

# Efterbehandling av Ingarvsmagasinet i Falun

Sluttäckning med aska-slamblandning

ÅSA HANÆUS

RAPPORT 6401 • DECEMBER 2010



# Efterbehandling av Ingarvsmagasinet i Falun

Sluttäckning med aska-slamblandning  
Delrapport i slutrapporteringen av Faluprojektet

Åsa Hanæus

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: [natur@cm.se](mailto:natur@cm.se)

Postadress: CM Gruppen AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/bokhandeln](http://www.naturvardsverket.se/bokhandeln)

**Naturvårdsverket**

Tel: 08-698 10 00 Fax: 08-20 29 25

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-6401-3.pdf

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2010

Elektronisk publikation

Omslag: Täckning av Ingarvsmagasinet

Falu Gruva med Falu stad i bakgrunden

# 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, GVT. Författaren ansvarar för innehållet i rapporten.

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 om Faluprojektet

Denna rapport ” **Efterbehandling av Ingarvsmagasinet 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 utgångsläge, 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 UNESCO:s historiska världsarv och därmed förelagda med restriktioner. Dessutom pågår industriverksamhet, i form av Rödfärgsverket som tillverkar röd-

färgpigment 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

<b>FÖRORD</b>	<b>3</b>
<b>RAPPORTER OM FALUPROJEKTET</b>	<b>4</b>
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>8</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>11</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>14</b>
1.1 Lokalisering och orientering	14
1.2 Bakgrund och historik	16
1.3 Delprojektets målsättning	24
<b>2 VAL AV ÅTGÄRDSMETOD</b>	<b>27</b>
2.1 Utgångspunkt - Gruvavfallsprojektet	27
2.2 Metodutveckling och erfarenheter från Galgbergsmagasinet	28
2.3 Inventering av material till täckning	30
2.4 Beslut om täckningsmetod	31
<b>3 PROJEKTETS GENOMFÖRANDE</b>	<b>33</b>
3.1 Organisation	33
3.2 Tillståndsprövning - myndighetsbeslut	34
3.3 Projektering och upphandling	36
3.4 Genomförande - sluttäckning	36
3.5 Miljökontroll	44
3.6 Driftkontroll	46
3.7 Utredningar under genomförandefasen	49
<b>4 PROJEKTUPPFÖLJNING – UTVÄRDERING</b>	<b>56</b>
4.1 Reduktion av metaller	56
4.2 Täckningens funktion	65
4.3 Miljöeffekter	75
4.4 Ekonomi och kostnadseffektivitet	75
<b>5 INGARVSMAGASINET I FRAMTIDEN</b>	<b>77</b>
5.1 Åtgärdernas beständighet	77
5.2 Framtida skydd	79
5.3 Ansvar och avsatta medel	83
<b>6 REFERENSER</b>	<b>85</b>

## Bilagor

- Bilaga 1** Planritning med provtagningspunkter från undersökningar vid Ingarvsmagasinet 1997-98
- Bilaga 2** Metallhalter i Ingarvsdiket (F7)
- Bilaga 3** Sammanställning av permeabilitetsmätningar i tätskiktet



# Sammanfattning

## Bakgrund

Regeringen beslutade 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 Ingarvsmagasinet, ett magasin för anrikningssand, sluttäckts. Övriga objekt som åtgärdats är kisbränderdeponin vid f d svavelsyrafabriken (in situ tvättning och sluttäckning) och gruvområdet vid Falu gruva. Åtgärderna genomfördes under en femtonårsperiod.

Ingarvsmagasinet är det nyaste sandmagasinet i Falun och var i drift 1982-1993 fram tills verksamheten vid Falu gruva avslutades. Av magasinets totala volym, ca 1,2 Mm<sup>3</sup>, utgörs ungefär hälften av anrikningssand, medan den andra hälften består av äldre gråberg/bergkross (främst i vallarna), samt mindre mängder kisbränder, metallhydroxidslam och annat gruvavfall.

Då avtalet som ligger till grund för Faluprojektet arbetades fram, bedömdes metall-läckaget från Ingarvsmagasinet – vilket fortfarande var i drift - till i storleksordningen 90 ton zink per år, 140 ton järn per år, 7 ton koppar per år och 150 kg kadmium per år. Det innebär att Ingarvsmagasinet svarade för nästan hälften av de dåvarande kopparutsläppen från Faluns gruvavfallsupplag (inklusive slaggfyllning), samt ungefär en tredjedel av zink-, kadmium- och järnutsläppen.

## Genomförd åtgärd



Efterbehandlingen av Ingarvsmagasinet pågick 1996-2004. Under 1996 utfördes terrasserings-/ omformningsarbeten och 1997 började magasinet sluttäckas. Täckningsarbeten pågick året runt till och med juni 2004.

Sluttäckningskonstruktionen består av ett tätskikt av aska-slamblandning från Stora Enso Kvarnsveden AB, utlagd med bandgående grävmaskin i två skikt om vardera 0,5 m, samt ett 0,5 m skydds- och växtetableringsskikt. Till skydds- och växtetableringsskiktet användes morän samt mindre mängder barkavfall och andra organiska restprodukter från Stora Enso Kvarnsveden AB.

Blandning och utläggning av tätskiktet pågick året om, med undantag från mycket kalla eller nederbördsrika perioder.

Täckningens konstruktion hade tidigare provats ut och genomförts i full skala på de äldre sandmagasinen i Falun (Galbergsmagasinen). Dåvarande Stora Teknik stod för metodutvecklingen tillsammans med Kvartärgeologiska avdelningen vid Uppsala Universitet.

Syftet med tätskiktet är dels att det hindrar syrediffusion till magasinet, dels att det minimerar vatteninfiltrationen.

I genomsnitt sluttäcktes ca 20 000 m<sup>2</sup> årligen och totalt täcktes ca 165 000 m<sup>2</sup>. Permeabiliteten hos tätskiktsmaterialet kontrollerades löpande under utläggning, i ett system där magasinet yta delades in i ett rutnät med delytor av storleken 20x20 m<sup>2</sup>.

### Resultat av genomförd åtgärd

Utsläppen av zink, koppar och kadmium från Ingarvsmagasinet har efter sluttäckning reducerats med över 90 % jämfört med när magasinet var i drift, och över 80 % jämfört med utsläppen från magasinet då det hade tagits ur drift, men inte sluttäckts. Resultaten bygger på några få års uppföljning sedan åtgärden avslutats. Längre tidsserier behövs för att utvärdera den långsiktiga effekten.

RESULTAT, METALLÄCKAGE	Zink	Koppar	Kadmium
Utsläppsnivå efter sluttäckning, uppmätt år 2005-2007 i Ingarvsdiket <i>(inkl vissa övriga källor)</i>	ca 7 ton/år	ca 0,3-0,4 ton/år	ca 5 kg/år
Reduktion <i>jämfört med när magasinet var i drift</i>	92 %	70-95 %	97 %
Reduktion, <i>jämfört med när magasinet var taget ur drift</i>	82 %	25-90 %	83 %

### Kostnadsuppföljning

Kostnaden för utförandet av sluttäckningen på Ingarvsmagasinet har uppgått till 18,4 miljoner kronor. Till det kommer kostnader för administration, projektledning och provtagning, som hanterats gemensamt för alla Faluprojektets åtgärder. Dessa kostnader har utgjort ca 10 % av Faluprojektets totala kostnad. Exklusive de projektgemensamma kostnaderna, har sluttäckningen kostat ca 115 kr/m<sup>2</sup> motsvarande ca 15 kr/m<sup>3</sup> deponerat avfall.

### Framtida områdesskydd och kontroll

Alternativa former för långsiktigt skydd av Ingarvsmagasinet sluttäckning diskuteras av Faluprojektets styrgrupp, såsom exempelvis bestämmelser i detaljplan, miljöriskområde och områdesbestämmelser via beslut enligt miljöbalken. Den slutliga lösningen blev att Länsstyrelsen år 2009 fattade beslut med stöd av miljöbalken, som innebär förbud mot vissa åtgärder inom den aktuella fastigheten. Besluten sändes till inskrivningsmyndigheten för anteckning i fastighetsregistret.

inskrivningsdel. Vid framtida detaljplaneändringar ska Stora Enso se till att Ingarvsmagasinet inkluderas i den nya planen och skyddas för framtida exploatering även genom planbestämmelser.

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

# Summary

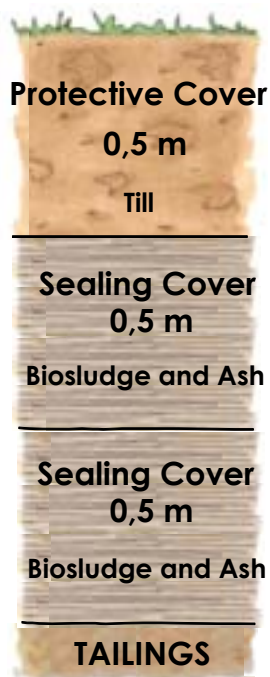
## Background

In 1987, the Swedish government appointed a delegation 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. One major project within this strategy was the covering of the Ingarvet Tailings Pond. Other projects included *in situ* flushing and covering of the abandoned Pyrite Cinder Disposal Site as well as a number of remedial measures around the mine site itself. Remediation was to be completed after 15 years.

The Ingarvet Tailings Pond is the newest in Falun and was in use between 1982 and 1993, when mining operations ended in the Falun mine. Of its total volume, about 1,2 M m<sup>3</sup>, just over half of the pond consists of flotation tailings. The other half consists of older waste rock (limited to the embankments), smaller volumes of pyrite cinders, metal hydroxy sludge and other mine wastes.

When the agreement that led to Faluprojektet was struck, it was estimated that approximately 90 tonnes zinc, 140 tonnes iron, 7 tonnes copper and 150 kg cadmium leaked annually from the then operational Ingarvet Tailings Pond. That meant that Ingarvet Tailings Pond was at that time responsible for almost half of the copper discharges from mine waste in Falun (including slag) and about a third of the discharges of zinc, cadmium and iron.

## Remedial Measures Taken



Remediation of the Ingarvet Tailings Pond took place 1996-2004. The pond was reformed and terraced during 1996 so that dry cover application could begin in 1997. Thereafter, application was under way year-round until June 2004 when the dry cover was complete. The only interruptions in application took place during periods of extreme cold or precipitation.

The dry cover itself consists first of two 0,5 m thick sealing layers made from biosludge and fly ash from Stora Enso Kvarnsveden AB paper mill, and finally a 0.5 m thick protective cover for the establishment of vegetation. The protective cover consisted of till mixed with bark waste swept up off of the floor along with other organic waste materials from the paper mill.

The effectiveness of the dry cover had already been tested in full-scale on the older Galgbergs Tailings Pond in Falun. Stora Teknik developed the method in cooperation with the Department of Physical Geography at Uppsala University. The idea with the dry cover is both to prevent oxidation of the tailings and to minimise water infiltration.

On average, 20 000 m<sup>2</sup> of tailings were covered annually, for a total of 165,000 m<sup>2</sup>. The permeability of the dry cover was tested continuously during application using a 20x20 m<sup>2</sup> grid.

### Remediation Results

The discharges of zinc, copper and cadmium from Ingarvet Tailings Pond have been reduced by 90 % from when the pond was in operation and by 80 % from when operations had closed but the pond was not yet covered. These results are, however, based on only a few years of measurements. Long-term testing is required to fully evaluate remediation success.

RESULTS, METAL DISCHARGE	Zinc	Copper	Cadmium
Approximate discharges after dry cover application, kg/year measured in Ingarvet ditch 2005-2007 <i>(includes several other smaller sources)</i>	7 tonnes/year	0,3-0,4 tonnes/year	5
Reduction, <i>from when the tailings pond was in operation</i>	92 %	70-95 %	97 %
Reduction, <i>from when the tailing pond was first abandoned</i>	82 %	25-90 %	83 %

### Cost Analysis

In total, covering the Ingarvet Tailings Pond cost 18.4 M SEK. That represents about 115 SEK/m<sup>2</sup>, or 15 SEK/m<sup>3</sup> tailings. Add to that the costs for administration, project management and testing, which are declared for Faluprojektet as a whole and make up approximately 10 % of the total cost.

### Future Protection and Follow-up

The Faluprojektet Management Team discussed different alternatives for the long-term protection of Ingarvet Tailings Pond 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 Ingarvet Tailings Pond from exploitation.

A monitoring-program, running from 2008 onwards, has been specified for long-term follow-up with respect to remediation of the Ingarvet Tailings Pond.

# 1 Inledning

Ingarvsmagasinet togs i drift 1982. Det ersatte det dåvarande sandmagasinet – det tredje och största av Galgbergsmagasinen. Ingarvsmagasinet drevs till och med år 1993, då den sista kvarvarande gruvverksamheten (förutom Rödfärgstillverkningen) i Falun lades ner. Ingarvsmagasinet har använts för deponering av främst avfallssand från anrikningsverket, där svavelkis-, koppar-, bly- och zinkslig utvanns ur den sulfidmalm som bröts vid Falu gruva. Av magasinets totala volym utgörs ungefär hälften av anrikningssand, medan den andra hälften består av äldre gråberg/bergkross (främst i vallarna), samt mindre mängder kisbränder, metallhydroxidslam och annat gruvavfall.

Efterbehandlingen av Ingarvsmagasinet påbörjades 1996 och avslutades i juni 2004. Åtgärden har utförts inom ramen för Faluprojektet.

## 1.1 Lokalisering och orientering

Ingarvsmagasinet är beläget i anslutning till Falu gruva, ett par hundra meter nordväst om Stora Stöten. Magasinet är anlagt inom ett område som tidigare utgjordes av sankmark och en damm - Ingarvsdammen. Innan magasinet anlades fanns ett gråbergsupplag på platsen. I väster och söder ansluter magasinet mot sluttande, skogbevuxen moränterräng. Magasinet östra släntfot vetter mot ett område med gruvavfall - slagg och varp – medan magasinet i norr avgränsas av Ingarvsdiket och Ingarvsleden ("Leksandsvägen", väg 293), se Figur 1.

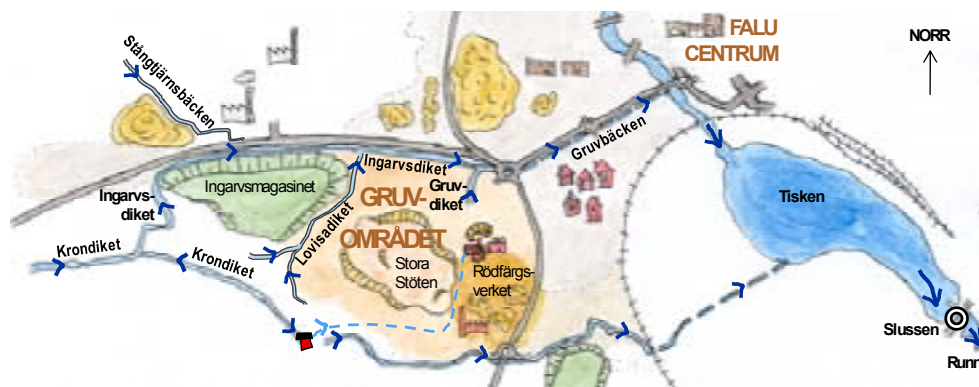


Figur 1. Flygbild över Ingarvsmagasinet från 2007.  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

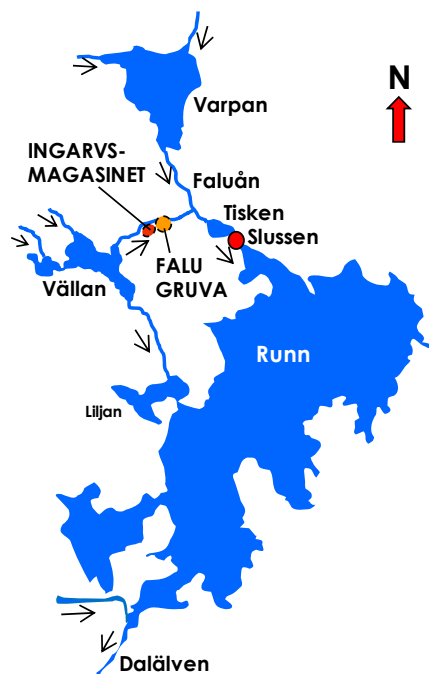
Ingarvsmagasinet lokaliserings framgår av flygbilden i Figur 1. Avståndet från magasinet till närmsta bostadsområde är knappt 300 m och till närmaste industrilokal är avståndet mindre än 100 m.

Ingarvsmagasinet innehåller ca 1,2 miljoner m<sup>3</sup> gruvavfall, varav hälften anrikningssand från alkalisk flotation. Magasinet yta är ca 16 ha.

Yt- och lakvatten från sandmagasinet avleds med Ingarvsdiket som passerar längs magasinet norra släntfot. Huvuddelen av flödet i Ingarvsdiket kommer från sjön Vällan, som har ett reglerat utlopp till Krondiket och vidare till Ingarvsdiket.



Figur 2. Vattendrag i anslutning till Ingarvsmagasinet i Falun.



Figur 3. Större sjöar och vattendrag uppströms och nedströms gruvområdet i Falun.

Ingarvsdiket fortsätter österut in på gruvområdet, där det går ihop med Gruvdiket och bildar Gruvbäcken. Gruvbäcken är kulvertad genom stadsbebyggelsen och mynnar i Faluån.

Faluån har sitt utlopp i sjön Tiskan, som i sin tur avbördas till sjön Runn och vidare till Dalälven – Östersjön.

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



## 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 Stora Kopparbergs Bergslag AB 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, och ledde så småningom till att rening av gruvvattnet i det kommunala reningsverket, Främbyverket, påbörjades 1987. Samma år tillsatte regeringen Dalälvsdelegationen för 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. Under 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 – Naturvårdsverket, Länsstyrelsen i Dalarnas län och Falu kommun. Genomförandet av avtalet har kallats Faluprojektet. Inom ramen för Faluprojektet har flera gruvavfallsobjekt efterbehandlats under en femtonårsperiod, bland annat Ingarvsmagasinet.

### 1.2.2 Varför åtgärder på Ingarvsmagasinet?

Innan Faluprojektet startade, hade flera 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 svarade för ungefär hälften av tungmetallutsläppen. 1987 började gruvvattnet renas i Främby avloppsreningsverk, med utsläpp i Runn, vilket kraftigt reducerade metalltillförseln till Faluån, Tisken och Runn.

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 Ingarvsmagasinet, tillsammans med kisbränderdeponin, var de klart största källorna. Ingarvsmagasinet, som då fortfarande var i drift, svarade för nästan hälften av de dåvarande kopparutsläppen från Faluns gruvavfallsupplag (inklusive slaggfyllning), samt ungefär en tredjedel av zink-, kadmium- och järnutsläppen.

Tabell 1. Resultat av VARP-89 och Gruvavfallsprojektets (1989-90) kartläggning av metalläckage i Falun, från Ingarvsmagasinet och för Falun totalt. Områdesindelningen var något olika i de två studierna.

	ZINK (ton/år)	JÄRN (ton/år)	KOPPAR (ton/år)	KADMIUM (kg/år)
<b>Gruvavfallsprojektet (1990)</b>				
Ingarvsmagasinet	90		7	150
Totalt från Faluns gruvavfallsupplag, inklusive slagg i fyllning	310		16	400
<b>ANDEL FRÅN INGARVSMAGASINET</b>	<b>30 %</b>		<b>44 %</b>	<b>38 %</b>
<b>VARP -89</b>				
Ingarvsmagasinet	88	138	<i>Ej redovisat</i>	*
Totalt till Faluån från Faluns centrala delar, inklusive slagg i fyllning	290	354	<i>Ej redovisat</i>	*
<b>ANDEL FRÅN INGARVSMAGASINET</b>	<b>30 %</b>	<b>39 %</b>		*

\* Kadmium analyserades inte inom VARP-89, men zink användes som indikation för den relativa kadmiumförekomsten, tack vare det starka sambandet mellan de två metallerna.

Gruvavfallsprojektet bedömde 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 Ingarvsmagasinet, tillsammans med Kisbränderdeponin, i ”Prioritetsgrupp 1” i det avtal om efterbehandling av Faluns gruvavfall som slöts mellan STORA och miljömyndigheterna 1992.

### 1.2.3 Anrikningsverket vid 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. Tidigare förekom ingen egentlig anrikning, utan den brutna malmen krossades, varefter man genom plockning för hand kunde skilja värdefulla malmstenar från ofyndigt gråberg. I och med att den så kallade selektiva flotationsmetoden utvecklades på 1920-talet, kunde även fattigare sulfidmalm anrikas.

Åren 1926-27 byggdes anrikningsverket vid Falu gruva och anpassades för flotationsanrikning. Under åren 1927-1993 byggdes anrikningsverket ut och förändrades i ett antal omgångar. I anrikningsverket behandlades mot slutet 150 000 – 200 000 ton malm per år med ungefär följande innehåll som medel:

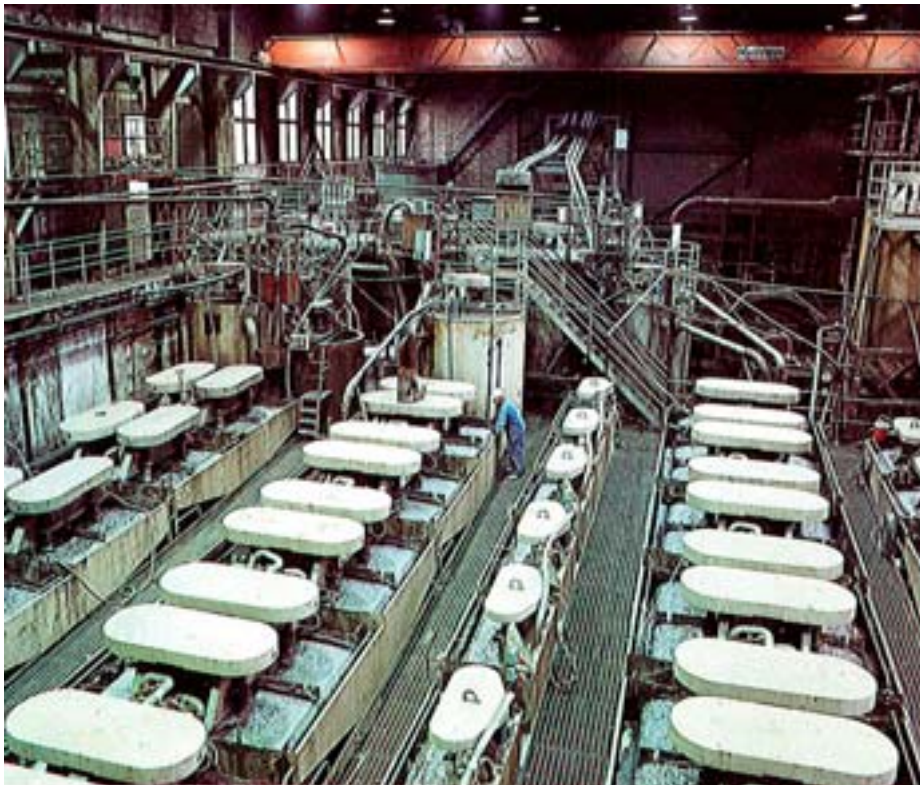
- 0,45 % koppar
- 6 % zink
- 2 % bly
- 29 % svavel, samt
- 0,5 g/ton guld och 45 g/ton silver.

Avfallssanden från anrikningsverket pumpades till Galgbergsmagasinen fram till 1982. Därefter övergick man till deponering i Ingarvsmagasinet, som användes till och med 1993 då anrikningsverket lades ned.

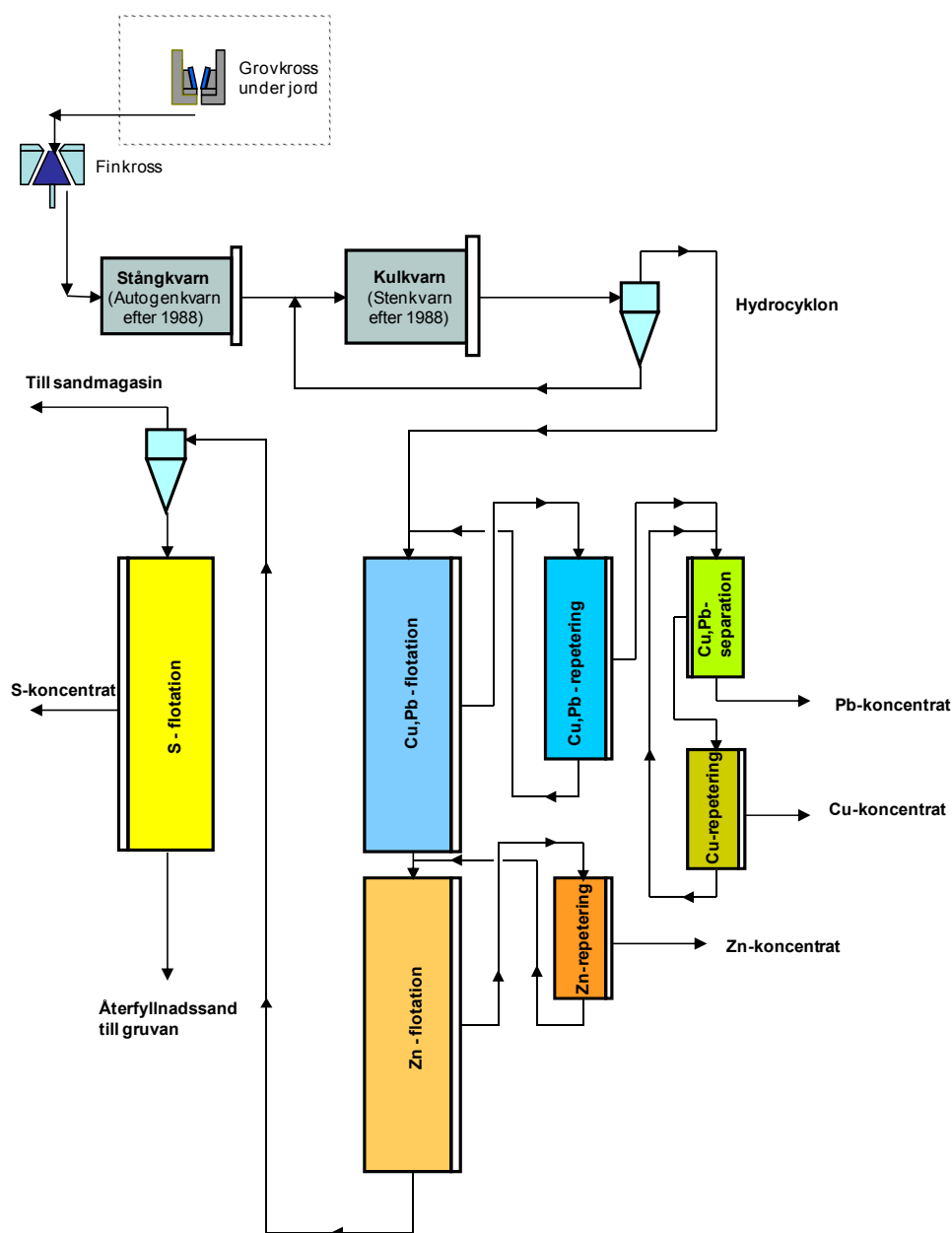
### Processbeskrivning

I Figur 5 nedan återges flödesschemat för anrikningsprocessen. Fram till 1988 utfördes malningsprocessen med stångkvarn och kulkvarn. Under 1989 övergick man till autogenmalningsteknik. I stång- och kulkvarnar används malstänger respektive malkulor för att mala malmen. Vid autogenmalning nyttjas istället en grov fraktion av malmen som malkroppar. Från den primära autogenmalningen siktas det ut en stenfraktion, vilken nyttjas som malkroppar i efterföljande sekundära stenmalning.

Den grovkrossade malmen från gruvan finkrossades ovan jord i ett krossverk med hjälp av en Symons 5 1/2' konkross. Från krossverket matades malmen till ett mellanlager bestående av tre malmfickor. Från malmfickorna transporterades malmen med hjälp av transportband till malningsavdelningen, som fram till 1988 bestod av en konventionell stångkulmalning med mellanliggande hydrocyklon för återföring av grovt material till kulkvarnen.



Figur 4. Interiör från anrikningsverket, flotationsdelen, från 1980-talet.



Figur 5. Flödesschema för processen vid anrikningsverket. Illustration Stig Johansson.

Efter malningen utfördes i första flotationssteget en samflotation av koppar och bly och därefter en upprepetering till ett koppar-bly-koncentrat. Detta koncentrat separerades i efterföljande steg till ett bly- respektive ett kopparkoncentrat.

I flotationssteget efter samflotationen floterades zinken, med en efterföljande zink-repetering till ett färdigt zinkkoncentrat.

Utgående restprodukt efter zinkflotationen behandlades i en hydrocyklon. Finfraktionen från hydrocyklonen utgjorde den icke användbara delen av malmen och pumpades till sandmagasinet för deponering.

Grovfraktionen från cykloneringen pumpades till en svavelkisflotation för utvinning av svavelkisfraktionen. Rejektet från svavelkisflotationen utgjorde en grovfraktion som användes för återfyllnad i gruvan.

Samtliga koncentrat avvattnades och filterades innan de levererades till olika smältverk. Koppar-bly samt zink-koncentratet levererades till smältverk i Europa. Svavelkiskoncentratet transporterades till den egna svavelsyrafabriken i Falun. I den alkaliska flotationsprocessen användes som pH-reglerande kemikalier kalk, soda och en restprodukt från syrafabriken (venturisyra). Som samlarreagenser vid flotationen användes olika typer av xantater. Kopparsulfat användes som zinkaktiverare och bikromat som blytryckare. Som skumbildare användes tallolja.

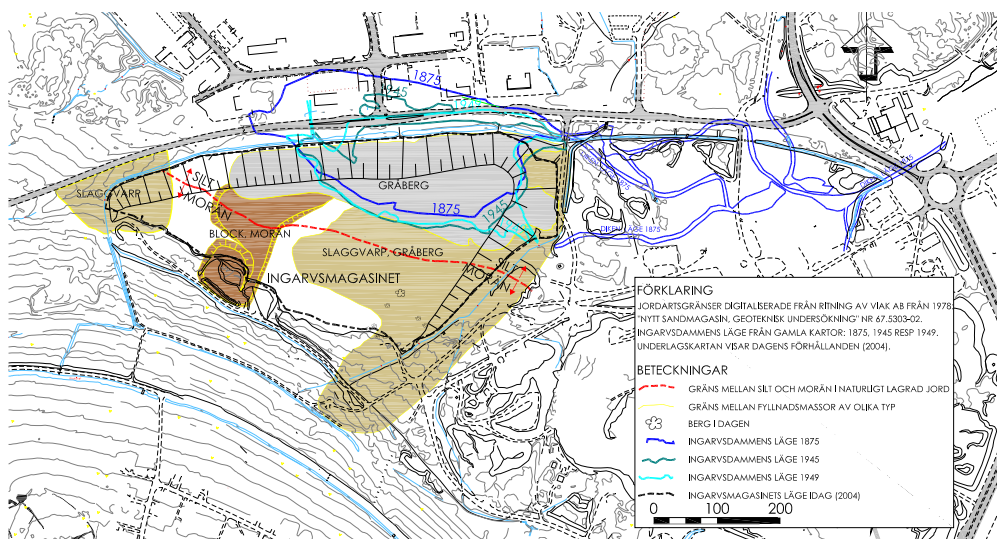
### Restprodukterna

Av de mängder malm som togs upp ur gruvan blev ca 60 % restprodukter efter anrikning (grovfraktion och finfraktion). Grovfraktionen som återfördes till gruvan utgjorde 10-20 % av malmmängden. Den resterande finfraktionen pumpades till sandmagasinet för sedimentering och deponering. Tack vare att en alkalisk flotationsprocess användes i anrikningsverket, var avfallssanden fortfarande alkalisk vid deponeringen.

### 1.2.4 Sandmagasinets anläggning – drift – innehåll

#### Underlaget

Området som sandmagasinet är uppfyllt över, utgörs inom de södra delarna av morän. Denna del omfattar ca 90 000 m<sup>2</sup>. Moränen är i huvudsak siltig med låg genomsläpplighet. Vissa genomsläppligare lager förekommer dock i moränen, till exempel längs sandmagasinets sydöstra del.

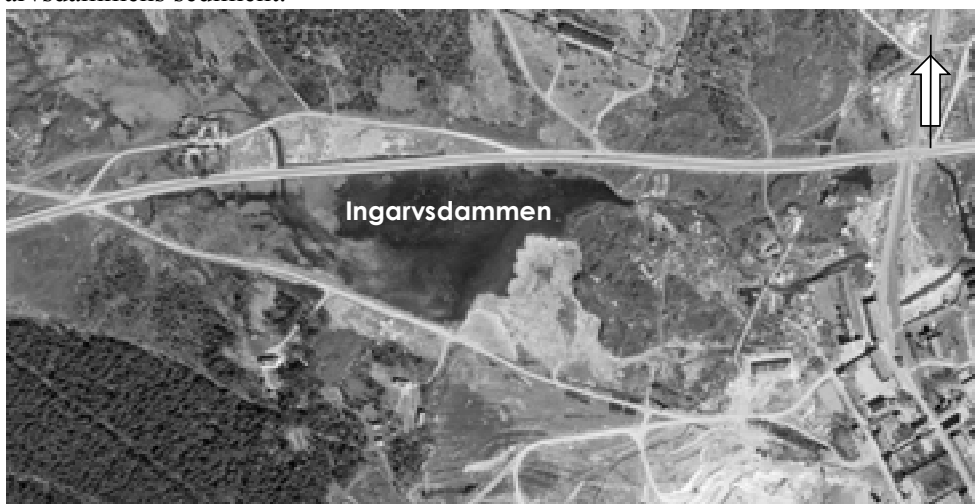


Figur 6. Jordarter och fyllnadsmassor av olika typ vid Ingarvsmagasinet, som det såg ut innan magasinet togs i drift.

I sandmagasinets nordöstra del har det tidigare funnits ett vattenmagasin – Ingarvsdammen. Tre lägen från olika årtal framgår av Figur 6 ovan: år 1875, 1945 respektive 1949. Där Ingarvsdammen tidigare var belägen utgörs jordarna av torv/lera/silt som underlagras av morän. Denna del omfattar ca 70 000 m<sup>2</sup>.

Längs Ingarvsdiket, som löper längs magasinets norra sida, förekommer lera och silt med varierande mäktighet, från 0,1 till 1,2 m.

Innan Ingarvsmagasinet anlades, fanns en äldre bergtipp av gråberg (ca 50 000 m<sup>2</sup>) i nordöstra delen, som fyllts ut i f d Ingarvsdammen. Bergtippens ungefärliga läge framgår av Figur 6 och Figur 9. Bergmaterialet är till viss del nedpressat i f d Ingarvsdammens sediment.



Figur 7. Flygbild från 1955 över området där Ingarvsmagasinet senare anlades  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229



Figur 8. Flygbild från 1974 över området där Ingarvsmagasinet senare anlades. Ingarvsdammen är utfyllt och gråbergstippen är i drift.  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

Inom sandmagasinets nordöstra del har ett material påträffats som enligt flygbilder härrör från 1945-1955. Borrningar som utförts för att fastställa materialets egenskaper visade att det innehåller höga lakbara halter zink och järn. Enligt den geotekniska undersökningen som genomfördes innan Ingarvsmagasinet anlades, klassificerades detta material som ”slaggvarp/gråberg”. Upplag av ”slaggvarp” förekom även i södra och västra delen av området, se Figur 6.

### Anläggning och drift

Magasinet byggdes upp med en dammvall av sprängsten från den befintliga gråbergstippen vid gruvan. Troligen innehöll detta material även en hel del varp. Utbyggnaden utfördes i etapper, med en första etapp upp till +139 m. Därefter utfördes påbyggnaden terrassvis med ca 2 m nivåskillnad. Vid anläggandet planerades magasinet vara uppe på nivån +145 m efter tio år och slutnivån +159 m beräknades uppnås efter trettio års drift. När magasinet togs ur drift 1993, efter elva års drift, var magasinets slutnivå +145 m.



Figur 9. Flygbild från 1983 över Ingarvsmagasinet vid anläggning och idrifttagande.  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

Vid magasinets anläggande, var planen att sprängstensvallen skulle tätas med hjälp av sedimenterat finmaterial på vallens insida. Under hela drifttiden läckte dock magasinet betydande mängder vatten genom vallen på grund av problem med tätningen. Åtgärder för att minska läckaget genomfördes.

Från 1990 till dess att anrikningsverket lades ned 1993, pågick försök med flockning av finfraktionen, för att på det sättet åstadkomma ett tätande slamskikt på magasinets insida. Järnhaltigt gruvvatten tillsattes som flockningsmedel och pH-

justering utfördes med kalk. Läckaget genom dammvallen fortsatte dock att vara betydande ända tills magasinet togs ur drift 1993.



Under drifttiden pumpades avfallssand från anrikningsverket i slurryform till magasinet och släpptes ut i olika delar av magasinet med hjälp av en flyttbar ledning. Dekanterat vatten avleddes genom två så kallade munkar placerade i vardera änden av magasinet, se Figur 10.

Vilken munk som var i drift, valdes beroende på i vilken del av magasinet ledningen från anrikningsverket för tillfället mynnade. Längsta möjliga uppehållstid mellan ledning och munk eftersträvades. Dekanterat vatten släpptes ut i Ingarvsdiket väster och öster om magasinet.

Figur 10. Utlopp från Ingarvsmagasinet i drift.



Figur 11. Flygbild från 1992 över Ingarvsmagasinet i drift.  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229



### Deponerat avfall – mängder och egenskaper

Omfattande inventeringsarbete och undersökningar har genomförts för att kartlägga vilka avfallsslag som finns i Ingarvsmagasinet. Följande uppskattning av materialvolymerna i magasinet gjordes i utredningen ”Prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet” (Qvarfort och Ledin, 1998):

Tabell 2. Uppskattade och kända mängder av olika material i Ingarvsmagasinet. Data från (Qvarfort och Ledin, 1998).

Material	m <sup>3</sup>	%
Anrikningssand	600 000	49,0
Gråberg i vallarna	200 000	16,3
Gråberg på magasinet	150 000	12,2
Gråberg i magasinet	100 000	8,2
Sand från Galgberget	50 000	4,1
Kisbränder	30 000	2,4
Metallhydroxidslam	25 000	2,0
Övrigt material, sand	70 000	5,7
<b>Summa</b>	<b>1 225 000</b>	<b>100</b>

I första hand användes magasinet som deponi för den avfallssand som uppkom vid anrikningsverket. Förutom anrikningssand, så innehåller magasinet en relativt stor mängd gråberg av växlande sammansättning. Gråberg var sedan tidigare deponerat inom området och användes som material i dammvallarna. Det påfördes under senare tid även magasinets överyta för att göra den körbar.

Övrigt material i magasinet är anrikningssand från Galgbergsmagasinet, som användes för att täta vallarna, kisbränder som grävdes ner i moränen längs magasinets sydvästra kant i slutet av 1980-talet, samt metallhydroxidslam från försöken med flockning genom tillsats av gruvvatten.

Av ovanstående tabell framgår att anrikningssanden bara utgör hälften av magasinets volym, samtidigt som det samlade gråberget/bergkrossmaterialet utgör hela 37 %. Resterande del är ”övrigt” material, som kisbränder, sand från Galgberget, äldre vittrad sand samt metallhydroxidslam.

## 1.3 Delprojektets målsättning

Den ambitionsnivå som föreslogs av Gruvavfallsprojektet för efterbehandlingen av Ingarvsmagasinet var att läckaget av zink skulle minskas från dåvarande (med magasinet i drift) ca 90 ton/år till ca 14 ton/år, koppar från ca 7 till 1 ton/år och kadmium från ca 150 till 23 kg/år (85 % reduktion). Ambitionsnivån sattes utifrån förutsättningen att magasinet fortfarande skulle vara i drift.

De åtgärder som föreslogs för att åstadkomma detta var:

- Avskärmning av inläckande grundvatten på uppströmssidan med en tätskärm.
- Göra en täckning i eller på sandmagasinet (fortfarande i drift) för att ta bort huvuddelen av vattenflödet som läckte ut genom dammval-len. Vattnet hade höga metallhalter efter att ha passerat genom de vittrande och lakbara massorna i magasinet.

För att möjliggöra täckning av magasinets slänter, föreslogs en utfläckning av magasinets slänt mot Leksandsvägen.

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

Faluprojektets styrgrupp fastställde inte några nya, mätbara mål för efterbehandlingen av Ingarvsmagasinet efter det att magasinet tagits ur drift. En generell målsättning att uppnå 80 % reduktion med avseende på metallerna zink, koppar och kadmium fanns dock för Faluprojektet som helhet.

### 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 analysmetodiken utvecklats. Mot slutet av projektiden finns därför mer analysdata med avseende på framförallt kadmium och koppar, men även för övriga tungmetaller.

## 2 Val av åtgärdsmetod

### 2.1 Utgångspunkt - Gruvavfallsprojektet

I Gruvavfallsprojektets slutrapport från 1990 identifierades ett antal metoder för att minska metallläckaget 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 var 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 tillkom problemet med deponering av bildat slam. STORA TEKNIK hade vid denna tidpunkt börjat undersöka metoder för att återvinna metaller ur koncentrerade lakvatten (gruvvattnet) – bland annat genom bakteriell lakning och rening - men någon fungerande teknik fanns ännu inte framme. 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 värderades. 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 och stora mängder gruvavfall behövde flyttas. Kostnaderna bedömdes också bli högre än vid täckning, främst på grund av höga anläggningskostnader för dammar.

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

- Bygga av en tätskärm på uppströmssidan av Ingarvsmagasinet, för att skärma av grundvattentillförseln.
- Täckning i eller på sandmagasinet (fortfarande i drift) för att hindra huvuddelen av vattenflödet genom de vittrande och lakbara massorna i magasinet, som läckte genom dammvallen.
- Utfläckning av magasinets slänt mot Leksandsvägen, för att möjliggöra täckning av magasinets slänter.

De föreslagna åtgärderna bedömdes ge en minskning av det årliga metallutsläppet från Ingarvsmagasinet med ca 85 %.

## 2.2 Metodutveckling och erfarenheter från Galgbergsmagasinet

Under tiden som Ingarvsmagasinet var i drift påbörjade dåvarande STORA återställningen av Galgbergsmagasinen (1989). Idén om att använda restprodukter från pappersbruk i regionen som tätskiktsmaterial väcktes och testades, först i liten skala och sedan på större provytor. Resultaten användes för det fortsatta arbetet med sluttäckning av Galgbergsmagasinen. Förutom att tätskiktsmaterial och blandningsförhållanden provades ut, utvecklades även metoder för materialutläggning och för kontroll av tätskiktets funktion.

### 2.2.1 Materialval och blandningar

De inledande försöken med att använda restprodukter från framförallt pappersbruk för att täcka Galgbergsmagasinet redovisas i rapporten ”Användning av restprodukter för täckning av avfallsupplag” (Mattsson och Qvarfort, 1988). Olika blandningar av kol- respektive vedaska samt bioslam från avloppsreningen vid Kvarnsvedens pappersbruk, kalk från Dalakalk i Rättvik samt cement testades. Undersökningar av materialblandningarnas permeabilitet, mekaniska hållfasthet, vattenbindningskaraktäristik samt utlakning av tungmetaller genomfördes. Slutsatsen blev att en blandning av ca 70 % aska (varav ca 50 % kolaska och 50 % vedaska) och 30 % bioslam skulle kunna uppnå en permeabilitet i intervallet  $1 - 5 \cdot 10^{-9}$  m/s. Fältförsök med aska-bioslamblandningen på Galgbergsmagasinen indikerade också att materialet skulle kunna blandas, läggas ut och packas utan alltför stora tekniska och praktiska svårigheter.

### 2.2.2 Utlägningsförsök

Hösten 1989 påbörjades försöksverksamhet med täckning av Galgbergsmagasinen, med syftet att skaffa mer kunskaper om hur aska-slamblandningen skulle hanteras och packas, samt om aska-slamblandningens egenskaper vid olika blandningsförhållanden och driftförhållanden vid Kvarnsvedens pappersbruk. Resultaten redovisades i januari 1990 till Statens Naturvårdsverk, tillsammans med arbetsbeskrivning och program för kontroll av täckningen av Galgbergsmagasinen.

Försöksverksamheten visade bland annat att:

- Aska-slamblandningen inte kunde packas med hjulgående maskiner, utan en bandgående maskin med relativt breda band måste användas.
- En bandgående grävmaskin var lämplig både för utläggning och för packning av materialet.
- Torrhalten hos aska-slamblandningen behövde vara minst 37 % för att materialet skulle gå att hantera och packa.
- Vid en bioslamandel i blandningen av minst 27-29 % erhöles permeabilitetsvärden i storleksordningen  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s eller lägre.

### 2.2.3 Kontroll- och uppföljningsmetoder

Utifrån de första fullskaleförsöken med täckning av Galgbergsmagasinen 1989, togs ett förslag till program för kontroll av täckningsarbetena fram. Programmet fastställdes av Länsstyrelsen 90-03-27 och omfattade följande moment:

- Materialkontroll tätskikt (aska-slamblandning), Kvarnsvedens pappersbruk
- Kontroll av materialmängder och av skiktens mäktighet
- Packningskontroll – vattenkvot/densitet
- Permeabilitet för vatten
- Anslutningar mot omgivningen
- Materialkontroll skyddsskikt
- Vegetering

För att kontrollera aska-slamblandningens kvalitet utfördes följande kontroll dagligen vid blandningsstationen i Kvarnsvedens pappersbruk:

- Analys av bioslammets TS-halt
- Analys av blandningens TS-halt
- Kontroll av blandningens halt fritt vatten
- Kontroll av blandningens förmåga att tåla mekanisk belastning

Kontrollen av halten fritt vatten och blandningens förmåga att tåla mekanisk belastning utfördes med hjälp av en specialkonstruerad provningsapparat.

#### **Packningskontroll genom densitetsmätningar efter pressning**

För packningskontrollen behövdes en metod som kunde ge tillräckligt snabbt svar för att kunna justera materialleveranser och packning omgående. Det normala förfarandet – att mäta materialets erhållna torra skrymdensitet, skulle ta för lång tid eftersom torkning av proverna krävdes. Istället föreslogs att man skulle mäta den ”halvvåta” eller ”brukstorra” skrymdensiteten och relatera denna till den vattenkvot som gällde vid packningen. Detta skulle ske genom att man bestämde hur mycket vatten som gick att pressa ur materialet genom en standardiserad belastning, något större än den som kan ge optimal packning (2,5 bar), och därefter bestämdes det avvattnade provets skrymdensitet. Om alltför mycket vatten kunde pressas ur provet, tydde det på att materialet var för blött att packa. Om densiteten i fält på färdigpackad yta var för låg i förhållande till den ”brukstorra” densiteten bestämd genom pressning, tydde det på dålig packningsgrad. Toleranser för avvikelse i vattenkvot och densitetsvärden togs fram efter provpackning i full skala på magasinet och godkändes av länsstyrelsen 90-09-13.

#### **Packningskontroll med Loadman bärbar fallviktsdeflektometer**

I praktiken visade det sig att även ”pressmetoden” var tidsödande. Alternativ letades och under hösten 1993 startades försök med att kontrollera packningen i fält med hjälp av en bärbar fallviktsdeflektometer (Loadman). Instrumentet mäter hur mycket en platta av en viss storlek sjunker ned i materialet när en vikt med viss massa släpps ned på plattan.

Kontroll utfördes parallellt med ”pressmetoden”, samt genom permeabilitetsbestämning. Resultaten visade att uppmätta deflektioner mellan 7 och 14 mm, med stor sannolikhet gav godkända permeabilitetsvärden ( $<1 \cdot 10^{-8}$  m/s). STORA föreslog därför att mätningar med den bärbara fallviktsdeflektometern skulle ersätta ”pressningsmätningarna”, men att mätningar med de olika metoderna skulle utföras parallellt under ytterligare en provperiod innan en slutlig utvärdering skedde. Försöken, som pågick under perioden februari till augusti 1994, visade att en uppmätt deflektion inom det föreslagna intervallet, gav godkända värden på permeabiliteten och på parametrarna i ”pressmetoden”. Länsstyrelsen godkände bytet av kontrollmetod i oktober 1994.

## 2.3 Inventering av material till täckning

### 2.3.1 Inventering av tillgängliga täckmaterial i samband med Gruvavfallsprojektet

Inom ramen för Gruvavfallsprojektet gjordes flera inventeringar av material som fanns tillgängliga för täckning inom Faluregionen (Elander, 1990), (Fredriksson, 1990) och (Sundh, 1990). Utredningarna konstaterade att tillgången på naturliga täckningsmaterial var begränsad i Faluområdet, särskilt material till tätskikt. Där emot fanns bättre tätande material att tillgå bland restprodukter från den regionala industrin. Framst i form av slamartade material såsom fiberslam och rötslam.

### 2.3.2 Inventering av tillgängliga täckmaterial 1994/95

I slutet av 1994 gav Faluprojektets styrgrupp STORA TEKNIK och GVT i uppdrag 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 m<sup>2</sup>, varav ca 160 000 m<sup>2</sup> på Ingarvsmagasinet. 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 m<sup>3</sup>/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 och liknande till skyddsskiktet.

## 2.4 Beslut om täckningsmetod

Faluprojektets styrgrupp beslöt i november 1996 att täcka den plana ytan av Ingarvsmagasinet enligt samma täckningsförfarande som använts på Galgbergsmagasinet, det vill säga med ett tätskikt av aska-slamblandning från Kvarnsvedens pappersbruk. Erfarenheterna från täckningen av Galgbergsmagasinet var mycket goda.

Sluttäckningskonstruktionen bedömdes ha följande viktiga egenskaper:

- Förhindra syretillförsel och därmed vittring (långsiktigt) genom:
  - Innehåll av organiskt material i tätskiktet, som förbrukar syre vid nedbrytning.
  - Vattenhållande förmåga i tätskiktet som ger vattenmättnad.
- Förhindra rotnedträngning.
- Begränsar vatteninfiltrationen och därmed lakvattenbildningen från magasinet.

Tack vare ett avbrott i täckningen av Galgbergsmagasinet under vintern 96/97, kunde täckning av Ingarvsmagasinet komma igång tidigare än väntat. Det var mycket positivt ur miljösynpunkt, eftersom den sulfidhaltiga avfallssanden hade hög inneboende vittringspotential. Någon nämnvärd försurning av sanden hade inte hunnit ske, eftersom den deponerades vattenmättad fram till 1993 och därefter hade viss buffertkapacitet kvar tack vare att alkalisk flotation hade använts i anrikningsverket.

Förslaget till avslutnings- och återställningsplan för Ingarvsmagasinet plana överyta ingavs till länsstyrelsen i januari 1997. Täckningsförfarandet i magasinets slänter fastslogs efterhand av styrgruppen. För olika släntavsnitt ingavs avslutnings- och återställningsplaner under 1997-1998, se vidare avsnitt 3.2. För en del av magasinet, där man under arbetets gång konstaterat att det förekom äldre, vittrat gruvavfall med hög utlakning, beslutade styrgruppen 1998 att lägga ett tätskikt med lägre permeabilitet (slam från Grycksbo pappersbruk). För att garantera vattenmättnad i tätskiktet vid magasinets släntrön, beslutade styrgruppen, utifrån resultat av genomförda modellsimuleringar, att tätskiktets tjocklek skulle ökas från 1,0 till 1,5 m vid släntrön, se vidare i avsnitt 3.4.3. Dessa modifierade täckningskon-



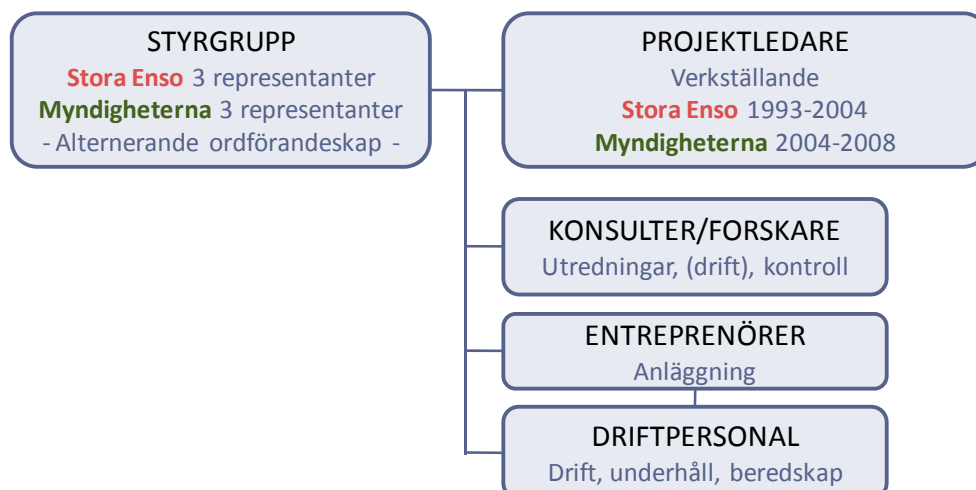
struktioner anmäldes också till Länsstyrelsen i form av avslutnings- och återställningsplaner.

## 3 Projektets genomförande

### 3.1 Organisation

Återställningen av Ingarvsmagasinet 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 kommun. I styrgruppen fattades strategiska beslut för projektet, rörande exempelvis ekonomi, ambitionsnivå, tekniklösningar och liknande.

Projektledare för återställningen av Ingarvsmagasinet var Gunnar Lundkvist, dåvarande STORA, senare GMT. Gunnar var dessförinnan produktionschef vid Falu gruva med tillhörande verksamheter. Projektledaren fattade beslut rörande den dagliga driften och fungerade som arbetsledare med personalansvar.



Figur 12. Organisation för Faluprojektet som helhet.

Utredningar och projektering har i viss mån utförts på konsultbasis. Eftersom sluttäckningsmetoden ”ärvdes” från återställningen av Galgbergsmagasinen, var dock behovet av utredning och projektering litet. Terrasseringen av magasinet projekterades av VBB VIAK, medan täckningens utformning i släntfot projekterades av GVT AB. Metodutveckling för materialblandning, utläggning och kontroll utfördes av dåvarande STORA Teknik och Kvantärgeologiska avdelningen vid Uppsala Universitet, se vidare avsnitt 2.2. Utredningar i övrigt har utförts av Uppsala Universitet, GVT AB och Kemakta Konsult AB.

Tillstånd för åtgärder har sökts av Stora Enso, som verksamhetsutövare. Ansökningar, anmälningar, förslag till kontrollprogram m m har upprättats inom ramen för Faluprojektet och styrgruppen har i samtliga fall enhälligt stått bakom handlingarna. Länsstyrelsen har i vanlig ordning prövat Faluprojektets ärenden. Läns-

styrelsens representant i Faluprojektets styrgrupp har dock inte deltagit i handläggning eller beslut.

Mark- och anläggningsarbeten har utförts av NCC. Arbetena har framförallt omfattat terrassering av Ingarvsmagasinet inför sluttäckning, samt att påföra sluttäckningsmassor.

För byggkontroll har projektledaren svarat. Miljökontroll i form av vattenprovtagning har utförts av Stora Enso Research och GVT AB. Driftkontroll har utförts dels vid Kvarnsvedens pappersbruk dels av Stora Enso Research i samband med utläggning av sluttäckning på Ingarvsmagasinet. Miljörapport för Faluprojektets åtgärder har upprättats av Stora Enso Research och GVT AB på uppdrag av Faluprojektets styrgrupp.

### 3.2 Tillståndsprovning - myndighetsbeslut

Följande myndighetsbeslut finns för Ingarvsmagasinet drift och avslutning:

Tabell 3. Förteckning över myndighetsbeslut rörande Ingarvsmagasinet drift och avslutning.

DATUM	BESLUT
1980-04-10	<i>Tillstånd enligt miljöskyddslagen att anlägga nytt sandmagasin vid den s k Ingarvsdammen. Koncessionsnämnden för miljöskydd.</i>
1992-12-07	<i>Faluprojektets kontrollprogram för Faluån med tillflöden.</i>
1997-02-27	<i>Efterbehandlingsplan för del av Ingarvsmagasinet vid Falu Gruva i Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1997-04-14	<i>Efterbehandlingsplan för del av Ingarvsmagasinet vid Falu Gruva i Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1998-03-05	<i>Efterbehandling av Ingarvsmagasinet, del av slänter (Delansökan 2), Falu kommun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
1998-05-04	<i>Efterbehandling av Ingarvsmagasinet, del av horisontell yta samt resterande slänter (Delansökan 3), 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>
2004-09-20	<i>Avslutningsplan för gruvavfallsdeponin vid Ingarvet i Falun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
2007-12-18 Rev 2008-07-29	<i>Kontrollprogram för uppföljning av metalltransporter efter Faluprojektets avslutning 2007/2008. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>
2009-04-17	<i>Skydd av åtgärdat gruvavfallsupplag, Ingarvsmagasinet, inom Falun. Länsstyrelsen i Dalarnas län.</i>

Koncession att anlägga ett nytt sandmagasin vid den så kallade Ingarvsdammen gavs 1980 av Koncessionsnämnden för miljöskydd. Beslutet gav Stora Kopparbergs Bergslags AB tillstånd att anlägga och driva ett nytt sandmagasin för avfalls-sand m m från verksamheten vid Falu gruva.

I enlighet med ett av villkoren i koncessionsnämndens beslut, lämnade bolaget i januari 1997 in ett förslag till efterbehandlingsplan för del av Ingarvsmagasinet till Länsstyrelsen i Dalarna. Planen avsåg sandmagasinets överyta. Efterbehandlingsplanen godkändes av Länsstyrelsen 1997-02-27 i de delar som avsåg täckningsförfarandet och kontrollen av genomförandet. Som villkor ställdes att bolaget efter avslutad täckning skulle utföra mätningar som visar att vittrings- och lakningsprocesserna i anrikningssanden avstannat.

1997-04-14 godkände Länsstyrelsen inkommet förslag till efterbehandlingsplan för resterande delar av Ingarvsmagasinet, dammbyggnaden och slänterna. Året efter, 1998, kom ytterligare två länsstyrelsebeslut angående efterbehandlingen. 1998-03-05 gällde beslutet delar av magasinets slänter. Skillnaden mot tidigare förslag var att slänten skulle täckas med ett tätskikt som är 1,5 m tjockt vid släntkrönet och med avtagande tjocklek ned till 1,0 m vid släntfoten. 1998-05-04 gällde beslutet en del av den horisontella ytan, samt resterande slänter. Beslutet innebar att resterande slänter skulle täckas enligt föregående beslut, samt att ett extra tätskikt i form av 0,5 m slam från Stora Grycksbo skulle läggas ut på den nordöstra delen av den horisontella överytan.

År 2004 upprättades en avslutningsplan för Ingarvsmagasinet utifrån deponeringsförfordningen (SFS 2001:512). Orsaken till att planen lämnades in i efterhand, var tolkningssvårigheter angående huruvida magasinet skulle omfattas av deponeringsförfordningen, samt att diskussioner fördes angående avfall från bearbetning av sulfidmalm. Avslutningsplanen godkändes av Länsstyrelsen i beslut daterat 2004-09-20. I samma beslut medgav Länsstyrelsen avsteg från kravet på sluttäckningens genomsläpplighet (maximalt 50 liter per kvadratmeter och år) enligt 31 § i deponeringsförfordningen.

Något separat beslut angående vattenkontrollprogram för Ingarvsmagasinet finns inte, utan provpunkterna vid magasinet har ingått i Faluprojektets samlade kontrollprogram för Faluån och dess tillflöden. Provpunkter, provtagningsintervall och val av analysparametrar för kontrollen kring Ingarvsmagasinet reviderades år 2005, utifrån de krav som ställs i förfordningen om deponering av avfall. För 2008 och framåt beslutade Länsstyrelsen om ett nytt kontrollprogram 2007-12-18. Beslut om revidering av programmet fattades 2008-07-29. Vattenkontrollen beskrivs närmare i avsnitt 3.5 (genomförande), avsnitt 4.1 (resultat) samt avsnitt 5.2.3 (framtida kontroll).

Våren 2009 beslutade Länsstyrelsen i Dalarnas län om det framtida skyddet av Ingarvsmagasinet, efter avslutade efterbehandlingsåtgärder, vilket beskrivs närmare i avsnitt 5.2.2.

### 3.3 Projektering och upphandling

Inför sluttäckningen omformades Ingarvsmagasinet, framförallt i slänterna. Under magasinets drift var slänterna uppdelade i terrasser på olika nivåer ("trappsteg"), som inför sluttäckningen jämnades av till slänter med jämn lutning. Omformningen projekterades av VBB VIAK.

Täckningens konstruktion med olika skikt hade tidigare provats ut och genomförts i full skala på de äldre sandmagasinen i Falun (Galgbergsmagasinen). Dåvarande Stora Teknik stod för metodutvecklingen tillsammans med Kvärtärgeologiska avdelningen vid Uppsala Universitet, vilket redovisas närmare i avsnitt 2.2.

Någon regelrätt projektering av täckningsutförandet för Ingarvsmagasinet bedömdes det inte finnas behov av. Samma entreprenör som utfört sluttäckningen av Galgbergsmagasinet, NCC, användes också för Ingarvsmagasinet. Erfarenheterna från arbetena på Galgbergsmagasinet var goda och det bedömdes vara värdefullt att ha personal med erfarenhet av materialen och utläggningstekniken för de fortsatta arbetena på Ingarvsmagasinet. NCC var den entreprenör som Faluprojektet träffat ramavtal med för samtliga arbeten, varför ingen separat upphandling för Ingarvsmagasinet genomfördes.

Utläggningen av täckningen påbörjades på magasinets överyta. När man började arbeta med täckning av slänterna, uppstod behov av detaljerade anvisningar för släntfotskonstruktionen. I släntfoten behövde lakvatten kunna släppas ut, samtidigt som syreinträngning till magasinet måste hindras. Släntfotskonstruktionen projekterades av GVT AB.

### 3.4 Genomförande - sluttäckning

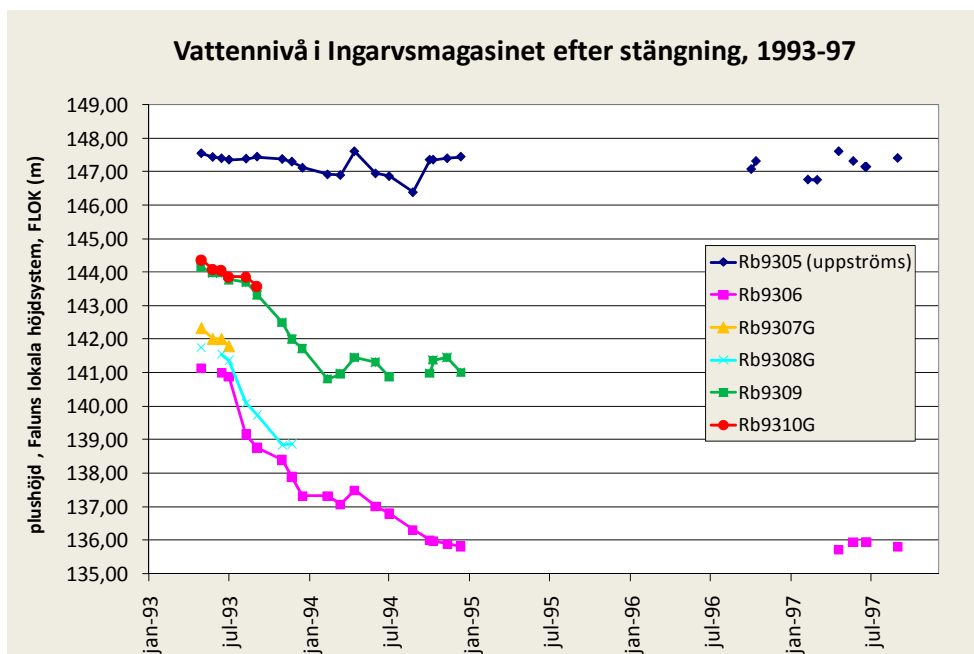
Tillförseln av avfallssand till Ingarvsmagasinet från anrikningsverket upphörde 1993. Arbetet med att återställa magasinet påbörjades 1996 och avslutades i juni 2004. Under 1996 utfördes terrasserings-/omformningsarbeten och 1997 började sluttäckningen påföras. Täckningsarbeten pågick året runt till och med juni 2004, med avbrott för perioden november 2000 till juli 2001 då maskiner, personal och material istället användes för att färdigställa sluttäckningen av Galgbergsmagasinet.

I de följande avsnitten beskrivs det praktiska genomförandet mer i detalj.

#### 3.4.1 Uppföljning av vattennivån i magasinet inför sluttäckning

Grundvattentrör sattes i april 1993 för att följa upp hur vattennivån i magasinet utvecklades i och med att vattentillförseln från anrikningsverket upphörde och

magasinet togs ur drift. I Figur 13 nedan visas avsänkingsförloppet i observationsrören placerade i magasinet. Som referens visas även nivån i Rb 9305 som är placerat i moränslutningen uppströms Ingarvsmagasinet.



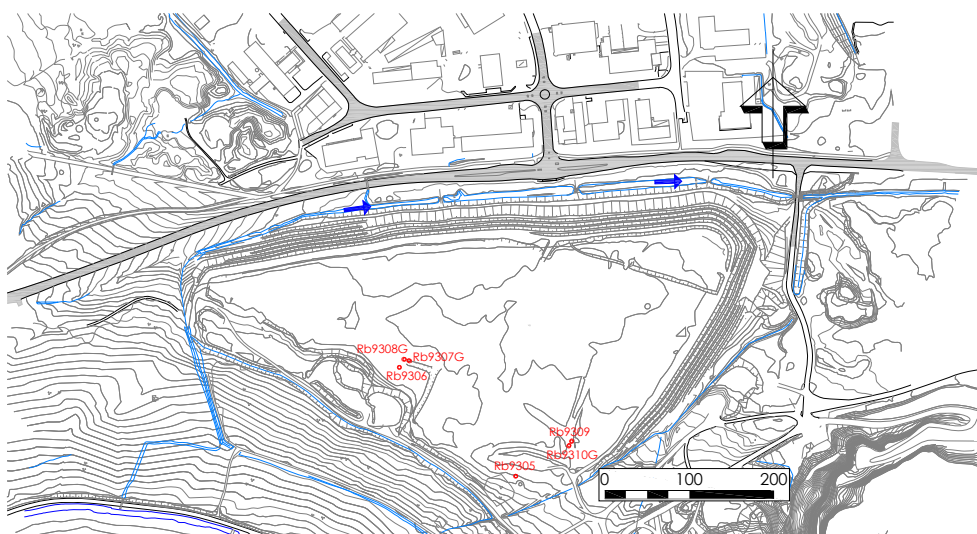
Figur 13. Uppföljning av (grund-)vattennivån i Ingarvsmagasinet efter stängning 1993. Rörens placering framgår av Figur 14. Rör 9305 är placerat i moränslutningen uppströms magasinet, övriga rör sitter i själva magasinet. Bokstaven G efter rörnumret anger att röret sitter grunt. Data hämtade från (Ledin och Qvarfort, 1998).

Uppföljningen visade att vattennivån i magasinet sjönk kraftigt, ca 3-4 meter under det första året och upp till ca 5 m två år efter stängning. 1995 konstaterades att vattnet i magasinet dränerat ur till en stabil grundvattennivå och att terrasseringsarbeten kunde påbörjas.

### 3.4.2 Terrassering/omformning

Terrasseringen/omformningen av magasinet projekterades i slutet av 1995 och utfördes under första halvåret 1996.

När magasinet tagits ur drift, var dess överyta helt plan och slänterna ”trappstegsformade”, se Figur 14 nedan.



Figur 14. Ingarvsmagasinet form innan terrassering och sluttäckning, samt placering av grundvattenrör (se Figur 13).

1995 tillsattes utredning om vattenbalansen för magasinet vid planerad täckning med två olika lutningar på magasinets överyta (Höglund et al, 1995). Beräkningar med simuleringsprogrammet SUTRA visade att det fanns risk för uttorkning av tätskiktet vid antagna förhållanden, både i fallet helt plan överyta och i fallet 3 % lutning (1:33). Simuleringen utfördes dock på årsbasis, utan hänsyn till årstidsvariation i nederbörd och avdunstning. Då den antagna hydrauliska konduktiviteten i tätskiktet minskades från  $4 \cdot 10^{-9}$  m/s (baserat på uppmätta värden från täckning av Galgbergsmagasinen) till  $2 \cdot 10^{-9}$  m/s, erhöles en situation då större delen av tätskiktet var vattenmättat samtidigt som risken för översvämning av skyddsskiktet blev större. Slutsatsen var att tätskiktets permeabilitet gav kraftig påverkan på täckningens effektivitet. Som en följd av utredningen, behölls magasinets överyta plan för att inte riskera uttorkning av tätskiktet och därmed äventyra täckningens funktion som syrebarriär.

De trappstegsformade slänterna lades till i jämn släntlutning 1:3,5. Det innebar att slänterna blev relativt branta, men av praktiska skäl var det inte möjligt att flacka ut dem mer på grund av närheten till Ingarvsdiket, samt gång- och cykelvägen längs väg 293. Släntfoten kunde helt enkelt inte flyttas ut ytterligare. Utifrån erfarenheter från sluttäckning av Galgbergsmagasinen, visste man dock att det var praktiskt möjligt att lägga ut sluttäckningsmassorna i lutning 1:3,5.

Inga särskilda problem erfors vid terrasseringen av magasinet. För driften av sandmagasinet gällde villkoret att ytor med finkornigt material som inte kontinuerligt hölls fuktiga, skulle behandlas mot stoftspridning genom fiberbesprutning, behandling med väglut eller likvärdig åtgärd. Damning var dock inget omfattande problem varken vid driften eller i samband med terrasseringen av Ingarvsmagasinet. ”Normal” dammbekämpning med lut utfördes vid enstaka tillfällen på de tillfartsvägar som trafikerades med tung trafik.

### 3.4.3 Täckning

Sluttäckningen lades ut enligt följande:



Underst lades ett **tätskikt**, som hade egenskapen att det hindrar syrediffusion och minimerar vatteninfiltration. Syrediffusionen minimeras dels genom att skiktet har en god vattenhållande förmåga, dels genom skiktets innehåll av organiskt material. Långsam nedbrytning av det organiska materialet gör att syre konsumeras. Tätskiktet består av en blandning av flygaska från kol- och träbränsleeldning, samt bioslam från avloppsrening vid Stora Enso Kvarnsveden AB.

Tätskiktet lades ut och packades i två lager om vardera 0,5 m med en medelstor, bandgående grävmaskin. Packning i tunna skikt var väsentligt för att materialet skulle erhålla den önskade permeabiliteten:  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s eller lägre. Erfarenheter från täckning av Galgbergsmagasinen hade visat att tätskiktetsblandningen skulle innehålla 30-40 % bioslam och resten flygaska för att den skulle få erforderliga egenskaper med avseende på permeabilitet och hanterbarhet. Blandningen av materialen utfördes året runt i en blandningsstation hos Stora Enso Kvarnsveden. Den färdiga blandningen transporterades till Ingarvsmagasinet med lastbil.

Utläggning av tätskiktet pågick året om. Under perioder med tjäle eller mycket nederbörd kunde det bli halt att arbeta i slänterna (lutning 1:3,5). Arbetet flyttades då till magasinets överyta, där det i princip alltid var möjligt att köra med maskin. Vid utläggning stod grävmaskinen på sandytan och lade ut massor framför sig. Lastbilarna med aska-slamblandning körde fram till täckningskanten och tippade massor där. Täckning av slänter utfördes från släntkrön ned mot slänthot. Massor tippades vid släntkrön och fick lämpas om i flera omgångar på grund av slänthöjden.

Ovanpå tätskiktet lades ett **skydds- och växtetableringsskikt**, främst bestående av morän. Överskottsmassor som uppstod vid vägbyggen och liknande i regionen köptes in under hand och lagrades upp vid magasinet. Även barkavfall och andra organiska restprodukter från Stora Enso Kvarnsveden AB användes i skyddsskiktet, dock i begränsad omfattning. Moräntäkten vid sjön Vällan som Faluprojektet sökt tillstånd för, behövde inte tas i anspråk.

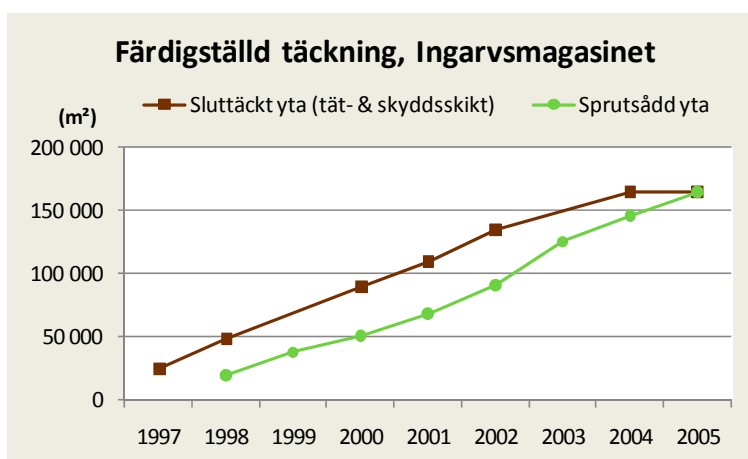
Moränmassor till skyddsskiktet lades ut med samma grävmaskin som tätskiktet. Vintertid användes ibland dumper och hjullastare för att köra ut skyddsskiktetsmassor över färdigtäckta ytor av morän.



Skyddsskiktet sprutsåddes med gräsfrö efter utläggning. Syftet med skydds- och växtetableringsskiktet var att skydda underliggande tätskikt, avleda nederbördsvatten, medge växtetablering, samt göra det möjligt att använda magasinet till vissa aktiviteter efter återställningen.

I genomsnitt sluttäcktes ca 20 000 m<sup>2</sup> årligen. Sluttäckningsarbetets framåtskridande styrdes framförallt av tillgången på tätskiktsmaterial (aska/slam) från Kvarnsvedens pappersbruk.

Figur 15. Årligt framåtskridande för Ingarvsmagasinet sluttäckning. Ytan omfattar totalt 165 000 m<sup>2</sup>.



Sluttäckningen började läggas ut på magasinets plana överyta 1997. Under 1998 började även täckning läggas ut i magasinets slänter. Släntfoten mot Ingarvsdiket tätades, genom att tätskiktet drogs ner ca 1 m under släntfoten, och dräneringspunkter (se nedan) anlades. För det delområde av magasinet där höga halter lakbara tungmetaller konstaterats (se avsnitt 3.7.2) beslutades att förstärka tätskiktet (se nedan) genom att använda slam från Grycksbo Pappersbruk med mycket låg permeabilitet.

Täckningen av slänter och plana ytor fortsatte under 1999. Grycksboslam lades ut på delområdet där höga halter lakbara tungmetaller i magasinet konstaterats. Ingarvsdiket rensades och dikessidorna förstärktes med sten för att förhindra erosion av täckningen vid hög vattenföring i Ingarvsdiket.



Figur 16. Ingarvsmagasinet under pågående sluttäckningsarbeten 2002.  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229



Figur 17. Ingarvsmagasinet år 2007, efter färdigställd sluttäckning.  
© Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande 75986229

### **Blandningsstationen i Kvarnsveden**

Blandningsstationen vid Kvarnsvedens pappersbruk är placerad direkt i anslutning till den biologiska avloppsreningsanläggningen. I blandningsstationen blandas torr flygaska från eldning av kol och skogsbränslen, med bioslam från avloppsreningsanläggningen.

Flygaskan blåses i en ledning från panncentralen till en silo vid blandningsstationen, varifrån aska doseras till blandaren. Bioslammet från avloppsreningsverket avvattnas med silbandspressar innan det går till blandaren.

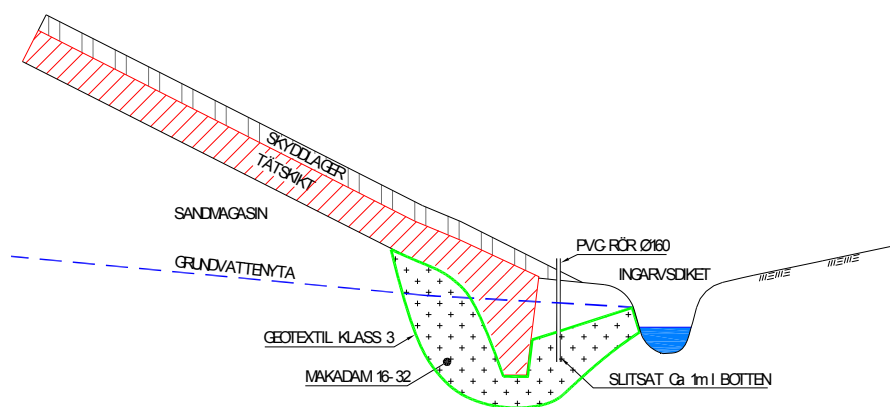
Blandningen av aska och slam utfördes med en satsvis blandare styrd av en mikrodator. Önskade värden på askmängd, bioslammängd och blandningstid lades in i datorn, som sedan styrde doseringen av aska och slam, samt tidpunkter för påfyllning och tömning av blandaren. Både ask- och bioslammängden vägdes in.

Den färdiga blandningen lades upp på en betongplatta i Kvarnsveden innan den transporterades till Ingarvsmagasinet i Falun (avstånd ca 18 km).

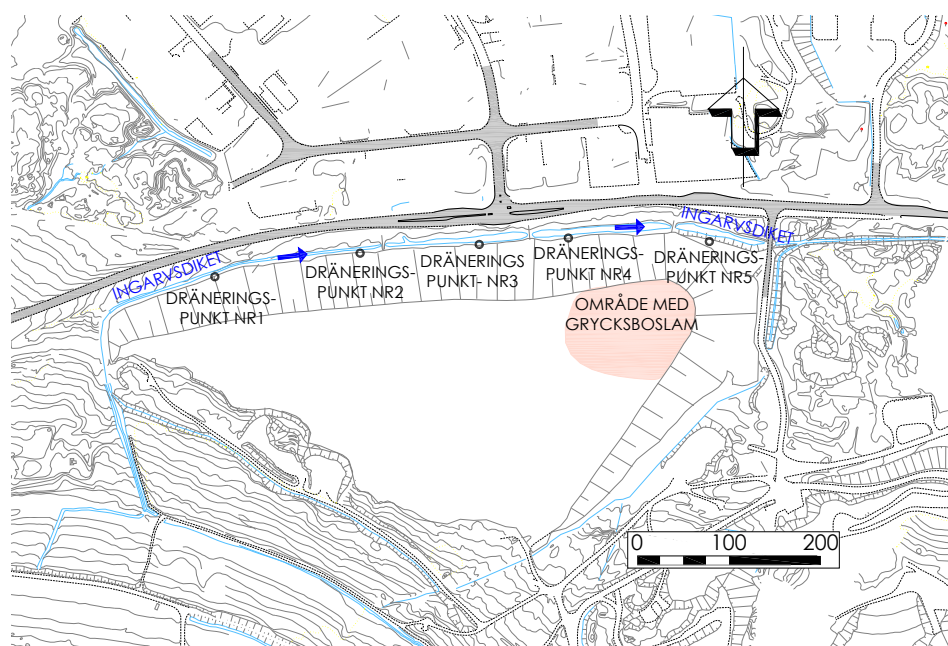
Vid behov kontaktade grävmaskinisten på Ingarvsmagasinet blandningsansvarig på Kvarnsvedens pappersbruk för justering av blandningsförhållandet. Detta inträffade vid några tillfällen per år. Orsaken var oftast att aska-slamblandningen var för blöt eller för torr, varvid blandningsförhållandet justerades. I vissa fall var orsaken väderrelaterad och i ytterligare några fall var orsaken blandningsförhållandet mellan kol- och biobränsleaska, där biobränsleaskan har förmågan att suga upp mer vatten.

### Dräneringspunkter i slänkfot

Eftersom avfallet i nedre delen av Ingarvsmagasinet konstaterats innehålla relativt stora mängder lakbara metaller, var det angeläget att hålla vattennivån i magasinet låg för att minimera uttransporten av metaller. För att uppnå en grundvattensänkning anlades fem dräneringspunkter med ”vattenlås” längs magasinet norra slänkfot. Syftet med ”vattenlåsen” är att grundvatten ska tillåtas dränera ur magasinet, samtidigt som syre hindras från att tränga in via dräneringspunkterna. En principskiss av dräneringsanordningarnas konstruktion samt placering i plan återfinns i Figur 18 och Figur 19 nedan. Dräneringsanordningarna anlades 1998-99, i samband med att slänkfoten tätades mot Ingarvsdiket.



Figur 18. Principsektion som visar dräneringspunkternas konstruktion. Varje dräneringsställe är ca 3-4 m brett.



Figur 19. Dräneringsanordningarnas läge i plan, samt delområde av magasinet som täckts med ett extra tätskikt av "Grycksboslam".

### Delområden med modifierad täckning

Utredningar under projektets gång, se avsnitt 3.7, visade att det förekom äldre, vittrat gruvavfall med höga halter lakbara tungmetaller i magasinet och i dess val-lar. Inom det område där sådant material påträffades, beslutades att lägga ett extra tätskikt för att ytterligare minska lakvattenbildningen. På området lades 0,3 m slam från Grycksbo pappersbruk, med permeabilitet i storleksordningen  $5 \cdot 10^{-10}$  m/s, som ett extra tätskikt under det ordinarie. Området som tätades med Grycksboslam är markerat i Figur 19.

Undersökningar angående sluttäckningens utformning med avseende på dess vattenmättnad och förmåga att hindra syrediffusion utfördes av Kemakta under 1995 (Höglund et al, 1995). Beräkningar indikerade att området närmast krönet skulle kunna torka ur, vilket skulle leda till ökad syrediffusion. Kemakta föreslog att detta skulle avhjälpas genom att öka tätskiktets tjocklek vid släntkrönet.

Kompletterande beräkningar genomfördes 1996 och 1997 av Ulf Qvarfort vid Uppsala Universitet, där tätskiktets tjocklek ökades från 1,0 till 1,5 m vid släntkrönet. Enligt dessa var det inte helt nödvändigt att öka skiktjockleken för att garantera tillräcklig vattenmättnad i tätskiktet, men tillsammans med den ökade tillgången till organiskt material skulle en ökad skiktjocklek sammantaget ha en positiv effekt, speciellt i ett långtidsperspektiv.

Med anledning av dessa utredningar, gav tätskiktet vid släntkrönet en tjocklek av 1,5 m. Skiktjockleken minskades successivt till 1,0 m vid slänkfot.

### **Praktiska erfarenheter av utläggning**

För utläggning och packning av tätskiktsblandningen testades olika metoder. Bandschaktare fungerade inte för utläggning av aska-slamblandning, på grund av dålig bärighet. Det som konstaterades fungera var utläggning med mellanstor bandgående grävmaskin (Fiat-Hitachi FH130.3, 13 ton), försedd med breda band (700 mm) för att ge lägre marktryck. Packning med hjälp av vibratorer testades, men fungerade inte eftersom utrustningen sjönk ned i aska-slamblandningen. Packning utfördes istället genom överfarter med grävmaskin. Vanligen krävdes 6-7 överfarter per halvmetersskikt för att packa materialet till godkänd täthet. Beroende på hur materialet såg ut, kunde fler eller färre överfarter krävas, vilket grävmaskinisten med tiden blev bra på att bedöma.

Problem med utläggning och packning av aska-slamblandningen kunde uppstå om materialet som levererades var för blött. I samband med täckningen av Galgbergsmagasinen fick sådant blött material vid några tillfällen köras tillbaka till blandningsstationen vid Kvarnsvedens pappersbruk. Grävmaskinisten som utförde arbetet (Helge Berglund, Lunds Schakt & Planering, Borlänge) fick med tiden sådan erfarenhet av materialet att han direkt vid leverans kunde se om egenskaperna inte var de rätta för utläggning och packning. Han rapporterade direkt till blandningsstationen i Kvarnsveden som omgående genomförde justeringar i blandningsförhållandena. Samma grävmaskinist utförde sluttäckningen av Ingarvsmagasinet. Få eller inga materialleveranser till Ingarvsmagasinet behövde därför tas i retur. En praktisk erfarenhet från tippningen av moränmassor, var att det var viktigt att kontrollera att tippning inte utfördes för nära kanten på utlagt tätskikt. Moränmassor kunde då hamna i skarven mot nästa delyta, med läckage genom i tätskiktet som följd.

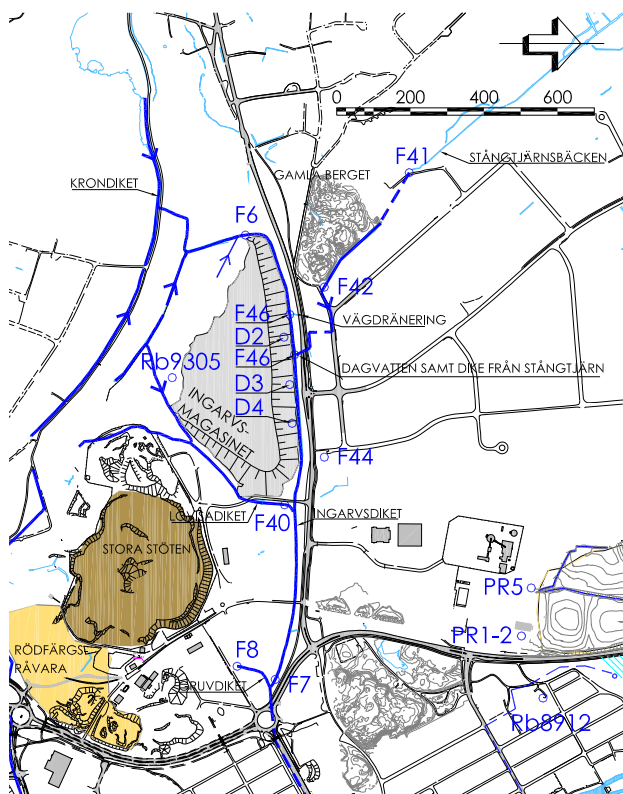
## **3.5 Miljökontroll**

Kontroll och mätning av utsläpp från Ingarvsmagasinet har utförts i enlighet med Faluprojektets gemensamma kontrollprogram för Faluån med tillflöden. Syftet med kontrollprogrammet har varit att öka kunskaperna om metallutsläppen till Faluån samt att göra det möjligt att utvärdera effekterna av de åtgärder som genomförts inom ramen för Faluprojektet ( däribland täckningen av Ingarvsmagasinet).

I vattensystemet Faluån-Tisken-Runn-Dalälven har vattenprover under hela efterbehandlingsperioden tagits inom ramen för Dalälvens Vattenvårdsförenings provtagningsprogram (DVVF).

Inom ramen för Faluprojektets kontrollprogram utfördes under hela projektiden provtagning i en ytvattenpunkt direkt nedströms Ingarvsmagasinet (F7 ”Ingarvsdicket”). Längre nedströms i vattensystemet togs prover i Gruvbäcken (F9). Punkten F7:s läge framgår av Figur 20. I Ingarvsdicket togs vattenprov som stickprov 1 gg/månad och analyserades med avseende på pH, zink, kadmium, koppar och totalkväve. Flödesmätningen i Ingarvsdicket utfördes ”indirekt” till och med år

2004, genom att skillnaden mellan de uppmätta flödena i Gruvbäcken (utspädningsmätning med litiumklorid) och Gruvdiket (flödesuppskattning) beräknades. Flödet i Gruvdiket är betydligt mindre än flödet i Ingarvsdiket/Gruvbäcken, varför osäkerheten i flödesberäkningen i stort sett varit densamma som för utspädningsmätning med litiumklorid.



Figur 20. Provpunkter kring Ingarvsmagasinet i det utökade kontrollprogrammet 2005.

### Utökad kontroll år 2005

Innan magasinet sluttäcktes var metalltillskottet från övriga tillflöden till Ingarvsdicket försumbara jämfört med utläckaget från magasinet. Genom att metalläckaget från magasinet minskade kraftigt sedan det togs ur drift och sluttäcktes, behövde de övriga tillflödenas betydelse åter bestämmas.

År 2005 genomförde Faluprojektet ett utökad kontrollprogram. Kring Ingarvsmagasinet lades ett stort antal kontrollpunkter till, för att bedöma storleksordningen på olika tillflöden till Ingarvsdicket. Provtagningspunkternas läge framgår av Figur 20.

I ytvattenpunkterna togs stickprover ut för analys 1 gg/månad. Analyserade parametrar var metaller (ICP-paket), pH och konduktivitet. I punkterna i Ingarvsdicket, uppströms och nedströms magasinet (F6 och F7), samt i tillflödet från Stångtjärnsbäcken (F44 och F45) analyserades dessutom TOC, kväve och fosfor, för att följa upp läckaget från sluttäckningsmaterialen. I de större tillflödena mättes dessutom flöde, pH och konduktivitet varje vecka, för att kartlägga korttidsvariationer hos parametrarna.

För att kunna genomföra 2005 års kontrollprogram, monterades skibord för flödesmätning i fem ytvattenpunkter, däribland Ingarvsdicket vid punkt F7. Flödesmätning utfördes i samband med mätning och provtagning för analys.

Under 2005 togs även kvartalsvisa grundvattenprover ut i magasinets inströmningsområde (Rb 9305) samt grund-/lakvattenprover ut i magasinets dräneringsanordningar (D2-D4).

### **Kontroll efter år 2005**

Efter genomförandet av det utökade kontrollprogrammet år 2005, drogs analysomfattningen ned något år 2006 och 2007. För Ingarvsmagasinet del, innebar det att inga tillflöden till Ingarvdiket provtogs, däremot punkterna upp- och nedströms sandmagasinet (F6 och F7). Veckomätningarna togs bort, men de månadsvisa analyserna och mätningarna behölls. Under 2007 utökades provtagningen tillfälligt med analys och flödesmätning månadsvis i Stångtjärnsbäcken upp- och nedströms ett större slaggområde (F41 och F42).

I december 2007 beslutades om ett nytt kontrollprogram att gälla från och med 2008 och framåt, se avsnitt 5.2.3.

Resultat från utförd miljökontroll redovisas i avsnitt 4.

### **3.5.1 Rapportering av miljökontroll**

Miljökontrollen inom Faluprojektet har sammanställts i en årlig miljörapport som lämnats in till Länsstyrelsen i Dalarnas län. Miljörapporter finns upprättade årligen från 1995 till 2007. För år 1994 till 2007 finns verksamhetsrapporter upprättade för Faluprojektet, vilka innehåller ett avsnitt om miljökontrollen under året.

Utvalda nyckelparametrar från miljökontrollen redovisades även löpande under året, vid styrgruppens möten.

Data från vattenprovtagning enligt Faluprojektets kontrollprogram finns inlagt i en databas som för närvarande förvaltas av GVT och årligen arkiveras på Länsstyrelsen i Dalarnas län.

## **3.6 Driftkontroll**

### **3.6.1 Kontroll vid Kvarnsvedens pappersbruk**

De kritiska egenskaperna för att uppnå bra kvalitet på aska-slamblandningen som tätskiktmaterial var blandningsförhållandet mellan flygaska och bioslam, bioslammets och blandningens torrsustanshalt och permeabilitet, samt i viss mån flygaskans egenskaper, som varierade något beroende på bränslets sammansättning.

Det kontrollprogram som togs fram för täckningen av Galgbergsmagasinen (se avsnitt 2.2.3) omfattade bland annat dagliga analyser av TS-halten i bioslammet och aska-slamblandningen, kontroll av blandningens halt fritt vatten, samt dess förmåga att tåla mekanisk belastning. Under åren som täckningen av Galgbergsmagasinen pågick, fick man allt bättre uppfattning om blandningens och de ingående materialens egenskaper. Omfattningen av kontrollen drogs därför ner betydligt.

Följande uppgifter journalfördes vid Kvarnsvedens pappersbruk:

- Askmängd per sats
- Bioslammängd per sats
- Antal blandade satser under dygnet
- Andel fiberslam i bioslammet
- Bränslemix i pannorna (mängd skogsbränsle, rensribark och kol).

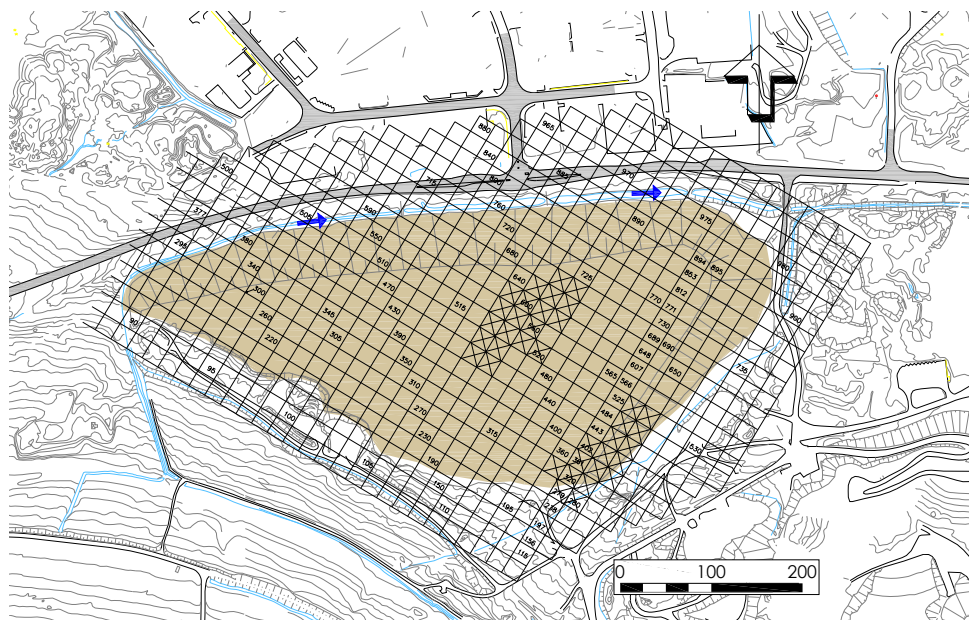
Utöver journalen registrerades invägda mängder flygaska och bioslam för varje sats i blandningsstationens dator.

Den tillverkade mängden tätskiktsblandning kontrollerades:

- dels genom summering av invägda mängder flygaska och bioslam till blandaren
- dels genom registrering av hur många lastbilslass som transporterades till Ingarvsmagasinet.

### 3.6.2 Kontroll av utförd täckning

Permeabiliteten hos tätskiktsmaterialet kontrollerades löpande under utläggning. Magasinets yta delades in i ett rutnät med delytor av storleken 20x20 m<sup>2</sup>, vilka numrerades för att kunna koppla utförd kontroll till ett definierat läge, se Figur 21.



Figur 21. Rutnät för lägesbestämning av utförd täckning och kontroll.

På varje delyta och på varje utlagt skikt, gjordes mätningar i fyra punkter med Loadman fallviktsdeflektometer. Metoden med indirekt kontroll av tätskiktets permeabilitet och packning genom mätning med fallviktsdeflektometer, hade tidigare tagits fram för täckningen av Galgbergsmagasinet, se avsnitt 2.2.3. Om mätningarna visade på icke godkända värden i en eller flera punkter, gjordes mätningar i fyra



nya punkter på ytan. Om alla de nya proverna visade godkända värden på deflektionen, godkändes ytan. Om ett eller flera värden låg utanför det godkända intervallet, togs däremot prov ut för permeabilitetsbestämning. Permeabilitetsvärdet fick därefter avgöra om ytan skulle godkännas eller inte.

Godkänt intervall för deflektionen med Loadmanapparaten var 7-14 mm, vid användning av en platta med diametern 0,2 m och en fallvikt på 6 kg. Godkänt värde på permeabilitet (hydraulisk konduktivitet) var  $<1 \cdot 10^{-8}$  m/s.

Utöver mätningarna med fallviktsdeflektometer, togs alltid prov ut för permeabilitetsbestämning från var sjunde delyta.

Om permeabiliteten var för hög, det vill säga  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s eller högre, underkändes delytan och åtgärdades genom urgrävning och packning av nya, godkända massor. Ytterligare prover togs dessutom ut inom 2 m radie från det underkända. Om även detta var underkänt, eller om det ursprungliga provets permeabilitet översteg gränsvärdet med en faktor 3, undersöktes orsaken till den höga genomsläppligheten särskilt, till exempel genom flera bestämningar av vattenkvot och densitet. Enskilda underkända ytor fick ersättas med ett extra deltätskikt med minst 0,3 m mäktighet, om den underkända ytan var mellan 40 och 400 m<sup>2</sup> stor och om skyddsskiktet kunde få rätt mäktighet (0,5 m).

Under återställningen av Ingarvsmagasinet underkändes 1-2 delytor vid ett tillfälle. Permeabiliteten hos aska-slamblandningen konstaterades vara för hög – troligen på grund av processförändringar i reningsanläggningen vid Kvarnsveden pappersbruk. Efter mindre justeringar av blandningsförhållande och blandningsförfarande vid blandningsstationen, fick aska-slamblandningen åter tillräcklig täthet. Den underkända ytan åtgärdades genom att ett extra tätskikt av godkänd aska-slamblandning påfördes.

Täckningens funktion som syrebarriär kontrollerades årligen vid Galgbergsmagasinet (där samma täckningskonstruktion och täckmaterial använts), dock inte vid Ingarvsmagasinet. På Galgbergsmagasinet finns ett flertal syresonder monterade, ur vilka gas från magasinet kan pumpas ut och syrehaltbestämmas.

### **3.6.3 Rapportering av driftkontroll**

Resultatet av kontrollen av utlagd sluttäckning redovisades till Länsstyrelsen varannan månad. I samband med detta redovisades även utlagda mängder och uppgifter om blandningens egenskaper utifrån kontrollen som utfördes vid Stora Enso Kvarnsveden.

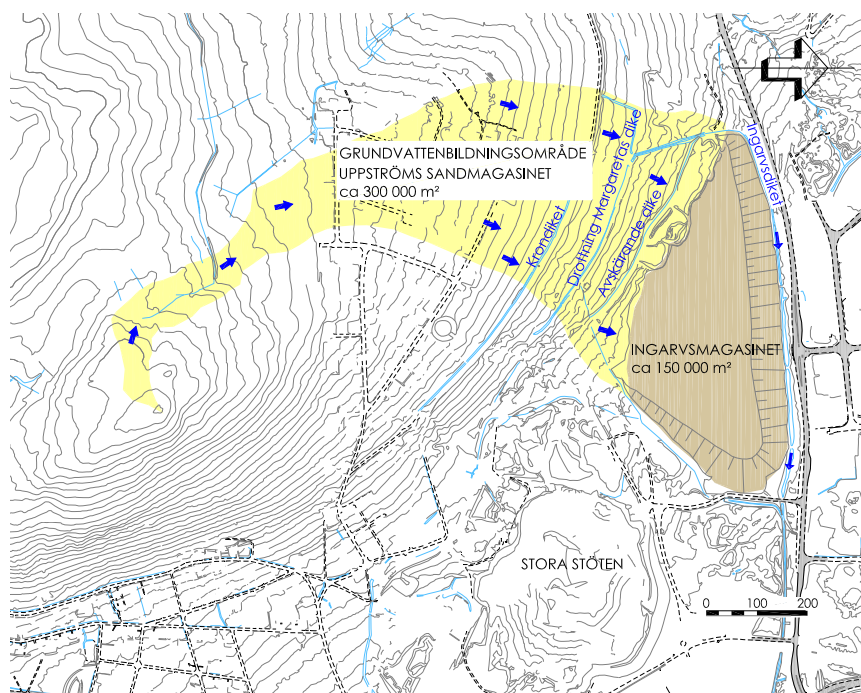
Utvalda nyckelparametrar från driftkontrollen redovisades för styrgruppen löpande under året, i samband med möten. Till viss del redovisades också driftkontrollen i den årliga miljörapporten.

## 3.7 Utredningar under genomförandefasen

### 3.7.1 Kartläggning av Ingarvsmagasinet hydrogeologi

Ingarvsmagasinet hydrogeologi kartlades framförallt i undersökningar genomförda 1996-98, som redovisas i rapporten ”Prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet” (Qvarfort och Ledin, 1998). Nedan beskrivs Ingarvsmagasinet hydrogeologi sammanfattat utifrån ovanstående rapport.

Vattentillförseln till Ingarvsmagasinet sker genom infiltration av nederbörd på magasinsytan, samt via grundvattenflödet från moränmarkerna uppströms. Grundvattenbildningsområdet uppströms magasinet utgörs av skogsmark och av bostadsbebyggelse (Krondiket), se Figur 22. Området är ca 30 ha stort och marken lutar relativt brant ner mot magasinet – ca 10-15 % närmast magasinet och ca 5 % högre upp i slutningen.

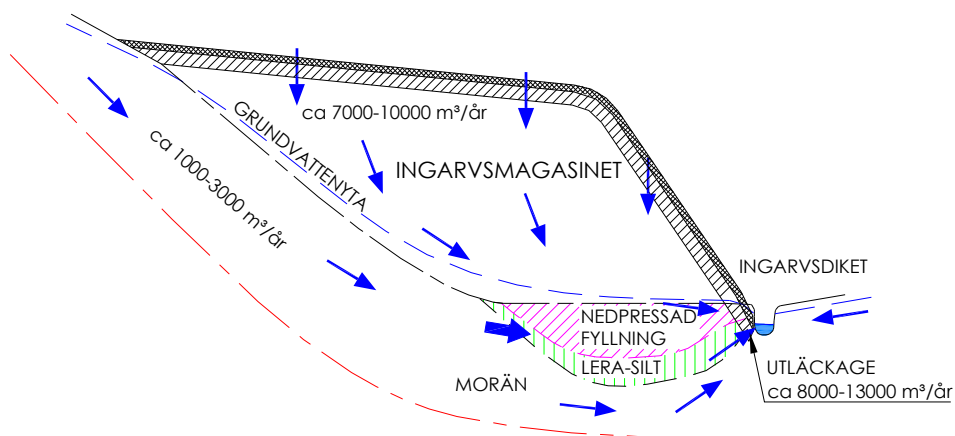


Figur 22. Grundvattenbildningsområde vid Ingarvsmagasinet.

Grundvattenbildningen (lakvattenbildningen) på magasinsytan beräknas vara ca 50-70 mm/år efter sluttäckning, vilket motsvarar ett flöde på ca 7 000 - 10 000 m<sup>3</sup>/år (0,2-0,3 l/s). Detta kan jämföras med situationen innan täckning, då lakvattenbildningen beräknades uppgå till ca 40 000 m<sup>3</sup>/år (1,3 l/s).

Grundvattenbildningen inom området uppströms magasinet beräknas endast vara ca 4-10 mm/år, motsvarande flödet 1 000-3 000 m<sup>3</sup>/år (0,04-0,1 l/s) genom magasinet. Den begränsade grundvattenbildningen beror på att moränen i området är mycket tät. Beräkningarna är behäftade med stor osäkerhet, eftersom redan små områden/skikt med högre genomsläpplighet än den dominerande moränen kan göra

att grundvattenflödena ökar relativt mycket. En principsektion som visar grundvattenflödena genom magasinet visas i Figur 23 nedan.



Figur 23. Principsektion som visar storleksordningen på grund-/lakvattenflöden genom Ingarvsmagasinet efter sluttäckning.

Som framgår av ovanstående principfigur passerar en del av grundvattenflödet genom botten av sandmagasinet och fyllningen därunder, medan en del passerar i moränen/leran under magasinet. Inom vissa områden i magasinets undre del finns relativt stora mängder lakbara metaller (i äldre, vittrat gruvavfall), som under en övergångsperiod kan tvättas ur av det genomströmmande grundvattnet.

### 3.7.2 Kartläggning av Ingarvsmagasinet metallinnehåll och läckage från magasinet

Inom ramen för undersökningar som genomfördes 1996-1998, kartlades Ingarvsmagasinet innehåll av lakbara tungmetaller. Dels genom inventering av mängder deponerat material (se avsnitt 1.2.4), dels genom borrhning och provtagning av avfallet i magasinet. Resultaten presenteras i rapporten "Prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet" (Qvarfort och Ledin, 1998).

Borrhning utfördes i ett stort antal punkter, dels för uttag av prover till lakförsök, dels för sättning av grundvattenrör och brunnar för vattenprovtagning och nivåbestämning. Borrhning utfördes dels som rörborrhning med tvåtumsrör (42 st), dels i form av odexborrhning med invändig rördimension 85 mm (i några fall 140 mm), totalt 17 st. Några odexbrunnar försågs med rostfria filter med kontinuerlig slits, och vissa med plastfilter med fast grusmantel. Utöver det grävdes 20 st provgropar, där stående PVC-rör placerades för att ge möjlighet till vattenprovtagning och nivåmätning.

Lakning utfördes på 174 st prover genom skakförsök vid  $L/S=1$  under 1 timme, efter föregående torkning av proverna vid  $105^{\circ}\text{C}$ . Lakningsförsöken utfördes av Uppsala Universitets laboratorium vid institutionen för geovetenskap. Provpunkternas placering framgår av [bilaga 1](#).

En sammanställning av medelvärdena för lakbar zink i respektive provtagningspunkt redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Medelvärde för halten lakbar zink i respektive borrpunkt i Ingarvsmagasinet. Data hämtade från (Qvarfort och Ledin, 1998).

Provtagningspunkt	Medelvärde Zink lakbart (mg/kg)	Provtagningspunkt	Medelvärde Zink lakbart (mg/kg)
Br 5	156	Rb 9708	44
Br 6	237	Rb 9709	160
Br 7	1 490	Rb 9710	282
Br 8	97	Rb 9711	286
Br 9	1 285	Rb 9712	258
Br 10	539	Rb 9713	273
Br 13	110	Rb 9714	360
Br 14	383	Rb 9715	813
Br 15	1 387	Rb 9716	298
Br 16	404	Rb 9717	663
Br 17	1 812	Rb 9801	360
Br 18	385	Rb 9802	566
Br 19	145	Rb 9803	29
Br 20	441	Rb 9804	158
Br 21	124	Rb 9805	20
Slänt*	168	Rb 9806	80
Dike 1*	37	Rb 9807	1 155
Dike 2*	140		
Dike 3*	160		

\* Provet som benämns slänt är taget mitt på sandmagasinet och mitt i slänten. Proverna som är benämnda dike är uttagna i nordvästra delen i samband med att dike för tätning av släntfot skulle utföras.

De högsta medelvärdena förekom i brunnarna 7, 9, 15, 17 och rör 9807 i magasinets nordöstra del, samt i rören 9715, 9717 i magasinets sydvästra del. Utifrån studier av flygbilder, kunde man bestämma att avfallet med höga lakbara halter i magasinets nordöstra del lagts dit någon gång mellan 1945 och 1955, innan magasinet anlades. Upptäckten av vittrat material föranledde att man valde att täcka magasinets nordöstra del med tätare tätskikt, vilket beskrivs i avsnitt 3.4.3.

I Ingarvsmagasinet sydvästra del var det känt sedan tidigare att kisbränder deponerats. Lakförsök och grundvattenprovtagning i detta område, visade dock på låga metallhalter. Inga särskilda åtgärder föreslogs för detta område.

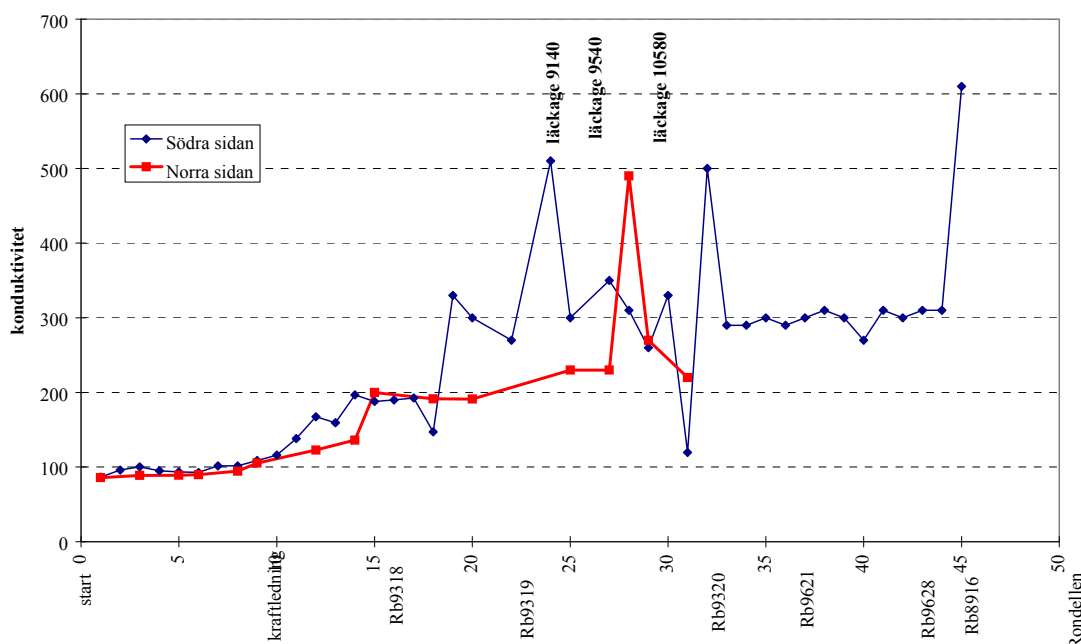
Provgropsgrävningen utfördes längs Ingarvsdiket, för att försöka fastställa var längs magasinet som de stora metallutläckagen förekom. I de PVC-rör som monterades i groparna, utfördes korttidsprov pumpning 0,5-3 timmar för att bestämma den momentana tillrinningen.

Tabell 5. Uppmätta zinkhalter samt pumpad vattenmängd. Tabell hämtad från (Qvarfort och Ledin, 1998).

Provgrop	Zinkhalt (mg/l)	Pumpad vattenmängd (l/min)	Pumpad zinkmängd (ton/år)
<b>Söder om Ingarvsdiket</b>			
Pg 1	680	30	11
Pg 2	190	7	1
Pg 3	1200	9	6
Pg 4	2400	9	11
Pg 5	1800	2	2
Pg 6	580	2	1
Pg 7	760	6	2
Pg 8	630	4	1
Pg 9	720	8	3
Pg 10	210	8	1
Pg 11	700	10	4
Pg 12	920	4	2
Pg 13	380	25	5
Pg 14	1000	4	2
Pg 15	630	4	1
<b>Summa</b>		<b>132 l/min</b>	<b>53 ton/år</b>
<b>Norr om Ingarvsdiket</b>			
Pg 16	0,06	1	0,03
Pg 17	0,6	2	0,6
Pg 18	0,22	1	0,1
Pg 19	1,2	1	0,6
Pg 20	0,05	1	0,03
<b>Summa</b>		<b>6 l/min</b>	<b>1,4 ton/år</b>

Utifrån pumpningen beräknades det momentana läckaget av zink till motsvarande drygt 50 ton zink per år, totalt längs magasinsoften. Detta var något högre än det årliga läckage som uppmätts via vattenprovtagning i Ingarvsdiket, efter det att magasinet tagits ur drift – ca 35-40 ton/år.

Provgroparna 16-20 norr om Ingarvsdiket gjordes för att kontrollera om något läckage av zink förekom från den norra sidan. Man konstaterade att uppmätta halter och mängder från norr var obetydliga, jämfört med läckaget från magasinssidan. Vattenprovtagning och konduktivitetmätningar utfördes även i Ingarvsdiket, på sträckan längs magasinet. Resultatet av konduktivitetmätningarna redovisas i Figur 24 nedan.



Figur 24. Uppmått konduktivitet i Ingarvsdiket på sträckan längs Ingarvsmagasinet 1997-1998 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Diagram hämtat ur (Qvarfort och Ledin, 1998).

Konduktiviteten steg kraftigt längs magasinets sträckning (från punkt 1 till punkt 35 på x-axeln) och detsamma gällde zink- och järnhalterna. Det syntes även en skillnad i konduktivitet mellan dikets södra och norra sida, på grund av utläckaget från Ingarvsmagasinet.

### 3.7.3 Utlakningspotential och prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet

Inom ramen för utredningen ”Prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet” (Qvarfort och Ledin, 1998) undersöktes utlakningspotentialen i magasinet.

Här konstaterades att det huvudsakliga utläckaget av metaller från ett sandmagasin hänger samman med olika vittringsreaktioner. Vittringen sker framförallt i syrerik miljö, men även det vid vittringen bildade trevärda järnet kan medföra ytterligare vittring. Det var därför angeläget att börja sluttäckningen av magasinet inom en inte alltför lång tid efter det att deponeringen upphört.

Utläckaget av metaller konstaterades, utöver vittring, även styras av utlakningen av vittringsprodukterna. Även utlakningsförloppet från magasinet studerades.

Utlakningspotentialen i magasinet beräknades enligt Tabell 6 nedan, med utgångspunkt i de data som kartläggningen av magasinets innehåll gav (se avsnitt 3.7.2).

Tabell 6. Total utlakbar mängd zink för de olika materialen. Redovisade halter är grundade på medelvärdesberäkningar från analysmaterialet i (Qvarfort och Ledin, 1998) samt från äldre analysmaterial (Dalälvsprojektet).

Material	Mängd (m <sup>3</sup> )	Andel av volymen (%)	Lakbar halt zink (g/m <sup>3</sup> )	Total lakbar mängd zink (ton)
Gråberg	450 000	36,6	350	158
Anrikningssand	600 000	48,8	100	60
Sand från Galgberget	50 000	4,1	1500	75
Kisbränder	30 000	2,4	150	3
Kolaska/Bioslam	5 000		--	--
Metallhydroxidslam	25 000		--	--
Övrig sand	70 000	5,7	2250	158
<b>Summa</b>	<b>1 230 000</b>			<b>454</b>

Slutsatsen var att det fanns ca 450 ton lakbar zink i magasinet, av vilket det varpbemängda gråberget stod för en relativt stor andel. Även den ”övriga sanden” och sanden från Galgbergsmagasinen stod för en relativt hög andel av zinken. Detta senare förklarades med att anrikningen längre tillbaka utfördes med en sur process, innan man övergick till alkalisk flotation i anrikningsverket.

Ett alternativt sätt att beräkna utlakningen från magasinet redovisades också. Det var att ”bakvägen” beräkna vilken mängd utlakade produkter som behövdes för att skapa en utlakning på uppmätta 38 ton zink per år. Av tabellen ovan framgår att det var 1 200 000 m<sup>3</sup> massor som producerade den utlakade mängden zink. Detta gav ett medelvärde på ca 32 g/m<sup>3</sup> avfall vilket kunde jämföras med beräkningen som grundade sig på 175 lakanalyser och som visade på en total utlakbar andel på 374 g/m<sup>3</sup>. Detta skulle innebära att mindre än 1/10 av den totalt lakbara mängden laka-des ut varje år.

Med resultaten av provtagningarna i magasinet som ingångsdata, simulerades vitt-ringsprocessen i modelleringsprogrammet RATAP. Resultatet, med avseende på nybildning av zink, var att vittring skulle ge ca 90 ton/år under den närmsta tioårs-perioden. Med täckning enligt Galgbergsmagasinsmodellen, skulle motsvarande vittring bli ca 6 ton zink per år, tack vare att syrediffusionen skulle upphöra. Under en övergångsperiod skulle dock en viss ”restvittring” kunna ske, på grund av till-gång till trevärt järn i magasinet.

Lakvattenbildningen på magasinets bedömdes vara ca 250-300 mm/år innan slut-täckning. Täckning enligt Galgbergsmagasinsmodellen (1 m tätskikt; 0,5 m skyddsskikt) beräknades minska genomsläppligheten till ca 100 mm/år. Ett tätare alternativ, med användning av ett extra 0,3 m tätskikt av lågpermeabelt slam från Grycksbo pappersbruk, bedömdes ge ca 50 mm/år.

Halten utlakad zink uppskattades utifrån utförda mätningar och beräkningar, samt genom kompletterande lakförsök vid olika L/S-förhållanden, motsvarande olika genomsläppligheter hos sluttäckningen.

I Tabell 7 nedan redovisas de beräknade årliga zinkläckagen för de olika täckningsalternativen.

Tabell 7. Trolig utlakning av zink i ton/år för de olika täckningsalternativen, enligt (Qvarfort och Ledin, 1998).

<b>ALTERNATIV:</b>	<b>Dagens situation (1998)</b>	<b>Ingen täckning</b>	<b>Täckning motsv. 100 mm/år</b>	<b>Täckning motsv. 50 mm/år</b>	<b>Täckning motsv. 25 mm/år</b>
Zinkläckage	38 – 40 ton/år	80-120 ton/år	23 ton/år	16 ton/år	10 ton/år

Om täckning med plastmembran och dräneringsskikt, motsvarande ca 1 mm/år lakvattenbildning, skulle utföras på ytan med vittrat material i nordöstra delen av magasinet, bedömdes zinkläckaget kunna minska med ytterligare 2-4 ton/år.

Planerad täckning enligt Galgbergsmagasinsmetoden, kompletterad med ett tätare skikt av Grycksboslam på delytor med högt innehåll av lakbara metaller i magasinet, bedömdes ge ett utflöde av ca 20-30 ton zink per år. På längre sikt bedömdes utlakningen minska, tack vare att de redan bildade vittringsprodukterna i det äldre avfallet tvättades ur. Det betonades att utläckaget var svårberäknat på grund av de "gamla" vittringsprodukterna, samt osäkerheten i bedömning av effekten av minskat vattenflöde tack vare sluttäckningen. Betydligt mer kvalificerad täckning skulle kunna minska läckaget något – dock bedömdes det inte vara försvarbart vid en samlad bedömning av teknik, miljö och ekonomi.



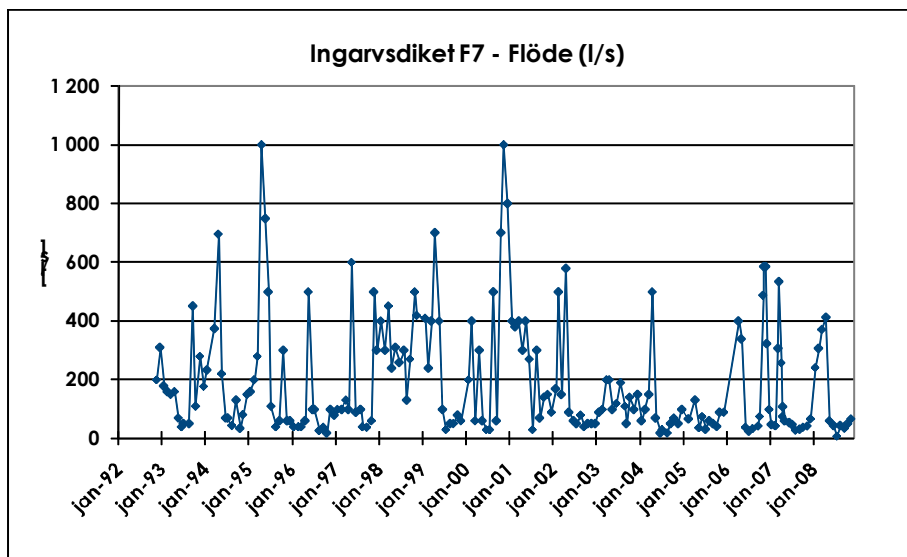
## 4 Projektuppföljning – utvärdering

### 4.1 Reduktion av metaller

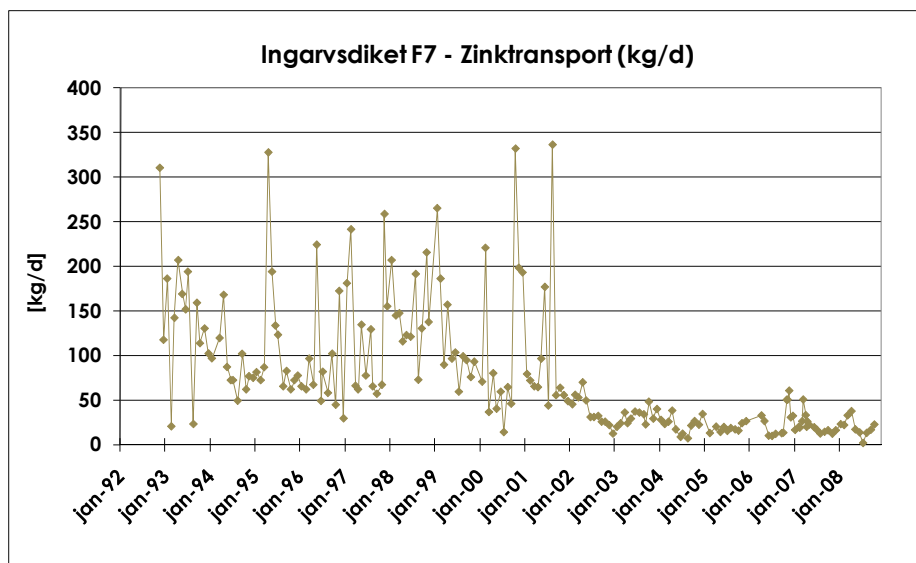
Utsläppen av metaller har sedan Faluprojektets start följts upp i Ingarvsdiket, i en punkt nedströms sandmagasinet (F7). Metalltransporter och flöden i punkt F7 redovisas i Figur 25(a)-(e) (momentanvärden 1 gg/mån) och Figur 26(a)-(e) (års-transporter). Uppmätta metallhalter redovisas i bilaga 2.

Det finns andra källor än Ingarvsmagasinet som bidrar till metalltransporten i Ingarvsdiket, vilket diskuteras mer nedan. Provtagningspunkternas placering framgår av Figur 20

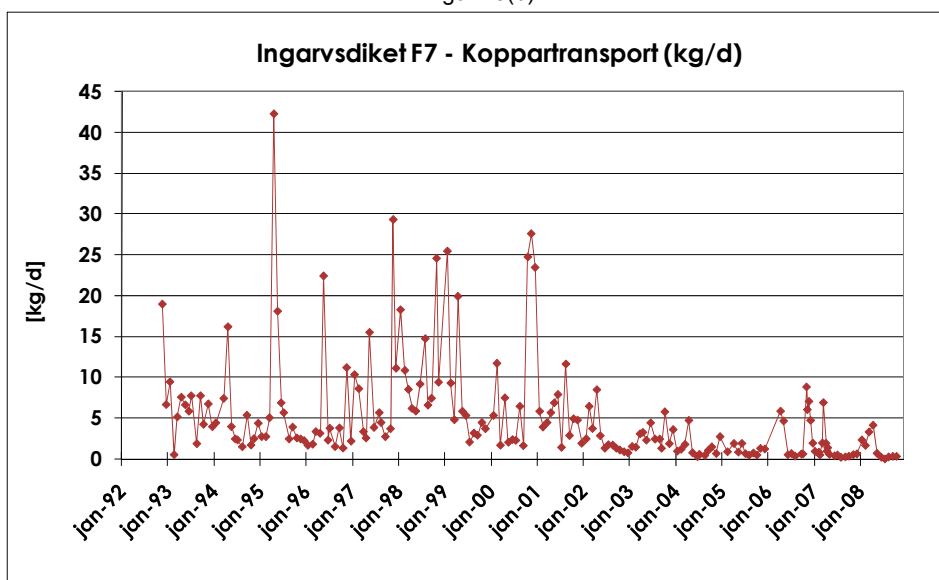
Figur 20i avsnitt 3.5.



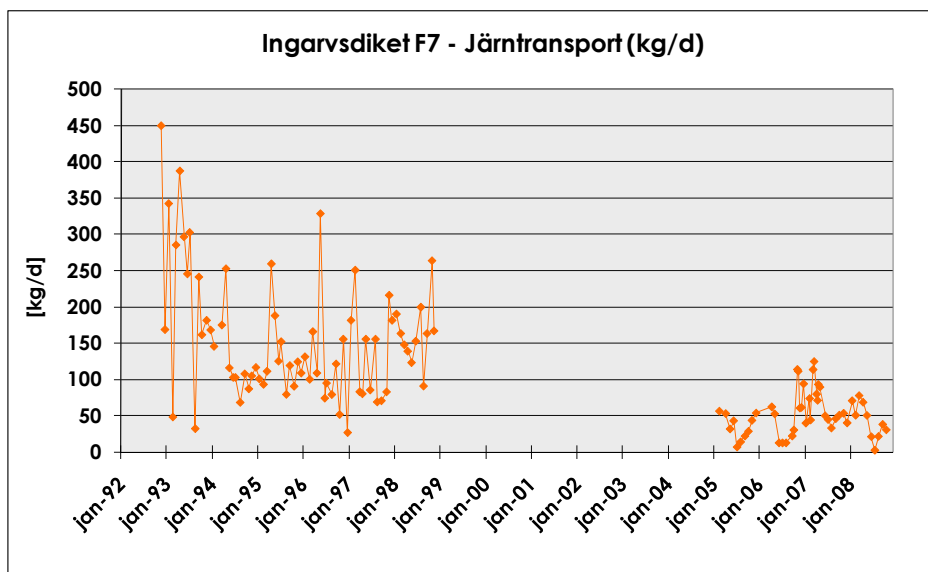
Figur 25(a)



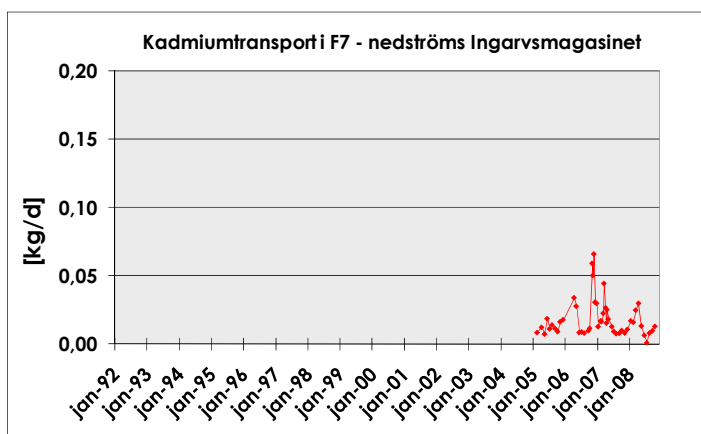
Figur 25(b)



Figur 25(c)

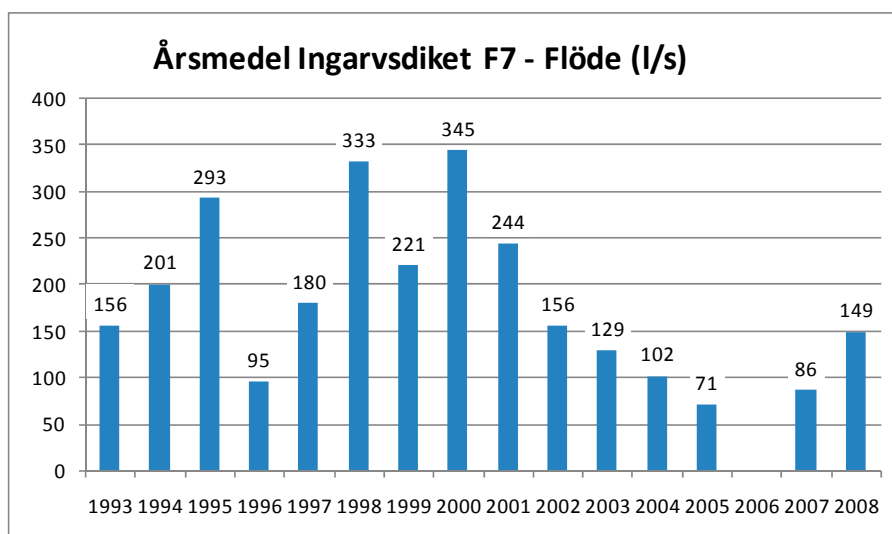


Figur 25(d)

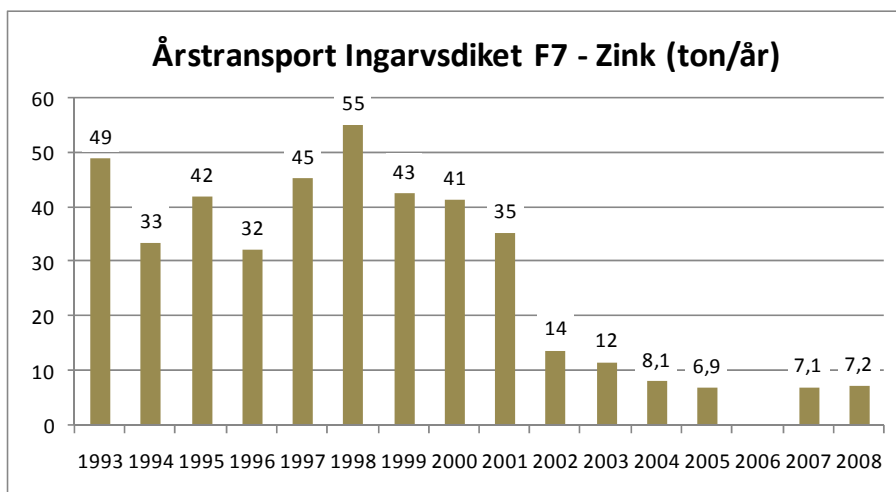


Figur 25(a)-(e). Uppmätta, momentana flöden och metalltransporter i Ingarvsdiket (F7). Järn analyserades ej under år 2000-2005. Kadmium analyserades med för hög analysgräns för att ge relevanta värden t o m år 2004 och redovisas därför inte för perioden 1992-2004.

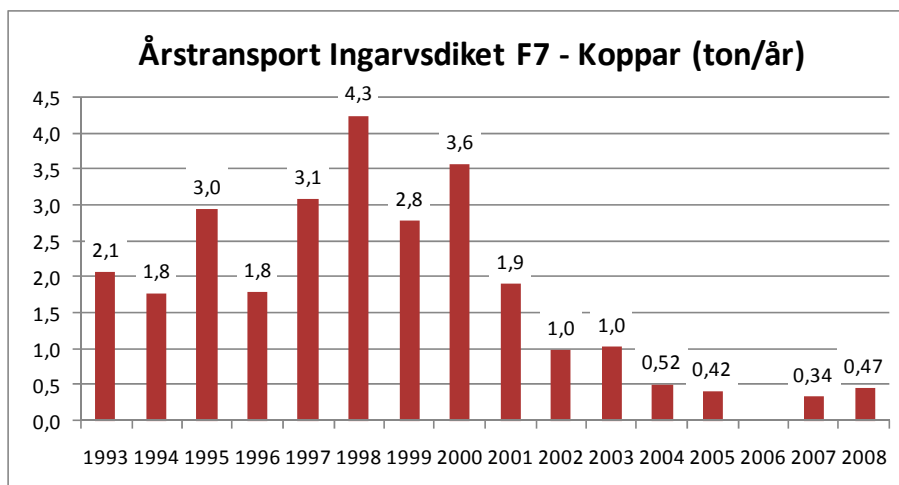
Figur 25(e)



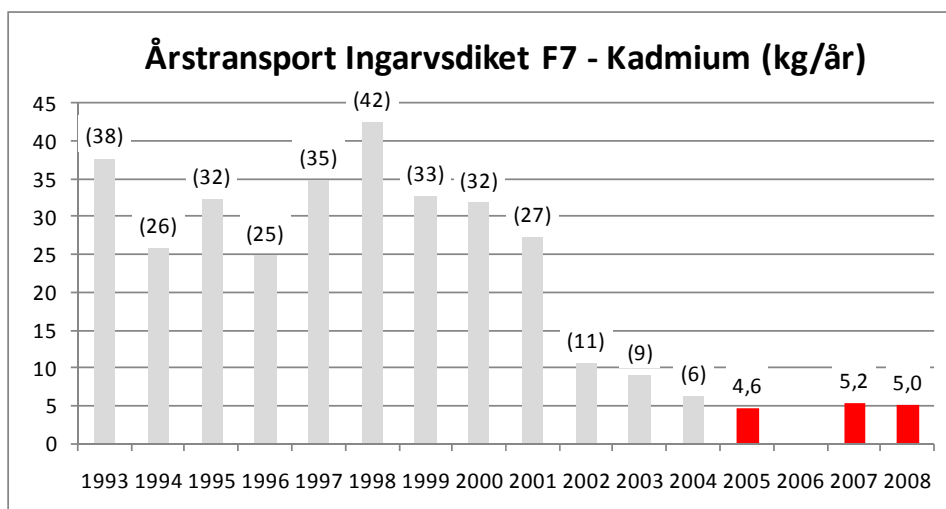
Figur 26(a)



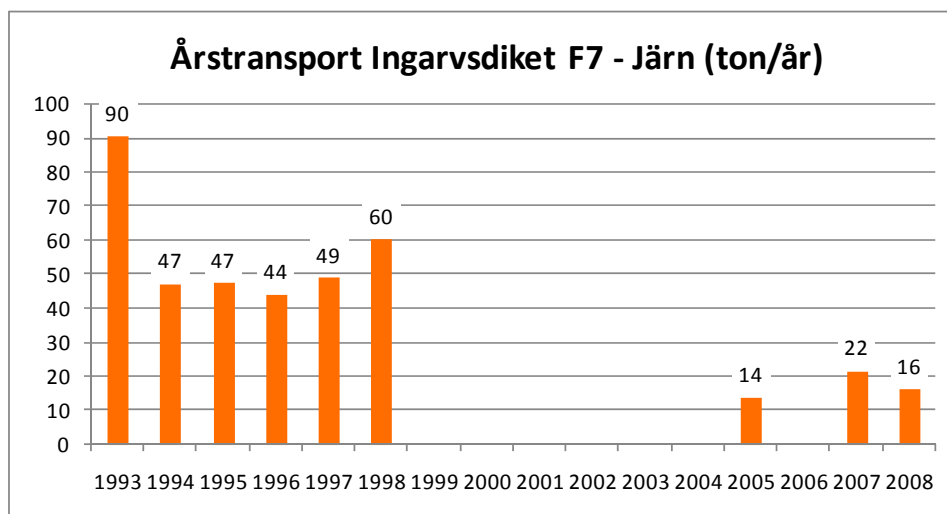
Figur 26(b)



Figur 26(c)



Figur 26(d)



Figur 26(e)

Figur 26. Beräknade årliga flöden och metalltransporter i Ingarvsdiket (F7), utifrån månadsvis stickprovtagning. Under år 2006 saknas tre månadsvärden (jan-mars), varför inget årsvärde har beräknats. Järn analyserades ej år 2000-2004. Kadmium analyserades med för hög analysgräns för att ge relevanta värden t o m år 2004 och transporterna är därför beräknade utifrån zinktransporterna under perioden 1992-2004 (grå staplar). Värden på kadmium inom parentes, har beräknats utifrån en konstant relation till zink:  $Zn[ton]/Cd[kg]=1,3$ . Konstanten har beräknats som ett medelvärde av stickprover i F7 år 2005-2007.

I nedanstående tabell jämförs utsläppet av metaller från Ingarvsmagasinet i drift, samt från magasinet taget ur drift innan, respektive efter sluttäckning. Målsättningen för metallreduktionen, med utgångspunkt från Gruvavfallsprojektet, redovisas också, liksom prognosen som gjordes inom ramen för Faluprojektet 1998.

Tabell 8. Metallutsläpp från Ingarvsmagasinet före och efter åtgärd, samt jämförelser med mål och prognoser.

	Zink (ton/år)	Koppar (ton/år)	Kadmium (kg/år)
<b>UTGÅNGSNIVÅER</b>			
Utsläppsnivå Gruvavfallsprojektet, magasinet i drift (SGI)	ca 90	ca 7	ca 150
Utsläppsnivå 1993-95, magasinet taget ur drift, men innan sluttäckning	ca 40	ca 2-3	ca 30*
<b>MÅLSÄTTNING/PROGNOS</b>			
Målsättning enl Gruvavfallsprojektet, SGI (85 % reduktion, förutsatte magasinet i drift)	14	1	23
Prognos från 1998, Faluprojektet (GVT AB, Uppsala Universitet)	20-30	i u	i u
Målsättning Faluprojektet generellt 80 % reduktion	8	ca 0,4-0,6	ca 6
<b>RESULTAT</b>			
Utsläppsnivå efter sluttäckning, uppmätt år 2005-2008 i F7 (inkl vissa övriga källor)	ca 7	ca 0,3-0,5	ca 5
Reduktion jämfört med när magasinet var i drift	92 %	70-95 %	97 %
Reduktion jämfört med magasinet taget ur drift	82 %	25-90 %	83 %

\*Beräknat utifrån uppmätta zinktransporter, jfr Figur 26.

Utsläppsnivån efter genomförd sluttäckning, är för samtliga metaller (zink, koppar och kadmium) betydligt lägre än den uttalade målsättningen från Gruvavfallsprojektet, som dock förutsatte att magasinet var i drift. Utsläppsnivån är också betydligt lägre än den prognos som gjordes 1998, sedan de höga halterna av lakbart, vittrat gruvavfall påträffats i magasinet. Reduktionen har varit över 90 % för de aktuella metallerna jämfört med när magasinet var i drift, och över 80 % jämfört med utsläppen från magasinet då det hade tagits ur drift, men inte sluttäckts. Det generella mål som Faluprojektet haft för samtliga åtgärder – 80 % reduktion av zink, koppar och kadmium – är därmed uppfyllt för Ingarvsmagasinet. Resultaten bygger på några få års uppföljning sedan åtgärden avslutats. Längre tidsserier behövs för att utvärdera den långsiktiga effekten.

Den minskning i Ingarvsdikets flöde som kan utläsas i Figur 25 och Figur 26, är inte en effekt av sluttäckningen av Ingarvsmagasinet. Det minskade flödet, och de minskade flödesvariationerna, beror istället på åtgärder som vidtagits för att styra vatten från sjön Vällan uppströms Ingarvsmagasinet till dess utlopp mot sjön Liljan istället för till utloppet mot Kron diket-Ingarvs diket. Det beror också på naturliga variationer i nederbörd/avrinning.

#### 4.1.1 Metalltillskott från andra källor längs Ingarvsdiket

Förutom Ingarvsmagasinet, finns andra källor till metaller i Ingarvsdiket. Innan sandmagasinet åtgärdades, bedömdes dessa källor vara försumbara i förhållande till magasinets utsläpp. Sedan magasinet sluttäckts, bedömdes andra källor till framförallt kopparläckage ha fått ökad relativ betydelse. Under år 2005 och 2007 utfördes därför utvidgad provtagning kring Ingarvsmagasinet och i Ingarvsdikets tillflöden på sträckan längs magasinet. Resultatet av 2005 års provtagning redovisas i Tabell 9 nedan.

Tabell 9. Metalltransporter i Ingarvsdiket i punkten F7, samt punkter uppströms detta år 2005. Ursprungstabell hämtad från (Larsson och Ledin, 2006).

<b>NS = nedströms</b> <b>US = uppströms</b>	<b>2005</b>	<b>Zn</b> <b>ton/år</b>	<b>Cu</b> <b>kg/år</b>	<b>Fe</b> <b>ton/år</b>	<b>Pb</b> <b>kg/år</b>	<b>Cd</b> <b>kg/år</b>
<b>Punkter uppströms F7</b>						
F6 Ingarvsdiket US		0,2	24	0,14	0,4	0,06
F42 Stångtjärnsb. NS		0,9	190	0,58	2,5	0,38
F46 Vägdrän		0,1	21	0,01	0,5	0,05
F40 Lovisadiket		1,7	76	4,5	1,5	0,91
<b>Summa punkter uppströms F7</b>		<b>2,9</b>	<b>310</b>	<b>5,2</b>	<b>4,9</b>	<b>1,4</b>
F7 Ingarvsdiket NS		6,8	390	12	4,6	4,7
F7 - summa punkter uppströms = Övriga tillkommande mängder (i huvudsak från Ingarvsmagasinet)		3,9	75	6,7	-0,3	3,3
<b>"Ingarvsmagasinet" (enl ovan) samt F40 Lovisadiket</b>		<b>5,6</b>	<b>150</b>	<b>11</b>	<b>1,2</b>	<b>4,2</b>
<b>Andel "Ingarvsmagasinet" inkl Lovisadiket, av F7 (Ingarvsdiket NS)</b>		<b>82 %</b>	<b>39 %</b>	<b>94 %</b>	<b>26 %</b>	<b>90 %</b>

Tillskottet från Ingarvsmagasinet kan inte bestämmas exakt, men utgörs dels av det diffusa tillskottet mellan upp- och nedströmpunkterna i Ingarvsdiket (F6 respektive F7), med avdrag för tillskottet från Stångtjärnsbäcken (F42) och Vägdränningen (F46), dels av tillskott via Lovisadiket. Hela metalltransporten i Lovisadiket orsakas dock inte av Ingarvsmagasinet, där även upplag av varp och slagg mellan Stora Stöten och Ingarvsmagasinet bidrar. Osäkerhet i flödesbestämningar och den begränsade mängden stickprov bidrog också till viss osäkerhet i utredningens metallbalans, men övergripande slutsatser om Ingarvsmagasinet bidrag till metalltransporten kunde ändå dras.

Tabell 9 visar att Ingarvsmagasinet var den dominerande källan till zink-, kadmium- och järntransporten i Ingarvsdiket (ca 80-95%) under 2005. För metallerna koppar och bly fanns däremot andra tillskott än Ingarvsmagasinet som var mer betydelsefulla. För blytransporterna i Faluns vattendrag är gruvavfallet generellt ingen dominerande källa. Vad gäller kopparutsläppen, så är det framförallt slaggupplagen vid Gamla Berget som läcker koppar till Stångtjärnsbäcken (F42). Även slaggupplagen vid Vällan läcker koppar, vilket påverkar Ingarvsdiket uppströms (F6). Även för zink var tillskottet från Gamla Bergets slaggupplag betydande jämfört med Ingarvsmagasinet bidrag år 2005.

Under år 2006 gjordes ingen utökad provtagning kring Ingarvsmagasinet, men år 2007 återupptogs kontrollen i det mest betydande tillflödet, Stångtjärnsbäcken (F42). Resultatet redovisas i Tabell 10 nedan. Även här gäller att provtagningsintervallet (1 stickprov/månad), samt osäkerhet i flödesmätningar och analyser ger viss osäkerhet i metallbalansberäkningen.

Tabell 10. Metalltransporter i Ingarvsdiket i punkten F7 samt provtagna punkter uppströms år 2007.

<b>NS = nedströms</b> <b>US = uppströms</b>	<b>Zn</b> <b>ton/år</b>	<b>Cu</b> <b>kg/år</b>	<b>Fe</b> <b>ton/år</b>	<b>Pb</b> <b>kg/år</b>	<b>Cd</b> <b>kg/år</b>
<b>2007</b>					
<b>Punkter uppströms F7</b>					
F6 Ingarvsdiket US	0,2	29	0,3	0,7	0,12
F42 Stångtjärnsb. NS	0,9	254	1,3	3,0	0,52
<b>Summa punkter uppströms F7</b>	<b>1,1</b>	<b>280</b>	<b>1,6</b>	<b>3,7</b>	<b>0,64</b>
F7 Ingarvsdiket NS	7,1	340	22	9,7	5,2
<b>F7 - summa punkter uppströms = Övriga tillkommande mängder (i huvudsak från Ingarvsmagasinet)</b>	<b>6,0</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>6,0</b>	<b>4,6</b>
<b>Andel "Ingarvsmagasinet" av F7 (Ingarvsdiket NS)</b>	<b>85 %</b>	<b>18 %</b>	<b>91 %</b>	<b>62 %</b>	<b>88 %</b>

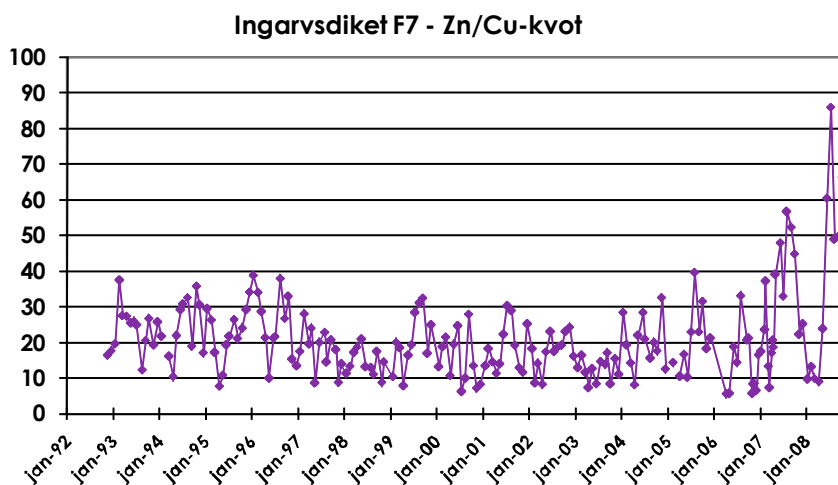
Andelen metaller från Ingarvsmagasinet (inklusive Lovisa) var relativt lika år 2005 och år 2007 för zink, kadmium och järn (80-90% från magasinet, inkl Lovisadiket). För koppar stod däremot Stångtjärnsbäcken för en ännu större del av transporten år 2007, ca 75 % jämfört med ca 50 % år 2005.

Slaggen vid Gamla Berget, som är den dominerande källan till koppartransport i Stångtjärnsbäcken, verkar därmed vara en minst lika betydande källa till kopparutsläpp som Ingarvsmagasinet är idag, efter genomförd sluttäckning.

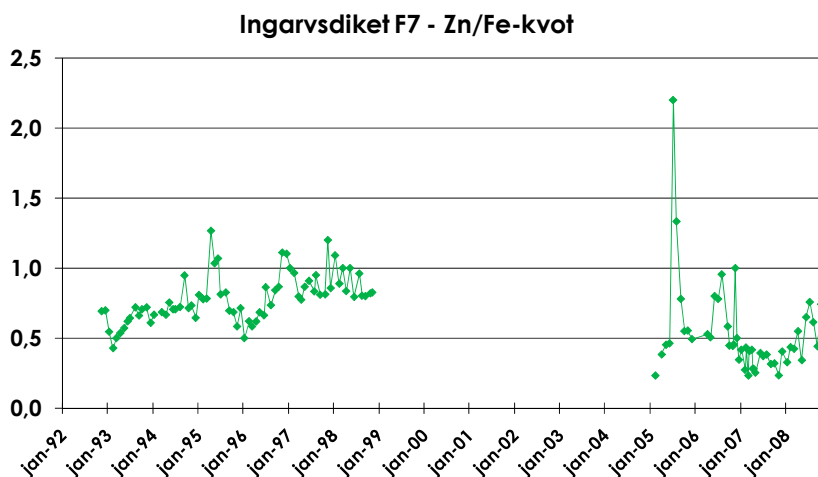
#### 4.1.2 Kvoter mellan metaller

I Figur 27 nedan kan en viss tendens till sjunkande Zn/Fe- respektive Cu/Fe-kvoter efter åtgärd utläsas, på grund av att zink- och koppartransporten minskat mer än järntransporten. Zn/Cu-kvoten låg på en relativt konstant nivå till och med år 2006, även om det var stora skillnader mellan individuella provtagningstillfällen. Dock verkar kvoten stiga efter 2006. En trolig orsak är att kopparläckaget från Gamla Bergets slagg blivit betydande jämfört med kopparläckaget från Ingarvsmagasinet efter genomförd sluttäckning. För kopparläckaget från slagg har väderleksförhållanden betydande påverkan. Vittring av slagg är en temperaturberoende process, där vittringshastigheten ökar med stigande temperaturer. Dessutom påverkas ursköljningsförloppet för vittringsprodukterna av nederbördens storlek, samt hur nederbörd och avrinning fördelas under året. Slaggvittringens dynamik bör undersökas närmare i samband med utvärdering av den fortsatta kontrollen vid Ingarvsmagasinet/Gamla Berget.

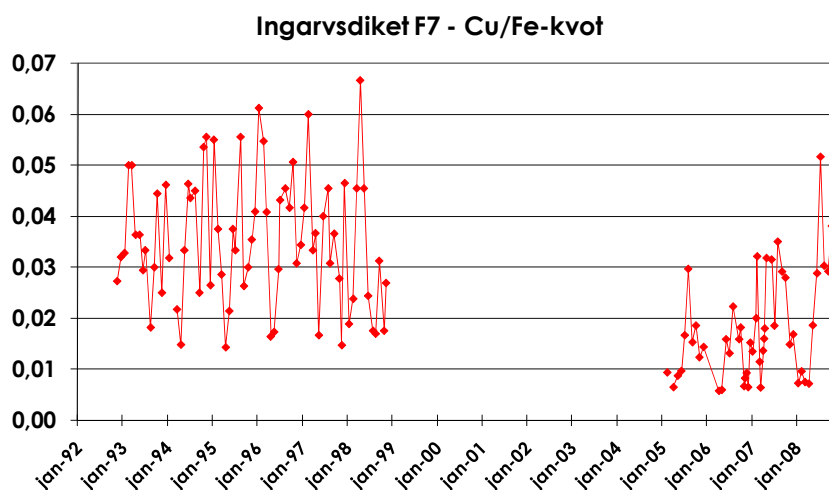




(a)



(b)



(c)

Figur 27(a)-(c). Kvoter mellan metaller i Ingarvsdiket (F7), utifrån månadsvis stickprovtagning. Järn analyserades ej under år 2000-2005. Kadmium analyserades med för hög analysgräns för att ge relevanta värden t o m år 2004 och redovisas därför inte.

## 4.2 Täckningens funktion

Några mätningar av sluttäckningens verkliga vattengenomsläpplighet i form av lysimetrar eller liknande har inte utförts på Ingarvsmagasinet. Däremot har tätskiktets permeabilitet följts upp i samband med utläggningen. Studier av täckningens funktion som syrebarriär och dess motståndskraft mot rotpenetration, har inte följts upp vid Ingarvsmagasinet, men däremot vid Galgbergsmagasinen som sluttäckts med samma material och med samma förfarande.

### 4.2.1 Täckningens täthet och vattengenomsläpplighet

I samband med att en avslutningsplan enligt deponeringsförfordningen upprättades för Ingarvsmagasinet (Hanæus och Ledin, 2004), beräknades sluttäckningens genomsläpplighet utifrån uppmätta värden på tätskiktets hydrauliska konduktivitet (permeabilitet).

Medianvärdet för tätskiktets permeabilitet bestämdes utifrån kontrollprogrammets mätningar till  $1,9 \cdot 10^{-9}$  m/s och medelvärdet till  $3,6 \cdot 10^{-9}$  m/s. En sammanställning av mätresultaten redovisas i [bilaga 3](#). Mätningarna utfördes på nyutlagt (men packat) material. Någon hänsyn till att permeabiliteten eventuellt förändras med tiden, efter att skyddsskiktet påförts, togs inte i beräkningarna.

På delar av magasinets yta har ett extra tätskikt av slam från Grycksbo pappersbruk lagts ut, under det ordinarie tätskiktet. Skiktet är 0,3 m tjockt och dess permeabilitet har uppmätts till i genomsnitt  $5 \cdot 10^{-10}$  m/s. Permeabiliteten hos skyddsskiktet har ej mätts, men uppskattades vid beräkningar till ca  $5 \cdot 10^{-7}$  m/s. Skyddsskiktet utgörs främst av morän, varför det inte bedömdes rimligt att anta större genomsläpplighet än så.

Nederbörden som användes vid beräkningarna baserades på SMHI:s data för stationen Falun. Månadsmedelvärden för perioden 1860-2003 (månadsvis korrigerade) användes. Månadsvisa avduntningsuppgifter hämtades från rapporten "Sveriges hydrologi" (Bergström, SMHI 1993), som ett medelvärde mellan mätstationerna Sveg och Stockholm.

I övrigt sattes magasinets släntlutning till verkliga 1:3,5 (29 %) och den "plana" ytans lutning 1:75 (1,3 %). Magasinets plana yta uppgår till ca 100 000 m<sup>2</sup> och slänternas sammanlagda yta är ca 50 000 m<sup>2</sup>. Grundvattennivån antogs i slänterna stå i snitt ca 0,4 m upp i skyddsskiktet (0,1 m under markytan) och på magasinets plana överyta antogs grundvattennivån ligga 0,5 m upp i skyddsskiktet (d v s i nivå med markytan).

Beräkningarna utfördes med hjälp av Darcy's lag för mättad grundvattenströmning, d v s:  $v = k \cdot i$ , där  $v$  är grundvattnets strömningshastighet,  $i$  är den hydrauliska gradienten och  $k$  den hydrauliska konduktiviteten. Beräkningar gjordes dels månadsvis, med hänsyn till nederbördens och avdunstningens variation över året, dels

med hjälp av ”perkolationstidsmetoden”. Perkolationstidsmetoden beskrivs i Naturvårdsverkets rapport 3144 och innebär att man enkelt beräknar lakvattenbildningen med Darcy’s lag och därefter tar hänsyn till årstidsvariationerna med hjälp av en så kallad perkolationstidsfaktor. Faktorn anger under hur stor del av året som vatten finns tillgängligt i skyddsskiktet för vidare infiltration genom tätskiktet. För den del av Sverige där Falun är beläget, har faktorn uppskattats till 0,6 av författarna till rapporten. Beräkningsformeln lyder:

$$L = k \cdot i \cdot f_p$$

där  $L$  = lakvattenbildningen (m/s)

$k$  = hydrauliska konduktiviteten i tätskiktet (m/s)

$i$  = gradienten över tätskiktet (m/s)

$f_p$  = perkolationstidsfaktorn

Resultaten av beräkningarna visade att genomsläppligheten ligger mellan ca 50 och 70 mm/år ( $l/m^2$  och år), beroende på vilka antagande man gör och vilken beräkningsmetod man använder, se Tabell 11 nedan.

Tabell 11. Resultat av beräkningar av täckningens genomsläpplighet.

	BERÄKNAD GENOMSLÄPPLIGHET		
	PLANA YTAN (100 000 m <sup>2</sup> )	SLÄNTER (50 000 m <sup>2</sup> )	TOTALT MAGASINET
Månadsvisa beräkningar	60-80 mm/år	30-50 mm/år	50-70 mm/år
Perkolationstidsmetoden	53 mm/år	47 mm/år	50 mm/år

Med anledning av att både värdet på tätskiktets permeabilitet och på gradienten (tryckhöjden) över tätskiktet var behäftade med viss osäkerhet, gjordes en känslighetsanalys för beräkningarna enligt perkolationstidsmetoden.  $K$  värdet i tätskiktet varierades från  $k=1 \cdot 10^{-9}$  m/s till  $k=5 \cdot 10^{-9}$  m/s och vattnets tryckhöjd över tätskiktet ( $h$ ) varierades från 0 m (fullständig dränering i skyddsskiktet) till 0,5 m (fullständig vattenmättnad i skyddsskiktet, vattennivån i markytan). Tryckhöjden i slänterna sattes i samtliga fall till hälften av den på den plana ytan (till följd av bättre avrinning i slänterna).  $K$ -värdet för Grycksboslammet hölls konstant på uppmätta  $k=5 \cdot 10^{-10}$  m/s. Resultatet av beräkningarna redovisas i Tabell 12 nedan.

Tabell 12. Känslighetsanalys för genomsläppligheten (mm/år) beräknad med perkolationstidsmetoden vid olika gradienter och permeabiliteter hos tätskiktet. Gradienten redovisas i tabellen som  $h$  = vattennivån ovan tätskiktet ( $h=0$  m motsvarar ett väl fungerande dränskikt ovan tätskiktet och  $h=0,5$  m motsvarar att skyddsskiktet är mättat med vatten upp till markytan).

$i$ (som $h$ ) \ $K$	$k=1 \cdot 10^{-9}$ m/s	$k=2 \cdot 10^{-9}$ m/s	$k=3 \cdot 10^{-9}$ m/s	$k=4 \cdot 10^{-9}$ m/s	$k=5 \cdot 10^{-9}$ m/s
$h = 0,0$ m	19	38	55	71	87
$h = 0,1$ m	20	41	59	77	94
$h = 0,2$ m	22	44	63	82	101
$h = 0,3$ m	24	47	67	87	108
$h = 0,4$ m	25	46	71	93	114
$h = 0,5$ m	26	53	76	98	121

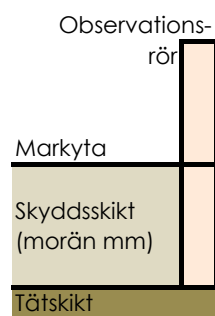
Värdena i de gröna fälten i Tabell 12 uppfyller kravet på en genomsläpplighet mindre än 50 mm per år, vilket motsvarar deponeringsförordningens krav på sluttäckning av en deponi för icke-farligt avfall. Slutsatserna av beräkningarna blev att genomsläpplighetskravet på 50 liter per kvadratmeter och år kan vara uppfyllda för Ingarvsmagasinet sluttäckning, men inte helt säkert kan sägas vara det.

#### 4.2.2 Erosion i skyddsskiktet

Mindre, ytliga erosionsskador ("ränndalar") uppkom ibland direkt efter utläggning av skyddsskiktet, innan växtlighet hade etablerats. Dessa skador åtgärdades säsongen efter utläggning, genom igenfyllning med befintliga skyddsskiktmassor.

När hela sluttäckningen var färdigställd, konstaterades att 3-4 större ränndalar (ca 0,2-0,3 m djupa) hade bildats i den norra, brantaste slänten. Dessa åtgärdades genom igenfyllning med grov bergkross.

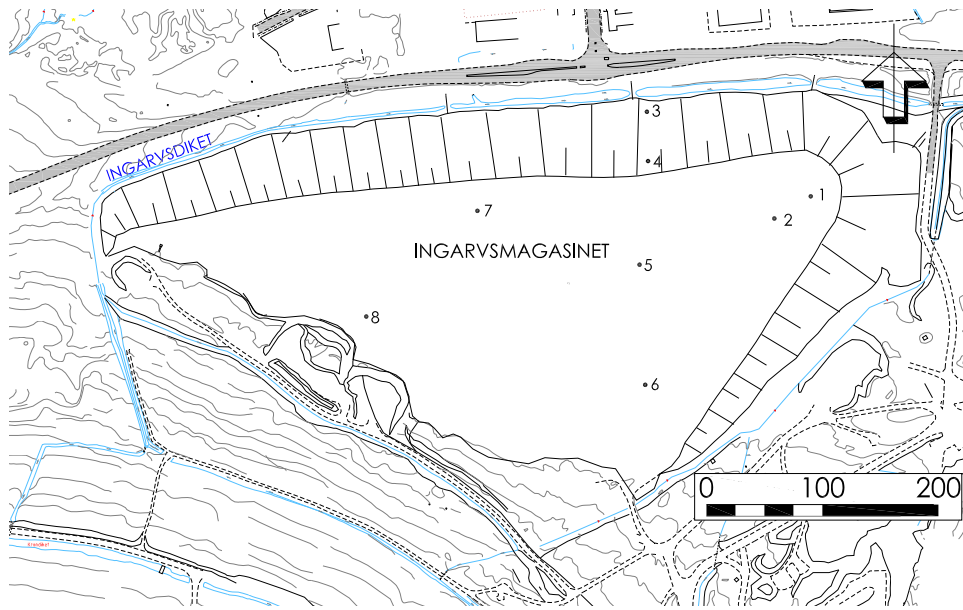
#### 4.2.3 Vattennivå i skyddsskiktet



Figur 28. Observationsrörens placering i skyddsskiktet.

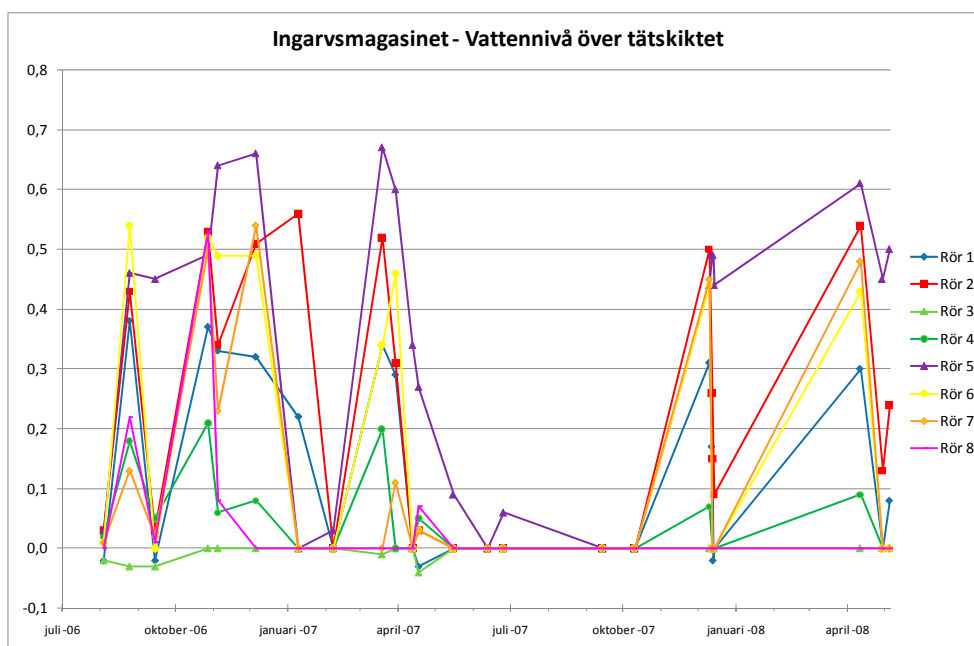
I juli 2006 monterades åtta grundvattenrör (observationsrör) i Ingarvsmagasinet skyddsskikt, direkt ovanpå tätskiktet. Syftet var att följa upp variationen i vattennivån över tätskiktet, och få en bild av tätskiktets verkliga täthet och det verkliga vattentrycket (gradienten) över tätskiktet.

Vattennivån under uppföljningsperioden, varierade från noll till drygt 0,5 m (se Figur 30). Det motsvarar alltså intervallet från "inget stående vatten på tätskiktet" till "fullt mättat skyddsskikt". De torraste förhållandena uppmättes under sommaren 2007, medan de högsta vattennivåerna registrerades under hösten/förvintern 2006, samt i samband med snösmältningen 2007 och 2008. Mätning har inte skett med visst intervall, utan varit intensivare under perioder med hög nederbörd för att avrinningsförloppet skulle kunna studeras närmare. "Blöta förhållanden" är därmed överrepresenterade.



Figur 29. Karta som visar observationsrörens placering på Ingarvsmagasinet.

Med vissa undantag uppvisade rören placerade centralt på magasinets flacka överyta oftare höga vattennivåer i skyddsskiktet, jämfört med rören nära släntrön och i släntfot som oftare var helt torra. I Figur 31 särredovisas nivåvariationerna i två rör placerade i släntrön (rör 4) respektive släntfot (rör 3) i magasinets norra slänt. Av diagrammet framgår att någon vattenyta aldrig observerats i skyddsskiktet vid magasinets släntfot. Vid släntrönet fanns vatten stående i skyddsskiktet vid ungefär hälften av mättillfällena, dock som mest ca 0,2 m över tätskiktet. Den troliga förklaringen är att magasinets branta slänlutning (ca 1:3,5) gör att avrinningen på och i skyddsskiktet är god, samtidigt som uttransporten av vatten i släntfoten är effektiv. En mindre trolig förklaring är att tätskiktet i slänten är betydligt mer genomsläppligt än på överytan, så att vatten snabbt infiltrerar ner i det.



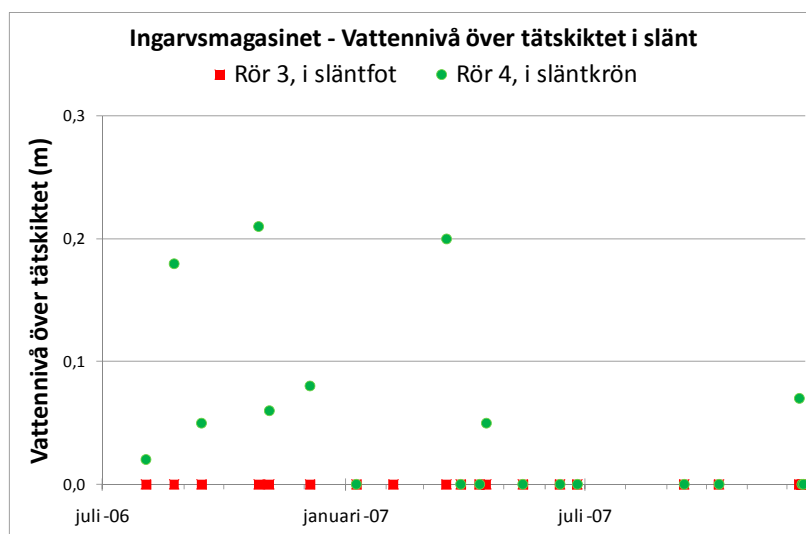
Figur 30. Uppmätt vattennivå i observationsrör placerade i Ingarvsmagasinet skyddsskikt.

På magasinets flacka överyta är vattenavrinningen betydligt mer begränsad. Eftersom ingen kontinuerlig nivåmätning utfördes, går det inte att beräkna exakt hur stor andel av mätperioden som det funnits stående vatten på tätskiktet. Speciellt efter hösten 2007 finns begränsat med mätdata. Perkolationsmetodens antagande om att det finns vatten tillgängligt i skyddsskiktet för vidare infiltration genom tätskiktet under drygt halva året, verkar dock rimligt för magasinets överyta. Under den tiden, är det dock sällan som skyddsskiktet varit fullt vattenmättat. På grund av den flacka lutningen på överytan, är det troligt att större delen av vattnet i skyddsskiktet infiltrerat genom tätskiktet medan en mindre del runnit av i sidled.

Att omfattningen av stående vatten i skyddsskiktet är begränsad främst till magasinets överyta och till delar av året, skulle kunna medföra risk för uttorkning av tätskiktet och därmed nedsättning av dess funktion som syrebarriär. Vattenmättnaden i själva tätskiktet har inte följts upp inom Faluprojektet.

Risken för att hela tätskiktet med 1,0–1,5 m mäktighet ska torka ut under perioderna utan stående vatten i skyddsskiktet bedöms dock vara liten för magasinets överyta. I slänten, framförallt vid släntfot, kan risken för uttorkning vara större.

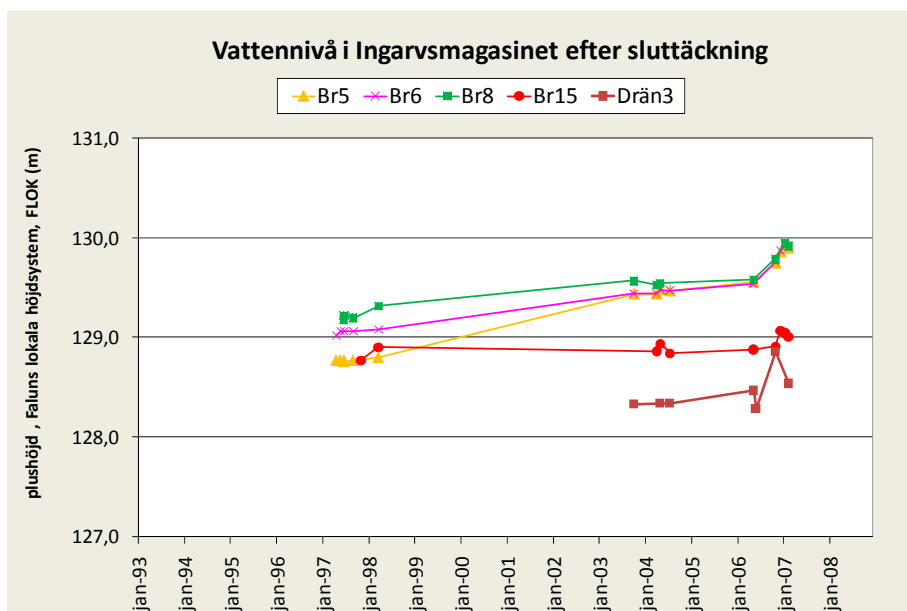
Figur 31.  
Uppmätta  
vattennivåer i  
rören place-  
rade i släntfot  
(rör 3), re-  
spektive  
släntkrön  
(rör 4).



#### 4.2.4 Vattennivå i magasinet efter sluttäckning

I magasinet har vattennivån stigit efter sluttäckning. Uppmätta nivåer i kvarlämnade brunnar framgår av Figur 32. Brunnarnas läge i magasinet framgår av Figur 36.

Under perioden som sluttäckningen påfördes, 1997-2004, steg vattennivån i magasinet med ca 0,5 m. Efter avslutad täckning och fram till 2008 steg nivån ytterligare ca 0,5 m.



Figur 32. (Grund-)vattennivå i Ingarvsmagasinet efter sluttäckning.

#### 4.2.5 Täckningens funktion som syrebarriär, rotpenetration och annan uppföljning vid Galgbergsmagasinen

Täckningens funktion som syrebarriär, samt dess motståndskraft mot rotpenetration har inte följts upp på Ingarvsmagasinet, men däremot på Galgbergsmagasinen som täckts med samma metod.

Eftersom Galgbergsmagasinen var ett av de första objekt där ett tätskikt av aska-slamblandning användes i fullskala, finns vissa erfarenheter av hur materialet och täckningen fungerar på längre sikt. Tio år efter utläggning gjordes uppföljande undersökningar kring täckningens funktion<sup>1</sup>. En provgrop grävdes i en av de utlagda "rutorna" (nr 49). Prov från det undre 0,5 m av tätskiktet (A-skiktet) och de övre 0,5 m av tätskiktet (B-skiktet) togs ut. Provresultaten jämfördes med resultat från motsvarande provtagning tio år tidigare (vid utläggning). Följande resultat framkom:

- Hydraulisk konduktivitet (permeabilitet). Vid utläggning var k-värdet i A-skiktet  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Vid uppföljning tio år senare var k-värdet  $1,1 \cdot 10^{-9}$  m/s i A-skiktet och  $k=9 \cdot 10^{-10}$  m/s i B-skiktet. Inga tecken på förändring i genomsläppligheten alltså.
- Torrhalt och askhalt (TS och GR). TS-halten låg på 38-42 % vid utläggning och på 37-40 % vid uppföljning tio år senare, vilket inte påvisar någon förändring. För askhalten uppmättes varierande resultat, både en höjning och sänkning av halten mellan provtillfällena. Det tolkades som att askhaltens variation inom ytan är såpass stor att någon förändring med tiden inte går att utläsa ur tagna prover.
- Rotpenetration. En provgrop grävdes intill en relativt stor björk. Björkens rottillväxt studerades och man kunde se att rötterna inte gick ner i tätskiktet, utan att de istället vek av horisontellt ovanför tätskiktet. Tätmaterialblandningen av aska och slam verkar alltså ha gynnsamma förutsättningar att stå emot rotpenetration.

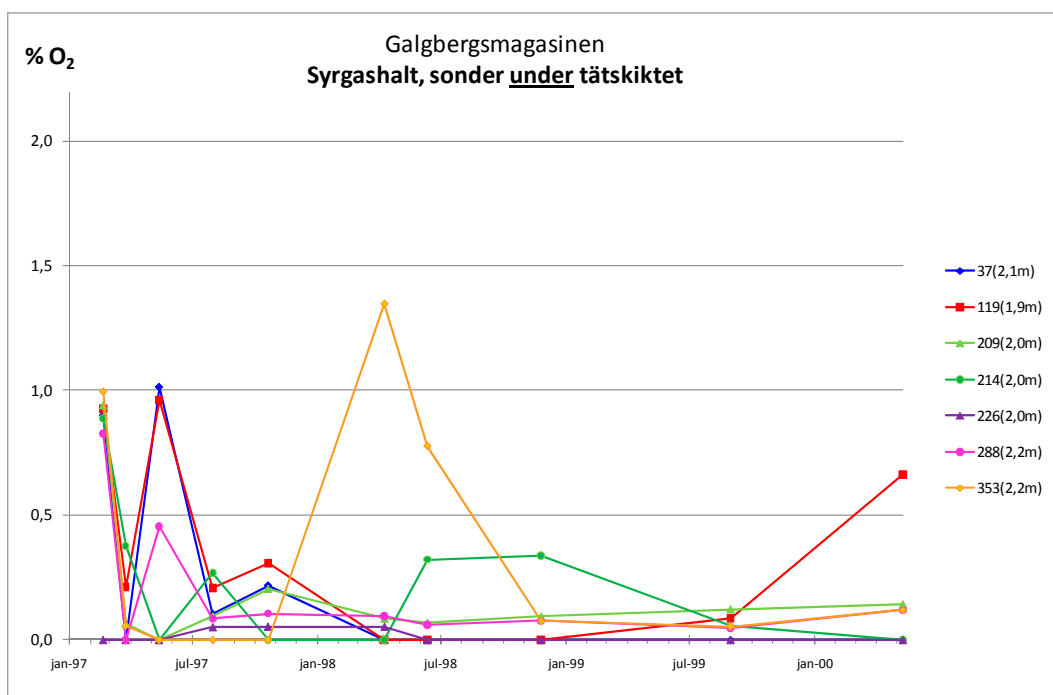
Utöver dessa mätningar, följdes syrgashalten upp vid Galgbergsmagasinen. Fjorton syresonder installerades på magasinen och i dessa gjordes 1997-2000 ett flertal mätningar av syrgashalten. Sönderna placerades dels i tätskiktet, dels i avfallssanden direkt under tätskiktet. Syremätningarna utfördes av Boliden Mineral AB:s miljöavdelning vid fem tillfällen under 1997, tre tillfällen under 1998, samt vid ett tillfälle vardera under 1999 och 2000.

Uppmätta syrgashalter omedelbart under tätskiktet redovisas i Figur 33 och uppmätta syrgashalter i tätskiktet i Figur 34.

---

<sup>1</sup> Erik Mattsson, Stora Enso Research, muntl. uppg.





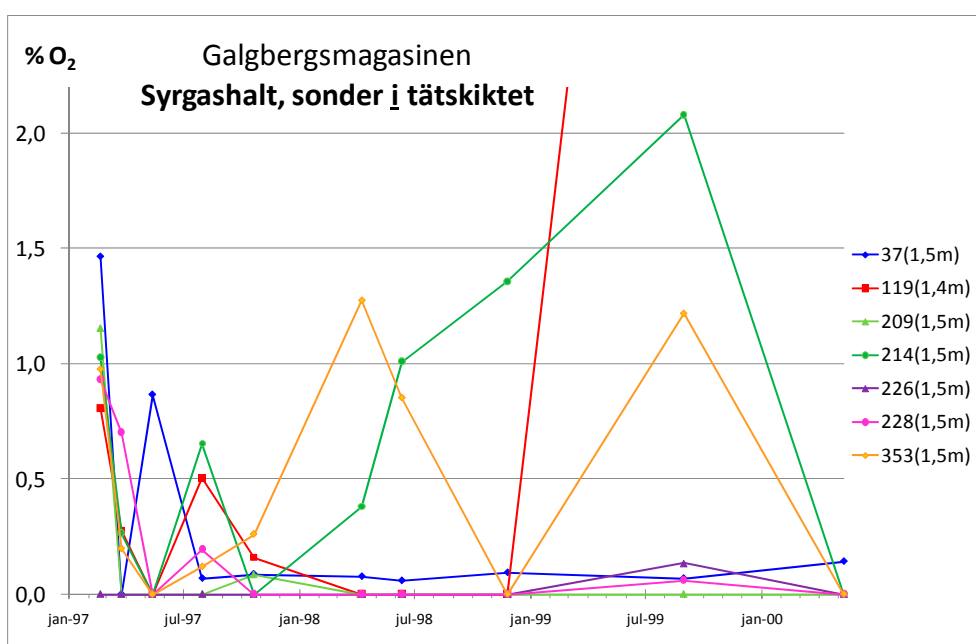
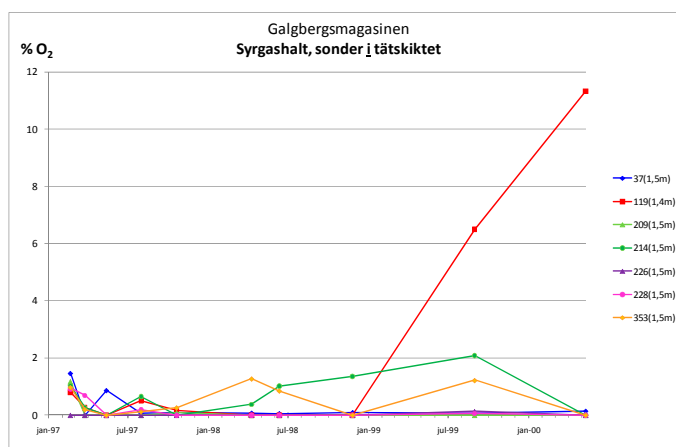
Figur 33. Uppmätta syrgashalter (direkt) under tätskiktet på Galbergsmagasinen.

Mätningarna i avfallssanden direkt under tätskiktet visade på mycket låga syrgashalter, vilket tydde på att tätskiktets funktion som syrebarriär var god. Samtliga värden låg under 1,5 % O<sub>2</sub> och de flesta värdena låg lägre än 0,5 % O<sub>2</sub>.

Generellt var syrgashalterna låga även i tätskiktet (Figur 34). I en sond (nr 119) uppmättes dock höga syrgashalter i slutet av mätperioden, vilket förklarades med att gnagare gjort gångar i anslutning till sonden. Ett visst samband mellan syrgashalten i sonder monterade i respektive under tätskiktet i samma mätpunkt kunde utläsas.

Vid ett flertal mättillfällen var vattenmättnaden, framförallt i tätskiktet, så hög att porgasprover inte kunde tas. Vid dessa tillfällen sögs vatten upp i slangen, vilket bedömdes visa på hög vattenmättnad. Inga skillnader i syrgaskoncentration observerades mellan sonder placerade centralt på magasinet och sonder placerade i anslutning till slänterna.

Figur 34. Uppmätta syrgashalter i tätskiktet på Galgbergsmagasinen. Till höger med skala 0-12 % O<sub>2</sub> och nedan med skala 0-2 % O<sub>2</sub>. De höga syrgashalterna i sond nr 119 i slutet av mätperioden beror på åverkan av gnagare.



#### 4.2.6 Utlakning av kväve, fosfor och organiskt material från sluttäckningen

Under år 2005 utfördes utvidgad provtagning kring Ingarvsmagasinet och i Ingarvdiktets tillflöden på sträckan längs magasinet. Under den utvidgade provtagningen kompletterades analysprogrammet med kväve, fosfor och TOC, för att undersöka omfattningen av urlakningen av dessa ämnen från den påförda sluttäckningen.

Resultatet från den utvidgade provtagningen år 2005 redovisas i Tabell 13 nedan.

Tabell 13. Mängder av kväve, fosfor, och TOC i Ingarvsdiket år 2005. Tabellen hämtad från "Kontrollprogram 2005, Utvärdering av provtagning och mätningar 2005", GVT 2006-05-16. Ett värde på fosfor var mycket högt och misstänktes vara felaktigt. Värdet inom parentes anger årstransporten när värdet uteslutits ur beräkningarna.

NS = nedströms US = uppströms	N-tot ton/år	P-tot kg/år	TOC ton/år
F6 Ingarvsdiket US	0,4	6	6,9
F45 Stångtjärnsbäcken & dagvatten	0,9	19	2,4
F7 Ingarvsdiket NS	1,9	47 (20)	10,8
Differens (F7-F6-F45), i huvudsak från Ingarvsmagasinet	0,6	22 (-5)	1,5

Kväveläckaget från Ingarvsmagasinet var ca 0,6 ton år 2005, året efter sluttäckningens färdigställande. För fosfor redovisades två värden: 47 respektive 20 kg/år, varav det lägre värdet anger årstransporten då ett misstänkt felaktigt (högt) värde uteslutits ur beräkningarna. Årstransporten av TOC från Ingarvsmagasinet var ca 1,5 ton.

Under 2005 kom större mängder kväve, fosfor och TOC från Stångtjärnsbäcken än från Ingarvsmagasinet. Stångtjärnsbäcken belastas bland annat av läckage från Falu avfallsanläggning (Varggården), samt dagvatten från Ingarvets industriområde.

Kväveläckaget från Ingarvsmagasinet relaterades till magasinets yta för beräkning av arealförlusten. Under 2005 var arealförlusten för kväve 40 kg N/ha, år. I Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket, 2000) redovisas tillståndsklasser för den arealspecifika förlusten av kväve. Värdet över 16 kg N/ha, år är klassade som mycket höga värden och förekommer bland annat från odlade sandjordar, ofta med djurhållning. Kväveförluster över 32 kg N/ha, år klassas som extremt stora.

Fosforläckaget var marginellt och låg klart under "mycket låga förluster" enligt samma bedömningsgrunder.

Under år 2006-2007 följdes inte kväve-, fosfor- och TOC-transporten från Ingarvsmagasinet upp, men från och med 2008 ska fortsatt kontroll ske.

Motsvarande mätningar vid Galbergsmagasinen har visat att kväveläckaget sjunkit relativt snabbt sedan sluttäckningen påförts. Under år 2005 följdes kväve-, fosfor- och TOC-transporten från Galbergsmagasinen upp. Kväveläckaget var ca 80 kg/år, motsvarande arealförlusten 3,7 kg N/ha, år – "måttligt höga arealförluster" enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder. Fosforläckaget låg betydligt lägre än "mycket låga förluster" och för TOC var transporten större uppströms än nedströms. Orsaken till de låga transportererna av fosfor och TOC kan vara att lakvattnet från magasinerna innehåller mycket järn som kan fälla ut dessa ämnen.

## 4.3 Miljöeffekter

Utsläppen av metaller från Ingarvsmagasinet påverkar primärt vattenkvaliteten i Ingarvsdiket/Gruvbäcken och i nedre delen av 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 Ingarvsmagasinet sluttäckts, har dessutom andra gruvavfallsobjekt i Falun efterbehandlats. Att separat utvärdera miljöeffekterna av åtgärderna på Ingarvsmagasinet låter sig därför inte göras. Miljöeffekterna av Faluprojektet som helhet har dock utvärderats för vattensystemet Faluån-Tisken-Runn-Dalälven-Östersjön. Resultaten redovisas i en separat rapport – ”Konsekvenser för Faluån, Runn och Dalälven av åtgärder på gruvavfall i Falun” (Lindeström och Tröjbom, 2010) samt i Faluprojektets sammanställande slutrapport ”Efterbehandling av gruvavfall i Falun 1992-2008” (Hanæus och Ledin, 2010).

## 4.4 Ekonomi och kostnadseffektivitet

Kostnaderna för efterbehandling av Ingarvsmagasinet framgår av Tabell 14 nedan. Kostnaderna är rakt summerade utan hänsyn till förändringar i penningvärde/index.

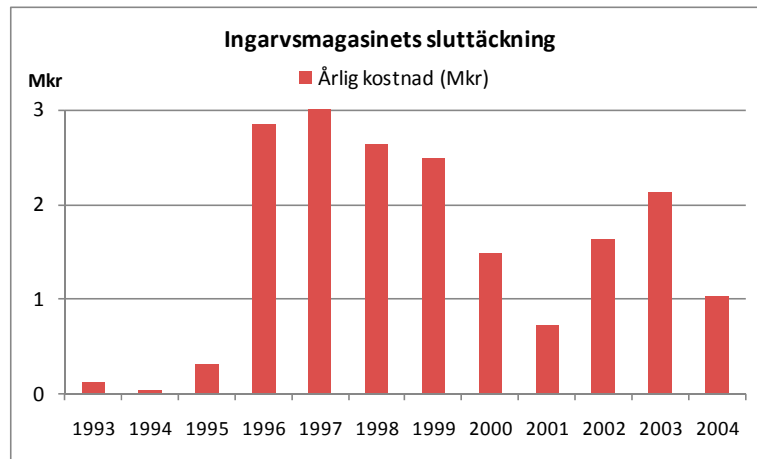
Tabell 14. Kostnadssammanställning för sluttäckningen av Ingarvsmagasinet, inklusive nyckeltal.

<b>KOSTNAD/NYCKELTAL</b>	<b>Täckning av Ingarvsmagasinet, exkl projektgemensamt</b>	<b>Täckning av Ingarvsmagasinet, inkl 11 % projektgemensamt</b>
Totalkostnad	18,4 Mkr	20,4 Mkr
Kostnad per kvadratmeter sluttäckt yta	115 kr/m <sup>2</sup>	128 kr/m <sup>2</sup>
Kostnad per kubikmeter sluttäckningsmaterial	77 kr/m <sup>3</sup>	85 kr/m <sup>3</sup>

Kostnaden för utförandet av sluttäckningen på Ingarvsmagasinet har uppgått till 18,4 miljoner kronor. Till det kommer kostnader för administration, projektledning och provtagning, som hanterats gemensamt för alla Faluprojektets åtgärder. Kostnaden för gemensam projektledning, administration, provtagning m.m. har uppgått till 18 miljoner kronor, vilket motsvarar ca 11 % av Faluprojektets totala kostnader. Exklusive de gemensamma administrativa kostnaderna, har sluttäckningen kostat ca 115 kr/m<sup>2</sup>. Utslaget på volymen deponerat avfall är kostnaden exklusive gemensam administration ca 15 kr/m<sup>3</sup> deponerat avfall.

I Figur 35 nedan redovisas kostnadens fördelning under projekttiden, exklusive gemensamma kostnader. I slutet av 1995 projekterades terrasseringen/omformningen av magasinet och arbetena utfördes första halvåret 1996. Sluttäckningen påfördes under åren 1997 till juni 2004, med sju månaders uppehåll under 2000/2001 för att färdigställa sluttäckningen av Galbergsmagasinen.

Figur 35. Årlig kostnad för sluttäckning av Ingarvsmagasinet, exklusive projektgemensamma kostnader för Faluprojektets ledning, administration och uppföljning.



## 5 INGARVSMAGASINET I FRAMTIDEN

### 5.1 Åtgärdernas beständighet

#### 5.1.1 Generellt om beständighet hos sluttäckningar

Enligt principen om hållbarhet i åtgärder för att skydda miljön ställs krav på beständigheten hos sluttäckningar på avfallsupplag. Kraven är sällan mer preciserade än att täckningens funktion skall upprätthållas under ett tidsperspektiv på flera hundra år och att en därefter successivt minskande funktion skall fördelas på ännu längre tid och då inte innebära någon avgörande eller katastrofal effekt på miljön. För sluttäckningar på upplag med sulfidhaltiga gruvavfall innebär detta att täckningens begränsande förmåga på syre- och vattentransport skall innehållas i detta tidsperspektiv vilket i sin tur innebär att skyddsskiktet måste behålla sin skyddande effekt under mycket lång tid och att tätskiktets egenskaper inte får försämrats genom nedbrytning eller andra åldringsfenomen eller genom inverkan av externa krafter.

De externa krafter som en sluttäckning kommer att utsättas för består av följande:

- Erosion av vatten och vind
- Frostpåverkan
- Mänsklig påverkan
- Påverkan av djur
- Påverkan av växter (rotpenetration)

På grund av lokaliseringskrav för deponin kommer erosion av vatten att begränsas till avrinningen av den nederbörd som faller på deponin. Allt externt vatten förutses avledas så att det inte kan påverka sluttäckningen. Detta gäller för Ingarvsmagasinet. Morän är ett naturligt jordmaterial som har en god motståndskraft mot erosion. Även om finmaterialet i den översta delen av ett moränskikt, som inte är beväxt, kan sköljas bort, kommer de grövre kornstorlekarna i ytskiktet att bevaras intakta och skydda de djupare delarna av moränen mot erosion. Mer än ytlig erosion av moränskikt till följd av rinnande vatten och vind är därför ovanlig och naturliga moränformationer uppvisar normalt endast ytliga erosionseffekter under de senaste 10 000 åren.

Frostens inverkan på finkorniga tätskikt kan vara avgörande för dess barriärfunktion och är en av de viktigaste yttre krafter som man måste ta hänsyn till vid utformning och dimensionering av sluttäckningar. Detta görs dels vid val av materialet, dels vid val av främst skyddstäckningens mäktighet. Material som har stort frostmotstånd är t.ex. ”fluffiga” material med hög andel luftfyllda, isolerande porer (t.ex. torv), men även material med en hög andel bundet vatten erbjuder ett stort frostmotstånd på grund av den köldmängd som åtgår för att frysa vattnet, t.ex. lera.

Mänsklig påverkan i form av borrhning och grävning är på sikt en av de mest riskabla typerna av yttre påverkan. Möjligheten att utforma effektiva, fysiska skydd (t.ex. grävskydd) mot sådan påverkan är små. Endast administrativa åtgärder i form av restriktioner i markanvändning etc. bedöms vara effektiva mot denna typ av påverkan. Möjligen kan konstgjorda inlägg i skyddstäckningen i form av färgade plast- eller aluminiumremsor få en viss ”påminnande” effekt.

Påverkan av grävande djur bedöms normalt inte vara ett problem när den täckta deponin utgör en jämntjock och homogen konstruktion utan ansatser till håligheter och med ett skyddsskikt som består av svårgrävda material såsom morän.

Rotpenetration anses på lång sikt utgöra ett hot mot täckningsbarriärers effektivitet genom att växternas rötter skapar permanenta kanaler i täckningen när rötterna ruttnat bort. Så länge dessa effekter är begränsade till skyddsskiktet är inverkan liten men om rötterna perforerar tätskiktet kan vatten- och syrebarriärens effektivitet reduceras påtagligt med tiden. I likhet med frostpåverkan är dessa effekter beroende av materialval och lagermaktigheter. Det har t.ex. visats att växtrötter normalt inte penetrerar kompakta skikt med ett högt penetrationsmotstånd (eg. hög skjuvhållfasthet). Rötter anses inte heller penetrera täta skikt om de får tillräckligt med vatten och näring i lagren ovanför detta skikt. De flesta växters rötter kräver tillgång på syre och tränger därför inte heller ner under en permanent vattenyta. Detta gäller dock t.ex. inte klibbal, pil och andra salixarter vars syreförsörjning sker på annat sätt.

I amerikansk litteratur anses ett skikt med ensorterad sten utgöra bra rotspärrskikt.

En förutsättning för att rötter inte skall penetrera på djupet är också att de har en tillräcklig volym att breda ut sig i för att ge växten ett gott rotfäste. Eftersom de flesta träd och buskar etablerar huvuddelen av sina rötter i jordens ytskikt, krävs inte några stora djup om bara försörjningen av vatten och näring är säkrad. För detta anses normalt 1-1,5 m djup vara tillräckligt. Tall har förmågan att slå en s.k. pålrot som kan nå flera meters djup men det gör den enbart om det finns anledning därtill och endast under de första åren efter etableringen.

### **5.1.2 Täckningens beständighet på Ingarvsmagasinet**

I Mellansverige (Falun) uppträder tjälperioder som når ned mot 1,5 m djup i morän med en återkomsttid som är så kort att det sannolikt inträffar flera gånger under en 500 års period, även när marken inte snöröjs. Ett halvmeters skyddsskikt av morän ger därför ett alltför dåligt skydd mot frostpåverkan i ett långt tidsperspektiv. Slut-täckningen av Ingarvsmagasinet innehåller emellertid två mäktiga tätskikt av ett material som är kraftigt vattenhållande (kapillärbindande) och därför erbjuder ett stort frostmotstånd. Även på flera hundra års sikt är det därför inte troligt att hela det 1 m mäktiga tätskiktet blir utsatt för frostpåverkan.

Med en skiktuppbbyggnad med 1 m tätskikt, vars undre del är mer eller mindre vattenmättad, och däröver 0,5 m moräntäckning bedöms förutsättningarna vara goda att rötter till träd och buskar inte penetrerar djupare än en dryg meter.

## 5.2 Framtida skydd

### 5.2.1 Möjliga skyddsformer

Faluprojektets styrgrupp diskuterade under lång tid hur ett framtida skydd av Ingarvsmagasinet 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 9:1), 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.

### 5.2.2 Beslut om skydd

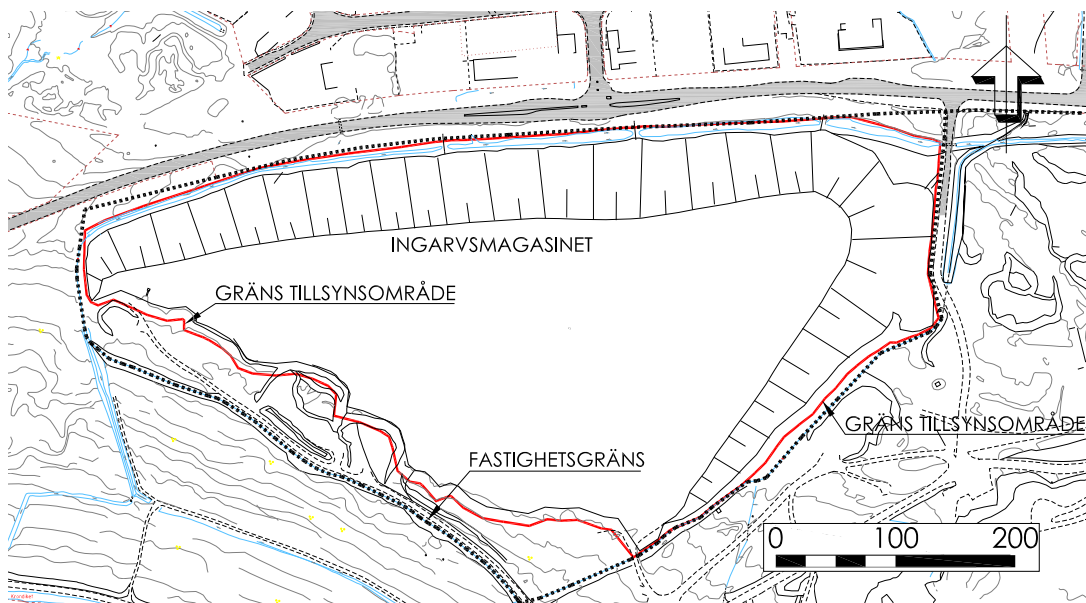
Det framtida skyddet av kisbränderdeponin upprättades i form av ett länsstyrelsebeslut daterat 2009-04-17. Beslutet utfärdades med stöd av 26 kap 9 § Miljöbalken, och är riktat till Stora Kopparbergs Bergslags AB. Beslutet tillsändes, med stöd av 26 kap 15 § Miljöbalken, inskrivningsmyndigheten för anteckning i fastighetsregistrets inskrivningsdel. I beslutet gör länsstyrelsen vidare bedömningen att Stora Kopparbergs Bergslags AB, vid en eventuell framtida ändring av detaljplanen för området där magasinet är beläget, ska bevaka och tillse att det åtgärdade magasinet 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, Ingarvsmagasinet, på fastigheten Falun 9:1 (se Figur 36) genomföra:

- 1) grävningsarbeten eller andra åtgärder som kan skada skyddsskikt eller tätskikt
- 2) åtgärder som förändrar områdets topografi
- 3) åtgärder som kan påverka dräneringar och/eller, till dräneringarna installerade vattenlås.



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



Figur 36. Tillsynsområde (röd linje) belagt med förbud enligt länsstyrelsens beslut om skydd av Ingarvsmagasinet.

- 1 1-8 RÖR SOM SATTIS FÖR ATT MÄTA VATTENNIVÅN I SKYDSSKIKKET
- BR1 BRUNNAR FÖR UTTAG AV GRUNDVATTENPROVER
- RB9305 RÖRBORRNING SOM INGÅR I KONTROLLPROGRAM
- F6 PROVTAGNINGSPUNKT SOM INGÅR I KONTROLLPROGRAM
- D3 PROVTAGNINGSPUNKT SOM INGÅR I KONTROLLPROGRAM
- GRÄNS TILLSYNSOMRÅDE
- - - FASTIGHETSGRÄNS

I övrigt poängteras i beslutet hur magasinets skydds- och tätskikt är uppbyggt och varför det är viktigt att skyddstäckningen inte skadas/förändras. De dräneringspunkter som finns längs magasinets norra fot för att styra grundvattennivån i magasinet beskrivs också. Eftersom dessa dräneringar innehåller vattenlås för att inte syre ska komma in i magasinet betonas i beslutet att det är särskilt viktigt att dessa inte skadas.

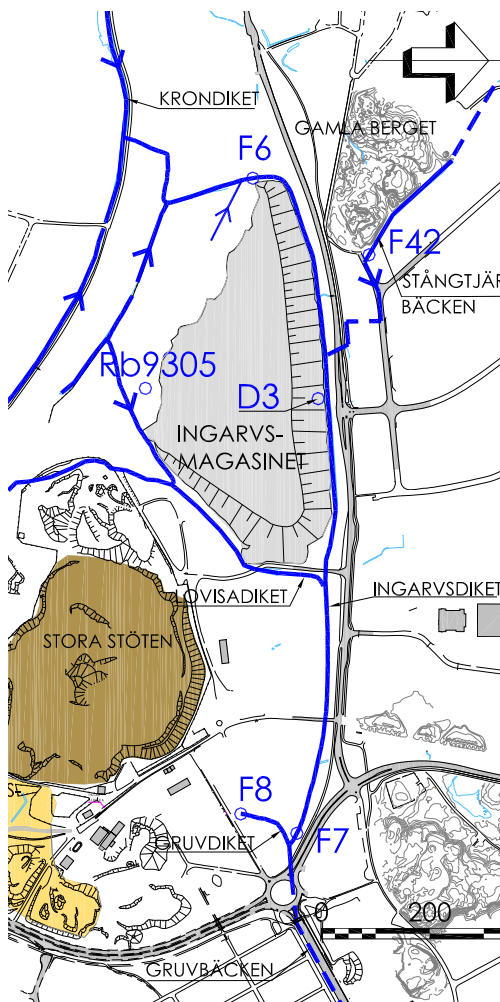
Beslutet anger också att särskild försiktighet måste vidtas vid rensning av Ingarvsdiket så att inte tätningen riskerar att skadas. Risk för ras kan förekomma om schaktning sker för nära tätningen eftersom det är ett högre vattentryck i magasinet.

### 5.2.3 Framtida kontroll och underhåll

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

## 5.2.4 Provtagning

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



Figur 37. Kontrollpunkter i anslutning till Ingarvsmagasinet från och med år 2008.

**F7: Ingarvsdiket vid rondellen.** Provpunkt enligt avslutningsplanen för Ingarvsmagasinet. Punkten är belägen nedströms Ingarvsmagasinet, strax innan Ingarvsdiket går ihop med Gruvdiket och bildar Gruvbäcken.

**F6: Uppströms Ingarvsmagasinet.** Provpunkt enligt avslutningsplanen för Ingarvsmagasinet. Punkten är belägen i Ingarvsdiket uppströms dränering från magasinet och tillflöden från Gamla Berget.

**F42: Stångtjärnsbäcken nedströms Gamla Bergets slaggområde.** Stångtjärnsbäcken avleds till Ingarvsdiket, vilket påverkar provtagningen i provpunkt F7. Vid Gamla Berget finns ca 100 000 m<sup>3</sup> slagg koncentrerat till ett upplag, varifrån lakvattnet i huvudsak läcker fram till Stångtjärnsbäcken.

**Rb9305:** Grundvattenrör uppströms Ingarvsmagasinet (inströmningsområde), provpunkt enligt avslutningsplanen för Ingarvsmagasinet. Kan utgå efter 2 år.

**D3: Dränrör** för att hålla grundvattennivån nere i Ingarvsmagasinet. Provpunkterna representerar både lakvatten och utströmmande grundvatten från magasinet. Detta rör ska ingå i kontrollen av sandmagasinet (provpunkt enligt avslutningsplanen för Ingarvsmagasinet). Kan utgå efter 2 år.

Analys ska ske av minst nedanstående parametrar och med åtminstone följande analysnoggrannhet:

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 mätas där så möjligt.

Om inga anmärkningsvärda förändringar erhålles 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 15 nedan.

Tabell 15. Provtagningsprogram för Ingarvsmagasinet efter 2007.

<b>Provtagning år 2008 – 2010</b>			
	<b>Vattenprov</b>	<b>Flödesmätning</b>	<b>Analys</b>
<b>Provpunkt</b>			
F6: Uppströms Ingarvsmagasinet	2 ggr/år	2 ggr/år	<b>A</b>
F7: Ingarvdiket	1 gg/mån	1 gg/mån	<b>A+B</b>
F42: Stångjärnsbäcken nedströms	1 gg/mån	1 gg/mån	<b>A+B</b>
Rb9305: Grundvatten, inströmning	2 ggr/år		<b>A</b>
D3: Dränrör - grundvatten, utströmning	2 ggr/år		<b>A</b>
<b>Provtagning år 2011 till 2013</b>			
	<b>Vattenprov</b>	<b>Flödesmätning</b>	<b>Analys</b>
<b>Provpunkt</b>	udda år provtagning udda månad och jämna år prov jämn månad		
F6: Uppströms Ingarvsmagasinet	2 ggr/år	2 ggr/år	<b>A</b>
F7: Ingarvdiket	6 ggr/år	6 ggr/år	<b>A+B</b>

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 metalläckaget från Faluns gruvavfall.

### 5.2.5 Inspektion och underhåll

I samband med samtliga provtagningar ska visuell inspektion utföras i närområdet av provtagningspunkten. Dessutom ska minst en gång per år utföras en mer omfattande inspektion av Ingarvsmagasinet 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.

### 5.2.6 Rapportering och revidering

Resultaten från provtagningarna vid Ingarvsmagasinet 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 5 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.

## 5.3 Ansvar och avsatta medel

Efter det att Faluprojektets styrgrupp upplöses kommer länsstyrelsen i Dalarnas län att bedriva löpande tillsyn över Ingarvsmagasinet, 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 indexuppräkningskostnader. Dessa medel hade utarbetats till och med 2004. Staten ska enligt samma avtal svara för övriga kostnader, vilka i ett regeringsbeslut från 1992 begränsats 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 i Dalarna att svara för det operativa arbetet – d v s 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 2008-2012.

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 efterbehandlingsåtgärder. 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, d v s 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.

## 6 Referenser

Bergström, S. 1993. *Sveriges hydrologi*. SMHI.

Elander, P. 1990. *Tillgång på restprodukter för täckning av upplag med gruvavfall inom Dalälvens avrinningsområde*. Linköping: SGI Varia 291.

Fredriksson, D. 1990. *Inventering av torvförekomster kring Falun lämpliga som tätmaterial vid lagring av gruvavfall*. Linköping: SGI Varia 289.

Hanæus, Å. och Ledin, B. 2004. *Faluprojektet. Avslutningsplan för Ingarvsmagasinet*. Falun: GVT.

Höglund, L. O. Lindgren, M. och Pers, K. 1995. *Vattenbalansberäkningar för planerat täcksikt på sandmagasinet i Falun vid två alternativa lutningar på täcksiktet*. Stockholm: Kemakta Konsult.

Larsson, Å. och Ledin, B. 2006. *Faluprojektet. Kontrollprogram 2005, Utvärdering av provtagning och mätningar 2005*. Falun: GVT.

Lundgren, T. och Elander, P. 1986. *Deponering av avfall från kol- och torveldning*. Stockholm: SNV rapport 3144/KVM publikation 10. *Handledning*.

Mattsson, E. och Qvarfort, U. 1988. *Användning av restprodukter för täckning av avfallsupplag*. Stockholm: Värmeforsk rapport 301.

Sundh, M. 1990. *Inventering av morän i Faluområdet*. Linköping: SGI Varia 290.

Qvarfort, U. och Ledin, B. 1998. *Prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet*. Falun: Uppsala Universitet och GVT.

# Efterbehandling av Ingarvsmagasinet i Falun

## Sluttäckning med aska-slamblandning

ÅSA HANÆUS

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.

Inom ramen för Faluprojektet har Ingarvsmagasinet, ett magasin för anrikningssand, sluttäckts. Rapporten behandlar utgångsläge, genomförande och uppföljning av åtgärder.

RAPPORT 6401

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-6401-3  
ISSN 0282-7298

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

FALU  KOMMUN

STORAENSO 

  
LÄNSSTYRELSEN  
DALARNAS LÄN

  
NATUR  
VÅRDS  
VERKET