagg samt från slagghög H1 efter 5 månaders lagring.

Också i ett tidigare projekt⁷ konstaterades att utlakningen av bly, kadmium, krom, nickel och zink var låg och att miljömässiga bedömningar därför istället ska fokuseras på antimon, koppar, molybden, klorider och sulfater.

Bedömningar med avseende på utlakningen nedan baseras på resultat av analyser vid L/S 10 som redovisas i bilaga 5b.

Råslaggens pH-värde är c:a 11, bilaga 5b, Figur i. pH-värdet sjunker sedan i samtliga slagghögar och uppvisar de lägsta värdena efter 7 månaders lagring. pH varierar då mellan 9,0-10,0. Något tydligt samband mellan lagringsmetod och pH-värde kan dock inte påvisas. De fastställda pH-värdena stämmer relativt väl överens med erfarenheterna från ett tidigare projekt⁶ där merparten av slaggruset har ett pH-värde mellan 9 och 10.

Utlakningen av aluminium minskar i samtliga slagghögar i jämförelse med råslaggen och i flertalet slagghögar (ej H2) är också utlakningen som lägst efter 7 månaders lagring, se bilaga 5b, Figur a. Precis som för aluminium minskar också utlakningen av koppar över tiden och är som lägst efter 7 månaders lagring, se bilaga 5b, Figur b. Att utlakningen av aluminium och koppar minskar med lagringstiden (och därmed sjunkande pH enligt ovan) stämmer väl med tidigare erfarenheter⁵ som visar att utlakningen av aluminium är som lägst vid pH 6-8 och utlakningen av koppar är som lägst vid pH 8-10.

Utlakningen av molybden och antimon uppvisar ingen tydlig förändring, vare sig över tiden eller sinsemellan de respektive slagghögarna, se bilaga 5b, Figur c och d.

Den tydligaste trenden avseende klorider tycks vara att utlakningen är som lägst i de högar som lagrades utan väderskydd (H4 och H5), se bilaga 5b, Figur e. Utlakningen av fluorider är avsevärt lägre i samtliga slagghögar i jämförelse med råslaggen och är som lägst efter 7 månaders lagring eventuellt med undantag för slagghög H5 vars värde är under detektionsgränsen och därför svårtolkat, se bilaga 5b, Figur g. Den lägre utlakningen efter lagring stämmer väl med förväntan då klorider och fluorider är lösliga och sannolikt sköljts ur slaggen i samband med nederbörd.

Utlakningen av sulfater är högre i samtliga slagghögar i jämförelse med råslaggen och är som högst efter 7 månaders lagring med undantag för slagghög H2, se bilaga 5b, Figur f. Ett samband mellan ökad utlakning av sulfater vid karbonatisering fastställs också i en nyligen publicerad studie¹⁴.

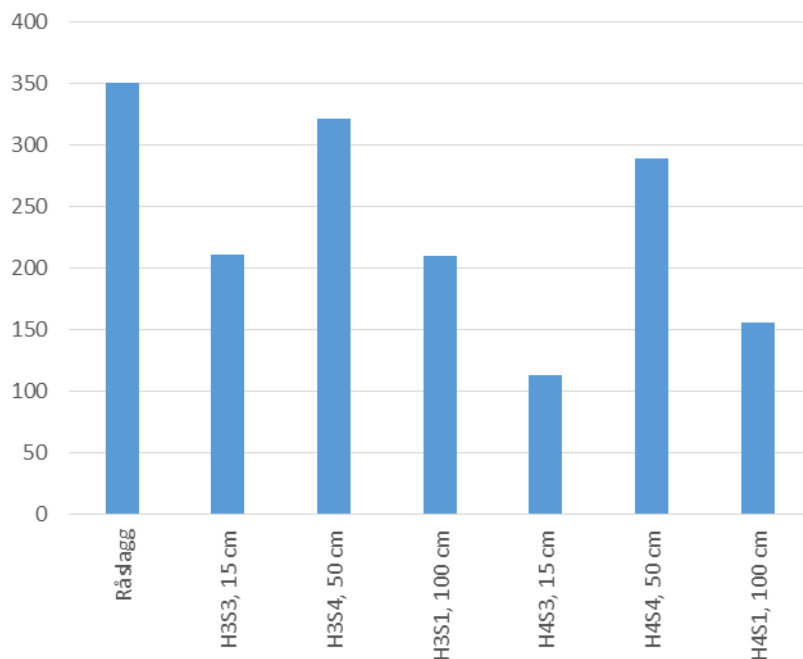
Utlakningen av DOC är lägre i samtliga slagghögar i jämförelse med råslaggen (eventuellt med undantag för H1 efter 5 månaders lagring för vilken spridningen mellan de båda proverna är mycket stor och innebär att det är svårt att bedöma en eventuell förändring). Utlakningen sjunker också över tiden och är som lägst efter 7 månaders lagring i samtliga slagghögar (eventuellt med undantag för slagghög H3 för vilken spridningen mellan de båda proverna innebär att den eventuella förändringen är svårtolkad), se bilaga 5b, Figur h.

5.6 SYRANEUTRALISERANDE KAPACITET (ANC)

Initiala pH-värden och syraneutraliserande kapacitet (uttrycks i mmol HCl/kg slagg) för de respektive slaggproverna redovisas i Tabell 1 samt Figur 18. Råslagg avser ett slaggprov som togs ut i samband med initieringen av försöket (september 2015). H3S3, H3S4 och H3S1 representerar slagg från provpunkter 15 cm, 50 cm respektive 100 cm in i slagghög H3. För proverna H4S3, H4S4 och H4S1 gäller motsvarande provpunkter.

Tabell 1. Initiala pH-värden och syraneutraliserande kapacitet.

	Initial pH	mmol HCl/kg slagg
Råslagg	11,35	351
H3S3, 15 cm	10,8	212
H3S4, 50 cm	10,69	321
H3S1, 100 cm	10,37	210
H4S3, 15 cm	10,36	113
H4S4, 50 cm	10,82	289
H4S1, 100 cm	10,39	156



Figur 18. Syraneutraliserande kapacitet (enhet mmol HCl/kg slag) för slagprover uttagna i anslutning till elektrodernas placeringar i högarna H3 och H4.

Det högsta initiala pH-värdet ($\text{pH} = 11,4$) uppmättes i råslaggen. Råslaggen förvarades i lufttät burk i rumstemperatur i ett antal månader innan mätning och eftersom det fanns både fukt och syre i provet från början är det troligt att en viss karbonatisering har skett under tiden då provet förvarats. Initiala pH-värdet i råslaggen är dock högre än motsvarande pH-värden för de övriga proverna som varierar mellan $\text{pH} = 10,4 - 10,8$. Det tyder på att råslaggen inte har karbonatiserats i lika stor utsträckning, vilket stämmer väl med tidigare erfarenheter. Resultaten visar ingen tydlig korrelation mellan initialt pH-värde (vilket beskriver karbonatiseringsgrad) och syraneutraliserande kapacitet. Råslag som endast lakats 1 timme visar liknande egenskaper med råslag som lakats 42 timmar. Detta tyder på att den syraneutraliserande kapaciteten är tillgänglig fort efter att vatten kommer i kontakt med slaggen.

Totalt sett är ANC något lägre för dessa prover jämfört med andra slagprover som finns rapporterade i litteraturen⁵. Det beror förmodligen på att titreringstiden var relativt begränsad i detta försök. Resultaten bör därför endast utvärderas sinsemellan och inte jämföras med andra försök utifrån sina absoluta värden.

Det finns ingen direkt koppling mellan hur djupt in i en hög provet är taget och ANC. Resultaten tyder istället på att ANC är högst 50 cm in i högen. Orsaken till detta är inte känd.

I bilaga 6 och bilaga 7 redovisas resultatet av titreringsförfarandet med avseende på proverna H4S3 och H4S4. pH sjunker relativt snabbt i båda fallen, men det tar olika lång tid innan pH stabiliserar sig. Detta beror på hur mycket alkaliska föreningar som frigörs från slaggen. Generellt visar resultaten att ju lägre syraneutraliserande kapacitet, desto snabbare stabiliserar pH.

Fukthalten i samtliga prover från högarna H3 och H4 är c:a 20 %. Råslaggen har en lägre fukthalt på c:a 10 %. Råslaggen har förvarats i rumstemperatur i en lufttät behållare för att förhindra karbonatisering, men den högre temperaturen relativt övriga slaggprover kan ha bidragit till den högre torrhalten.

5.7 TEMPERATUR

Resultatet av temperaturmätning i slagghögarna 30 mars 2016 i och i anslutning till slagghögarna H3 (kl 10.35) och H4 (kl 10.51) redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Temperatur i slagghögarna H3 och H4 vid olika djup samt i anslutning till högarna.

	Temperatur (°C)
H3, omgivning	7,4
H3S3, 15 cm	8,2
H3S4, 50 cm	10,1
H3S1, 100 cm	10,9
H4, omgivning	7,8
H4S3, 15 cm	7,8
H4S4, 50 cm	8,8
H4S1, 100 cm	10,0

Mätningarna visar att temperaturen ökar med djupet in i slagghögarna. I slagghög H3 (väderskyddad) är skillnaden mellan temperaturen 100 cm in i högen och omgivande temperatur c:a 3,5 °C. Motsvarande differens för slagghög H4 (ej väderskyddad) är 2,2 °C. Under veckan som föregick mätningstillfället varierade dygnsmedeltemperaturen mellan c:a 5 -7 °C. Den förhöjda temperaturen som registrerades längre in i högarna bör således inte vara en effekt av en bevarad temperatur från omgivningen utan snarare ett tecken på en temperaturgradient med ökat djup vilket överensstämmer med tidigare erfarenheter⁶.

6 Diskussion

6.1 DIMENSIONERING AV FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING

Hypotesen att korrosion pågår i icke-torr slagg har tidigare provats och verifierats i labbskala, se avsnitt 1. I detta fältförsök har försöksmatrisen skalats upp till nivåer som låter sig göras inom rimliga gränser. Totalt har 25 mätpunkter i fem olika slagghögar använts för mätning av korrosion. Denna förhållandevis omfattande studie är ändå bara en bråkdel av den korrosion som pågår i de oändligt mycket större slaggmängderna som uppkommer i Renovas avfallsförbränningsanläggning under motsvarande tid. Med hänsyn till de praktiska aspekterna får denna studie ändå anses vara så omfattande som det var möjligt.

6.2 KORROSIONSMÄTNINGAR

Realtidskorrosionsmätningarna löpte på helt automatiskt utan avbrott under hela mätperioden tack vare den dygnsvisa automatiska omkopplingen mellan sönerna och högarna. Därmed finns kontinuerlig korrosionsdata från hela försöksperioden. Detta förfarande kan jämföras med andra realistiska alternativ som vore att ta ut korrosionsprover vid vissa fasta tidpunkter. Med ett sådant förfarande hade det då endast funnits möjlighet att utvärdera korrosionsförfarandet i samband med omblandningstillfällena.

Arbetet med att ta fram den automatiska mätdatainsamlingen samt tillverkning av den nödvändiga utrustningen var mycket omfattande, men nödvändig för att kunna utvärdera utvecklingen av korrosionshastigheten över tiden. Hade inte denna automatiska datainsamling gjorts skulle det innebära att en person måste manuellt ändra uppkopplingarna mellan korrosionssönerna och transmittern, varje dag för att uppnå samma rotationshastighet.

Flera av de uppmätta korrosionshastigheterna är relativt höga. Korrosionsutrustningen är inte kalibrerad för korrosionshastigheter > 10mm/år. Därför ska inte de uppmätta höga korrosionshastigheterna inte tolkas som absoluta korrosionshastigheter utan höga hastigheter som är >10mm/år.

6.3 OMBLANDNINGSFÖRFARANDE

Eftersom omblandningsförfarandena var betydligt mer tidskrävande än vad som antagits innebar det att antalet omblandningstillfällen fick reduceras jämfört med ursprunglig plan. Orsaken till de omständliga omblandningsförfarandena var att det krävdes maskinell hjälp av frontlastare och att väderskyddet (tältet) därmed behövde monteras ned delvis för att komma åt högarna. För att få tillgång till nödvändig frontlastare behövde omblandningstillfällena också planeras in i förväg och det var ibland lite svårt att tidsmässigt få det att överensstämma mellan de olika parterna.

6.4 VAL AV ANALYSMETODER

Enligt den ursprungliga projektbeskrivningen var avsikten att studera hur den mineralogiska strukturen förändras i slaggen under de olika lagringsprocesserna genom XRD-analyser (röntgendiffraktion) med avseende på prov från den färska slaggen samt efter lagring. I samband med det andra referensgruppsmötet i projektet

redovisades resultat från de inledande korrosionsmätningarna. Skillnaden i korrosionshastighet mellan de respektive slagghögarna var då begränsad och projekt- samt referensgruppen bedömde därför inte det som rimligt att XRD-analyser av prover från respektive slagghög skulle visa några stora skillnader. I tillägg har XRD-analyser av slagg i ett projekt som tidigare genomförts internt inom Vattenfall visat att det finns en stor amorf fas, vilket försvårar analysarbetet och kräver många delprovanalyser för att uppnå säkra resultat. Därför beslutades i samråd med referensgruppen att inte utföra kostsamma XRD-analyser, utan istället utföra analys avseende syraneutraliserande kapacitet och pH med avseende på prover från färsk slagg samt från olika djup i ett par av slagghögarna (H3 och H4).

6.5 UTFÖRANDE AV ANALYSER

Samtliga analyser avseende totalhalter, utlakning och syraneutraliserande kapacitet utfördes som enkelprover. Detta gjordes av ekonomiska skäl då kostnaderna för att utföra analys på dubbelprover inte hade rymts i projektets budget. Att endast analysera enkelprover är sårbart eftersom enskilda avvikande värden som till exempel beror på inhomogena prover kan ligga till underlag för de slutsatser som dras.

I projektet har dock provuttagen inför analys av totalhalter och utlakning gjorts i form av dubbelprover. Spridningen mellan värdena i respektive dubbelprov har varit relativt stor för totalhalten av vissa ämnen men det har trots detta varit möjligt att dra generella slutsatser om huruvida totalhalterna påverkats av lagringsförfarandena.

Vidare ska resultaten från analys av syraneutraliserande kapacitet endast ses som inbördes jämförelser mellan proverna snarare än exakta mått på den syraneutraliserande kapaciteten. Ett exempel på detta är att om titreringen hade tillåtits fortsätta till absolut jämvikt, d.v.s. när pH inte ändras alls i slagg/syralösningen, hade mer syra åtgått. Erfarenheter från tidigare studier på slagg visar dock att det kan ta flera dygn att uppnå jämvikt bland annat beroende på partikelstorleken. Utifrån tidsbegränsningar i projektet beslutades därför att avsluta titreringen efter kortare tid.

7 Slutsatser

7.1 KORROSION

För de sonder med stålelektroder ökade korrosionshastigheterna från 0,1 mm/år till runt 1 mm/år eller mer för c:a 50% av sonderna, tidvis. För aluminiumsonderna minskade korrosionshastigheterna från 0,1 mm/år eller mindre till ännu lägre försumbara korrosionshastigheter efter c:a 2 månader. Korrosionshastigheterna påverkas mer av omgivningen lokalt runt sonderna än av yttre påverkan i samband med omblandning, flytt av hög eller om högen är placerad under väderskydd eller inte. Eftersom korrosionshastigheterna för stål stabiliseras på höga hastigheter efter c:a 1 månad bör utsortering av metaller göras snarast. Däremot kan utsortering av aluminium göras vid godtyckligt tillfälle eftersom korrosionen är försumbar.

De uppmätta korrosionshastigheterna antas vara i underkant eftersom testlegeringarna inte genomgått samma aggressiva behandling som legeringar i slagg från pannor. Förlusterna av material kan vara omfattande. Vid en korrosionshastighet på 1 mm/år kan en 1 mm tjock plåt rosta bort efter ett halvårs lagring. Hälften av en 2 mm tjock plåt har försvunnit på samma tid.

De visuella utvärderingarna av elektroderna styrker slutsatserna ovan.

7.2 MILJÖPÅVERKAN

Resultatet av analyserna av totalhalter och utlakning från den råslagg som användes i försöket samt från de respektive slagghögarna vid 3,5 och 7 månader (för slagghög H1 vid 5 respektive 7 månader) visar inga väsentliga skillnader mellan de olika lagringsförfarandena som skulle motivera valet av ett visst lagringsförfarande. De begränsade skillnader som påvisas är heller inte avgörande för huruvida tillämpliga begränsningsvärden innehålls eller ej. Begränsningsvärdena för icke-farligt avfall vid samdeponering med farligt avfall uppfylls för samtliga lagringsförfaranden efter 7 månaders lagring. Slaggens innehåll och utlakning av ämnen motiverar därmed inte att det finns anledning att frånga ett normalt lagringsförfarande utifrån dess miljöpåverkan och möjlighet att användas som konstruktionsmaterial.

7.3 LAGRINGSFÖRFARANDE

Den huvudsakliga målsättningen inom projektet var att fastställa vilken betydelse olika lagringsförfaranden har för möjligheten att utvinna metaller från slaggen samt dess miljöegenskaper. Utifrån resultaten var sedan avsikten att rekommendera ett förfarande för lagring av slagg samt en lämplig lagringstid för att optimera förutsättningarna för utvinning av metaller och användning av slaggrus för anläggningsändamål.

Resultaten från projektet visar att lagringsförfarandet inte har någon väsentlig påverkan vare sig med avseende på korrosionen av metaller i slaggen eller utlakningen av ämnen från slaggen. Det finns således ingen anledning att frånga det lagringsförfarande som vanligen tillämpas med avseende på slagg, det vill säga utomhus utan omblandning. Däremot bör utsortering av metaller göras så tidigt som möjligt under lagringsperioden eftersom korrosionshastigheten för åtminstone järn är stabilt hög redan efter en månads lagring.

7.4 EKONOMISK POTENTIAL

Den fulla ekonomiska potentialen är svår att uppskatta eftersom den beror på flera parametrar t.ex. kostnader för utsortering och värdet på den utsorterade metallen. Den viktigaste faktorn är dock vilken form stålet (järnet) i slagg har. Det är en väsentlig skillnad om stålet i huvudsak föreligger som plåt och inte som stång. Plåt är generellt tunnare än stång och en 1 mm tjock plåt är helt uppkorroderad efter c:a 6 månader och har därmed inget värde. En stång med 10 mm i diameter har kvar nominellt 90 % av sin ursprungliga diameter, och också värde, rent teoretiskt.

Vilka dimensioner som faktiskt återfinns i slagg vet inte författarna och gör att en ekonomisk uppskattning är svår att göra och man kan lätt hamna en magnitud fel.

Känner man inte till storleksfördelningen av metaller i slagg, vilket kanske trots allt är det vanligaste, ska man snarast sortera ut metallerna p.g.a. den med tiden tilltagande korrosionshastigheten.

8 Referenser

1. Arm, M., Larsson, L., Tiberg, C., Lind, B., Arvidslund, O.; Uppföljning av slaggrusprovvägar – provsträckor på Törringevägen utanför Malmö och Dåvamyran utanför Umeå, Värmeforsk rapport nr 1081, Februari 2009.
2. Astrup, T.; Pretreatment and utilization of waste incineration bottom ashes: Danish Experiences, Waste Management vol27:10, p 1452-1457.
3. Avfall Sverige, Svensk Avfallshantering 2014.
4. Bergil, C., Bydén, S.; Mäta förurning (1995)
5. Flyhammar, P., Bendz, D., Hartlén, J., Grönholm, R.; Lagring av slaggrus, Rapport 1, Slaggrusets åldrande-Förändringar av miljömässiga egenskaper, SYSAV Utveckling AB, 2004.
6. Flyhammar, P., Bendz, D., Hartlén, J., Grönholm, R.; Slaggrusets åldrande-Spatiella variationer i en konventionell lagringshög, SYSAV Utveckling AB, 2004.
7. Flyhammar, P.; Kvalitetssäkring av slaggrus – miljömässiga egenskaper, Värmeforsk Rapport 973, 2006.
8. FTL, Förpacknings- & tidningsinsamlingen
9. Grosso, M., Biganzoli, L., Rigamonti, L.; A quantitative estimate of potential aluminium recovery from incineration bottom ashes, Resources Conservation and Recycling, Vol 55:12, p1178-1184, Oktober 2011
10. Hansson, D.; Kartläggning av sluttäckning av deponier, Svenska Energiaskor, maj 2013.
11. Hartlén, J., Grönholm, R., Flyhammar, P.; Kvalitetssäkring av slaggrus från förbränning av avfall, RVF-rapport 02-10, April 2002.
12. Johansson, I., Sahlin, E., Von Bahr, B., Björkmalm, J., Todorovic Olsson, J.; Kritiska metaller i svenska avfallsaskor, Waste Refinery rapport WR56, 2013
13. Naturvårdsverket, Föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall, NFS 2004:10.
14. Nilsson, M., Andreas, L., Lagerkvist, A.; Effect of accelerated carbonation and zero valent iron on metal leaching from bottom ash, Waste Management 51, p. 97-104, 2016.
15. Santos, R., Mertens, G., Salman, M., Cizer, Ö., van Gerven, T.; Comparative study of ageing, heat treatment and accelerated carbonation for stabilization of municipal solid waste incineration bottom ash in view of reducing regulated heavy metal/metalloid leaching, Journal of environmental management, Volume 128, p 807-821, Oktober 2013.
16. Toraldo, E., Saponaro, S., Careghini, A., Mariani, Ed; Use of stabilized bottom ash for bound layers of road pavements, Journal of environmental Management, Vol 121, p117-123, Maj 2013.
17. Vandecasteele, C., Wauters, G., Arickx, S., Jaspers, M., van Gerven, T.; Integrated municipal solid waste treatment using grate furnace incinerator: The Indaver case, Waste Management Vol 27:10, p1366-1375, 2007.
18. de Vries, W., Rem, P.C.; ADR: A Classifier for Fine Moist Materials, Separating Pro-Environment (Eds. V. Gente and F. La Marca), 2012, 43-58.
19. ZAR, Stiftung zentrum für nachhaltige abfall- und resourcennutzung, <http://zar-ch.ch/en/home/vision/>

9 Bilagor

Bilaga 1. Översikt slagghögar

Bilaga 2. Visuell utvärdering av sonder

Bilaga 3a. Totalhalter (tabell)

Bilaga 3b. Totalhalter (diagram)

Bilaga 3c. Totalhalter i jämförelse med Renovas slagg från år 1994-2014 (diagram)

Bilaga 4. Utlakning vid L/S 2 (tabell)

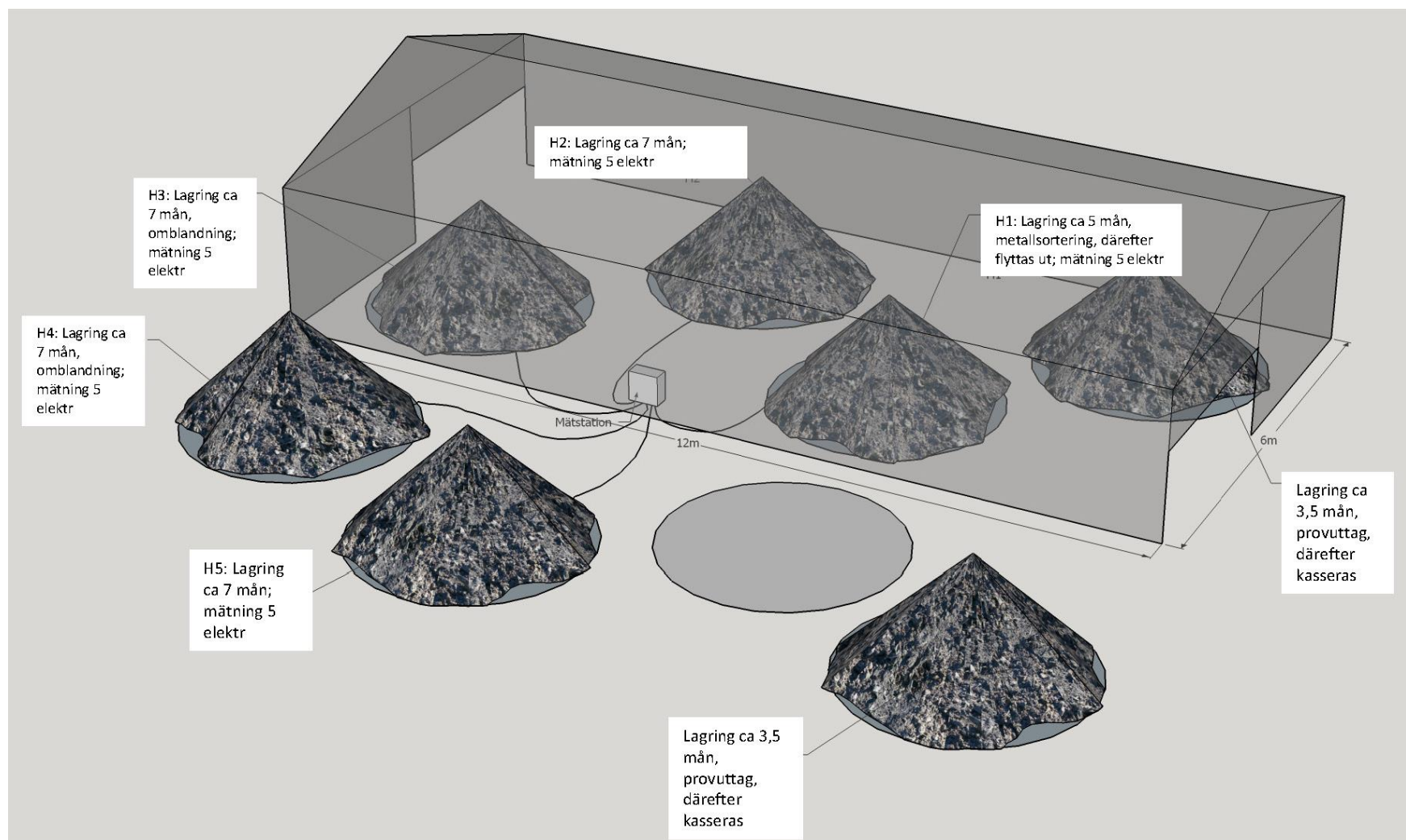
Bilaga 5a. Utlakning vid L/S 10 (tabell)

Bilaga 5b. Utlakning vid L/S 10 (diagram)

Bilaga 6. Titreringsförfarande med avseende på slagg från H4S3

Bilaga 7. Titreringsförfarande med avseende på slagg från H4S4

Bilaga 1: Översikt slagghögar



Bilaga 2. Visuell utvärdering av sonder

Slagghög H1

Fotodokumentation utfördes vid utsortering och samtida flytt av hög H1 från väderskyddad till icke väderskyddad position efter fem månader. Fotografier togs också i samband med avslutning av försöket efter sju månaders lagring.

Figurserien nedan visar elektrodernas utseende efter drygt c:a 3 500 h och efter c:a 5 000 h exponering. De kortare tidsangivelserna nedan beror på att mätningarna startade c:a 3 veckor efter korrosionssonderna placerades i slagghögarna.

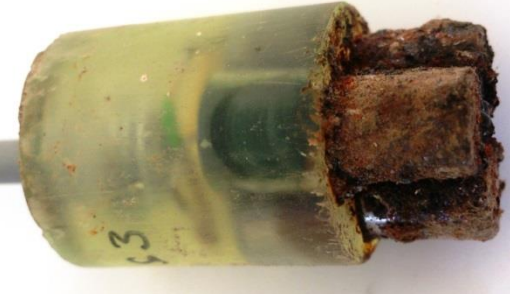
Korrosionshastigheterna har endast mätts på H1S1, H1S3 och H1S4.

Stålelektroden H1S1 och H1S2 har varit instuckna c:a 1 m. Vid tillfället då de första bilderna togs, i samband med utsortering och flytt av högen har de båda

elektrodena korroderat olika mycket. H1S2 uppvisar färre korroderade ytor än H1S1. Vid det andra tillfället, efter c:a 5 000 h har H1S2 korroderat betydligt mer än vid första tillfället. Fotografier på stålelektroden H1S3, som varit instucken 15 cm visas efter c:a 3 500 h och 5 000 h exponering. Elektrodena har korroderat mer under de sista 1 500 h än under de 3 500 första timmarna.

De båda aluminiumelektrodena H1S4 och H1S5 uppvisar inte stora skillnader utseendemässigt sinsemellan eller vid de två olika dokumentationstillfällena.

Ytorna är korroderade men partiklar kan ha fastnat på ytorna som gör att intrycket blir värre än den verkliga korrosionsomfattningen.

H1S1 Stål 1m 3264h 160225 Innan utsortering och flytt	H1S2 Stål 1m 3264h 160225 Innan utsortering och flytt	H1S3 Stål 15 cm 3264h 160225 Innan utsortering och flytt
		
4740h 160427	4740h 160427	4740h 160427
		

H1S4 Al 50cm 3264h 160225 Innan utsortering och flytt	H1S5 Al 50cm 3264h 160225 Innan utsortering och flytt
	
4740h 160427	4740h 160427
	

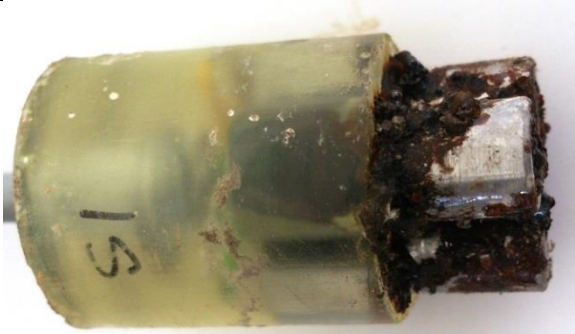
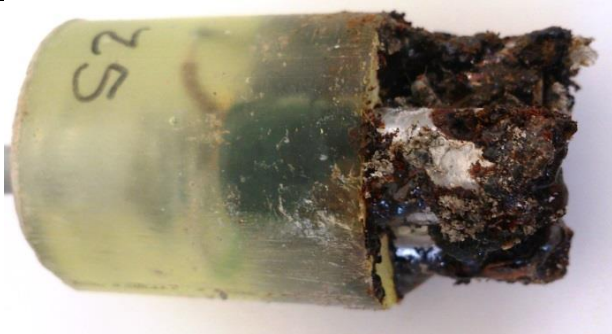
Slagghög H2

Fotodokumentation för slagghög H2 utfördes endast i samband med avslutningen av försöket efter sju månaders lagring.

Figurserien nedan visar elektrodernas utseende efter c:a 5 000 h exponering. Korrosionshastigheterna har endast mätts på H2S1, H2S3 och H2S4. Stålelektrodena H2S1 och H2S2 har varit instuckna c:a 1 m. H2S1 uppvisar

mindre korrosion än H2S2. Fotografier på stålelektroden H2S3, som varit instucken 15 cm visar att korrosionen varit mer omfattande i denna position.

De båda aluminiumelektrodernasonderna H2S4 och H2S5 uppvisar inte stora skillnader utseendemässigt sinsemellan. Ytorna ser korroderade ut eftersom påslag har fastnat i korrosionsprodukten/oxiden.

H2S1 Stål 1m 4740h 160427	H2S2 Stål 1m 4740h 160427	H2S3 stål 15 cm 4740h 160427
		
H2S4 Al 50 cm	H2S5 Al 50cm	
		

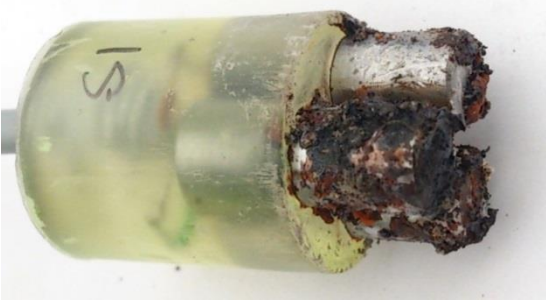
Slagghög H3

Fotodokumentation utfördes vid omblandningstillfällena (2 november 2015, 14 januari 2016, 30 mars 2016) samt i samband med avslutning av försöket efter c:a sju månaders lagring (27 april 2016).

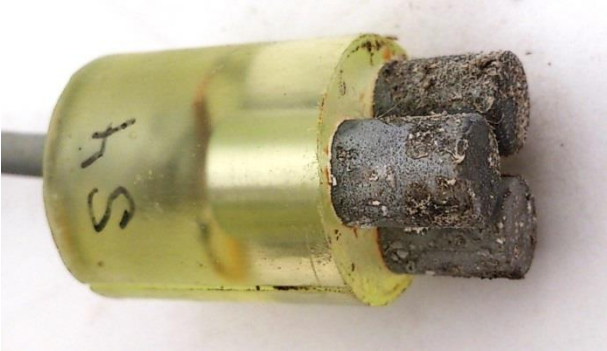
Vid första tillfället har sondaerna H3S1 och H3S2, som varit instuckna c:a 1 m i högen, korroderat ungefär lika mycket. H3S3 har korroderat något mindre under samma period. Korrosionsangreppen ökar vid varje dokumentationstillfälle i samband med omblandning på likartat sätt för H3S1 och H3S2 fram till avslut då sondaerna täcks med tjocka korrosionsprodukter.

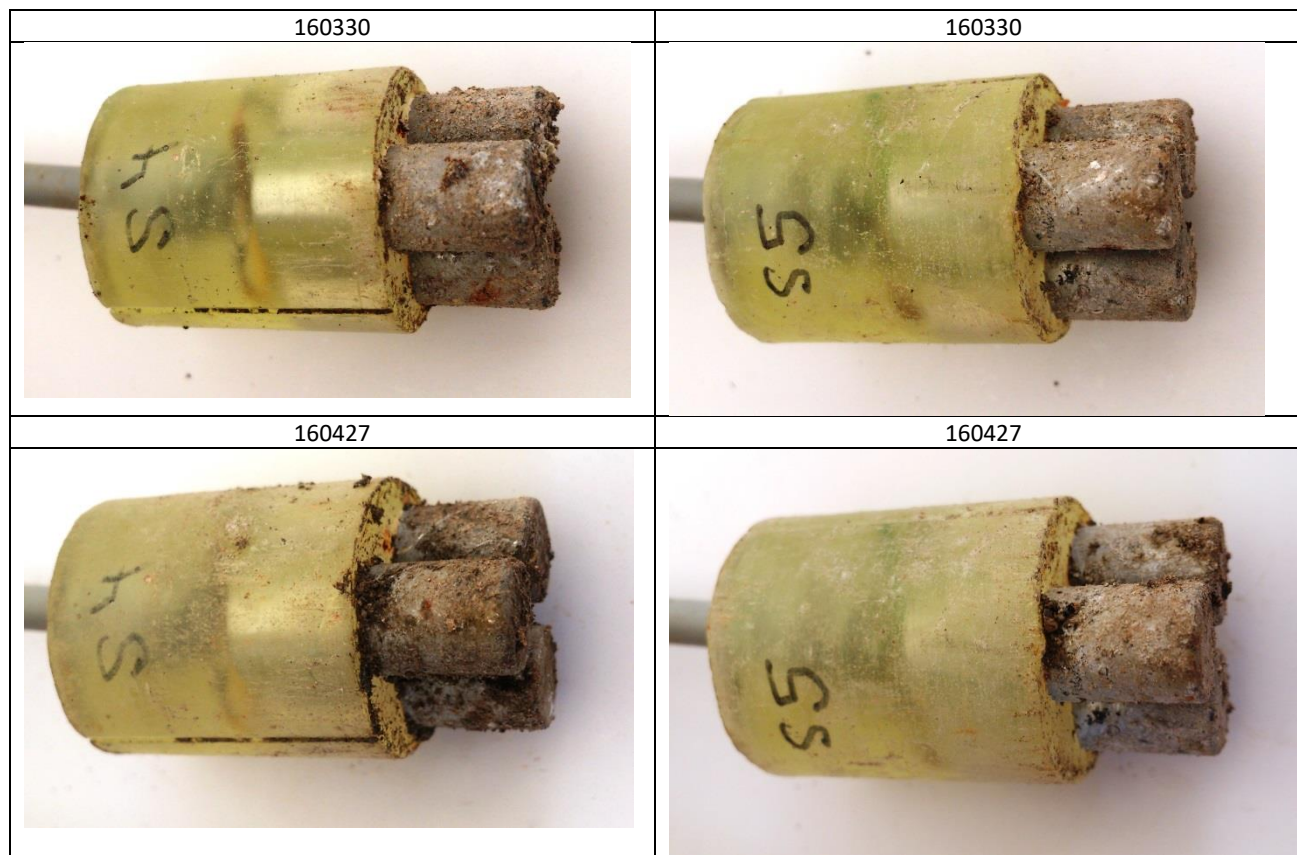
Korrosionsangreppen ökar också för H3S3 men i mindre omfattning. Vid avslutning av försöket (27 april 2016) är korrosionsprodukterna ganska tunna och det finns fortfarande ytor som inte är helt täckta av korrosion.

Aluminiumelektrodsonderna H3S4 och H3S5 uppvisar inte stora skillnader sinsemellan. Redan vid första tillfället är ytorna korroderade men korrosionstillväxten därefter antas vara låg. Brunfärgade enskilda partiklar fastnar på ytorna och gör utseendet mer brunfärgat med tiden.

H3S1 Stål 1m	H3S2 Stål 1m	H3S3 Stål 15cm
Omblandning 151102	Omblandning 151102	Omblandning 151102
		
Omblandning 160114	Omblandning 160114	Omblandning 160114
		

Omblandning 160330	Omblandning 160330	Omblandning 160330
		
160427	160427	160427
		

H3S4 Al 50 cm	H3S5 Al 50 cm
151102	151102
	
160114	160114
	



Slagghög H4

Fotodokumentation utfördes vid omblandningstillfällena (2 november 2015, 14 januari 2016/160114, 30 mars 2016) samt i samband med avslutning av försöket efter c:a sju månaders lagring (27 april 2016).

Vid första tillfället har sondaerna H4S1 och H4S2, som varit instuckna ca 1 m i högen, korroderat ungefär lika mycket. Även i denna hög har H4S3 har korroderat något mindre under samma period. Korrosionsangreppen ökar vid varje dokumentationstillfälle i samband med omblandning på likartat sätt för H4S1 och H4S2 fram till avslut då sondaerna täcks alltmer av

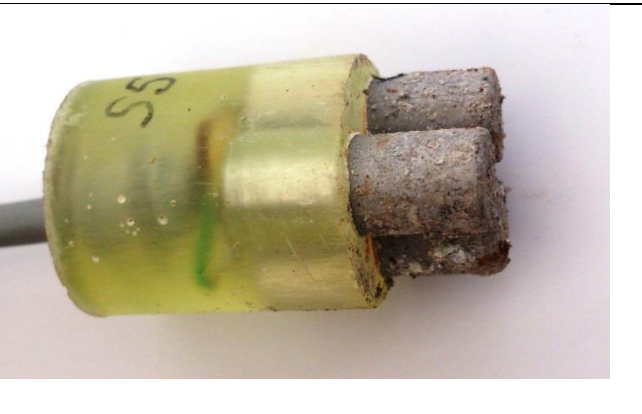
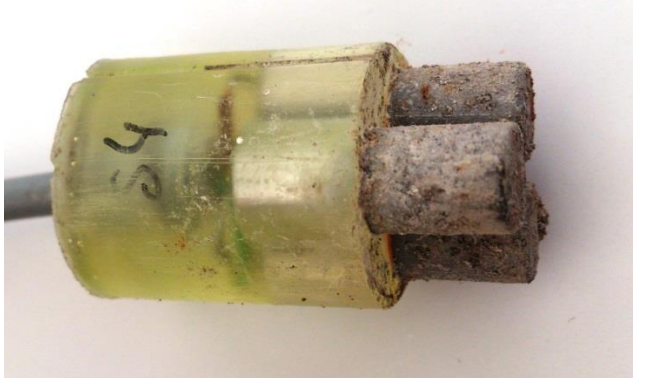
korrosionsprodukter. Korrosionsangreppen ökar också för H4S3 men i mindre omfattning. Också i samband med avslutning av försöket (27 april 2016) är korrosionsprodukterna ganska tunna ytor är nästan helt täckta av korrosion.

Aluminiumelektrodsonderna H4S4 och H4S5 uppvisar inte stora skillnader sinsemellan. Redan vid första tillfället är ytor korroderade men korrosionstillväxten därefter antas vara låg. Brunfärgade enskilda partiklar fastnar på ytor och gör utseendet mer brunfärgat och mindre gråfärgat med tiden.

H4S1 Stål 1m Omblandning 151102	H4S2 Stål 1m Omblandning 151102	H4S3 Stål 15cm Omblandning 151102
		
Omblandning 160114	Omblandning 160114	Omblandning 160114
		

Ombländning 160330	Ombländning 160330	Ombländning 160330
		
Ombländning 160427	Ombländning 160427	Ombländning 160427
		

H4S4 Al 50 cm	H4S5 Al 50 cm
151102	151102
	
Omblandning 160114	Omblandning 160114
	

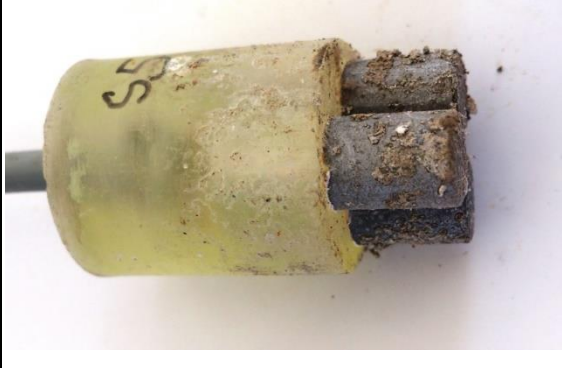
Omblandning 160330	Omblandning 160330
	
Omblandning 160427	Omblandning 160427
	

Slagghög H5

Fotodokumentation utfördes vid i samband med avslutning av försöket efter sju månaders lagring.

Figurserien nedan visar elektrodernas c:a 5 000 h exponering. Stålelektrodena H5S1 och H5S2 har varit inskjutna c:a 1 m och uppvisar mindre korrosion än i andra högar. Stålelektroden H5S3, som varit instucken 15 cm uppvisar ännu mindre korrosion jämfört med de andra högarna efter samma tid.

De båda aluminiumelektrodenasonderna H5S4 och H5S5 uppvisar inte stora skillnader utseendemässigt sinsemellan eller jämfört med andra högar. Utseende är dock mindre brunaktigt.

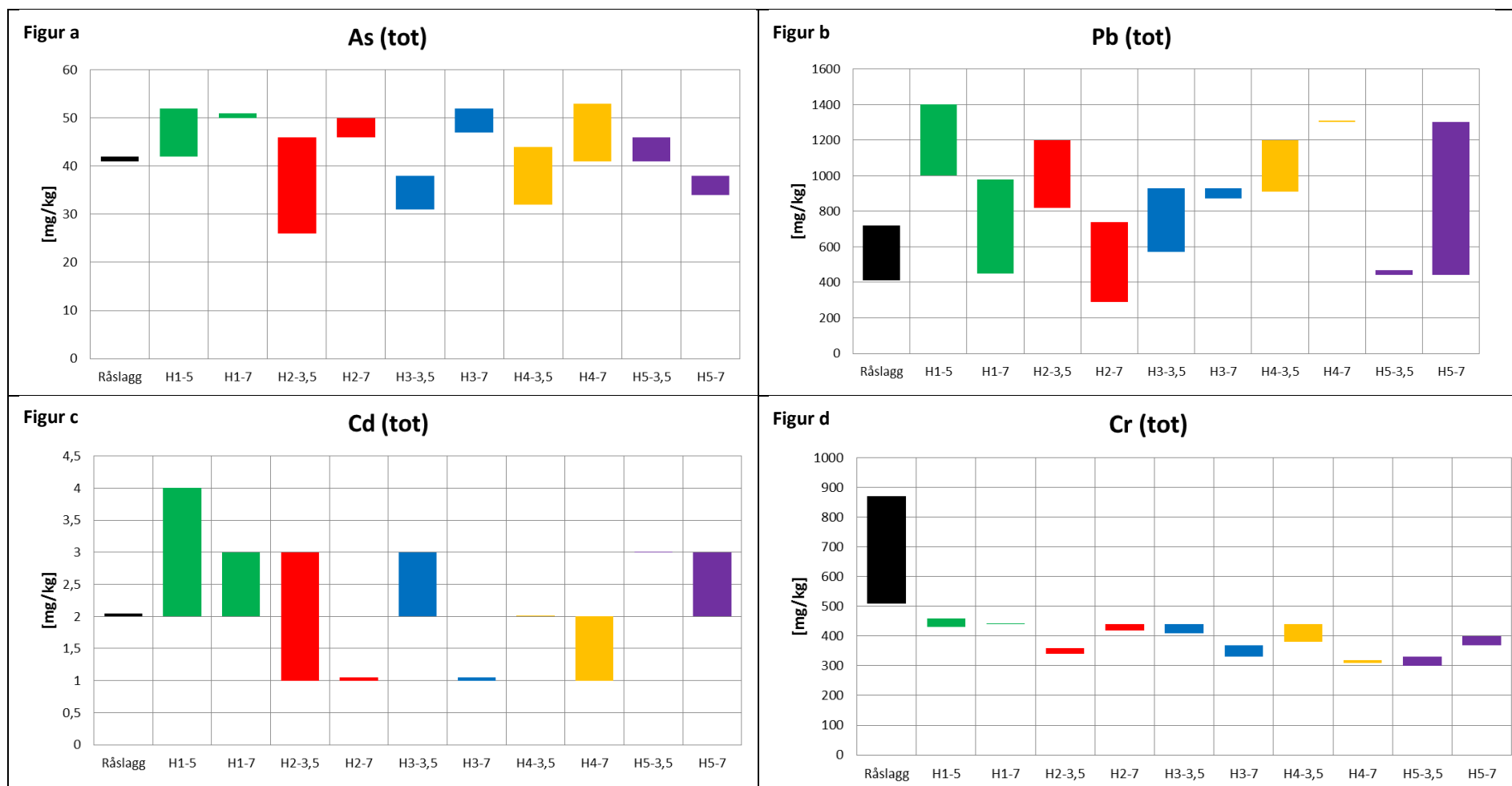
H5S1 stål 1 m	H5S2 stål 1 m	H5S3 stål 15 cm
160427	160427	160427
		
H5S4 Al 50 cm	H5S5 Al 50 cm	
160427	160427	
		

Bilaga 3a. Totalhalter (tabell)

	Referensvärden			Start		ca 5 månader		ca 3,5 månader								ca 7 månader										
Provbeteckning	Renovas råslagg 2004-2014			Prov 1	Prov 2	Prov 11	Prov 12	Prov 7	Prov 8	Prov 3	Prov 4	Prov 5	Prov 6	Prov 9	Prov 10	Prov 13	Prov 14	Prov 15	Prov 16	Prov 17	Prov 18	Prov 19	Prov 20	Prov 21	Prov 22	
	min	max	Median	Råslagg	Råslagg	H1	H1	H2	H2	H3	H3	H4	H4	H5	H5	H1	H1	H2	H2	H3	H3	H4	H4	H5	H5	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Provtagningsdatum				2015-09-29	2015-09-29	2016-03-03	2016-03-03	2016-01-15	2016-01-15	2016-01-15	2016-01-15	2016-01-15	2016-01-15	2016-01-15	2016-01-15	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	2016-04-27	
Mängd prov [kg]				ca 2,4 kg	ca 2,8 kg	ca 3,5 kg	ca 2,9 kg	ca 1,9 kg	ca 2,4 kg	ca 2,3 kg	ca 2,5 kg	ca 1,7 kg	ca 2,4 kg	ca 2,0 kg	ca 2,1 kg	ca 3,5 kg	ca 3,4 kg	ca 3,0 kg	ca 3,2 kg	ca 3,1 kg	ca 3,3 kg	ca 3,5 kg	ca 3,8 kg	ca 3,6 kg	ca 3,6 kg	
Bortplockad metall [g]				100	75	-	-	93	50	123	53	125	82	106	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bortplockad metall [vikt-%]				7%	3%			5%	3%	6%	3%	7%	4%	6%	2%											
[vikt-%]																										
Fukt					20,6	20,8	21,7	20,9	19	19,2	15	14,9	17,7	18,1	23,2	25,9	17,4	16,7	16	15,2	12,7	12,5	15,9	14,8	18,2	20,3
Oförbränt					3,1	3	4,7	5,5	6	4,6	4,3	4	3,8	4,1	6	5,4	4,5	5	4,3	3,4	3,6	4,2	3,8	3,6	3,8	4
TOC	0,6	1,5	0,9		1,72	1,65	1,67	1,85	1,87	1,55	1,44	1,2	1,34	1,67	2,1	2,26	1,54	1,85	1,46	1,34	1,02	1,25	1,27	1,29	1,69	1,73
S					0,38	0,36	0,38	0,44	0,47	0,36	0,39	0,61	0,37	0,43	0,44	0,47	0,39	0,38	0,35	0,37	0,29	0,35	0,36	0,33	0,32	0,34
Al					5,27	6,39	6,35	6,32	8,17	6,07	7,15	7,13	6,47	7,11	6,73	7,16	6,21	6,12	5,97	5,53	7,17	5,48	6,75	5,69	5,46	5,56
Si					21,9	21,4	21,2	20	18,9	20,6	20,5	19,1	20,9	20,2	19,0	18,4	20,4	20,1	21,0	21	20,4	20,1	19,6	20,4	20,8	19,7
Fe					5,2	6,93	6,25	6,76	6,54	6,87	6,35	7,81	7,4	6,22	6,09	6,84	6	6,09	6,19	7,78	6,57	7,82	6,66	6,74	8,46	7,41
Ti					0,85	0,87	0,85	0,78	0,75	0,77	0,76	0,77	0,77	0,8	0,77	0,87	0,85	0,83	0,8	0,79	0,83	0,77	0,9	0,8	0,77	0,87
Mn					0,08	0,1	0,1	0,12	0,09	0,08	0,12	0,1	0,09	0,09	0,08	0,1	0,11	0,1	0,09	0,1	0,15	0,11	0,1	0,09	0,11	0,09
Mg					1,27	1,24	1,22	1,2	1,14	1,13	1,15	1,21	1,44	1,2	1,15	1,15	1,19	1,2	1,19	1,06	1,17	1,19	1,23	1,23	1,17	1,13
Ca					11,3	11,1	11,4	11,5	11,1	11	11,7	11,3	11,1	11,8	11,3	11,6	11,8	11,5	10,9	10,9	10,9	11,1	12,4	11,7	11,4	11,2
Ba					0,26	0,24	0,21	0,18	0,17	0,17	0,22	0,21	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,2	0,18	0,22	0,19	0,18	0,19	0,18	0,22	0,17
Na					3,57	3,31	3,53	3,23	3,19	3,89	3,51	3,41	3,56	3,32	2,88	3,15	3,05	2,91	3,61	3,43	3,66	3,4	2,95	3,36	3,64	3,38
K					1,06	1,02	1,04	1,04	1,2	1,17	1,15	1,09	1,15	1,11	1,8	1,1	0,82	0,91	0,78	0,84	1,21	1,23	0,89	0,86	0,82	0,78
P					0,56	0,49	0,47	0,48	0,46	0,44	0,42	0,43	0,4301	0,43	0,48	0,52	0,44	0,48	0,45	0,42	0,41	0,39	0,47	0,44	0,45	0,44
[mg/kg]	min	max	median																							
As	9	85	43	42	41	52	42	46	26	31	38	32	44	41	46	50	50	46	50	52	47	41	53	38	34	min 26 max 53 median 43 Differens medianer -0,2%
Be				<1	<1	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cd	1	10	3	2	2	2	4	3	1	2	3	2	2	3	3	3	2	<1	<1	1	1	2	1	3	2	min 1 max 4 median 2 -27,7%
Co				53	45	56	52	65	480	51	50	41	44	64	48	47	44	36	42	45	55	53	48	37	35	
Cr	71	813	336	510	870	460	430	340	360	410	440	380	440	330	300	440	440	440	420	330	370	310	320	370	400	min 415 max 870 median 405 20,6%
Cu	1710	24533	5438	9800	3300	4600	4600	2500	2800	3400	4300	3700	3600	1900	2700	4100	3700	1900	2600	4000	2700	28000	3200	1900	2600	min 1900 max 28000 median 3350 -38,4%
Hg	0	1	0	0,03	0,03	0,06	0,07	0,09	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,08	0,06	0,06	0,07	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,07	
Mo				49	130	41	32	23	19	27	26	28	24	20	17	48	51	41	29	24	25	24	24	28	27	
Nb				17	19	16	15	14	14	14	15	18	15	14	14	13	14	13	13	11	14	12	12	10	12	
Ni	43	2727	138	150	150	170	180	160	150	140	180	160	170	300	140	220	180	120	180	150	170	370	140	150	140	min 120 max 370 median 160 16,2%
Pb	553	13000	1134	720	410	1000	1400	1200	820	570	930	910	1200	470	440	450	980	740	290	870	930	1300	1300	440	1300	min 290 max 1400 median 890 -21,5%
Se				2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb				99	71	50,1	50	56	45	54	56	49	55	48	54	100,1	100	71	72	91	76	89	88	120	68	
Sc				530	470	67	63	66	68	67	65	69	70	64	62	260,1	260	270	270	260	240	240	250	250	230	
Sn				140	120	90	110	120	120	130	210	120	68	100	92	130	140	110	580	120	120	500	160	230	95	
Sr				450	440	360	360	370	330	370	440	410	410	390	340	310	310	310	530	350	320	420	310	340	300	
V				79	150	71	64	62	57	66	68	60	62	61	58	66	68	71	56	47	53	53	56	51	50	
W				47	39	370	540	140	340	230	240	220	180	210	280	170	120	73	99	110	86	130	45	120	91	
Y				24	16	15	15	14	15	26	16	17	15	16	14	12	16	11	13	11	14	16	12	13	15	
Zn	1883	14933	3333	2800	1800	4900	5500	3200	3400	2900	3500	4500	4700	6800	3300	3900	3500	2500	2300	4000	3800	12700	2700	2800	2600	min 1800 max 12700 median 3450 3,5%
Zr				490	340	110	120	120	110	130	130	170	180	110	110	110	140	130	110	80	120	240	100	83	160	

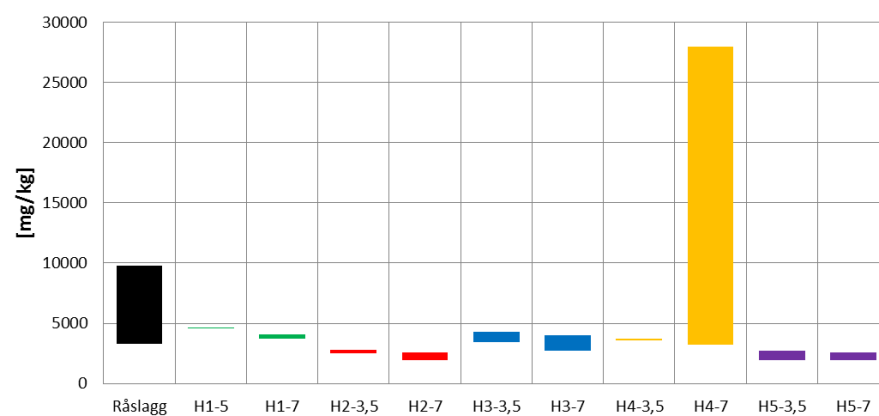
Bilaga 3b. Totalhalter (diagram)

Varje enskilt provuttag redovisas som ett intervall som omfattar värdena för de båda ingående samlingsproven.



Figur e

Cu (tot)



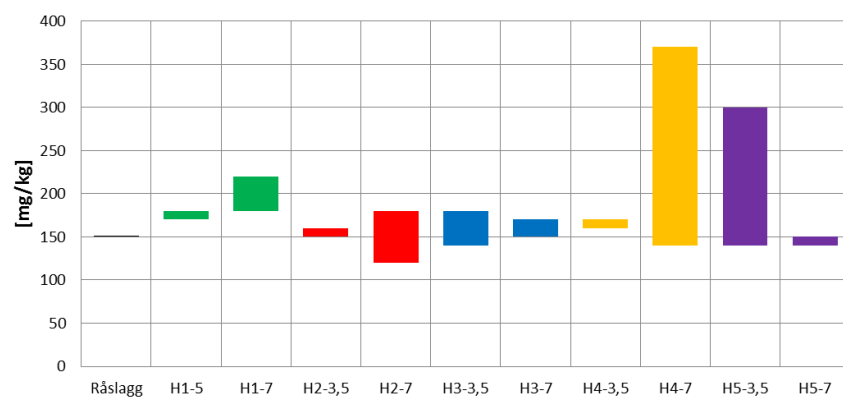
Figur f

Hg (tot)



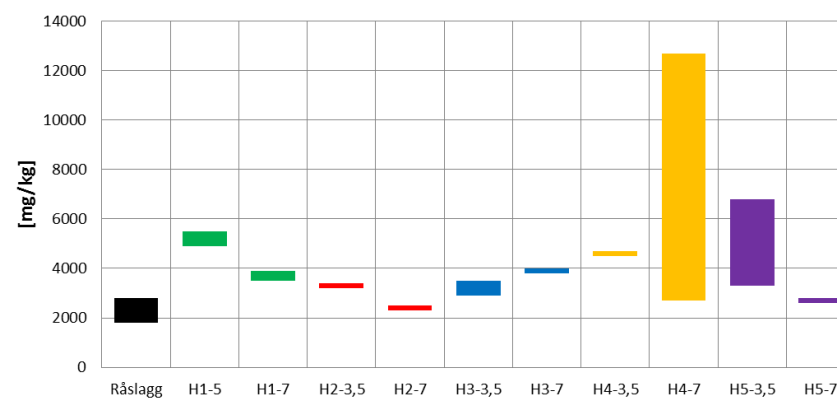
Figur g

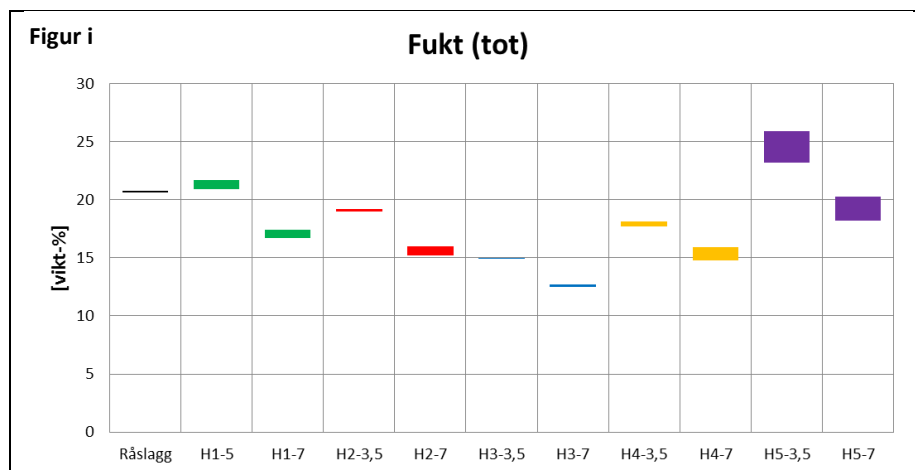
Ni (tot)



Figur h

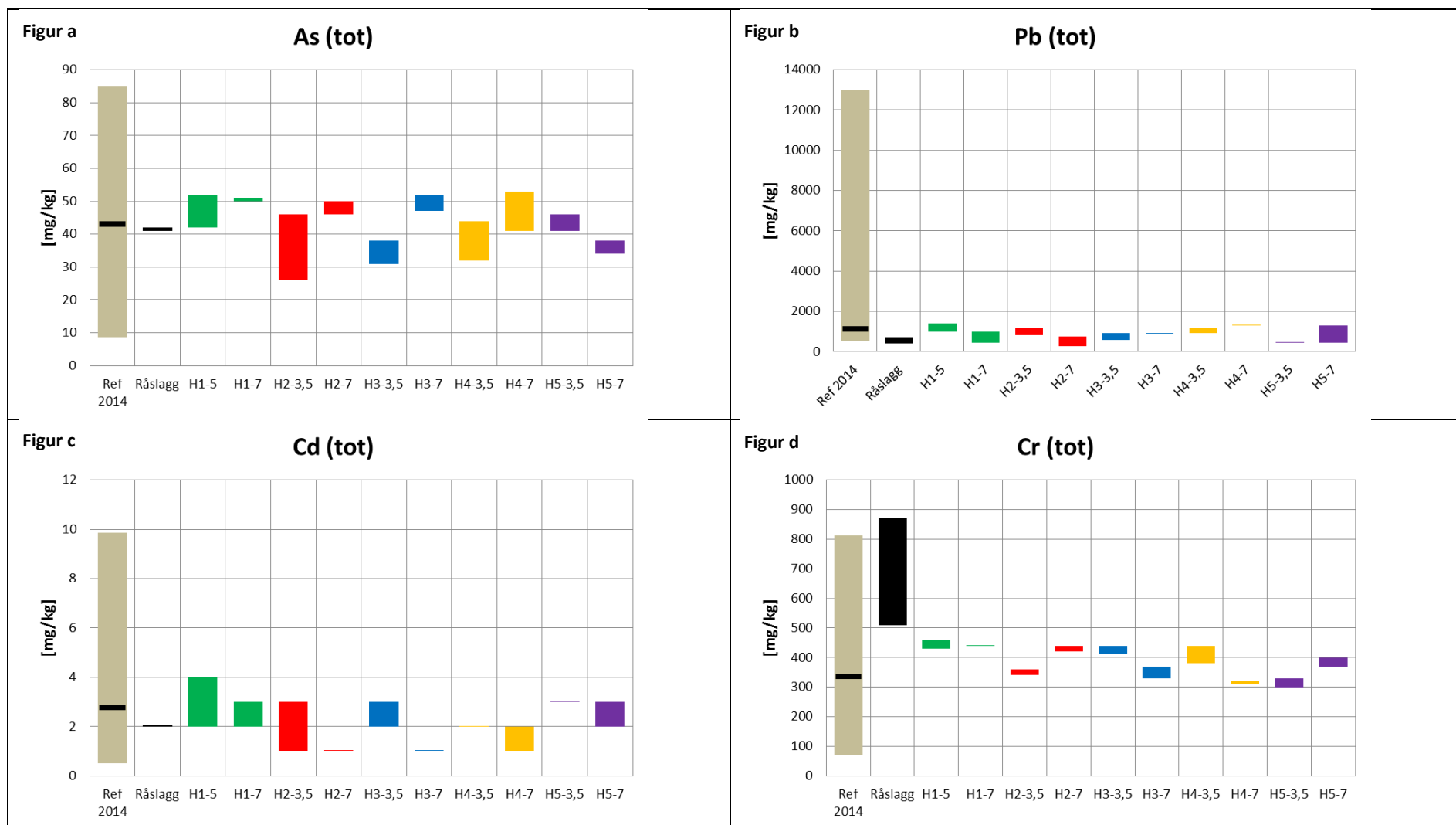
Zn (tot)





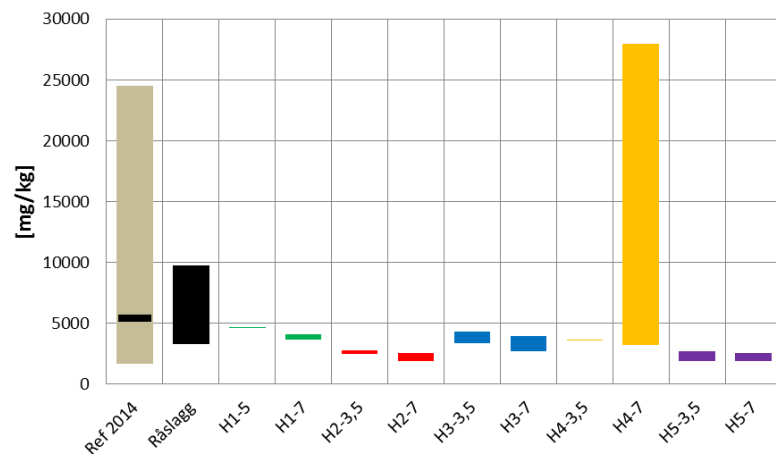
Bilaga 3c. Totalhalter i jämförelse med Renovas slagg från år 1994-2014 (diagram)

Varje enskilt provuttag redovisas som ett intervall som omfattar värdena för de båda ingående samlingsproven.



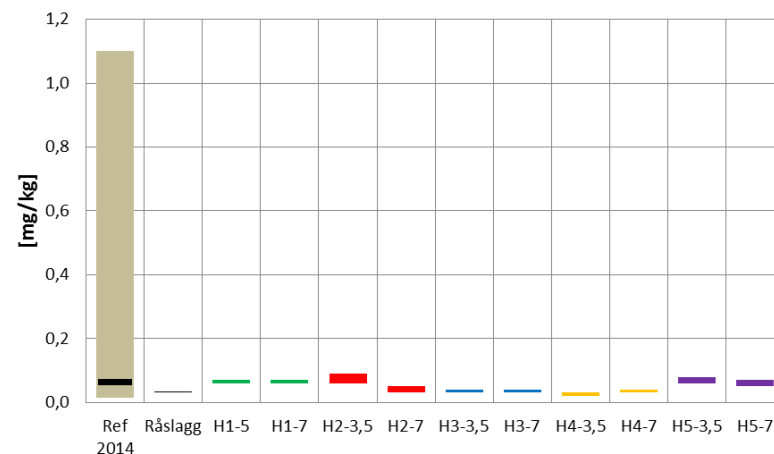
Figur e

Cu (tot)



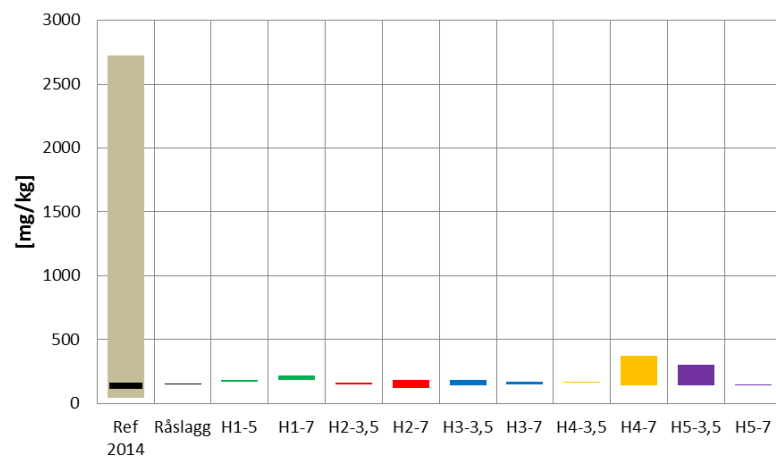
Figur f

Hg (tot)



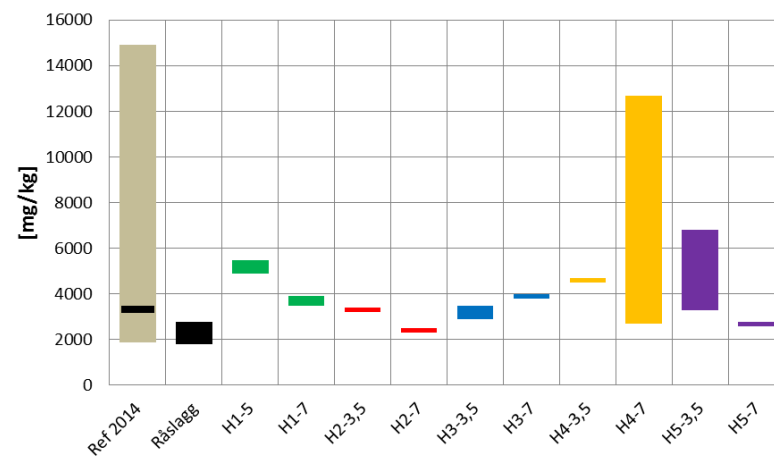
Figur g

Ni (tot)



Figur h

Zn (tot)



Bilaga 4. Utlakning vid L/S 2 (tabell)

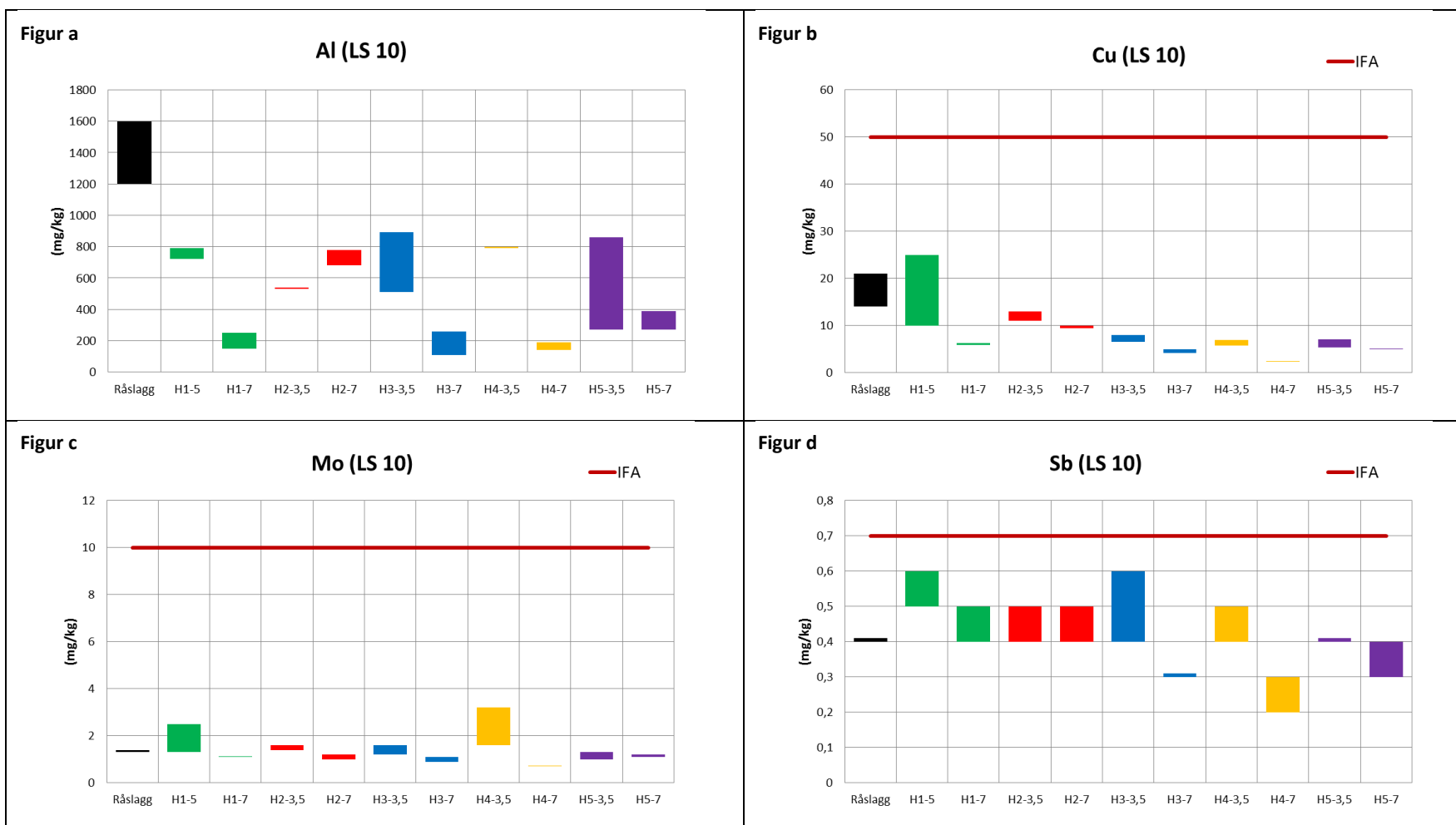
	Start		ca 5 månader		ca 3,5 månader								ca 7 månader									
ID Hög	Råslagg	Råslagg	H1	H1	H2	H2	H3	H3	H4	H4	H5	H5	H1	H1	H2	H2	H3	H3	H4	H4	H5	H5
Prov	Prov 1	Prov 2	Prov 11	Prov 12	Prov 7	Prov 8	Prov 3	Prov 4	Prov 5	Prov 6	Prov 9	Prov 10	Prov 13	Prov 14	Prov 15	Prov 16	Prov 17	Prov 18	Prov 18	Prov 20	Prov 21	Prov 22
#	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
mg/kg TS																						
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,07	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ba	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cu	19	11	19	7	8,6	9,3	4,4	5,6	3,6	4,5	3,4	4,6	3,6	3,5	6,4	5,9	3	2,5	1,1	1,2	2,5	2,5
Hg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Mo	1	0,8	1,2	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	1,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,31	0,4	0,5
Ni	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	0,1	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,09	0,15	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,08	0,1	0,08
Se	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Al	280	500	120	130	110	110	180	110	140	140	40	140	34	23	160	130	18	34	15	22	50	37
Fe	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cl-	2600	2400	5700	2500	2900	2800	1800	2500	1600	1700	1100	1400	2000	2100	2800	2100	2600	2100	840	840	1000	1300
SO4	640	440	3200	1600	2400	1600	1050	2100	1300	1500	1700	1700	2800	3500	1900	1600	3100	2500	2500	2300	1900	2100
F-	123	120	<5	15	10	9	6	4	5	<5	5	8	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DOC	1040	850	900	300	350	350,1	180	200	150	170	160	220	160	170	290	230	140	100	60	60,1	120	110
pH	11,3	11,1	9,8	9,9	10	9,8	10,2	9,9	9,9	9,8	9,2	9,8	8,9	9	10	10	8,8	9,1	8,9	9,1	9,2	9,3

Bilaga 5a. Utlakning vid L/S 10 (tabell)

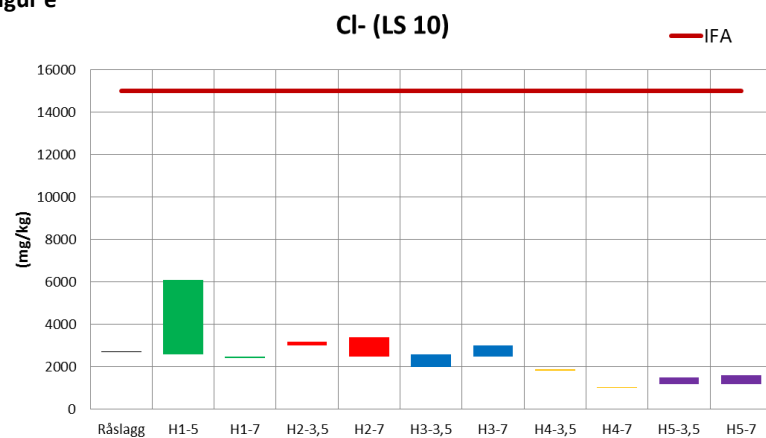
	Mottagningskriterier för icke-farligt avfall vid samdeponering med farligt avfall	Start		ca 5 månader		ca 3,5 månader								ca 7 månader									
ID Hög	IFA	Råslagg	Råslagg	H1	H1	H2	H2	H3	H3	H4	H4	H5	H5	H1	H1	H2	H2	H3	H3	H4	H4	H5	H5
Prov		Prov 1	Prov 2	Prov 11	Prov 12	Prov 7	Prov 8	Prov 3	Prov 4	Prov 5	Prov 6	Prov 9	Prov 10	Prov 13	Prov 14	Prov 15	Prov 16	Prov 17	Prov 18	Prov 18	Prov 20	Prov 21	Prov 22
#		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
mg/kg TS																							
As	2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,2	<0,2	<0,2	0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ba	100	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
Cr	10	<0,3	<0,3	0,7	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Cu	50	21	14	25	10	11	13	6,6	8	5,7	6,9	5,3	7,1	6,3	5,9	10	9,4	5	4,2	2,3	2,4	5	5
Hg	0,2	<0,005	<0,005	0,008	<0,005	0,005	0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,006	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Mo	10	1,4	1,3	2,5	1,3	1,4	1,6	1,2	1,6	1,6	3,2	1	1,3	1,1	1,1	1,2	1	1,1	0,9	0,7	0,71	1,1	1,2
Ni	10	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Pb	10	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Sb	0,7	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3
Se	0,5	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Zn	50	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Al	1200	1600	790	720	530	540	890	510	790	800	270	860	250	150	780	680	110	260	140	190	390	270	
Fe	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cl-	15000	2700	2700	6100	2600	3000	3200	2000	2600	1800	1900	1200	1500	2400	2500	3400	2500	3000	2500	1010	1000	1200	1600
SO4	20000	1200	960	4900	2900	4000	3000	1500	4400	2200	2700	2800	2900	4600	5500	3200	2600	4800	4100	4100	3600	3600	3700
F-	150	140	140	32	25	20	21	15	12	20	13	13	7	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
DOC	800	1100	990	1100	440	480	540	160	300	260	270	270	390	270	290	450	370	220	170	130	120	240	210
pH		11,1	10,9	10,2	10,2	10	10	10,7	10,2	10,3	10,2	9,4	10,1	9,4	9,3	10	10	9	9,4	9,2	9,4	9,5	9,5

Bilaga 5b. Utlakning vid L/S 10 (diagram)

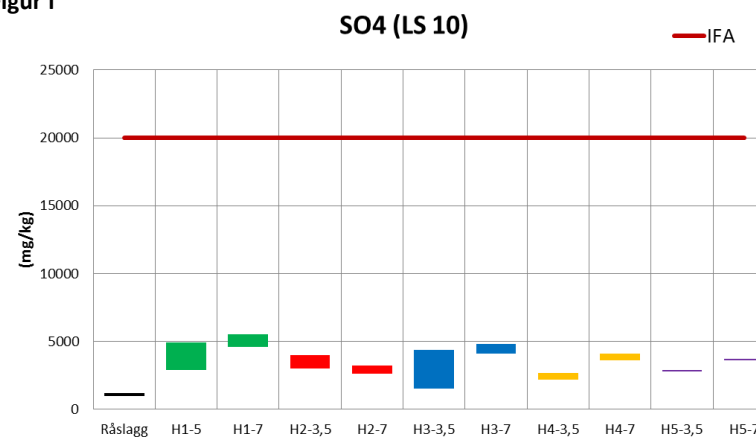
Varje enskilt provuttag redovisas som ett intervall som omfattar värdena för de båda ingående samlingsproven.



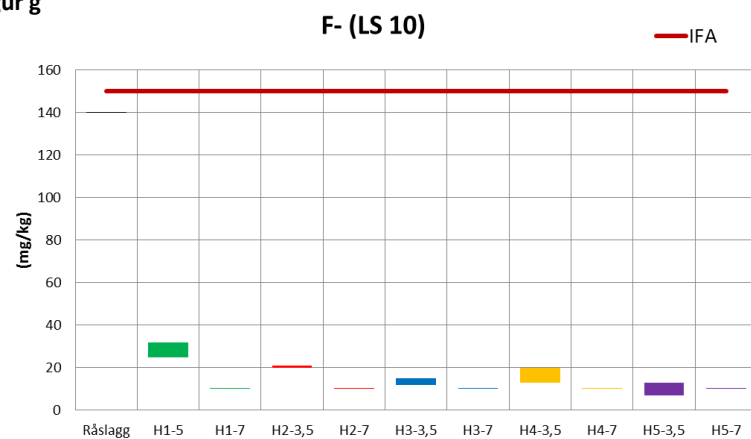
Figur e



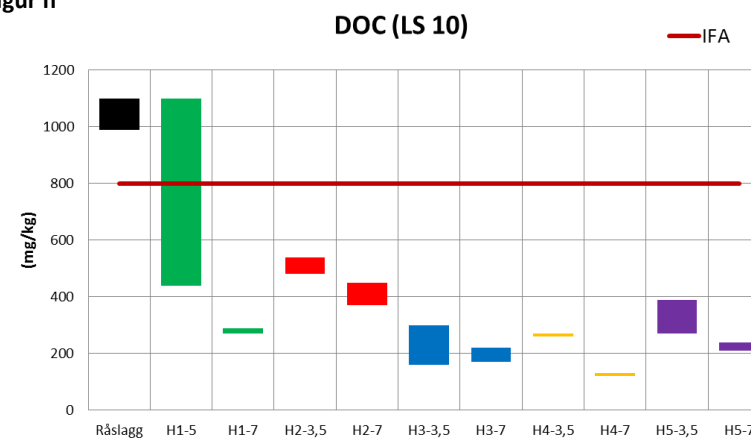
Figur f

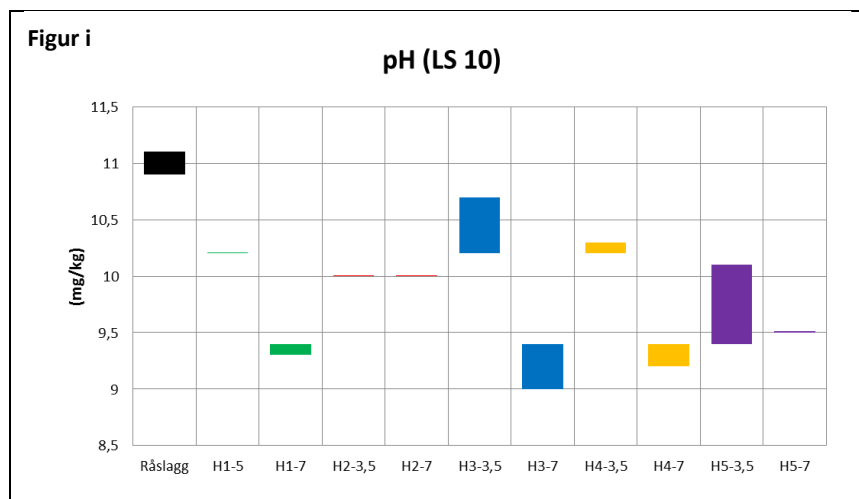


Figur g



Figur h





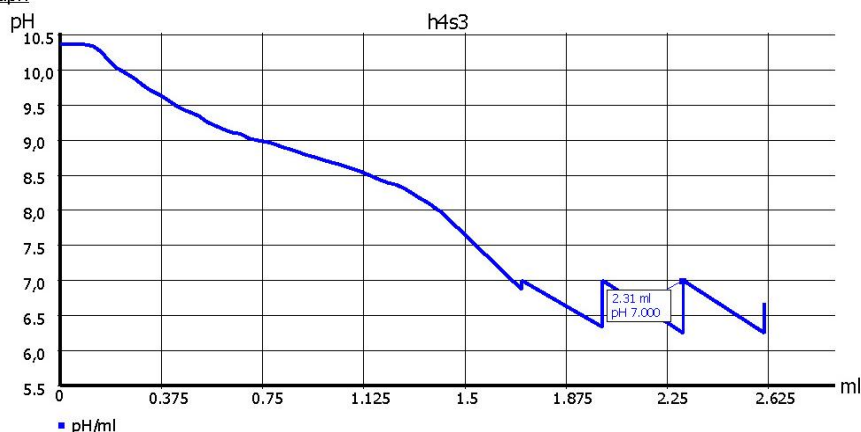
Bilaga 6. Titreringsförfarande med avseende på slagg från H4S3

SI Analytics GmbH
Hattenbergstraße 10
55122 Mainz
Germany

SI Analytics

GLP documentation

Titration graph



Method data

Method name:	kkf_anc	Titration duration:	14 m 12 s
End date:	12.05.16	End time:	13:14:21

Titration data

Sample ID:	h4s3	Weight:	1.00000 g
Start pH:	pH 10.364	End pH:	pH 6.682
Start temperature:	25.0 °C (m)	End temperature:	25.0 °C (m)
Zero point:	pH 7.03 / 1.7 mV	Slope:	96.9 % / -57.3 mV/pH
EP1:	2.310 ml / pH 7.000	Result:	2.31 ml

Calculation formula

Result: EP1 -> WA

Statistics: Off

Device information

Device: TitroLine 7000
Serial number: 10011621
Software version: 1440

Hard Disk\result\kkf_anc_12_05_16-13_14_21.pdf

1/2

SI Analytics GmbH
Hattenbergstraße 10
55122 Mainz
Germany

SI Analytics

Method data overall view

Method name:	kkf_anc	Created at:	05/12/16 13:00:04
Method type:	Automatic titration	Last modification:	05/12/16 13:00:04
Measured value:	pH	Damping settings:	None
Titration mode:	End pt.	Documentation:	GLP
Linear steps:	0.300 ml		

Measuring speed / drift:	Normal:	minimum holding time:	02 s
		maximum holding time:	15 s
		Measuring time:	02 s
		Drift:	20 mV/min
Initial waiting time:	30 s		
Titration direction:	Decrease		
Pretitration:	Off		

Endpoint:	pH 7.000	delta endpoint:	pH 1.000
		Endpoint delay 1:	300 s

Dosing parameter

Dosing speed:	4.00 %	Filling speed:	20 s
Maximum dosing volume:	150.00 ml		

Unit values

Unit size:	50ml
Unit ID:	10045435
Reagent:	hcl
Batch ID:	no entry
Concentration [mol/l]:	3.33000
Determined at:	05/12/16 12:54:10
Expire date:	--
Opened/compounded:	--
Test according ISO 8655:	--
Last modification:	05/12/16 12:54:12

Device information

Device: TitroLine 7000
Serial number: 10011621
Software version: 1440

Hard Disk\result\kkf_anc_12_05_16-13_14_21.pdf

2/2

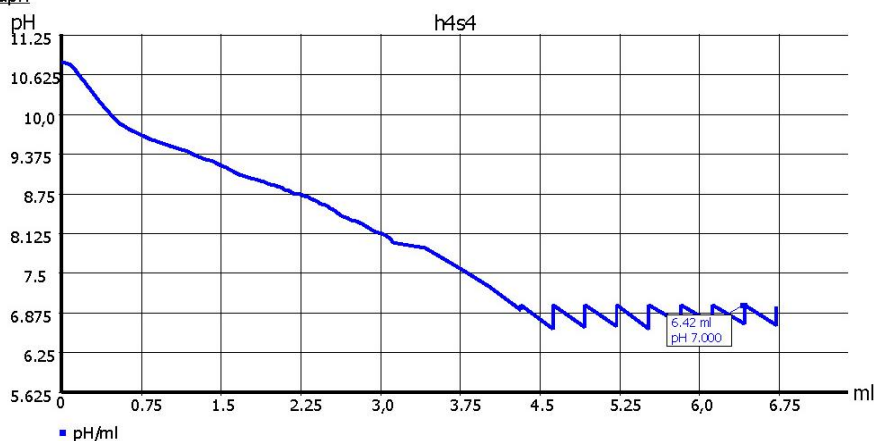
Bilaga 7. Titreringsförfarande med avseende på slagg från H4S4

SI Analytics GmbH
Hattenbergstraße 10
55122 Mainz
Germany

SI Analytics

GLP documentation

Titration graph



Method data

Method name:	kkf anc	Titration duration:	24 m 29 s
End date:	12.05.16	End time:	13:41:44

Titration data

Sample ID:	h4s4	Weight:	1.00000 g
Start pH:	pH 10.818	End pH:	pH 6.975
Start temperature:	25.0 °C (m)	End temperature:	25.0 °C (m)
Zero point:	pH 7.03 / 1.7 mV	Slope:	96.9 % / -57.3 mV/pH
EP1:	6.422 ml / pH 7.000	Result:	6.42 ml

Calculation formula

Result: EP1 -> WA

Statistics: Off

Device information

Device: TitroLine 7000
Serial number: 10011621
Software version: 1440

Hard Disk\result\kkf_anc_12_05_16-13_41_44.pdf

1/2

SI Analytics GmbH
Hattenbergstraße 10
55122 Mainz
Germany

SI Analytics

Method data overall view

Method name:	kkf_anc	Created at:	05/12/16 13:17:09
Method type:	Automatic titration	Last modification:	05/12/16 13:17:09
Measured value:	pH	Damping settings:	None
Titration mode:	End pt.	Documentation:	GLP
Linear steps:	0.300 ml		

Measuring speed / drift:	Normal:	minimum holding time:	02 s
		maximum holding time:	15 s
		Measuring time:	02 s
		Drift:	20 mV/min
Initial waiting time:	30 s		
Titration direction:	Decrease		
Pretitration:	Off		

Endpoint:	pH 7.000	delta endpoint:	pH 1.000
		Endpoint delay 1:	300 s

Dosing parameter

Dosing speed:	4.00 %	Filling speed:	20 s
Maximum dosing volume:	150.00 ml		

Unit values

Unit size:	50ml
Unit ID:	10045435
Reagent:	hcl
Batch ID:	no entry
Concentration [mol/l]:	2.31000
Determined at:	05/12/16 13:14:21
Expire date:	--
Opened/compounded:	--
Test according ISO 8655:	--
Last modification:	05/12/16 13:14:24

Device information

Device: TitroLine 7000
Serial number: 10011621
Software version: 1440

Hard Disk\result\kkf_anc_12_05_16-13_41_44.pdf

2/2

KORROSION VID LAGRING AV SLAGG FRÅN AVFALLSFÖRBRÄNNING

Resultaten från projektet visar att lagringsförfarandet inte har någon väsentlig påverkan vare sig med avseende på korrosionen av metaller i slaggen eller utlakningen av ämnen från slaggen. Det finns således ingen anledning att frånga det lagringsförfarande som vanligen tillämpas med avseende på slagg, det vill säga utomhus utan omblandning. Däremot bör utsortering av metaller göras så tidigt som möjligt under lagringsperioden eftersom korrosionsföretagligheten för åtminstone järn är stabilt hög redan efter en månads lagring.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk