

In situ tvättning av kisbränderdeponin i Falun

Åtgärder vid f.d. svavelsyrafabriken

ÅSA HANÆUS OCH BO LEDIN

RAPPORT 6400 • DECEMBER 2010



Förord

Denna rapport är en delrapport i slutrapporteringen av Faluprojektet och har tagits fram på uppdrag av styrgruppen för Faluprojektet. Författare till rapporten är Åsa Hanæus och Bo Ledin, GVT. Författarna ansvarar för innehållet i rapporten. Övriga som bidragit med underlagsmaterial och texter är Per Haglund, Alper konsult och Erik Mattsson, Stora Enso.

Genomförandet av Faluprojektet har rapporterats i en sammanfattande slutrapport och i fem delrapporter. Till rapporteringen har knutits en referensgrupp som har bestått av följande personer:

Erik Mattsson	Stora Enso
Lennart Lindeström	Svensk MKB
Lars Söderberg	SGU/Suanho Consulting
Per-Erik Sandberg	Länsstyrelsen i Dalarnas län
Tom Lundgren	Envipro Miljöteknik/Ambiental

Regeringen beslöt 1987 att tillsätta Dalälvsdelegationen med uppdrag att utarbeta ett åtgärdsprogram för att rena Dalälven inom 10 år. Som en följd av delegationens arbete träffade Stora Kopparbergs Bergslags AB och tillsynsmyndigheterna, det vill säga Naturvårdsverket, Länsstyrelsen i Dalarnas län och Falu kommuns miljönämnd, 1992 ett avtal om efterbehandling av gruvavfall i Falun. För att genomföra åtgärderna inom avtalet skapades det som kom att kallas Faluprojektet. Faluprojektet har letts av en styrgrupp bestående av tre representanter från STORA och en från vardera tillsynsmyndighet.

Styrgruppen för Faluprojektet

Rapporter i Faluprojektet

Denna rapport ”**In situ tvättning av kisbränderdeponin vid f.d. svavelsyrafabriken i Falun**” är en delrapport i slutrapporteringen av Faluprojektet.

I slutrapportering för Faluprojektet ingår följande rapportdelar:

En sammanfattande slutrapport för Faluprojektet:

- Hanæus, Å och Ledin Bo (2010): **Efterbehandling av gruvavfall i Falun 1992-2008**. Rapport 6398 Naturvårdsverket, Stockholm

Fem stycken delrapporter:

- Haglund, P. och Hanæus, Å. (2010): **Historisk bakgrund och genomförandet av Faluprojektet**. Rapport 6399 Naturvårdsverket, Stockholm.
Rapporten berättar om bakgrunden till gruvavfallens tillkomst, den tar även upp Dalälvsdelegationen och gruvavfallsprojektet, förhandlingar och avtal gällande Faluprojektet, genomförande och framtida uppföljning av Faluprojektets åtgärder.
- Hanæus, Å. och Ledin, B. (2010): **In situ tvättning av kisbränderdeponin i Falun**. Åtgärder vid f.d. svavelsyrafabriken. Rapport 6400 Naturvårdsverket, Stockholm
När avtalet som ligger till grund för Faluprojektet arbetades fram, bedömdes metalläckaget från kisbränderdeponin svara för ca hälften av de dåvarande zink- och kadmiumutsläppen från Falun. I rapporten beskrivs in situ tvättning, genomförda åtgärder och resultatet av dessa.
- Hanæus, Å. (2010a): **Efterbehandling av Ingarvsmagasinet i Falun**. Sluttäckning med aska-slamblandning. Rapport 6401 Naturvårdsverket, Stockholm
Inom ramen för Faluprojektet har Ingarvsmagasinet, ett magasin för anrikningssand, sluttäckts. Rapporten behandlar ugångsläge, genomförande och uppföljning av åtgärder.
- Hanæus, Å. (2010b): **Åtgärder på gruvområdet vid Falu gruva**. Rapport 6402 Naturvårdsverket, Stockholm
Rapporten tar upp problematiken med de betydande mängder varp, rödfärgsråvara och slagg som är beläget inom UNESCOs historiska världsarv och därmed förelagda med restriktioner. Dessutom pågår

industriverksamhet, i form av Rödfärgsverket som tillverkar rödfärgspigment och Falu rödfärg av den vittrade varpen. Området kring gruvan är den tredje största källan av metallutsläpp i Falun. I rapporten beskrivs genomförda åtgärder, såsom uppsamling och rening av bl.a. lakvatten och resultat av dessa, kostnader och ansvarsfördelning, framtida drift, kontroll och områdesskydd.

- Lindeström, L. och Tröjbom, M. (2010): **Konsekvenser för Faluån, Runn och Dalälven av åtgärder på gruvavfall i Falun.** Rapport 6403 Naturvårdsverket, Stockholm.
Rapporten visar en översiktlig beskrivning av vad som kunnat utläsas i det mottagande vattenområdet för vatten från Falun, till följd av genomförda åtgärder inom Faluprojektet. Rapporten redovisar de metallhalter och -mängder som uppmätts i vatten före, under och efter Faluprojektets genomförande.

Delrapporterna kan läsas fristående och riktar sig till den som önskar fördjupad information om något av dessa områden/objekt.

Innehåll

FÖRORD	3
RAPPORTER I FALUPROJEKTET	4
SAMMANFATTNING	8
SUMMARY	11
1 INLEDNING	14
1.1 Lokalisering och orientering	14
1.2 Bakgrund och historik	15
1.3 Delprojektets målsättning	23
2 PROJEKTORGANISATION	25
3 KARTLÄGGNING AV KISBRÄNDERDEPONIN	27
3.1 Kartläggning av avfallsslag i kisbränder-deponin	27
3.2 Kartläggning av mark- och grundvattenförhållanden	28
3.3 Kartläggning av metallförekomsten	34
4 VAL AV ÅTGÄRDSMETOD	42
4.1 Tidiga åtgärdsutredningar	42
4.2 Åtgärdsutredningar inom Faluprojektet	47
4.3 Utveckling av tvättmetoden	49
4.4 Kostnader för åtgärdsalternativen	56
4.5 Bedömd effekt av föreslagna åtgärder	57
4.6 Beslutsprocessen – beslutad åtgärd	58
5 VAL AV METOD FÖR SLUTTÄCKNING	60
5.1 Utgångspunkt – Gruvavfallsprojektets förslag	60
5.2 Inventering av tillgängliga täckmaterial 1994/95	60
5.3 Alternativutredning 1995	61
5.4 Utläggnings- och sättningsförsök med metallhydroxidslam och morän	62
5.5 Upplagring av moränmassor	63
5.6 Provytor med lysimetrar	64
5.7 Sluttäckningsförslag – beräkning av läckage kontra kostnader	64
5.8 Beslutad sluttäckning	65
6 TILLSTÅNDSPRÖVNING - MYNDIGHETSBESLUT	67
7 GENOMFÖRANDE - TVÄTTNING	69
7.1 Tvättning in situ – åtgärden i stort	69

7.2	Distribution av tvättvatten	72
7.3	Uppsamling av metallrikt tvättvatten	76
7.4	Behandlingsanläggningen	81
7.5	Sedimentering och förtjockning	84
7.6	Slamavvattning	85
7.7	Geohydrologiska förhållanden under tvättning	87
7.8	Projektering, upphandling och bemanning	90
7.9	Tvättningens avslutande - överväganden	92
8	GENOMFÖRANDE – SLUTTÄCKNING	96
8.1	Terrassering	96
8.2	Utläggning av tät- och skyddsskikt	96
8.3	Avskärande dränering/dike och uppsamlingsdike för ytvatten	99
8.4	Rivning av byggnader	100
8.5	Projektering, upphandling	100
9	KONTROLLÅTGÄRDER	101
9.1	Kontrollprogram	101
9.2	Driftuppföljning	102
9.3	Byggkontroll	104
9.4	Rapportering	104
9.5	Ekonomiuppföljning	104
10	PROJEKTUPPFÖLJNING - UTVÄRDERING	105
10.1	Grundvattenkvalitet under och efter tvättning	105
10.2	Uppsamlingsystemets effektivitet	109
10.3	Reduktion av metaller	112
10.4	Täckningens funktion	126
10.5	Kemikalie- och energianvändning	132
10.6	Miljöeffekter	132
10.7	Ekonomi och kostnadseffektivitet	132
10.8	Erfarenhetsåterföring i övrigt	134
11	KISBRÄNDERDEPONIN I FRAMTIDEN	135
11.1	Metallhydroxidslammets långsiktiga stabilitet	135
11.2	Framtida skydd	137
11.3	Framtida kontroll och underhåll	138
11.4	Ansvar och avsatta medel	142
12	REFERENSER	144

Bilagor

Bilaga 1 Beskrivning av flödesmätning vid provtagningsstation Kristinebron

Sammanfattning

Bakgrund

Regeringen beslöt 1987 att tillsätta Dalälvsdelegationen, med uppdrag att utarbeta ett åtgärdsprogram för att rena Dalälven inom 10 år. Som en följd av Dalälvsdelegationens arbete träffade Stora Kopparbergs Bergslags AB och tillsynsmyndigheterna 1992 ett avtal om efterbehandling av gruvavfall i Falun. För att genomföra avtalets intentioner skapades det som kom att kallas Faluprojektet. Inom ramen för Faluprojektet har bland annat kisbränderdeponin vid före detta svavelsyrafabriken i Falun efterbehandlats genom tvättning in situ och sluttäckning. Övriga objekt som åtgärdats är Ingarvsmagasinet och gruvområdet vid Falu gruva. Åtgärderna genomfördes under en femtonårsperiod.

Svavelsyrafabriken i Falun var i drift från mitten av 1800-talet till 1993 då den lades ner. Restprodukten som uppkom vid rostning av svavelkis (pyrit) för tillverkning av svavelsyra, kallades kisbränder och kördes eller pumpades ut på kisbränderdeponin som slurry - med undantag för perioder då kisbränderna användes för kulsinterframställning eller för återfyllning i gruvan. Delar av deponiområdet hade dessförinnan, sedan länge tillbaka, fyllts ut med slagg. Kisbränderdeponin innehåller ca 700 000 m³ avfall, varav 570 000 m³ är kisbränder och resterande mängd utgörs av slagg och övrig fyllning.

När avtalet som ligger till grund för Faluprojektet arbetades fram, bedömdes metallläckaget från kisbränderdeponin vara i storleksordningen 150 ton/år för zink, 100 ton/år för järn, 2 ton/år för koppar och 160 kg/år för kadmium. Det innebar att kisbränderdeponin svarade för ungefär hälften av de dåvarande zink- och kadmiumpulverutsläppen från Faluns gruvavfallsupplag (inklusive slaggfyllning), samt ungefär 15 % av kopparutsläppen.

Genomförda åtgärder

Kisbränderdeponin efterbehandlades genom tvättning in situ, samt efterföljande sluttäckning. Tvättningen pågick 1995-2006, varefter deponin sluttäcktes under 2007. På grund av frysrisker vintertid utfördes tvättningen under sommarhalvåret. Tvättningen av kisbränderdeponin utfördes med vatten från sjön Vällan. Flödet låg i intervallet 400-2 200 m³/d under tvättsäsong. Tvättvattnet tillfördes via infiltration i uppbyggda bassänger. Inom en mindre del av deponin, där slänter och andra områden med stor rasrisk förekom, spreds tvättvattnet genom sprinkling. Det förorenade tvättvattnet samlades upp i ett antal brunnar och dräneringar inom och nedströms kisbränderdeponin, varefter det pumpades upp till en behandlingsanläggning placerad i f.d. svavelsyrafabriken. I anläggningen behandlades det metallrika vattnet genom kalkfällning och luftning

Det kalkfällda vattnet pumpades tillbaka till särskilda bassänger på kisbränderdeponin för sedimentering, efter det att en polymer tillsatts på utgående ledning för

att ge bättre fällning. Klarfasen från sedimentering avleddes till recipienten, Faluån. Reningseffekten var > 99 % för zink, koppar och kadmium.

Det förtjockade metallhydroxidslammet som bildades vid kalkfällningen pumpades till speciella avvattningsbassänger (tidigare tvättade) för avvattning genom naturlig torkning och frysning. Tack vare slammets täthet (låg hydraulisk konduktivitet) fungerar det som ett extra tätskikt och lämnades därför kvar i respektive avvattningsbassäng.

Att tvättning in situ valdes som åtgärdsmetod var starkt kopplat till objektets egenskaper. Kisbrändernas permeabilitet var ”lagom” – tillräckligt hög för att släppa igenom de tvättvattenmängder som krävdes, men ändå så låg att tvättvattnet fick tillräcklig uppehållstid. Slaggfyllningen under stora delar av kisbränderdeponin kunde fungera som ett dräneringslager, vilket gav en effektiv uppsamling av förorenat tvättvatten. De naturliga jordarna under och omkring kisbränderdeponin hade relativt låg permeabilitet, vilket hindrar oönskad spridning av förorenat tvättvatten. För det praktiska utförandet fanns tillgång till tvättvatten via en befintlig ledning med tillräcklig kapacitet, samt lokaler och i viss mån processutrustning för rening av tvättvattnet på platsen.

Resultat av genomförd åtgärd

Uppföljning av zinktransporten i Faluån vid Kristinebron – nedströms kisbränderdeponin – visar på en minskning med ca 100-120 ton/år efter åtgärd (från 120-140 ton/år till ca 20 ton/år), vilket motsvarar ca 85 % reduktion. Beräkningar av den lakbara mängden metaller i kisbränderdeponin före och efter tvättning pekar också mot 85 % reduktion med avseende på zink, samt 80 % med avseende kadmium och 75 % med avseende på koppar, även om det finns viss osäkerhet i dessa värden. Totalt har ca 1 460 ton zink, 2,2 ton kadmium, 26 ton koppar och 1 380 ton järn tvättats ur kisbränderdeponin 1995-2006 och fastlagts som metallhydroxidslam. Förlusterna i reningsanläggningen har varit obetydliga - mindre än 1 %. Förlusterna i uppsamlingssystemet, mätt som skillnaden i tillförd tvättvattenmängd och utsläppt behandlat vatten, var ca 1 % sett till hela perioden men betydligt större de första säsongerna. Om den naturliga grundvattenbildningen inkluderas, var förlusterna i uppsamlingssystemet ca 8 %.

Metallläckaget från kisbränderdeponin beräknas direkt efter avslutad åtgärd (2008) vara 9 ton zink per år, 64 kg koppar per år och 5,9 kg kadmium per år. Metallreduktionen har därmed överträffat uppsatta målsättningar. Undersökningar visar att urlakningen från metallhydroxidslammet kommer att vara försumbar jämfört med kvarvarande metallläckage från kisbränderdeponin.

Under inledande uppföljning av sluttäckningens funktion med hjälp av lysimetrar, har läckaget genom tätskiktet varit 5-80 mm/s.

Kostnadsuppföljning

Kostnaden för tvättning av kisbränderdeponin uppgick till ca 66 Mkr och kostnaden för sluttäckning till 12 Mkr, det vill säga totalt 78 Mkr. Till det kommer kostnader för administration, projektledning och provtagning, som hanterades gemensamt för alla Faluprojektets åtgärder. Dessa kostnader utgjorde ca 10 % av Faluprojektets totala kostnad.

Exklusive de gemensamma administrativa kostnaderna, kostade tvättningen av kisbränderområdet ca 68 kr/ton motsvarande ca 116 kr/m³ kisbränder. Sluttäckningen kostade ca 119 kr/m².

Framtida områdesskydd och kontroll

Alternativa former för långsiktigt skydd av kisbränderdeponin diskuterades av Faluprojektets styrgrupp, såsom exempelvis bestämmelser i detaljplan, miljöriskområde och områdesbestämmelser via beslut enligt miljöbalken. Den slutliga lösningen blev att Länsstyrelsen under 2009 fattade beslut med stöd av miljöbalken, som innebär förbud mot vissa åtgärder inom den aktuella fastigheten. Besluten sändes till inskrivningsmyndigheten för anteckning i fastighetsregistrets inskrivningsdel. Vid framtida detaljplaneändringar ska Stora Enso se till att kisbränderdeponin inkluderas i den nya planen och skyddas för framtida exploatering genom planbestämmelser.

Ett kontrollprogram för 2008 och framåt har upprättats för långsiktig uppföljning av kisbränderdeponin, samt övriga objekt som efterbehandlats inom ramen för Faluprojektet.

Summary

Background

In 1987, the Swedish government appointed the Dalälven Commission, with the mission to create an action plan for cleaning up the Dalälven River within 10 years. As a result of work done by the Dalälven Commission, an agreement was struck between Stora Kopparbergs Bergslags AB and the affected government bodies in 1992 regarding mine waste remediation in Falun. Out of this agreement, *Faluprojektet*, the remediation strategy, was born. As part of this strategy, the abandoned Pyrite Cinder Disposal Site from the old sulphuric acid plant in Falun was flushed in situ and then covered. Other sites for remediation included the Ingarvet Tailings Pond and the Falun mine site. Remediation was to be completed after 15 years.

Sulphuric acid was manufactured in the Falun plant from the 1850's until 1993 when it was shut down. Pyrite cinders, the principal waste produced when pyrite is roasted to manufacture sulphuric acid, were either trucked or pumped as slurry into the disposal site (except during periods when the pyrite cinders were used to make pellets, or as fill material in the mine.) Parts of the Pyrite Cinder Disposal Site have long since also been filled with slag. In total, the disposal site contains 700 000 m³ waste, of which 570 000 m³ is pyrite cinders and the rest is slag and other fill material.

When the agreement that led to Faluprojektet was struck in 1992, it was estimated that annual metal discharges from the Pyrite Cinder Disposal Site amounted to 150 tonnes zinc, 100 tonnes iron, 2 tonnes copper and 160 kg cadmium. That meant that the Pyrite Cinder Disposal Site was at that time responsible for almost half of the zinc and cadmium discharges from mine waste in Falun (including slag) and about 15 % of the copper discharges.

Remedial Measures Taken

The Pyrite Cinder Disposal Site was remediated by in situ flushing and then covering. In situ flushing took place between 1995 and 2006 and was followed by covering in 2007. In situ flushing was only carried out during the summer months to avoid the risk of freezing.

Flush water came from Lake Vällan. The flow rate during flushing was 400-2 200 m³/d. The flush water infiltrated primarily through constructed basins. On slopes and other unstable areas, the flush water was distributed instead using sprinklers.

The contaminated water was collected in a series of vertical and horizontal collection wells downstream from the Pyrite Cinder Disposal Site and pumped to a treatment plant in the old sulphuric acid plant. The contaminated water was treated using lime precipitation and aeration.

Once precipitated, the water was pumped back into settling basins in the Pyrite Cinder Disposal Site. As the water passed through the outgoing pipe, a polymer was added to enhance settling. The treated water was then released into the Faluån River. The treatment efficiency was > 99 % for zinc, copper and cadmium.

The metal hydroxide sludge produced from lime precipitation was pumped into specially-constructed and cleaned basins in the treatment area and dewatered through normal evaporation and freeze-thaw processes. Since the sludge has low hydraulic conductivity, it was left in the basins as a sealant after dewatering.

Local conditions prevailing at the Pyrite Cinders Disposal Area made it feasible to use in situ flushing for remediation. The hydraulic conductivity of the pyrite cinders allowed an even distribution of flush water and adequate detention time. The underlying layer of coarse slag was in most places suitable for the drainage and subsequent collection of flush water. The underlying soils also have low hydraulic conductivity, which minimised unwanted leaching of contaminated flush water. For practical purposes, both access to large amounts of water and pipelines of adequate capacity were already existent, as were infrastructure needed for water treatment.

Remediation Results

Monitoring in the Faluån River downstream from the Pyrite Cinder Disposal Site by Kristinebron bridge indicates that since remediation began, zinc discharges have been reduced by 100-120 tonnes/year (from 120-140 tonnes/year to approximately 20 tonnes/year) which corresponds to an 85 % reduction. Calculations of leachable metals remaining in the Pyrite Cinder Disposal Site also indicate an 85 % reduction in zinc, an 80 % reduction in cadmium and a 75 % reduction in copper from before remediation, even though such calculations are imprecise.

In total, 1 460 tonnes zinc, 2 2 tonnes cadmium, 26 tonnes copper and 1 380 tonnes iron were flushed out of the Pyrite Cinder Disposal Site and deposited as metal hydroxide sludge between 1995 and 2006. Losses in the treatment plant were insignificant: less than 1 %. Losses in the collection system, as measured by the difference between applied flush water and treated water, were approximately 1 % over the entire period, although they were significantly greater the first few seasons. Including natural ground water production, the losses in the collection were approximately 8-%.

Metal discharges from the Pyrite Cinder Disposal Site following remediation were calculated in 2008 to be 9 tonnes zinc, 64 kg copper per and 5,9 kg cadmium annually. As such, reductions in metal discharges surpassed the set goals. Studies show that discharges from the metal hydroxy sludge are insignificant in comparison to continued discharges from the flushed pyrite cinders.

Initial measurements of the efficiency of the cover using lycimeters report an infiltration of 5-80 mm.

Cost Analysis

The cost of flushing the Pyrite Cinder Disposal Site in situ was approximately 66 M SEK and covering cost 12 M SEK, totaling 78 M SEK. Add to that the costs for administration, project management and testing, which make up approximately 10 % of the total costs for Faluprojektet.

Excluding project administration costs, in situ flushing of the Pyrite Cinder Disposal Site cost 68 SEK per tonne, or approximately 116 SEK/m³ pyrite cinder. Covering cost 119 SEK/m².

Future Protection and Follow-up

The Faluprojektet Management Team discussed different alternatives for the long-term protection of the Pyrite Cinder Disposal Site such as restrictions in the local development plan, creating an environmental management area and protection under the Swedish Environmental Code. The final solution was a legally binding ban on certain activities within the mine property issued by the County Administrative Board of Dalarna, according to the Swedish Environmental Code (Miljöbalken). This ban was also sent for inclusion in the property registration. In future property developments, Stora Enso must protect the Pyrite Cinder Disposal Site from exploitation.

A monitoring-program, running from 2008 onwards, has been specified for long-term follow-up with respect to remediation of the Pyrite Cinders Disposal Site.

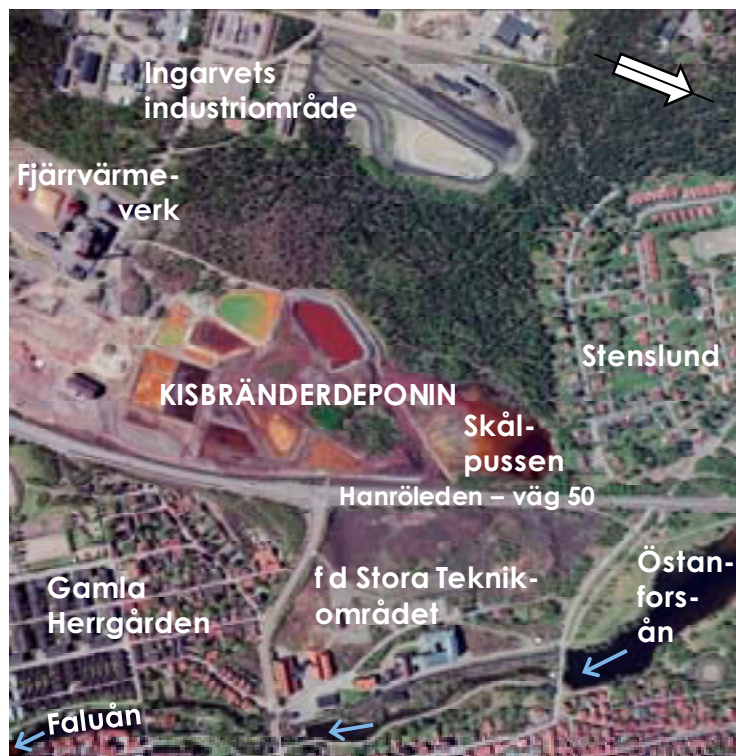
1 Inledning

På kisbränderdeponin i Falun har kisbränder (kisaska) från den f.d. svavelsyrafabriken deponerats. Syrafabriken var i drift från mitten av 1800-talet till 1993, då den sista kvarvarande gruvverksamheten i Falun (förutom rödfärgstillverkningen) lades ned. Deponin omfattar ca 570 000 m³ kisbränder, samt 120 000 m³ slagg som fanns på platsen innan deponeringen av kisbränder startade.

Efterbehandlingen av kisbränderdeponin har skett genom tvättning in situ, varefter deponin sluttäckts. Tvättning av kisbränderdeponin pågick år 1995-2006, med 1995 som prövoår i full skala. Under 2007 utfördes täckning och återställning av det efterbehandlade området. Åtgärden utfördes inom ramen för Faluprojektet.

1.1 Lokalisering och orientering

Kisbränderdeponin är belägen vid f.d. svavelsyrafabriken i Falun, knappt en kilometer norr om Falu gruva och Stora Stöten. Deponin ligger direkt väster om Falu centrum, med bostadsområdet Gamla Herrgården och f.d. Stora Teknik-området i öster, bostadsområdet Stenslund i norr, f.d. syrafabriksområdet i söder och ett skogsparti i väster som avgränsar deponin från Ingarvets industriområde. Direkt öster om kisbränderdeponin passerar Hanröleden som är en del av riksväg 50 (Bergslagsdiagonalen). Figur 1 nedan visar ett flygfoto över kisbränderdeponin med omgivningar under pågående efterbehandling (1997).



Figur 1. Vy över Kisbränderområdet med omgivningar under pågående efterbehandling.
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

Närmsta recipient för metallförorenat lakvatten från kisbränderdeponin är Faluån, som rinner genom Falu stad, har sitt utlopp i sjön Tisken, som i sin tur avbördas till sjön Runn och vidare till Dalälven – Östersjön.

Dalälven klassades 1992 av HELCOM (Helsingforskonventionen) som en ”hotspot” när det gäller föroreningskällor till Östersjön, på grund av metallutsläppen från gruvavfall, främst från Falun. Kisbränderdeponin var vid den tiden en av de enskilt största källorna för metallläckage till Dalälven.



Figur 2. Större vattendrag upp- och nedströms Falu gruva och kisbränderdeponin.

1.2 Bakgrund och historik

1.2.1 Faluprojektets tillkomst

Arbetena med att kartlägga och åtgärda utsläppen av metaller från Falu gruva med omnejd startade redan 1968, efter kontakter mellan dåvarande STORA och Naturvårdsverket. Falu gruva fanns därmed på agendan redan under myndighetens första verksamhetsår. Kartläggningarna som genomfördes rörde bland annat storleken på utsläpp med gruvvattnet, metalltransport och metallförekomst i recipienterna samt åtgärdsalternativ. De ledde så småningom till att rening av gruvvattnet i det kommunala reningsverket (Främbyverket) startade 1987. Samma år tillsatte regeringen Dalälvsdelegationen med uppdrag att utreda hur man skulle kunna minska utsläppen till Dalälven från bland annat Faluns gruvavfall, som man konstaterat var den enskilt största källan till tungmetallutsläpp i Sverige. Dalälvsdelegationen tilldelades 100 Mkr för att genomföra utredningar och åtgärder med syfte att rena Dalälven. 1988 startade Dalälvsdelegationen det så kallade Gruvavfallsprojektet, som syftade till att kartlägga gruvavfallet inom Dalälvens avrinningsområde och ta fram förslag till åtgärder för att minska dess miljöpåverkan. Samma år inleddes projektet VARP -89 i Stora Kopparbergs Bergslags AB:s regi.

Som en följd av Dalälvsdelegationens arbete tecknades 1992 (samma år som Falu gruva lades ner) ett långsiktigt avtal om efterbehandlingsåtgärder mellan Stora Kopparbergs Bergslags AB och tillsynsmyndigheterna - Länsstyrelsen i Dalarnas län, miljönämnden i Falu kommun och Naturvårdsverket. Genomförandet av avtalet har kallats Faluprojektet. Inom ramen för Faluprojektet har flera gruvavfallsobjekt efterbehandlats under en femtonårsperiod, bland annat kisbränderdeponin.

1.2.2 Varför åtgärder på kisbränderdeponin?

Innan Faluprojektet startade, hade olika undersökningar genomförts för att kartlägga vilka gruvavfallsobjekt i Falun som stod för de största utsläppen av tungmetaller. Den enskilt största källan var läns-pumpningsvattnet från gruvan, som stod för ungefär hälften av tungmetallutsläppen. 1987 började gruvvattnet renas i Främby avloppsreningsverk, med utsläpp i Runn, vilket kraftigt reducerade metalltillförseln till Faluån och sjön Tisken.

Nästa steg var att kartlägga vilken eller vilka av övriga källor som stod för största delen av kvarvarande metallutsläpp. Sådana undersökningar utfördes av STORA i form av projektet VARP-89 och inom ramen för Dalälvsdelegationens Gruvavfallsprojekt som pågick 1989-90. Båda studierna visade att kisbränderdeponin, tillsammans med Ingarvsmagasinet, var de klart största metallkällorna. Kisbränderområdet stod för ungefär hälften av de dåvarande metallutsläppen från Faluns gruvavfall med avseende på zink och kadmium.

Tabell 1. Resultat av VARP-89 (STORA TEKNIK och VIAK, 1989) och Gruvavfallsprojektets (Lundgren och Hartlén, 1990) kartläggning av metalläckage i Falun - från Kisbränderområdet och för Falun totalt. Områdesindelningen var något olika i de två studierna.

	ZINK (ton/år)	JÄRN (ton/år)	KOPPAR (ton/år)	KADMIUM (kg/år)
Gruvavfallsprojektet (1990)				
Kisbränderna	145		2,1	160
Totalt från Faluns gruvavfallsupplag, inkl slagg	310		16	400
ANDEL FRÅN KISBRÄNDERNA	47%		13%	40%
VARP -89				
Kisbränderna samt slagg från Stora Teknik-området	168	100	drygt 2	*
Totalt till Faluån från Faluns centrala delar, inkl slagg	290	354	ca 12	*
ANDEL FRÅN KISBRÄNDERNA INKL STORA TEKNIK-OMRÅDET	58%	28%	ca 17%	*

* Kadmium analyserades inte inom VARP-89, men zinkhalten användes som indikation för kadmiumutsläppen, tack vare det starka sambandet mellan de två metallerna.

Gruvavfallsprojektet kom också till slutsatsen att det var mest kostnadseffektivt att åtgärda de största källorna till metallutsläpp med hög ambition, istället för att åtgärda många mindre källor.

Utifrån dessa kartläggningar placerades Kisbränderdeponin, tillsammans med Ingarvsmagasinet, i "Prioritetsgrupp 1" i det avtal om efterbehandling av Faluns gruvavfall som slöts mellan STORA och tillsynsmyndigheterna 1992.

1.2.3 Svavelsyrafabriken

Kisbränderna i Falun är ett avfall från tillverkningen av svavelsyra vid f.d. svavelsyrafabriken. Råvaran vid svavelsyratillverkningen, svavelkis (pyrit), bröts i Falu gruva. Malmen i Falu gruva är en komplex sulfidmalm. De värdefulla mineralerna är kopparkis, blyglans, zinkblände och svavelkis. Malmen innehåller även något guld och silver. I äldre tider tillvaratogs endast kopparmalmen i gruvan, men från 1850-talet utvanns även svavelkisen, som kom att bli den viktigaste produkten från gruvan under 1900-talet. Svavelsyrafabriken var i drift från mitten av 1800-talet till 1993 då den lades ner.

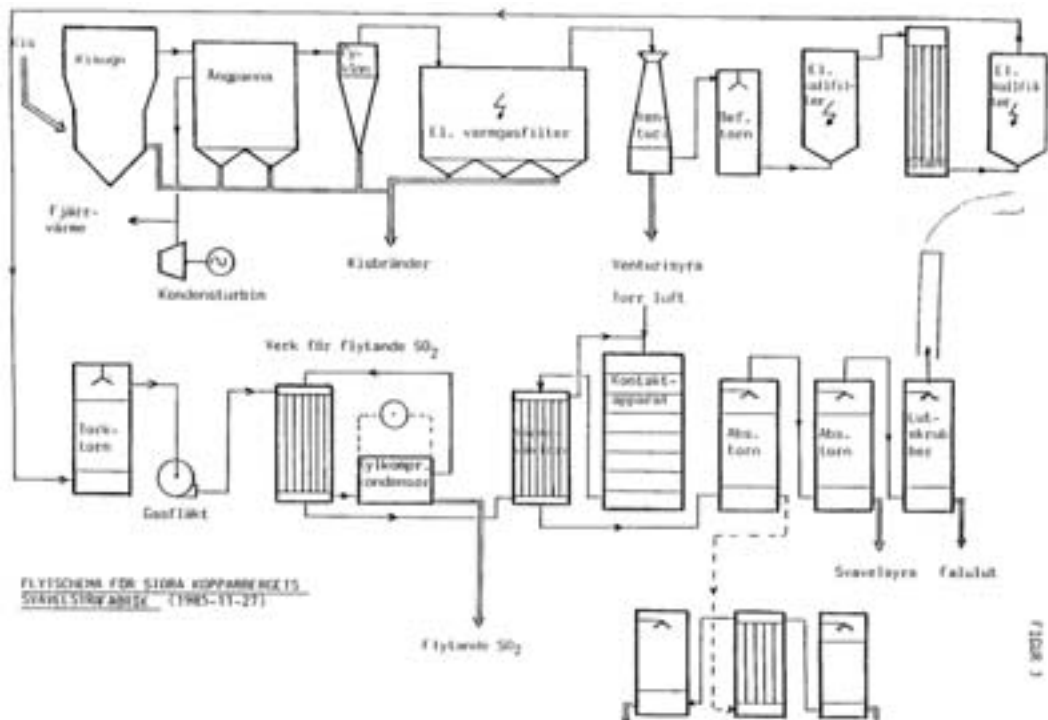
I syrafabriken upphettades svavelkisen till ca 900 °C för att svavlet skulle oxidera ("rostning"). I svavelkisen förekom zink-, kadmium- och kopparmineraler. Vid rostningen förångades zink och kadmium, eftersom dessa metalls kokpunkter är 908 °C respektive 765 °C (medan kokpunkterna för koppar och järn ligger över 2000 °C). De förångade metallerna kondenserade tillsammans med rester av svaveloxid och fastnade på restprodukterna, kisbränderna, som avskiljdes ur processen.



Figur 3. Foto över svavelsyrafabriken i drift, med kisbränderdeponin i bakgrunden.



Figur 4. Interiörbild från svavelsyrafabriken i drift.



Figur 5. Flödesschema för processen vid svavelsyrafabriken 1985.

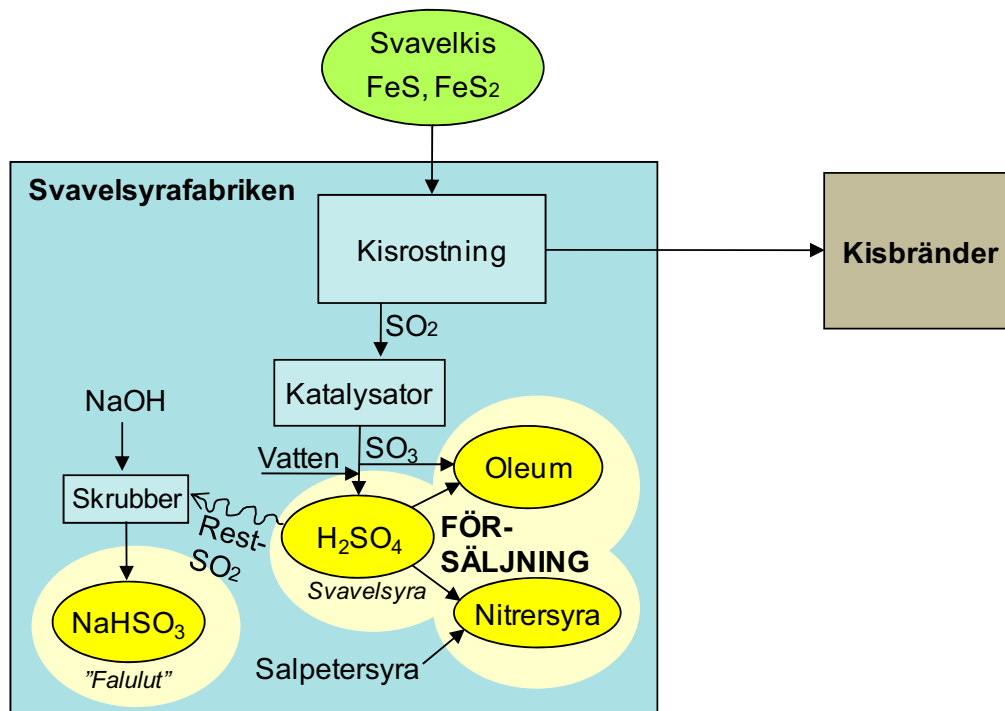
Den första svavelsyrafabriken i Falun var en liten anläggning vid Magasinsbron som startade 1858 och köptes av Bergslaget 1862. I början gick hela produktionen åt till kopparvitrioltillverkningen vid Extraktionsverket i Falun.

För att oxidera svavel från svaveldioxid till svaveltrioxid krävs en katalysator. Som katalysator kan kväveoxider, platina och vanadin fungera. På nuvarande kisbränderområdet byggdes en större svavelsyrafabrik 1872-73, då efterfrågan på svavelsyra ökade. Som råvara användes krossad pyrit och svavelsyran tillverkades med kväveoxider som katalysator. 1909-10 uppfördes en fabrik för svavelsyratillverkning med finkis som råvara och platina som katalysator. Under andra världskriget var behovet av svavelsyra till sprängämnestillverkning stort och därför byggdes ytterligare nya verk 1940 och 1943, där vanadinpentaoxid användes som katalysator. Platinafabriken lades ner 1949. 1968-69 moderniserades och utvidgades övriga fabriken och under 1970- och 80-talet genomfördes olika miljö- och säkerhetsförbättrande åtgärder som t.ex. rökgasrening. (Sundström, 2002). Svavelsyrafabriken lades ner 1993 i samband med nedläggningen av Falu gruva.

Produktion av svavelsyra och andra svavelprodukter i Falun

- 1862: 0,4 ton/dygn
- 1890-talet: 5 ton/dygn
- 1931: 50 ton/dygn
- 1943: 120 ton/dygn
- 1952: 120 ton/dygn
- 1990: 200 ton/dygn

Uppgifter hämtade ur "Falu gruva och tillhörande industrier – industrihistorisk kartläggning med avseende på förorenad mark", Kjell Sundström, Länsstyrelsen Dalarnas län, Miljö- och värdsenheten Rapport 2002:12.



Figur 6. Framställda produkter (gula fält) vid svavelsyrafabriken i Falun.

1.2.4 Kisbränderdeponin

Området dit kisbränderna från svavelsyrafabriken kördes ut bestod ursprungligen av en svacka och en liten sjö, Skålpussen. Innan deponering av kisbränder påbörjades, hade delar av området sedan lång tid tillbaka fyllts ut med framförallt slagg.

Under perioden 1850-1948 kördes kisbränderna ut i torr form – från början med häst och vagn och senare med lastbil. Deponering skedde i närheten av fabriken, i den sydöstra delen av kisbränderområdet. Den svavelkis som användes var selektivt bruten och torrkrossad (från 1910 mald till finkis), det vill säga inte anrikad. Det innebar att zinkhalten i kisbränderna ibland blev hög under denna period. Från och med 1948 anrikades all svavelkis som togs ut till svavelsyratillverkningen genom flotation. Det medförde att kisbränderna var mer finkorniga och kunde pumpas ut på deponin. En stor del av dessa kisbränder togs senare tillbaka från deponin och användes till kulsinterframställning, under perioden 1960-1976. I princip hela mängden kisbränder som uppstod under denna period användes för framställning av kulsinter, endast mycket små mängder deponerades på kisbränderdeponin i samband med driftstörningar i kulsinterverket. Perioden 1977-1983, efter nedläggningen av kulsinterverket, kördes kisbränderna åter ut på deponin. Kisbränderna befuktades via dysor och mellanlagrades inomhus innan de kördes ut med lastmaskin. (Larsson, 2006). Från 1983 fram till nedläggningen av svavelsyrafabriken 1993, deponerades kisbränderna i gruvan. Kisbränderna pumpades som en slurry ned i gruvan för återfyllning. Driftproblemen var betydande, men i princip gick alla kisbränder ned i gruvan. En del av finfraktionen deponerades dock i Ingarvsmagasinet.



Figur 7. Flygfoto från 1955 över kisbränderdeponin och svavelsyrafabriken.
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229



Figur 8. Flygfoto från 1983 över kisbränderdeponin och svavelsyrafabriken.
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

1.2.5 Deponerade kisbränder – mängder och egenskaper

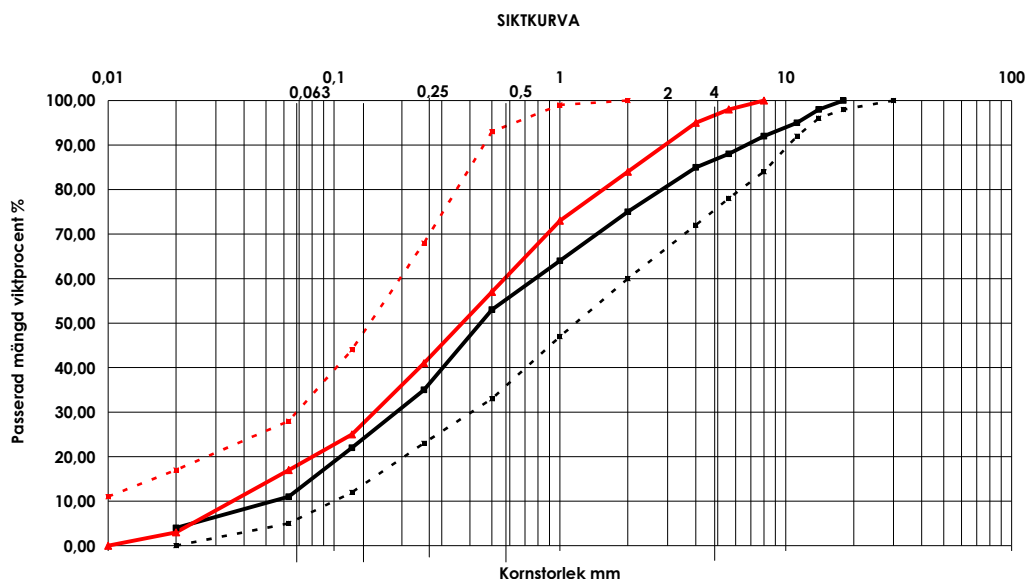
Den restprodukt som uppstår vid rostning av svavelkis, som på många håll kallas ”kisaska”, benämns i Falun ”kisbränder”. Kisbränderna i Falun har olika utseende och sammansättning beroende på att sätten att utvinna svavelkisen ur malmen har varierat, liksom metoderna för rostning.

I den ursprungliga rostningsprocessen användes etageugnar, där svavelkisen matas ned genom ugnen, från den ena nivån till den andra. För rostningen användes ett förhållandevis grovt material, som bröts selektivt i Falu gruva och torrkrossades innan det brändes. Förbränningen blev relativt ofullständig, varför det till stor del bildades magnetit (Fe_3O_4 , dvs. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) som slutprodukt. De äldre kisbränderna från denna process är svarta eller brunsvarta och relativt grovkorniga.

1948 infördes flotation som metod för att ta ut (anrikad) svavelkis till syrafabriken. I samband med det byttes två av etageugnarna ut mot en s.k. flash-ugn, där den finkorniga svavelkisen från flotationsprocessen sprutades in och snabbt förbrändes. I botten av ugnen fanns en kista som användes för att mata ut kisbränderna. En stor andel av bränderna fångades också upp i det elektrofilter som rökgaserna passerade efter ugnen, se Figur 5.

Den anrikade svavelkisen gav en renare förbränningsprodukt (högre järnhalt). Förbränningen blev samtidigt bättre, vilket medförde att det bildades hematit (Fe_2O_3). Den nyare typen av kisbränder har därför röd färg och är mer finkorniga.

Kisbränderna har en kornstorlek som motsvarar jordarterna silt till sand.



Figur 9. Siktcurvor för röda och svarta kisbränder. Kurvorna beskriver en ungefärlig kornstorleksfördelning. Inom vissa områden är svarta kisbränder betydligt grövre än vad siktcurvan visar och kornstorleken för de röda är oftast mindre än 2 mm. De streckade linjerna visar den ungefärliga max- och min-fördelningen.



Figur 10. Röda kisbränder (under tvättning).

Innan Faluprojektet startade, hade förekomsten och egenskaperna hos kisbränderna kartlagts bland annat inom STORA-projektet VARP-89 och av Dalälvsdelegationens Gruvavfallsprojekt. Beräkningar utförda inom dessa projekt pekade på att mängden kisbränder i deponin var ca 400 000 m³. Undersökningar inom Gruvavfallsprojektet visade på följande totalhalter i kisbränderna:

- Järn 40-55 % (järnoxider)
- Svavel 0,4-5 % (sulfat och sulfid)
- Zink 0,2-3 %
- Koppar 0,05-0,5%
- Bly 0,1-1,4 %
- Kadmium <0,1-70 ppm

De undersökningar som föregick Faluprojektet visade också på att kisbränderna innehöll en stor del lakbara metaller, se Tabell 2. De skiljde sig därmed väsentligt från gruvavfall som slagg och varp, där metallerna i huvudsak förekommer bundna som metallsulfider. För sulfidbundna metaller krävs att en vittringsprocess äger rum innan metallerna övergår till vattenlöslig form och kan lakas ur gruvavfallet. I kisbränderna ligger däremot en stor del av metallerna direkt tillgängliga för urlakning.

Tabell 2. Kisbrändernas innehåll av lakbart svavel och lakbara metaller (avrundade värden). Värden beräknade från (Fällman och Qvarfort, 1990). Baserat på 13 prover tagna i 6 provpunkter, lakade vid L/S=1 i 6 timmar.

LAKBARA HALTER	LAKBART SVAVEL (% av totalhalt)	LAKBAR KOPPAR (% av totalhalt)	LAKBAR ZINK (% av totalhalt)
Kisbränder, SGI	2-108% medel 25% median 12%	0,002-21% medel 4,5% median 1%	0,2-37% medel 11% median 6%

Inom ramen för Faluprojektet har fortsatta undersökningar av kisbrändernas utbredning och egenskaper genomförts, vilket redovisas i avsnitt 3.3 ”Kartläggning av metallförekomsten”.

Sammanlagt har ca 2 000 prover tagits i kisbränderdeponin och lakttestats under de år som Faluprojektet pågått.

1.3 Delprojektets målsättning

Den ambitionsnivå som föreslogs av Gruvavfallsprojektet för efterbehandling av kisbränderdeponin var att läckaget av zink skulle minska från dåvarande ca 145 ton/år till ca 15 ton/år, koppar från ca 2,1 till 0,2 ton/år och kadmium från ca 160 till 16 kg/år (90 % reduktion). Den åtgärd som föreslogs för att åstadkomma detta var en kombination av kvalificerad sluttäckning och avskärmning av inläckande yt- och grundvatten.

Man poängterade samtidigt att det var fördelaktigt att öka effektiviteten för de mest förorenade objekten i Falun (kisbränderområdet samt Ingarvsmagasinet), jämfört med att börja åtgärda de mer utspridda och de kulturmiljömässigt mycket mer känsliga slagg- och varpförekomsterna i eller utanför Falun.

Den målsättning med kisbrändersaneringen som senare angavs i tillståndsansökan för saneringen av kisbränderområdet, (se avsnitt 6 nedan) var högre än så:

Läckaget från kisbränderdeponin efter sanering beräknades bli ca 5 ton zink per år, motsvarande 97 % reduktion.

Denna målsättning byggde på att de vattenlösliga metallerna skulle tvättas ur kisbränderdeponin och fastläggas i en stabilare form innan deponin täcktes – se vidare om metodval för efterbehandlingen i avsnitt 4.

1.3.1 Zink i fokus

Målsättningen i direktivet för Dalälvsdelegationen var att minska belastningen av miljöfarliga ämnen på Östersjön, genom att framförallt prioritera åtgärder för att begränsa metalläckaget till Dalälven från Faluns gruvavfall. Andelen från Faluns gruvavfall av den totala uttransporten till havet med Dalälven uppskattades i det skedet, d v s sent 1980-tal, till ca 75-80 % för zink, 30 % för kadmium, ca 15 % för koppar och mindre än 5 % för bly.

Zink finns i alla gruvavfallsslag i Falun och är tillsammans med järn den metall som förekommer i störst mängd. Det har därmed sedan lång tid tillbaka varit möjligt att med god precision mäta förekomsten av zink i gruvavfallet och i recipienterna. Som indikator för metallurlakning i Faluområdet har zink därmed kommit att bli den robustaste parametern, tack vare långa tidsserier och god analysnoggrannhet. Därtill är kadmium i stort sett alltid en följeslagare till zink. Det betyder att man indirekt kan få en uppfattning om de relativa utläckagen av den mer svåranalyserade metallen kadmium från gruvavfallen, genom att mäta zink. Stora Teknik kunde till exempel inte analysera kadmium med tillräckligt god precision då Faluprojektet startade. På andra laboratorier var detta möjligt, men kostsamt.

Eftersom tillgången till data varit störst för zink i Faluprojektet, har kartläggning, åtgärdslösningar och uppföljning till stor del fokuserat på zink av praktiska skäl. Dessutom är halter och mängder av zink som förekommer i Faluområdet uppseendeväckande ur ett nationellt perspektiv.

Allt eftersom de största källorna till metalläckage från Falun åtgärdats – det vill säga modernt, finfördelat och zink-/kadmiumrikt gruvavfall – har även andra källors relativa betydelse ökat. Dessa utgörs av äldre gruvavfall (varp och slagg), som relativt sett läcker mera koppar. Metallerna skiljer sig dessutom åt i olika avseenden beträffande risken för toxicitet, upplagring i biologiska näringskedjor m.m. Styrgruppen för Faluprojektet har därför med tiden breddat sitt synsätt, samtidigt som analysmetodikerna utvecklats. Mot slutet av projekttiden finns därför mer analysdata med avseende på framförallt kadmium och koppar, men även för övriga tungmetaller.

2 Projektorganisation

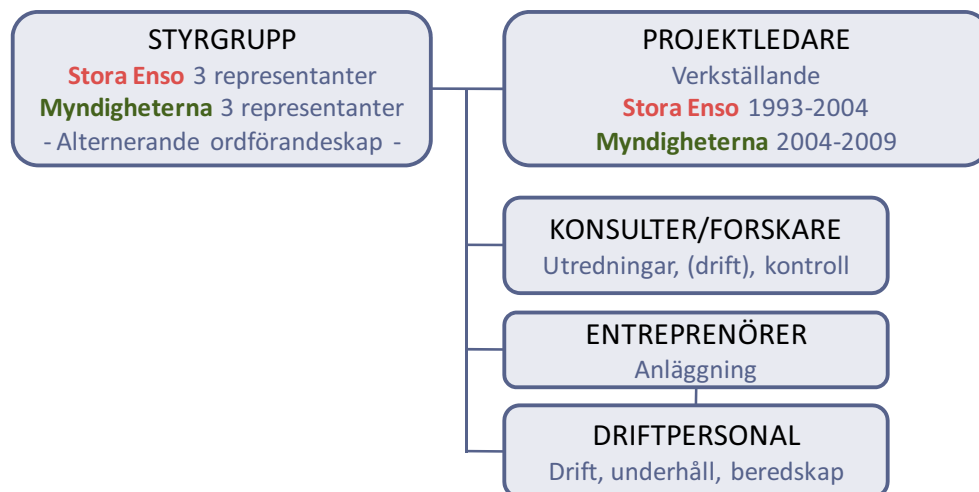
Efterbehandlingen av kisbränderdeponin ingick som en del i Faluprojektet och ansvariga för åtgärden var Faluprojektets styrgrupp. Styrgruppen bestod av tre representanter för Stora Enso och vardera en representant från Naturvårdsverket, Länsstyrelsen i Dalarna samt Falu kommuns miljönämnd. I styrgruppen fattades strategiska beslut för projektet, rörande exempelvis ekonomi, ambitionsnivå, tekniklösningar, kontroll/uppföljning och liknande.

Projektledare för Faluprojektet har varit:

- 1994-2004: Gunnar Lundkvist, GMT. Gunnar var dessförinnan produktionschef vid Falu gruva med tillhörande verksamheter.
- 2004: Bo Ledin, GVT AB (tillförordnad)
- 2005-2009: Lars Söderberg, SGU (sedan 2006 i egen firma)

Projektledaren fattade beslut rörande den dagliga driften och fungerade även som arbetsledare med personalansvar. Projektledaren ansvarade också för framtagande av budget och för ekonomisk uppföljning av projektet.

Kostnaden för projektledningen finansierades av Faluprojektet. Ledamöternas kostnader för arbetet i Faluprojektets styrgrupp svarade respektive arbetsgivare för.



Figur 11. Organisation för Faluprojektet som helhet.

Utredningar beträffande kisbränderdeponin utfördes i huvudsak av GVT, Uppsala Universitet och STORA TEKNIK/Stora Enso Research.

Projektering och i viss mån upphandling utfördes på konsultbasis, se vidare avsnitt 7.8 (tvättning) och 8.5 (sluttäckning).

Tillstånd för åtgärder söktes av Stora Enso, som verksamhetsutövare. Ansökningar, anmälningar, förslag till kontrollprogram m m upprättades inom ramen för Falu-

projektet och styrgruppen stod i samtliga fall enhälligt bakom handlingarna. Länsstyrelsen prövade i vanlig ordning Faluprojektets ärenden. Länsstyrelsens representant i Faluprojektets styrgrupp deltog dock inte i handläggning eller beslut. Den huvudsakliga byggkontrollen har GVT svarat för i samråd med projektledaren. Miljökontroll i form av vattenprovtagning har utförts av GVT och Stora Enso Research.

3 Kartläggning av kisbränderdeponin

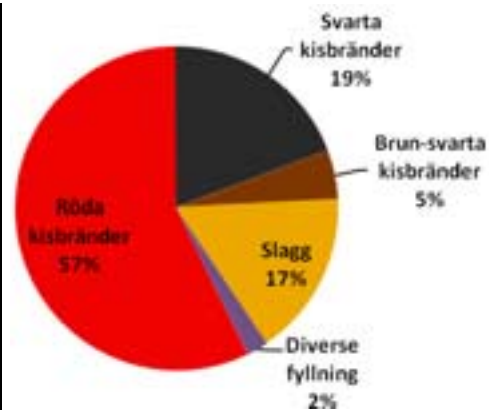
3.1 Kartläggning av avfallsslag i kisbränderdeponin

I Kisbränderdeponin förekommer i huvudsak kisbränder och slagg. Slagg lades inom området innan det började användas som deponi för kisbränder, dvs. före 1850-talet. Utfyllnad av slagg inom området har troligtvis skett i samband med att slaggfyllningarna ner emot Faluån utfördes. Slaggen kan även ha använts för att utföra förstärkningsåtgärder, eftersom det förekommer både lera och silt under slaggen inom vissa delar av området.

Kisbränderna är av röd, svart eller brun-svart typ. Normalt är de svarta kisbränderna något grövre än de röda och de brun-svarta kisbränderna är betydligt grövre. De brun-svarta kisbränderna kan dessutom innehålla annan fyllning som t.ex. tegel och slagg. Som framgår av Tabell 3 nedan, är övervägande delen av kisbränderna av den modernare, röda typen. De olika kisbrändertyperna beskrivs närmare i avsnitt 1.2.5.

Tabell 3. Beräknade mängder av olika avfallsslag i kisbränderdeponin.

AVFALLSSLAG I KISBRÄNDERDEPONIN	VOLYM (m ³)
Röda kisbränder (varav inom Skålpussenområdet)	400 000 (28 000)
Svarta kisbränder	135 000
Brun-svarta kisbränder	35 000
Summa kisbränder	570 000
Slagg	115 000
Diverse fyllning	15 000
Summa avfall	700 000



Avfallsmängderna ovan baseras på beräkningar utifrån de borrhningar som gjorts i deponin, vilka beskrivs i avsnitt 3.3.2.

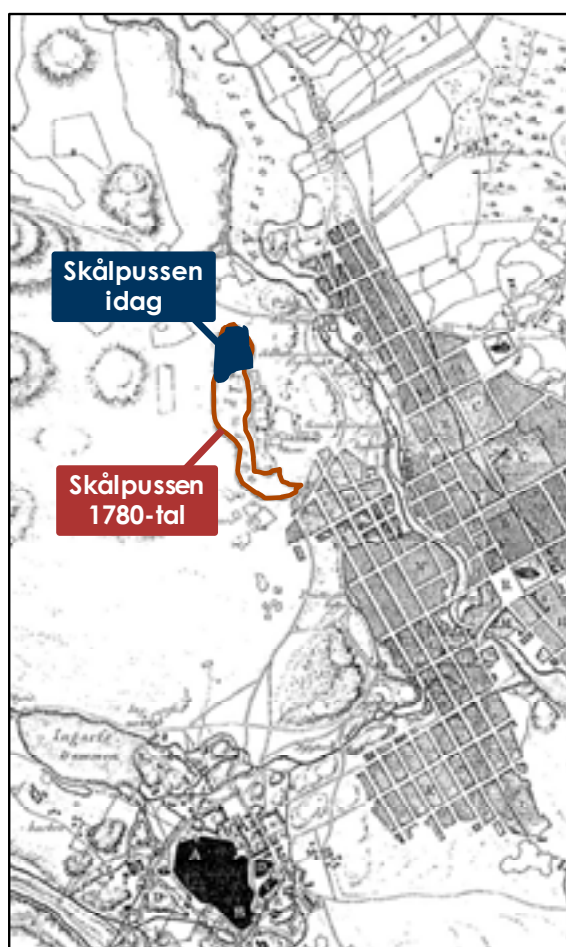
Slagg förekommer huvudsakligen i botten av deponin och in under Hanröleden i öster, där slaggen ansluter till den utbredda slaggfyllningen under bebyggelsen väster om Faluån, se Figur 14 (nästa avsnitt).

Övrig fyllning, som t.ex. tegel och annat rivningsavfall, finns främst längs Hanröleden (och ca 50 m västerut) på sträckan från mitten av området och norrut (från brunn V11 till norr om V15). I de flesta fall har deponeringen av byggavfall (huvudsak tegel) utförts före det att kisbränderna har deponerats.

Kisbränderna som deponerats öster om nuvarande Hanröleden (väg 50) deponerades i Falu gruva i samband med att Hanröleden byggdes i början av 1980-talet.

3.2 Kartläggning av mark- och grundvattenförhållanden

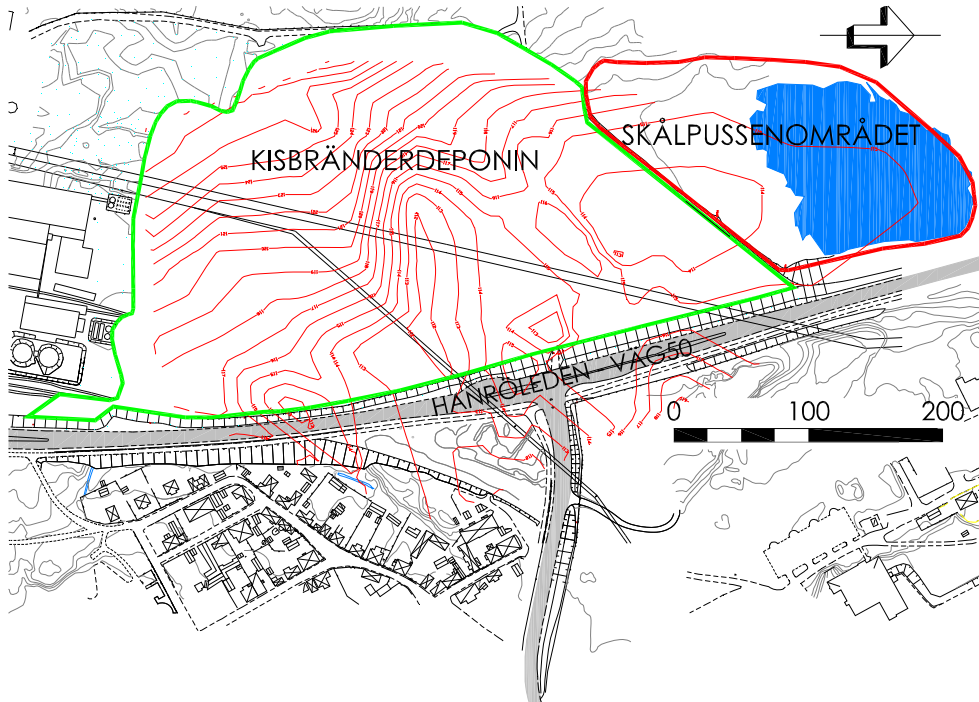
Området där kisbränderdeponin är belägen, utgörs av en svacka i moränterräng. Längst ner i svackan ligger en liten vattensamling benämnd Skålpussen. Skålpussen hade innan kisbränderdeponins tillkomst en betydligt större utbredning än den nuvarande, se Figur 12.



Figur 12. Skålpussens utbredning på 1780-talet (utdrag ur L.H. Hilleströms "Charta öfver Staden Falun och Stora Kopparbergs Grufwa"), med Skålpussens nuvarande utbredning inritad.

Deponering har utförts genom att svackan fyllts upp, så att deponis överyta ansluter mot markytan söder och väster om deponin. Mot öster har deponering skett ungefär längs Hanröleden (genomfartsled) i södra delen av området. I norra delen har deponering skett under vägens nuvarande sträckning och på vägens östra sida (Stora Research-området), innan Hanröleden anlades 1981. Kisbränderna inom Stora Research-området på vägens östra sida har transporterats bort under senare tid. Norrut sluttar deponin ner mot Skålpussen.

Utifrån utförda borrningar har deponins underyta (naturlig mark) rekonstruerats. Som framgår av Figur 13 förekommer de djupaste delarna mitt på området.

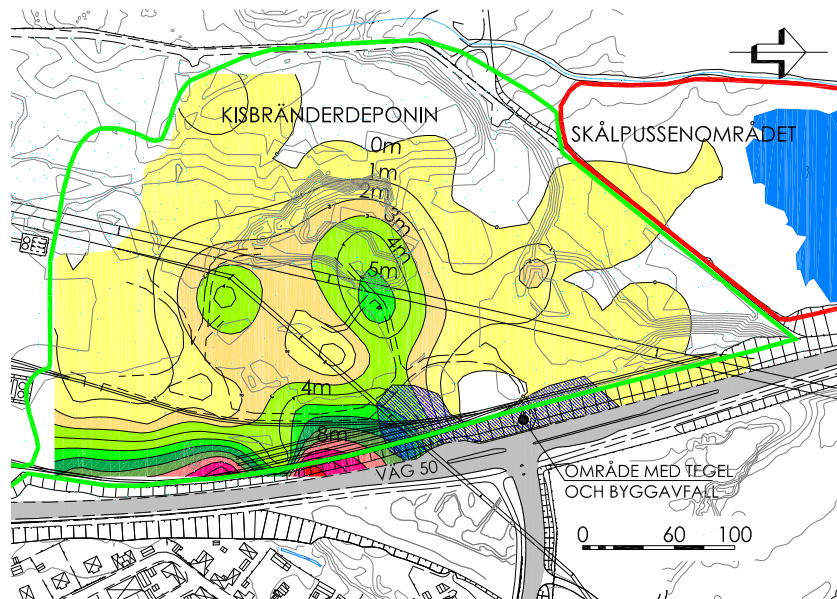


Figur 13. Höjdkurvor för naturlig mark under kisbränderdeponin.

I västra delen underlagras deponin av morän som är relativt tät (finkorning) och hårt packad. I den östra och norra delen av deponin förekommer ett tunnare ler- och siltlager ovanpå moränen, med en mäktighet varierande från ca 0,5 m till drygt 1 m. Inom området vid Skålpussen, i norr, förekommer tjockare lerlager med mäktigheter över 2 m. Inom en stor del av Skålpussenområdet överlagras leran av torv med mäktigheter från ca 0,5 till ca 2 m.

Området söder om kisbränderdeponin utgörs av diverse fyllning och morän. Fyllningen inom detta område är normalt tunnare än en meter och utgörs till stora delar av grus och liknande och har använts som körytor.

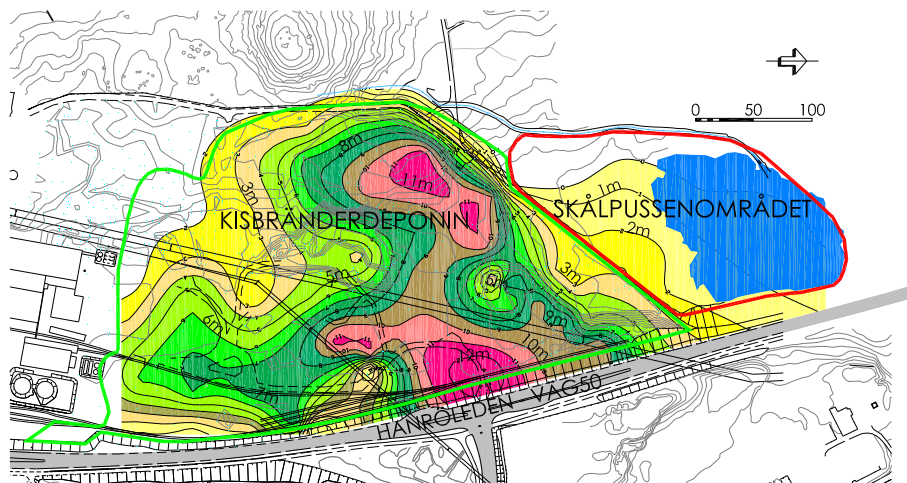
I botten av deponin, under kisbränderna, förekommer äldre fyllning – främst i form av slagg. Fyllningens mäktighet under kisbränderna framgår av Figur 14.



Figur 14. Mäktighet - fyllning av slagg m m under kisbränderdeponin.

I deponins östra del, mot Hanröleden, utgörs fyllningen under kisbränderna i huvudsak av slagg med mäktigheter över 10 m. Slaggen är fylld på en morän i den södra delen och på lera-silt i den norra delen av området. I vissa delar sträcker sig slaggen relativt långt in under kisbränderna mot väster. I detta område förekommer även diverse fyllning (tegel och annat rivningsavfall) och brun-svarta kisbränder.

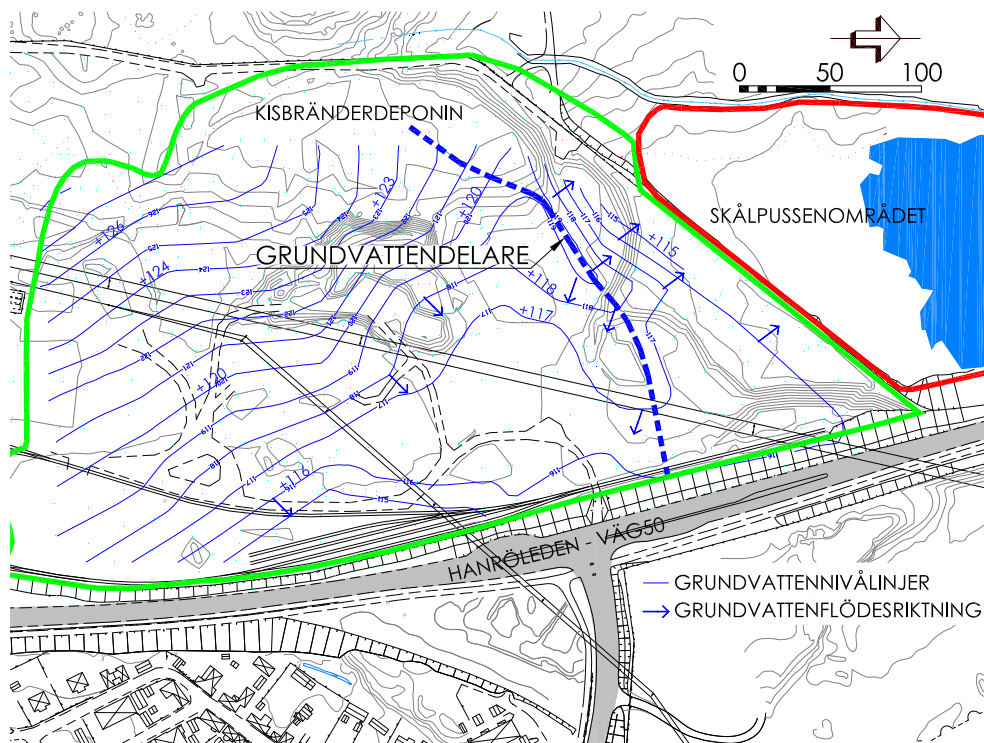
I Figur 15 nedan visas mäktigheten av kisbränder i olika delar av deponin. Man kan konstatera att de största mäktigheterna (ca 12 m) förekommer inom deponins norra del, där även övervägande röda kisbränder förekommer. Kisbränderdeponins totala mäktighet uppgår till ca 14 m inom de djupaste delarna, men som medel är mäktigheten ca 7 till 8 m beroende om man räknar in Skålpussenområdet eller inte. I Skålpussen är kisbrändermäktigheten mindre än 1 m.



Figur 15. Kisbrändermäktighet

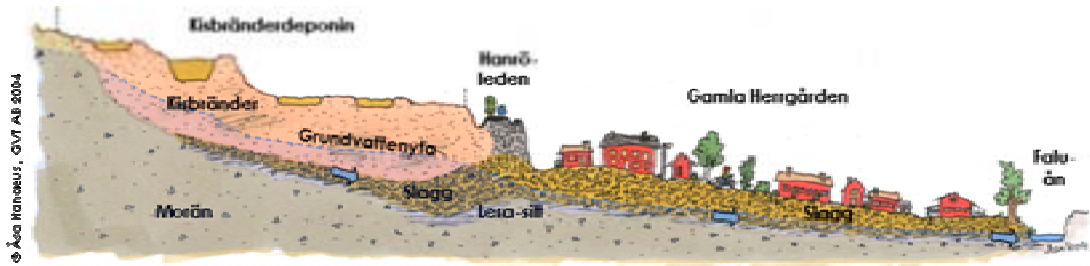
Deponins lokalisering och uppbyggnad, med låggenomsläppliga jordarter i botten och med ett utbrett skikt av dränerande fyllning (slagg) under kisbränderna, medför att det är tacksamt att samla upp lakvatten från deponin. Den väldefinierade geohydrologin har varit en förutsättning och en starkt bidragande orsak till att tvättning in situ valts som åtgärdsmetod.

Den ursprungliga svackan och området ned mot Skålpussen var sedan tidigare ett utströmningsområde för grundvatten, vilket bland annat torvförekomsten bekräftar. Grundvattnet inom kisbränderdeponin har dock två huvudsakliga flödesriktningar, eftersom en vattendelare korsar deponin. Under ”naturliga” förhållanden (då tvättning ej sker) är grundvattendelaren belägen i norra delen av deponiområdet, se Figur 16.



Figur 16. Grundvattennivålinjer, samt grundvattnets strömningsriktning under ”naturliga” förhållanden, innan tvättning och täckning av kisbränderdeponin.

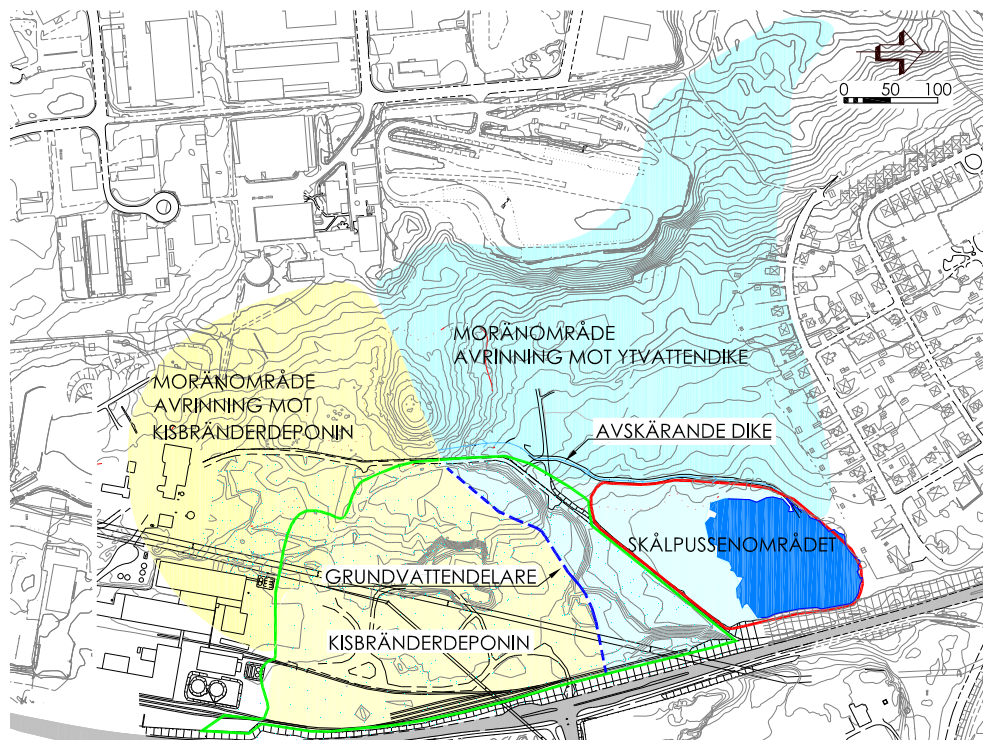
Grundvattnet från områdets södra del avleds ner mot Faluån genom slaggfyllningen under bebyggelsen och grundvattnet i den norra delen avleds mot Skålpussen. Grundvattenflödet mot Skålpussen läcker till största delen ut i Skålpussenområdet och därefter avleds det i en ledning mot Östanforsån (övre delen av Faluån). Den helt dominerande delen av grundvattenflödet mot Faluån avleds i fyllningen (slaggen) ovanpå moränen. Det beror på att slaggen har mycket högre genomsläpplighet än underliggande silt/morän. Slaggfyllningen under bebyggelsen fungerar därmed som ett dränerande lager ovanpå ett ”tätskikt” av silt/morän.



Figur 17. Principsektion över kisbränderdeponin och slaggfyllningen ned mot Faluån.

Vad gäller ytvattenavledning från området, fanns innan efterbehandling ett dike i den nordvästra delen och ett mindre dike i norra delen, se Figur 18. De två dikena avleddes till Skålpussen, som har ett kulverterat utlopp till Östanforsån.

Avrinnande yt- och grundvatten från kisbränderdeponin bildas dels av nederbörd som faller på själva deponin och inom Skålpussenområdet, dels inom ett nederbördsområde väster om deponin som utgörs av moränterräng. Som tidigare nämnts avleddes ytvatten innan saneringen via Skålpussen till Östanforsån, medan bildat grundvatten rann fram dels i Skålpussen, dels i slaggfyllningen österut mot Faluån. Nederbördsområde, grundvattendelare samt ytvattendiken innan efterbehandling redovisas i Figur 18 nedan.



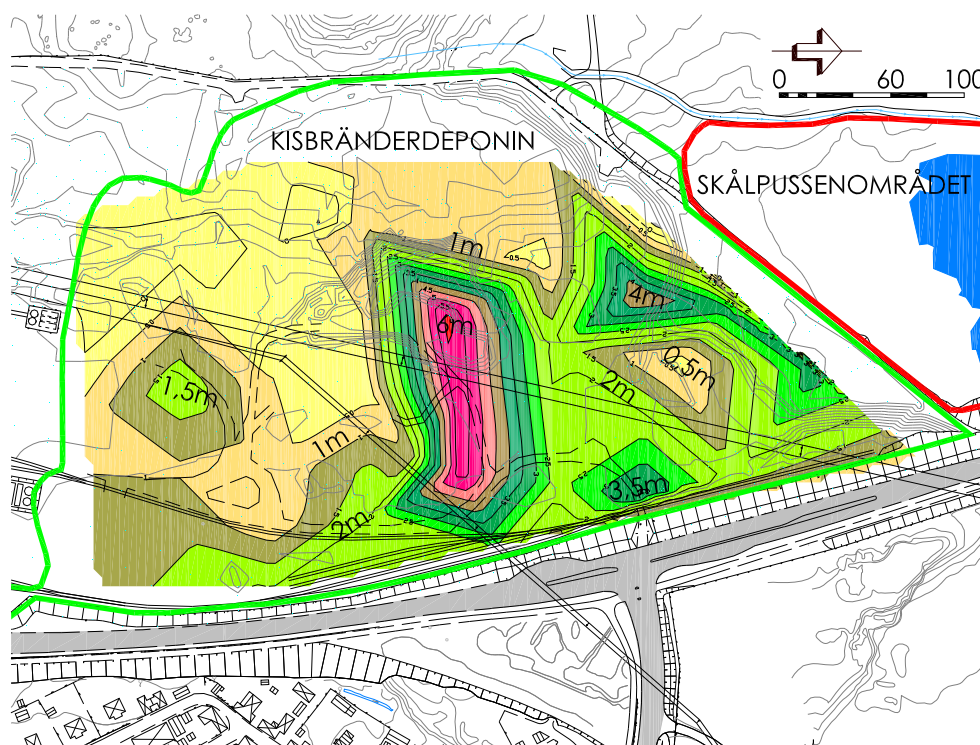
Figur 18. Nederbördsområde + grundvattendelare + ytvattendike. Före tvättning.

Lakvattenbildningen från kisbränderdeponin i drift (före åtgärder), framgår av Tabell 4 nedan. Lakvattenmängden utgörs dels av nederbörd och snösmältning som infiltrerar direkt på deponiytan, dels av grundvatten som bildas inom moränområdet väster om deponin och som tillförs deponin från sidan.

Tabell 4. Beräknad lakvattenbildning från kisbränderdeponin i drift.

AVRINNING MOT:	FALUJAN	OMRÅDE	AREA (km ²)	LAKVATTEN-BILDNING (mm/år)	FLÖDE (m ³ /h)	FLÖDE (m ³ /d)
		Moränområde uppströms	0,08	150-200	1,4-1,8	33-44
		Deponin (del av)	0,06	250-350	1,7-2,4	41-58
		SUMMA	0,14		3,1-4,2	74-100
	SKÅLP.	Deponin (del av)	0,035	250-350	1,0-1,4	24-34
		Skålpussen	0,014	50-100	0,08-0,16	2-4
		TOTALSUMMA	0,19		4,1-5,8	100-140

Innan tvättningen påbörjades låg grundvattentytan lågt inom området, uppemot 10 m under markytan i de djupaste delarna. I vissa delar av deponin låg grundvattentytan under kisbränderna, i underliggande fyllning (främst slagg).



Figur 19. Isolinjer (nivåkurvor) som visar skillnaden mellan grundvattennivån och deponibotten, dvs. hur högt grundvattennivån stod före åtgärd i deponerade massor (slagg, kisbränder etc). Ekvavidens 0,5 m.

Inom de gula områdena i Figur 11 låg 0-1 m deponerade massor (slagg/kisbränder) under grundvattennivån, medan den inom de gröna och röda områdena låg 1,5-4 m

respektive 5-6 m slagg/kisbränder under grundvattennivån. I deponins centrala delar är alltså en stor del av kisbränderna deponerade under den naturliga grundvattenytan, medan kisbränderna i områdets södra del ligger relativt torrt.

3.3 Kartläggning av metallförekomsten

Under 1980-talet och början av 1990-talet hade ett flertal undersökningar genomförts med syfte att kartlägga metallläckaget från olika gruvavfallsobjekt i Falun. I projekt Falu gruva (SNV och STORA) studerades metallläckaget till Faluån och andra ytvatten. I projekten VARP-89 (STORA) och Gruvavfallsprojektet (Dalälvsdelegationen/SGI) studerades gruvavfallens metallinnehåll och metalltransporter med yt- och grundvatten från olika områden med gruvavfall. Genom dessa projekt hade man fått en uppfattning om storleksordningen på metallläckaget från kisbränderdeponin (se avsnitt 1.2.2).

Inom ramen för Faluprojektet kartlades metallförekomsten i kisbränderdeponin i flera omgångar – inför val av åtgärds metod, under pågående åtgärd, samt efter avslutad åtgärd, vilket beskrivs nedan.

3.3.1 Kartläggning inför val av åtgärd, 1993

I samband med att tvättning undersöktes som metod för efterbehandling för kisbränderdeponin, gjordes vissa kartläggningsarbeten (Ledin et. al., 1993).

Kartläggning utifrån historiska produktions- och deponeringsförhållanden

Som en del i utredningen från 1993 gjordes ett försök att uppskatta innehållet av kisbränder och metaller (främst zink) i deponin genom att kartlägga de historiska förhållandena vid svavelsyrafabriken. Kisbränder från tre tidsperioder identifierades och kartlades, bland annat genom intervjuer.

Tabell 5. Resultat av historisk kartläggning av kisbrändernas uppkomstsätt och deponeringsförhållande under olika tidsperioder. Informationen hämtad från (Ledin et. al., 1993).

Perioden 1850-1948	Perioden 1948-1960*	Perioden 1977-1983**
Råvara selektivt bruten, oanrikad, torrkrossad svavelkis.	Råvara anrikad svavelkis.	Råvara anrikad svavelkis.
Utkörning av kisbränder på deponin i torr form. Framförallt i deponins östra del.	Utpumpning av uppslammade kisbränder till deponin.	Utkörning av kisbränder på deponin i torr form.
Mängd ca 300 000 ton	Kvarvarande mängd ca 100 000 ton (ca 200 000 ton utkört till kulsinterframställning)	Mängd ca 300 000 ton
Halt uttvättbar zink: 1,5% varav 1,0% som sulfid	Halt uttvättbar zink: 0,1%	Halt uttvättbar zink: 0,45% varav 0,15% som sulfid
Mängd uttvättbar zink: 4 500 ton varav 3 000 som sulfid	Mängd uttvättbar zink: 100 ton	Mängd uttvättbar zink: 1 350 ton varav 450 ton som sulfid

* Under perioden 1960-1977 tillverkades kulsinter av kisbränderna, som kördes till Domnarvets Jernverk.

**Från 1984 fram till svavelsyrafabrikens nedläggning 1993, fördes kisbränderna till gruvan för återfyllning.

Utifrån kartläggningen konstaterades att den utlakbara zinkmängden varierar kraftigt mellan olika delar av deponin, men att den totala mängden (exkl. sulfidbundet) troligen låg i intervallet 1 500 - 2 500 ton.

Kisbrändernas innehåll och egenskaper

Under 1993 studerades även kisbrändernas utlaknings- och vittringspotential. Undersökningarna utfördes på fem prover (varav tre på röda kisbränder och två på svarta) från olika provgröpar i västra delen av deponin. Det var alltså ett mycket begränsat provurval som låg till grund för de slutsatser som redovisas nedan.

Totalhalter

Resultaten visade att materialets totalhalter av metaller och svavel låg i nivå med tidigare undersökningar. Det gick inte att finna någon generell skillnad mellan röda och svarta kisbränder, eftersom både haltvariationen mellan olika prov och inom samma prov var stora.

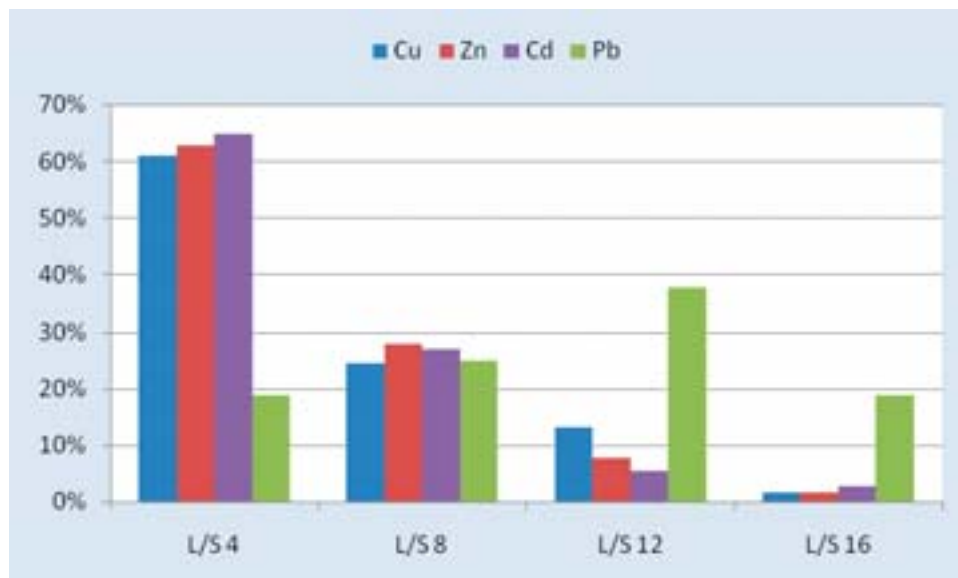
Kornstorleksfördelning

Kornstorleksundersökningar visade att materialet var av siltig karaktär och att de svarta kisbränderna möjligen var något grovkornigare än den röda varianten. Skillnaden var dock större mellan olika provpunkter än mellan röda och svarta kisbränder, vilket förklarades med att kisbränderna under en lång period deponerades i slurryform, vilket medförde viss skiktning.

Lakbara halter

Lakanalyser genomfördes som skakförsök vid olika L/S-kvoter, det vill säga olika förhållande mellan det fasta materialet (S=solid) och vätskan (L=liquid). Lakning-

arna utfördes stegvis i förhållandet L/S=4, 8, 12 och 16, med byte av lakvatten mellan varje lakning. Laktiden var 12 timmar. Generellt var pH-värdet i lakvattnet mellan 2 och 5 och konduktiviteten i lakvattnen mellan 50 och 1 000 mS/m.



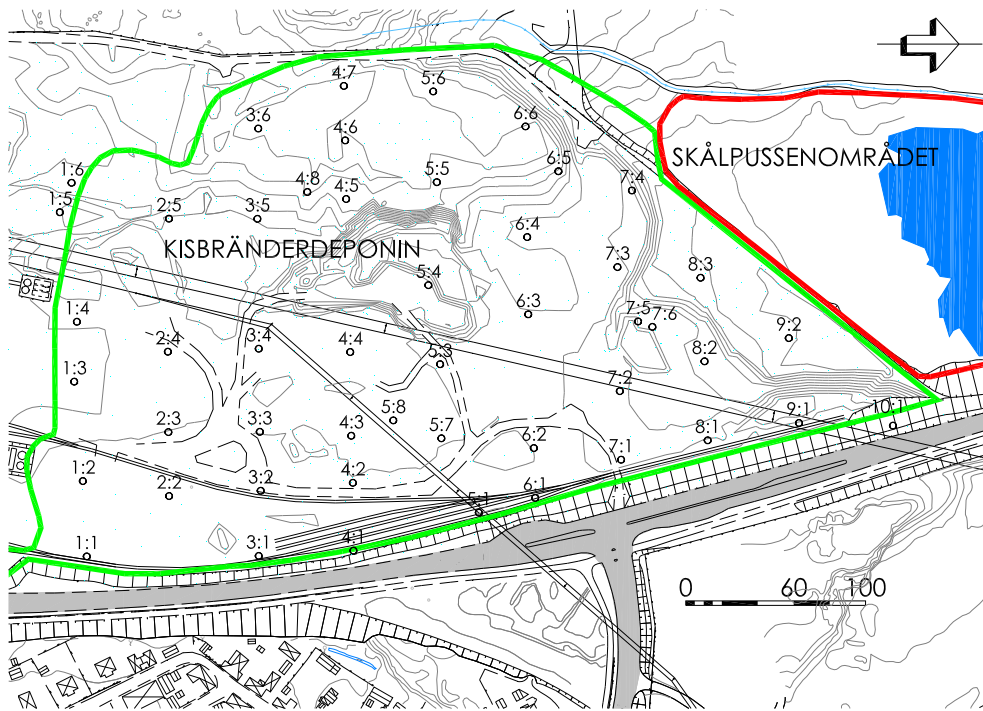
Figur 20. Andel utlakat vid olika L/S-förhållanden vid stegvis lakning, jämfört med sammanlagt utlakat upp till L/S=16. Diagram upprättat från datatabell hämtad ur (Ledin et. al., 1993).

Försöken visade att kadmium, zink och koppar i hög grad lakades ut i första lakningssteget, men att det rådde omvända förhållandet för bly. En annan slutsats var att de krävdes upprepade lakningar för att lakningen skulle bli fullständig. Jämfört med lakningar som utförts tidigare med L/S=1, i samband med Gruvavfallsprojektet, uppvisade dessa försök något högre lakbarhet.

3.3.2 Fastställande av metallmängder inför åtgärd, 1994

I samband med försöken 1993 konstaterades att variationen i metallhalter mellan olika delar av kisbränderdeponin var mycket stor och att det därför fanns behov av en mer omfattande och systematisk undersökning av kisbränderdeponins sammansättning och utbredning. För att noggrannare bestämma metallinnehållet i kisbränderdeponin innan efterbehandlingen påbörjades, genomförde Faluprojektet en stor undersökning under 1994 (Ledin och Qvarfort, 1994). Kartläggningen omfattade borrhning i 49 punkter placerade i ett rutnät över hela deponin med ca 50 m avstånd mellan punkterna. I varje borrhpunkt togs prover ut på varje meters djup. Det innebär att totalt ca 450 prover togs ut, varav de 335 prover som innehöll kisbränder lakades och analyserades.

Provtagningspunkternas placering framgår av Figur 21.



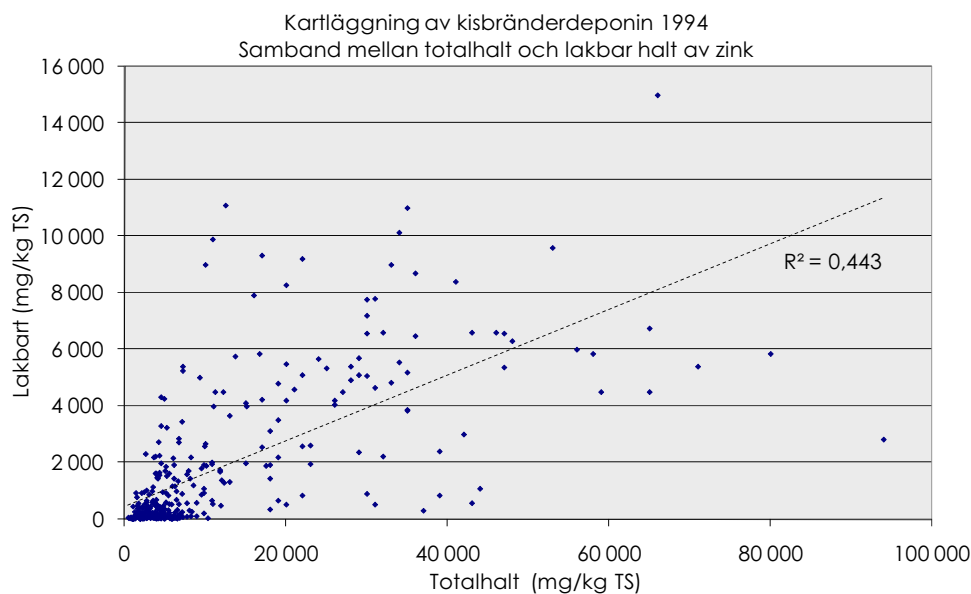
Figur 21. Provtagningspunkternas placering vid 1994 års undersökningar.

Totalhalter av zink, koppar och kadmium i proverna bestämdes och lakförsök utfördes som skakförsök med förhållandet $L/S=1$ i 1 h. Innan lakning torkades proverna vid 105°C under ca 20 h och material > 2 mm siktades bort. Lakvätskan filtrerades med Munktells pappersfilter (ca $10\ \mu\text{m}$). Lakvätskan analyserades med avseende på pH, konduktivitet, samt zink-, koppar-, kadmium- och sulfathalt. Lakmetoden utvecklades av Uppsala Universitet. Jämfört med erfarenheter från tidigare försök med lakning vid $L/S=4, 8, 12$ respektive 16, samt från kolonnförsök, visste man att lakning vid $L/S=1$ under 1 h inte förmådde lösa ut hela de lakbara metallmängderna. Uppmätta värden vid $L/S=1$ korrigerades därför för detta. Medelhalter för samtliga analyserade prover framgår av Tabell 6.

Tabell 6. Sammanfattade resultat av kartläggningen av kisbränderdeponins metallinnehåll 1994. Beräknat från data hämtade ur (Ledin och Qvarfort, 1994).

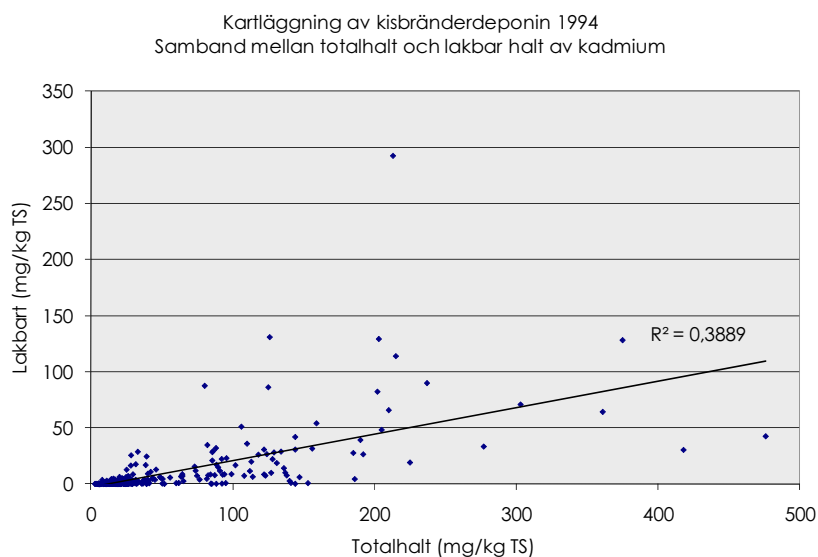
ANALYSRESULTAT för 335 prover	MEDEL	MIN	MAX
pH i lakvätska	3,9	2,3	11,8
Konduktivitet i lakvätska (mS/m)	403	30	1 700
Sulfathalt i lakvätska (mg/l)	4 670	270	20 780
ZINK			
Totalhalt (mg/kg)	11 670	440	94 000
Lakbar halt (mg/kg)	1 850 (16% av tot)	0,3	15 000
KOPPAR			
Totalhalt (mg/kg)	1 830	90	19 800
Lakbar halt (mg/kg)	23 (1,3% av tot)	0,11	570
KADMIUM			
Totalhalt (mg/kg)	49	2,6	476
Lakbar halt (mg/kg)	9 (18% av tot)	0,03	293

En jämförelse av totalhalter och lakbara halter zink i de undersökta proverna, visade att det fanns ett samband mellan totalhalter och lakbara halter men att det var för svagt för att totalhalter skulle kunna användas som mått på urlakningen från kisbränderna (Figur 22).



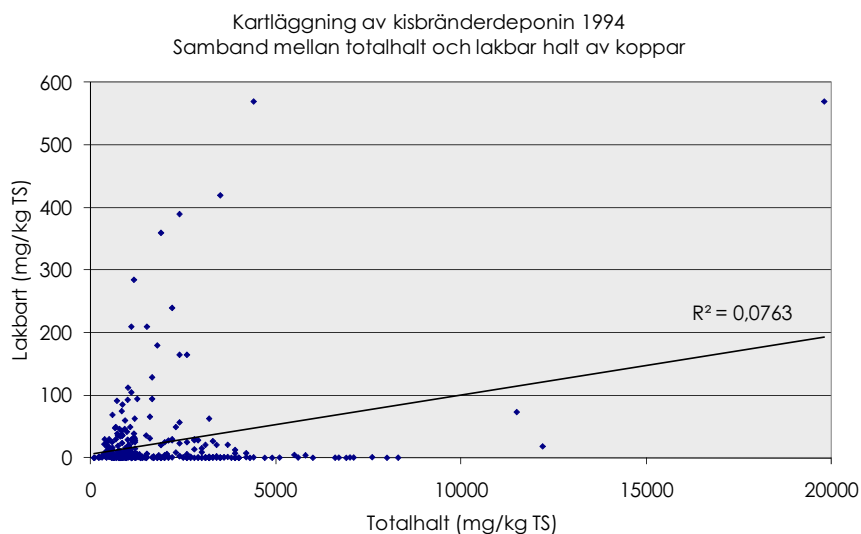
Figur 22. Samband mellan totalhalter och lakbara halter zink i kisbränderna före tvättning.

För kadmium var korrelationen mellan totala och lakbara halter i samma storleksordning som för zink. Ett visst samband fanns alltså, men för svagt för att kunna använda totalhalter som ett bra mått på kadmiumurlakningen.



Figur 23. Samband mellan totalhalter och lakbara halter kadmium i kisbränderna före tvättning.

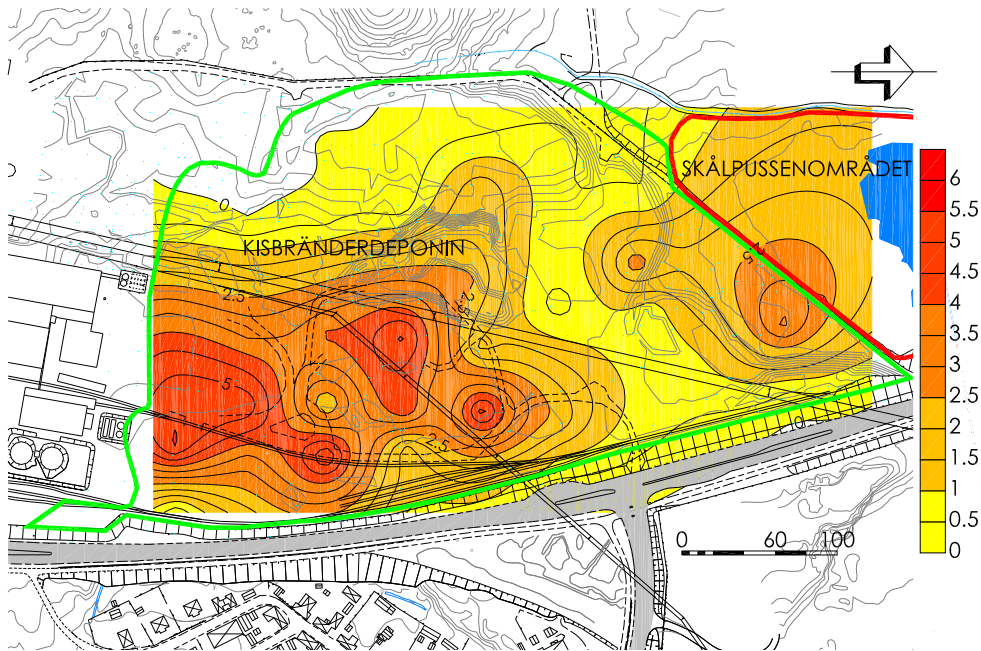
Sambandet mellan totalhalter och lakbara halter koppar i kisbränderna var mycket svagt.



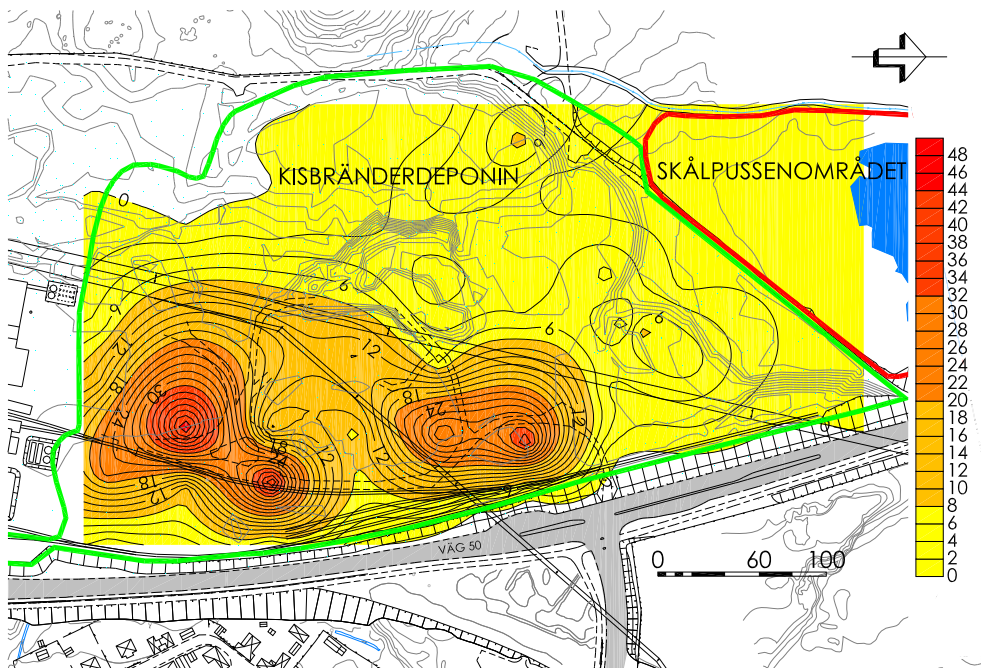
Figur 24. Samband mellan totalhalter och lakbara halter koppar i kisbränderna före tvättning.

För att få ge en visuell bild av fördelningen av metaller i kisbränderdeponin, redovisas haltkartor för lakbar zink, lakbar kadmium och lakbar koppar i Figur 25 - Figur 27 nedan. Haltkartorna är interpolerade utifrån medelhalter för respektive borrhpunkt. För zink och kadmium fördelar sig de lakbara halterna relativt lika, med de högsta halterna i sydöstra delen av deponin. Höga halter lakbar zink förekom även i norra delen, mot Skålpussen.

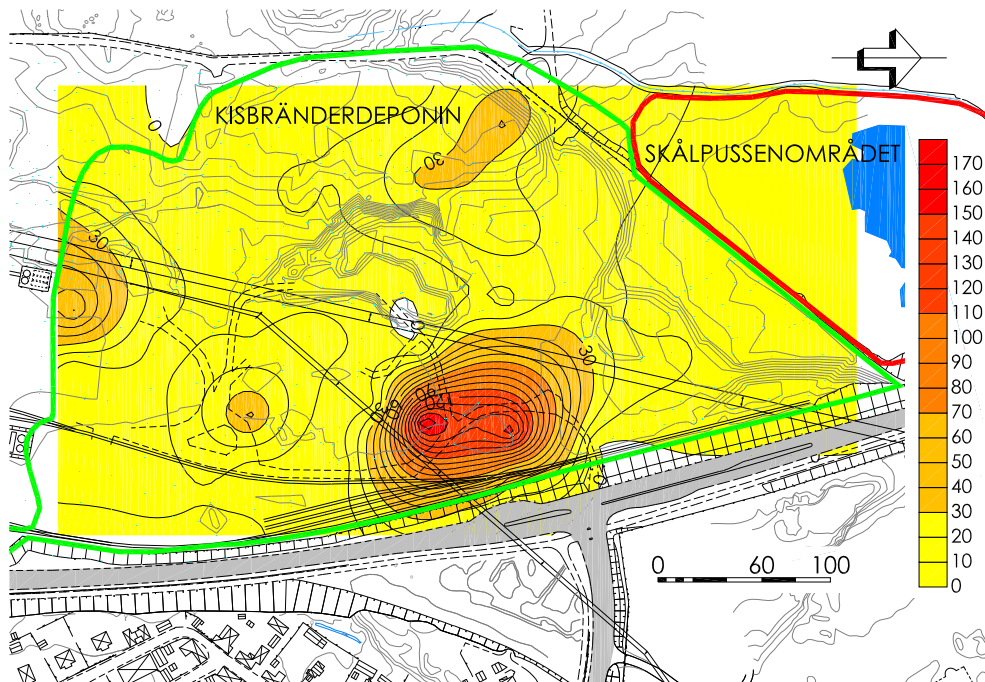
Halten lakbar koppar fördelar sig något annorlunda, med de högsta halterna i östra delen av deponin, i höjd med Södra Mariegatan (Figur 27).



Figur 25. Halkarta för lakbar zink (g/kg) i kisbränderdeponin innan åtgärd (1994), interpolerad utifrån medelhalter för respektive borrpunkt.



Figur 26. Halkarta för lakbar kadmium (mg/kg) i kisbränderdeponin innan åtgärd (1994), interpolerad utifrån medelhalter för respektive borrpunkt.



Figur 27. Halkarta för lakbar koppar (mg/kg) i kisbränderdeponin innan åtgärd (1994), interpolerad utifrån medelhalter för respektive borrhypunkt.

Någon detaljerad volymbestämning av mängden kisbränder i deponin låg inte inom ramen för utredningen att utföra, men volymen uppskattades till ca 500 000 m³. Den lakbara mängden zink beräknades på ett antal sätt och man kom fram till att kisbränderdeponin innehöll ca 1 600-1 800 ton lakbar zink, ca 8,0-8,7 ton lakbart kadmium, samt ca 19 ton lakbar koppar.

Under åren har ytterligare borrhypningar utförts som givit klarare bild av deponins utbredning, samt att kisbränder i Skålpussenområdet i anslutning till deponin har lagts med i beräkningarna. Utifrån det har volymen kisbränder korrigerats till ca 570 000 m³. De totala mängderna lakbara metaller innan saneringen påbörjades har i efterhand korrigerats med den ökade kisbrändermängden enligt följande:

- 1 800-2 000 ton lakbar zink
- 9-10 ton lakbart kadmium
- ca 22 ton lakbar koppar

Inom ramen för metallkartläggningen 1994 togs även grundvattenprover ut i några av borrhypningarna. Nio prover togs i grundvattenmagasinet i deponin, fem stycken i det djupare grundvattenmagasinet (i underliggande mark). Zinkhalterna låg i intervallet 35-5 300 mg/l. Medelhalten för de nio proverna i övre grundvattenmagasinet var 2 500 mg Zn/l. Undersökningen visade på god överensstämmelse mellan höga uppmätta halter i grundvattnet och stor mängd lakbara metaller i kisbränderna.

4 Val av åtgärdsmetod

4.1 Tidiga åtgärdsutredningar

4.1.1 Gruvavfallsprojektet, Dalälvsdelegationen/SGI

I Gruvavfallsprojektets slutrapport från 1990 (Lundgren och Hartlén, 1990) identifierades flera generella metoder för reduktion av metalläckage från olika gruvavfallsobjekt i Falun, samtidigt som behovet av teknikutveckling lyftes fram. De tekniska lösningar som utreddes var:

- Omanrikning
- Täckning
- Deponering under vatten
- Torr deponering i Stora Stöten
- Lakvattenrening
- Avskärmning/isolering.

I rapporten konstaterades att en generell metod för att åtgärda metallutsläppen i Falun vore att samla upp de mest koncentrerade, metallhaltiga lakvattenflödena och att rena dessa genom fällning. Det påpekas dock att metoden var tveksam, eftersom den hade karaktären av tillfällig lösning med fortlöpande kostnader under lång tid för pumpning och rening. Dessutom tillkommer problemet med deponering av bildat slam. Uppsamling och rening av lakvatten prioriterades därför inte i detta skede.

Täckning ansågs däremot vara en principiellt viktig åtgärdsmetod för sulfidhaltigt gruvavfall. Både jordtäckning och täckning genom deponering under vatten utreddes. Utredningen gav deponering under vatten lägre prioritet än täckning, främst därför att det skulle innebära att nya områden, i första hand sjöar, måste tas i anspråk. Kostnaderna bedömdes också bli högre än vid täckning, främst på grund av anläggandet av dammarna.

I Gruvavfallsprojektets slutrapport lämnades följande förslag till åtgärder specifikt för kisbränderdeponin:

- Anläggande av en tätskärm ned till berggrunden uppströms kisbränderdeponin, för att skärma av grundvattentillförseln.
- Dränering av skärmen på uppströmssidan, så att rent grundvatten kunde avledas till Östanforsån (övre delen av Faluån) tillsammans med dagvatten från området.
- Tätning av en sannolik sprickzon i berggrunden.
- Förbättring av redan befintligt täcksikt bestående av bioslam och bark, samt utläggning av ett skyddande lager av morän.

De föreslagna åtgärderna bedömdes ge en minskning av det årliga metallutsläppet från kisbränderdeponin med ca 90 %.

4.1.2 VARP-89, STORA/VIK

VARP-89 var ett projekt som dåvarande STORA startade omgående efter det att Dalälvsdelegationen identifierat som sin huvuduppgift att kraftigt minska läckaget av metaller till Dalälven och i en utredning från 1988 kommit fram till att efterbehandling av gruvavfall i Falun och Garpenberg var en prioriterad uppgift.

Syftet med VARP-89 var att i detalj kartlägga och kvantifiera läckaget av metaller till Faluån och Tisken från olika källor. Resultaten från VARP-89 ställdes till Dalälvsdelegationens förfogande för att komplettera delegationens beslutsunderlag.

Genom VARP-89 inhämtades kunskap som i mycket legat till grund för efterbehandlingen av kisbränderdeponin.

För det första konstaterades att kisbränderdeponin var en betydande källa till metalläckage i Falun (Tabell 7). Beräkningarna av metalläckaget baserades på omfattande provtagning och flödesmätning av yt- och grundvatten.

Tabell 7. Beräknat årligt läckage av järn och zink från de mest betydande källorna i Falun. Källa (STORA TEKNIK och VIAK, 1989).

OMRÅDE	Järn, Fe (ton/år)	Zink, Zn (ton/år)
Skålpussen (lakvatten från <i>kisbränderdeponin</i>)	22	44
Området kring syrafabriken och Stora Teknik (<i>kisbränderdeponin</i> m m)	78	124
Ingarvsmagasinet (anrikningssand)	138	88
Gruvområdet (varp, slagg)	98	30
Galbergsmagasinet (anrikningssand)	18	4
SUMMA	354	290

Inom ramen för VARP-89 genomfördes dessutom den mest omfattande karteringen av slaggfyllningens utbredning i Falu stad som hittills gjorts. Med hjälp av geofysiska metoder (georadar), kompletterade med ett stort antal borrhningar och inspektion av schakter m m, bestämdes slaggfyllningens tjocklek enligt Figur 28 nedan.



Figur 28. Fyllningstjockleken (i huvudsak slagg och varp) i Falun enligt VARP-89. Undersökningar är endast gjorda inom de färglagda områdena.

Som framgår av Figur 28 är fyllnadstjockleken närmast Faluån mestadels ca 3-4 m, med mäktigheter uppemot 6 m lokalt. I väster, längs Hanröleden och vid f.d. syrafabriken, är slaggmäktigheten generellt större. Stråk med mäktigare fyllning förekommer i väst-östlig riktning. Man misstänkte att utläckage av grundvatten till Faluån i stor utsträckning var koncentrerad till dessa stråk.

Utifrån karteringen togs även nivålinjer för underkant fyllning fram (dvs. ”naturlig” markyta under slaggen). Nivålinjerna redovisas tillsammans med grundvattennivålinjer i Figur 29. Av figuren kan man utläsa var det förekommer svackor i den naturliga markytan som underlagrar slaggfyllningen. Tillsammans med nivålinjerna för grundvattnet indikerar det var grundvattendelare är belägna och var grundvattenflöden sker.



Figur 29. Nivålinjer för underkant fyllning ("naturlig" markyta) och grundvattennivålinjer (89-03-20) i jordlagren/fyllningen enligt VARP-89.

Med ledning av karteringsresultaten gick man vidare med provpumpningar för att närmare bestämma grundvattenflödet nedströms kisbränderdeponin, och för att undersöka om det fanns dränerande stråk av fyllning som samlade merparten av grundvattenflödet. Provpumpningar genomfördes på fyra platser mellan kisbränderdeponin och Faluån. På grund av förekomsten av fyllning, vilket ger inhomogena förhållanden med stor variation i genomsläpplighet och många lokala grundvattenmagasin, gjordes ingen regelrätt utvärdering av provpumpningen. Bestämning av mer eller mindre momentana uttagbara grundvattenflöden vid de olika pumpplatserna kunde dock göras, och tillsammans med metallanalyser på uppumpat vatten bidrog de till att metalltransporter med grundvattnet från kisbränderdeponin kunde uppskattas.

Dessa provpumpningar gav en bra uppfattning om var grundvattenflödena (och med dem sammanhängande metalläckage) var betydande nedströms kisbränderdeponin, vilket legat till grund för idén att sanera kisbränderdeponin genom tvättning in situ.

Som kuriosa kan nämnas att man i samband med VARP-89, och även vid andra grävarbeten, påträffades is på djupet i Faluns slaggfyllning. Inom ramen för VARP-89 daterades is från en provgrop med tritiummetoden och man konstaterade att den antingen härstammade från perioden 1980-85 eller från mitten av 1950-talet.

4.1.3 Inledande tvättförsök, STORA TEKNIK och GVT

Innan avtalet som ligger till grund för Faluprojektet tecknades, genomförde dåvarande STORA förstudier angående möjliga åtgärder på kisbränderdeponin. Syftet var att undersöka om tvättning av kisbränderna in situ, kunde vara ett miljö- och kostnadsmässigt bättre alternativ än de täcknings- och tätningståtgärder som föreslagits av Gruvavfallsprojektet.

Inledande tvättningsförsök utfördes 1991 av GVT och dåvarande STORA TEKNIK. Kisbränder tvättades med vatten i kolonner (ø 400 mm) under perioden maj-september 1991. I fält genomfördes ett infiltrationsförsök på kisbränderområdet, för att bestämma infiltrationshastigheten i deponin. Parallellt genomfördes lakningsförsök i laboratorium av STORA TEKNIK, där kisbränder undersöktes genom skakförsök med lakning i 10 dygn.

Försöken visade lovande resultat med avseende på utlakningen av metaller från kisbränderna. Infiltrationshastigheten i fält uppmättes till 5-15 cm/dygn på en provyta vars storlek var ca 30 m².

Resultaten av försöken redovisas i rapporten ”Kostnadsberäkning av alternativa täckningar samt tvättförsök i kolonn och fält”, GVT 1991.

Redan i detta skede fanns tankar om hur tillfört tvättvatten skulle kunna samlas upp ur grundvattenmagasinet, utifrån erfarenheterna från VARP-89. Där konstaterades att grundvattenflödet från området var relativt väldefinierat, och därmed möjligt att samla upp via vertikala och horisontella brunnar (dräneringar) i ett antal punkter, utan större förluster.

4.1.4 Täckning kontra tvättning, STORA/GVT

Under 1991 kostnadsberäknades även de åtgärdsförslag för kisbränderdeponin som lämnats i Gruvavfallsprojektets slutrapport på uppdrag av dåvarande STORA. (Ledin, 1991). Kostnadsberäkning omfattade:

- Två alternativa täckningskonstruktioner (**ALT 1**: tätskikt av 0,2 m cefyll, dräneringsskikt av 0,2 m sand och skyddsskikt av 1,5 m morän. **ALT 2**: geotextil, tätskikt av bentonit/kolaska och HDPE-membran, dräneringsskikt av 0,3 m sand och skyddsskikt av 1,0 m morän).
- Terrassering av området/deponin.
- Urgrävning av Skålpussen.
- Avskärande dike uppströms kisbränderna.
- Tätning av berg och morän uppströms kisbränderna genom injektering.
- Tätning av berg under kisbränderna genom injektering.

Kostnaderna för dessa åtgärder jämfördes med ett alternativ där kisbränderna tvättades på plats i fyra år och sedan täcktes med en enklare täckning av 1,0 m bioslam och morän.

Jämförelsen visade att de ursprungliga täcknings- och tätningalternativen skulle kosta i storleksordningen dubbelt så mycket som alternativet med tvättning och enklare täckning. Dock var inga driftkostnader för tvättningen utöver kemikalieförbrukningen inräknade. I tvättalternativet skulle enligt utredningen de vattenlösliga, mycket lättlakade tungmetallerna fastläggas i en betydligt stabilare form, än om deponin endast täcktes och tätades i befintligt skick.

4.2 Åtgärdsutredningar inom Faluprojektet

Vid de första mötena med den nybildade styrgruppen för Faluprojektet 1992/93, diskuterades ett flertal tänkbara åtgärdsmetoder för kisbränderdeponin. Ett önskemål var att de vattenlösliga, lättroliga metallsalterna om möjligt skulle fastläggas mer långsiktigt.

Dåvarande projektledaren, Gunnar Lundqvist, fick i uppdrag att se över olika åtgärdsmetoder utifrån en helhetssyn. Följande lista över tänkbara åtgärdsmetoder upprättades:

- 1) Bygga av tätskärm, tätning av berg, samt kompletterande täckning ("utgångsalternativet" dvs. åtgärden som föreslogs av Gruvavfallsprojektet).
- 2) Flyttning av de mest metallhaltiga kisbränderna (ca 200 000 m³) som skulle blandas med kalk eller deponeras i "säkert utrymme".
- 3) Tvättning av kisbränderna in situ. Pumpa tvättvattnet till gruvområdet eller annan plats för behandling.
- 4) Tvättning av kisbränderna in situ. Pumpa tvättvattnet till Främby reningsverk för rening i befintlig anläggning (tillsammans med läns pumpningsvatten från gruvan).
- 5) Rening av lakvattnet från kisbränderdeponin utan extra tillförsel av tvättvatten. Pumpning av lakvattnet till gruvan eller till Främby reningsverk för rening i befintlig anläggning. Eventuellt minska lakvattenflödet med tätskärm uppströms deponin.
- 6) Avyttring av kisbränderna till kulsintertillverkare.
- 7) Tillverka tätningmaterial av kisbränderna.
- 8) Tillsats av kisbränder vid cementtillverkning.

Utöver de listade metoderna, blev Faluprojektets styrgrupp kontaktad av företaget VYR-metoder, som föreslog att deras princip med injicering av alkali i deponin skulle utredas. Efter en översiktlig bedömning av förutsättningarna för en direkt injicering, ansågs metoden orealistisk. Någon ytterligare utvärdering av VYR-metoden gjordes inte. Detsamma gällde åtgärdsförslag från Geodesign AB som lämnades till Faluprojektets styrgrupp i mitten av 1993. Förslaget innehöll flera delar, varav tyngdpunkten låg på att avskärma Faluån samt delar av Varpan och

Tisken med ett membran och samla upp allt tillrinnande grundvatten som annars trängde fram i ån. Lakvattnet skulle behandlas genom indunstning i kassetter och därefter kalkfällas.

De första undersökningarna kring de olika tänkbara metoderna gav slutsatser enligt Tabell 8 nedan.

Tabell 8. Projektledarens/STORA:s första bedömning av olika tänkbara metoder för sanering av kisbränderdeponin., delvis hämtade från Dalävsdelegationens och Gruvavfallsprojektets arbeten.

Metod	Fastlägger vattenlösliga metaller	Möjlighet till återanvändning	Slutsats
1. Täckning, tät-skärm mm.	Nej	Nej	Utgör referensalternativet.
2. Flyttning av kisbränder med höga metallhalter	Ja, delvis	Nej	Svårigheter att lokalisera och avlägsna de "potenta delarna".
3. Tvättning in situ, vattenrening vid gruvan eller likn.	Ja	Möjligen vissa delar	Bör utredas vidare.
4. Tvättning in situ, vattenrening i Främby ARV	Ja	Möjligen vissa delar	Bör utredas vidare.
5. Kontinuerlig lakvattenuppsamling och -rening	Nej	Nej	Minskar belastningen på recipienten men medför utsläpp under en längre tid än 3 och 4.
6. Kulsinter-tillverkning	Delvis	Delvis	Bra lösning om den är genomförbar. Gäller eventuellt endast den yngre typen av kisbränder som är finkorniga.
7. Tillverka tätningmaterial	Eventuellt	Delvis	Kräver omfattande undersökningar. Kan möjligen användas inom gruvområdet.
8. Cement-tillverkning	Delvis	Delvis	Kontakt med Cementa för att få en bedömning.

Efter en första genomgång av alternativen och externa kontakter uteslöts följande metoder:

Tabell 9. Bortgallring av alternativa åtgärdsmetoder i ett första steg.

Metod	Skäl för att inte gå vidare med alternativet
2. Flyttning av kisbränder med höga metallhalter	Hanteringskostnaderna bedömdes bli stora och miljövinsten måttlig.
5. Kontinuerlig lakvattenuppsamling och -rening	För låg ambitionsnivå.
6. Kulsinter-tillverkning	Negativ reaktion från kulsintertillverkare (Malmberget).
7. Tillverka tätningmaterial	Kostnadskrävande. Begränsad miljövinst.
8. Cement-tillverkning	Kontakt med Cementa, som var negativa. Möjligen kunde en del av bränderna användas för tillverkning av Cefyll (tätskiktmaterial) för användning på plats.

För de fortsatta utredningarna kvarstod alternativen med tvättning av kisbränderna på plats, samt utgångsalternativet med avancerad täckning och tätning enligt Gruvavfallsprojektets slutrapport.

4.3 Utveckling av tvättmetoden

Inför valet av åtgärdsmetod för kisbränderdeponin, behövde tvättmetoden utvecklas vidare för att styrgruppen skulle få ett rättvisande beslutsunderlag. De frågor som behövde lösas var:

- Tillförseln av rent vatten
- Principer för genomförandet av tvättningen (ytornas storlek, tvättvattenmängd, kriterier för rentvättning)
- Uppsamling av utgående tvättvatten (brunnar, diken)
- Metod för utfällning av metallerna (metodik, utrustning)
- Avvattning av slammet
- Deponering av slammet

Inledande tvättförsök hade, som tidigare nämnts, utförts redan 1991, innan den egentliga starten av Faluprojektet (se avsnitt 4.1.3).

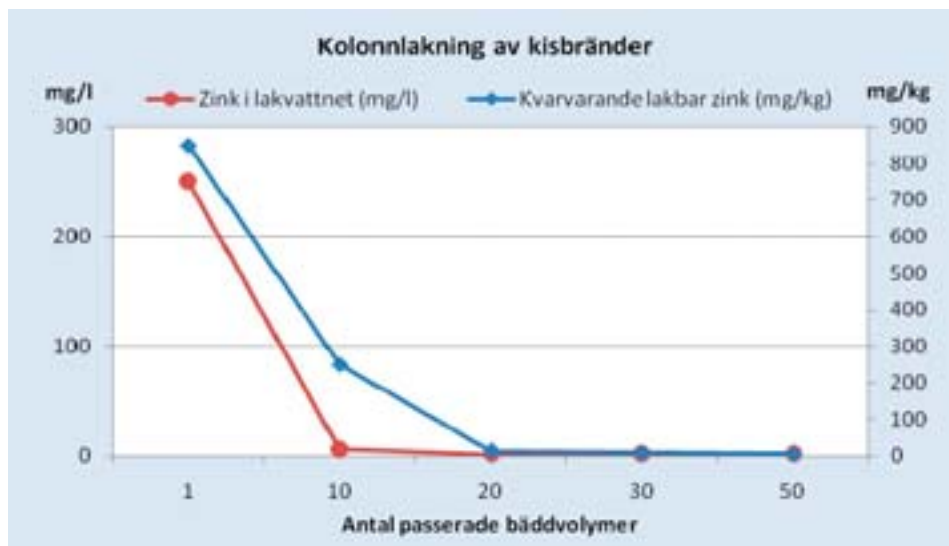
Fortsatta undersökningar och försök som ledde fram till valet av tvättning som saneringsmetod, samt utvecklade metodiken för praktisk drift, genomfördes under perioden 1993-1994 (se nedan). Grundläggande för att kunna utveckla metoden vidare var att noggrannare kartlägga kisbrändernas egenskaper. Kartläggningsarbetet bedrevs parallellt med utvecklingsarbetet (se avsnitt 3).

4.3.1 Lakning (tvättning) i kolonner

De skakförsök från 1993 som beskrivs i avsnitt 3.3.1, kompletterades med lakning i kolonner. Vattentillförseln motsvarade 50 bäddvolym (bäddvolymen räknad på 50 % porositet i materialet, vilket motsvarar halva kolonnvolymen) fick fritt rinna genom materialet. Vid kolonnförsöken lakades en mindre mängd metaller ut än vid

de stegvisa skakförsöken – ca 80 % för koppar och zink samt ca 70 % för kadmium och bly. Orsaken bedömdes vara att materialet sönderdelas vid skakningen (vilket bekräftades med sedimentationsanalys) eller att stora variationer förekommer inom samma prov. Kolonnförsöken visade också att det vid tvättning av kisbränderna i full skala inte skulle gå att laka ut de metallmängder som approximerats utifrån skakförsöken. Ett fältmässigt värde på utlakningen bedömdes vara ca 80 % av den utlakning som redovisats för skakförsöken.

I kolonnförsöken togs prover ut efter hand som vatten passerade genom kolonnen. I dessa försök studerade endast zink.



Figur 30. Resultat av lakförsök i kolonn. Halten zink i lakvattnet, respektive kvarvarande andel lakbar zink i kisbränderna, vid olika antal passerade bäddvolymeter vatten. Diagram upprättat från datatabell hämtad ur (Ledin et. al., 1993).

Den lakbara andelen zink sjönk relativt snabbt och man bedömde att en realistisk lakning (tvättning) i fält skulle kunna innebära att 20-30 bäddvolymeter vatten fick passera materialet.

Recirkulation av lakvatten

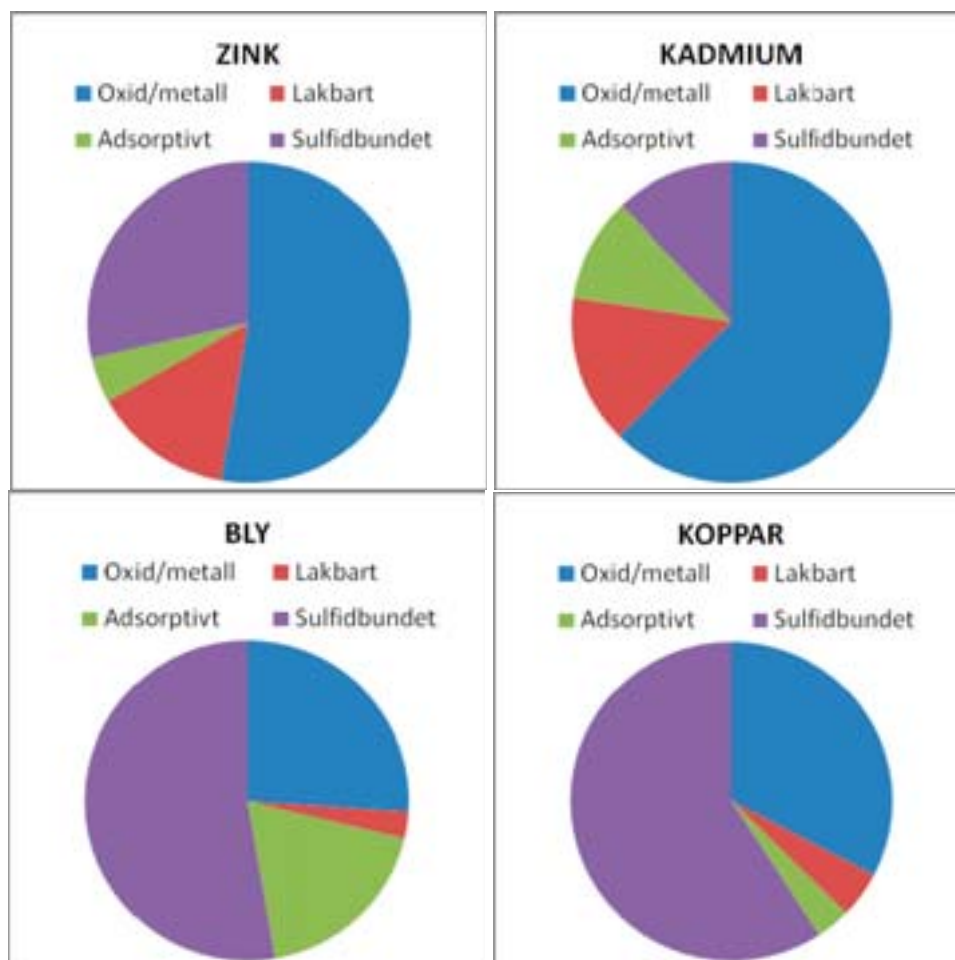
För att kunna minimera mängden vatten som måste renas vid tvättning i fullskala, gjordes också kolonnförsök med recirkulation av lakvattnet tre respektive fem gånger. Resultaten visade att det med bibehållen utlakningseffektivitet gick att, vid behov, använda samma lakvätska minst tre gånger. Resultaten gällde zink, övriga metaller ingick inte i försöken.

4.3.2 Metallernas förekomstform före och efter kolonnlakning

I undersökningarna från 1993 (Ledin et. al., 1993) undersöktes metallernas förekomst. Som tidigare nämnts, utfördes dessa försök på fem prover från olika provgropar i västra delen av deponin. Det var alltså ett mycket begränsat provurval som låg till grund för undersökningen.

Metallernas förekomstform bestämdes genom upplösning och lakning med olika lakvätskor ("sekventiell lakning"). På så sätt delades materialet in i faserna: oxid/metall, sulfid, adsorptiv och lakbar fas.

Som framgår av Figur 31 förekom zink och kadmium till större del som lakbart än vad koppar och bly gjorde. För bly och koppar dominerade den sulfidbundna delen.



Figur 31. Metallernas förekomstform i kisbränderdeponin – medelvärde av fem prover. Diagram upprättat från datatabell hämtad ur (Ledin et. al., 1993).

Det konstaterades att den adsorptiva delen skulle kunna lakas ur om tvättning skedde med exempelvis en sur buffertlösning istället för med vatten, men det bedömdes inte vara något fältmässigt gångbart alternativ.

Parallellt undersöktes hur metallfördelningen förändras vid lakning med vatten. De olika förekomstformerna bestämdes före och efter lakning i kolonner där 50 bäddvolymer vatten fick passera.

Resultaten redovisades för zink, där den lakbara delen nästan helt hade tvättats ur efter kolonnlakningen. Det noterades också att den ”sulfidbundna” andelen zink i stort halverades (30-50 % reduktion), medan oxid/metallandelen var i det närmaste oförändrad. Den minskade andelen sulfider förklarades med att dessa troligen förekom i en mycket finpartikulär form, vilket innebar att de följde med tvättvattnet ut. Minskningen av sulfidinnehållet konstaterades innebära en betydande minskning av kvarvarande vittringspotential och därmed sammanhängande syrabildning.

Materialet undersöktes också mineralogiskt genom mikroskopering. Man kunde bekräfta att huvuddelen av kisbränderna bestod av magnetit (svarta, äldre kisbränder) respektive hematit (röda, yngre kisbränder). Resthalter av sulfider förekom mycket ojämnt fördelade i materialet och bestod både av pyrit och ”andra” sulfider, som zink-, bly- och kopparsulfid.

4.3.3 Vittring och återadsorption efter kolonnlakning

För att avgöra om vittring av materialet kunde vara en betydande process, genomfördes vittringsförsök enligt metodik för sulfidvittring (Ledin et. al., 1993).

Röda och svarta kisbränder undersöktes före och efter lakning. Vittringspotentialen mer än halverades efter lakning. Den totala vittringspotentialen konstaterades också vara relativt låg jämfört med exempelvis avfallssand från anrikningsverk.

Det gjordes även försök med återadsorption på det siltig/sandiga kisbrändermaterialet genom tillförsel av lakvatten med höga metallhalter i en kolonn. Resultaten visade att ca 20-30 % zink kunde återadsorberas, medan motsvarande siffror för kopparkoppar var ca 30 %, för bly 30-40 % och för kadmium mindre än 10 %.

Försök med tillsats av syra till kisbränderna, motsvarande den mängd som skulle kunna bildas genom vittring av restsulfiderna efter tvättning, visade att syramängden inte förmådde försura eller öka metallutlakningen från kisbränderna i nämnvärd omfattning.

4.3.4 Tvättförsök i container

Undersökningarna som genomfördes under 1993 omfattade även tvättförsök i containerskala (Ledin et. al., 1993).

Tvättförsök genomfördes i en container (6 m³ kisbränder) och i en större kontrollkolonn (ø 1,0 m) som placerades utomhus. Försöket pågick under 75 dagar och utfördes av GVT AB. Ytbelastningen varierades mellan 0,8 och 10 cm/h och under perioden lades två driftstopp på några dagar vardera in. Totalt fick ca 90 bäddvolymer vatten passera (en bäddvolym beräknad på 50 % porositet i materialet, vilket innebär halva materialvolymen).

Metallhalterna i lakvattnet reducerades mycket kraftigt redan vid 3 - 7 påförda bäddvolymer vatten. Uttagna prover på kisbränderna i containern och i kontrollko-

lonnen, visade att 96 % respektive 97 % av den lakbara andelen zink i materialet (skakförsök med L/S=1) hade tvättats bort under försöket, samtidigt som totalhalten minskat med 13 % respektive 18 %.

1994 gjordes uppföljande försök med tvättning i containern vid ett antal tillfällen. Vid de olika tillfällena pågick tvättningen mellan ett dygn och en månad, med 0,5-8 bäddvolymmer tillfört vatten. Resultaten visade på fortsatt låga metallhalter ut från containern, förutom vid tvättning hösten 1994. Den enda skillnad som kunde identifieras jämfört med övriga tvättillfällen, var att containern varit utsatt för mycket höga temperaturer - troligen uppemot 40°C i juli månad.

Det ledde till att försöken kompletterades med en *vittringsstudie* baserad på simuleringsmodellen RATAP (Ledin och Qvarfort, 1995). Tidigare vittringsförsök (se ovan) hade visat att kisbränderna hade en låg kvarvarande vittringspotential efter lakning. Försök utförda i s.k. "Humidity Cells" visade ingen ökad vittring under en försöksperiod på 2 år. I RATAP-simuleringarna modellerades vittring i kisbränderdeponin i form av kemisk och biologisk oxidation. Modelleringen bekräftade att de höga halter som uppkom i containerförsöket kunde hänföras till de "onormalt" höga temperaturerna som kisbränderna utsatts för. Den bekräftade också att kisbränderna skulle ha låg kvarvarande vittringspotential efter lakning (tvättning). Enligt modellen skulle zinkhalten i lak-/grundvattnet efter tvättning bli ca 250 mg/l under de första tio åren. Sedan skulle halten sjunka ned till ca 95 mg/l efter 90 år, under "normala" betingelser med avseende på nederbörd och temperatur. Den verkliga halten bedömdes troligen bli lägre, eftersom simuleringsmodellen inte tog hänsyn till någon adsorption och fastläggning av zink i upplaget.

4.3.5 Tvättförsök på kisbränderdeponin

Under 1993 genomfördes tvättförsök på en 100 m² stor provyta på kisbränderdeponin, där kisbrändernas mäktighet var ca 10 m. Vattentillförseln uppgick till 14 bäddvolymmer under en period på tre månader (sept-nov). Prover i kisbränderna togs ut före och efter tvättning, från varje halvmeter ned till 8,5 m djup.

Zinkhalten var betydligt högre i detta material än i de prover som tagits i västra delen av deponin och nyttjats för laboratorie- och containerförsök. Totalhalten zink varierade från 20 till 60 g/kg och den lakbara halten från 0,6 till 1,9 g/kg.

Efter tvättning hade totalhalten reducerats med ca 10 % och det lakbara innehållet med 87 %. I försöken konstaterades en tendens till minskande reduktion med djupet, vilket förklarades med att endast 14 bäddvolymmer vatten tvättats genom materialet.

I samband med tvättförsöket genomfördes infiltrationsförsök på ytterligare fyra ytor, utplacerade i olika delar av deponin. Utförda undersökningar visade att möjligheterna till vatteninfiltration i kisbränderna var betydligt bättre än vad utförda permeabilitetsbestämningar visat. Infiltrationshastigheter (ytbelastning) på

3-15 cm/h uppmättes. Erforderlig infiltrationshastighet för att kunna utföra tvättning rationellt i full skala bedömdes vara ca 1 cm/h. Tack vare den goda infiltrationskapaciteten bedömdes det fullt möjligt att påföra ca 3 000 m³ vatten per dygn, vilket med recirkulation av tvättvattnet tre gånger skulle innebära att ca 1 000 m³/d behövde kunna renas i en reningsanläggning. Genom recirkulation bedömdes förutsättningarna att styra både vattenkvaliteten och vattenflödet som mycket goda.

4.3.6 Uppsamling av tvättvatten – provpumpning och spårämnesförsök

Uppsamlingen av tvättvattenflödet nedströms deponin bedömdes vara relativt enkel att åstadkomma tack vare områdets gynnsamma geohydrologiska förutsättningar. Som extra säkerhet föreslogs ett dubblerat uppsamlingssystem öster om deponin, liksom att pumpar och annan utrustning på uppsamlingssidan skulle ha en överkapacitet på ca 25 % jämfört med vattentillförseln, för att klara driftstopp och oförutsedda händelser.

Slutsatserna kring möjligheterna att effektivt samla upp tvättvattnet baserades dels på provpumpningar i flera anlagda brunnar och observationsrör nedströms deponin utförda i samband med STORA-projektet VARP-89, dels på enklare pumpförsök i två av dessa brunnar i samband med tvättförsöket 1993. Förutom storleksordningar på grundvattenflöden och metallläckage, gav försöken erfarenheter av vattnets påverkan på utrustning av olika slag. Bland annat havererade fyra pH-elektroder under en tremånadersperiod. Redan i samband med vattenprovtagning i grundvattenrör 1988 hade vattnets inverkan på utrustningen konstaterats. På mindre än en kvart löstes pumphjul av aluminium upp i de bensindrivna pumpar som användes.

Spårämnesförsök i form av litiumtillsats, bekräftade att påfört tvättvatten återfanns i uppsamlingsbrunnarna. Uppehållstiden överensstämde väl med den teoretiskt beräknade. Utifrån provtagning på kisbränderna beräknades 6 ton zink ha tvättats ur provytan under försöket. På grund av sabotage mot ett par av de brunnar som anlagts inom VARP-89, användes främst en av brunnarna för uppsamling, och i den fångades 5 ton zink upp. Resterande del av metall-/ vattenflödet bedömdes kunna fångas upp om uppsamlingssystemet blev fullt utbyggt.

I fortsatta utredningar under 1994 (Ledin och Qvarfort, 1994) beskrevs det planerade uppsamlingssystemet noggrannare. Uppsamlingssystemet föreslogs bestå av två horisontalbrunnar (dräneringar) och 6-10 vertikalbrunnar. Systemet skulle skära av grundvattenflödet i dess flödesriktning, vilket innebar norr och öster om deponin. Från dräneringar och brunnar skulle uppsamlat tvättvatten pumpas till en reningsanläggning på kisbränderområdet via tre ledningssystem.

4.3.7 Omhändertagande av vatten från tvättning av kisbränder

I samband med tvättförsöken i pilotskala och på en provyta direkt på kisbränderdeponin under 1993, undersökte dåvarande STORA TEKNIK möjligheterna att behandla tvättvattnet genom lut- eller kalkfällning.

Fyra olika tvättvatten med pH 2,6–3,2 provfälldes genom tillsats av kalk (kalciumhydroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) respektive lut (NaOH) för pH-justering upp till pH 9-10. Försöken visade att bägge fällningskemikalierna gav god reningseffekt. Resultatet berodde mer av vilket fällnings-pH som uppnåts. Slammängden blev mindre med lut än med kalk, utom när metallhalterna var låga. Orsaken till den större slammängden för kalk vid högre metallkoncentrationer, var att det förutom metallhydroxider även bildades gipsutfällningar. Trots att fällning med lut gav mindre mängd slam, blev slamvolymen vid korta förtjockningsstider betydligt större på grund av att slammet var mer voluminöst.

Förutom att slam från lutfällning bedömdes mycket svårare att ta hand om än slam från kalkfällning, talade också kostnaden emot lutfällning. Lut var ca 2,5-3 gånger dyrare än kalk.

Kalkförbrukningen undersöktes och bedömdes främst bero på halten av de dominerande metallerna i tvättvattnet – järn och zink. Utifrån försöken beräknades kalkförbrukningen till 2,0–2,9 gram kalk per gram järn+zink i vattnet. Slammängden beräknades utifrån försöksresultaten till 1,7–4,4 gram torrs substans per gram järn+zink i tvättvattnet.

Utifrån försöksresultaten beräknades kostnaden för kalkfällning av tvättvattnet under en sexårsperiod på plats vid kisbränderdeponin, med användning av befintlig utrustning från den nedlagda svavelsyrafabriken. Kalkylen byggde på att maskinell avvattning av slammet i centrifuger skulle krävas. Kostnaden för utrustningen bedömdes uppgå till ca 2,5 Mkr och den totala kostnaden för utrustning, kalk, polymer och el (under 6 år) till 10,8 Mkr. Underhållskostnader, transportkostnader för slam, samt personalkostnader var då inte inräknade.

4.3.8 Tvättplan

Ett första förslag till tvättstrategi lämnades i samband med tvättförsöken 1993. Man föreslog att tvättningen under de första tre åren skulle inriktas på de mest högpotenta kisbränderna, samt på områden där metallhydroxidslammet skulle kunna avvattnas. Parallellt skulle läckaget från övriga delar av området kartläggas. Beroende på resultatet skulle man kunna välja att gå vidare med tvättningen, eller i gynnsamma fall sluttäcka hela deponin direkt. Utgångspunkten var dock att tvättningen skulle pågå i sju år.

I de fortsatta utredningarna under 1994 utvecklades tvättplanen. Det bedömdes att en praktiskt hanterbar vattenmängd för tvättning var ca 4 000 m³/d, varav 1 000 m³/d tillfört renvatten från sjön Vällan och ca 3 000 m³/d returvatten från reningsanläggningen.

Med dessa vattenmängder skulle det vara möjligt att tvätta ca 10 000 m² av kisbränderdeponin per år, ifall tvättningen kunde drivas ca 200 dagar/år och varje yta tvättas med 20-25 bäddvolymer vatten.

De mest förorenade områdena skulle då kunna tvättas inom fem år, enligt tvättplanen i Figur 32. Övriga områden bedömdes kunna tvättas med mindre vattenmängd tack vare de lägre metallhalterna. Därmed skulle hela deponin kunna tvättas igenom på sex år med ett sjunde år som reserv.



Figur 32. Tidigt förslag till tvättplan för kisbränderdeponin, från 1994.

Bassängernas storlek skulle anpassas till topografin för att begränsa massaförflyttningarna. Varje bassäng föreslogs uppgå till maximalt ca 500 m² för att säkerställa en jämn fördelning av infiltrationen över tvättytan.

4.4 Kostnader för åtgärdsalternativen

Inom ramen för 1994 års utredningar kostnadsberäknades tvättalternativet enligt föreslagen tvättplan, vilket innebar tvättning av kisbränderdeponin i 6-7 år.

Tabell 10. Kostnadsberäkning av tvättalternativet redovisad 1994-06-28 (Lundqvist, 1994).

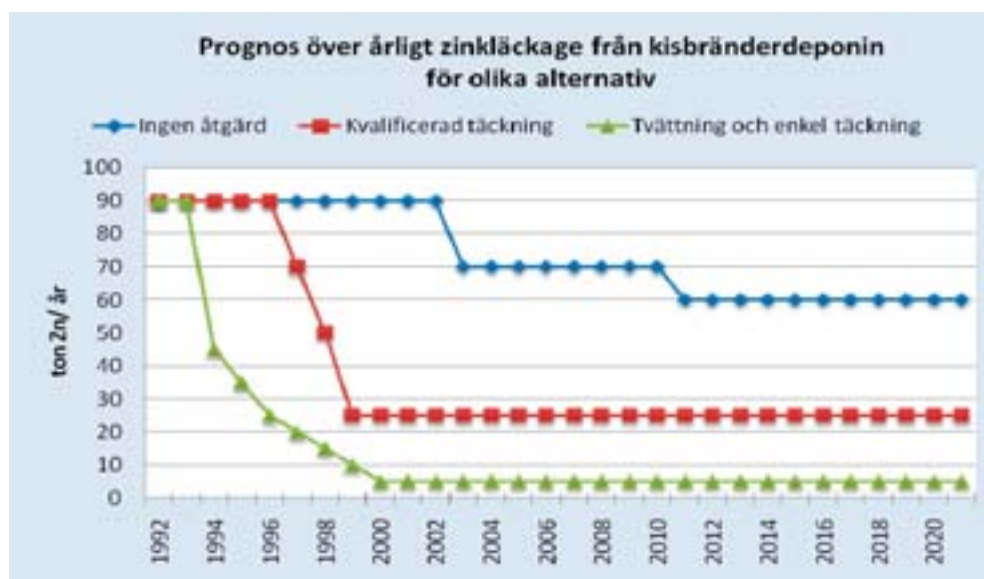
ÅTGÄRDER PÅ DEPONIN	SUMMA 10,3–11,9 Mkr
lordningställa bassänger, ledningar, brunnar o s v	4,6–5,5 Mkr
Urgrävning av Skålpussen	2,3–2,9 Mkr
Tillsyn, drift etc	3,4–3,5 Mkr
RENINGSANLÄGGNING	SUMMA 15,4–17,5 Mkr
Uppförande av reningsanläggning	6,4–7,0 Mkr
Drift (1,5 Mkr * 6-7 år)	9,0–10,5 Mkr
SLUTTÄCKNING	SUMMA 5,1–10,2 Mkr
0,5-1,0 m enklare täckning (å 120 kr/m ³)	5,1–10,2 Mkr
TOTALT FÖR TVÄTTALTERNATIVET	31-40 Mkr

Jämfört med tätnings- och täckningsalternativet som tidigare kostnadsberäknats (Ledin, 1991) till 38–40 Mkr, bedömdes alltså tvättalternativet ligga på samma kostnadsnivå.

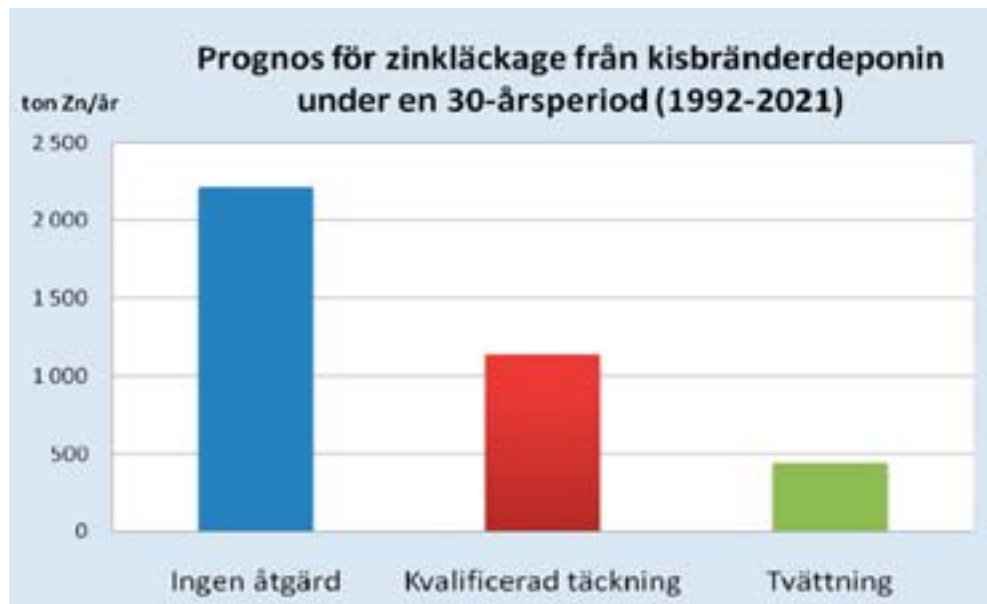
4.5 Bedömd effekt av föreslagna åtgärder

I samband med 1993 års undersökningar, beräknades det framtida läckaget av zink från kisbränderdeponin för tvätt- respektive täckningsalternativet.

I täckningsalternativet förutsattes täckning pågå 1995-97, med en sluttäckning som släppte igenom maximalt 50 l/m², år. För tvättalternativet förutsattes tvättning ske 1994-1999 under 8 månader per år, där de mest förorenade kisbränderna tvättades de första tre åren.



Figur 33. Prognos över årligt zinkläckage från kisbränderdeponin för nollalternativet "ingen åtgärd", alternativet "kvalificerad täckning", samt "tvättning och enklare täckning". Hämtat ur (Ledin et. al., 1993).



Figur 34. Totalt zinkläckage från kisbränderdeponin under en 30-årsperiod, med samma alternativ som i figuren ovan. Hämtat ur (Ledin et. al., 93-12-10).

Resultatet av beräkningarna (Figur 33 och Figur 34) visade att tvättalternativet var det klart mest effektiva för att minska metallläckaget (med fokus på zink). Beräkningarna visade också att huvuddelen av de lättlakade, vattenlösliga metallerna skulle ha läckt ur kisbränderdeponin inom en 30-års-period om ingen åtgärd vidtogs.

4.6 Beslutsprocessen – beslutad åtgärd

Valet mellan att tvätta kisbränderdeponin eller att täcka och tätta deponin gjordes inte utifrån en enskild åtgärdsutredning, utan var en process med många inblandade som pågick under flera års tid.

De tidiga utredningar som STORA låtit utföra under 1991 (se avsnitt 4.1.4) indikerade att tvättalternativet skulle kunna vara effektivt kostnadsmässigt och samtidigt ge en snabb och betydande minskning av metallläckaget från kisbränderdeponin. Det fanns därför ett starkt intresse att gå vidare med tvättalternativet, även om det rådde viss osäkerhet kring metoden. Då Faluprojektet startade fanns begränsade kunskaper dels om kisbränderdeponins egenskaper, dels om in situ tvättning i så stor skala. Därtill är lämpligheten hos in situ tvättning som teknik starkt beroende av platsens förutsättningar. Det fanns alltså behov både av teknik- och metodutveckling och av att kartlägga kisbränderdeponins egenskaper.

Tvättalternativet och det ursprungliga täcknings- och tätningalternativet levde båda vidare under åren 1993-94, samtidigt som kisbränderdeponin kartlades och tvättmetoden stegvis utreddes noggrannare och provades ut på platsen. Kartläggningsarbetet beskrivs närmare i avsnitt 3 och metodutvecklingsarbetet i avsnitt 4.

Vad gäller beslutsprocessen i Faluprojektets styrgrupp, började merparten av ledamöterna vara övertygade om tvättmetodens fördelar i slutet av 1993. Det fanns dock önskemål om att ta in utlåtande av ”tredje man” innan beslut fattades. Frågan om deponins sluttäckning var heller inte avgjord – skulle det räcka med en enklare sluttäckning av deponin efter tvättning? Kanske skulle man hålla öppet hur sluttäckningen skulle utformas? Här väcktes även frågan om lämpligheten att rena tvättvattnet i Främby avloppsreningsverk, tillsammans med gruvvattnet, eftersom man drogs med driftproblem på anläggningen. Möjligheten att bygga en egen reningsanläggning i syrafabrikens lokaler vid kisbränderdeponin började därför utredas. Reningsanläggningen skulle då kunna drivas oberoende av andra verksamheter. Det fanns också utrymme för lagring och avvattning av slammet på plats.

Våren 1994 presenterades en argumentlista för och emot de två kvarvarande alternativen för styrgruppen. Ett argument som framhölls var att om en kvalificerad sluttäckning genomfördes nu, skulle den hindra en framtida tvätt. Om man däremot tvättade deponin nu, fanns inget som hindrade att man gjorde en kvalificerad sluttäckning samt tätningsåtgärder längre fram, om behov visade sig finnas. Styrgruppen var dock inte redo för beslut i frågan.

Vid styrgruppens möte i juni 1994 föreslogs att tvättning skulle prövas i full skala under ett år, med en något förenklad reningsanläggning i syrafabrikens lokaler. Idén föll i god jord och styrgruppen var enig i beslutet att pröva tvättning av kisbränderdeponin under 1995. Då det visade sig att erfarenheterna av tvättning efter prövoåret blev goda, permanentades tvättsystemet. Justeringar på reningsanläggningen, samt i distributions- och uppsamlingsystemen utfördes där behov hade konstaterats under den första tvättsäsongen. Utförandet av tvättningen, från 1995 och framåt beskrivs i avsnitt 7 ”Genomförande - tvättning”.

5 Val av metod för sluttäckning

Syftet med tvättningen av kisbränderdeponin in situ var att fastlägga lättlakade tungmetaller i mer stabil form. Utgångspunkten var att den kemiska fastläggningen av metaller skulle minska behovet av kvalificerad sluttäckning av deponin och istället möjliggöra en enklare, mindre kostsam täckning.

Hur kisbränderdeponin skulle sluttäckas utreddes i flera omgångar och den slutliga utformningen fastställdes inte förrän i samband med att tvättningen avslutades 2007.

5.1 Utgångspunkt – Gruvavfallsprojektets förslag

Vid tiden för Gruvavfallsprojektets genomförande, 1989-90, var delar av kisbränderdeponin täckt med bioslam och bark. Utredningen gav som förslag att den befintliga täckningen skulle förstärkas genom komplettering och packning av bioslammet. Därtill föreslogs att bioslammet skulle påföras ett skyddande lager av morän. (Lundgren och Hartlén, 1990).

5.2 Inventering av tillgängliga täckmaterial 1994/95

I slutet av 1994 uppdrog Faluprojektets styrgrupp åt STORA TEKNIK och GVT att göra en förstudie över tillgängliga täckmaterial för samtliga objekt som kunde bli aktuella att sluttäcka inom ramen för Faluprojektet. Resultatet presenterades för styrgruppen i början av 1995.

Den sammanlagda ytan för de objekt som kunde bli aktuella att täcka beräknades till ca 500 000 m², varav ca 110 000 m² på Kisbränderdeponin. Inventeringen av möjliga täckmaterial inkluderade både restprodukter och jungfruliga material inom rimligt avstånd från Falun. Bland restprodukterna identifierades bioslam och aska m m från pappersbruken i Kvarnsveden, Grycksbo och Fors, samt kompost från avfallsanläggningarna i Falun-Borlänge. Av dessa material var det endast slam från Kvarnsveden och Fors som fanns tillgängligt i större mängder (vardera ca 30 000 m³/år). Materialet från Fors kunde dock bara användas om bruket investerade i en blandningsstation liknande den som redan fanns vid Kvarnsvedens pappersbruk. Täckningsmaterialet från Kvarnsveden, en blandning av bioslam och aska, användes vid denna tid för sluttäckning av Galgbergsmagasinen och skulle därför inte vara tillgängligt för Faluprojektet förrän senare delen av 1997.

Man konstaterade att om samtliga ytor skulle hinna täckas inom den uppsatta projektiden (15 år), så behövde jungfruliga material användas. Därför beslutade man att gå vidare med att anordna en moräntäkt vid sjön Vällan, vilken undersökts tidigare i projektet. Inventeringen omfattade även ett par andra moräntäkter i närheten av Falun. Moränen i dessa var dock inte tillräckligt tät (lågpermeabel) för att kunna användas som tätskikt.

Resultatet av inventeringen gav incitament till att löpande bevaka uppkomsten av andra lämpliga överskottsmassor i närområdet, framförallt morän.

5.3 Alternativutredning 1995

Under senare delen av 1995 utreddes tre alternativa sluttäckningsmetoder för kisbränderdeponin (Qvarfort, 1995). De sluttäckningsalternativ som studerades var:

- 1) Moränmaterial (0,5-1,0 m)
- 2) Flyaska/bioslam enligt den metod som användes för täckning av Galgbergsmagasinet (anrikningssand).
- 3) Tätskikt av kalkslammet (metallhydroxidslammet) från reningsanläggningen, samt skyddsskikt av morän eller annat växtvänligt material.

I alternativ 1 och 2 förutsattes att metallhydroxidslammet skulle deponeras separat.

Man konstaterade att kisbränderna i sig var stabila och körbara, vilket innebar att sluttäckningsmaterial kunde påföras utan omfattande förstärkningsåtgärder.

Metallhydroxidslammet konstaterades ha både positiva och negativa egenskaper ut sluttäckningssynpunkt:

- + Slammet var finkornigt och hade därmed tätande egenskaper. Tätheten skulle dock vara beroende av möjligheten till packning/kompaktering.
- + Slammet hade hög initial buffringskapacitet.
- Slammet behövde i en framtid pH-justeras för att undvika återläckage av metaller.
- Slammet var i oavvattnat eller icke stabiliserat tillstånd instabilt.

I alternativet där metallhydroxidslam skulle användas som tätskikt (alternativ 3) påpekades att teknik för utläggning av morän ovanpå slammet måste provas ut. Frågetecken kring slammets framtida stabilitetsegenskaper – vatteninnehåll, permeabilitet, packbarhet och deformationsegenskaper – behövde rätas ut, för att avgöra om materialet var praktiskt möjligt att använda.

Vidare påpekades att man långsiktigt måste garantera att pH-värdet i kalkslammet inte sänks under 8, så att metallernas löslighet stiger. Labförsök med syradosering till slammet indikerade att det skulle klara att hålla pH-värdet över 8 i ungefär 70 år med avseende på den försurande verkan av nederbörd, näringsupptag och ackumulering av humus. Därefter skulle ny kalk behöva tillföras för att garantera fortsatt buffringskapacitet.

För de olika täckningsalternativen beräknades det framtida utläckaget av zink, enligt Tabell 11 nedan.

Tabell 11. Beräknat utläckage av zink för olika täckningsalternativ. Källa "Täckning av kisbränderna i Falun. Egenskaper hos kisbränder och kalkslam samt möjliga täckningsmaterial och metoder för sluttäckning." U Qvarfort, Miljögeologi, Uppsala Universitet, 1995

ALTERNATIV	0. ENBART TVÄTTNING (90% reduktion)	1. MORÄN	2. BIOSLAM/ FLYGASKA	3. KALKSLAM + MORÄN
Zinkläckage, tot	14,5 ton/år	10,1 ton/år	10,1 ton/år	9,5 ton/år
...varav från kalkslam				300-500 kg/år
...varav via inläckande grundvatten på djupet i deponin	8,0 ton/år	8,0 ton/år	8,0 ton/år	8,0 ton/år
...varav via vatten som infiltrerar genom täckningen	6,5 ton/år	2,1 ton/år	2,1 ton/år	1,0 ton/år

Som framgår av tabellen beräknades en betydande del av metallläckaget från deponin ske med grundvatten från omgivande moränmarker som passerar genom deponins djupare delar (0,5-1,0 l/s). Denna del konstaterades inte påverkas av sluttäckningen, utan kunde enbart reduceras genom omfattande "dränering". Som jämförelse beräknades lakvattenbildningen genom infiltration på deponiytan vara ca 0,5-0,8 l/s innan täckning.

5.4 Utläggings- och sättningsförsök med metallhydroxidslam och morän

Efter utredningen om alternativa täckningsmetoder, kvarstod intresset för att använda metallhydroxidslammet som tätskiktmaterial. För att klara ut de frågetecken som fanns angående materialets hanterbarhet och stabilitet, beslutade Faluprojektets styrgrupp att genomföra sättningsförsök (kompressionsförsök), samt praktiska försök med utläggning och täckning av slam.

Under hösten 1995 genomfördes sättningsförsök på prover av metallhydroxidslam som avsatts under första tvättsäsongen. Beräkningar visade att sättningarna i slammet skulle bli ca 0,6 m vid täckning med 1 m morän och ca 0,65 m vid täckning med 2 m morän, om mäktigheten på utlagt slam var 2,0 m. Under sommaren 1996, efter det att slammet frystorkat en vinter och legat i nästan ett år, togs ytterligare prover ut för sättningsförsök. Sättningar beräknades utifrån det försöket bli ca 0,1-0,2 m vid 1-2 m moräntäckning. TS-halten på proverna tagna hösten 1995 var 13-15 % medan TS-halten på proverna tagna sommaren 1996 var 30-38 %.

Utläggingsförsök utfördes på en del av en färdigtvättad yta (Tvättbassäng 2). Ytan delades i två delar, varav den ena nyttjades för utläggning av slam fr.o.m. 1996 och den andra fr.o.m. 1998. Eftersom slammet avvattnades och minskade i volym, kunde ytterligare slam fyllas på i bassängen under ett antal år. Under 1999 utfördes en provtäckning av den slamfyllda bassängen med morän.

Provtäckningen utfördes genom att en geotextil lades ut på slammet varefter morän påfördes ytan. Som ett första försök lades ett 0,5 m mäktigt lager med morän ut, vilket visade sig vara praktiskt svårt. Därefter provades att öka moränskiktets mäktighet till 1,0 m. Vid läggning med 1,0 m morän var det möjligt att köra ut massorna med dumper på redan utlagd morän, vilket inte hade varit möjligt med det tunnare moränlagret. Moränen lades ut med bandgående grävmaskin. Utläggningen måste utföras så att grävmaskinen lade en tryckbank av ca 0,5 m morän på metallhydroxidslammet inom maskinens räckvidd. Därefter påfördes ytterligare 0,5 m morän.

Under 2004 testades utläggning av morän på en yta med mindre mäktighet metallhydroxidslam, ca 0,5-1 m. Moränen lades ut med samma förfarande som i föregående försök, men utan geotextil och med utlägg av 1 m moränskikt direkt, vilket fungerade.

År 2005 anlades en provyta i norra delen av området, på Tvättbassäng 5, där metallhydroxidslam med mäktighet upp till 3 m lagts ut. Moränen kunde där läggas ut med det ”tryckbanksförfarande” som provats ut i försöken år 2000, utan att någon geotextil behövde användas.

Slutsatsen av försöken var att täckning med morän var praktisk möjligt att utföra på ytor (bassänger) där betydande mäktigheter metallhydroxidslam lagts upp och avvattnats, utan att någon utläggning av geotextil eller annan förstärkningsåtgärd måste utföras.
--

5.5 Upplagring av moränmassor

Efter utredningen som visat på brist på lämpliga täckmassor (avsnitt 5.2), började Faluprojektet bevaka uppkomsten av överskottsmassor i närregionen, främst morän. Förhoppningen var att kunna åstadkomma en mindre kostsam sluttäckning genom att anskaffa massor under en längre tid.

Massor för täckning erhöles respektive köptes in medan tvättning pågick. I samband med att väg 50 norr om Falun (Enviksvägen) byggdes om i slutet av 90-talet köptes ca 35 000 m³ moränmassor in. Under perioden 2003-2005 pågick ett större vägprojekt mellan Falun och Borlänge, varifrån ca 73 000 m³ massor köptes in under 2004. Massorna som köptes in 2004 utgjordes till övervägande del av siltig morän, relativt finkornig. Under åren 2004-2006 erhöles Faluprojektet massor från olika markarbeten, varav ca 10 000 m³ togs in på kisbränderdeponin.

Samtliga massor, totalt ca 118 000 m³, placerades i ett upplag direkt i anslutning till området som skulle täckas. Under perioden kördes även moränmassor in direkt på kisbränderdeponin och planerades ut på delar där ingen terrassering skulle ske. Volymen massor som kördes direkt in på området uppgick till ca 40 000 m³.

Kontroll av massor utfördes av GVT. Kontroll utfördes dels på den plats där massorna uppkom, dels vid ankomst till kisbränderdeponin. Endast naturligt lagrade

massor från områden där inga förorenande verksamheter kunde misstänkas togs emot. Inga fyllnadsmassor och liknande fick köras in. Vid några tillfällen kördes oönskade massor, i form av slagg och byggavfall in till upplaget. Dessa massor fick ansvarig transportör köra bort.

Tillsyn över hanteringen av massor utövades av Falu kommuns miljökontor, genom regelbundna avstämningar med byggkontrollanten.

5.6 Provytor med lysimetrar

I samband med provtäckningen år 2005 anlades fem lysimetrar, med storleken 70-80 m² vardera. I några av lysimetrarna testades ett tätskikt av 0,5 m morän, och i övriga testades ett kombinerat tätskikt av 0,4 m metallhydroxidslam och 0,5 m morän. Skyddsskiktet utgjordes av 0,5 m morän (inget dräneringsskikt) i samtliga fall. Lysimetrarna lades i lutning 1:30 respektive 1:10. Dessa lysimetrar hann följas upp ett halvår innan beslut om sluttäckning måste fattas. De preliminära resultaten var lovande. Under sex månader infiltrerade 1-6 mm (l/m²) i lysimetrarna med enbart morän som tätskikt. I lysimetrarna med metallhydroxid/morän som tätskikt infiltrerade 7-14 mm (l/m²), varav en stor del kunde förklaras med att vatten pressades ur metallhydroxidslammet initialt. Resultaten indikerade att det med hjälp av den testade sluttäckningen av morän skulle gå att klara önskvärd maximal infiltration, < 50 mm/år.

Uppföljning av lysimetrarna redovisas mer ingående i avsnitt 10.4.2.

5.7 Sluttäckningsförslag – beräkning av läckage kontra kostnader

I slutskedet av tvättningen, inför beslut om täckningens slutliga utformning, utredes hur effekten av olika täckningsalternativ skulle bli på det framtida metalläckaget från deponin.

Under 2004 gjordes en utredning (Ledin, 2004) där det framtida metalläckaget från kisbränderdeponin efter tvättning ytterligare minst en säsong, samt täckning med tillgängliga moränmassor uppskattades. Utgångspunkten var att det med befintliga moränmassor gick att konstruera en täckning med vattengenomsläpplighet <50 l/m², år för ca 1/3 av deponin (delen med högst kvarvarande lakbara metallmängder), samt vattengenomsläpplighet <150-200 l/m², år för övriga delar av deponin. Utifrån dessa förutsättningar, beräknades det framtida metalläckaget från deponin bli:

Cd:	4-10 kg/år	Zn:	5-9 ton/år
Cu:	100-300 kg/år	Fe:	4-8 ton/år

Under 2005 gjordes nya beräkningar med avseende på framtida metalläckage och kostnader för sluttäckning (Ledin, 2005a). I denna utredning gjordes en finare områdesindelning, med hänsyn till kvarvarande lakbara metallmängder efter tvättning.

Olika scenarier för moräntäckningens vattengenomsläpplighet utreddes, liksom ett alternativ där de mest förorenade ytorna täcktes med bentonitmatta och ett alternativ där en mycket enkel täckning utfördes men lakvatten från deponin fortsättningsvis skulle samlas upp och ledas till den då planerade anläggningen för rening av gruvvatten.

Tabell 12. Beräkning av framtida metalläckage kontra kostnader för olika sluttäckningsalternativ för kisbränderdeponin (Ledin, 2005a).

ALTERNATIV	Framtida läckage	Kostnad
Nollalternativ, moräntäckning utan uppdelning av kvaliteter och utan terrassering av deponin för bättre avrinning.	Zn: 7-11 ton/år Cu: 110-260 kg/år Cd: 5-13 kg/år Fe: 5-10 ton/år	6,6 Mkr
Moräntäckning, med olika alternativ för vilken lakvattenbildning som kunde uppnås med befintliga moränmassor (genom sortering av morän och terrassering för bättre avrinning).	Zn: 3-6 ton/år Cu: 50-150 kg/år Cd: 2-8 kg/år Fe: 2-6 ton/år	8-9 Mkr
Tätskiktet förstärkt med bentonitmatta inom 30 000 m ² (ca 27 %) av deponin, i övrigt relativt ambitiös moräntäckning.	Zn: 3-5 ton/år Cu: 40-110 kg/år Cd: 3-6 kg/år Fe: 2-4 ton/år	11 Mkr
Lakvattenuppsamling ”för all framtid”, samt moräntäckning enligt nollalternativet.	Zn: 2 ton/år Cu: 15 kg/år Cd: 2 kg/år Fe: 2 ton/år	24 Mkr

Alternativet med lakvattenuppsamling ”för all framtid” skulle ge de lägsta metalläckagen, men samtidigt vara betydligt dyrare än sluttäckningsalternativen. Alternativet där sluttäckningen förstärktes med bentonitmatta skulle bli ca 2 Mkr dyrare än det dyraste ”moränalternativet”, utan att ge mer än marginell effekt på metalläckaget.

Utifrån resultaten rekommenderades det mest ambitiösa moräntäckningsalternativet, i vilket deponin skulle formas om relativt mycket för att goda avrinningsförhållanden skulle uppnås.

5.8 Beslutad sluttäckning

Eftersom styrgruppen från start diskuterat att endast en enklare täckning av kisbränderdeponin skulle utföras efter tvättning, så var utgångspunkten att i första hand täcka deponin med de moränmassor som hade köpts in. De försök och utredningar som genomförts, visade att en sluttäckning med omformning av deponin, täckning med morän, förstärkt med metallhydroxidslam i vissa delar, skulle vara kostnadseffektiv samt praktiskt genomförbar.

Under sommaren 2006 beslutade Faluprojektets styrgrupp att befintliga moränmassor skulle användas till täckningen och att de massor som var tätast skulle läggas inom delområden på deponin med högst resthalter av lakbara metaller efter tvättning - i enlighet med ett slutligt förslag framtaget av GVT (Ledin, 2006).

Sluttäckningens utförande samt uppbyggnad inom olika delområden redovisas vidare i avsnitt 8.2.

6 Tillståndsprövning - myndighetsbeslut

De myndighetsbeslut som har fattats, som rör efterbehandlingen av kisbränderdeponin, framgår av Tabell 13.

Tabell 13. Myndighetsbeslut rörande efterbehandlingen av kisbränderdeponin i Falun.

DATUM	BESLUT
1992-12-07	<i>Faluprojektets kontrollprogram för Faluån med tillflöden. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1994-12-19	<i>Beslut angående provpumpning av grundvatten i Gamla Herrgårdsområdet i Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1994-09-25	<i>Tillstånd enligt lagen om kulturminnen 2 kap 13§. Arkeologisk förundersökning i form av schaktningsövervakning i samband med markarbeten i kvarteret Hanrö, fornlämning nr 68 Falu stad och kommun.</i>
1995-03-30	<i>Beslut angående sanering av kisbränderupplag inom fastigheten Falun 9:1 i Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1995-12-12	<i>Beslut angående kontrollprogram för efterbehandling av syrafabrikens kisbränderdeponi, Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1998-08-21	<i>Kontrollprogram för tvättning av kisbränder och metalltransport i Faluån, Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
2004-03-15	<i>Anmälan enligt 21 § punkt 3 förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd avseende åtgärder för att minska metalläckaget från Skålpussen i Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
2007-12-18	<i>Kontrollprogram för uppföljning av metalltransporter efter Faluprojektets avslutning 2007/2008. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
2009-04-17	<i>Skydd av åtgärdat gruvavfallsupplag, kisbränderområdet, inom Falun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>

Beslutet från 1994 innebar att vissa provpumpningar av grundvatten nedströms kisbränderområdet fick påbörjas under januari 1995, i väntan på att beslut angående saneringen som helhet hade fattats.

Tillstånd enligt miljöskyddslagen till sanering av kisbränderupplaget lämnades i mars 1995. Det omfattade efterbehandling av deponiområdet genom tvättning, rening av tvättvattnet i särskild reningsanläggning, samt deponering av uppkommet slam: under första tvättsäsongen på Ingarvsmagasinet och därefter på tvättade ytor inom fastigheten (kisbränderområdet). Som villkor fanns bland annat att tillförseln av tvättvattnet omedelbart skulle avbrytas vid onormal höjning av grundvattnet nedströms uppsamlingsbrunnarna, att tvättvattnets uppehållstid i kisbränderna skulle bestämmas i början av varje tvättsäsong, samt att utgående vatten från reningsanläggningen skulle avledas till Faluån och som riktvärde hålla högst:

- Zink: 5 mg/l
- Koppar: 0,5 mg/l
- Kadmium: 0,1 mg/l
- Krom, totalt: 1 mg/l
- Bly: 1 mg/l
- Kvicksilver: 0,05 mg/l.

Slutliga villkor för slamdeponeringen på kisbränderna sköts upp till 1996-12-31.

Ett kontrollprogram för kisbrändersaneringen godkändes av Länsstyrelsen i december 1995. Kontrollprogrammet skulle gälla tills tvättningen avslutats och omfatta:

- Metallhalterna i utgående renat tvättvatten.
- Effektiviteten i uppsamlingen av tvättvatten.
- Metalltillförseln till Faluån.
- Tvättvattnets uppehållstid i Kisbränderna.

Vad kontrollprogrammet omfattar beskrivs mer detaljerat i avsnitt 9.

I beslutet angående kontrollprogrammet gavs även anvisningar för framtida kontroll. När tvättningen avslutats ska ett program för efterkontroll utformas i samråd med berörda myndigheter. Programmet ska svara på om uppställda mål har uppnåtts och om resultatet är varaktigt.

Frågan om huruvida Kisbränderområdet skulle betraktas som deponi i deponeringsförordningens mening väcktes av Naturvårdsverket under 2002. Deponering på kisbränderdeponin hade upphört år 1983 och innan saneringen påbörjades var deponin delvis täckt med bark och bioslam. Saneringen betraktades därmed som efterbehandling av ett förorenat område. Kisbränderdeponin bedömdes av Länsstyrelsen, som är den formella tillsynsmyndigheten för kisbränderdeponin, att inte omfattats av deponeringsförordningens krav på sluttäckning mm (skrivelse 2003-06-18).

Länsstyrelsen beslutade 2007-12-18 om ett nytt kontrollprogram att gälla från 2008 och framåt, det vill säga efter Faluprojektets avslutning.

Våren 2009 beslutade Länsstyrelsen i Dalarnas län om det framtida skyddet av Kisbränderområdet, efter avslutade efterbehandlingsåtgärder, vilket beskrivs närmare i avsnitt 11.2.2.

7 Genomförande - tvättning

Tvättningen av kisbränderområdet/deponin pågick år 1995-2006, med 1995 som prövoår i full skala. Varje år utfördes tvättning under sommarhalvåret, med uppehåll vintertid på grund av frysproblem. Tillförsel av vatten påbörjades normalt sista veckan i april, då tjälen släppt, och avslutades i slutet av augusti eller under september. Hur länge vatten tillfördes berodde på var inom deponiområdet tvättning pågick. Behandlingsanläggningen och pumpningen startade normalt ca en vecka före det att vatten började tillföras bassängerna för att kontrollera att allt fungerade.

Uppsamling och behandling av förorenat tvättvatten pågick ytterligare en till två månader efter avslutad tvättning, på grund av vattnets uppehållstid i marken. Normalt kördes pumpningen och behandlingsanläggningen till månadsskiftet oktober-november.

Ca 4-6 veckor innan tvättstart varje år inleddes förberedelsearbeten. Förberedelserna innefattade byggnation av bassänger, utläggning av ledningar/slangar, montering av pumpar, uppstart av reningsanläggningen, påfyllning av kalk, polymer osv., samt provkörning av pumpar och behandlingsanläggning.

Efter avslutad tvättning pågick arbeten ca 4 veckor med isärkoppling och tömning av ledningar (för att undvika frysskador), upptagning av pumpar, rensning av ledningar/brunnar, tömning av reningsanläggningen osv.

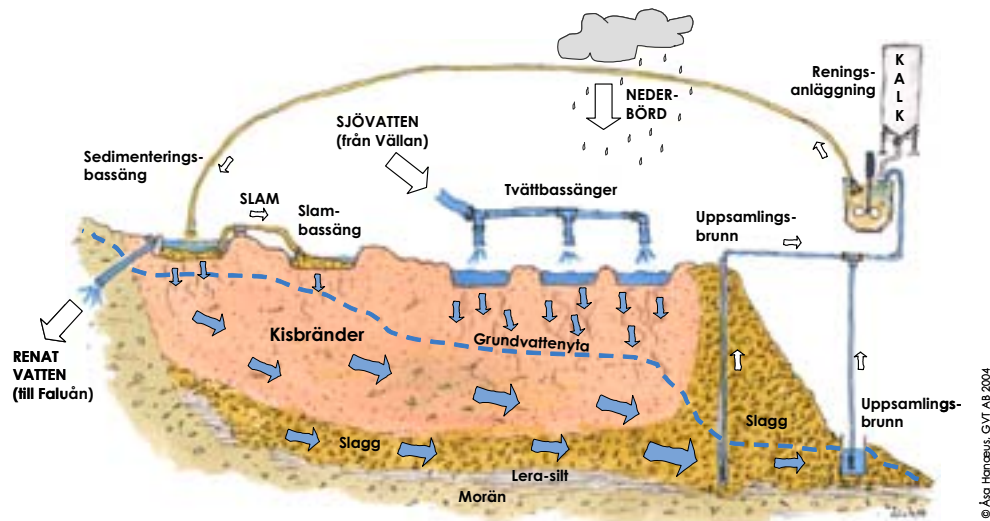
Kriterier för när tvättningen av en yta ansågs fullbordad, sattes upp under den andra tvättsäsongen (1996), se vidare avsnitt 9.2.1. Avvägningarna kring hur länge tvättningen av kisbränderdeponin skulle pågå, beskrivs i avsnitt 7.9.

Under 2007 utfördes täckning och återställning av den tvättade deponin.

7.1 Tvättning in situ – åtgärden i stort

Tvättning in situ innebär att förorenade massor tvättas på plats, utan att grävas upp – antingen med rent vatten eller med vatten med olika tillsatser.

Tvättningen av kisbränderdeponin utfördes med vatten från sjön Vällan som påfördes kisbränderna via uppbyggda bassänger. Inom en mindre del av deponin, där slänter och andra områden med stor rasrisk förekommer, påfördes tvättvattnet genom sprinkling. Tvättvattnet fick infiltrera genom kisbränderna, ner till underliggande grova fyllning (främst slagg), som fungerade som dräneringslager.



Figur 35. Principbild över hur tvättningen av kisbränderdeponin gick till.

Det tillförda tvättvattnet samlades upp i ett antal uppsamlingsbrunnar och dräneringar inom och nedströms kisbränderdeponin, varefter det pumpades upp till en reningsanläggning placerad i f.d. svavelsyrafabriken. I anläggningen behandlades det metallrika vattnet genom kalkfällning och luftning.

Det kalkfällda vattnet pumpades tillbaka till särskilda bassänger på kisbränderdeponin för sedimentering efter det att en polymer tillsatts på utgående ledning för att ge bättre fällning. Från sedimenteringsbassängerna avleddes klarvattenfasen till ytterligare en bassäng för kompletterande sedimentering/klarning. Från denna bassäng togs sedan den rena klarfasen ut och avleddes till recipienten, Faluån.

Det förtjockade metallhydroxidslammet som bildades vid kalkfällningen pumpades med slangpump från sedimenteringsbassängerna till speciella avvattningsbassänger (f.d. tvättbassänger, tidigare tvättade) för avvattning genom torkning och frysning. Urpumpning av slam ur sedimenteringsbassängerna utfördes löpande.

Det avvattnade slammets har lämnats i avvattningsbassängerna. Tack vare slammets täthet (låg hydraulisk konduktivitet) fungerar det som ett extra tätskikt på de tvättade kisbränderna. Med anledning av detta har metallhydroxidslammet avvattnats och lagts på de områden som konstaterats ha högst restmetallhalter i kisbränderna.

Vid sedimentering och slamavvattning infiltrerade dränagevatten genom bassängernas botten. Detta vatten samlades upp på nytt tillsammans med påfört tvättvatten i brunnarna nedströms området och renades således åter i behandlingsanläggningen.



Figur 36. Bild över en mindre del av kisbränderdeponin tagen från väster mot öst, med olika typer av ytor markerade.

I Figur 36 visas en del av kisbränderdeponin under pågående tvättning genom bassänginfiltration. De rostfärgade, uppspruckna ytorna utgörs av avvattnat metallhydroxidslam. Området till höger om den vattenfyllda tvättbassängen har provtäckts med metallhydroxidslam och morän. I sedimenteringsbassängen, närmast kameran, faller metallhydroxidslam ut från det utgående vatten från behandlingsanläggningen.



Figur 37. Flygbild över kisbränderdeponin under pågående tvättning 1997.
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

I den ursprungliga planeringen av tvättningen, var avsikten att recirkulera uppsamlat tvättvatten innan det slutligen leddes till reningsanläggningen. På så vis skulle reningsanläggningens storlek kunna hållas nere. Labbförsök hade indikerat att

vattnet kunde recirkuleras tre gånger med bibehållen tvätteffekt. Under första tvätt-säsongen testade man att leda uppsamlat lakvatten förbi reningsanläggningen och använda det för att ”förtvätta” ytor med. Recirkulationen av tvättvatten ledde till att bassängerna satte igen på grund av omfattande järnutfällningar. Med anledning av dessa erfarenheter beslutades att endast rent tvättvatten skulle användas för tvättning, samtidigt som behandlingsanläggningens kapacitet höjdes för att kompensera för högre flöden.

7.2 Distribution av tvättvatten

Vatten till tvättningen togs från sjön Vällan, belägen ca 3 km sydväst om kisbränderdeponin. Nivåskillnaden mellan Vällans normalvattenstånd och kisbränderdeponins överyta är ca 50 m, vilket medfört att vattentrycket räckt till för att distribuera vattnet med självfall i princip överallt inom deponiområdet.

Den så kallade ”Vällanledningen”, som på vissa sträckor är dubblerad, fanns redan innan saneringen av kisbränderdeponin startade. Ledningen byggdes för att förse den f.d. syrafabriken med processvatten. Ledningens kapacitet är ca 140 m³/h (40 l/s) vid ett tryck på knappt 20 m vid behandlingsanläggningen.

Från Vällanledningen fördelades vatten vidare ut till tvättbassänger, respektive sprinklers i PVC- och PE-ledningar, samt via snabbkopplingsrör och PEH-slang. Fördelningsledningarna flyttades inom området beroende på vilka ytor som tvättades.

Bassängytorna tvättades intermittent, enligt det kriterier som Faluprojektets styrgrupp satt upp. Det innebär att varje yta tvättades minst två gånger, med dränering däremellan.

För att kunna följa upp hur mycket tvättvatten som påfördes respektive delyta, mättes flödet till varje bassäng/sprinklingsyta separat.

Årligen tillfördes ca 200 000 m³ till drygt 400 000 m³ tvättvatten till bassängerna under en tvättperiod.

Styrningen av vattentillförseln till respektive tvättbassäng utfördes manuellt. Bassängerna var försedda med peglar, med angivna start- och stoppnivåer. Vattennivån tilläts stiga ca 0,5 m över bassängbotten, något varierande beroende på respektive bassängs djup och på stabiliteten hos vallarna som omgav bassängen.

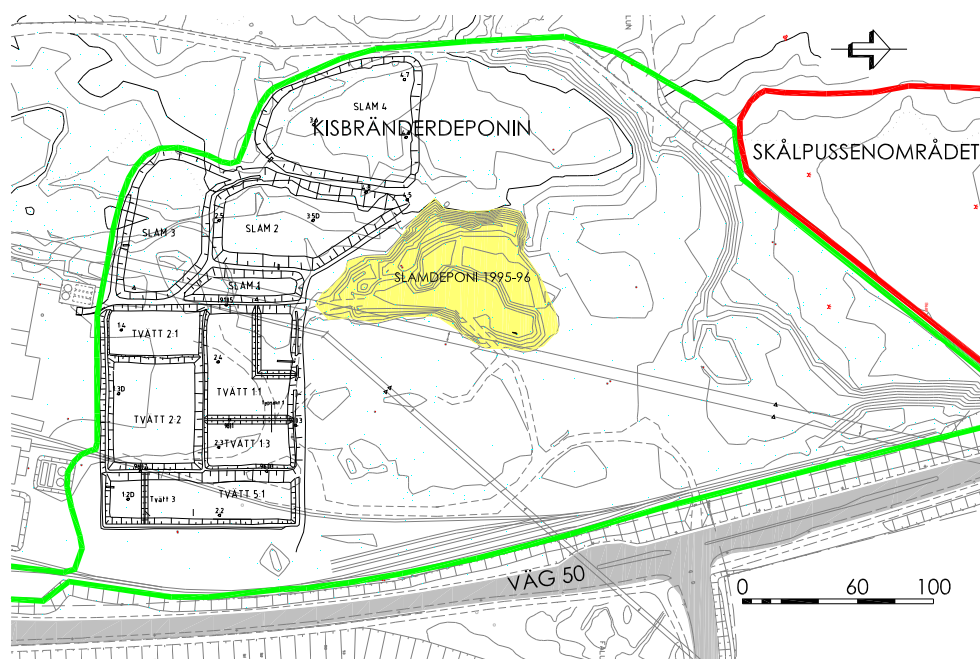
7.2.1 Tvättbassänger

Fördelning av tvättvatten över deponin utfördes i huvudsak med hjälp av anlagda tvättbassänger på deponins överyta. Under varje tvättsäsong var ett antal bassänger i drift. Vilka områden som tvättades och hur många säsonger de tvättades fastslogs i årliga tvättplaner, utifrån vilka projektering av vallar och ytor utfördes. Bassäng-

ernas storlek och form anpassades till topografin och efter variationer i kisbrändernas genomsläpplighet. De olika infiltrationsbassängerna fördelades inom området för att nå de uppehållstider för tvättvattnet genom deponin som eftersträvades och för att få en lämplig vattenkvalitet in till reningsanläggningen. Generellt tvättades högre liggande delar av deponin före lägre liggande delar, så att man arbetat i grundvattnets flödesriktning – närmare och närmare uppsamlingsbrunnarna. Hur stora ytor som kunde tvättas varje säsong begränsades av vattentillgången och behandlingsanläggningens kapacitet.

Bassängerna byggdes upp genom att vallar anlades, främst av befintligt material (kisbränder). Vallarnas läge flyttades allt eftersom nya ytor började tvättas, samt för att möjliggöra tvätt av kisbränder i och under vallarna. Höjden på vallarna bestämdes av det vattendjup man önskade hålla i bassängen. Normalt låg vallhöjden på ca 1,0–1,5 m. I de fall bassängbotten inte var helt horisontell, blev vallarna runt bassängens lägre delar högre.

Nedan visas som exempel 1995-96, samt 2002 års bassängutformning.



Figur 38. Bassängutformning under de första tvättsäsongerna, 1995 och 1996.



Figur 39. Bassängutformning på kisbränderdeponin under tvättsäsongen 2002.
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

Första tvättsäsongen byggdes relativt små bassänger upp för att fördela tvättvattnet över ytan, varje bassäng omfattade ca 700-900 m². Vallarna byggdes upp av kisbränder. De små bassängerna medförde att en stor del av deponiytan upptogs av vallar. Det uppstod också stabilitetsproblem i vallarna, till följd av den intermittenta vattentillförseln. Särskilt gällde det vallar där tvättning pågick på båda sidor om vallen. Kisbrändernas jämna kornstorlek och hygroskopiska egenskaper medförde att de sög åt sig vatten och tappade hållfasthet. Följande säsonger ökades därför bassängstorleken, till i storleksordningen 1 000–2 000 m². Storleken på bassängerna varierade kraftigt beroende av läge och metallinnehåll. De minsta bassängerna var ca 300 m² och de största ca 5 000 m². Vallarna av kisbränder förstärktes vid behov med HDPE-duk och i vissa fall med morän på vallens vattensida.

Om infiltrationskapaciteten varierar inom en bassäng, kommer vattenflödet att gå den ”lättaste vägen” och övriga delar blir inte tvättade. Ju större bassängerna görs, desto större risk för att få otvättade ytor. Det är heller inte lika lätt att anpassa stora bassänger till terrängen, vilket medför större schaktbehov. Vid skador i bassängvallarna, blir konsekvenserna mer omfattande om bassängen är stor. Fördelen med större bassänger är att det går snabbare att genomföra tvättningen, samt att mindre ytor täcks av vallar (ytor som senare måste tvättas).

För att avgöra om en yta var färdigtvättad, utfördes provtagning av kisbränderna under varje tvättyta genom rördrivning eller skruvborring (se vidare under avsnitt 9.2). Detta var endast möjligt när tvättbassängerna var tömda på vatten och bassängbotten återfått tillräcklig bärighet. Partier med otillräckligt tvättresultat upptäcktes därför inte förrän efter varje tvättsäsongslut. Bassängen måste då tvättas om påföljande säsong, oftast efter ombyggnad till flera mindre bassänger. Konstruktion av alltför stora och/eller inhomogena bassänger, kunde alltså leda till att man ”förlorade” en tvättsäsong. Noggranna avvägningar gjordes därför inför varje beslut om bassängstorlek.

7.2.2 Sprinkling

Inom vissa delar av deponin var det mycket svårt att anlägga någon form av bassänger. Det gäller framförallt slänterna mot Hanröleden och Skålpussen, samt själva Skålpussenområdet. Området närmast Hanröleden (väg 50) sprinklades även på grund av risk för ras.

Inom deponiområdet närmast Hanröleden förekommer diverse byggavfall såsom tegel och betongkonstruktioner, vilket innebär att det finns stora hålrum i marken. I dessa hålrum kunde kisbränder spolats ner, vilket innebär risk för stora sättningar och materialtransporter.

Fördelning av tvättvatten över dessa ytor har istället skett genom sprinkling. När det gäller det vattenmättade Skålpussenområdet, utreddes även alternativet att gräva ur kisbränderna och flytta in dem på själva deponin, samt att försöka bygga bassänger på ytan. Tvättning genom sprinkling bedömdes vara den mest kostnads-effektiva lösningen.

Vid sprinkling, liksom vid fördelning av vatten via bassänginfiltration, skedde vattentillförseln intermittent.

Nedanstående foto visar fördelning av vatten genom sprinkling på en del av Skålpussenområdet.



Figur 40. Sprinkling av Skålpussenområdet. Fotot är taget från norr mot söder.

För sprinkling testades många olika typer av spridare och dysor, eftersom igensättning av munstycken medförde en hel del underhåll. Det som fungerade bäst var utrustning för timmerbevattning.

Deponislänten mot den vältrafikerade Hanröleden (riksväg 50) medförde speciella problem, eftersom sprinklingen inte fick störa trafiken. Här konstruerades egen spridningsutrustning genom att spolmunstycken skruvades in i PEM-slangar. Munstyckena anpassades till lämpligt tryck/flöde och riktades från vägen in mot deponislänten.

I den längre deponislänten ned mot Skålpussen ”plöjdes” horisontella diken (tvärs över slänten), för att förhindra erosion på grund av sprinklingen.

7.2.3 Ras i samband tvättning

Två större ras inträffade under tvättningen av kisbränderdeponin, på grund av instabilitet orsakad av tvättvattentillförseln.

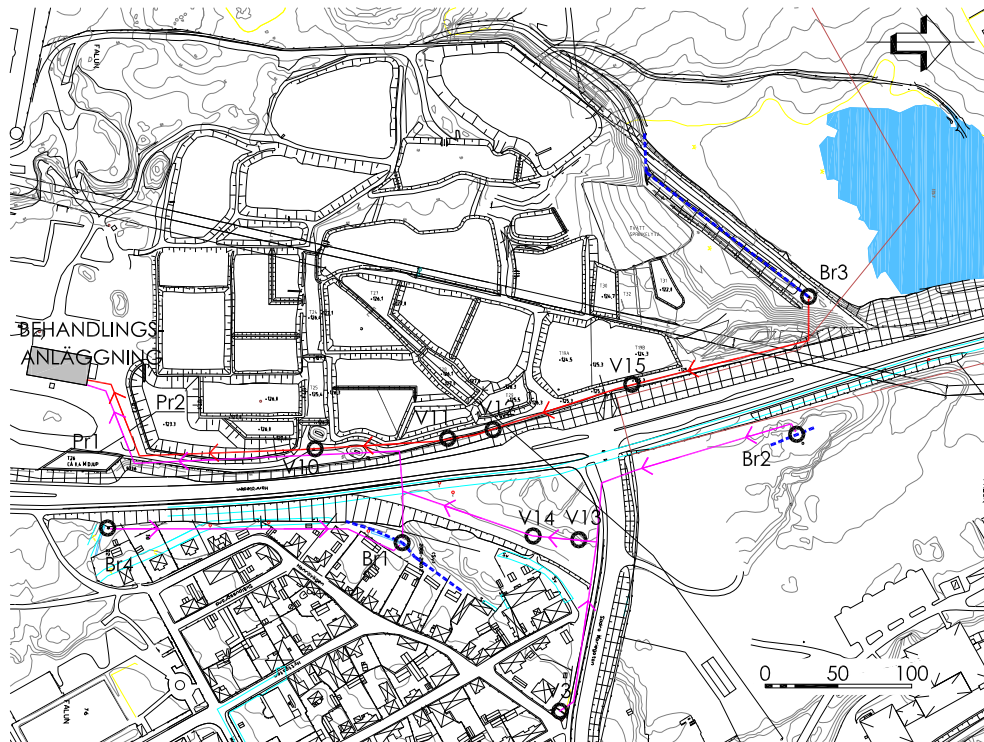
I slutet av augusti 1998 inträffade ett större ras vid tvättbassäng 4. Vallen mot Skålpussen och Br3 blev underminerad genom urspolning och rasade. Tvättvatten i bassängen rann ut till omgivande område, varvid en del samlades upp i Br3 och en del rann fram i Skålpussen. Bassängen återuppbyggdes under hösten med bergkross i vallarna, som tätades med moränmassor och HDPE-duk.

I samband att tvättningen av bassäng 19 påbörjades våren 2002, inträffade ett mindre ras i anslutning till Hanröleden. Det blev mindre skador på väggkroppen, vilka åtgärdades. Anledningen till raset var att det inom ett område under och i kisbränderna hade tippats byggmaterial bestående av tegel, betong och liknande med stora hålrum som följde. När vatten tillfördes bassängen inträffade en urspolning av material och därigenom uppkom sättningar i bassängen, i vägdken samt i vägbanan.

7.3 Uppsamling av metallrikt tvättvatten

Uppsamling av metallrikt tvättvatten har skett via ett uppsamlingssystem bestående av sju vertikala brunnar och tre horisontalbrunnar (dräneringar), samt befintliga ledningsschakt och dagvattenledningar (Br4 och 4A). Uppsamlingssystemets utformning i plan framgår av Figur 41.

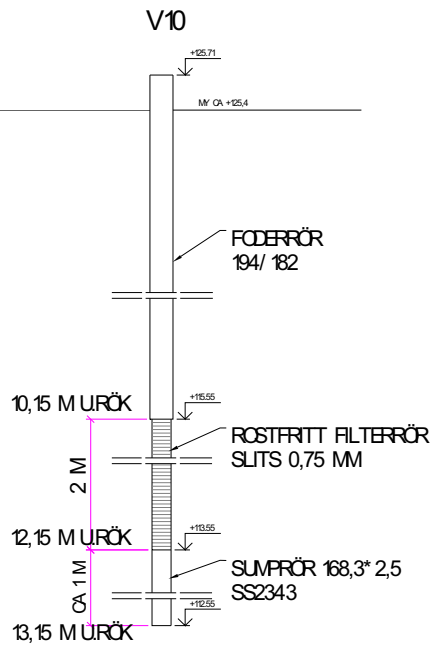
Uppsamlingsbrunnarna placerades ut utifrån resultaten av de hydrogeologiska undersökningar (borrningar, georadar, provpumpningar) som genomförts, se avsnitt 3 och 4. År 2004 byggdes även en pumpplats (Br 39) i Skålpussen. Brunnarna V3, V10, V11, V12, V13, V14, V15 samt Brunn1 är placerade i det genomsläppliga slaglagret som underlagrar stora delar av kisbränderdeponin. Brunnar betecknade ”V” är ”vanliga” vertikallbrunnar och brunnar betecknade endast med ”Br” är horisontalbrunnar (dräneringar), se faktaruta nedan. Brunnarna 2 och 3 är belägna i något mindre genomsläppliga jordlager.



Figur 41. Uppsamlingsystemet för grundvatten (tvättvatten) från kisbränderdeponin.

FAKTARUTA OM BRUNNARNA I UPPSAMLINGSSYSTEMET

Vertikala brunnar



De vertikala brunnarna betecknades V3 samt V10-V15, varav V13 och V14 är placerade utanför kisbränderdeponin.

Brunnarna är utförda med förlorat filter där filtret är av rostfritt stål med kontinuerlig slits. Filtrets längd är 2 m i alla brunnar utom i brunn V15 där filtret är 4,0 m långt. Djupet på brunnarna varierar mellan ca 10 m till ca 15 m. Ritningen till vänster visar hur brunn V10 är utförd.

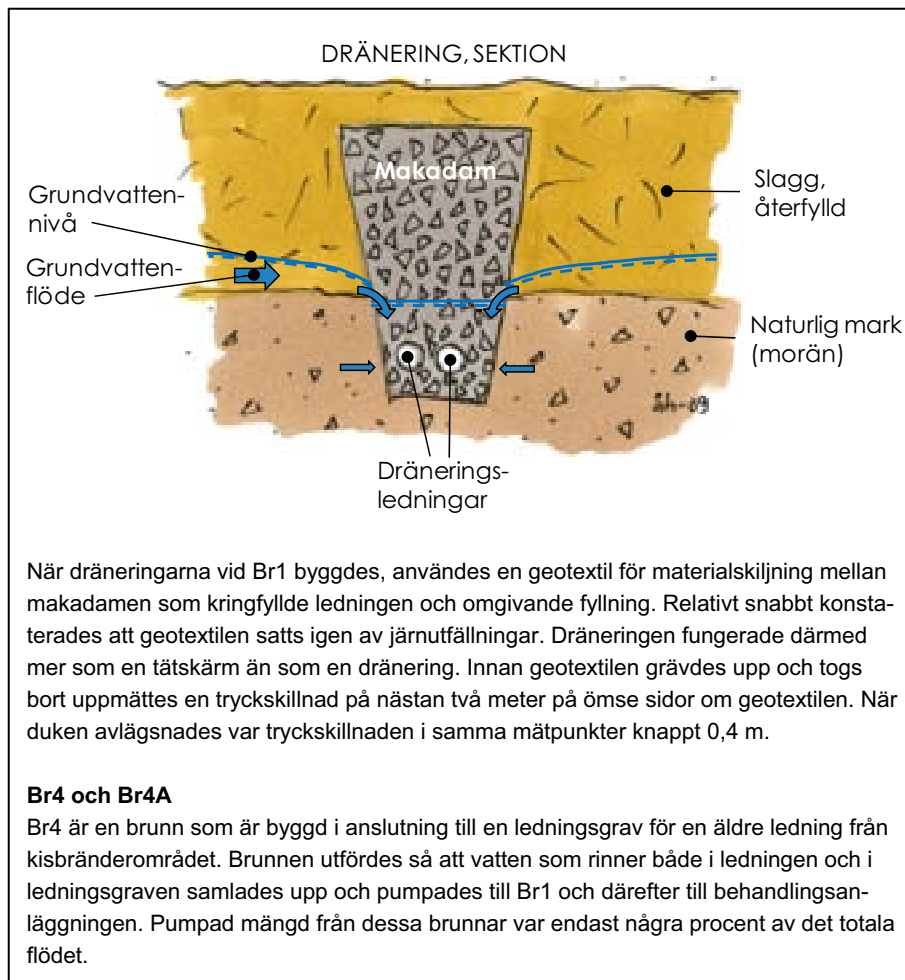
Horisontala brunnar

Br1-Br3

Horisontalbrunnarna betecknades Br1-Br3. Den typen av brunn byggdes som en schaktbrunn, varefter dräneringsledningarna anslöts till brunnen. Dräneringsledningarna kringfylldes med grovt material upp till nivån för högsta grundvattenyta. Dräneringsledningarna är nergrävda under slaggfyllningen och någon meter ner i naturlig, tätare jord. Huvuddelen av det vatten som samlades upp i horisontalbrunnarna rann dock till från slaggfyllningen – grundvattentransporten i naturlig mark var försumbar.



Dräneringsledningarna utformades för att skära av de slaggstråk som konstaterats transportera merparten av grundvattenflödet från kisbränderområdet. Vid Br1 är dräneringsledningarna ca 100 m, vid Br2 ca 30 m och vid Br3 ca 140 m.



Mäktiga slaggfyllningar förekommer vid Br1 och V13. I anslutning till V13 är slaggmäktigheten närmare 15 m och grundvattenytan är belägen ca 11 m under markytan. Vid Br1 är slaggmäktigheten ca 2-3 m och grundvattenytan belägen vid markytan. Bägge dessa brunnar har en god hydraulisk kontakt med den slaggförekomst som finns under kisbränderdeponin, vilket innebär att de är placerade i naturliga utströmningsområden från deponin. Eftersom slaggfyllningen underlagras av silt, lera och en relativt tät morän, sker det huvudsakliga grundvattenflödet i slaggen. Slaggfyllningen fungerar alltså som ett dräneringsskikt under stora delar av kisbränderdeponin, medan de naturliga jordarna fungerar som en botten tätning.

Ur brunnarna Br1 och V13 uttogs ca 60-70 % av tillfört tvättvattnet och ”naturligt” grundvattenflöde. Förhållandet i vattenuttaget mellan Br1 och V13 varierade beroende av vilka delar av kisbränderdeponin som tvättades, men den största vattenmängden pumpades generellt från Br1. Vid tvättning av den södra delen av kisbränderdeponin samlades huvuddelen av tvättvattnet upp i Br1 och när det tvättades mer norrut, i anslutning till V13, var flödet som störst i V13. Övriga 30-40 % av tvättvattnet togs ut i brunnar inom kisbränderområdet (V10-V12, V15 och Br3). Brunnarna V10-12 och V15 fungerade som ett första uppsamlingssteg, innan vattnet nådde brunnarna Br1 eller V13.

Br2 är en horisontalbrunn (längd ca 30 m) som byggdes för att hindra utläckage av tvättvatten till Faluån norr om V13. Brunnen skär av ett slaggstråk öster om kisbränderdeponin, och ligger på f.d. Stora Teknik-området. Brunnen är i huvudsak utförd i morän och dess kapacitet är liten (ca 10-30 m³/d) vilket innebar mindre än 1 % av det tillförda tvättvattenflödet. Brunnen användes endast några år, eftersom vattenflödet konstaterades vara litet och vattnet dessutom innehöll relativt sett låga metallhalter.

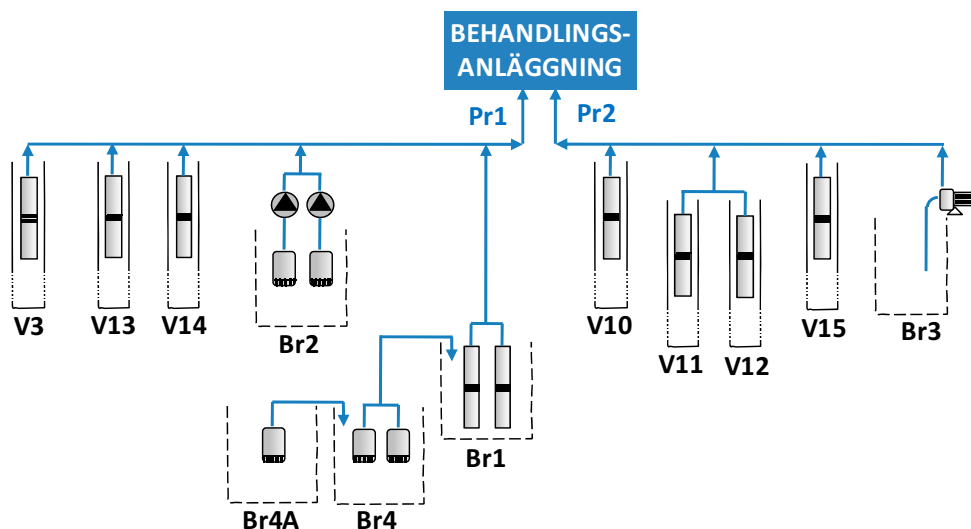
Br3 är en horisontalbrunn (längd ca 140 m) med uppgift att samla upp lakvatten med utläckage till Skålpussenområdet. Uttagen vattenmängd från Br3 (Skålpussenområdet) varierade mellan ca 5-15 % av den totala vattenmängden, beroende var på kisbränderdeponin tvättningen utfördes. Från och med år 2004 pumpades även vatten från Skålpussen, vilket innebar att Skålpussen i det närmast torrlades. Avsikten med pumpningen/avsänkningen i Skålpussen var dels att öka gradienten (och därmed flödet) genom kisbränderna, dels att förbättra effekten av den pågående sprinklingen av området.

Brunn V3 användes de första tvättsäsongerna och fungerade som reserv för V13. Den blev därefter skadad och ersattes aldrig.

Brunn V14 fungerade som reserv till brunn V13 men behövde aldrig användas.

7.3.1 Pumpning av uppsamlat tvättvatten

För att inte riskera ett läckage av förorenat tvättvatten till Faluån och/eller en höjning av grundvattennivån under stadsbebyggelsen nedströms kisbränderdeponin, överdimensionerades brunns- och pumpkapaciteten på uppsamlingssidan. Brunnarnas och pumparnas sammanlagda kapacitet uppgick till drygt 5 000 m³/d (210 m³/h), medan den tillförda tvättvattenmängd normalt var ca 1 500 m³/d - 2 000 m³/d. Som mest tillfördes ca 3 000 m³/d (ca 125 m³/h) under ett antal veckor.



Figur 42. Flödesschema för uppsamlingssystemet.

I samtliga borrhade brunnar och i en av brunnarna kopplade till avskärande dränering (Br1) utfördes pumpning med undervattenspumpar, se Figur 42. Från Br3 utfördes pumpning med länsmpumpar, med efterföljande tryckstegring. Från Br4 och Br4A utfördes pumpning med länsmpumpar över till Br1, och därifrån vidare in till behandlingsanläggningen. I Br3 användes en större centrifugalpump som varvtalsreglerades med frekvensomriktare för att få ett jämnare flöde in till behandlingsanläggningen. I samtliga brunnar kopplade till avskärande dränering (Br1-Br3), styrdes pumpningen med nivågivare (start-stopp). Undervattenspumparna i de borrhade brunnarna (V10- V15) stryptes in till ett sådant flöde att angivna vattennivåer (min-max) uppnåddes i brunnen (manuell nivåmätning/justering av ventil).

I Br1 monterades av säkerhetsskäl dubbla pumpar, som under normala förhållanden kördes intermittent. Vid driftstopp på den ena pumpen, startade den andra automatiskt. Av säkerhetsskäl fanns även brunn V14 som reserv till brunn V13.

Det uppsamlade vattnets aggressivitet (pH tidvis lägre än 3, zinkhalterna under de första tvättsäsongerna ca 2 000 4 000 mg/l), ställde krav på användning av syrafast material (plast, syrafast stål) i pumpar, brunnar, kopplingar och ledningar. I samband med pilotförsöken konstaterades att kopplingar av järn (massivt gods 4-5 mm) höll ungefär en och en halv timme och att mässingskopplingar höll ungefär en vecka när de utsattes för lakvatten från kisbränderdeponin.

7.3.2 Driftstopp - underhåll

På uppsamlingssidan ledde de höga järnhalterna i vattnet till omfattande utfällningar i pumpar, ledningar osv. För att säkra driften av uppsamlings- och reningsanläggningen, ingick ett driftstopp var fjärde vecka (från början var sjätte) för spolning av dräneringsledningarna vid Br 1, rengöring av pumpar, brunnar, backventiler m.m., samt vid vissa tillfällen spolning av tryckledningarna in till behandlingsanläggningen. Driftstoppen varade normalt ca 6 timmar.

7.4 Behandlingsanläggningen

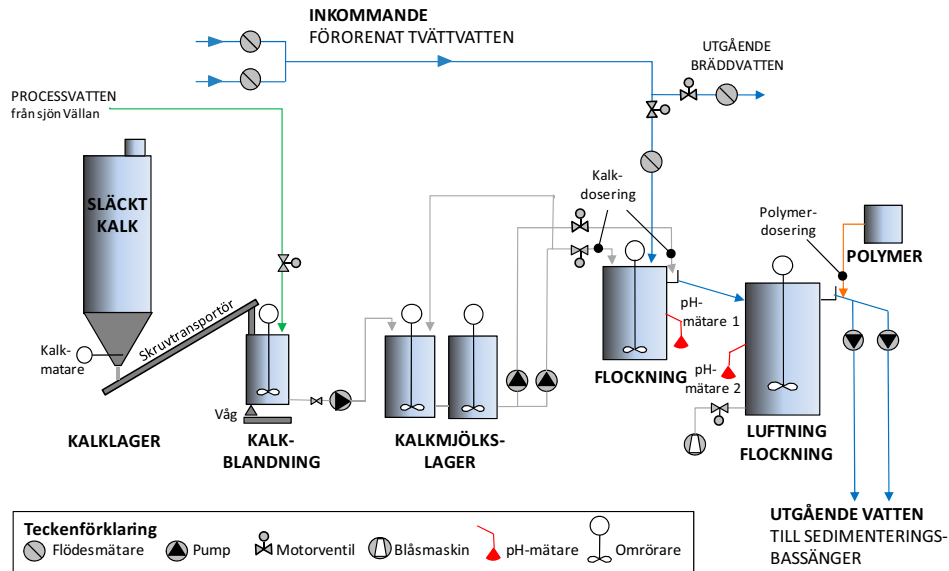
Behandlingsanläggningen för uppsamlat tvättvatten från kisbränderdeponin anlades i f.d. vanadinfabriken på syrafabriksområdet. De flesta övriga byggnader som tillhört syrafabriken revs 1994-95.

Mycket utrustning till behandlingsanläggningen kunde tas från syrafabriken och anrikningsverket, där verksamheterna upphört 1993 efter nedläggningen av Falu gruva i december 1992. Övrigt material levererades av olika leverantörer.

I behandlingsanläggningen fälldes metallerna i tvättvattnet ut som metallhydroxider genom pH-justering och fällning med släckt kalk, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Eftersom järnet i tvättvattnet till viss del förelåg i tvåvärd form, krävdes oxidation till trevärt järn. Detta för att få järnet att falla ut vid ett lägre fällnings-pH, samt för att förbättra

slammets sedimenterings- och avvattningsegenskaper. Oxidationen skedde genom luftning. Vid oxidation sjunker pH-värdet, vilket gör att en slutlig pH-justering måste göras.

Processen i reningsanläggningen beskrivs nedan och illustreras i Figur 43.



Figur 43. Flödesschema för behandlingsanläggningen, något förenklat.

Anläggningen kördes dygnet runt under sommarhalvåret, ca 180 dygn/år. Under kvällar och helger kördes anläggningen obemannad. Ett larmsystem fanns, som via minicall angav felkällan och larmade den som hade beredskap.

7.4.1 Kalkmjölksberedning

Släckt kalk till processen lagrades i en 60 m³ stor kalksilo försedd med kalkmatare. Kalken matades ut via en skruvtransportör till en blandningstank med omrörare. Där blandades den släckta kalken med vatten i förhållandet ca 1:10. Vattnet togs från sjön Vällan. Blandningsförhållandet styrdes genom att tanken var uppställd på våglastceller som styrde vattentillsatsen, samtidigt som kalkmatningen bestämdes av start-stopppintervall för kalkmataren.

Den färdigblandade kalkmjölken pumpades till två kommunicerande lagringstankar om vardera 10 m³ - båda försedda med omrörare.

7.4.2 Inledande pH-justering

Uppsamlat tvättvatten från brunnarna pumpades till en pH-justeringstank på 30 m³ försedd med omrörare. Inkommande flöde mättes med flödesmätare - dels separat för varje del av uppsamlingssystemet, dels för det totala inflödet. pH-justering utfördes genom att kalkmjölk pumpades till en inmatningslåda, där den blandades

med inkommande tvättvatten. Kalkdoseringen styrdes av en pH-mätare placerad i tanken. För att åstadkomma en bra utfällning av metaller justerades pH till 7,5–8,0.

7.4.3 Luftning och slutlig pH-justering

Från pH-justeringstanken togs vattnet ut via avdragsrännor och leddes i en överloppsledning till en 80 m³ stor luftningstank. I luftningstanken oxiderades pH-justerat vatten genom inblåsning av luft. Luft tillfördes med blåsmaskin och distribuerades vid tankbotten genom membranluftare.

För att motverka pH-sänkningen som sker vid oxidation, tillsattes ytterligare kalkmjölk från kalklagringstankarna till luftningstanken. Kalkdoseringen styrdes av en pH-mätare placerad i tanken.

7.4.4 Utpumpning och polymertillsats

Från luftningstanken togs vatten ut via avdragsrännor till två vertikalpumpar för utpumpning till sedimenteringsbassänger på kisbränderdeponin (se vidare avsnitt 7.5 nedan).

Från och med tredje tvättsäsongen doserades polymer på utgående vatten från luftningstanken för att förbättra både fällningen och slammets avvattningssegenskaper, samt för att undvika gipsutfällningar i ledningssystemet. Doseringen av polymer styrdes av flödesmätaren på inkommande vatten. Polymeren (Ultimer 7550) levererades och lagrades i en enkubikstank.

7.4.5 Bräddning, reservkraft

Reservkraft fanns tillgänglig via ett dieseldrivet elverk (112 kW) med automatiskt start vid el-bortfall.

Vid bräddning leddes uppsamlat tvättvatten till en så kallad ”returbassäng”. Returbassängens läge flyttades inför varje tvättsäsong, beroende på var inom kisbränderdeponin ordinarie tvättning utfördes. Kriterierna för returbassängen var att den skulle ha god genomsläpplighet för att kunna ta emot mycket vatten momentant, samt att den skulle placeras på största möjliga avstånd från närmaste uppsamlingsbrunn för att uppnå en lång uppehållstid för bräddvattnet i marken.

Returbassängen användes vid planerade driftstopp. I övrigt användes den sällan, eftersom det fanns en beredskapsorganisation för behandlingsanläggningen dygnet runt.

7.4.6 Driftstopp - underhåll

Planerade driftstopp för underhåll och reparationer genomfördes ca 1 ggr/månad. Underhållet omfattade bland annat service av kompressor, byte av dysor till luftningen (p.g.a. kalkutfällningar), underhåll av pH-mätare samt urknackning av kalkbeläggningar i luftningsbassängen.

7.5 Sedimentering och förtjockning

Efter behandlingen i reningsanläggningen, pumpades vattnet till sedimenteringsbassänger anlagda på kisbränderdeponin. Slammet som avsattes i bassängerna består av metallhydroxider, kalciumsulfat (gips) samt visst överskott av kalciumoxid/hydroxid.

Utgående klarvattenfas från sedimenteringsbassängerna flödesmättes och avledes till recipienten Faluån via en provtagningsbrunn. Som utloppsledning användes en befintlig ledning med dimensionen 600 mm, tidigare använd som dagvattenledning och för bortledning av kylvatten.

För att kunna ta omhand de slammängder som uppstod i samband med reningen av vattnet byggdes det två bassänger för sedimentering och förtjockning 1995 ("Slam 1" och "Slam 2") och två bassänger 1996 ("Slam 3" och "Slam 4"): total bassängyta ca 9 000 m². Dessa visade sig inte räcka till för hela säsongens slamproduktion, utan förtjockat slam fick köras från bassängerna med slamsugningsfordon till nyanlagda avvattningsbassänger. Under vintern lastades resterande slam ur med grävskopa och dumper. Eftersom inga rentvättade ytor fanns tillgängliga på deponin under den första tvättsäsongen, fick detta slam senare flyttas ännu en gång. Slammängderna var som störst under den första tvättsäsongen, då metallhalterna i tvättvattnet var som högst. Därefter minskade slammängderna kontinuerligt.

Slamhanteringen utvecklades genom att sugslangar lades ut i botten på den största sedimenteringsbassängen (S4) och kopplades till tre slangpumpar av typ AB Bergman-Axab med kapacitet ca 80 m³/h (7,5 kW). Bassängen kom alltså att fungera som en stor förtjockare, ur vilken slam pumpades ur löpande under pågående tvättning. Efter första tvättsäsongen fanns färdigtvättade ytor, där permanenta slamavvattningsbassänger kunde anläggas.

Under första tvättsäsongen, 1995, uppstod stora problem med gipsbildning (CaSO₄·2H₂O) i utgående ledning mellan reningsanläggningen och första sedimenteringsbassängen. Efter upprepade rensningar satte ledningen till slut igen helt och fick bytas ut. De ursprungliga rören av hög kvalitet, byttes mot billigare markavloppsrör med grövre dimension. Problemen med gipsbildning fortsatte under andra tvättsäsongen och olika åtgärder prövades. Lösningen blev att dosera en polymer (Ultimer 7750, leverantör NALCO) på utgående vatten från reningsanläggningen, vilket också resulterade i bättre fällning i sedimenteringsbassängen. Gipsbildningen upphörde dock inte helt. När igensättningarna i rören åter blev för stora, byttes de helt enkelt ut mot nya.

Ledningarna mellan sedimenteringsbassängerna ersattes efterhand med öppna rännor, för att underlätta inspektion och rensning.

För att undvika gipsavsättningar i ledningen för renat vatten från sedimenteringen till Faluån, tillsattes spädvatten (från sjön Vällan) efter provtagningspunkten för utgående vatten.

7.6 Slamavvattning

I de utredningar som gjordes innan starten av tvättningen föreslogs mekanisk slamavvattning med centrifuger. Orsaken var att beräkningar indikerade att slammängderna skulle bli för stora för att avvattning i bassänger inom deponiområdet skulle vara möjligt.

Inför starten av tvättningen konstaterades att hanteringen och kostnaden för avvattning med centrifuger skulle bli omfattande på grund av den stora kapacitet som krävdes. Därför provades ändå avvattning i bassänger genom dränering och torkning/frysning när försöken med tvättning i full skala startade 1995.

Tabell 14. Beräknade slammängder utifrån inkommande metallhalter till behandlingsanläggningen (årsmedel), samt årsflödet 342 000 m³. Data från (L O Höglund, 2005).

Beräknade slammängder	
År	Slammängd (ton TS per år)
1995	2 600
1996	1 800
1997	1 100
1998	800
1999	700
2000	500
2001	400
2002	500
2003	350
2004	250
2005	200
2006	150
SUMMA	9 350

Slammängder och slamsammansättning följdes inte upp inom ramen för den löpande driftkontrollen. Enstaka provtagningar och undersökningar utfördes dock.

I tabellen till vänster redovisas beräknad slammängd som torrsubstans (TS) för respektive tvättsäsong, beräknat utifrån inkommande metallhalter till behandlingsanläggningen (Höglund, 2005).

Slammängderna var som störst de första åren, då metallhalterna var höga i inkommande vatten till behandlingsanläggningen. Slammängderna under de första säsongerna är sannolikt underskattade i beräkningarna som ligger till grund för Tabell 14, eftersom gipsbildningen var omfattande under den perioden.

Slammängden kan även beräknas utifrån vilken volym slammet upptog i bassängerna efter avslutad tvättning. Beräknad slammängd uppgår till drygt 70 000 m³, motsvarande ca 80 000 ton. För att torrsubstansmängden (TS) ska motsvara den beräknade enligt Tabell 14, skulle den genomsnittliga TS-halten i slammet vara ca 12 %, vilket verkar vara ett något lågt värde. Under projektiden har totalt 17 st prover tagits för att bestämma TS-halten hos slammet i bassängerna, se Tabell 15.

Tabell 15. Uppmätta TS-halter i avvattnat metallhydroxidslam. Samtliga prover är tagna från nivån 0,1-0,2 m under slamytan.

1996		2004		2005	
Datum	TS (%)	Datum	TS (%)	Datum	TS (%)
1996-08-06	32	2004-05-06	24	2005-02-22	9,9
1996-08-06	30	2004-05-06	15	2005-02-22	16
1996-08-06	38	2004-05-06	11	2005-02-22	15
1996-08-06	35	2004-05-06	11	2005-02-22	15
1996-08-06	30			2005-05-06	25
1996-08-06	28			2005-05-06	16
1996-08-06	25				

TS-halten i proverna tagna 1996 var som medelvärde 31 % (7 st prover) och TS-halten i proverna tagna 2004-2005 var som medelvärde 16 % (10 st prover). Proverna från 1996 togs knappt ett år efter utläggning, medan proverna från 2004 och 2005 togs på slam som legat minst ett par år, vilket hellre borde ge högre TS-halt i proverna från 2004/2005. Under 1996 var dock metallhaltererna i uppsamlat tvättvattnet höga och gipsbildningen efter fällning var omfattande. En hög andel gips i slammet gjorde detta kompakt jämfört med konsistensen hos rent hydroxidslam.

Genom dränering, torkning och frysning ökade TS-halten i metallhydroxidslammet från ca 2-5 % till minst 10-15 %. Det är rimligt att anta att TS-halten i slammet är högre både i ytskiktet ("torrskorpan") och djupare ner i bassängerna (kompakterat).

Det avvattnade slammet lämnades i respektive avvattningsbassäng, för att fungera som extra tätskikt vid sluttäckning av deponin.



Figur 44. Sedimenteringsbassäng i samband med tömning för urpumpning av slam.

Från och med andra tvättsäsongen pumpades det slam som bildades i sedimenteringsbassängerna med slangpump till avvattningsbassänger för förtjockning och avvattning genom torkning och frysning. Urpumpning av slam ur sedimenterings-

bassängerna (Figur 44) utfördes normalt under de sista månaderna av en tvättsäsong.



Figur 45. Avvattnat slam i bassänger på kisbränderdeponin.

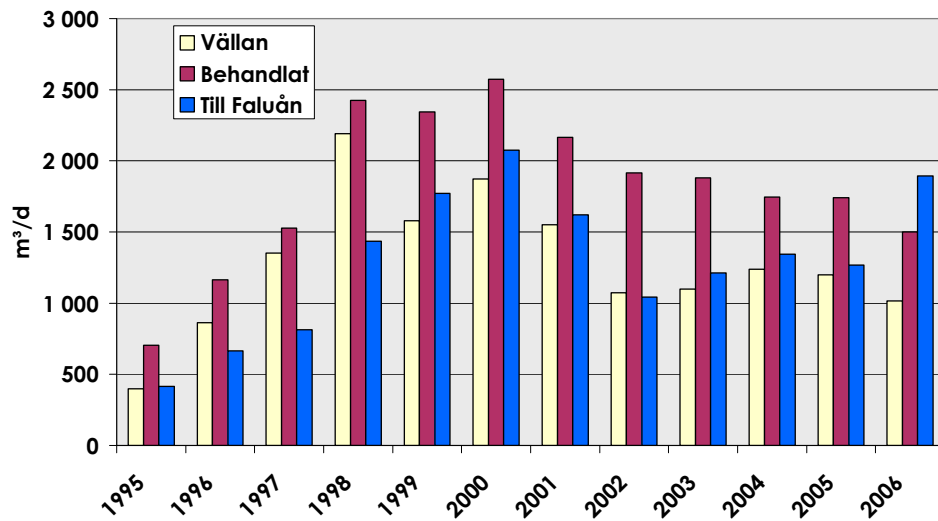
För att undersöka bärigheten i det avvattnade slammet, genomfördes vid ett par tillfällen fältförsök med att täcka avvattnat metallhydroxidslam med morän. Täckningsförsöken beskrivs närmare i avsnitt 5.4.

Slammets täthet (hydrauliska konduktivitet) undersöktes också, med syfte att använda avvattnat slam som ”extra tätskikt” i sluttäckningen av de mest metallrika delarna av deponin. Slammets egenskaper med avseende på täckning beskrivs närmare i avsnitt 10.4.1.

Slammets stabilitet med avseende på den långsiktiga fastläggningen av metaller, utreddes i två omgångar och konstaterades i båda fallen vara god. De två utredningarna beskrivs närmare i avsnitt 11.1 ”Metallhydroxidslammets långsiktiga stabilitet”.

7.7 Geohydrologiska förhållanden under tvättning

De vattenmängder som tillfördes kisbränderdeponin från sjön Vällan under tvättperioden varierade mellan åren, från 500 till 2 200 m³/d (Figur 46).



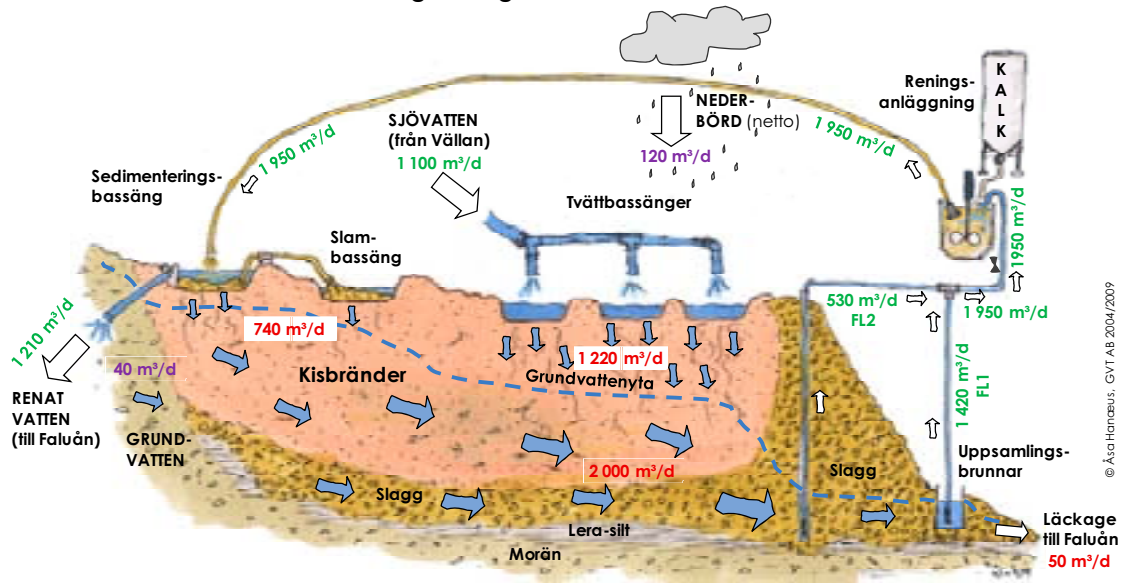
Figur 46. Tillförda, behandlade och bortledda vattenmängder vid tvättning av kisbränderdeponin 1995-2006. Beteckningen "Vällan" står för tillfört tvättvatten, "Behandlat" för vatten som pumpats in från uppsamlingsbrunnar och behandlats, och "Faluån" står för renat vatten som avleddes från sedimenteringsbassänger till Faluån.

Behandlingsanläggningen kördes 182-192 dagar per år, utom 2006 då anläggningen endast kördes i 122 dagar. Som framgår av diagrammet behandlades betydligt mer vatten än vad som tillfördes från Vällan. Den naturliga grundvattenbildningen (ca 120-160 m³/d) ska läggas på tillförd vattenmängd från Vällan för att få den totala tvättvattenmängden, men obalansen kvarstår. Förklaringen ligger i att redan behandlat vatten infiltrerade i sedimenterings- och avvattningsbassänger, och därmed åter tillfördes uppsamlingssystemet.

Under åren 1996-1998 tillfördes mer vatten från Vällan än vad som gick till Faluån. En anledning till detta var att områden med stor mäktighet av kisbränder och med stort avstånd till grundvattenytan (6-7 m) tvättades, vilket innebar att stora mängder vatten bands i initialt torra kisbränder. Omvända förhållanden rådde under 2006, då kisbränderna dränerade ur vatten efter det att tillförseln av vatten från Vällan upphört.

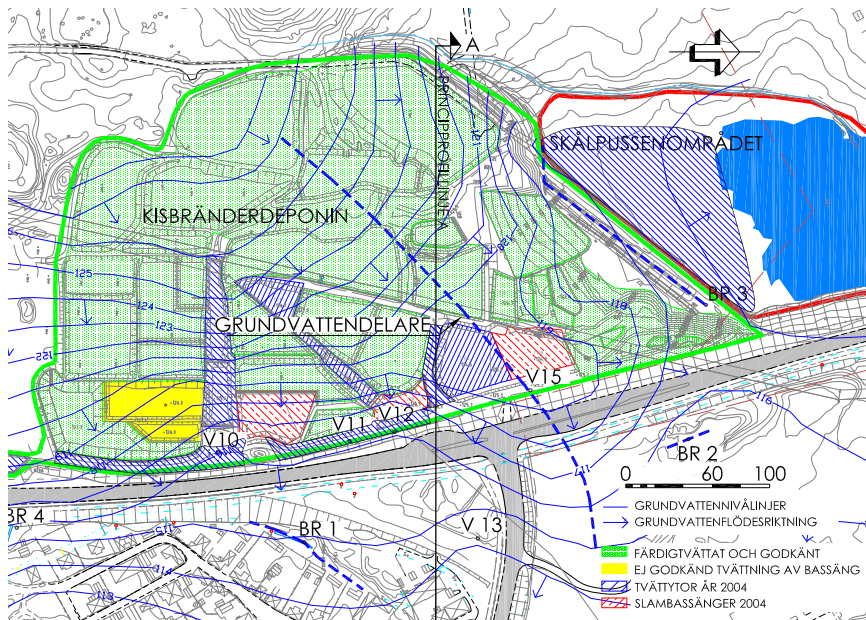
I Figur 47 visas en principbild för hur flödena fördelades under 2003.

KISBRÄNDERANERING – TVÄTTNING IN SITU
Vattenbalans för tvättning säsongen 2003



Figur 47. Storleksordning på delflöden vid tvättning av kisbränderdeponin säsongen 2003.

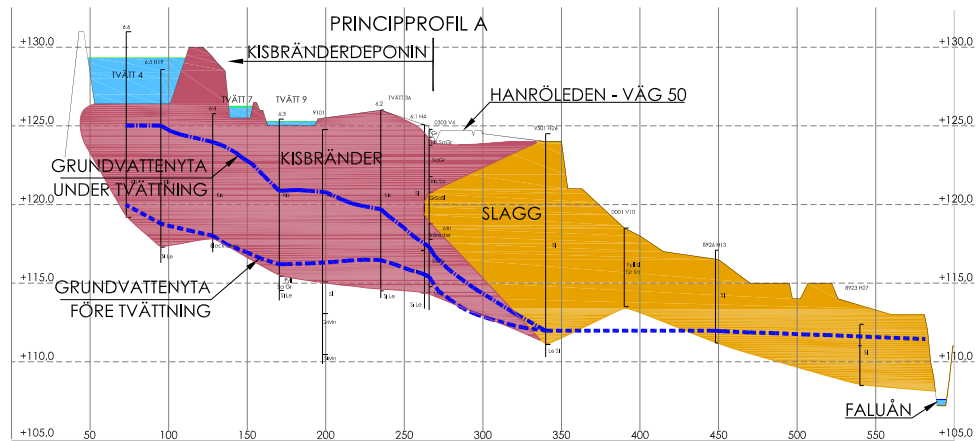
Tillförseln av tvättvatten medförde att grundvattennivån inom området låg betydligt högre under tvättperioden än normalt. Grundvattennivåer samt flödesriktningar för sommaren 2004 redovisas i nedanstående figur.



Figur 48. Grundvattennivåer (blå isolinjer med ekvidistans 1 m) samt grundvattnets flödesriktning (blå pilar) vid tvättning av kisbränderdeponin sommaren 2004. Blå, streckad linje anger grundvattendelarens läge.

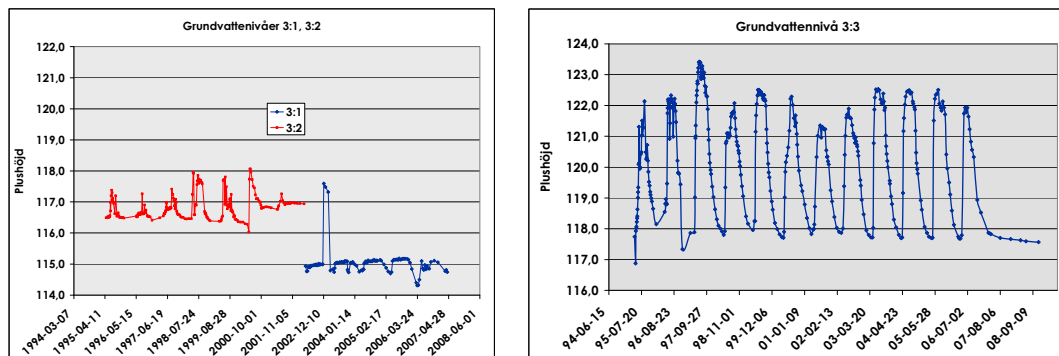
Figuren nedan redovisar slaggens och kisbrändernas mäktighet i en sektion som sträcker sig i öst-västlig riktning genom området (ungefär där brunn V13 är belägen). Som framgår av figuren är både kisbränderdeponins och slaggfyllningens

måktighet ca 10 m i sektionen. Av figuren framgår att grundvattennivån steg kraftigt i kisbränderdeponin vid tvättning, medan höjningen på grund av tvättvattentillförseln knappt var märkbar i slaggen. Orsaken är skillnaden i vattengenomsläpplighet mellan de relativt finkorniga kisbränderna och den grova slaggen.



Figur 49. Sektion genom kisbränderdeponin från öst till väst, ungefär i höjd med brunn V13.

I Figur 50 redovisas grundvattennivåns variation från 1995 och framåt i tre grundvattenrör placerade i en linje från öster mot väster genom kisbränderdeponins centrala del. Grundvattenrör 3:1 och 3:2 är placerade i östra delen av deponin i ett grovt material bestående av i huvudsak slagg. Grundvattenrör 3:3 är placerat i kisbränder i deponins centrala del. I rör 3:3 var grundvattennivåskillnaden ca 6 m beroende om tvättning pågick eller ej. I rör 3:1 och 3:2 varierade grundvattennivån normalt mindre än en meter under året.



Figur 50. Grundvattennivåns variation under perioden 1994-2008 i slagg (rör 3:1 och 3:2, till vänster) samt i kisbränder (rör 3:3, till höger).

7.8 Projektering, upphandling och bemanning

Reningsanläggningen för tvättvatten från kisbränderdeponin projekterades inledningsvis av Aquakonsult, därefter av STOCON. Upphandlingen av utrustning och installationsarbeten utfördes av Faluprojektets projektledare, Gunnar Lundqvist i samarbete med STOCON.

Övrig projektering i samband med tvättningen utfördes av GVT, vilket främst innebar mark- och lednings- och brunnprojektering. Faluprojektet tecknade ramavtal med GVT avseende utrednings-, projekterings-, installations- och kontrollarbeten, samt viss drift- och skötsel. GVT lämnade budgetpris på olika delmoment och arbetade på löpande räkning med månadsvis avstämning av upparbetade kostnader.

För utförandet av mark- och anläggningsarbeten i samband med tvättningen tecknades ramavtal med NCC. NCC var den entreprenör som Faluprojektet kontrakterat för samtliga anläggningsarbeten inom projektet, varför ingen separat upphandling för Kisbränderområdet genomfördes. På samma sätt som GVT arbetade NCC på löpande räkning med månadsvis avstämning av upparbetade kostnader.

Reningsanläggningen uppfördes av följande aktörer:

Konstruktion:	STOCON (förarbete av Aquakonsult)
Processtyrning:	BEDEM
Montage:	Svedala

Mindre arbeten som behövdes för driften av anläggningen, som exempelvis spolning av ledningar och brunnar, beställdes av projektledaren utan något särskilt upphandlingsförfarande. Det gällde även mindre utredningsarbeten.

Entreprenadarbeten med brunnsborring, grävning, ledningsläggning och liknande utfördes ofta genom enkla anvisningar, via ritningar, kortfattade skriftliga instruktioner, samt muntligen på plats. Regelrätta förfrågningsunderlag upprättades för större arbeten, såsom påförandet av sluttäckningen.

För daglig skötsel, löpande underhåll och driftkontroll var en drifttekniker heltidsanställd av Faluprojektet under hela tvättperioden från mitten av mars varje år fram till november. Under inkörningsperioden (de två första åren) arbetade ytterligare två personer (från Stora Enso) vardera mer än halvtid med tvättnings- och behandlingsanläggningen. Driftteknikern svarade för driften av tvättningsanläggningen på kisbränderområdet, samt för driften av behandlingsanläggningen. Under perioden mitten av april till oktober fanns en jourorganisation knuten till kisbrändertvättningen, bestående av personal från Stora Enso och NCC. För drift, underhåll och kontroll av pumpar, pumpledningar och brunnar svarade GVT fram till 2002, på konsultbasis. Efter 2002 ansvarade GVT för drift, underhåll och kontroll av alla anläggningar utanför kisbränderområdet (uppsamlingsbrunnar, pumpstationer, ledningar m m), medan Faluprojektet ansvarade för anläggningar inom kisbränderområdet. GVT AB svarade även för jourarbete på anläggningar utanför kisbränderområdet.

Mark- och anläggningsarbeten utfördes av NCC. I det arbetet ingick framförallt anläggande av tvättbassänger och utläggning av ledningar inom kisbränderområdet. Mindre omfattande täckningsförsök på ytor med metallhydroxidslam utfördes av NCC.

7.9 Tvättningens avslutande - överväganden

Utgångspunkten, i den ursprungliga tvättplanen samt tillståndsansökan, var att tvättning skulle pågå i 6-7 år (se avsnitt 4.3.8). Planen var att ca 10 000 m² skulle tvättas årligen.

Vid den uppföljning som gjordes årligen, efter avslutad tvättsäsong, konstaterades att vissa områden var mer svårtvättade än väntat. Framförallt deponins sydöstra delar, där en stor andel äldre (svarta, brun-svarta) kisbränder och annan fyllning förekommer. Ytor inom dessa områden fick därför tvättas flera säsonger, innan kriterierna för en färdigtvättad yta uppfylldes (se avsnitt 9.2.1).

I början av 1999, efter fyra tvättsäsonger, utreddes konsekvenserna om tvättningen av kisbränderdeponin skulle avslutas efter år 2001 (Ledin, 1999a), dvs. efter sex tvättsäsonger. Beräkningar visade att 68 000 m² av deponin då skulle vara tvättade, medan 32 000 m² ej skulle vara tvättade (exempelvis Skålpussenområdet). Den kvarvarande mängden lakbar zink inom kisbränderdeponin efter år 2001 beräknades till ca 400-500 ton, varav ca 300 ton inom ej tvättade områden.

Det framtida årliga zinkläckaget under en 10–15-årsperiod efter tvättning beräknades bli 35-60 ton/år, varav:

- ca 10-20 ton/år från tvättade delar
- ca 25-35 ton/år från otvättade områden (exkl. Skålpussenområdet)
- ca 2-5 ton/år från Skålpussenområdet

Under 2004 gjordes en prognos för det framtida metalläckaget från kisbränderdeponin (Ledin, 2004a). Prognosen gjordes utifrån antagandet att tvättning skulle pågå minst under 2005 och eventuellt till och med 2006, samt att delar av området skulle täckas med en enklare moräntäckning medan ca 1/3 av området skulle täckas mer kvalificerat (genomsläpplighet <50 mm/år). De kvarvarande lakbara metallmängderna inom området beräknades till:

- 150-200 ton zink
- 20-25 ton koppar
- 2-4 ton kadmium, samt
- 10-15 ton bly

Det framtida metalläckaget från kisbränderdeponin efter avslutad tvättning och täckning, bedömdes bli:

- 5-9 ton zink per år
- 100-300 kg koppar per år
- 4-8 ton järn per år
- 4-10 kg kadmium per år, samt
- 13-55 kg bly per år.

Efter tvättsäsongen 2005, utreddes för- och nackdelar med att köra vidare med tvättning ytterligare en säsong (Ledin, 2005b). Hittills urtvättade metallmängder, jämfördes med prognosen för 2005 respektive 2006, samt med kvarvarande mängd lakbara metaller i deponin efter tvättsäsongen 2004 (Tabell 16).

Tabell 16. Urtvättade och kvarvarande lakbara metallmängder i kisbränderdeponin (Ledin, 2005b).

METALL	1995-2004	Ber. 2005	Ber. 2006	Rest. lakbart
Zink	1 396 ton	45 ton	40 ton	110-160 ton
Järn	1 238 ton	60 ton	50 ton	i.u.
Koppar	24 ton	1,2 ton	1 ton	19-24 ton
Kadmium	2,3 ton	60 kg	50 kg	2-4 ton
Bly	i.u.	170 kg	150 kg	10-15 ton

Jämfört med totalt urtvättade mängder, skulle ytterligare en säsong tvättning inte göra så stor skillnad. I förhållande till kvarvarande lakbara mängder i deponin, skulle ytterligare tvättsäsong göra skillnad, framförallt med avseende på zink och koppar. Hur detta skulle påverka det framtida metalläckaget från deponin var svårt att förutsäga, men bedömningen gjordes att metallhalterna i grundvattnet kunde reduceras med så mycket som 15-30 %. Det skulle innebära motsvarande minskning av metalläckaget.

Kostnaden för ytterligare en tvättsäsong beräknades till ca 4 Mkr. Förslagsvis kunde tvättningen avslutas lite tidigare än normalt, redan i augusti/september, så att avetablering kunde slutföras under ordinarie säsong. Åtgärden beräknades vara kostnadseffektiv, jämfört med en mer kvalificerad sluttäckning, eller en framtida uppsamling och rening av lakvattnet från kisbränderdeponin.

Utifrån utredningens slutsatser, fattades beslut om att fortsätta tvättningen under 2006, till och med augusti månad.

7.9.1 Avvägningar avseende Skålpussenområdet

Skålpussenområdet, norr om den egentliga kisbränderdeponin, omfattar vattenspejeln Skålpussen samt den plana ytan mellan Skålpussen och kisbränderdeponin. Inom Skålpussenområdet förekommer kisbränder, som inte kunde tvättas med hjälp av bassänger eftersom bärigheten i området är låg.

Hur Skålpussenområdet skulle hanteras utreddes i flera omgångar. De första utredningarna tillkom under 1999, varav den första redovisade konsekvenserna om tvättningen av kisbränderdeponin skulle avslutas efter år 2001 (Ledin, 1999a), se ovan. Under 1999 gjordes även två åtgärdsutredningar, med förslag till tekniska lösningar och beräkning av kostnader för efterbehandling av Skålpussenområdet (Ledin, 1999b samt Ledin, 1999c).

Mängden kvarvarande lakbar zink inom området beräknades vara ca 150 ton och det framtida årliga zinkläckaget ca 10-15 ton/år om inga åtgärder vidtogs. Mängden kisbränder inom området beräknades till ca 28 000 m³ kisbränder, varav ca 7 300 m³ i Skålpussen. Sammanlagt sju alternativ studerades i de två utredningarna:

- 1) Urgrävning av kisbränder i Skålpussen (flytt till kisbränderdeponin) samt tvättning av resterande kisbränder inom Skålpussenområdet.
- 2) Täckning av den del av området som ej har vattenspegel (ca 13 000 m²). Tätskikt av geomembran, dräneringsskikt av sand, samt skyddsskikt av morän.
- 3) Täckning av hela den del av området där kisbränder förekommer (även stor del av Skålpussen), ca 23 000 m². Tätskikt av geomembran, dräneringsskikt av sand, samt skyddsskikt av morän.
- 4) Mindre område tvättas, där de största föroreningarna finns. En viss del av kisbränderna lastas in till området söder om väg.
- 5) En enklare täckning, enbart med morän, på samma yta som i alternativ 2.
- 6) Enklare täckning, enbart morän, viss del av området grävs ur och massorna flyttas till det område som ska täckas.
- 7) Som alternativ 6, men med tätskikt av geomembran.

Resultatet av åtgärdsutredningen framgår av Tabell 17. Slutsatsen av utredningen var att alternativ 7 var det mest kostnadseffektiva, medan alternativ 4 var mest effektivt ur läckagesynpunkt.

Tabell 17. Resultat av åtgärdsutredningar för Skålpussenområdet genomförda 1999 (Ledin 1999b samt Ledin 1999c).

Alternativ	Kostnad	Zinkläckage efter åtgärd
1	7,7 Mkr	1,2 ton Zn/år
2	3,0–3,3 Mkr	2,2 ton Zn/år
3	5,4–6,1 Mkr	2,2 ton Zn/år
4	6 Mkr	0,9 ton Zn/år
5	1,5 Mkr	5 ton Zn/år
6	1,5 Mkr	2,9 ton Zn/år
7	2,0–2,1 Mkr	1,5 ton Zn/år

Under 2003 återupptogs övervägandena kring Skålpussenområdet. Kompletterande provtagningar utfördes, för att fastställa kvarvarande lakbara metallmängder (Ledin, 2003). Undersökningen visade att det nu fanns ca 60 ton lakbar zink inom

området, jämfört med de ca 135 ton som beräknats utifrån tidigare provtagningar (1996, 1999 och 2000). Det framtida zinkläckaget från området, utan åtgärd, beräknades nu till ca 1-3 ton/år.

Ett par enklare åtgärdsalternativ redovisades. Den ena åtgärden innebar att urlakningen av området skulle minskas genom att anlägga ett dike runt området, vilket bedömdes ge en minskning av grundvattenytans gradient inom området (från 2 % till 0,5 %). Läckaget av zink beräknades efter denna åtgärd minska till ca 0,1-0,7 ton/år. Den andra åtgärden innebar att urlakningen från Skålpussenområdet skulle påskyndas genom att samla upp förorenat vatten från området och rena det i behandlingsanläggningen. Uppsamlingen föreslogs ske med hjälp av ett uppsamlingsdike tvärs över Skålpussen eller genom att sätta en brunn i Skålpussens djupare del och via den länshålla området. För att ytterligare förstärka urlakningen föreslogs sprinkling utföras inom området. Denna åtgärd bedömdes minska den kvarvarande lakbara mängden zink till ca 15 ton, samt det framtida zinkläckaget till mindre än 1 ton/år.

Slutligen valdes alternativet att länshålla Skålpussen så att den torrlades och samtidigt sprinkla området. Läns-pumpningsvattnet leddes till behandlingsanläggningen via Br3. Ej förorenat vatten från skogsområdet väster om kisbränderdeponin leddes via ledning förbi Skålpussen, direkt till utloppet. Åtgärderna beskrivs i (Ledin, 2004b). Tvättning av Skålpussenområdet genomfördes på detta sätt under maj-oktober 2004, 2005 och 2006 (t.o.m. augusti).

7.9.2 Avvägningar avseende Hanröleden

Under 2003 genomfördes en utredning som syftade till att klargöra hur kisbränderna längs Hanröleden skulle hanteras (Ledin och Hanæus, 2003). Mängden kisbränder under och längs vägen beräknades till ca 38 000 – 47 000 m³ och mängden lakbar zink beräknades till ca 27-35 ton. Det framtida zinkläckaget uppskattades till ca 1-3 ton/år för de närmaste åren, för att därefter avta. Delar av ytan bedömdes möjlig att tvätta genom sprinkling, vilket beräknades minska det framtida läckaget till ca 0,8-2,5 ton/år. En täckning av vägdiket och området mellan vägdiket och tvättbassängerna med tätskikt av typ geomembran, beräknades minska det framtida zinkläckaget till ca 0,2-0,6 ton/år. Täckningen beräknades kosta ca 2,8–3,5 Mkr.

De åtgärder som slutligen utfördes längs Hanröleden, var sprinkling av möjliga delar, samt täckning av vägslänten och området upp mot tvättbassängerna. Täckningen utfördes dock med ett tätskikt av morän istället för geomembran, se vidare avsnitt 8.2.

8 Genomförande – sluttäckning

Kisbränderdeponin terrasserades och sluttäcktes huvudsakligen under 2007. En mindre yta återstod då att täcka, vilket utfördes under hösten 2008.

8.1 Terrassering

För att uppnå en god vattenavrinning från deponiytan omformades den relativt flacka överytan, så att större lutningar erhöles. För att begränsa volymen massor som behövde schaktas respektive fyllas, utformades deponin med ett dike genom området, till vilket avrinnande vatten från olika delytor avleddes, se Figur 52. Terrasseringen omfattade ca 40 000 m³ massor.

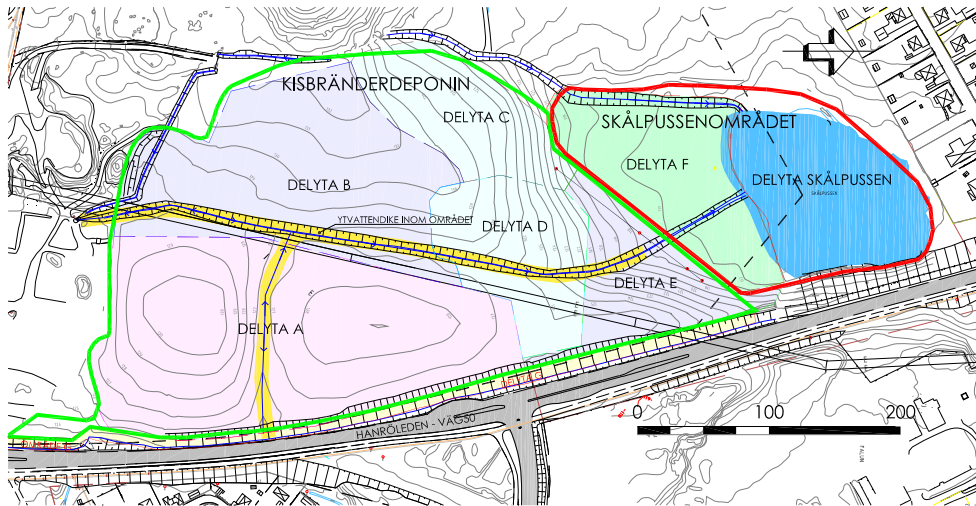


Figur 51. Kisbränderdeponin under pågående terrasseringsarbeten, 2007. Till vänster i bilden syns upplaget av morän (sluttäckningsmassor) och till höger syns Skålpussen där vattennivån sänktes 0,5 m för att öka bärigheten inför påförandet av sluttäckningsmassor.
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

8.2 Utläggning av tät- och skyddsskikt

Sluttäckningen utgörs av tät- och skyddsskikt av morän, som erhållits/köpts in under tiden som tvättning pågick (se avsnitt 5.5). Tät- och skyddsskiktens utformning varierar inom området, beroende av vilka resthalter av metaller som uppnåddes efter tvättning. Inom delyta A förekommer störst kvarvarande mängder lakbara metaller. Delytorna D, E och F innehåller mindre mängd lakbara metaller än yta A. Inom delytorna B och C är den kvarvarande mängden lakbara metaller betydligt mindre än inom övriga ytor. I Skålpussen (blåmarkerad yta i Figur 52) förekommer också kisbränder, vilka inte sluttäcktes. En av anledningarna är att bärigheten inom området är dålig vilket innebär att det skulle bli kostsamt att täcka det. Skålpussen

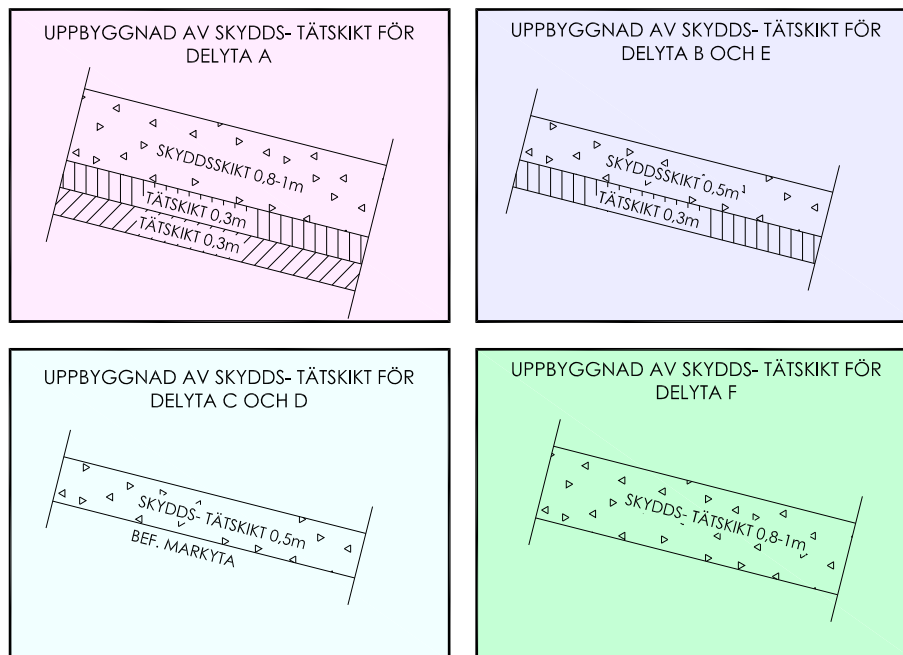
är grund vilket innebär att om en täckning skulle påföras, försvinner vattenspegeln. Vattenspegeln värderas högt av de boende norr om Skålpussen. En urgrävning av kisbränderna i Skålpussen diskuterades, men kostnaden bedömdes bli för stor i förhållande till nyttan.



Figur 52. Kisbränderdeponins utseende efter sluttäckning, med de olika delytorna angivna.

Inom gulmarkerade områden (diken) utfördes en extra tätning med bentonitmatta och HDPE-duk.

Skiktens mäktighet inom de olika delområdena framgår av Figur 53.



Figur 53. Sluttäckningens utformning inom de olika delytorna (se Figur 52).

Tabell 18. Material och utförande av sluttäckningen inom de olika delytorna på kisbränderdeponin.

	TÄTSKIKT	SKYDDSSKIKT	KVARVARANDE MÄNGD LAKBARA METALLER
Delyta A	2 skikt à 0,3 m, harpad morän, packad med vält	0,8-1,0 m morän	+++
Delyta B och E	0,3 m harpad morän, packad med vält	0,5 m morän	++
Delyta C	-	0,5 m morän, packad med vält	+
Delyta D	-	0,5 m morän	+
Delyta F (Skålpussenområdet)	-	0,8-1,0 m morän	+
Delyta G (Vägslänt)	ca 0,5 m harpad morän, packad med vält	ca 0,3 m slagg	+

Totalt användes drygt 118 000 m³ morän vid sluttäckningen av kisbränderdeponin. Moränen hade varierande finkornshalt. Till tätskiktet valdes morän med hög finkornshalt, och all morän till tätskiktet harpades så att inga stenar större än 100 mm förekom.

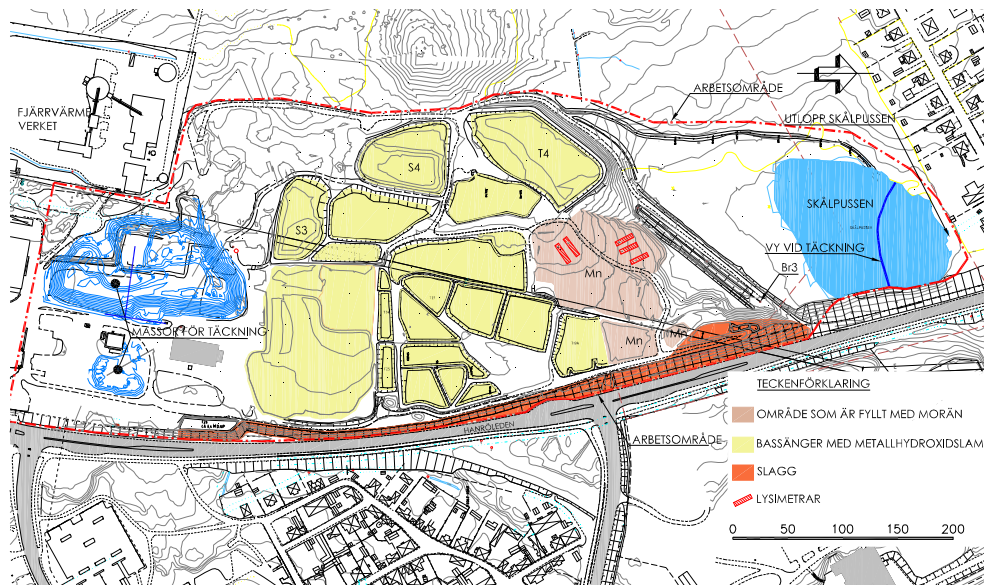
Inom Skålpussenområdet (område F, se figur) är bärigheten dålig. Kisbränderna underlagras av torv och en lös lera och grundvattenytan står endast någon decimeter under markytan.

Sluttäckning av området var tänkt att utföras vintertid. Genom att vattenytan i Skålpussen sänktes 0,5 m (genom pumpning) inför och under arbetena, kunde massor läggas ut utan alltför stora problem.

Vägslänten mot Hanröleden utgjordes sedan tidigare av slagg. Inför täckning grävdes slagg ur, varefter ett tätskikt av 0,5 m harpad morän påfördes. Därefter lades slaggen åter, i form av ett 0,3 m mäktigt skyddsskikt.

Terrasseringen och utläggningen av morän gav tidvis upphov till damning på grund av fordonstrafik. Dammbekämpning utfördes genom att vägarna fuktades med vatten.

I samband med tvättningen av kisbränderdeponin, avvattnades metallhydroxidslammet från reningsanläggningen på färdigtvättade ytor. Tack vare metallhydroxidslammets täthet, fungerar det som ett extra tätskikt. Metallhydroxidslammet lades på de ytor som var mest svårtvättade och där de högsta resthalterna efter tvättning förekommer. Vilka ytor som har ett extra tätskikt av metallhydroxid framgår av Figur 54.

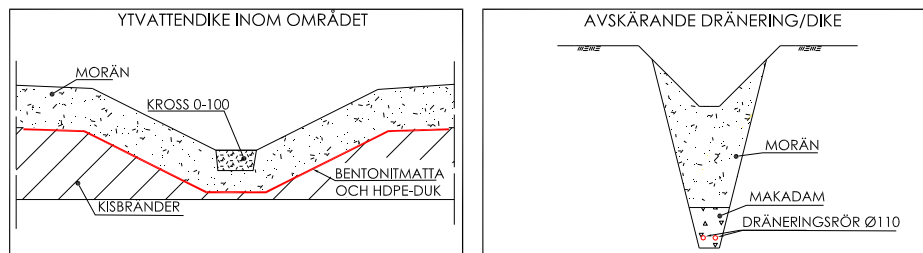


Figur 54. Kisbränderdeponin inför sluttäckning. På de gulgröna ytorna är avvattnat metallhydroxidslam utlagt som ett extra tätskikt.

Den sluttäckta ytan sprutsåddes med gräs.

8.3 Avskärande dränering/dike och uppsamlingsdike för ytvatten

För att minska vattenflödet genom kisbränderdeponin efter sluttäckning anlades ett avskärande dike uppströms (väster om deponin), samt en avskärande dränering/dike sydväst om deponin. Dräneringen är till för att samla upp grundvatten och diket är till för uppsamling av ytvatten. Det avskärande diket i nordvästra delen är även till för att minska grundvattnets gradient inom delyta F. Uppsamlat vatten avleds till dagvattenssystemet. Dikenas läge framgår av Figur 52. Den avskärande dräneringens utformning i sektion framgår av Figur 55.



Figur 55. Utformning av ytvattendike på deponins överyta, samt grundvattenavskärande dränering/dike väster om deponin.

För uppsamling av avrinnande ytvatten på den sluttäckta ytan anlades ett dike i nord-sydlig riktning genom området, samt ett kortare dike i öst-västlig riktning, se Figur 52. Diket tätades i botten med bentonitmatta och HDPE-duk, se Figur 55.

8.4 Rivning av byggnader

Den kvarstående byggnaden på deponiområdet, dvs. den del av den f.d. svavelsyrafabriken som använts som reningsanläggning, revs i samband med sluttäckningen av kisbränderdeponin (2007).



Figur 56. Byggnaden som revs i samband med sluttäckning av kisbränderdeponin 2007. Till höger nedmontering av processutrustning för kalkfällning.

Tegel och andra inerta massor från rivningen lades i två av de tidigare tvättbassängerna (T4 och S4), innan dessa sluttäcktes. Övrigt material transporterades till extern deponi.

Genom området går två dagvattenledningar, varav en används efter sluttäckning för bortledning av vatten som samlas upp i diken och grundvattenavskärande dränering. Den andra dagvattenledningen, som tidigare var ansluten till svavelsyrafabriken och omgivande planer, proppades i samband med sluttäckningen.

8.5 Projektering, upphandling

Terrasseringen och sluttäckningen av kisbränderdeponin projekterades av GVT och handlades upp i form av en styrd totalentreprenad.

Entreprenaden utfördes av NCC. Byggkontrollen utfördes av GVT.

9 Kontrollåtgärder

9.1 Kontrollprogram

Ett särskilt kontrollprogram användes för uppföljning av tvättningen av kisbränderdeponin. Programmet togs fram under 1995 (Faluprojektet, 1995) och reviderades 1998, samt 2000. I programmet ingick vattenprovtagningar, analyser och kontrollmätningar av grundvattennivåer enligt följande:

- Metallhalter i utgående, renat tvättvatten
- Effektivitet i uppsamlingen av tillfört tvättvatten, genom kontroll av grundvattennivåer nedströms pumpplatserna.
- Metalltillförseln till Faluån, genom mätning av metalltransporten i olika punkter utmed ån.
- Uppehållstid för tvättvatten i deponin.

Utgående renat vatten från behandlingsanläggningen (Pr5) provtogs i utloppet från sedimenteringsbassängen, med hjälp av tidsstyrd provtagare. Dygnsprover analyserades med avseende på pH och ett veckoblandprov analyserades med avseende på metaller (Zn, Cd, Cu, Cr, Pb och Hg). Utgående flöde mättes med vattenmätare och lästes av vid varje provtagningstillfälle.

Uppsamlingsystemets effektivitet kontrollerades genom veckovis nivåmätning i sex grundvattenrör nedströms pumpplatserna (Rb8912, 9506, 9507, 8926, 8923 och 9505). För varje rör fanns en ”rapporteringsnivå” (min-max), då åtgärder måste vidtas för att justera nivån och rapportera åtgärderna till tillsynsmyndigheten. Grundvattennivån nedströms kisbränderdeponin fick inte sänkas för mycket, på grund av risken för sättningar under bebyggelsen och den fick inte bli för hög, eftersom det innebar risk för vattenskador på nedströms belägna fastigheter.

Metalltillförseln till Faluån kontrollerades genom att mäta metalltransporten i Faluån, nedströms den sträcka som påverkades av metalläckage från kisbränderdeponin. Den säkraste provpunkten bedömdes vara Kristinebron. Förfarandet vid flödesmätning beskrivs närmare i [bilaga 1](#). Bidraget av metaller från kisbränderdeponin mot Skålpussen och Östanforsån, mättes i Skålpussens utlopp. Provtagning och flödesmätning utfördes 1 g/vecka under tvättsäsong (1 ggr/månad övrig tid), med analys av zink, koppar, kadmium och bly. Utöver Faluprojektets provtagning i Faluån, genomfördes provtagning uppströms Faluån (Varpans utlopp) samt nedströms (Slussen) i Dalälvens vattenvårdsförbunds (DVVF:s) regi med frekvensen 1 ggr/månad. DVVF utförde även provtagning vidare nedströms i Dalälven.

Uppehållstiden för tvättvattnet bestämdes genom uppföljning av förändringen i pH och metallhalter i provtagningsrör/-brunnar närmast nedströms de ytor som tvättades för tillfället. Förfarandet genomfördes en gång, vid start av varje tvättsäsong.

Från och med 1998 gjordes förändringar i kontrollprogrammet. Bly ströks generellt ur analysprogrammet, eftersom endast halter under detektionsgränsen (20 ug/l) hade uppmätts. För utloppet från Skålpussen, samt vid Kristinebron ströks koppar och kadmium från analysprogrammet. Uppföljning av zink bedömdes vara tillräckligt här. Omfattningen av metallanalyserna på utgående renat vatten från behandlingsanläggningen skars också ner, eftersom flera parametrar (Cr, Pb, Hg) hela tiden legat under detektionsgränserna.

Dessutom utgick den årliga bestämningen av tvättvattnets uppehållstid i kisbränderdeponin. Erfarenheter bedömdes finnas från de första tvättsäsongerna, samtidigt som den exakta uppehållstiden var svårbestämbar.

Från och med 2000 glesades analysfrekvensen ut för Pr5, så att zink, koppar och järn analyserades 1 ggr/v (veckoblandprov) och kadmium analyserade 1 ggr/månad.

9.2 Driftuppföljning

Utöver kraven i kontrollprogrammet, gjordes mätningar och provtagning för löpande driftuppföljning av kisbrändertvättningen. I driftuppföljningen ingick bl.a.:

- Provtagning i de brunnar som pumpade in förorenat grundvatten (tvättvatten) till behandlingsanläggningen. Vattenprover togs en gång per vecka, där åtminstone pH, konduktivitet och zink bestämdes. Pumpade flöden mättes med hjälp av vattenmätare.
- Provtagning på inkommande vatten till behandlingsanläggningen. Vattenprover togs minst en gång per vecka för analys av pH, konduktivitet och zink. Dessutom mättes inkommande flöde med hjälp av vattenmätare.
- Nivåmätning och provtagning/analys i ytterligare grundvattenrör, efter behov.

Under pågående tvättning kontrollerades pumparna i brunnarna för uppsamling av grundvatten ca 5 dagar i veckan, så att inga driftstopp hade inträffat. I samband med det kontrollerades även vattennivåer i brunnarna, för att bedöma om rensning av brunnar eller rengöring av pumpar måste ske.

Vattennivån i tvättbassängerna kontrollerades fem dagar i veckan, för att tillse att de hela tiden var vattenfyllda och att inga läckage/genombrott genom invallningarna skett.

Samtliga vattenmätare lästes av tre gånger per vecka för att kontrollera att rätt vattenmängder pumpades från de olika uppsamlingsbrunnarna, från Vällan och från behandlingsanläggningen.

9.2.1 Kriterier för färdigtvättad yta

Kriterierna för när tvättning av en delyta kunde anses klar, diskuterades och fastställdes av styrgruppen 1996-04-17. Kriterierna togs fram med utgångspunkt i de uppsatta målen för efterbehandlingen av kisbränderdeponin.

Kriteriet för en färdigtvättad yta:

- 1) Minst 20 bäddvolymen ska tvättas igenom kisbränderna.
- 2) Tvättningen ska ske intermittent minst två gånger, med dränering däremellan.
- 3) Halten lakbara zink i tvättade kisbränder bör vara lägre än 300 mg/kg som medelvärde per bassäng.
- 4) Grundvattenprov tagna nedströms och i anslutning till bassängen ska ha en zinkhalt som är lägre än 200 mg/l.

Punkterna 3-4 ska gälla som riktvärden tills dess att annat beslutas.

Med en bäddvolym avsågs halva volymen av det material som tvättades under aktuell bassäng. För en bassäng på 100 m² med 5 m kisbränder under, så är en bäddvolym $100 \cdot 5/2 = 250$ m³. Tvättning med 20 bäddvolymen, innebär då att ca 50 000 mm (l/m², år) vatten tillförts ytan, motsvarande ca 150 nettoårsnederbörder i Falun. Antal bäddvolymen tillfört tvättvatten till varje bassäng, mättes med vattenmätare.

Nedströms varje tvättbassäng installerades minst ett grundvattenrör, ur vilket/vilka vattenprover togs. För att tvättningen av bassängen skulle avslutas, måste zinkhalten i grundvattnet vara lägre än 200 mg/l.

När kriterierna 1, 2 och 4 var uppfyllda, utfördes kontroll av kisbrändernas innehåll av lakbara metaller i bassängen. Antalet prover varierade beroende av bassängens storlek samt hur höga halter lakbara metaller som förekom inom det område bassängen var placerad. Normalt gjordes ca 2-4 borrhningar per bassäng. I varje borrhpunkt togs ett prov i det översta lagret (ca 0,1-0,2 m djup) och därefter på varje meter till underkant kisbränder. Antalet prover per bassäng vilka lakades och analyserades varierade från ca 10 till 30.

Provtagningar, resultatsammanställning o.s.v. utfördes och rapporterades av GVT efter varje avslutad tvättsäsong, varefter Faluprojektets styrgrupp beslutade om bassängen skulle godkännas som färdigtvättad eller inte.

Omfattningen av tvättning kom därmed att variera mellan olika delar av deponin. Området där den största mängden lakbara metaller förekom (bassäng 3 och 5) tvättades med ca 100 st bäddvolymen vatten. Områden där sprinkling använts och mängden lakbara metaller varit liten, tvättades med som minst ca 10 st bäddvolymen.

9.2.2 Driftövervakning – larm – säkerhet

Samtliga anläggningsdelar (behandlingsanläggning, pumpar, brunnar, tvättbassänger osv.) kontrollerades av personal under dagtid måndag-fredag. Övrig tid fanns larm vid behandlingsanläggningen kopplat till jourhavande. Jourberedskap fanns 24 timmar per dygn under tvättsäsong.

I behandlingsanläggningen var larmen kopplade till höga nivåer och flöden i anläggningens olika delar. Beroende av larmets/felets art, vidtogs olika åtgärder. Vid risk för översvämningar i anläggningen eller vid risk för att orenat vatten skulle gå ut till Faluån, stängdes inkommande vatten av automatiskt. Istället leddes uppsamlat vatten till "Returen" - en speciell bassäng för återinfiltration av bräddat vatten.

Larm utgick även vid för lågt inkommande flöde (från uppsamlingsbrunnarna), så att orsaken kunde kontrolleras och eventuella fel åtgärdas.

9.3 Byggkontroll

Byggkontroll av anläggningsarbeten och anvisningar för hur arbeten skulle utföras lämnades av Gunnar Lundqvist, projektledare och av Bo Ledin, GVT.

9.4 Rapportering

Miljörapport upprättades varje år för åtgärderna på kisbränderdeponin, liksom för Faluprojektets övriga åtgärder. I miljörapporten redovisades bland annat metalltransporter i Faluån nedströms kisbränderdeponin (Kristinebron), samt grundvattnivåer i de grundvattenrör som ingick kontrollprogrammet.

Varje år upprättades även en verksamhetsrapport för Faluprojektet, i vilken det framgick vilka åtgärder som vidtagits under året.

I samband med styrgruppens möten rapporterades vilka arbeten som utförts, samt resultat av de olika provtagningarna.

9.5 Ekonomiuppföljning

Faluprojektets projektledare har lämnat löpande ekonomisk uppföljning till styrgruppen i form av månadsredovisningar, samt vid varje styrgruppsmöte (ca 4 ggr/år). Ekonomisk uppföljning var en stående punkt på dagordningen för styrgruppsmötena. Det ekonomiska utfallet redovisades i Faluprojektets årliga verksamhetsrapporter.

Under den period då Stora Kopparbergs Bergslags AB/Stora Enso utsåg projektledaren (1992-2004), sköttes bokföringen av Stora Kopparbergs Bergslags AB/Stora Enso. Efter 2004, då tillsynsmyndigheterna utsåg projektledare, överfördes bokföringen till Länsstyrelsen i Dalarnas län.

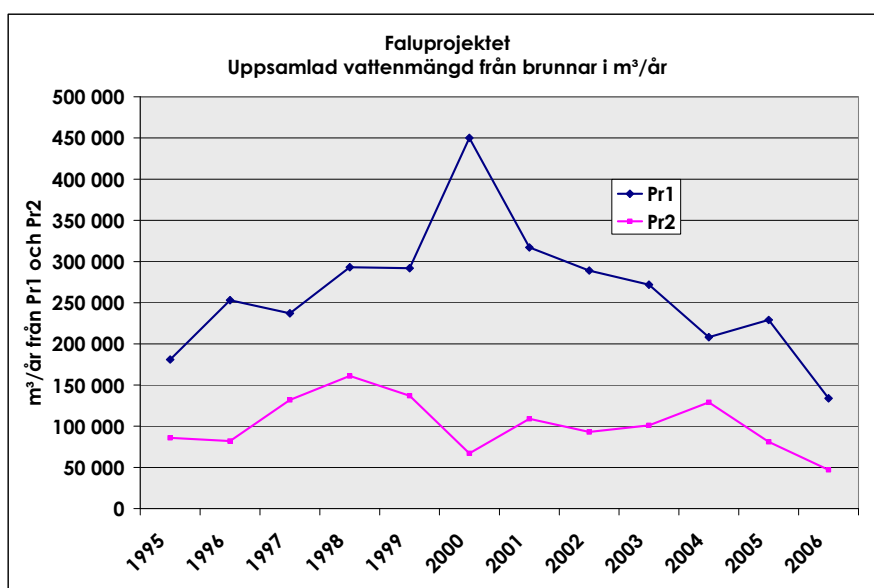
10 Projektuppföljning - utvärdering

10.1 Grundvattenkvalitet under och efter tvättning

Innan tvättningen startade uttogs 14 grundvattenprover inom kisbränderdeponin. De analyserades med avseende på kadmium, koppar, bly, zink och järn. Uppmätta halter varierade enligt nedan:

Kadmium	0,01 - 0,95 mg/l	Zink	35 - 5 300 mg/l
Koppar	0,01 - 2,0 mg/l	Järn	140 - 9 900 mg/l
Bly	0,05 - 3,2 mg/l		

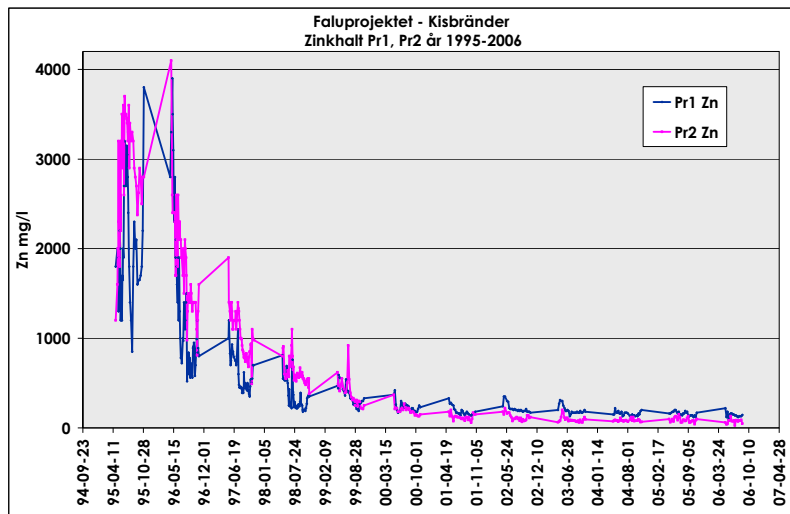
Under pågående tvättning följdes metallhalterna i uppsamlat vatten upp. Dels i Br 1 och V13, dels i de samlade inflödena till reningsanläggningen; Pr1 (från uppsamlingsbrunnar inom deponin) och Pr2 (från uppsamlingsbrunnar utanför deponin).



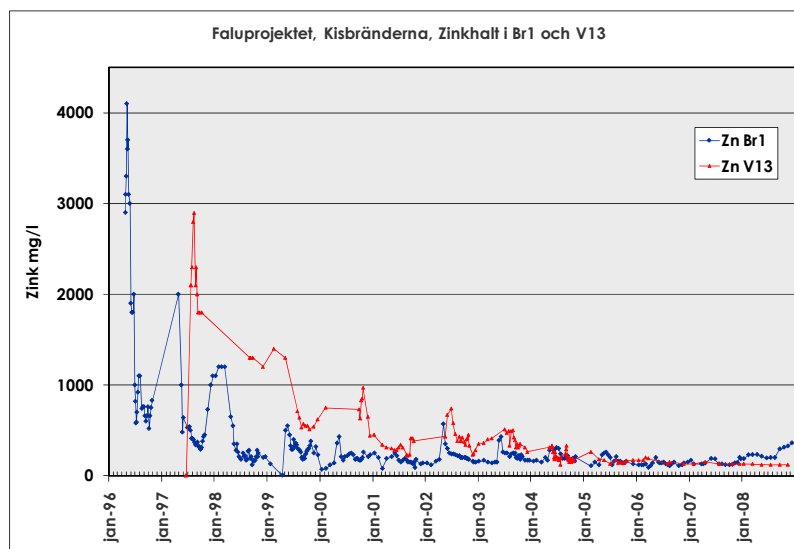
Figur 57. Uppsamlad vattenmängd för Pr1 (brunnar inom kisbränderdeponin) samt Pr2 (brunnar nedströms kisbränderdeponin) under tvättning.

Som framgår av diagrammet i Figur 57, samlades huvuddelen av flödet upp via Pr1. Till Pr1 var fyra brunnar anslutna, och drygt 95 % av uppsamlat vatten kom från Br1 och V13.

Uppmätt zinkhalt i brunnarna Br1 och V13, samt i Pr1 och Pr2 under hela tvättperioden redovisas i Figur 58- Figur 59. Pr1 och Pr2 följdes upp från 1995 fram till hösten 2006 när behandlingsanläggningen stängdes och Br1 och V13 följdes upp 1996-2008. Zinkhalterna var mycket höga när tvättningen började 1995, upp till 3 000-4 000 mg/l. Under tvättsäsong erhöles en spädning. Under de första åren av tvättningen ökade halterna i Br1 och V13 under vinterhalvåret, när inget tvättvatten tillfördes. För varje år minskade dock haltökningen och från och med 2003 var höjningen av halten marginell under vinterhalvåret. Tvättningen avslutades sommaren 2006 och täckningen av området slutfördes vid årsskiftet 2007/2008. Under 2008 varierade zinkhalten i Br1 och V13 mellan 130 och 362 mg/l.

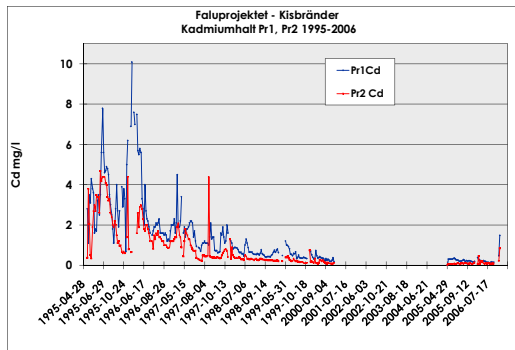


Figur 58. Uppmätt zinkhalt i Pr1 och Pr2 under perioden 1995-2006.

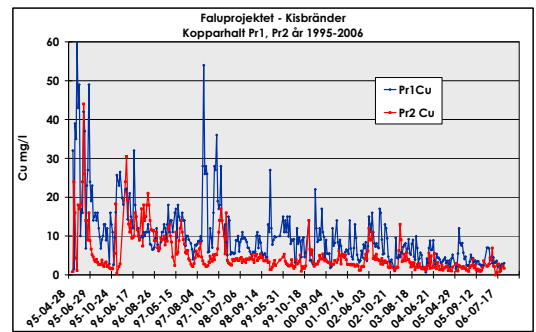


Figur 59. Uppmätt zinkhalt i Br1 och V13 under perioden 1996-2008.

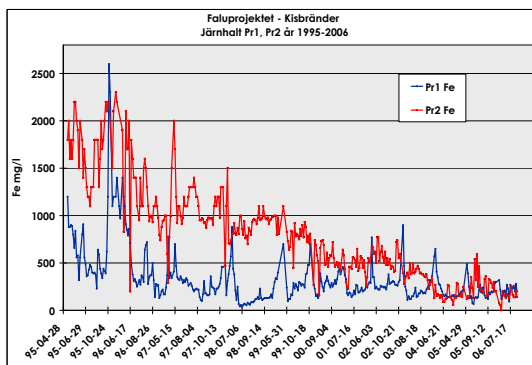
Övriga metallhalter i Pr1 och Pr2 redovisas i Figur 60 - Figur 62.



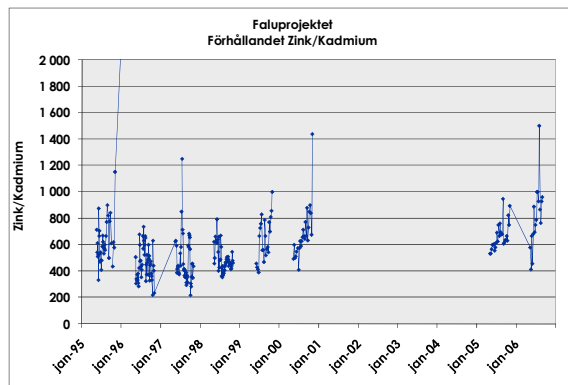
Figur 60. Uppmått kadmiumhalt i Pr1 och Pr2 under perioden 1995-2006.



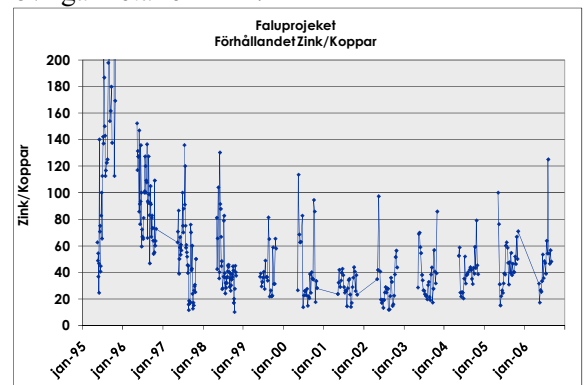
Figur 61. Uppmått kopparhalt i Pr1 och Pr2 under perioden 1995-2006.



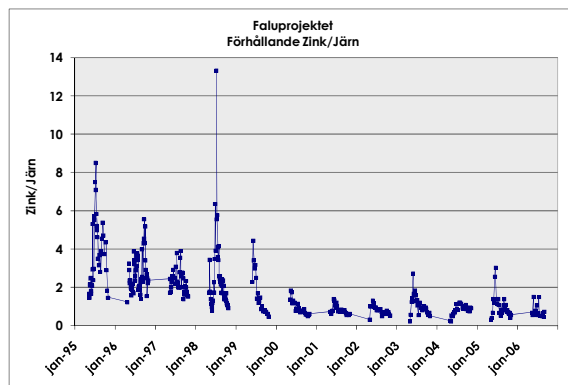
Figur 62. Uppmått järnhalt i Pr1 och Pr2 under perioden 1995-2006.



Figur 63. Zn/Cd-kvot i Pr1 under perioden 1995-2006.



Figur 64. Zn/Cu-kvot i Pr1 under perioden 1995-2006.



Figur 65. Zn/Fe-kvot i Pr1 under perioden 1995-2006.

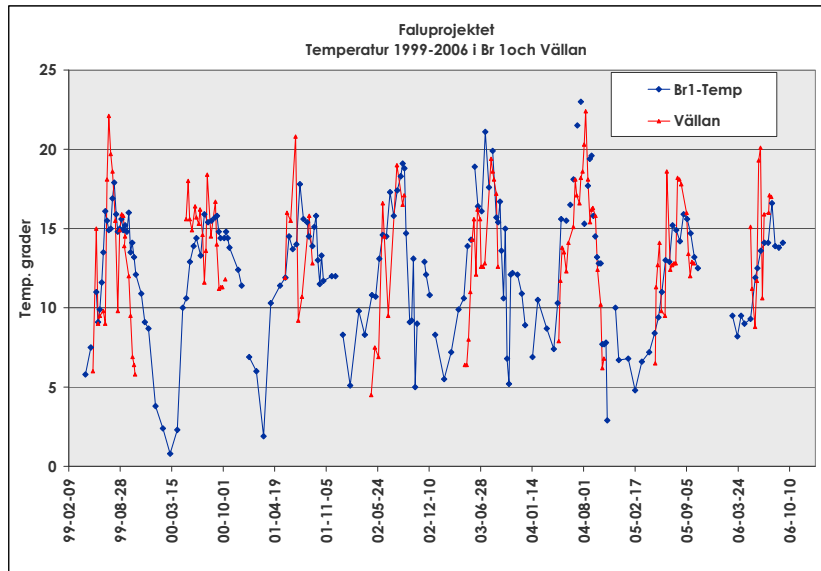
Halterna i uppsamlat grundvatten avklingar under tvättperioden för samtliga analyserade metaller, även om förloppet är olika tydligt och olika snabbt för de olika metallerna.

Differensen i metallhalt mellan Pr1 och Pr2 varierar också under perioden, vilket sannolikt beror på att olika delar av deponin tvättades under olika delperioder.

I diagrammen nedan (Figur 63-Figur 65) redovisas förhållandet (kvoten) mellan zink och övriga metaller i Pr1.

Kvoten zink/kadmium visade en något stigande tendens under tvättperioden. Zink/koppar-kvoten sjönk de första åren, för att åter stiga något i slutet av perioden. Kvoten zink/järn avklingade i början av perioden för att sedan stabiliseras.

I Figur 66 nedan redovisas temperaturen i sjövattnet från Vällan (tvättvattnet) samt i uppsamlat i grundvattnet från Br1 under tvättperioden 1995-2006.

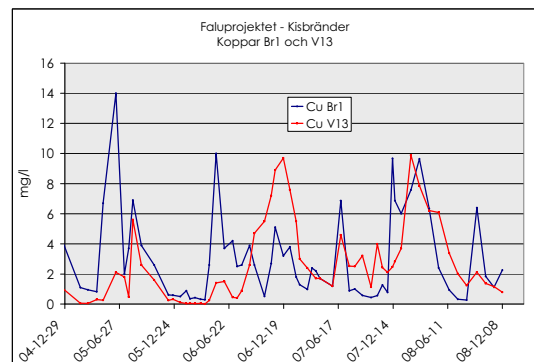
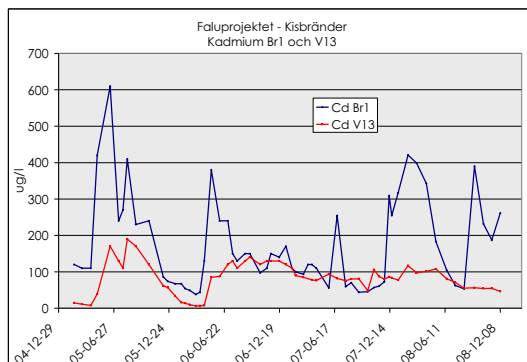


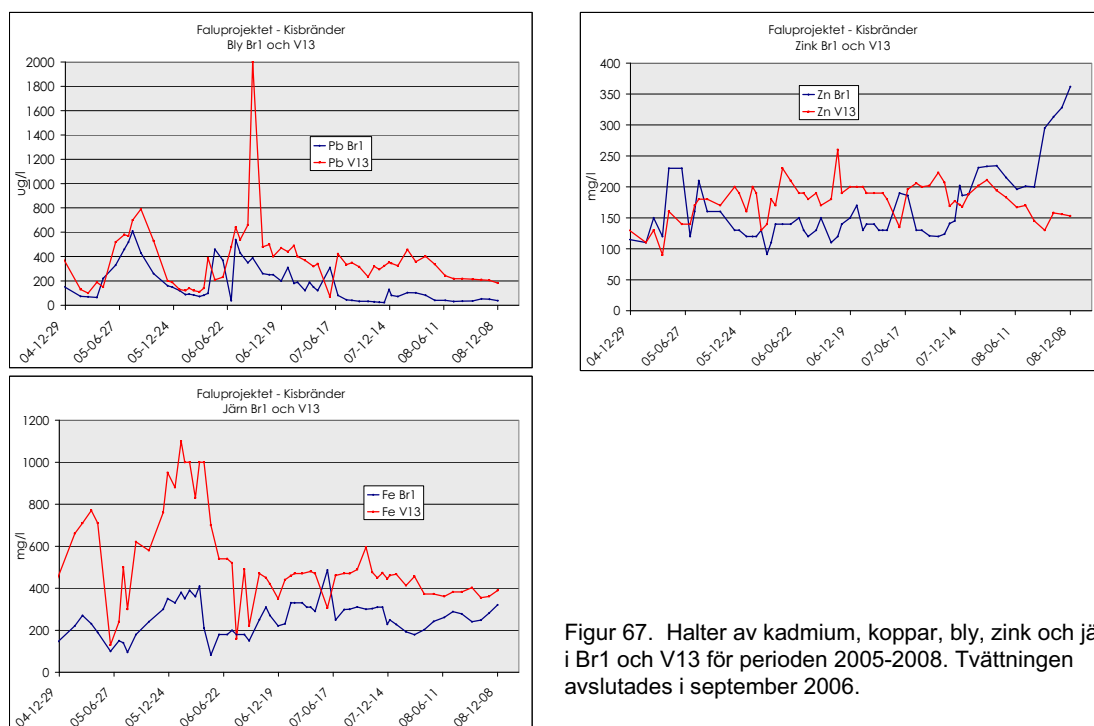
Figur 66. Uppmätta temperaturer i sjövattnet från Vällan (tvättvattnet) och uppsamlat grundvattnet i Br 1.

Som framgår av förskjutningen mellan kurvorna i figuren var det kort uppehållstid från det att vattnet påfördes via infiltrationsbassängerna, tills dess att det togs ut i Br1. Under vissa perioder var temperaturen högre i Br1 än i Vällanvattnet och anledningen till det är att temperaturen på Vällanvattnet mättes innan det distribuerades till de olika tvättbassängerna där temperaturen kunde stiga ytterligare.

Grundvattenkvalitet efter avslutad tvättning

I diagrammen nedan redovisas halterna för kadmium, koppar, bly, zink och järn i Br1 och V13 för perioden 2005-2008. Under 2005 och fram till september 2006 pågick tvättning av området. Under 2007 täcktes området. Pumpning i Br1 och V13 fortsatte efter avslutad åtgärd, för uppföljning av metalläckaget från kisbränderdeponin.





Figur 67. Halter av kadmium, koppar, bly, zink och järn i Br1 och V13 för perioden 2005-2008. Tvättningen avslutades i september 2006.

Efter det att tvättningen avslutades (2006) låg kadmiumhalten något högre i Br1 än i V13, medan bly- och järnhalterna låg något högre i V13 än i Br1. Om sluttäckningen av deponin har någon påverkan på halterna är idag för tidigt att yttra sig om. En förändring som kan konstateras är att zinkhalten i Br1 steg kraftigt under hösten 2008. Om det var en tillfällig höjning eller inte, är även det för tidigt att yttra sig om.

10.2 Uppsamlingsystemets effektivitet

Omfattande uppföljning av grundvattennivåer, flöden och vattenkvalitet utfördes från det att tvättningen påbörjades 1995 och framåt. För att säkerställa uppsamlingsystemets effektivitet utfördes en noggrann kontroll av grundvattennivåer uppströms och nedströms uppsamlingsbrunnarna. För ett stort antal grundvattenrör fastslogs innan tvättning inom vilket intervall grundvattennivån måste ligga för att undvika förluster på uppsamlingssidan. Intervallet bestämdes utifrån grundvattennivåmätningar i området från 1988 och framåt, när ingen påverkan från tvättning fanns.

De två viktigaste brunnarna, Br1 och V13, ur vilka ca 70 % av flödet samlades upp, kontrollerades dagligen beträffande flöde och nivå. I brunn V13 sänktes grundvattennivån vid pumpning 2–3 m jämfört med naturlig grundvattenyta och i Br1 sänktes nivån ca 1,5–2,0 m. I Br1 skars hela det vattenförande slagglagret av genom att en horisontalbrunn (dränering) byggdes genom slaggen och ner underliggande morän. Genom att via pumpning skapa en stor avsänkningstratt i slaggförekomsten, kunde grundvattenflödet i området styras mot brunnen. Tack vare att de hydrogeo-

logiska förhållandena var gynnsamma, kunde grundvattenflödet utan större förluster samlas upp med hjälp av ett begränsat antal brunnar.

10.2.1 Kontroll av flöden - vattenbalans

Under och efter tvättningen utfördes kontroll av vattenflöden för att följa upp hur mycket som läckte förbi uppsamlingssystemet och till Faluån (som grundvatten). I Tabell 19 redovisas tillförd tvättvattenmängd från sjön Vällan, uppsamlad/behandlad vattenmängd, samt utgående behandlad vattenmängd till Faluån under hela tvättperioden.

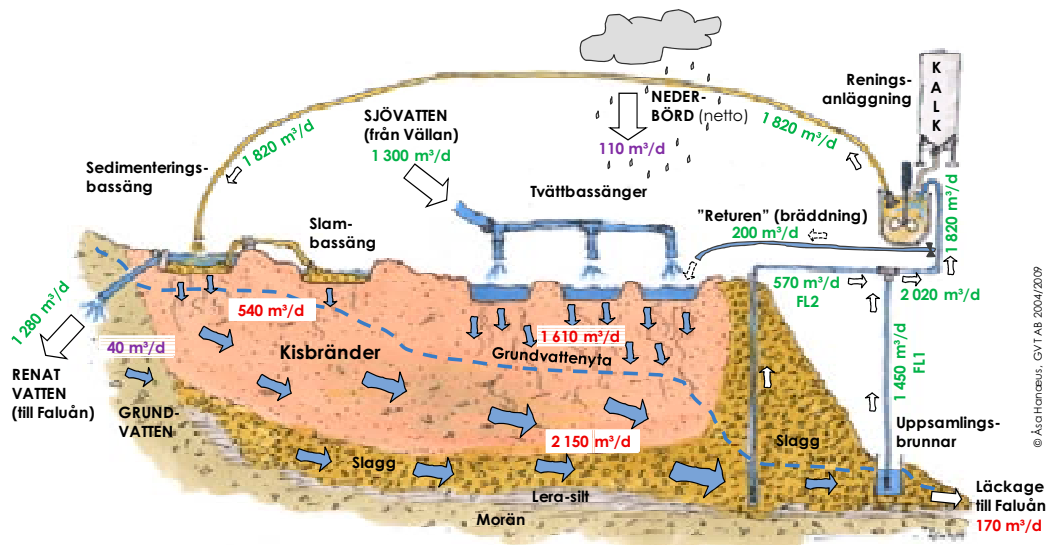
Tabell 19. Uppmätta vattenmängder under tvättning av kisbränderdeponin 1995-2006.

Tvättvatten från Vällan	Vatten till behandlingsanläggningen	Bräddat till "Returen"	Utgående rent vatten till Faluån
2 810 000 m ³	3 948 000 m ³	440 000 m ³	2 780 000 m ³
1 295 m ³ /d under tvättsäsong	1 820 m ³ /d under tvättsäsong	200 m ³ /d under tvättsäsong	1 280 m ³ /d under tvättsäsong

Att det är skillnad mellan uppsamlad/behandlad vattenmängd och utgående rent vatten till Faluån beror på att utgående vatten från behandlingsanläggningen till viss del infiltrerade i sedimenteringsbassängerna, samt dränerades ur det slam som togs från sedimenteringsbassängerna för avvattning på deponin. Vattnet som dränerade ur sedimenterings- och avvattningsbassängerna samlades åter upp och behandlades. En viss recirkulation skedde alltså inom systemet.

I Figur 68 redovisas vattenbalansen för tvättningen som helhet (1995-2006). Samtliga pumpade flöden är uppmätta, liksom tillfört tvättvatten och utgående vatten till Faluån. Nettonederbörden på deponiytan, samt tillkommande "naturligt" grundvattenflöde genom deponin, är beräknade utifrån nederbörds- och avrinningsdata för Falun. Utifrån dessa uppgifter beräknas läckaget av grundvatten till Faluån förbi uppsamlingssystemet till ca 170 m³/d under tvättning (ca 369 000 m³ för hela tvättningen, 1995-1997), vilket motsvarar ca 8 % av det totala flödet till uppsamlingssystemet (2 150 m³/d).

KISBRÄNDERSANERING – TVÄTTNING IN SITU
Vattenbalans för tvättning 1995-2006



Figur 68. Vattenbalans för tvättning av kisbränderdeponin, medelflöden 1995-2006. Gröna siffror innebär uppmätta flöden, lila siffror innebär antagna värden (utifrån nederbörds- och grundvattenbildningsdata) och röda siffror är beräknade utifrån övriga värden.

Skillnaden mellan tillfört tvättvatten och utsläpp av rent vatten till Faluån var under hela tvättningen 31 000 m³ (14 m³/d), dvs. 1 % av tillfört tvättvatten. Skillnaden mellan tillfört tvättvatten och utgående, behandlat vatten varierade mellan åren (Tabell 20). Under åren 1996-1998 var förlusterna relativt stora, medan det under i princip hela perioden i övrigt släpptes ut mer rent vatten än vad som tillfördes som tvättvatten.

Tabell 20. Differens mellan tillfört tvättvatten och utgående behandlat vatten.

År	Differens (tillfört– utg. renat)	År	Differens (tillfört– utg. renat)
1995	-3 000 m ³	2001	-13 000 m ³
1996	36 000 m ³	2002	6 000 m ³
1997	98 000 m ³	2003	-22 000 m ³
1998	142 000 m ³	2004	-20 000 m ³
1999	-35 000 m ³	2005	-13 000 m ³
2000	-38 000 m ³	2006	-107 000 m ³
SUMMA		31 000 m³	

Förlusterna under 1996-98 orsakades främst av att slamavvattningen på deponin medförde att betydligt större vattenmängder behövde samlas upp än vad som tillfördes som tvättvatten. De stora flödena medförde att behandlingsanläggningens kapacitet inte alltid räckte till, så att bräddning fick ske till "returen", med ytterligare ökning av grundvattenflödet som följd. Fördrojningen i systemet gjorde dessutom att vatten som dränerades ur slammet under slutet av tvättsäsongen inte hann nå uppsamlingsbrunnarna innan dessa behövde tas ur drift på grund av frysning. Att förlusterna i princip upphörde efter 1998, berodde på att slammängderna minskade

efter de första tvättsäsongerna, samtidigt som man lärde sig att avsluta tvättning och utpumpning av slam i god tid innan uppsamlingen behövde avbrytas inför vintern.

10.3 Reduktion av metaller

Reduktionen av metalläckaget från kisbränderdeponin har följts upp på tre sätt:

- Minskningen av mängden lakbara metaller i deponin har beräknats, utifrån de kartläggningar/lakteter som utfördes före respektive efter tvättning.
- Uppsamlade metallmängder under tvättningen, beräknade utifrån uppmätta flöden och halter in till behandlingsanläggningen.
- Reduktion av metalltransporten nedströms Kisbränderområdet, beräknad utifrån uppmätta flöden och halter i Faluån vid Kristinebron, före och efter åtgärd – samt genom uppföljning av metalltransporten med yt- och grundvatten från deponin.

Resultaten av uppföljningarna redovisas i avsnitt 10.3.1 - 10.3.6.

10.3.1 Mängder lakbara metaller i kisbränderna före och efter åtgärd

Medelvärden för totalhalter och lakbara halter av zink, kadmium och koppar baserat på 335 prover tagna före tvättning (1994), och motsvarande halter vid provtagning efter avslutad tvättning (2006, 198 prover), redovisas i Tabell 21. Lakningen 1994 är utförd på provmaterial <2 mm, torkat vid 105 °C, lakat genom skakning vid L/S=1 start-pH 4 under 1 timme. Lakvätskan filtrerades (pappersfilter ca 5-10 µm) före analys. Resultatet räknades om med framtagna korrektionsfaktorer för att lakningsmetoden inte förmådde laka ur hela den ”uttvättbara” mängden. Lakningen 2006 är utförd på provmaterial <2 mm, torkat vid rumstemperatur, lakat genom skakning vid L/S=10 vid start-pH 4 under 24 timmar. Lakvätskan filtrerades (glasfiberfilter 0,45 µm) före analys.

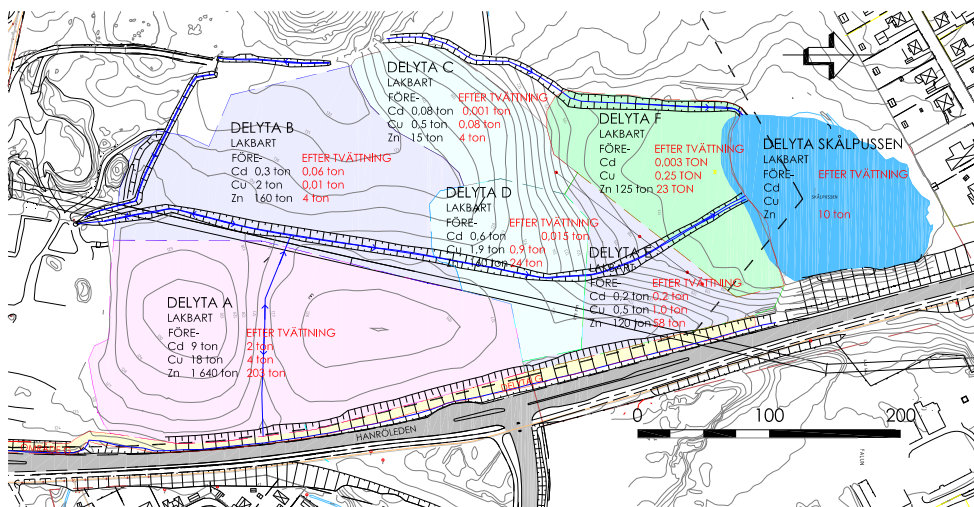
Tabell 21. Totalhalter och lakbara halter av zink, kadmium och koppar i kisbränderdeponin före respektive efter genomförd tvättning (medelvärden).

	Totalhalt (mg/kg)		Lakbar halt (mg/kg)	
	FÖRE (1994)	EFTER (2006)	FÖRE (1994)	EFTER (2006)
Zink	11 700	11 912	1 850	495
Kadmium	49		9	3
Koppar	1 830		23	10

De totala mängderna lakbara metaller i kisbränderdeponin innan åtgärd beräknades utifrån borringar och lakteter till:

- **1 800-2 000 ton lakbar zink**
- **9-10 ton lakbart kadmium**
- **ca 22 ton lakbar koppar**

En ny beräkning av lakbara mängden av kadmium, koppar och zink före tvättning har nu utförts (Tabell 22 nedan). Beräkningen har utförts med samma områdesindelning som gäller för sluttäckningen. Motsvarande beräkning har utförts för lakbara metallmängder efter tvättning. Vid provtagningen 1994 (före tvättning) uttogs inga prover inom Skålpussenområdet. Under 1996-98 uttogs prover för lakning inom Skålpussenområdet där enbart zink studerades. Angivna mängder för zink inom Skålpussenområdet i Figur 69 och Tabell 22 är baserade på den provtagningen. Området har delats upp i två delar där "område F" är den del av Skålpussenområdet där täckning har utförts och området "Skålpussen" är området med fri vattenyta där ingen åtgärd har vidtagits.



Figur 69. Beräknade lakbara metallmängder i olika delar av kisbränderdeponin före samt efter genomförd tvättning.

Delyta A, som innehöll störst lakbara metallmängder innan tvättning, innehöll även de största mängderna lakbara metaller efter tvättning. Reduktionen av lakbara metallmängder varierade mellan delområdena, se Tabell 22.

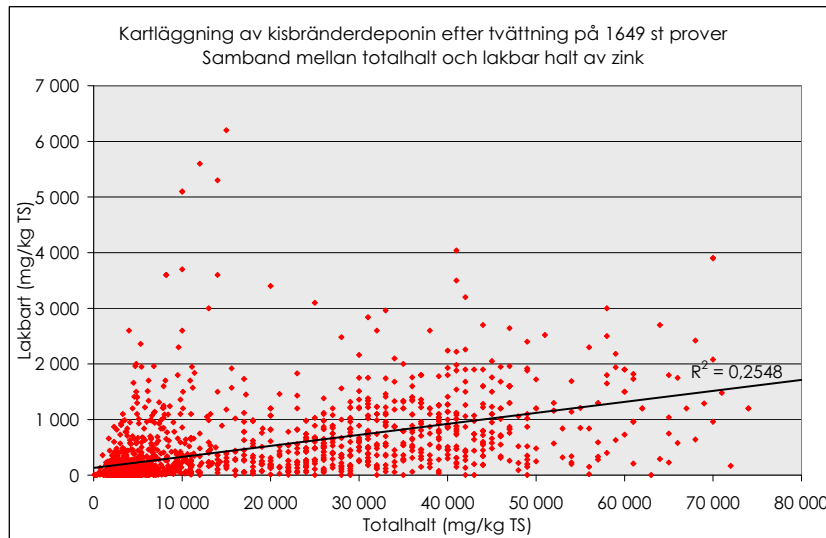
Tabell 22. Lakbara mängder kadmium, koppar och zink i olika delar av kisbränderdeponin före (1994, 335 prover) och efter (2006, 1998 prover) tvättning in situ. Områdesindelningen framgår av Figur 69.

Delyta	Kadmium (ton lakbart)			Koppar (ton lakbart)			Zink (ton lakbart)		
	FÖRE (1994)	EFTER (2006)	Reduktion	FÖRE (1994)	EFTER (2006)	Reduktion	FÖRE (1994)	EFTER (2006)	Reduktion
A	9	2	78 %	18	4	78 %	1 640	203	88 %
B	0,3	0,06	80 %	2	0,01	100 %	160	4	98 %
C	0,08	0,001	99 %	0,5	0,08	84 %	15	4	73 %
D	0,6	0,015	98 %	1,9	0,90	53 %	160	24	85 %
E	0,2	0,205	- 2 %	0,5	0,97	- 94 %	120	58	52 %
F Skålpussen-området	i u	0,003		i u	0,25		125	23	
Skålpussen	i u	i u		i u	i u		10	i u	
TOTALT	10	2	80 %	23	6	74 %	2 070	315	85 %
DIFFERENS (FÖRE-EFTER)		8			17			1755	

Generellt har områden med röda, finkorniga kisbränder (t.ex. område B, C och D) varit relativt lättvättade, medan område A och E som innehåller alla typer av kisbränder (röda, svarta, brunsvarta) och även annat avfall varit mer svårtvättade.

De avvikande värdena på reduktion för område E, beror troligen på en underskattning av de lakbara mängderna före tvättning. Inom området förekommer mindre mängder svarta kisbränder med höga halter lakbara metaller. Vid provtagningen 1994 påträffades inte dessa i någon av de tre borrhöjningarna inom området, medan provtagningen 2006 (och även provtagningar under tvättperioden) påvisade sådant material med högre metallhalter inom området.

En jämförelse mellan totalhalter och lakbara halter zink i kisbränderna för prover tagna efter slutförd tvättning (Figur 70), visar att sambandet var svagare än innan tvättning (jfr Figur 22). Antalet prover efter tvättning var betydligt större än före (1 649 st efter, jämfört med 335 st före).



Figur 70. Samband mellan totalhalt och lakbar halt zink i kisbränderprover tagna efter slutförd tvättning.

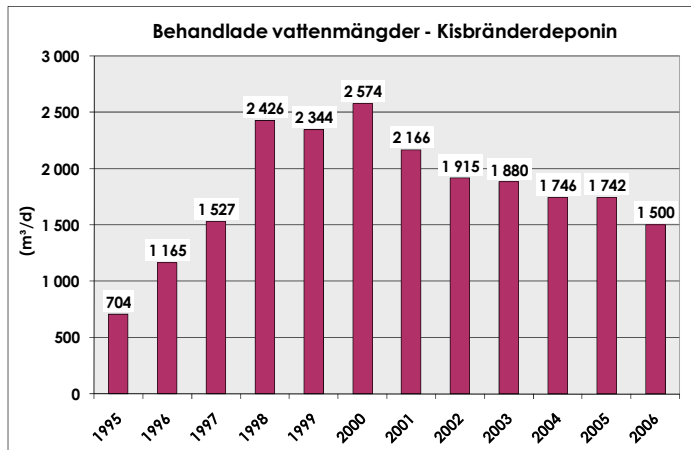
10.3.2 Behandlade metallmängder

Metallhaltigt vatten från uppsamlingsystemet pumpades in till behandlingsanläggningen via två samlingsledningar som flödesmättes kontinuerligt och ur vilka veckovisa vattenprover togs (Pr1 och Pr2). Via Pr1 kom vatten från brunnar nedströms kisbränderdeponin (Br1, Br2, Br4 och V13) och via Pr2 kom vatten från brunnar inom kisbränderdeponin (Br3, Br39, V10, V11, V12 och V15). Av inkommande vatten till behandlingsanläggningen, kom i medeltal ca 75 % via Pr1, varav huvuddelen samlades upp i Br1 och V13. Eftersom tvättningen blev mest omfattande i södra delen av deponin, där de största lakbara mängderna fanns, så dominerade oftast flödet från Br1.

Mängden metaller som samlades upp och behandlades i reningsanläggningen under tvättningen av kisbränderdeponin 1995-2006 beräknas vara totalt:

- ca 1 460 ton zink
- ca 2,2 ton kadmium
- ca 26 ton koppar
- ca 1 380 ton järn

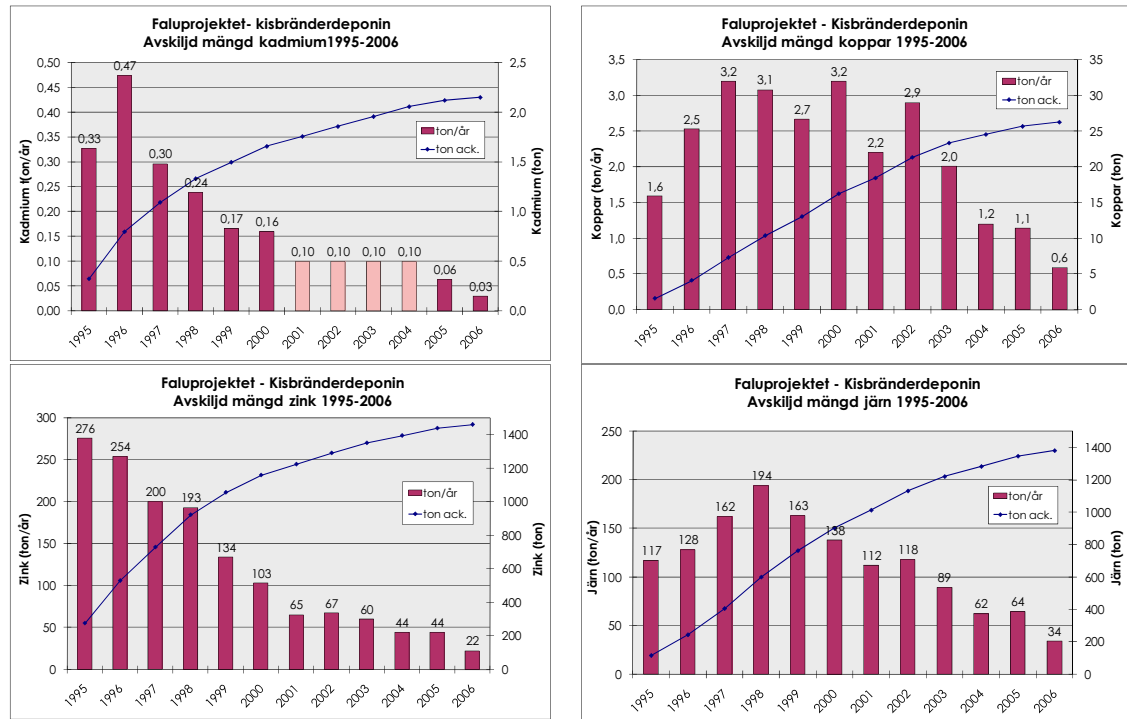
I diagrammen nedan redovisas årliga inkommande vatten- och metallmängder till reningsanläggningen under perioden 1995-2006.



Figur 71. Inkommande årliga vattenmängder till behandlingsanläggningen 1995-2006.

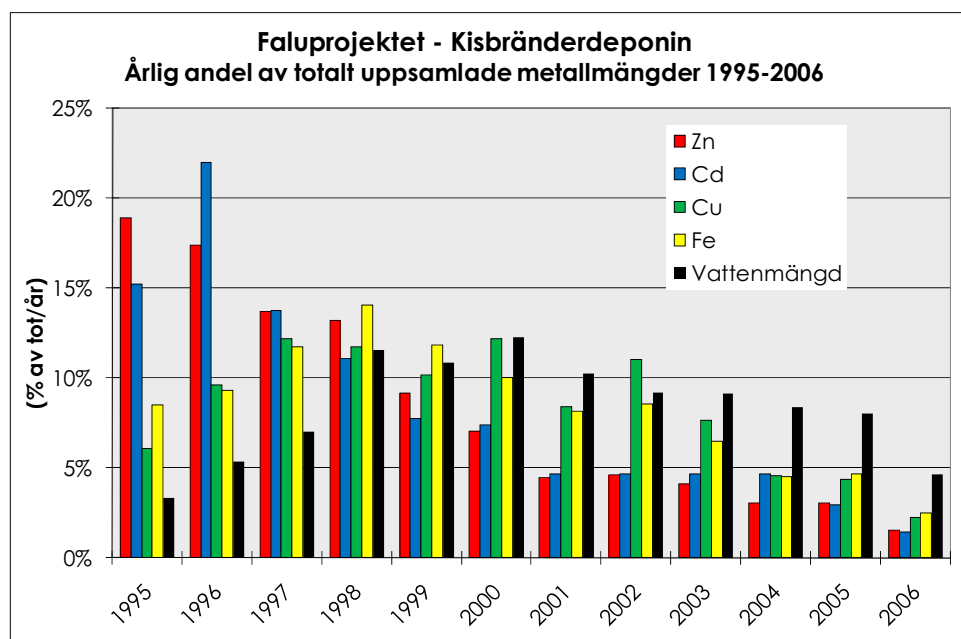
Vattenmängden till behandling ökade från 1995 till 1998. Under perioden 1998-2000 behandlades de största vattenmängderna.

I diagrammen nedan redovisas hur mycket kadmium, koppar, zink och järn som årligen pumpades in till behandlingsanläggningen.



Figur 72. Årliga och ackumulerade inkommande mängder kadmium, koppar, zink och järn som behandlades i reningsanläggningen för uppsamlat tvättvatten från kisbränderdeponin. Under åren 2001-2004 ingick inte analys av kadmium i driftuppföljningen. Mängden inkommande kadmium till reningsanläggningen har uppskattats till 0,1 kg/år under denna period.

De första åren tvättades en stor mängd metaller bort i förhållande till den behandlade vattenmängden, framförallt med avseende på zink och kadmium (Figur 73). En anledning till detta var att tvättningen påbörjades inom det område som innehöll de största mängderna lakbara metaller, varför metallkoncentrationen i uppsamlat tvättvatten blev hög.



Figur 73. Årlig uppsamlad andel av total behandlad metallmängd under tvättning av kisbränderdeponin 1995-2006, för zink, kadmium, koppar respektive järn.

Urtvättningen av koppar och järn var i princip avhängig vattenmängden, även om urtvättningen av metaller var relativt sett större de första åren. Orsaken till att urtvättningsförloppen skiljde sig åt mellan metallerna, var sannolikt att olika delar av deponin tvättades under olika perioder och att halfördelningen mellan metallerna varierade inom deponin (jämför metallernas fördelning inom området, Figur 25 - Figur 27). Beroende på vilka delar av deponin som tvättades, passerade dessutom tvättvattnet i större eller mindre utsträckning genom den underliggande slaggyllningen. Slaggen i Falun släpper generellt ifrån sig större andel koppar (i förhållande till zink och kadmium), än vad kisbränderna gör.

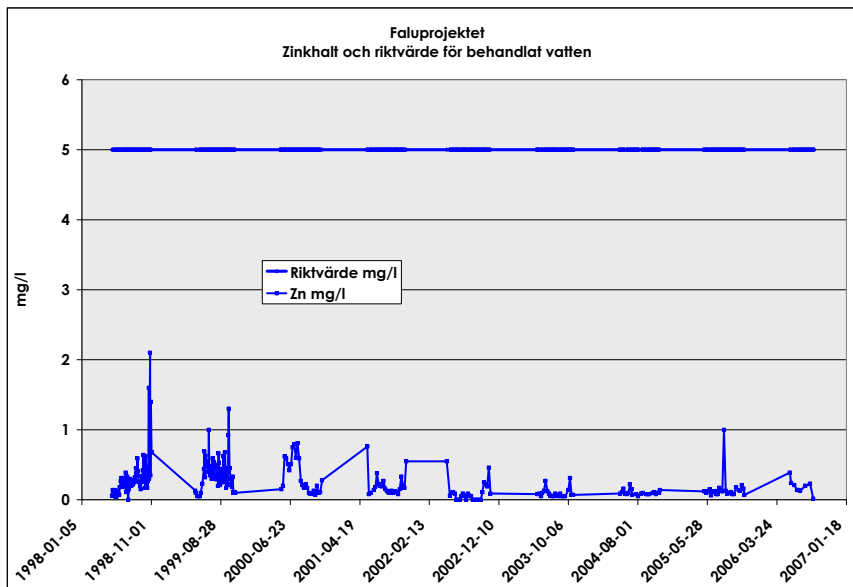
Utsläpp från behandlingsanläggningen

Under tvättningen kontrollerades det behandlade vattnet som avledes till Faluån, i form av kontinuerlig flödesmätning med skibord och ekolod samt veckovis provtagning.

Tabell 23. Uppmätta metallhalter i inkommande och utgående vatten från behandlingsanläggningen, samt reningseffekt och riktvärden för utsläpp enligt länsstyrelsens beslut daterat 1995-03-30.

	Riktvärde	Medelvärde behandlat vatten 1998-2006	Medelvärde inkommande vatten 1995-2006	Reningseffekt (%), dvs. andel utfällt som metallhydroxider
Zink	5 mg/l	0,26 mg/l	729 mg/l	>99,9 %
Koppar	0,5 mg/l	0,06 mg/l	7,7 mg/l	99,4 %
Kadmium	0,1 mg/l	0,0013 mg/l	1,2 mg/l	99,8 %

Som framgår av Tabell 23 låg metallhalterna i det behandlade vattnet betydligt lägre än angivna riktvärden och reningseffekten var mycket god. Beträffande kopparhalten var den ofta något högre i tvättvattnet från sjön Vällan än i utgående, behandlat vatten från reningsanläggningen. Variationen i zinkhalt i behandlat vatten under perioden 1998-2006 redovisas i Figur 74.



Figur 74. Zinkhalt i utgående, behandlat vatten från tvättningen av kisbränderdeponin, mätt i Pr5.

Utgående metallmängder från reningsanläggningen till Faluån totalt under tvättningen (1995-2006), har beräknats till:

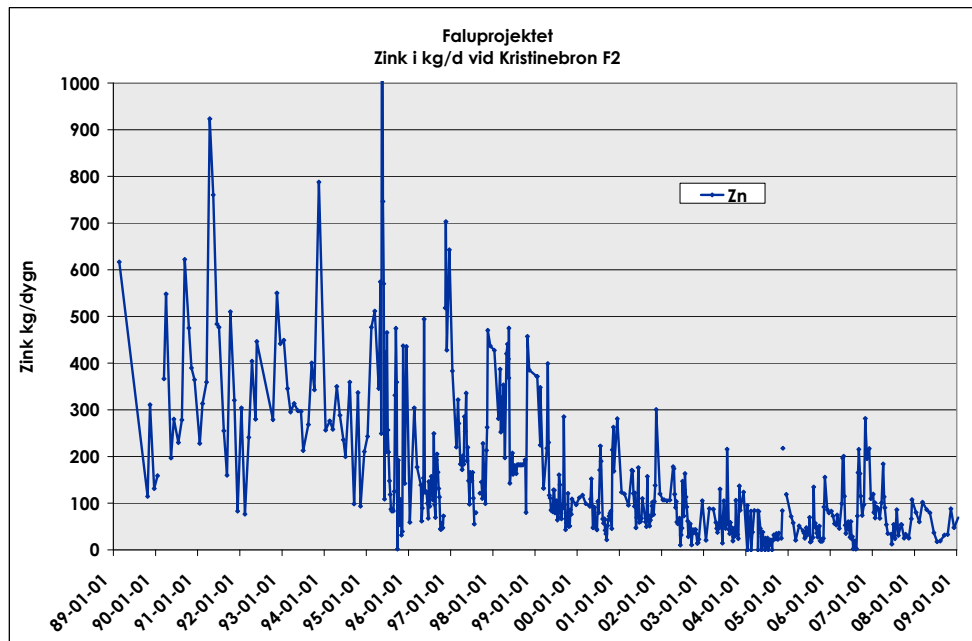
- Zink: 720 kg
- Koppar: 162 kg
- Kadmium: ca 2-4 kg (kadmiumvärdet är osäkert, eftersom kadmium analyserades med hög analysgräns i början av perioden).

Jämfört med uppsamlade metallmängder, var alltså utsläppen från reningsanläggningen försumbara.

10.3.3 Zinktransporten i Faluån nedströms Kisbränderdeponin

I provtagningspunkten vid Kristinebron i Faluån (F2), belägen nedströms kisbränderområdet, uttogs vattenprov en gång per vecka under tvättperioden (stickprov).

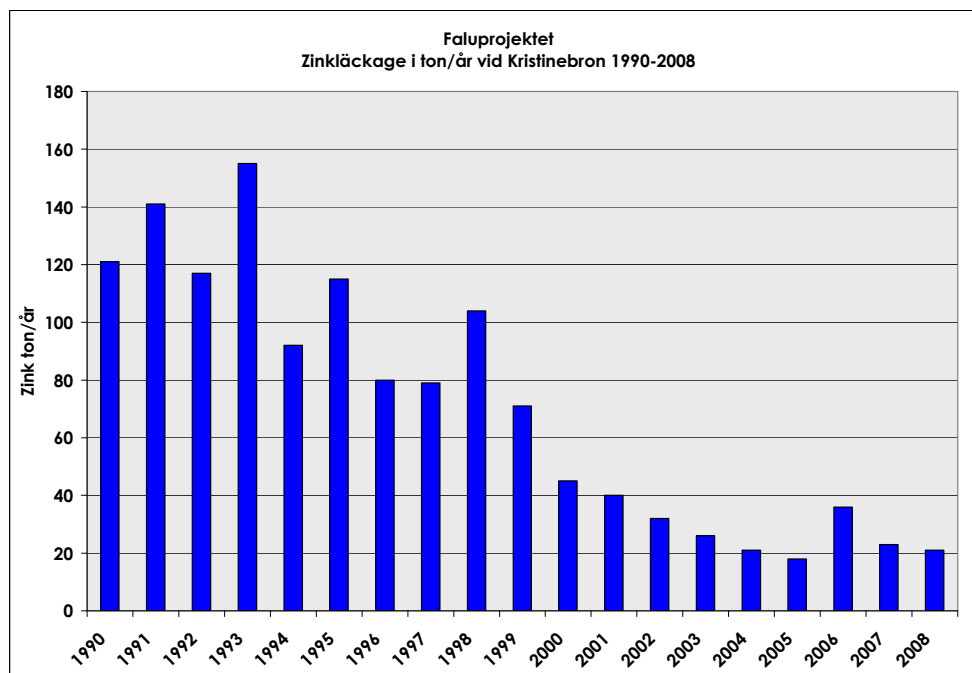
Samliga prover analyserades relativt omgående och normalt var analyserna klara 1-3 dagar efter provtagning. Efter det att analys svaren erhöles, bearbetades analysdata och grundvattennivåer för att kontrollera om några halter eller nivåer var oförklarligt höga. Fanns indikation på höga halter kontrollerades att det inte uppstått några läckage, pumpstopp osv.



Figur 75. Uppmätta zinktransporter (kg/d) i Faluån vid Kristinebron (F2)1989-2008.

I Figur 75 redovisas zinktransporten vid Kristinebron för varje provtagningstillfälle. Innan tvättningen påbörjades 1995, togs månadsvisa stickprover. Som framgår av diagrammet var variationen mellan provtagningstillfällena stor.

I Figur 76 nedan redovisas årstransporten av zink vid Kristinebron.



Figur 76. Uppmätta årstransporter av zink (ton/år) i Faluån vid Kristinebron (F2)1990-2008.

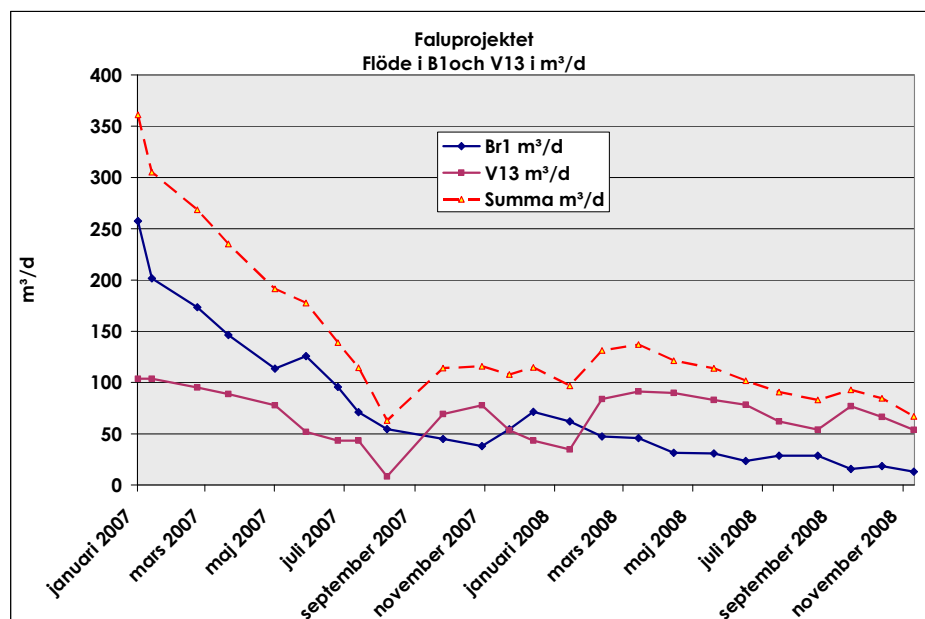
Före åtgärd låg zinktransporten vid Kristinebron på nivån 120-140 ton/år.

Tvättningen påbörjades 1995 och under det året kunde man inte se någon effekt av tvättningen i Faluån. 1996 och 1997 konstaterades att zinkläckaget från kisbränderområdet minskat. Under 1998 var zinktransporten vid Kristinebron åter högre vilket till viss del berodde på att stora mängder slam med låg torrsubstanshalt pumpades från sedimenteringsbassängerna till avvattning, samt att tvättbassänger med god genomsläpplighet började nyttjas för sedimentering. Under 1998 började man även pumpa ut behandlat vatten direkt på färdigtvättade bassänger för avvattning genom infiltration. Allt detta ledde till att vattenmängderna till uppsamlingssystemet blev större, samt att utflödet av grundvatten fortsatte längre in på hösten, efter det att uppsamlingssystemet stängts av pga. frysrisk. Från och med 1999 minskade zinktransporten vid Kristinebron och nådde nivån ca 20 ton/år efter avslutad tvättning. Zinktransporten i Faluån vid Kristinebron bedöms därmed ha minskat med ca 100-120 ton/år, vilket motsvarar ca 85 % reduktion jämfört med före åtgärd.

Motsvarande uppföljning kan inte göras för övriga metaller på grund av brist på analyser/för dålig analysnoggrannhet för delar av perioden.

10.3.4 Grundvattenflöden efter avslutad åtgärd

Under 2007 och 2008 genomfördes en uppföljning av metalläckaget från kisbränderdeponin, varav fortsatt pumpning i Br1 och V13 ingick som en del. I Figur 77 nedan redovisas grundvattenflödet vid Br1 och V13 efter avslutad tvättning. Som framgår av figuren minskade grundvattenflödet till Br1 under hela uppföljningsperioden, vilket kan vara en följd av att området som avrinner mot Br1 förseddes med en relativt effektiv sluttäckning under 2007.



Figur 77. Flöden till Br 1 och V13 efter avslutad tvättning.

Grundvattentillrinningen vid V13 var däremot mer konstant. Det är dock stor skillnad på grundvattenbildningsområde för V13 jämfört med Br1. V13 påverkar ett relativt stort område utanför kisbränderdeponin, bestående av framförallt slagg.

Grundvattenbildningen inom och uppströms kisbränderområdet, med utläckage mot Faluån, har tidigare beräknats till ca 74-100 m³/d före täckning (jfr Tabell 4). Motsvarande beräkning efter täckning ger ca 45-55 m³/d (en minskning med 30-45 m³/d), under förutsättning att täckningen inom område A släpper igenom 50 mm/år och inom område B 100 mm/år. Vid en beräkning av det totala grundvattenflödet till Br1 och V13 ska området mellan kisbränderdeponin och brunnarna, samt brunnarnas påverkansområde läggas till. Grundvattenbildningen inom det området beräknas till ca 25-35 m³/d. Det innebär att grundvattenflödet till uppsamlingsbrunnarna Br1 och V13 nedströms deponin beräknas bli totalt ca 70-90 m³/d när jämvikt nåtts i systemet.

Uppmätt flöde under 2008 var drygt 100 m³/d (som medelvärde för hela året), vilket är något högre än det beräknade. Man ska dock ha i åtanke att sluttäckningen inte färdigställdes förrän i december 2007 och att växtetableringen inte kom igång förrän i slutet av 2008.

10.3.5 Metallläckage från kisbränderdeponin och andra källor efter avslutad åtgärd

Provtagning och flödesmätning har utförts månadsvis i Faluån vid Kristinebron (F2) efter avslutad tvättning. Vid Kristinebron är Faluån, utöver läckage från kisbränderdeponin, även påverkad av metallläckage från stora slaggområden och områden där det förekommer varp. För att försöka skilja ut vad som kommer från kisbränderdeponin, utförs fortsatta pumpningar och vattenprovtagningar vid Br1 och V13 (de brunnar där huvuddelen av grundvattenflödet från kisbränderdeponin passerar). Avsikten med pumpningen är att samla upp allt grundvatten som läcker från kisbränderdeponin mot Faluån. Metallläckaget norrut, mot Skålpussen, följs upp genom vattenprovtagning och flödesbestämning av utgående vatten från Skålpussen.

I Tabell 24 redovisas transporten av kadmium, koppar och zink i Faluån vid Kristinebron (station F2) 2007-2008.

Tabell 24. Uppmätta metalltransporter i Faluån vid Kristinebron (F2) för 2007 och 2008.

F2	Cd	Cu	Zn
	kg/år	kg/år	ton/år
2007	21	1 720	23
2008	23	1 856	21

I Tabell 25 redovisas uppmätta metallutsläpp från Br1, V13 och Skålpussen (station F4). Under 2007 kunde inte flödet från Skålpussenområdet bestämmas på grund av att täckningsarbeten pågick, varvid Skålpussen tidvis läns pumpades.

Tabell 25. Uppmätta metalltransporter från Br1, V13 och Skålpussen (F4) för 2007 och 2008.

		Cd kg/år	Cu kg/år	Zn ton/år
2007	Br1	4,9	97	5,9
2007	V13	2,1	70	4,0
Summa 2007		7,0	167	9,9
2008	Br1	3,6	61	3,0
2008	V13	1,9	95	4,3
2008	Skålpussen F4	0,7	23	1,8
Summa 2008		6,2	179	9,1

Uppsamlat vatten vid Br1 och V13 är även påverkat av gruvavfall som är beläget utanför kisbränderdeponin. Framförallt slagg, men även varp och kisbränder. Grundvattenbildningen inom området mellan brunnarna och kisbränderdeponin beräknas till ca 25-35 m³/d. I anslutning till Hanröleden och området utanför kisbränderdeponin förekommer ca 60 000-80 000 ton kisbränder och ca 75 000-100 000 m³ slagg. I slaggen kan även varp och andra fyllningar förekomma. Läckaget av zink från kisbränder utanför deponiområdet har tidigare beräknats till ca 0,8-2,5 ton/år (Ledin och Hanæus, 2003) och i sammanställningen nedan (Tabell 26) har det antagits att läckaget av zink är ca 2 ton/år från dessa kisbränder. Från övrigt gruvavfall (främst slagg, ca 75 000 m³) har det antagits att det har lakat ur metaller enligt tabell nedan.

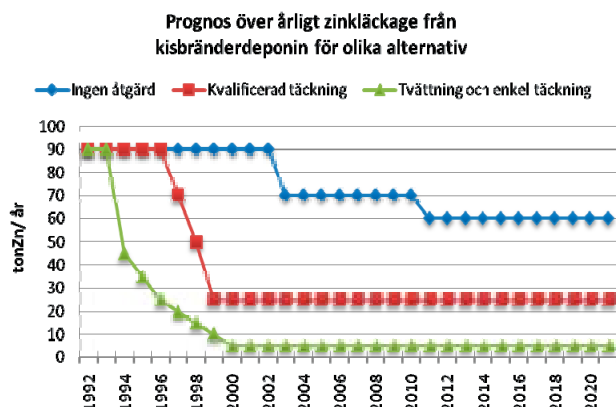
Tabell 26. Beräknat läckage av kadmium, koppar och zink från det tvättade kisbränderområdet 2008.

	Cd kg/år	Cu kg/år	Zn ton/år
Uppsamlat i Br1, V13 samt Skålpussen	6,2	179	9,1
- varav från kisbränder längs Hanröleden	- 0,2	- 24	- 2
- varav från övrigt gruvavfall vid Br1-V13	- 0,3	- 115	- 0,6
Beräknat läckage från kisbränderdeponin	5,7	40	7

En jämförelse mellan prognoser som gjordes inför avslutandet av tvättningen och uppmätta värden under 2008 redovisas nedan:

	Cd kg/år	Cu kg/år	Zn ton/år
• Läckage 2008	5,7	40	7
• Efter tvättning (prognos från 2004)	4-10	100-300	5-9
• Efter täckning (prognos från 2005)	2-6	48-125	3-5

Som framgår är överensstämmelsen relativt god mellan prognos och uppmätt läckage under 2008. Effekten av täckningen är dock för tidig att yttra sig om eftersom den avslutades december 2007. Det kommer att dröja ett antal år innan växtligheten etablerats över hela området och det blir vattenbalans i systemet.



Figur 78. Prognos över zinkläckage för olika åtgärdsalternativ, från 1993.

Jämfört med prognosen från 1993 (Figur 78), som endast togs fram för zink, är överensstämmelsen också relativt god. I prognosen från 1993 beräknades det årliga zinkläckaget efter tvättning och enklare täckning uppgå till 5 ton/år.

I Tabell 27 redovisas metallläckaget i Faluån vid Kristinebron jämfört med metallläckaget från kisbränderdeponin 2008. Till provtagningspunkten vid Kristinebron i Faluån tillkommer metallläckage från övriga områden med slagg osv.

Tabell 27. Uppmätta metallläckage/metalltransporter 2008.

2008	Cd kg/år	Cu kg/år	Zn ton/år
Faluån vid Kristinebron (F2)	23	1 856	21
- varav Kisbränderdeponin (Br 1, V13 samt Skålpussens utlopp)	- 6,2	- 179	- 9,1
Tillskott från andra områden	17	1677	12

Inom avrinningsområdet direkt uppströms Kristinebron finns ca 900 000 m³ slagg och andra gruvavfall. Med utgångspunkt i att det finns ca 900 000 m³ slagg i området och att hela tillskottet av koppar respektive zink till Faluån utöver kisbränderdeponin kommer från denna slagg, innebär det att slaggen lakar **ca 1,9 g koppar per m³ och år**, respektive **ca 13 g zink per m³ och år**.

Hur mycket koppar och zink som lakas från slagg med ursprung från Falu gruva har undersökts i flera utredningar med varierande resultat. Vid fem olika undersökningar som utförts av SGI (2 st), Stora Enso (1 st), Miljökontoret Falun (1 st) och GVT (1st) har lakbarheten från slagg beräknats enligt nedan:

- **Cu:** Medelvärdena från de olika undersökningarna var 1,3–6,5 g/m³, år.
- **Zn:** Medelvärdena från de olika undersökningarna var 3,3–11,3 g/m³, år.

Den uppmätta/beräknade urlakningen av koppar (ca 1,9 g/m³, år) kan därmed vara realistiskt. Värdet på urlakningen av zink (ca 13 g/m³, år) är däremot högt. Troligtvis kommer mer än hälften av det uppmätta zinktillskottet från slagg, medan reste-

rande del sannolikt har andra källor, troligen annat gruvavfall. Motsvarande förhållande som gäller för zink, gäller även för kadmium.

10.3.6 Sammanfattande slutsatser om metallreduktionen

Nedan sammanfattas åtgärdsresultatet med avseende på metallreduktion, utifrån de olika sätten att mäta som presenterats ovan.

Reduktion av mängden lakbara metaller i kisbränderdeponin

I Tabell 28 jämförs skillnaden i lakbara mängder metaller i kisbränderdeponin före och efter tvättning, med hur mycket metaller som tvättats ur och fastlagts som metallhydroxider.

Tabell 28. Lakbara mängder kadmium, koppar och zink i kisbränderdeponin före och efter tvättning, jämfört med urtvättade/upsamlade mängder.

	MÄNGD (ton)		
	Cd	Cu	Zn
Lakbar mängd i kisbränder före tvättning enligt provtagning 1994	10	23	2 070
Kvarvarande lakbar mängd enligt provtagning 2006	- 2	- 6,0	- 320
Minskad mängd lakbart i kisbränderdeponin	8	17	1 750
Reduktion (%) jämfört med 1994	80 %	74 %	85 %
Uppsamlad/behandlad mängd 1995-2006	2,2	26	1 460
- varav beräknat tillskott från slagg etc utanför kisbränderdeponin	- ca 0,01	- ca 1,7	- ca 30
Läckt till Faluån perioden 1994-2006 (Stn. Kristinebron – Stn. Varpans utlopp)	1,24	36	713
- varav beräknat tillskott från slagg etc utanför kisbränderdeponin	- ca 0,35	- ca 34	- ca 240
Urtvättad mängd lakbart från kisbränderdeponin	3,1	26	1 903
Reduktion (%) jämfört med 1994	31 %	113 %	92 %
DIFFERENS (Minskad lakbar mängd - Urtvättad mängd)	4,9	- 9	-153

Bäst balans mellan de två uppföljningssätten visar zink, där urtvättad mängd är ca 150 ton (knappt 10 %) större än minskningen av den lakbara mängden i deponin. Eftersom samtliga poster innebär osäkerheter i flera steg (provtagning, provbehandling, lakning, analys, beräkningar), får 10 % avvikelser anses som en god överensstämmelse.

För koppar är den urtvättade mängden betydligt större än minskningen av lakbar koppar i deponin (ca 50 %), vilket kan betyda att kopparmängden i deponin innan åtgärd underskattades eller att koppar från andra källor än kisbränder samlats upp och behandlats. En annan förklaring kan vara att koppar i form av finpartikulära sulfider tvättats ur deponin i betydande omfattning (jämför undersökningen av metallernas förekomstform (1993) som beskrivs i avsnitt 3.3.1). Sulfider ingår inte i mängden lakbart som ges av de lakmetoder som använts, däremot kan finpartikulära sulfider ingå i de halter som uppmätts i uppsamlat tvättvatten. I undersökning-

en från 1993 angående metallernas förekomstform, förelåg stor andel av koppar som sulfid (59 %) och jämförelsevis låg andel som lakbar med vatten (5 %). Ytterligare en faktor, som försvårar bestämningen av kopparbalansen för kisbränderdeponin, är att andra utsläppskällor än kisbränderdeponin (framförallt slagg och annat gruvavfall) är förhållandevis stora.

Balansen för kadmium visar istället att den lakbara mängden i deponin har minskat betydligt mer än vad som tvättats ur och behandlats. En tänkbar förklaring är att kadmium förlorats i uppsamlingssystemet, men i så fall borde även övriga metaller visa en liknande tendens. Troligen har lak-, analys- eller beräkningsmetoderna 1994 överskattat mängden kadmium i deponin före tvättning. Vid jämförande studier av lakmetoderna som användes 1994 respektive 2006, framkom att torkning vid 105°C (som användes 1994), kan ha orsakat att de lakbara mängderna överskattades genom att den höga temperaturen medförde viss vittring av materialet. Någon generell omräkningsfaktor mellan metoderna kunde dock inte fastslås.

Reduktion av metallurlakning från kisbränderdeponin

Uppföljning av zinktransporten i Faluån vid Kristinebron visar på en minskning med ca 100-120 ton/år (från 120-140 ton/år till ca 20 ton/år), vilket motsvarar ca 85 % reduktion jämfört med före åtgärd. Det är sannolikt att efterbehandlingen av kisbränderdeponin står i princip för hela denna minskning. Mätserierna före respektive efter avslutad åtgärd är dock korta, vilket ger viss osäkerhet i resultatet då mellanårsvariationerna är betydande (även under ”naturliga” förhållanden).

Metalltransporten i Faluån vid Kristinebron orsakas inte endast av urlakning från kisbränderdeponin. Ansatser att bestämma den årliga metallurlakningen från enbart deponin gjordes både före och efter genomförd åtgärd. Resultaten framgår av Tabell 29.

Tabell 29. Jämförelse av årlig metallurlakning från kisbränderdeponin före och efter åtgärd.

Årlig metallurlakning från kisbränderdeponin	ZINK (ton/år)	KOPPAR (ton/år)	KADMIUM (kg/år)
Före åtgärd (Gruvavfallsprojektet, 1990)	145	2,1	160
Efter åtgärd (2008) (Faluprojektets kontrollprogram)	9	0,06	5,9
MINSKNING (REDUKTION %)	136 (94 %)	2,04 (97 %)	154 (96 %)

Denna jämförelse visar på mycket god reduktion av metallurlakningen från kisbränderdeponin. Den årliga metallurlakningen före åtgärd är dock med stor sannolikhet överskattad (jämför transporten vid Kristinebron enligt ovan). I senare studier (Ledín et. al., 1993), bedömdes till exempel urlakningen av zink vara ca 90 ton/år före åtgärd, vilket skulle betyda 92 % reduktion.

Metallreduktion jämfört med målsättning

Den ambitionsnivå som föreslogs av Gruvavfallsprojektet för efterbehandling av kisbränderdeponin var att läckaget av zink skulle minska från dåvarande ca 145 ton/år till ca 15 ton/år, koppar från ca 2,1 till 0,2 ton/år och kadmium från ca 160 till 16 kg/år (90 % reduktion). Den målsättning med kisbrändersaneringen som senare angavs i tillståndsansökan för åtgärden var en minskning av zinkläckaget till ca 5 ton zink per år, motsvarande 97 % reduktion. Målsättningen för Faluprojektet som helhet var att uppnå 80 % reduktion av läckaget med avseende på metallerna zink, koppar och kadmium.

Utvärdering av metalläckaget enligt ovan, visar på 85 % - 95 % reduktion med avseende på zink och över 90 % för koppar och kadmium (dock mer osäkra värden för dessa metaller). Metalläckaget från kisbränderdeponin beräknas direkt efter avslutad åtgärd (2008) vara 9 ton zink per år, 64 kg koppar per år och 5,9 kg kadmium per år. Metallreduktionen har därmed överträffat den ursprungliga målsättningen.

10.4 Täckningens funktion

Täckningens funktion med avseende på vattengenomsläpplighet följdes upp genom att tätskiktmaterialens hydrauliska konduktivitet bestämdes i laboratorium, samt genom att lysimetrar anlades i olika delar av den täckta ytan.

10.4.1 Tätskiktens hydrauliska konduktivitet

Undersökningar av metallhydroxidslammets hydrauliska konduktivitet utfördes i två omgångar – dels 1996/1997, dels 2004. Resultaten framgår av Tabell 30.

Tabell 30. Hydraulisk konduktivitet hos metallhydroxidslam på kisbränderdeponin. Laboratorievärden bestämda på ostörda prover i provtagningsshylsor.

Prover från 1996-97			Prover från 2004		
Prov- märkning	Belastat/ obelastat*	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Prov- märkning	Belastat/ obelastat*	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Försök 1	Obelastat	$2,5 \cdot 10^{-9}$	T 1:2	Obelastat	$3,9 \cdot 10^{-9}$
Försök 2	Obelastat	$1,5 \cdot 10^{-9}$	T 1:2	Belastat	$2,2 \cdot 10^{-9}$
Prov 1	Obelastat	$2,0 \cdot 10^{-9}$	T 1:4	Obelastat	$3,7 \cdot 10^{-9}$
Prov 2	Obelastat	$2,9 \cdot 10^{-9}$	T 1:4	Belastat	$3,4 \cdot 10^{-9}$
Prov 3	Obelastat	$5,9 \cdot 10^{-8}$	T 2:3	Obelastat	$4,1 \cdot 10^{-9}$
Prov 4	Obelastat	$8,3 \cdot 10^{-9}$	T 2:3	Belastat	$2,5 \cdot 10^{-9}$
			T6:1		$5,0 \cdot 10^{-9}$
			T7:2		$5,1 \cdot 10^{-9}$
			T8:3		$1,5 \cdot 10^{-9}$
			S5:4		$9,8 \cdot 10^{-9}$

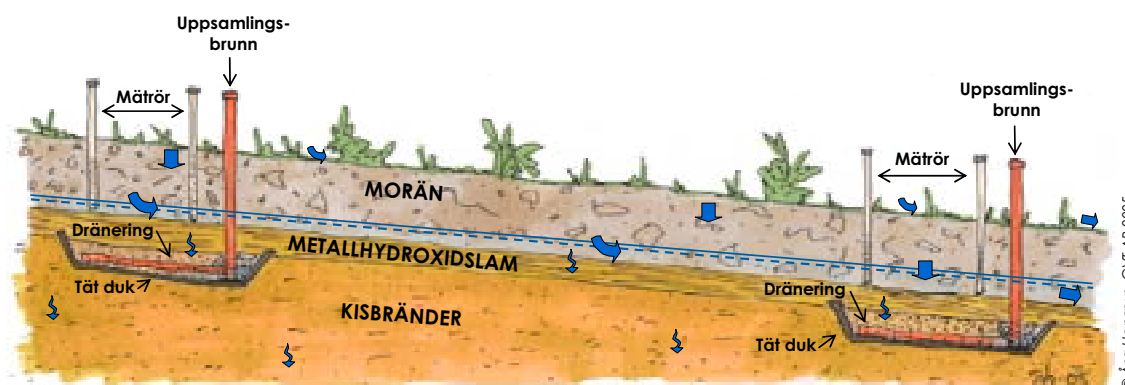
* Prover som är benämnda "Belastade" har före bestämning av den hydrauliska konduktiviteten belastats med motsvarande 1 m morän under ca två veckor. Övriga prover är ostörda prover, tagna direkt i avvattningsbassängerna efter det att slammet legat under en vinter.

Den morän som valdes ut för att läggas som tätskikt, provtogs löpande för bestämning av den hydrauliska konduktiviteten. För de totalt ca 50 proverna varierade den hydrauliska konduktiviteten i storleksordning från 10^{-8} till 10^{-11} m/s, med medianvärde $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Den hydrauliska konduktiviteten bestämdes på störda prover som proctorpackades till 90 % packningsgrad i lab.

10.4.2 Resultat av lysimeterförsök

Lysimetrarnas utformning

Under hösten 2005 anlades fem lysimetrar för att kontrollera hur sluttäckningen fungerade med avseende på vattengenomsläpplighet. Lysimetrarna gjordes relativt stora för att samla upp vatten från en större del av täckningen, samt för att minska randeffekterna. Lysimetrarnas utformning framgår av Figur 79 och Tabell 31.



Figur 79. Lysimeterutformning, principsektion. Exemplet gäller för lysimeter 1 och 2 som har ett extra tätskikt av metallhydroxidslam.

Lysimetrarnas botten tätning består av plastmembran och bentonitmatta. Uppsamlat vatten i lysimetrarna dräneras till en brunn via ett sandlager kompletterat med dräneringsrör. Ur brunnen kan uppsamlat vatten pumpas ur och volymbestämmas. I varje lysimeter finns ett antal grundvattentrör, där vattennivån i lysimetern och i skyddsskiktet kan mätas.

Täckningen utformades så att tätskiktet av 0,5 m morän, packat med tung vibratorplatta ("padda"), kompletterades med ett 0,3-0,4 m mäktigt lager av metallhydroxidslam i två av lysimetrarna. Lysimetrarna lades antingen i lutning 1:10 eller 1:30. Skyddsskiktet utgjordes i samtliga fall av 0,5 m morän, som endast lades till med skopa (ingen ytterligare packning) med undantag av lysimeter nr 5 där skyddsskiktet packades med vält.

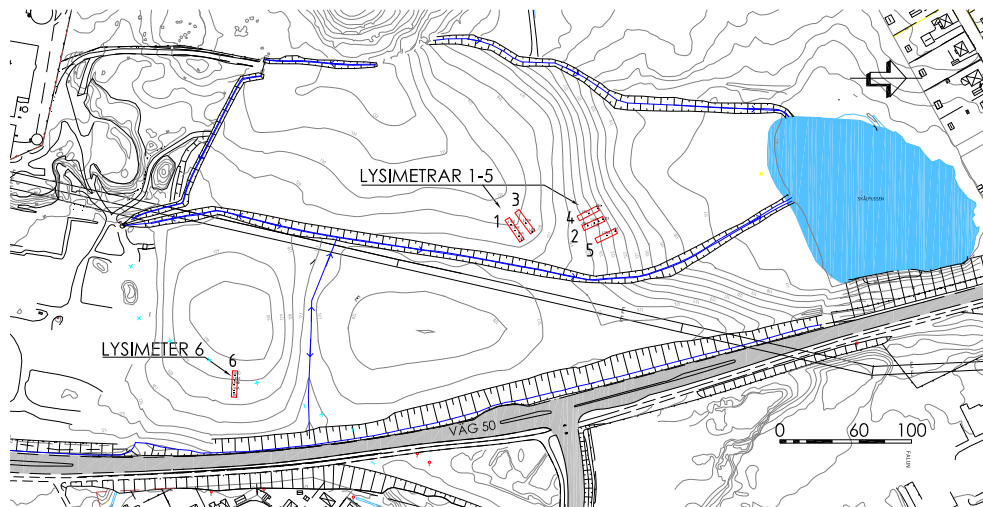
I samband med att sluttäckningen genomfördes 2007, byggdes ytterligare en lysimeter (nr 6), som har följts upp under betydligt kortare tid än övriga. Denna lysimeter lades i lutning 1:20. Istället för att lägga enbart sand i lysimeterns dräneringslager, ersattes här övre delen av sandskiktet med kisbränder. Syftet var att undersöka om tätskiktet vid verkliga förhållanden skulle släppa igenom mer vatten på grund av kapillärverkan i underliggande kisbränder.

Tabell 31. De olika lysimetrarnas uppbyggnad.

Lysimeter	Area (m ²)	TÄTSKIKT		SKYDDSSKIKT	Lutning
		Hydroxidslam	Morän	Morän	
1	80	0,3-0,4m	0,5 m	0,5 m	1/30
2	80	0,3-0,4m	0,5 m	0,5 m	1/10
3	68	-	0,5m	0,5 m	1/30
4	68	-	0,5m	0,5 m	1/10
5	68	-	0,5m	0,5 m, ytpackad	1/10
6	80	Kisbr. u. tätskikt	0,5m, harpad	0,5 m	1/20

Lysimetrarnas läge i plan framgår av Figur 80. När lysimetrarna 1-5 anlades 2005, var inte sluttäckningen som helhet utlagd. De var därför "störda" till och med 2007, då sluttäckningen färdigställdes. Till och med 2007 var den sluttäckta släntlängden

”uppströms” lysimeter 1-3 endast ett tiotal meter, medan ca 40-50 m slänt var slut-täckt ”uppströms” lysimeter 2, 4 och 5.



Figur 80. Lysimetrarnas läge i plan.

Hydraulisk konduktivitet i tät- och skyddsskikt

I samband med att lysimetrarna anlades, togs prover för bestämning av den hydrauliska konduktiviteten, se Tabell 32. För tätskiktet av metallhydroxidslam bestämdes den hydrauliska konduktiviteten på ostörda prover i provtagningshylsa. För moränen har genomsläppligheten bestämts i störda prover som proctorpackats till 90 % packningsgrad. Jämfört med de moränprover som senare uttogs i samband med täckningsarbetena (jämför avsnitt 10.4.1), hade moränen i ytorna med lysimetrar högre vattengenomsläpplighet.

Tabell 32. Labvärden på hydraulisk konduktivitet (m/s) för morän och metallhydroxidslam i tät- och skyddsskikt ovan lysimetrarna på kisbränderdeponin.

HYDRAULISK KONDUKTIVITET (m/s)		PROV 1	PROV 2	PROV 3	MEDEL
Lysimeter 1	Morän , tätskikt	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$		$2,0 \cdot 10^{-7}$
Lysimeter 1	Metallhydroxidslam	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Lysimeter 2	Morän, tätskikt	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$
Lysimeter 2	Metallhydroxidslam	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$4,7 \cdot 10^{-9}$
Lysimeter 3	Morän, tätskikt	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$		$2,7 \cdot 10^{-7}$
Lysimeter 4	Morän, tätskikt	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$		$2,4 \cdot 10^{-7}$
Lysimeter 5	Morän, tätskikt	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$		$2,1 \cdot 10^{-7}$
Lysimeter 6	Morän, tätskikt	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-10}$	} $1,7 \cdot 10^{-8}$
Lysimeter 6	Morän, tätskikt	$7,0 \cdot 10^{-9}$			
Lysimeter 6	Morän, skyddsskikt	$2,0 \cdot 10^{-9}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$

Uppsamlat vattenmängder

Uppsamlat vatten i lysimetrarna har pumpats ur och volymbestämts ca 1 ggr/månad, dock något anpassat efter nederbördsförhållandena (tätare under nederbördsrika perioder/snösmältning och glesare under torrperioder). I samband med urpumpning har vattennivån i de olika skikten mätts i observationsrören.

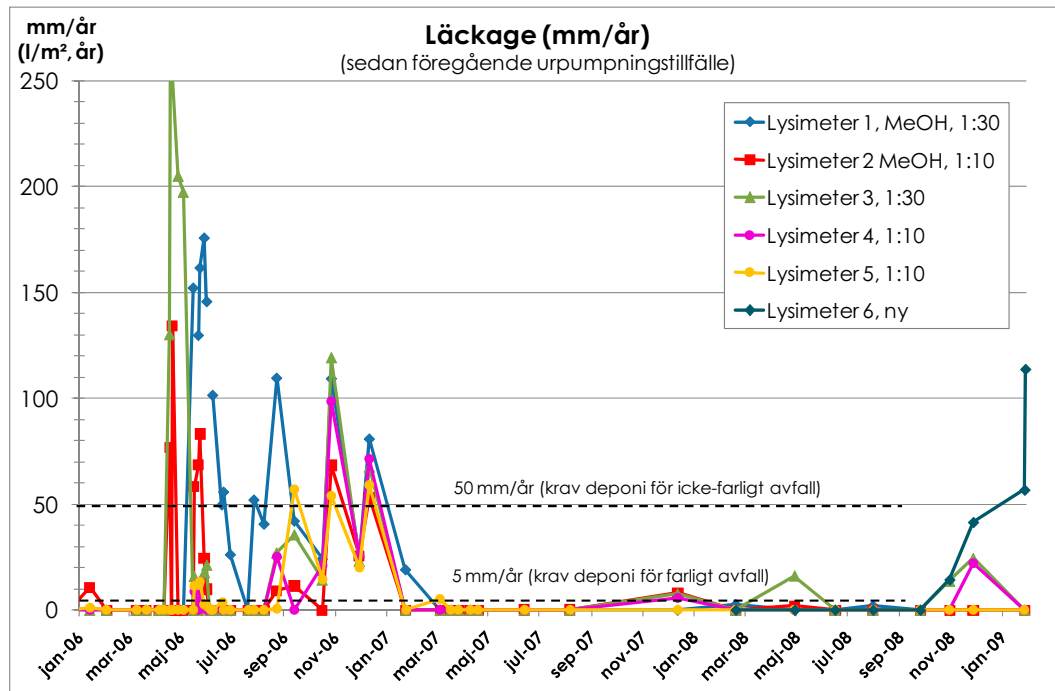
Akkumulerade uppsamlade vattenmängder redovisas i Tabell 33.

Tabell 33. Akkumulerade uppsamlade vattenmängder i respektive lysimeter.

	LYS 1	LYS 2	LYS 3	LYS 4	LYS 5	LYS 6
Uppföljningsperiod	051220 – 090127					071212 – 091215
Ack. läckage (mm)	39	17	35	15	15	92
Ack. läckage (mm/år)	12	5	11	5	5	12-80

För lysimeter 2, 4 och 5 var genomsläppligheten under mätperioden i nivå med kraven för deponier för farligt avfall (5 l/m², år). I lysimeter 1 och 3 släppte slut-täckningen igenom något större vattenmängder, men klarade med god marginal kraven för deponier för icke-farligt avfall (50 l/m², år). Detta trots att konstruktionerna inte innehåller något dräneringsskikt. I lysimeter 6 har däremot läckaget överstigit icke-farligt avfall (50 l/m², år). Gemensamt för lysimeter 2, 4 och 5, som uppvisar de lägsta genomsläppligheterna, är att de ligger i större lutning än övriga (1:10 jämfört med 1:30).

Uppsamlad vattenmängd i lysimetrarna vid varje urpumpningstillfälle, beräknat som mm/år (l/m², år) under perioden sedan föregående urpumpning, redovisas i Figur 81.



Figur 81. Uppsamlade vattenmängder i respektive lysimeter, omräknat till mm/år (l/m²,år) sedan föregående mättillfälle.

Uppsamlade vattenmängder visade stor variation under mätperioden. Initialt var det torrt i samtliga lysimetrar, men relativt stora vattenmängder samlades upp under

2006 (från snösmältningsperioden och framåt) i tre av lysimetrarna (nr 1, 2 och 3). I lysimetrarna med ett tätskikt av metallhydroxidslam kan förklaringen vara att vatten pressats ur slammet då det komprimeras av ovanliggande moränmassor. En ”ren moränlysimeter”, utan metallhydroxidslam, (nr 3) släppte också igenom vatten under samma period. Det var den moränlysimeter som låg i flack lutning (1:30). Under 2007 och större delen av 2008 samlades mycket små vattenängder upp överlag. Hösten/vintern 2008 släppte sluttäckningarna åter igenom vatten, om än små mängder. Undantaget var den senast anlagda lysimetern, som visade tendens till ökande vattenmängder i slutet av mätperioden. Om detta är en effekt av kapillärverkan i skyddsskiktet eller inte, får fortsatt uppföljning visa. Eftersom uppsamlade vattenmängder varierade kraftigt i samtliga lysimetrar under uppföljningsperioden, krävs fortsatt uppföljning för att kunna dra några slutsatser om sluttäckningskonstruktionernas långsiktiga genomsläpplighet. Uppföljningen hittills visar på lägre vattengenomsläppligheter än vad som förväntades, med tanke på att sluttäckningskonstruktionerna inte försetts med något separat dräneringsskikt och att den hydrauliska konduktiviteten är högre än $1 \cdot 10^{-9}$ m/s för samtliga tätskiktsmaterial (median $2 \cdot 10^{-7}$ m/s för moränen och $5 \cdot 10^{-9}$ m/s för metallhydroxidslammet). Dessutom hade i princip ingen växtlighet etablerats på deponin under uppföljningsperioden.

Vattennivå över tätskiktet

I samband med tömning av vatten i lysimetrarna, mättes vattennivån i de grundvattenrör som installerats i skyddsskiktet (med rörbotten i nivå med tätskiktets överyta). Samtliga rör var vid i princip alla mättillfällen torra eller endast fuktiga i botten, med undantag för enstaka tillfällen då ett par centimeter vatten uppmättes i något rör. Resultaten indikerar att det sällan förekommit någon vattenpelare över tätskiktet på kisbränderdeponin under uppföljningsperioden och att tätskiktet därmed sällan utsatts för vattentryck större än gradienten 1.

Liknande resultat uppvisas vid uppföljning av vattenpelaren ovan tätskikt av aska-slamblandning vid Gärstad deponi, i det fall tätskiktet överlagras av ett dräneringslager av bergkross - lutning 1:3 respektive 1:20 (Ländell et. al., 2009). På kisbränderdeponin finns inget regelrätt dräneringsskikt i sluttäckningskonstruktionen. Däremot är det stor skillnad i packningsgrad mellan det packade tätskiktet (packat med vibratorplatta i lysimetrarna, med vält i övrigt) och skyddsskiktet, som endast lagts till med skopa. Hur packningen/utläggningen påverkar den hydrauliska konduktiviteten för den utlagda moränen är dock inte undersökt inom ramen för sluttäckningskontrollen.

10.4.3 Vegetationsetablering och erosion

På det utlagda skyddsskiktet sprutsåddes ca 40 % av ytan i oktober 2007. Resterande del sprutsåddes i juni 2008. Sådden som utfördes i juni tog sig bättre och snabbare än den som utfördes sent på hösten. Inför vintern 2008 var hela ytan gräsbevuxen, dock relativt glest.

Vissa erosionsrännor i täckningen observerades under 2008, dels i slänten ned mot Skålpussen, dels i de korta slänterna ned mot ytvattendiket som går genom området. Erosionsrännorna är dock relativt små, maximalt drygt 1 dm djupa. Justering av erosionsrännor kan behöva utföras, men troligen i begränsad omfattning.

10.5 Kemikalie- och energianvändning

Kemikalie- och energiförbrukningen redovisades inte löpande under projektet, varför inga heltäckande uppgifter finns tillgängliga. Beräkningar utförda i efterhand, visar på följande ungefärliga förbrukningar under tolv års tvättning av kisbränderdeponin:

Kemikalier:

- 7 000-12 000 ton släckt kalk (600-1 000 ton/år).
- 20-25 ton polymer (1,7–2,1 ton/år).

Elförbrukning:

- Drygt 0,7 miljoner kWh i behandlingsanläggningen (60 000 kWh/år).
- Ca 1,1 miljoner kWh för pumpning/tryckstegring (ca 90 000 kWh/år).

10.6 Miljöeffekter

Utsläppen av metaller från kisbränderdeponin påverkar grundvattenkvaliteten i Falu tätort, samt vattenkvaliteten i Faluån. Utsläppen har dock varit av sådan storlek att de även har påverkat vattenkvaliteten nedströms i recipientsystemet, det vill säga sjön Tisken, sjön Runn och Dalälven. Det finns dock flera andra stora källor till metallutsläpp till detta vattensystem, framförallt olika typer av gruvavfall från Falu gruva. Parallellt med att kisbränderdeponin åtgärdats, har dessutom andra gruvavfallsobjekt i Falun efterbehandlats. Att separat utvärdera miljöeffekterna av åtgärderna på gruvområdet låter sig därför inte göras. Miljöeffekterna av Faluprojektet som helhet har dock utvärderats för vattensystemet Faluån-Tisken-Runn-Dalälven. Resultaten redovisas i en separat delrapport ”Konsekvenser för Faluån, Runn och Dalälven av åtgärder på gruvavfall i Falun” (Lindeström och Tröjbom, 2010) – samt i den sammanfattande slutrapporten ”Efterbehandling av gruvavfall i Falun 1992-2008” (Hanæus och Ledin, 2010).

10.7 Ekonomi och kostnadseffektivitet

Kostnaderna för efterbehandling av Kisbränderdeponin framgår av Tabell 34 nedan. Kostnaderna är rakt summerade utan hänsyn till förändringar i penningvärde/index.

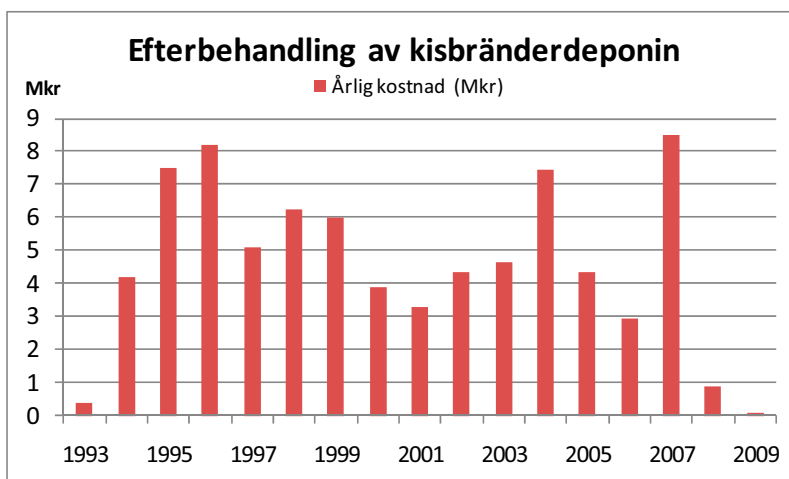
Tabell 34. Kostnadssammanställning för efterbehandlingen av Kisbränderdeponin, inklusive nyckeltal.

KOSTNAD/NYCKELTAL	Efterbehandling av kisbränderdeponin exkl. projektgemensamt	Efterbehandling av kisbränderdeponin inkl. 11 % projektgemensamt
In situ tvättning	66 Mkr	73 Mkr
Sluttäckning	12 Mkr	13 Mkr
TOTALKOSTNAD	78 Mkr	86 Mkr
Kostnad för in situ tvättning, per kvadratmeter	660 kr/m ²	732 kr/m ²
Kostnad för in situ tvättning, per kubikmeter	116 kr/m ³	129 kr/m ³
Kostnad för in situ tvättning, per ton	68 kr/ton	75 kr/ton
Sluttäckningskostnad, per kvadratmeter sluttäckt yta	119 kr/m ²	132 kr/m ²

Kostnaden för tvättning av kisbränderområdet har uppgått till ca 66 Mkr och kostnaden för sluttäckning av området till 12 Mkr, det vill säga totalt 78 Mkr. Till det kommer kostnader för administration, projektledning och provtagning, som hantearats gemensamt för alla Faluprojektets åtgärder. Kostnaden för gemensam projektledning, administration, provtagning m.m. har uppgått till ca 18 miljoner kronor, vilket motsvarar 11 % av projektets totala kostnader. Exklusive de gemensamma administrativa kostnaderna, har tvättningen av kisbränderområdet kostat ca 68 kr/ton motsvarande ca 116 kr/m³.

I Figur 82 nedan redovisas kostnadens fördelning under projekttiden, exklusive projektgemensamma kostnader.

Figur 82. Årlig kostnad för efterbehandling av Kisbränderdeponin, exklusive projektgemensamma kostnader för Faluprojektets ledning, administration och uppföljning.



Åtgärderna på kisbränderdeponin kostnadsberäknades 1994 till ca 30-40 Mkr, varav ca 5-10 Mkr för sluttäckning (se avsnitt 4.4). De verkliga kostnaderna blev betydligt högre (78 Mkr varav 12 Mkr för sluttäckning). Det index som användes för reglering av entreprenadarbeten inom Faluprojektet steg dock med 64 % under perioden 1994-2007, vilket utgör en del av förklaringen. Med hänsyn tagen till hur

kostnaderna fördelade sig under genomförandeperioden, motsvarar den verkliga kostnaden (78 Mkr) ca 57 Mkr i 1994 års penningvärde. Kvarvarande fördyring jämfört med prognos (27-17 Mkr) beror framförallt på att tvättningen bedrevs betydligt längre än planerat – drygt elva säsonger istället för de sex till sju som kalkylerats. Kostnaden för sluttäckning utföll ungefär enligt kalkylen, med hänsyn tagen till indexuppräknings.

10.8 Erfarenhetsåterföring i övrigt

Drifterfarenheter från de första årens tvättning av kisbränderdeponin finns redovisade i Naturvårdsverket Rapport 5172. ”Sanering av kisbränderdeponi i Falun. Metodik och erfarenhetsuppföljning”.

11 Kisbränderdeponin i framtiden

11.1 Metallhydroxidslammets långsiktiga stabilitet

Frågan om metallhydroxidslammets långsiktiga stabilitet är central för efterbehandlingen av kisbränderdeponin och har studerats vid ett par tillfällen.

Inledande undersökningar genomfördes år 1995 (Qvarfort, 1995). Utlakningen av metaller från metallhydroxidslammet konstaterades vara pH-beroende. Initialt har slammet ett pH-värde på ca 11-12 och så länge pH-värdet förblir högt, över ca 8-9 bedömdes den framtida utlakningen vara låg för ingående metaller. Laboratorieförsök genomfördes för att kontrollera påståendet. Slammet pH-justerades med svavelsyra, varefter lakförsök genomfördes som skakförsök med L/S 1:5-lakning, med resultat enligt Tabell 35 nedan.

Tabell 35. Resultat av lakförsök utförda på metallhydroxidslam och kisbränder, hämtade från (Qvarfort, 1995).

MATERIAL	pH	Lakbar zink (mg Zn/kg)
Kalkslam, initialt	11,4	4,9
Kalkslam, pH-justerat till 8,5	8,5	10,1
Kalkslam, pH-justerat till 7,0	7,0	20,8
Kisbränder, tvättade	4,2	75
Kalkslam:kisbränder (50:50)	7,1	36

Man konstaterade att lakbarheten för kalkslammet vad gäller zink var betydligt lägre än motsvarande lakbarhet för tvättade kisbränder, men att lakbarheten ökar betydligt med sjunkande pH-värde.

Genom omräkning till halter i grundvattnet (lakvattnet) från kisbränderdeponin, bedömdes läckaget av zink från kalkslammet vara maximalt ca 300-500 kg/år om pH i slammet hölls över 7. Detta att jämföra med ett beräknat zinkläckage på ca 9-10 ton/år från de färdigtvättade kisbränderna.

År 2005, då tvättningen pågått i tio år, gjordes ytterligare en utredning om slammets långsiktiga stabilitet, inför det slutliga valet av sluttäckningsmetod (Höglund, 2005). Utredningen omfattade laboratorieförsök och geokemisk modellering.

I laboratorieförsöken bestämdes bland annat slammets syrabuffringskapacitet genom titrering och genom satsvisa tillsatser av saltsyra. Man undersökte också slammets pH, metallinnehåll och innehåll av buffrande karbonater. Slammets egenbuffring gav ett pH på ca 9 vid naturlig fukthalt och ca 8,5 vid skaktest med L/S 10. Lösligheten för zink i skaktestet var 0,4-1,1 mg/l (fem prover). Endast ett av de fem proverna indikerade någon påtaglig karbonathalt i slammet.

Syrabuffringsförmågan var likartad för de fem proverna. Titreringsförsöken visade på en syrabuffringskapacitet på cirka 0,5 mol H⁺/kg TS vid pH 7. Försöken med satsvisa syratillsatser, med längre reaktionstid mellan tillsatserna, visade att metallhydroxidslammet har en egenbuffring som förmår upprätthålla ett pH nära 7 vid tillsats av cirka 4 mol H⁺/kg TS. Samma försök visade att zinkhalten i laklösningen ökar kraftigt då pH sjunker under ca 7,5.

De geokemiska simuleringarna utfördes med programvaran PHREEQC-2, med den termodynamiska databasen Minteq_v4. Beräkningar genomfördes för ett förlopp där det bildade metallhydroxidslammet utsattes för infiltrerande sur nederbörd. Simuleringar utfördes också av de experimentella titreringarna som genomförts, för att undersöka modellens överensstämmelse med dessa.

De genomförda modelleringarna visade att lakbarheten hos zink och andra metaller är låg i det metallhydroxidslam då lakvatten från kisbränderna i Falun behandlats med kalkfällning och luftning. Till följd av infiltration av försurande nederbörd och karbonatisering från atmosfären, såväl som från eventuell markandning som skapar koldioxid i överlagrat jordtäckte, sker en successiv utarmning av den initialt goda egenbuffrande förmågan i metallhydroxidslammet. Simuleringarna visade att zink och andra metaller kommer att lakas ur i en kontrollerad takt trots inverkan av försurning. Halterna i det genererade lakvattnet har uppskattats ligga på nivån 0,5-2 mg zink/l under hela urlakningsförloppet (att jämföra med beräknade zinkhalter på ca 100-270 mg/l från de tvättade kisbränderna). Övriga metaller förväntas ha lägre lakbarhet. De beräknade zinkhalterna (0,4-0,9 mg/l) för den initiala fasen överensstämde väl med de uppmätta halterna av zink i lakförsöken vid L/S 10 (0,4-1,1 mg Zn/l vid pH 8,3-8,6).

Simuleringarna visade att urlakningen av zink kan förväntas öka något i takt med att de buffrande komponenterna i metallhydroxidslammet utarmas. Dock förväntades ökningen av zinkhalterna vara små och tidsperspektivet för haltökningen vara tusentals år – det vill säga en mycket långsam urlakning.

Den beräknade urlakningen från samtliga bassänger där metallhydroxidslam deponerats t o m 2005, uppgick till ca 3 kg zink/år (1 mg Zn/l · 75 l/m²/år · 45 000 m²). Jämfört med övriga metallflöden till Faluån från området konstaterades urlakningen från metallhydroxidslammet vara försumbart.

Kalkningsåtgärder skulle givetvis kunna utföras för att förstärka slammets egenbuffrande egenskaper, dock rekommenderades att miljöeffekterna av en sådan åtgärd skulle vägas mot kostnaderna och att en optimering skulle göras mot andra tänkbara objekt i området.

11.2 Framtida skydd

11.2.1 Möjliga skyddsformer

Faluprojektets styrgrupp diskuterade under lång tid hur ett framtida skydd av kisbränderdeponin skulle utformas. Det konstaterades vara viktigt att områdets utformning och konstruktion bevaras för lång tid framöver. Skador och andra förändringar som ökar vattengenomströmningen och/eller syretransporter i deponin kan medföra att metallbelastningen ökar i recipienten och att de kostsamma och genomförda åtgärderna inte har avsedd långsiktig effekt.

Diskussioner fördes kring möjliga skyddsformer genom exempelvis bestämmelser i detaljplan, miljöriskområden, områdesbestämmelser etc. Styrgruppen kom fram till att det lämpligaste verktyget (2008) var att, med stöd av miljöbalken, dels förbjuda vissa åtgärder inom området (del av fastigheten Falun 9:18), dels att sända beslutet till inskrivningsmyndigheten för anteckning i fastighetsregistrets inskrivningsdel. Det senare medför att förbudet (belastningen) på fastigheten ligger kvar även om fastigheten och markområdet byter ägare i framtiden.

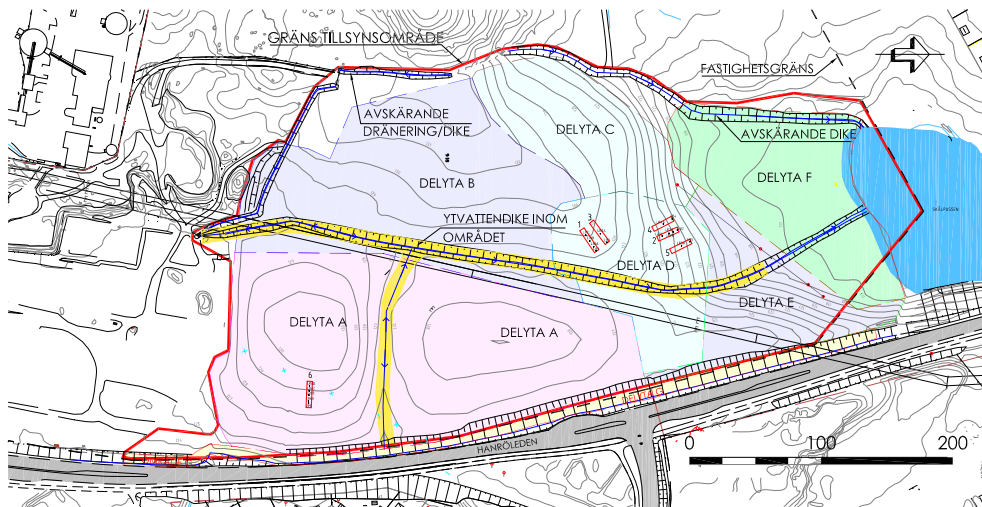
11.2.2 Beslut om skydd

Det framtida skyddet av kisbränderdeponin upprättades i form av ett länsstyrelsebeslut daterat 2009-04-17. Beslutet utfärdades med stöd av 26 kap 9 § Miljöbalken, och är riktat till Stora Kopparbergs Bergslags AB. Beslutet tillsändes, med stöd av 26 kap 15 § Miljöbalken, inskrivningsmyndigheten för anteckning i fastighetsregistrets inskrivningsdel. I beslutet gör länsstyrelsen vidare bedömningen att Stora Kopparbergs Bergslags AB, vid en eventuell framtida ändring av detaljplanen för marken vid gamla svavelsyrafabriksområdet, ska bevaka och tillse att det åtgärdade kisbränderområdet då inkluderas i planen och att området skyddas för framtida exploatering genom planbestämmelser.

I beslutet förbjuder länsstyrelsen Stora Kopparbergs Bergslags AB att inom ett angivet tillsynsområde, kisbränderområdet, på fastigheten Falun 9:18 (se Figur 83) genomföra:

- 1) grävningsarbeten eller andra åtgärder som kan skada skyddsskikt eller tätskikt,
- 2) åtgärder som förändrar områdets topografi och därmed områdets avvattningsmöjlighet och avvattningsriktningar,
- 3) åtgärder som kan påverka de avskärande dräneringsdikenas funktion.

Åtgärder som behövs för skötsel och underhåll av diken, dräneringar, elstolpar, skydds- och tätskikt samt lysimetrar och som kan antas påverka området i enlighet med punkterna ovan kan få vidtas men ska föregås av samråd med tillsynsmyndigheten.



Figur 83. Tillsynsområde (röd linje) belagda med förbud enligt länsstyrelsens beslut om skydd av kisbränderområdet.

Området innehåller kisbränder med olika kvarvarande föroreningsgrad. Området har utifrån detta delats in i olika delytor, vars tät- och skyddsskikt utformats olika, se Figur 83. Delyta A är den yta som har det tjockaste skydds- och tätskiktet på grund av att där förekommer störst kvarvarande mängd lakbara metaller. Områdena B och E har något tunnare skydds- och tätskikt. Delytorna C, D och F har endast ett kombinerat skydds- och tätskikt på grund av deras låga innehåll av lakbara metaller. Delytorna A, B och E har störst kvarvarande föroreningspotential och där ska man därför vara extra försiktig för att skada den täckning som utförts.

Inom gulmarkerad områden (diken) i Figur 36 har en extra tätning utförts med bentonitmatta och HDPE-duk. Eftersom dukarna är känsliga för skador får inga schaktningsarbeten utföras inom dessa områden.

Det avskärande diket i nordvästra delen är till för att minska grundvattnets gradient inom delyta F, samt för att minska flödet av yt- och grundvatten till områdets norra del. Den avskärande dräneringen/diket i den södra och sydvästra delen är till för att minska flödet av yt- grundvatten till området. Inga arbeten, som på något sätt påverkar dikenas funktion, ska därför tillåtas.

11.3 Framtida kontroll och underhåll

Faluprojektets styrgrupp lämnade i december 2007, via Stora Enso, in ett förslag till kontrollprogram för uppföljning av metalltransporter att gälla efter Faluprojektets avslutning, från och med 2008. Länsstyrelsen godkände det nya kontrollprogrammet i beslut daterat 07-12-18.

11.3.1 Provtagning

Nedan beskrivna provpunkter i anslutning till Kisbränderdeponin ingår i beslutat kontrollprogram och ska följas upp från och med år 2008.

Vattenprovtagning

F4: Skålpussen. Provtagning av ytvatten och indirekt grundvatten från den del av kisbränderdeponin som avvattnas mot Skålpussenområdet och vidare till Östanforsån (Faluån).

BR1: Brunn vid Gamla Herrgården. Provtagning av grundvatten i brunn som härstammar från slagglager som i huvudsak ligger under den sanerade kisbränderdeponin. Br1 är byggd som en horisontalbrunn (dränering) och dess läge gör att den samlar upp ca 50 % av vad som läcker från kisbränderområdet. I Br1 kommer två pumpar att vara monterade som samlar upp grundvattnet från kisbränderområdet. Uppumpat vatten avleds till en dagvattenledning som har sitt utlopp i Faluån vid Nybron. Vattenflödet bestäms i samband med pumpning. För att erhålla ett konstant tillflöde i brunnen hålls grundvattenytan avsänkt ca 0,7 m i brunnen.

V13: Borrhål placerat vid Mariegatan, ca 100 m norr om BR1. Provtagning av grundvatten i borrhål beläget i en stor slaggförekomst som sträcker sig längs Mariegatan. Till V13 kommer ca 25 % av det grundvatten som bildas inom kisbränderdeponin. I V13 är en pump monterad för att samla upp grundvatten från kisbränderdeponin. Uppumpat vatten avleds till en gammal ledning från f.d. svavelsyrafabriken och har sitt utlopp i Faluån uppströms Hanröbron. För att erhålla ett konstant tillflöde i brunnen hålls grundvattenytan avsänkt ca 1,4 m i brunnen.

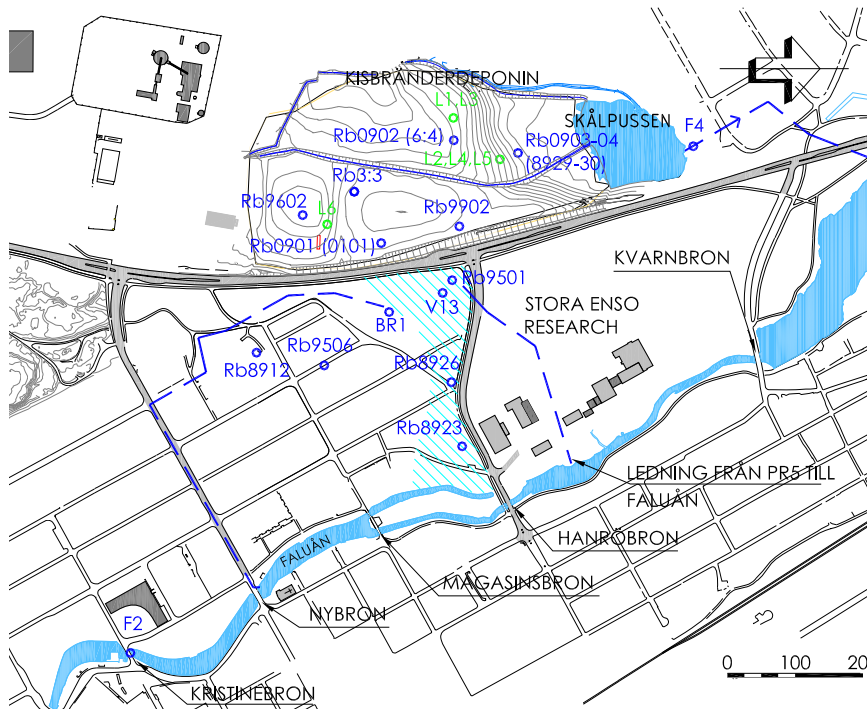
F2: Kristinebron (DVVF26A). Provtagning av ytvatten i Faluån, nedströms utläckande grundvatten från kisbränderdeponin och nedströms tillflödet från Skålpussen (men uppströms Gruvbäcken). Denna provpunkt har tidigare provtagits av DVVF på uppdrag av Faluprojektet.

Tömning av lysimetrar

L1 - L6: Lysimetrar. Tömning och mätning av vattennivåer i sex lysimetrar som är placerade i sluttäckningen på kisbränderdeponin. Lysimetrarna följer upp täckningens täthet, inklusive eventuella förändringar med tiden efter t.ex. vegetationens etablering och några årscykler med tjäle.

Mätning av grundvattennivåer

Grundvattenrör: Rb3:3, Rb6:4, Rb8929, Rb 8930, Rb9602, Rb9902, Rb0101 samt Rb8912, Rb8923, Rb8926, Rb9501 och Rb9506: Mätning av grundvattennivån i sju grundvattenrör inom kisbränderområdet och 5 grundvattenrör inom Gamla Herrgårdsområdet. Avsikten är att följa förändringar i grundvattennivån efter sluttäckning, samt efter det att pumpningen upphört i BR1 och V13.



Figur 84. Provpunkter för framtida kontroll i anslutning till kisbränderdeponin.

På vattenprover ska analys ske av minst nedanstående parametrar och med åtminstone följande analysnoggrannhet:

Tabell 36. Parametrar och analysnoggrannhet för den fortsatt vattenkontrollen.

Parameter	Analysgräns	Parameter	Analysgräns	Parameter	Analysgräns
A: Zink	0,001 mg/l	A: Koppar	0,2 µg/l	A: Järn	0,05 mg/l
A: Kadmium	0,02 µg/l	A: Bly	0,1 µg/l	B: Kväve	0,05 mg/l

Analys av metaller ska utföras med ICP-teknik, vilket betyder att ytterligare parametrar erhålls från laboratoriet utan extra kostnad. Utvärdering ska endast ske av nämnda parametrar, om inte nya faktorer gör att man vill studera andra ämnen. Samtliga analyserade ämnen läggs dock in i en databas.

I samband med provtagning ska vattentemperatur, pH och konduktivitet mätas i samtliga provpunkter. Dessutom ska flöden och grundvattennivåer ska mätas där så är möjligt.

Om inga anmärkningsvärda förändringar erhålls i mätresultaten år 2008-2010, reduceras provtagningens omfattning från och med 2011. En genomgripande utvärdering ska ske för att verifiera denna reduktion. Provtagningsprogrammen för 2008-2010 respektive 2011 till 2013 framgår av Tabell 37 nedan.

Tabell 37. Provtagningsprogram för Kisbränderdeponin efter 2007. **A** = metallanalys enligt Tabell 36.

Provtagning år 2008 till 2010			
	Vattenprov	Flödesmätning	Analys
Provpunkt			
F4: Skålpussen	1/mån	1/mån	A
L1-L6: Lysimetrar	- - -	tömning 4 ggr/år	- - -
BR1: Gamla Herrgården	1/mån	Kontinuerlig	A
V13: Mariagatan	1/mån	Kontinuerlig	A
F2: Kristinebron i Faluån	1/mån	1/mån	A
Provtagning år 2011 till 2013			
	Vattenprov	Flödesmätning	Analys
Provpunkt	udda år provtagning udda månad och jämna år prov jämn månad		
F4: Skålpussen	6 ggr/år	6 ggr/år	A
L1-L3: Lysimetrar	- - -	tömning 4 ggr/år	- - -
F2: Kristinebron i Faluån	6 ggr/år	6 ggr/år	A
Mätning av grundvattennivåer			
Provområde	Grundvattenrör (Rb)	Frekvens	
Kisbränderområdet	3:3, 6:4, 8929, 8930, 9602, 9902, 0101	3 ggr/år	
Gamla Herrgården	8912, 8923, 8926, 9501, 9506	6 ggr/år	

Utöver det beslutade kontrollprogrammet för uppföljning av Faluprojektets åtgärder, utförs recipientkontroll av Dalälvens vattenvårdsförening (DVVF) - bland annat i Faluån uppströms och nedströms Falun. Provtagningen ingår i den samordnade recipientkontrollen för Dalälven. Uppströmspunkten är belägen vid Varpans utlopp och nedströmspunkten vid Slussen där Faluån/Tisken mynnar i Runn. Denna recipientkontroll ger en totalbild av metallläckaget från Faluns gruvavfall.

11.3.2 Inspektion och underhåll

I samband med samtliga provtagningar ska visuell inspektion utföras i provtagningspunktens närområdet. Dessutom ska minst en gång per år utföras en mer omfattande inspektion av kisbränderområdet för att identifiera erosionsskador, växtetablering samt annan påverkan av området. Loggbok ska föras även om inga anmärkningar finns att notera.

Provtagningspunkter och mätplatser iordningsställda för flödesmätning ska också underhållas.

Eventuellt behov av underhåll ska anmälas till länsstyrelsen för beslut om åtgärd.

11.3.3 Rapportering och revidering

Resultaten från provtagningarna vid Kisbränderdeponin ska läggas in i en databas som utvecklats inom Faluprojektet. Vård för databasen är för närvarande GVT AB. En kopia av databasen finns hos Länsstyrelsen och ska uppdateras årligen.

Resultaten från denna provtagning, och annan efterkontroll av Faluprojektets åtgärder, ska redovisas till Länsstyrelsen i Dalarnas län i en årsrapport (huvudsakligen i diagram- och tabellform) under mars månad påföljande år.

En mer omfattande utvärdering ska utföras efter fem års provtagning för att ligga till grund för en eventuell revidering av kontrollprogrammet.

Under 2013 utvärderas provtagningsresultaten för perioden 2008 till 2013 för att fastställa kontrollprogrammet för nästa femårsperiod.

11.4 Ansvar och avsatta medel

Efter det att Faluprojektets styrgrupp upplöses 2009 kommer länsstyrelsen i Dalarnas län att bedriva löpande tillsyn över kisbränderdeponin, i likhet med övriga tillsynsobjekt i länet. Ansvarig verksamhetsutövare och markägare är Stora Enso AB.

I enlighet med avtalet från 1992, som ligger till grund för Faluprojektet, är Stora Kopparbergs Bergslags AB:s (Stora Enso:s) ekonomiska ansvar för genomförande av efterbehandlingsåtgärder för de objekt som omfattas av avtalet begränsat till 60 miljoner kronor plus indexuppräknung. Dessa medel hade upparbetats till och med 2004. Staten ska enligt samma avtal svara för övriga kostnader, vilka i ett regeringsbeslut från 1992 begränsades till 90 miljoner kronor *”eller det lägre belopp som kvarstår av de medel som riksdagen anvisat för rening av Dalälven”*. I avtalet från 1992 poängteras att uppföljningen av vidtagna efterbehandlingsåtgärder är viktig. Det innebär att kontroll, tillsyn och rapportering ska ske även framledes.

Regeringen har uppdragit till Naturvårdsverket att fullgöra statens åtaganden enligt avtalet. Naturvårdsverket har i sin tur uppdragit åt Länsstyrelsen Dalarna att svara för det operativa arbetet – dvs. att planera, bereda och initiera åtgärder samt att administrera statliga medel. Naturvårdsverket beslutar om statliga medel till uppföljning av Faluprojektet, efter förslag från länsstyrelsen. Länsstyrelsen ansvarar för att i samråd med berörda parter upprätta underlag för Naturvårdsverkets beslut om medel, samt att svara för den löpande administrationen och kontrollen av medelns användning. Naturvårdsverket och länsstyrelsen har 2006 beslutat om medel för slutförande av beslutade efterbehandlingsåtgärder inom Faluprojektet samt kontroll, underhåll och uppföljning under tidsperioden 2008-2013.

Länsstyrelsens roll för hantering av statliga medel för efterbehandlingsåtgärder ska inte förväxlas med den roll som Länsstyrelsen har som tillsynsmyndighet.

Stora Enso AB, som verksamhetsutövare, ansvarar för att provtagning/mätning, inspektion, underhåll och rapportering utförs enligt förelagt kontrollprogram. Stora Enso AB ansvarar även för att besvara frågor, utreda och vid behov åtgärda händelser som skapar oförutsedd omgivningspåverkan som en följd av vidtagna efterbe-

handlingsåtgärder. Eventuella utredningar och åtgärder ska utföras i samråd med länsstyrelsen. Vid oförutsedda händelser på efterbehandlade områden ska Stora Enso AB omedelbart anmäla dessa till Länsstyrelsen för att i samråd fastställa lämpliga åtgärder. Länsstyrelsen har här dubbla roller – dels som tillsynsmyndighet och dels som operativt ansvarig för statens resterande kostnadsansvar enligt avtalet från 1992.

Utöver vad som framgår ovan har Stora Enso AB som markägare ansvar att sköta underhåll av fastigheterna samt svara för eventuella ekonomiska förhållanden inom områdena i de delar som inte har med den direkta miljöeffekten att göra, dvs. den skötsel som normalt krävs av en markägare.

Inom ramen för Faluprojektets genomförande har tillsynsmyndigheterna fortlöpande följt genomförandet av den överenskommelse/avtal som tecknades 1992 genom medverkan i Faluprojektets styrgrupp. För att på bästa möjliga sätt övergå från styrgruppens arbete till en mer renodlad arbetsfördelning mellan verksamhetsutövare och tillsynsmyndighet, kommer Stora Enso AB och Länsstyrelsen att hålla årliga möten för genomgång av kontrollprogram och upparbetade medel, samt planera nästkommande års medelsbehov.

12 Referenser

- Faluprojektet. 1995. *Kontrollprogram för tillsyn enligt miljöskyddslagen gällande sanering av kisbränderdeponin vid svavelsyrafabriken.*
- Fällman, A-M och Qvarfort, U. 1990. *Teknisk kartläggning av gruvavfall.* Linköping: SGI Varia 298.
- Höglund, L. O. 2005. *Kemisk stabilitet på kort och lång sikt hos metallhydroxid-slam från kisbränder i Falun.* Stockholm: Kemakta AR 2005-07.
- Ledin, B. 1991. *Kostnadsberäkning av alternativa täckningar samt tvättförsök i kolonn och fält.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 1999a. *Faluprojektet. Kisbränder. Tvättning avslutas år 2001.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 1999b. *Faluprojektet. Kisbränderna. Teknisk beskrivning samt kostnader för sanering av Skålpussenområdet.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 1999c. *Faluprojektet. Kisbränderna. Alternativ 4 – 7, sanering av Skålpussen.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 2003. *Faluprojektet, kisbränder. Framtida metalläckage från Skålpussenområdet. Rev. 2003-11-13.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 2004a. *Faluprojektet, kisbränder. Prognos framtida metalläckage från kisbränderområdet.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 2004b. *Faluprojektet, kisbränder. Skålpussen. Projektbeskrivning för åtgärder vid Skålpussen.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B.. 2005a. *Faluprojektet, kisbränder. Metalläckage/kostnader vid olika täckningsalternativ.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 2005b. *Faluprojektet, kisbränder. För- och nackdelar om tvättning avslutas 2005 alternativt 2006.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. 2006. *Faluprojektet, kisbränder. Utformning, täckning av kisbränderområdet, inklusive utvärdering av lysimetrar inför täckning.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B. och Hanæus, Å. 2003. *Faluprojektet, kisbränder. Kisbränder längs Hanröleden. Kartläggning och bedömning av framtida metalläckage.* Falun: GVT-rapport.
- Ledin, B., Mattsson, E. och Qvarfort, U. 1993. *Faluprojektet, Svavelsyrafabriken, Kisbränder – Tvättförsök.* Samverkansrapport från GVT, STORA TEKNIK och Uppsala Universitet.
- Ledin, B. och Qvarfort, U. 1994. *Faluprojektet, Kisbränder – Fastställande av metallmängder.* Samverkansrapport från GVT och Uppsala Universitet.

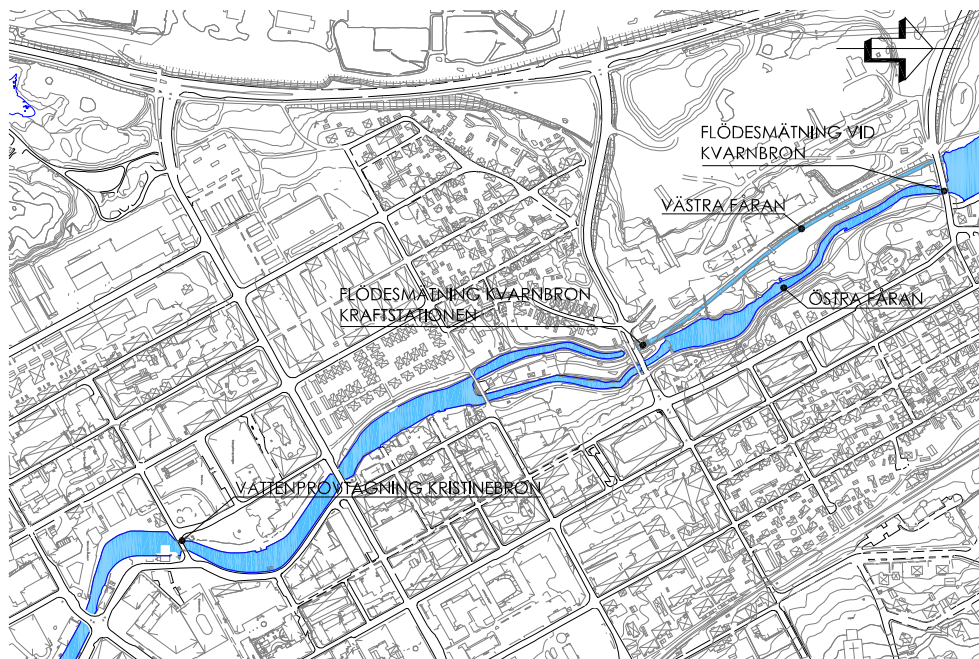
- Ledin, B. och Qvarfort, U. 1995. *Faluprojektet, Kisbränder – Containerförsök*. Samverkansrapport från GVT och Uppsala Universitet.
- Lundgren, T. och Hartlén, J. 1990. *Gruvavfall i Dalälvens avrinningsområde. Metallutsläpp och åtgärdsmöjligheter*. Linköping: SGI rapport no 39. ISSN 0348-0755.
- Lundqvist, G. 1994. *Kostnadsberäkning av tvättalternativet redovisad 1994-06-28*. Faluprojektet (bilaga till styrgruppsprotokoll).
- Ländell, M. et. al. 2009. *Uppföljning av provytor med tätskikt av FSA – Gärstad deponi och Sofielunds deponi*. SVU-rapport 2009-02.
- Mattsson, E. 1990. *Kartläggning av metallutsläpp – provtagning av vatten i Faluån och dess tillflöden*. Linköping: SGI Varia 296.
- Qvarfort, U. 1995. Täckning av kisbränderna i Falun. *Egenskaper hos kisbränder och kalkslam samt möjliga täckningsmaterial och metoder för sluttäckning*. Uppsala: Rapport från Miljögeologi, Uppsala Universitet.
- Qvarfort, U. 1995. Täckning av kisbränderna i Falun. *Egenskaper hos kisbränder och kalkslam samt möjliga täckningsmaterial och metoder för sluttäckning*. Uppsala: Rapport från Miljögeologi, Uppsala Universitet.
- STORA TEKNIK och VIAK. 1989. *STORA-projektet VARP-89, Kartläggning av källor för metalltillförsel till Faluån*. Falun: Samverkansrapport från STORA TEKNIK och VIAK.
- Sundström, K. 2002. *Falu gruva och tillhörande industrier - industrihistorisk kartläggning med avseende på förorenad mark*. Falun: Länsstyrelsen Dalarnas Län, Miljövårdsenheten. Rapport 2002:12. ISSN 1403-3127.

Muntliga referenser

- Larsson, T. 2006. Tord var fabrikschef i slutet av svavelsyrafabrikens driftperiod.

Flödesmätning vid provtagningspunkt Kristinebron, Faluån

Flödet i Faluån vid Kristinebron mäts egentligen vid Kvarnbron, se Figur 1. Anledningen är att kraftstationen som ligger vid Kvarnbron ger goda förutsättningar för flödesmätning. Flödestillskottet mellan Kvarnbron och Kristinebron anses försumbart i sammanhanget.



Figur 1. Figur över mätpunkten Kristinebron/Kvarnbron i Faluån.

Vid Kvarnbron delas vattnet upp i två fåror som båda kan regleras med dammluckor. Den västra fåran går i en ränna och genom kraftstationen. Vid höga flöden släpps en del vatten förbi kraftstationen genom att dammluckorna i den östra fåran öppnas.

Västra fåran

Flödet i den västra fåran beräknas utifrån ett samband mellan effekt och vattenflöde.

Energien från kraftverket bestäms genom att mätarställningen vid kraftverket noteras före och efter provtagning (med ca 5 timmars mellanrum). Sambandet i ekvation 1 används för att omvandla förändringen i mätarställningen till energiproduktion.

$$E=500 \cdot \Delta m / t \quad \text{ekv. 1}$$

E = energi (kWh)

t = tid (h)

Δm = ändring i mätarställningen

När energiproduktionen beräknats används sambandet i ekvation 2 för att beräkna flödet.

$$Q=0,000028 \cdot E^2+0,00964 \cdot E+0,8525 \quad \text{ekv. 2}$$

E = energi (kWh)

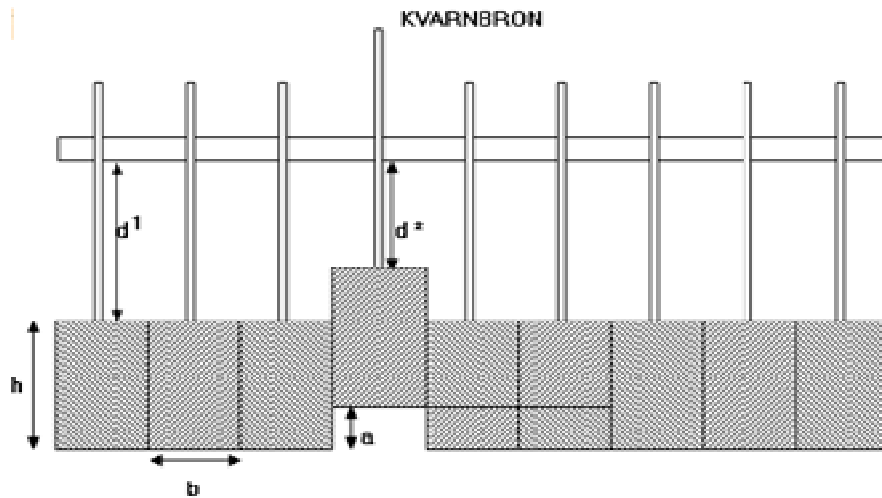
Q = flöde (m³/s)

När kraftverket står still har en konstant på 0,2 m³/s från västra fåran använts. Metoden för flödesberäkning togs fram av dåvarande Stora Teknik och har använts sedan 1989. Beräkningarna finns redovisade i (Mattsson, 1990). Det framgår inte av rapporten hur sambandet tagits fram, men det är troligt att det har det skett genom en kurvanpassning av empiriska data. I den ovan nämnda rapporten finns uppgifter om att flygelmätningar gjordes av Stora Teknik en gång i månaden under fyra månader 1989-1990. Troligen gjordes flygelmätningarna för att verifiera sambandet.

Östra fåran

Det finns nio dammluckor i den Östra fåran, se Figur 2. Vid flödesmätning noteras avståndet mellan överkant luckor och en tvärbalk, d^2 , samt vattennivån uppströms dammluckorna.

Nedströms dammluckorna är vattennivån lägre än luckornas underkant. Vid lucköppning går vattnet därmed genom luckorna utan motstånd från andra sidan. Ekvation 3 används för beräkning av flödet.



Figur 2. Dammluckor i Östra fåran.

$$Q = \mu ab \sqrt{2g(t - \mu)a} \quad \text{ekv. 3}$$

Q = flöde (m^3/s)

$\mu = 0,6$

a = lucköppningens höjd (m)

b = lucköppningens bredd (m)

t = vattenytans höjd över öppningens nederkant (m)

g = gravitationskonstanten ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Luckornas bredd varierar mellan 1,07 och 1,15 m. Avståndet d^1 har varierat något under åren. När luckor repareras och tätats har värdena på d^1 justerats. Nedre kant på luckorna är +115,83 m. Det finns en pegel där vattenytan uppströms dammluckorna kan läsas av.

Ett försök att uppskatta läckaget under luckorna görs vid varje mättillfälle. De senaste åren har läckaget uppskattats ligga mellan 0,01 och 0,1 m^3/s . Vid enstaka tillfällen händer det att vatten bräddar över någon av dammluckorna även detta noteras och uppskattas.

In situ tvättning av kisbränder- deponin i Falun

Åtgärder vid f.d. svavelsyrafabriken

ÅSA HANÆUS OCH BO LEDIN

RAPPORT 6400

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 978-91-620-6400-6
ISSN 0282-7298

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

Regeringen beslöt 1987 att tillsätta Dalälvsdelegationen med uppdrag att utarbeta ett åtgärdsprogram för att rena Dalälven inom 10 år. Som följd av delegationens arbete träffade Stora Kopparbergs Bergslags AB och tillsynsmyndigheterna, det vill säga Naturvårdsverket, Länsstyrelsen i Dalarnas län och Falu kommuns miljönämnd, 1992 ett avtal om efterbehandling av gruvavfall i Falun. För att genomföra åtgärderna inom avtalet skapades det som kom att kallas Faluprojektet. Faluprojektet har letts av en styrgrupp bestående av tre representanter från STORA och en från vardera tillsynsmyndighet.

När avtalet som ligger till grund för Faluprojektet arbetades fram, bedömdes metalläckaget från kisbränderdeponin svara för ca hälften av de dåvarande zink- och kadmiumutsläppen från Falun. I rapporten beskrivs in situ tvättning, uppsamling av tvättvatten, täckning och efterkontroller efter genomförda åtgärder och resultaten av dessa.

FALU  KOMMUN

STORAENSO 


LÄNSSTYRELSEN
DALARNAS LÄN


NATUR
VÅRDS
VERKET