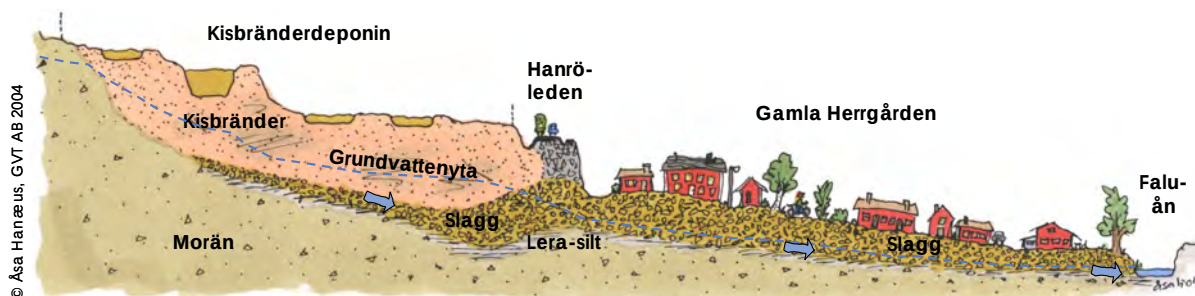

Efterbehandling av gruvavfall i Falun

*Kompletterande åtgärder för att minska metalläckaget
till Faluån - Dalälven – Östersjön*

DELRAPPORT 1

Kartläggning av metalläckage och miljöriskbedömning

Textdel



Efterbehandling av gruvavfall i Falun

Falun 2004-11-25

Rapport 2005:23 ”Efterbehandling av gruvavfall i Falun, Kompletterande åtgärder för att minska metallläckaget till Faluån – Dalälven – Östersjön” är av tryck- och hanteringsmässiga skäl uppdelad på tre volymer:

Rapport 2005:23a	Huvudstudie
Rapport 2005:23b:1	DELRAPPORT 1 - Textdel
Rapport 2005:23b:2	DELRAPPORT 1 - Bilagor
Rapport 2005:23b:3	DELRAPPORT 1 - Ritningar
Rapport 2005:23c	DELRAPPORT 2 - Beskrivning av åtgärdsalternativ, samt DELRAPPORT 3 - Ansvarsutredning

För innehåll och framförda åsikter svarar författarna.

Fotografer

Fotografierna i rapporten är tagna av Åsa Hanæus och Bo Ledin, GVT AB samt av Böril Jonsson, Allumite Konsult.

Figurer och ritningar är framtagna av GVT AB och Svensk MKB AB där inget annat anges.

Omslagets framsida :

Sektion genom Falun från kisbränderdeponin till Faluån (väst-öst). Illustration: Åsa Hanæus.

ISSN 1101-3044 Länsstyrelsen Dalarna, Miljövårdsenheten

Länsstyrelsen Dalarna

Postadress
791 84 Falun

Gatuadress
Åsgatan 38

Telefon
023-810 00

Telefax
023-813 86

Postgiro
6 88 19-2

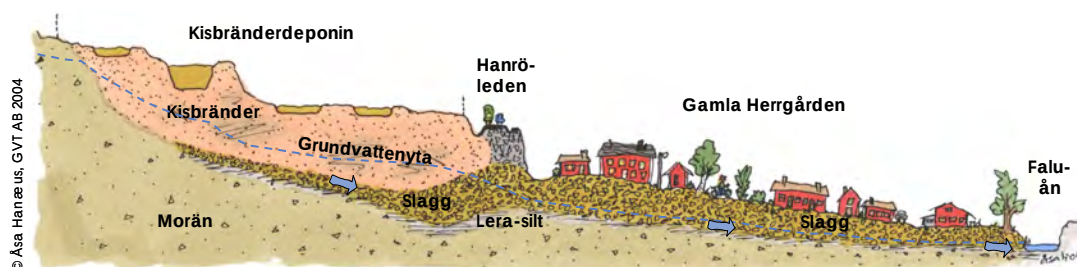
Länsstyrelsen i Dalarnas län

EFTERBEHANDLING AV GRUVAVFALL I FALUN

Kompletterande åtgärder för att minska
metalläckaget till Faluån - Dalälven –
Östersjön

DELRAPPORT 1

Kartläggning av metalläckage och
miljöriskbedömning



Falun 2004-11-25

Proj nr 03315

Bo Ledin, GVT AB
Åsa Hanæus, GVT AB

Lennart Lindeström, Svensk MKB

GVT AB
Garvaregatan 3 C
791 70 FALUN
org nr 556382-8697
tel 023/208 00
fax 023/208 09

SAMMANFATTNING

I denna rapport presenteras en kartläggning av metalläckaget till yt- och grundvatten från gruvavfall inom olika delområden i Falu stad. Dessutom beskrivs nuvarande omgivningspåverkan i vattendragen, samt riskerna för miljöeffekter i framtiden på grund av metallutsläppen. Rapporten ligger till grund för en så kallad huvudstudie avseende kompletterande efterbehandlingsåtgärder för att minska metalläckaget till Faluån – Dalälven – Östersjön.

Nuvarande metallurlakning från olika gruvavfallspåverkade områden i Falun stad har beräknats med hjälp av data från den vattenkontroll som utförs av Faluprojektet/Stora Enso, data från tidigare undersökningar samt resultat från kompletterande undersökningar som utförts inom ramen för denna studie.

Tabell 1. Beräknad storleksordning på metallurlakningen från gruvavfall på olika områden i Falu stad år 2003, samt när pågående efterbehandling av kisbränderdeponin är avslutad.*

OMRÅDE	Zink (ton/år)	Koppar (ton/år)	Järn (ton/år)	Kadmium (kg/år)	Bly (kg/år)
1. Galgbergsmagasinet	2,5-3	ca 0,2	30-40	ca 2	ca 2
2. Nicolaiområdet	0,3-0,8	0,03-0,05	1,0-1,5	ca 0,5	ca 0,5
3. Gruvan/Rödfärgsråvaran	13-18	2-3	90-120	30-40	4-5
4. Ingarvsmagasinet m m	7-11	0,3-0,9	30-50	ca 8-10	ca 8-10
5. Hyttberget/Vändrostarna	1,7-3,0	0,5-0,8	1,7-3,0	ca 4-8	ca 5-9
6. Kisbränderdeponin – läge idag – efter tvättning/täckning	20-27 5-9	0,4-0,9 0,1-0,3	12-16 4-8	20-30 4-10	40-100 10-60
7. Stora Enso Research	0,1-0,2	<0,01	0,1-0,2	<0,5	<0,5
8. Gamla Herrgården	3,5-5,0	0,9-1,3	3-5	ca 3-9	ca 4-12
9. Elsborg	0,5-1,0	0,2-0,4	0,5-1,0	<0,5	<0,5
TOTALT OMRÅDE 1 till 9 – läge idag – efter tvättning/täckning av Kisbränderdeponin	48-69 33-51	5-8 4-7	165-239 157-231	68-100 52-80	64-139 37-94

* Mängden underlagsdata för beräkningarna varierar kraftigt. Generellt finns överlägset mest data för zink och koppar. Kadmium och järn har analyserats relativt ofta för de mest undersökta områdena (Ingarvsmagasinet, Kisbränderdeponin, Gruvan/Rödfärgsråvaran), medan bly endast analyserats vid enstaka tillfällen. För slaggområdena (område 5 samt 7 till 9) finns generellt väldigt lite underlagsdata. Halter med ca-angivelser framför är behäftade med stor osäkerhet.

I tabell 2 nedan har en förenklad metallbalans för Falu stad ställts upp. I tabellen jämförs det beräknade metalläckaget från gruvavfall med vad som transporteras ut från staden. I huvudsak sker uttransporten med Faluån, men viss del av det metallförorenade grundvattnet dräneras bort i avloppsledningar och hamnar i kommunens avloppsreningsverk.

Där fastläggs metallerna i avloppslammet genom kemisk fällning. Det finns självklart andra källor till metaller i avloppsslammet än gruvavfallet, men i Falun är det den klart dominerande källan för många metaller.

Tabell 2. Beräknad storleksordning på metalläckage från gruvavfall på olika områden i Falu stad jämfört med "uttransporten" av metaller från staden år 2003.

OMRÅDE	Zink (ton/år)	Koppar (ton/år)	Järn (ton/år)	Kadmium (kg/år)	Bly (kg/år)
Transport m Faluån*	47	2,6	130	49	140
Transport via avloppsnätet**	7	1,5	14	10	30
TOTAL TRANSPORTERAT 2003	54	4,1	144	59	170
BERÄKNAT LÄCKAGE 2003 (enl Tabell 1)	48–69	5–8	165–239	68–100	64–139
DIFFERENS: BERÄKNAT LÄCKAGE minus UPPMÄTT TRANSPORT	-6–15	1–3	21–95	9–41	-106–-31
KVOT: DIFFERENSEN delat med BERÄKNAT LÄCKAGE	-12–22%	11–45%	13–40%	13–41%	-167–-23%

* DVVF:s mätstationer Slussen (nedströms Falun) minus station Vällan (uppströms Falun), medelvärden för år 2003.

** Metallmängder i inkommande avloppsvatten 2003 (Fe) och medelvärde för slam 2000-2002 (Zn, Cu, Cd, Pb) vid Främby ARV 2003, mätningar Falu Energi & Vatten.

Skillnaderna mellan beräknat läckage och uppmätt transport speglar osäkerheterna i beräkningar och mätningar, men har även andra orsaker. Negativa differenser i tabellen (röd text) betyder att beräkningen av metalläckaget ligger lågt jämfört med den uppmätta metalltransporten i Faluån. För bly beror den stora skillnaden på att andra källor än gruvavfall bidrar märkbart till metalltransporten i ån. Detta framgår även när man tittar på sambandet mellan olika metaller i Faluåns nedre del (mätstation Slussen), där blyhalten uppvisar dålig korrelation med zink- och kadmiumhalterna. När det gäller järn är det beräknade läckaget från gruvavfall större än den uppmätta transporten. En förklaring är att järn faller ut i vattendragen under passagen genom Falun. När järnet faller ut sker även en medfällning av andra metaller, vilket kan förklara att det även "fattas" kadmium och koppar i Slussen jämfört med det beräknade läckaget från gruvavfall. Tilläggas bör också att inte hela metallmängden som transporteras via avloppsnätet härrör från gruvavfallet. Metaller tillförs också via spillvatten från hushåll och industrier, samt till exempel via kopparledningar. Hur stora mängder övriga källor bidrar med är inte undersökt inom ramen för denna studie.

De senaste decennierna har flera omfattande åtgärder vidtagits för att minska metallurlakningen. Genom åtgärderna har metalläckaget från gruvavfall i Falun minskat dramatiskt. Innan gruvvattenreningen påbörjades 1987 låg exempelvis zinktransporten i Faluån/Tisken på ca 700 ton/år, att jämföra med mindre än 50 ton/år under år 2003.

Trots att de genomförda åtgärderna resulterat i en betydande minskning av metalltillförseln till recipienterna, så är koncentrationen av flera metaller fortfarande hög i både vatten och sediment. I takt med att vattenkvaliteten förbättrats har dock djur och växter börjat återetablera sig – även om artsammansättningen idag (2004) visar att miljön fortfarande är i obalans. Växtligheten i sjön Tisken i nedre Faluån domineras t ex av en enda art - löktåg - som har massutvecklats. Halten av flera metaller är förhöjd i fisk från Runn i förhållande till referenssjöar. Särskilt halten av kadmium i abborre (muskel och lever) är påtagligt förhöjd, även om kadmiumhalten uppvisar en minskande trend under tidsperioden 1996 – 2004.

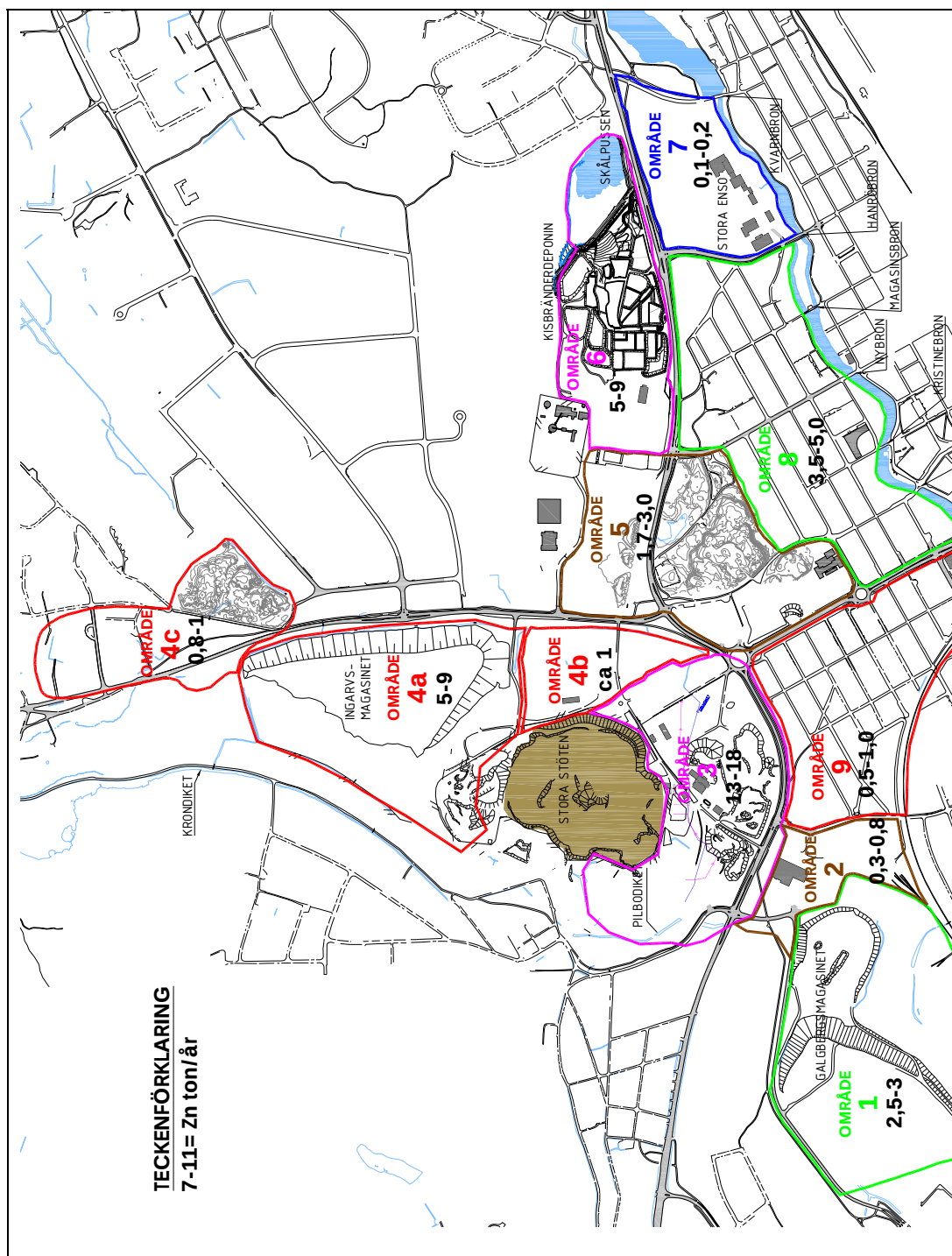
Det biologiska livet i Faluån är och kommer även fortsättningsvis att vara tydligt påverkat av metaller. Sett ur ett övergripande perspektiv bedöms risken för miljöeffekter nu och i framtiden vara störst för kadmium följt av koppar och zink. Koncentrationen av kadmium har sjunkit påtagligt, men är ännu påtagligt förhöjd i exempelvis fisk. Detta innebär för den skull inte att fisk från Runn skulle vara hälsovådligt att konsumera beroende på haltnivån för kadmium i fiskkött.

Både koppar och zink är till skillnad mot kadmium essentiella metaller. Kopparhalten har endast reducerats marginellt till följd av Faluprojektets åtgärder. Zink är emellertid den metall som är mest förhöjd jämfört med opåverkade sjöar och även förekommer i koncentrationer som enligt gängse kriterier och bedömningsgrunder kan skada vissa växter och djur. Men risken för miljöeffekter av zink bedöms ha avtagit till följd av de senaste årtiondenas åtgärder, som resulterat i minskade zinkhalter i vattnet med 85-90 %. I en riskbedömning ska även zinkens skyddande förmåga vägas in, vilket innebär att det är viktigt att beakta balansen mellan zink och andra metaller och inte alltför mycket förändra denna till zinkens nackdel. Eventuellt kan den betydande zinkreduktionen vara en delförklaring till att blyhalten under senare år stigit i fisk trots att tillförseln av bly inte ökat.

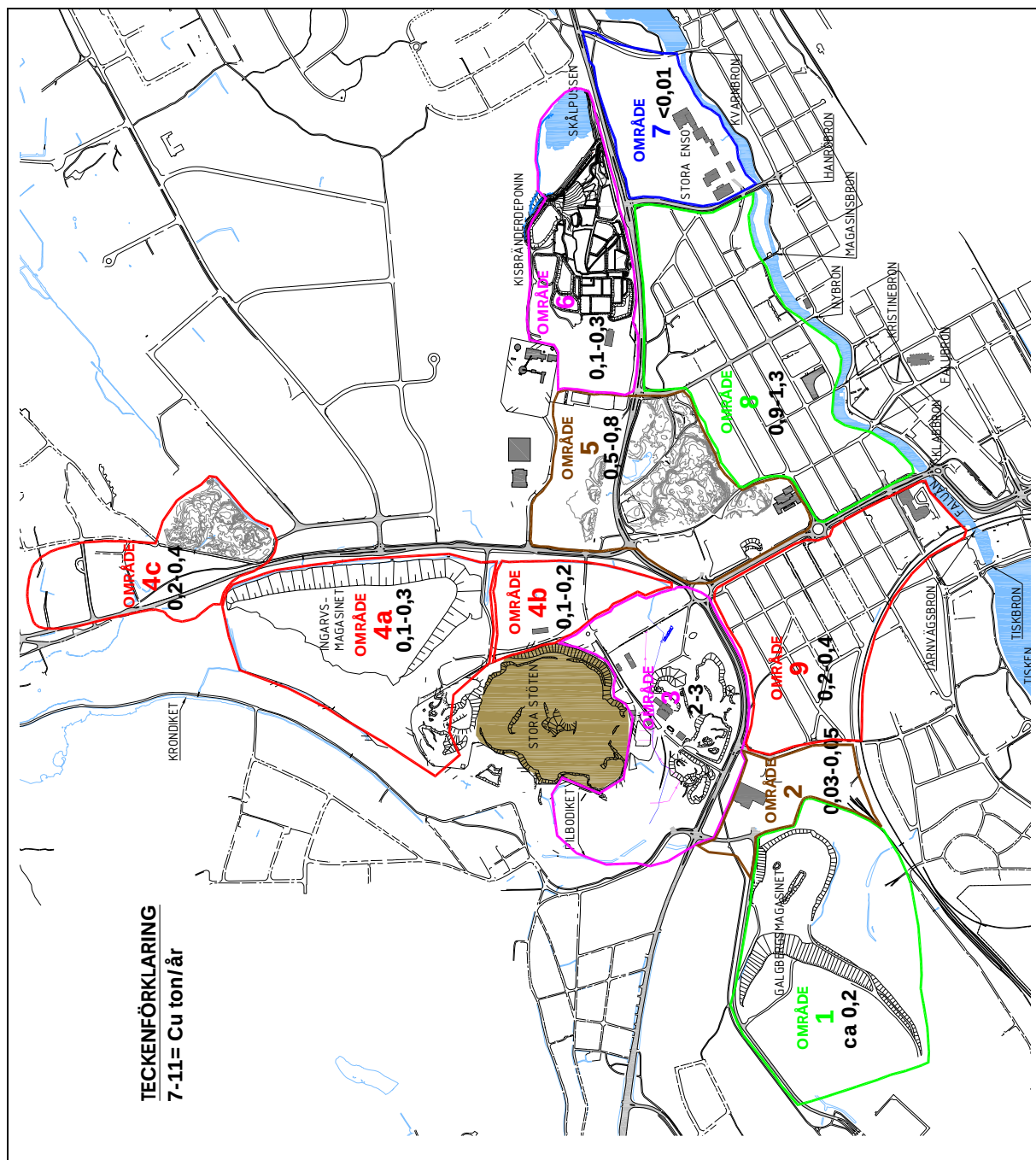
Risken för miljöeffekter av järn är främst kopplad till att utfällda järnföreningar överlagrar botten, vilket påverkar vissa växter och djur negativt och även orsakar olägenheter för människan (uppgrundning etc). Samtidigt kan järnföreningarna begränsa toxiciteten hos andra metaller. Dessa effekter bedöms i stort balansera varandra.

Orsaken till de trots allt begränsade miljöeffekterna i det aktuella vattenområdet bedöms vara en kombination av flera faktorer. Genom den rikliga tillgången på utfällda järnföreningar bör en stor del av metallerna ha förekommit, och förekomma, i en form som inte är direkt tillgänglig för det biologiska livet. Vidare har ekosystemet, eller åtminstone delar av det, troligtvis hunnit anpassa sig till förhållandena genom att det exponerats under så lång tid. Ytterligare en förklarande faktor kan vara att det föreligger en gynnsam balans mellan vissa essentiella metaller och andra.

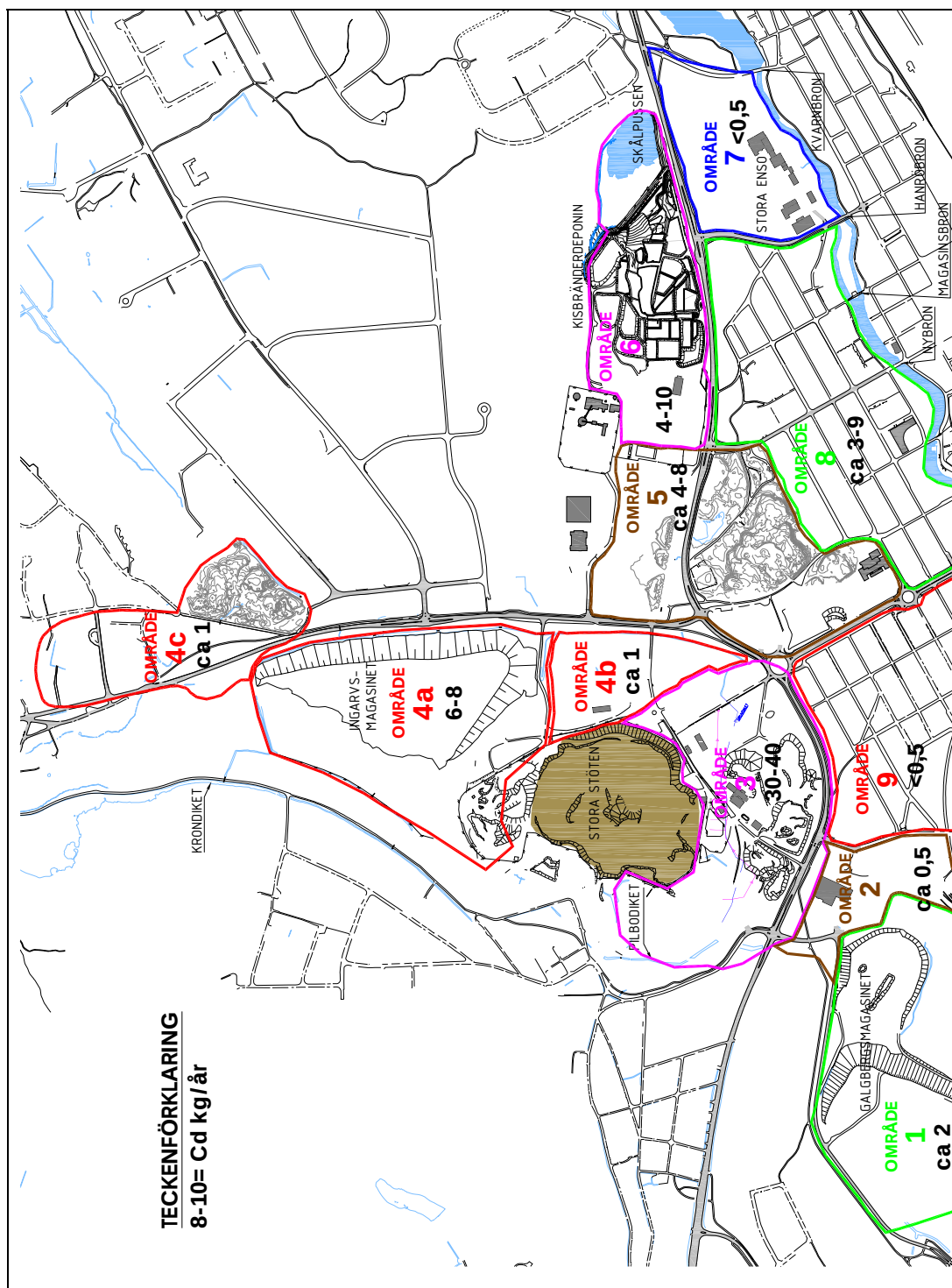
I de tre nedanstående figurerna redovisas läckaget av zink, koppar och kadmium grafiskt.



Figur 1. Beräknat storleksordning på zinkläckage från de olika områdena.



Figur 2. Beräknad storleksordning på läckaget av koppar från de olika områdena.



Figur 3. Beräknad storleksordning på läckage av kadmium från de olika områdena.

INNEHÅLL

1.	SYFTE - UPPDRAG	1
2.	BAKGRUND	1
3.	ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV GEOHYDROLOGIN	3
3.1.	Nederbördsdata	6
4.	KARAKTÄRISERING OCH AVGRÄNSNING AV FÖRORENINGARNA	8
4.1.	Gruvavfallets utbredning	8
4.2.	Karaktärisering av gruvavfallet.....	9
4.2.1.	Metall- och svavelinnehåll, lakbarhet.....	11
5.	TIDIGARE KARTLÄGGNINGAR AV METALLÄCKAGET.....	14
6.	KARTLÄGGNING AV DELOMRÅDEN MED BERÄKNING AV METALLÄCKAGE.....	17
6.1.	Områdesindelning.....	17
6.2.	Metod.....	19
6.3.	OMRÅDE 1 – Galgbergsmagasinet.....	19
6.3.1.	Historik.....	19
6.3.2.	Tidigare undersökningar	20
6.3.3.	Kompletterande undersökningar.....	20
6.3.4.	Markförhållanden och avfallstyper	21
6.3.5.	Yt- och grundvattenflöden	22
6.3.6.	Metalläckage	22
6.4.	OMRÅDE 2 – Nicolaiområdet	24
6.4.1.	Historik.....	24
6.4.2.	Tidigare undersökningar	24
6.4.3.	Kompletterande undersökningar.....	25
6.4.4.	Markförhållanden och avfallstyper	25
6.4.5.	Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage	25
6.5.	OMRÅDE 3 – Gruvan/Rödfärgsråvaran	28
6.5.1.	Historik.....	28
6.5.2.	Tidigare undersökningar	28
6.5.3.	Kompletterande undersökningar.....	30
6.5.4.	Markförhållanden och avfallstyper	30
6.5.5.	Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage	31
6.5.6.	Metalläckage	37
6.6.	OMRÅDE 4 – Ingarvsmagasinet och Lovisa	46
6.6.1.	Historik.....	46
6.6.2.	Tidigare undersökningar	46
6.6.3.	Kompletterande undersökningar.....	47
6.6.4.	Markförhållanden och avfallstyper	48
6.6.5.	Yt- och grundvattenflöden	50
6.6.6.	Metalläckage	53
6.7.	OMRÅDE 5 – Hyttberget och Västra industriområdet	57
6.7.1.	Historik.....	57

6.7.2.	Tidigare undersökningar	57
6.7.3.	Kompletterande undersökningar	58
6.7.4.	Markförhållanden och avfallstyper	58
6.7.5.	Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage	58
6.7.6.	Metalläckage	60
6.8.	OMRÅDE 6 Kisbränderna	62
6.8.1.	Historik	63
6.8.2.	Pågående åtgärder	63
6.8.3.	Tidigare undersökningar	67
6.8.4.	Kompletterande undersökningar	67
6.8.5.	Markförhållanden och avfallstyper	68
6.8.6.	Yt- och grundvattenflöden	70
6.8.7.	Metalläckage	74
6.9.	OMRÅDE 7 – Stora Research	88
6.9.1.	Historik	88
6.9.2.	Tidigare undersökningar	88
6.9.3.	Kompletterande undersökningar	88
6.9.4.	Markförhållanden och avfallstyper	88
6.9.5.	Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage	89
6.9.6.	Metalläckage	90
6.10.	OMRÅDE 8 – Gamla Herrgården/Prästtåkten	91
6.10.1.	Historik	91
6.10.2.	Tidigare undersökningar	91
6.10.3.	Kompletterande undersökningar	91
6.10.4.	Markförhållanden och avfallstyper	91
6.10.5.	Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage	92
6.10.6.	Metalläckage	93
6.11.	OMRÅDE 9 – Elsborg	93
6.11.1.	Historik	93
6.11.2.	Tidigare undersökningar	93
6.11.3.	Kompletterande undersökningar	93
6.11.4.	Markförhållanden och avfallstyper	94
6.11.5.	Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage	94
6.11.6.	Metalläckage	95
7.	METALLERNAS SPRIDNING	96
7.1.	Metalltransport från gruvavfall i Falu stad till Faluån	96
7.1.1.	Metalltransport i Faluåns tillflöden	98
7.2.	Vattenrecipienten - Faluån och nedströms	103
7.2.1.	Historiska och aktuella utsläpp	104
7.2.2.	Metallernas spridning och fastläggning	106
7.2.3.	Registrerade förändringar i tiden	107
7.2.4.	Betydelse för Bottenhavet	110
8.	OMGIVNINGSPÅVERKAN	111
8.1.	Registrerade miljöeffekter	111
8.1.1.	Faluån och Tisken	111

8.1.2.	Runn.....	112
8.1.3.	Dalälven och Bottenhavet	116
9.	RISKBEDÖMNING.....	117
9.1.	Generella risker för miljöeffekter av metaller	117
9.2.	Faktorer som påverkar miljöeffekter av metaller	118
9.3.	Risker för miljöeffekter i Runn	119
9.4.	Risker för miljöeffekter i nedre Dalälven och Bottenhavet	120
9.5.	Omgivningspåverkan och riskbedömning – kommentarer metall för metall.....	121
10.	OMGIVNINGSPÅVERKAN OCH RISKBEDÖMNING – SLUTSATSER	127

BILAGOR

Se bilageförteckning placerad framför bilagorna.

RITNINGAR

Se ritningsförteckning placerad framför ritningarna.

OBS! I denna tryckta rapportversion är samtliga ritningar nedskalade till A4-format. Den skala som anges på ritningarna gäller originalformatet.

1. SYFTE - UPPDRAG

Syftet med denna studie är att bedöma storleken på läckaget av metaller från olika områden/objekt kring Falu gruva, samt beskriva dagens miljöpåverkan på grund av metallutsläppen och bedöma riskerna för framtida miljöeffekter. Arbetet ska ligga till grund för en prioritering av fortsatta efterbehandlingsåtgärder i Falun.

På uppdrag av Länsstyrelsen i Dalarnas län har GVT AB och Svensk MKB AB utrett dessa frågeställningar. Resultatet av utredningarna presenteras i denna rapport.

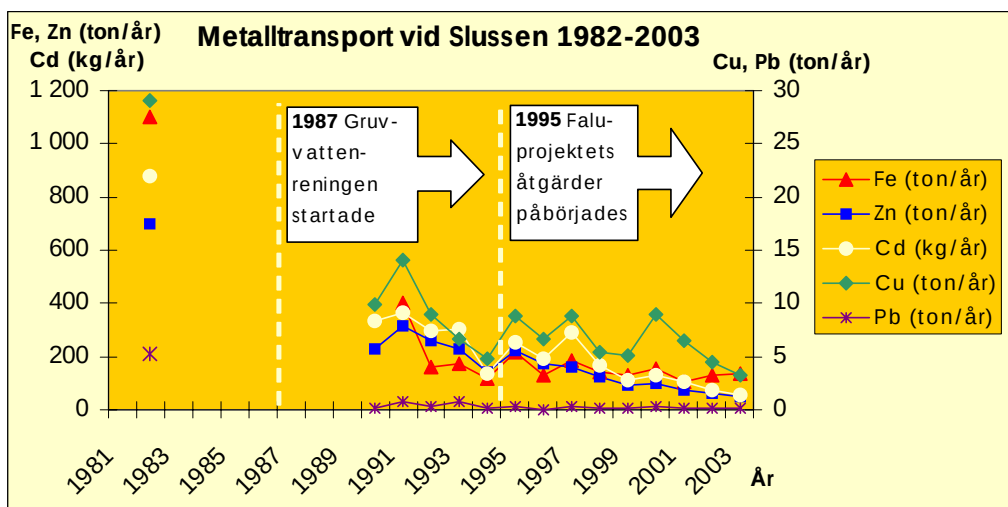
Avsnitten 7.2 till 10 har författats av Lennart Lindeström, Svensk MKB. För övriga delar svarar Bo Ledin och Åsa Hanæus, GVT.

2. BAKGRUND

Ett flertal omfattande åtgärder har redan genomförts för att minska metalläckaget från gruvavfallet i Falu stad. Rening av läenspumpningsvattnet från gruvan påbörjades 1987 i Främby reningsverk. Under 1989-2001 utförde dåvarande STORA (nuvarande Stora Enso) täckning av Galgbergsmagasinet, ett magasin för anrikningssand. Inom ramen för det så kallade Faluprojektet har flera åtgärder genomförts:

- Täckning av Ingarvsmagasinet (magasin för anrikningssand) 1997 – 2004.
- Sanering (tvätt) av Kisbränderdeponin, 1995 – ca 2007 (pågående).
- Avskärande dränering för att minska grundvattenflödet in till gruvområdet (rödfärgsråvaran), 1996.

Som framgår av diagrammen nedan har metalläckaget från gruvavfallet i Falun minskat dramatiskt de senaste årtiondena tack vare åtgärderna, framförallt med avseende på zink.



Figur 4. Metalltransport i Faluån från 1980-talet och framåt.

Ett stort antal undersökningar har genomförts för att kartlägga gruvavfallet i Falu stad och för att undersöka dess miljöpåverkan. Utredningar kring metallutsläppen från gruvan och gruvavfallet har utförts sedan 1970-talet. En samlad kartläggning av metalläckagen gjordes i början av 1980-talet inom ramen för det s k Falu Gruva-projektet. Ytterligare en helhetsstudie utfördes i början av 1990-talet av Dalälvdelegationens Gruvavfallsprojekt.

Från 1990 finns regelbundna mätningar av metalltransporten i recipienten Faluån. Årligen redovisas resultaten av de vattenkontrollprogram som har anknytning till gruvavfallets metalläckage. En samlad utvärdering av dessa mätningar gjordes 2003-04 på uppdrag av Länsstyrelsen i Dalarnas län. I utredningen ges en samlad bild av metalltransporten i Faluån och dess tillflöden.

Någon samlad utvärdering av all provtagning i form av en kartläggning av metalläckaget från olika gruvavfallsobjekt har dock inte genomförts sedan Gruvavfallsprojektet i början av 1990-talet. Effekten av Faluprojektets åtgärder finns således inte med i någon tidigare kartläggning. Ett nytt "pussel" behöver därför läggas inför beslutet om fortsatta efterbehandlingsåtgärder för Faluns gruvavfall.

3. ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV GEOHYDROLOGIN

Området som ingår i utredningen är beläget väster om Faluån och utgörs i huvudsak av delområden där gruvavfall har nyttjats som fyllnadsmaterial eller deponerats. Inom området finns två stora sandmagasin och en kisbränderdeponi. I anslutning till gruvan finns fyllning och upplag av slagg, varp, gråberg och rödfärgsråvara. Falu stads tätort är till stor del uppbyggd på slagg, där de mäktigaste fyllningarna ligger i norra delen av staden (Gamla Herrgården). I Gamla Herrgården finns det områden med mer än 14 m mäktiga slagglager. Det finns även andra områden där stora slaggförekomster förekommer, t ex slaggupplagen vid Hyttberget och Gamla Berget.

Under fyllningen finns inom de högre partierna i Falun normalt en morän som är sandig-siltig, med låg vattengenomsläpplighet. Det förekommer även sandigare moräner, men i liten omfattning. I de mer låglänta partierna förekommer oftast antingen silt eller lera med varierande mäktighet - från några decimeter till några meter. Inom området ner mot Faluån är det vanligt att silt-lera överlagrar moränen.

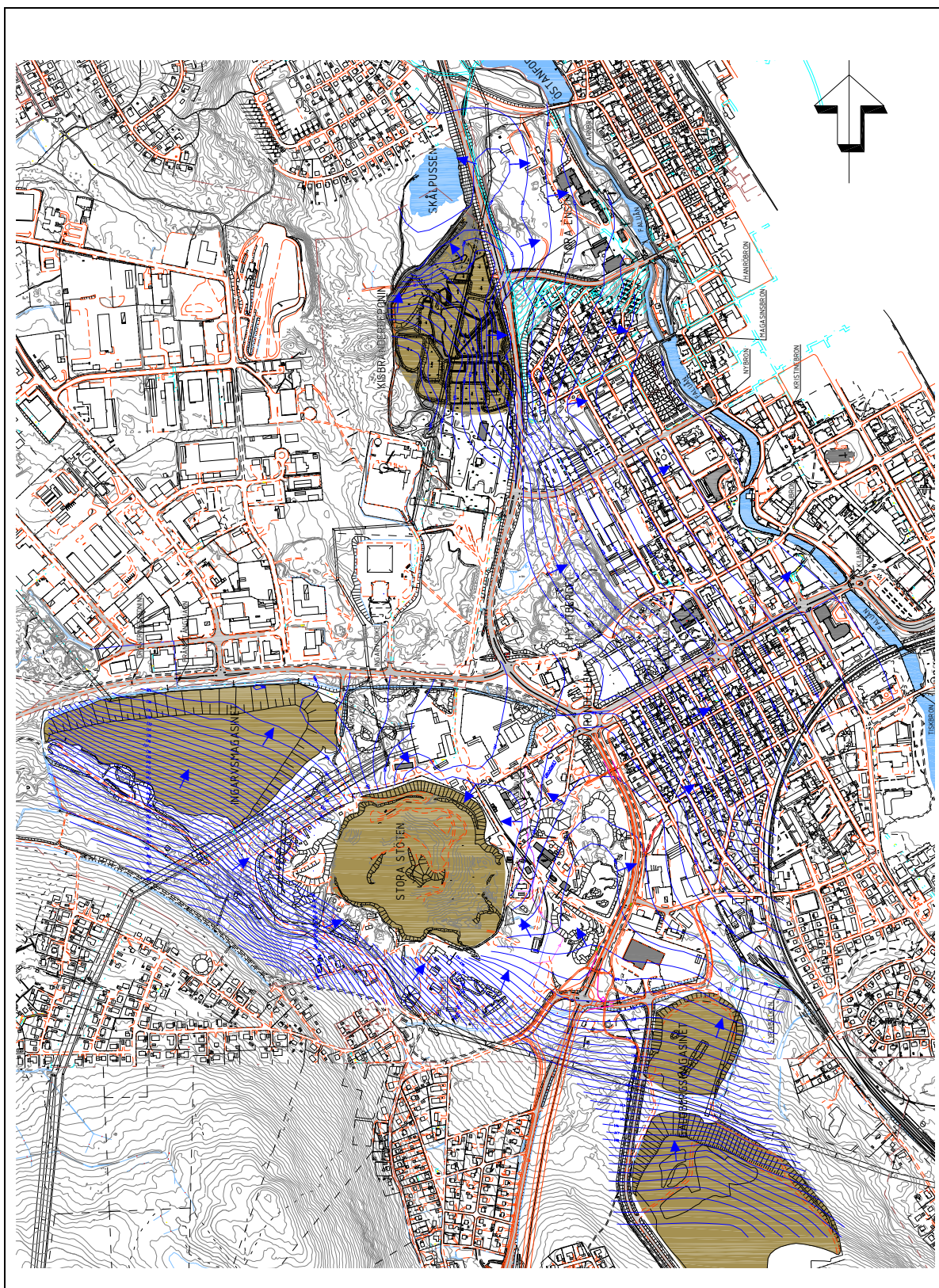
På ritning -106 och i nedanstående figur redovisas grundvattennivån och grundvattnets flödesriktningar i området. Angivna nivåer gäller vid en viss tidpunkt och är interpolerade mellan mätpunkterna. Grundvattenytan är normalt belägen ca 2-3 m under markytan, utom där stora slaggmäktigheter förekommer - där kan grundvattenytan ligga närmare 10 m under markytan. I sandmagasinen är det också djupare till grundvattenytan.

Söder om Stora Stöten och västerut har grundvattenflödet en nordlig riktning. Man kan även se att avsänkningstratten runt Stora Stöten är liten, vilket överensstämmer med den (lilla) vattenmängd som rinner till gruvan.

Utläckage av lakvatten från Ingarvsmagasinet sker till Ingarvsdiket och mot Lovisadiket. Inom området mellan Ingarvsmagasinet och Gruvdiket sker det både in- och utläckage av grundvatten till/från Ingarvsdiket.

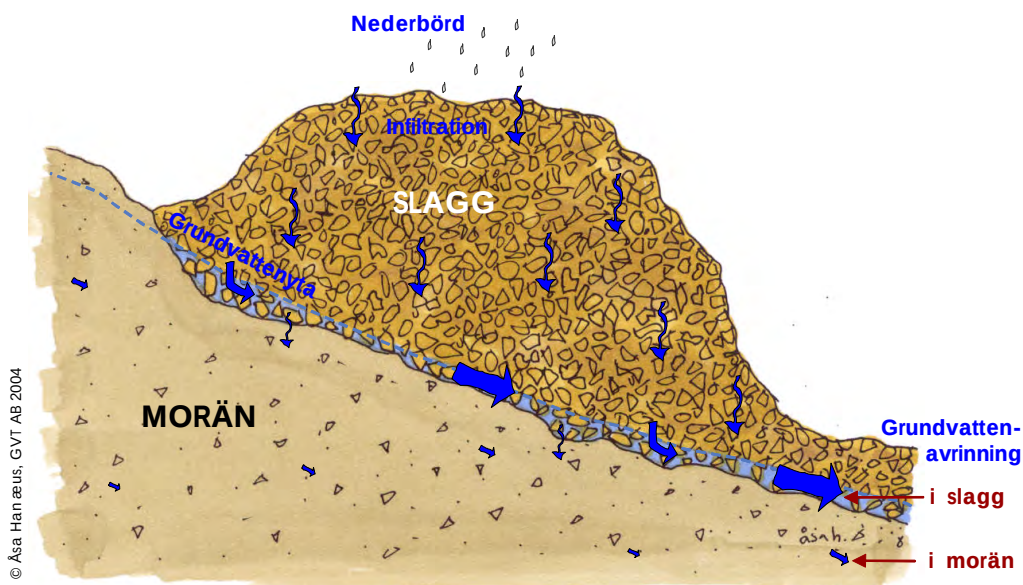
Vid Galbergsmagasinet har grundvattnet också en nordlig riktning, som norrut övergår mer åt öster. Utläckage av grundvatten (lakvatten) sker till ett dike mellan övre och nedre magasinet och längs släntfoten på det nedre magasinet.

Genom gruvområdet finns en grundvattendelare vilket innebär att en del av grundvattnet från området avleds ner mot staden och en del mot Stollen/Gruvdiket. Öster om Stora Stöten är grundvattnets flödesriktning östlig.



Figur 5. Grundvattennivåer och grundvattnets flödesriktning.

Inom Elsborgsområdet (område 9) är grundvattenytan till stor del belägen under slaggen eftersom fyllningen här oftast är relativt tunn. En stor del av grundvattenflödet sker i ledningsgravar som har en betydligt större genomsläpplighet än moränen. Rent allmänt kan man säga att inom områden där grundvattenytan ligger i kontaktzonen mellan slagg och naturligt lagrade jordar, eller under slaggen, rinner en stor del av grundvattenbildningen av på ytan av den naturligt lagrade jorden vid kraftig nederbörd, se bild nedan.



Figur 6. Principskiss som visar hur huvuddelen av grundvattenbildningen avrinner i botten av slaggen, på ytan av den naturligt lagrade jorden (morän).

Längs Gruvbäckens gamla sträckning, se ritning -105, kan eventuellt ett mindre läckage av metallförorenat grundvatten förekomma. Moränen vid Gruvrondellen är dock belägen relativt högt vilket innebär att den överlagras av litet fyllning. Sker något större utflöde inom det området måste det ske antingen via gamla Gruvbäckens läge eller längs ledningsgraven för nya Gruvbäcken, som är en dagvattenledning längs Gruvgatan ner till Faluån. Av de borringar och provtagningar som utförts finns det inget som tyder på att det förekommer något större läckage den här vägen. I samband med ombyggnation av väg 50 (november 2004) upptäcktes att dagvattenledning längs vägen vid gruvområdet var ansluten till spillvattnet vilket innebär att en del av grundvattnet även läckt till avloppsreningsverket i Främbys.

Inom Hyttberget (område 5) gäller i stort sett detsamma som för Elsborgsområdet (område 9), med den skillnaden att det förekommer betydligt mer slagg.

Vid kisbränderområdet, i norra delen, finns en grundvattendelare vilket innebär att en del av grundvattnet avleds mot Skålpussen och vidare mot Östanforsån – Faluån, och en del avleds direkt mot Faluån.

I Gamla Herrgården-området i norra delen av staden (område 8) ligger normalt grundvattenytan en bra bit upp i slaggen, med vissa undantag.

För att få ett grepp på skillnader i genomsläpplighet på moränen inom området och slaggen, kan något förenklat sägas att om grundvattenflödet i moränen är 1 m³/h så är motsvarande grundvattenflöde under motsvarande betingelser i slaggen minst 1 000 m³/h.

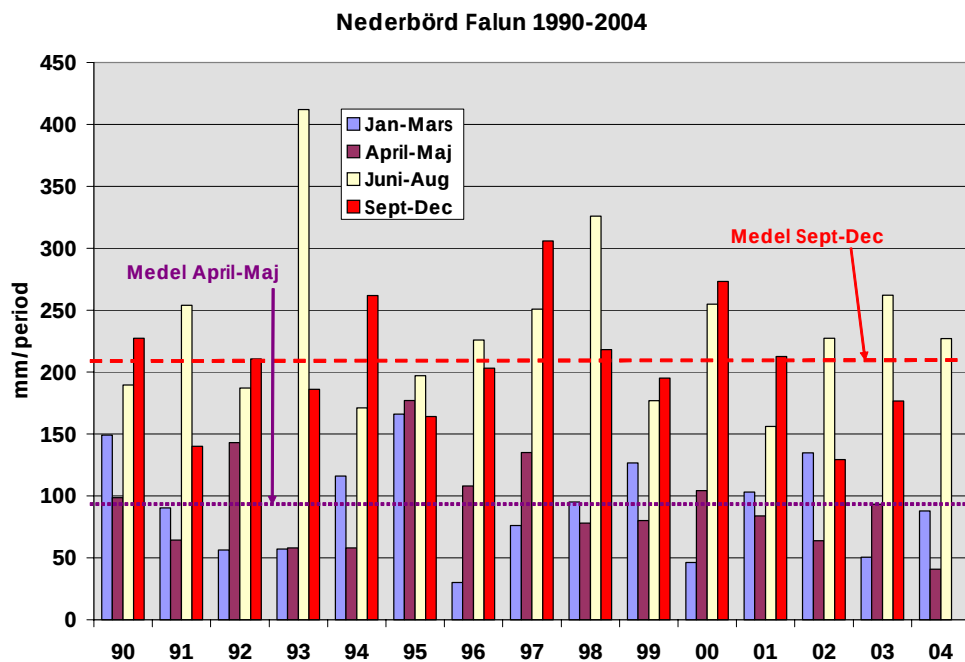
3.1. Nederbördsdata

Urlakningen av metaller har ett visst samband med grundvattenbildningen som i sin tur är beroende av nederbörden. Den korrigerade medelårsnederbörden för Falun är **617 mm/år** (perioden 1960-1990). Medelnederbörden under perioden 1990-2003 har varit 631 mm/år och för åren 2001-2003 har den varit 564 mm/år. I tabellen nedan redovisas årsnederbörden för perioden 1990-2003. Gulmarkerade är år när nederbörden var större än medelnederbörden.

Tabell 3. Årsnederbörd i mm/år (korrigerade värden).

År	mm/år	År	mm/år	År	mm/år
1990	665	1995	704	2000	679
1991	548	1996	567	2001	556
1992	597	1997	768	2002	555
1993	713	1998	717	2003	583
1994	607	1999	579	2004	

I nedanstående diagram redovisas hur nederbörden har fördelat sig på olika perioder av året från 1990 till augusti 2004.



Figur 7. Nederbörd i Falun 1990-2004 uppdelat på olika perioder av året.

Nederbörden har delats upp i fyra olika perioder enligt nedan.

- | | |
|------------------|--|
| Jan-Mars | Normalt vinterperiod med tjälade förhållanden och liten grundvattenbildning. |
| April-Maj | Under april sker oftast snösmältningen och grundvattenbildningen är normalt omfattade i april och i början av maj. |
| Juni-Aug | Normalt liten eller ingen grundvattenbildning. |
| Sept-Dec | Grundvattenbildning under stor del av perioden, med vissa undantag för delar av september och december. |

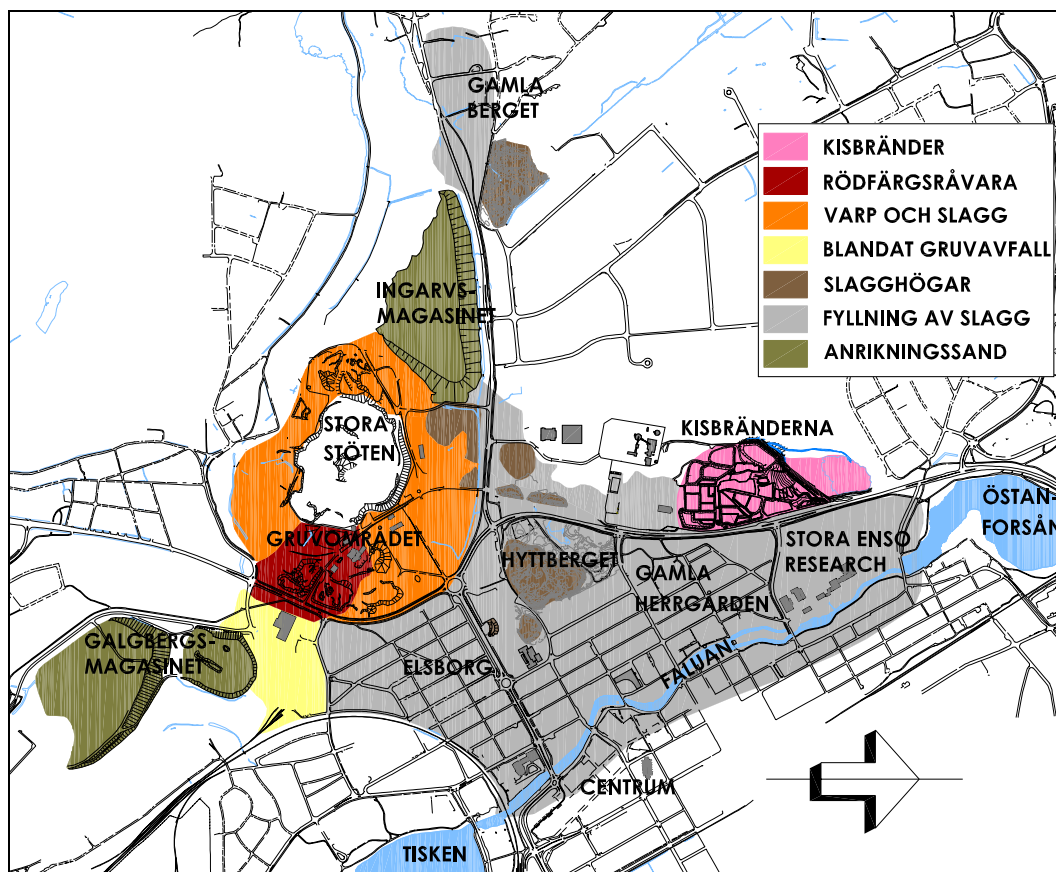
Perioderna som är extra intressanta ur grundvattenbildningssynpunkt är april-maj och sept-dec. Medelnederbörden (1990-2003) för dessa perioder är markerade i diagrammet ovan. För perioden april-maj var det var liten nederbörd i början av 90-talet samt 2002 och 2004. För perioden sept-dec var det liten nederbörd 1991 och 2002-03. Man kan också konstatera att nederbördsmängderna 2001-2003 varit något lägre än medel, men att det inte har varit någon extrem skillnad mot tidigare år.

4. KARAKTÄRISERING OCH AVGRÄNSNING AV FÖRORENINGARNA

4.1. Gruvavfallets utbredning

Utbredningen av föroreningar i form av gruvavfall i centrala Falun är sedan tidigare relativt väl känd. Framförallt gjordes omfattande kartläggnings- och karaktäriseringsarbeten inom ramen för Gruvavfallsprojektet (1989-90) och det parallellt pågående projektet Varp 89.

Med utgångspunkt i tidigare karteringar, borringar som gjorts på senare år samt kompletterande karteringsarbete i fält, har en karta över gruvavfallens utbredning tagits fram, se Figur 8 nedan (även ritning -103).



Figur 8. Gruvavfallens utbredning i Falu stad.

Gruvavfallsprojektet ("Gruvavfall i Dalälvens avrinningsområde", SGI rapport 39, 1990) redovisade följande mängder av de olika typerna av gruvavfall i Falu tätort:

Tabell 4. Gruvavfallsprojektets beräkningar av gruvavfallsmängderna i Falun (tabellen hämtad ur "Gruvavfall i Dalälvens avrinningsområde", SGI rapport 39, 1990).

Gruvvarp	<i>Icke beredda massor av malm eller ofyndigt berg. Direkt avskilt från malmen.</i>	0,2 Mm³
Råvara till Falu rödfärg	<i>Vittrad gruvvarp av särskild typ.</i>	0,15 Mm³
Gråbergsavfall	<i>Mer eller mindre sulfidhaltiga massor av ofyndigt berg i Ingarvsmagasinet dammvallar eller i dess underlag.</i>	0,25 Mm³
Slaggvarp (slagg)	<i>Rester från rostning och smältning av varp i hyttorna.</i>	3,8 Mm³
Kisbränder	<i>Rester från rostning av svavelkis (pyrit) för utvinning av svavelsyra.</i>	0,4 Mm³
Avfallssand	<i>Rester från modern anrikning av malm.</i>	2,6 Mm³
	SUMMA:	7,4 Mm³

För vissa av avfallsslagen har mer noggranna beräkningar gjorts sedan dess. Inom ramen för Faluprojektet har volymen **kisbränder** beräknats till **0,57 Mm³** (tidigare beräknat 0,4 Mm³).

Som underlag till beräkningarna av metallläckaget har **slaggvolymen** inom några uppdaterats enligt nedan.

- Hyttberget: 350 000-400 000 m³ (tidigare beräknat till 595 000 m³)
- Gamla Berget (nedre): ca 100 000 m³ (tidigare beräknat till 385 000 m³)

4.2. Karaktärisering av gruvavfallet

Karaktären hos de olika gruvavfallen från Falu gruva har studerats i ett flertal projekt, bland annat Falu Gruva-projektet (1982-83), Varp-89 och Gruvavfallsprojektet (1989-90), samt vidare inom Faluprojektet (1992-).

Slagg

Slagg är förglasade rester från rostning och smältning av malm. Slaggen innehåller en stor andel järn och även svavel, vilket gör att den vittrar om än i långsam takt. Slaggen kan även innehålla varierande inslag av vittrad malm eller varp och ofullständigt smält slagg, som kan vara mer lättvittrad och innehålla högre metallhalter. Vittringstakten och metallhalterna skiljer också mellan väl förglasad, kompakt slagg och mer porös, finkornig slagg (ofta äldre, med rester av varp och hyttsand).

Gruvvarp (varp)

Gruvvarp är rester från den gamla tidens sovring. Den utfördes genom skrädning, där malm skiljdes från ofyndigt berg genom handsortering. Utlakningen av metaller är betydligt större från varp än från slagg. Generellt ligger halterna 5-10 ggr högre i lakvatten från varpen än i lakvatten från slaggen. Metallhalterna i varpen varierar dock kraftigt.

Rödfärgsråvara

Rödfärgsråvaran i Falun är detsamma som vittrad gruvvarp och kallas ibland för rödmull eller slamjord. Råvara till rödfärgsverket tas fram genom att det finkorniga materialet i de vittrade varphögarna sikts ur ungefär vart tionde år. Det grövre materialet läggs tillbaka för fortsatt vittring. Rödfärgsråvaran innehåller höga halter lakbara metaller.

Gråbergsavfall

Gråbergsavfall är de massor som måste brytas för att få åtkomst till malmen. Skillnaden i metallinnehåll mellan gråbergsavfall och varp kan vara mycket liten. Generellt är gråbergsavfallet det minst lakbara gruvavfallet, men i gråberg som legat nära malmkroppen kan metallhalterna vara relativt höga.

Kisbränder

Kisbränderna i Falun är en rest från tillverkningen av svavelsyra vid f d Svavelsyrafabriken. Råvaran utgjordes av pyrit som anrikades vid gruvan. Pyriten rostades genom upphettning till 900°C och vid rostningen förångas delvis metaller som zink och kadmium tillsammans med svavlet. De förångade metallerna kondenserar och fastnar på restprodukterna, kisbränderna, som avskiljs ur processen. Kisbränderna har en kornstorlek från finkornig sand till grus. En finkornigare variant av kisbränder uppstod vid avskiljning med hjälp av elektrofilter och en grövre variant kommer från mekanisk avskiljning i cyklon.

Man trodde tidigare att kisbränderna i Falun förekom i två varianter – en **svart** typ som har sitt ursprung i en äldre tillverkningsprocess som gav tvåvärt järn i form av magnetit och en **röd** typ med trevärt järn i form av hematit. Under Faluprojektets arbete med sanering av kisbränderdeponin genom tvättning, har en tredje typ av kisbränder konstaterats. Denna typ karaktäriseras som **brunsvart** och innehåller en viss andel grövre material, som tidigare klassats som fyllning. De olika typerna av kisbränder har olika egenskaper och svarar olika på olika typer av lakmetoder, samt på den pågående tvättningen.

Halten lakbara metaller i kisbränderna är generellt hög, men mycket stora variationer förekommer inom kisbränderdeponin.

Avfallssand/anrikningssand

Anrikningssand (även kallad avfallssand) är en rest från anrikningsverket, där malmen avskiljdes med hjälp av flotationsteknik. Anrikningssanden är ett relativt "modernt" gruvavfall, som bildades från 1940-talet fram till gruvans nedläggning 1992. Från 1944 pumpades anrikningssand till Nedre Dammen vid Galbergsmagasinet och från och med 1965 till Övre Dammen vid samma

magasin. 1982 startade pumpning till "Nya sandmagasinet" (Ingarvsmagasinet) och där pågick verksamheten till 1992. Anrikningssanden är sulfidhaltig och har stor vittringspotential. Både Galgbergsmagasinet och Ingarvsmagasinet har därför sluttäckts så att syretillförseln minimeras.

4.2.1. Metall- och svavelinnehåll, lakbarhet

En bredare kartläggning av de olika gruvavfallens metallinnehåll och lakningsegenskaper genomfördes 1990 inom ramen för Gruvavfallsprojektet. Inom ramen för Faluprojektet har kisbrändernas egenskaper undersökts noggrannare från 1994 och framåt.

TOTALHALTER

De olika avfallsslagens innehåll av metaller och svavel (totalhalter) har sammanställts i Tabell 5 nedan.

Tabell 5. Gruvavfallens innehåll av svavel och metaller (totalhalter, avrundade värden) i Falun. Källa "Teknisk kartläggning av gruvavfall", Fällman och Qvarfort, SGI Varia 298, 1990, samt för kisbränderna även data från Faluprojektet (metallhalter innan saneringen av kisbränderdeponin).

AVFALLSSLAG	SVAVELHALT	JÄRNHALT	KOPPARHALT	ZINKHALT
Kisbränder, ref SGI	0,4-5,1%	35-57%	0,04-0,5%	0,2-3%
Kisbränder, ref Faluprojektet	-	-	0,01-2% (medel 0,2%)	0,04-10% (medel 1%)
Gruvvarp	0,9-3%	5-9%	0,2-5%	0,02-0,5%
Rödfärgsråvara	1-21%	10-26%	0,2-0,7%	0,06-0,5%
Slagg	0,02-4% (medel 2,1%)	3-47% (medel 31%)	0,02-2% (medel 0,6%)	0,02-3% (medel 1,8%)

LAKBARA MÄNGDER

Noteras ska, att för samtliga avfallstyper utgör den lakbara andelen tungmetaller endast en liten del av det totala metallinnehållet. Hur stor andel av totalhalterna som är lakbara redovisas i Tabell 6 nedan.

Tabell 6. Andel lakbara metaller av totalhalterna för de olika gruvavfallen (avrundade värden). Källa "Teknisk kartläggning av gruvavfall", Fällman och Qvarfort, SGI Varia 298, 1990, samt för kisbränderna även data från Faluprojektet (metallhalter innan saneringen av kisbränderdeponin).

AVFALLSSLAG	LAKBART SVAVEL (% av totalhalt)	LAKBAR KOPPAR (% av totalhalt)	LAKBAR ZINK (% av totalhalt)
Kisbränder, ref SGI	1-100% (medel 25%)	0,002-20% (medel 4,5%)	0,2-37% (medel 11%)
Kisbränder, ref Faluprojektet	-	0,002-16% (medel 1%)	0,002-52% (medel 6%)
Gruvvarp	0,3-1%	0,1-2%	0,3-3%
Rödfärgsråvara	1-4%	1,4-9%	1,5-12%
Slagg	0,05-6% (medel 0,4%)	0,002-2% (medel 0,1%)	0,001-0,4% (medel 0,06%)

Det finns också några undersökningar kring den årliga metallurlakningen från slagg i Dalarna. Miljökontoret i Falun har sammanställt resultatet av tre undersökningar med avseende på årlig utlakning av zink och koppar från slagg i Dalälvens avrinningsområde (se Tabell 7). Utlakningen har beräknats genom provtagning i vattendrag upp-, respektive nedströms väldefinierade slaggförekomster. Den uppmätta metalltransporten i vattendragen har sedan relaterats till volymen slagg.

Tabell 7. Årlig urlakning av koppar och zink från slagg i Dalälvens avrinningsområde. Resultat från mätningar i vattendrag. Från "Gruvavfall i Falu kommun - Inventering och översiktlig miljö- och hälsoriskbedömning" (rapport M 1999:1).

ÅRLIG METALLURLAKNING FRÅN SLAGG	Zink (g/m ³ , år)		Koppar (g/m ³ , år)	
Mätningar i vattendrag	MEDEL	MIN-MAX	MEDEL	MIN-MAX
SGI, 1990 (varia nr 325) 3 slaggområden (Bergsgården och två vid Aspån)	3,3	0,4-8,8	3,6	1,1-6,2
STORA, projekt Falu Gruva 1983 4 större vattendrag (Varpan, Sundbornsån, Knivaån, Aspån)	4,4	2,3-6,7	1,9	1-4,2
Miljökontoret Falu kommun, 1999 (rapport M 1999:1) 17 vattendrag	4,9	1,5-21,6	1,3	0,5-3,9

Inom ramen för den tekniska kartläggning av gruvavfall i Falun som gjordes på uppdrag av Dalälvsdelegationen ("Teknisk kartläggning av gruvavfall", Fällman och Qvarfort, SGI Varia 298, 1990) gjordes ett lysimeterförsök med slagg. En

uppsamlingsanordning (lysimeter) anlades i slagg vid Gamla Berget och lakvatten från den samlades upp under perioden 1989-08-16--1990-05-09. Den uppsamlade mängden i lysimetern relaterades till de lakningar som gjorts i laboratorium, vilket gav faktorn 0,34 för Cu och 0,56 för Zn (gäller slagg från Gamla Berget). Den faktorn användes sedan för att räkna om laboratorielakningar från andra slaggområden till "lysimetervärden". Lysimetern var inte i drift ett helt år, men dock under årstiderna då den största ursköljningen av metaller sker (höst och vår). Mängden uppsamlade metaller under perioden kan därför sägas vara relativt representativ för en årscykel. Dock var sommaren 1989 mycket varm sommar med konstaterat stor vittring. Värdena från försöken (se Tabell 8) bedöms därför ligga högt jämfört med ett "normalår". Vid ett par objekt misstänks slaggen dessutom innehålla inslag av varp, något som också kan ge höga värden på urlakningen.

Tabell 8. Årlig urlakning av koppar och zink från slagg i västra Falun. Resultat från lysimeterförsök kombinerat med laboratorielakning. Beräknat utifrån "Teknisk kartläggning av gruvavfall", Fällman och Qvarfort, SGI Varia 298, 1990).

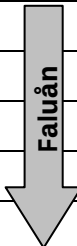
ÅRLIG METALLURLAKNING FRÅN SLAGG	Zink (g/m ³ , år)		Koppar (g/m ³ , år)	
	MEDEL	MIN-MAX	MEDEL	MIN-MAX
Laboratorielakning och lysimeterförsök				
SGI, 1990 (varia nr 298) 11 slaggområden i Falu stadskärna.	11,3	0,7-26	6,5	0,4-15

5. TIDIGARE KARTLÄGGNINGAR AV METALLÄCKAGET

Kartläggning av metalläckaget från olika gruvavfallsobjekt i Falun vid olika tidpunkter har utförts i tidigare utredningar. **Falu Gruva-projektet** kartlade metalltransporten på olika avsnitt i Faluån under 1983, det vill säga innan gruvvattenreningen togs i drift. Gruvvattnet släpptes vid den tiden ut i Ingarvsdiket-Gruvbäcken. I Falu Gruva-projektet togs även stickprover i vissa tillflöden till Faluån.

Man konstaterade att gruvvattnets andel av metalltransporten vid Slussen var 640 av 1 100 ton/år (58%) för järn, 300 av 700 ton/år (43%) för zink, 6,7 av 29 ton/år (23%) för koppar, 510 av 5 200 kg/år (10%) för bly och 280 av 880 kg/år (32%) för kadmium. Dagvattenutsläppen på östra sidan om ån bedömdes vara så små att de inte märkbart påverkade metallhalten i Faluån.

Tabell 9. Resultat av Falu Gruva-projektets kartläggning av metallflödena 1983.

Provpunkt	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd	
VECKOPROVER	(ton/år)	(ton/år)	(ton/år)	(kg/år)	(kg/år)	
Kvarnbron	49	35	<2,0	160	<27	
Slussen (Tiskens utlopp i Runn)	1 100	700	29	5 200	880	
Gruvvattnet	640	300	6,7	510	280	
Gruvvattnets andel i Slussen (obeaktat ev fastläggning uppströms Slussen)	58%	43%	23%	10%	32%	
STICKPROVER	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	
 Östanforsbron	1,4	0,7	<0,27	<0,014	<0,0026	
	Kvarnbron	4,5	3,6	0,25	0,024	<0,0033
	Magasinsbron	13	8,9	<0,30	<0,038	<0,0052
	Klabbron	25	21	0,52	0,052	<0,025
	Tiskbron	72	52	2,0	0,20	0,084
	Slussen (Tiskens utlopp i Runn)	120	73	3,1	0,26	<0,12

Genom stickprovtagning vid olika broar i Faluån fick man indikationer på var de största tillskotten av metaller kom. Största tillskottet konstaterades i nedre delen av ån. Vattensystemet Ingarvsdiket/Gruvdiket/Gruvbäcken mynnar mellan Klabbron och Tiskbron. Då undersökningen genomfördes släpptes gruvvattnet ut via Gruvbäcken. Ökningen mellan Tiskbron och Slussen antogs bero på tillskott från Syrabäcken, där man hade gjort mätningar som indikerade en påtaglig metalltransport.

Dalälvsdelegationens Gruvavfallsprojekt och dåvarande STORA:s projekt Varp 89 kartlade metalläckaget från gruvavfall 1989-90, innan Faluprojektets åtgärder påbörjades. Kartläggningen låg till grund för prioriteringen av åtgärder inom Faluprojektet. Projektet angav dels transporten av metaller från gruvavfall i Faluån, Tisken och Runn – dels uppmätta/beräknade metalläckage från olika gruvavfallsobjekt i Falun. Man kom fram till att de största metallkällorna med avseende på zink och kadmium var kisbränderdeponin, Ingarvsmagasinet samt gruvvarp och rödfärgsråvara inom gruvområdet.

Tabell 10. Resultat av Gruvavfallsprojektets mätningar/beräkningar av metalläckaget från olika avfallsenheter (källor) i Falun (källa: SGI rapport nr 39, 1990).

Avfallsenhet/Källa	Koppar (ton/år)	Zink (ton/år)	Kadmium (kg/år)
Varpan	1,4	3	-
Kisbränder	2,1	145	160
Norra industriområdet (nuvarande Stora Enso Research)	1,0	7	1,5
Slaggfyllning, östra stadsdelen	<0,02	<0,1	<0,1
Slaggfyllning, västra stadsdelen	0,3	2,5	1,5
Slagg, fria högar	0,5	3	4
Vällan + slagghögar Korsgården	0,3	2	0,1
Ingarvsmagasinet	7	90	150
Gruvvarp, gruvområdet	1,5	10	19
Rödfärgsråvara	2	20	10
Galgbergsmagasinet	1	10	17
Främbyverket (utsläpp till Runn av renat gruvvatten)	0,4	25	20
SUMMA PRIMÄRUTSLÄPP	17,5	318	ca 400

Någon fullständig kartläggning av metalläckaget från olika källor har inte gjorts därefter. Dock har några översiktliga beräkningar genomförts för zink- och järnäckaget från delområdena Ingarvsmagasinet och rödfärgsråvaran ("Uppsamling av förorenat grundvatten från Ingarvsmagasinet och rödfärgsråvaran", GVT AB, 2001) samt för Galgbergsmagasinet ("Uppsamling av förorenat grundvatten från Galgbergsmagasinet", GVT AB, 2001). Resultat redovisas i Tabell 11.

Tabell 11. Resultat av metalläckageberäkningar för Ingarvsmagasinet, rödfärgsråvaran och Galgbergsmagasinet (från GVT, 2001).

METALLÄCKAGE	Zink (ton/år)	Järn (ton/år)
Ingarvsmagasinet	20-33	30-45
Rödfärgsråvaran	9-11	55-65
Galgbergsmagasinet	2-5	30-50

Årligen redovisas resultaten av de tre vattenkontrollprogram som har anknytning till gruvavfallets metalläckage (DVVF, Faluprojektet och Stora Enso). En samlad utvärdering av dessa mätningar gjordes 2003-04 av Svensk MKB och Mopelikan på uppdrag av Länsstyrelsen i Dalarnas län. I utredningen ges en samlad bild av metalltransporten i Faluån och dess tillflöden.

Någon samlad utvärdering av all provtagning i form av kartläggning av metalläckaget från olika gruvavfallsobjekt har dock inte genomförts sedan Faluprojektet startade.

6. KARTLÄGGNING AV DELOMRÅDEN MED BERÄKNING AV METALLÄCKAGE

Som underlag inför prioritering av åtgärder vid gruvområdet i Falun har en kartläggning av dagens vattenflöden och metallurlakningen från olika delområden kring Falu Gruva genomförts.

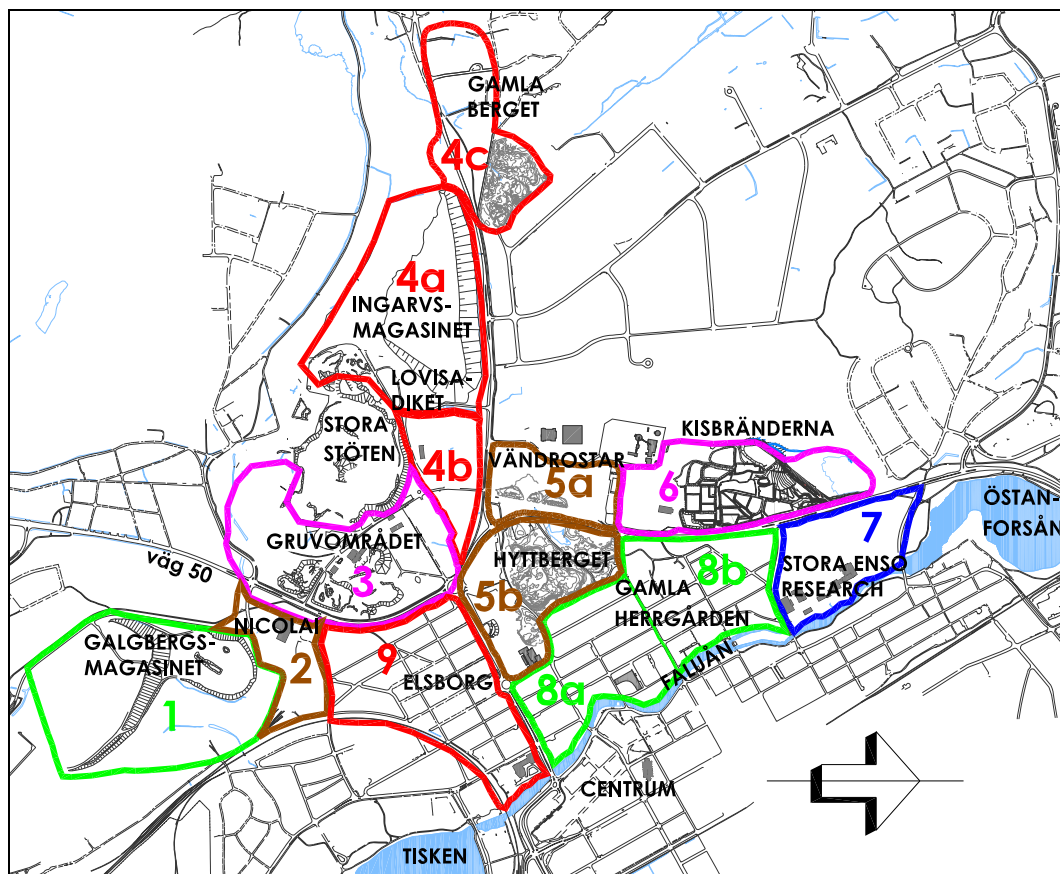
I avsnitten nedan redovisas hur stor metallurlakningen från olika delområden kring Falu gruva är idag, samt när de pågående åtgärderna inom ramen för Faluprojektet avslutas. Till grund för transportberäkningarna ligger tidigare genomförda undersökningar och utredningar, samt kompletterande fältarbeten som genomförts inom ramen för föreliggande projekt.

Samtliga geohydrologiska borringar som gjorts kring Falu gruva under åren 1989-2003 har sammanställts och redovisas i borrprotokollet, bilaga 1. Var borringarna är belägna framgår av ritning-110. Tolkningar av borrhingsresultaten redovisas under respektive områdesbeskrivning (avsnitt 6.3 till 6.11) nedan.

En förteckning över utredningar som utförts inom Faluprojektet redovisas i bilaga 9:1. I bilaga 9:2 listas övriga utredningar som har haft betydelse vid utvärderingen.

6.1. Områdesindelning

Omgivningarna kring Falu gruva som bidrar med metallförorenat vatten till Faluån och Tisken har delats in i nio delområden, vilka redovisas på ritning –102 samt i Figur 9 nedan.



Figur 9. Områdesindelning för flödes- och metalläckageberäkningar.

Områdena benämns:

- **OMRÅDE 1** – Galgbergsmagasinet
- **OMRÅDE 2** – Nicolaiområdet (f d Timmervägen)
- **OMRÅDE 3** – Gruvan/Rödfärgsråvaran
- **OMRÅDE 4** – Ingarvsmagasinet med omnejd
 - 4a: Sandmagasinet inklusive Lovisadiket
 - 4b: Ställverksområdet
 - 4c: Gamla Berget
- **OMRÅDE 5** – Hyttberget/Vändrostarna
 - 5a: Vändrostarna (Västra Industriområdet)
 - 5b: Hyttberget
- **OMRÅDE 6** – Kisbränderdeponin
- **OMRÅDE 7** – Stora Enso Research (Norra industriområdet)
- **OMRÅDE 8** – Gamla Herrgården/Prästtåkten
 - 8a: Prästtåkten (området söder om Nybrogatan)
 - 8b: Gamla Herrgården
- **OMRÅDE 9** – Elsborg

Områdesindelningen har gjorts främst med hänsyn till avfallens karaktär på de olika platserna, med viss hänsyn tagen till avrinningsområdenas utseende, samt möjligheterna att göra en samlad åtgärd för delområdet.

6.2. Metod

Beräkningar av metalläckaget från de olika delområdena har utförts på tre principiellt skilda sätt:

- Uppmätta metallhalter i grundvattnet har multiplicerats med framräknade grundvattenflöden. Grundvattenflödet har i sin tur beräknats utifrån grundvattenbildningen för området och markens förmåga att transportera grundvatten.
- Utifrån Faluprojektets kontrollprogram har metalltransporten i ytvatten (Faluån, Syrabäcken, Gruvbäcken, Ingarvsdiket) hämtats. Metalltransporten på olika sträckor har relaterats till olika delområdena där så är möjligt.
- Avfallens innehåll av lakbara metaller har tidigare studerats i lakförsök och mätningar i vattendrag. De "schablonvärden" för årlig urlakning av metaller från olika typer av gruvavfall (främst slagg) i Faluområdet som tagits fram i undersökningarna har använts för att beräkna metalläckaget, framförallt från de rena slaggområdena.

Resultaten av de olika beräkningsmetoderna har jämförts med varandra och utifrån det har en rimlighetsbedömning av metalläckaget från vart och ett av delområdena gjorts.

6.3. OMRÅDE 1 – Galgbergsmagasinet

6.3.1. Historik

Galgbergsmagasinet användes som upplag för avfallssand från anrikningsverket under åren 1944 till 1982. 1944 påbörjades pumpning av avfallssand till den så kallade Nedre Dammen. Dit fraktades också äldre anrikningssand som tidigare hade lagts upp öster om anrikningsverket. 1965 öppnades Övre Dammen och den användes till år 1983 då det Nya Sandmagasinet (Ingarvsmagasinet) togs i drift.

Anrikningsverket byggdes 1926-27 intill Oscars schakt vid gruvan. Tidigare anrikades malmen för hand (skrädning eller sovring) eller med hjälp av vatten (vaskning). I det nya anrikningsverket maldes malmen till ett fint pulver (slig). Därefter avskiljdes koppar, bly, zink och svavelkis genom olika flotationsprocesser i anrikningsverket. 1975-77 byggdes hela flotationsdelen i anrikningsverket om och 1987 infördes avskiljning av guld och silver som ett försteg innan flotationen. Drygt hälften av den mängd malm som gick in i anrikningsverket blev avfallssand.

Galgbergsmagasinet är idag sluttäckt, både Nedre och Övre Dammen. Täckning av magasinet påbörjades 1989 och pågick kontinuerligt t o m 1997. En mindre del av magasinet kunde inte täckas helt klart förrän en kraftledning flyttades, vilket skedde år 2000. Hela återställningsarbetet blev klart 2001 och bekostades av dåvarande Stora Kopparbergs Bergslags AB.

6.3.2. Tidigare undersökningar

De borrhningar, gamla och nya, som gjorts vid Galgbergsmagasinet har sammanställts på ritning-1:01. Borrprotokollet återfinns i bilaga 1:1.

Utredningar/rapporter (av betydelse för beräkningarna):

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
Utredningar i samband med tillståndsansökan för täckningsarbetet	SGI	1988
Markens metallinnehåll i Falu tätort med omgivning. Redovisning av markundersökningar 1973-1993. MH 1995:9.	Per-Erik Sandberg, Miljö- och hälsoskydd, Falu kommun.	1995
Sandmagasin: Hydrogeologiska undersökningar.	Bo Ledin, GVT AB	1995

Stora Ensos har ett kontrollprogram för att följa upp sluttäckningen av Galgbergsmagasinet. Kontrollprogrammet innehåller bland annat vattenprovtagning i Syrabäcken/Pilbodiket (uppströms och nedströms Galgbergsmagasinet), samt mätningar av syrehalten i magasinet under tätskiktet.

6.3.3. Kompletterande undersökningar

GRUNDVATTEN

Eftersom det finns relativt få grundvattenrör på och kring Galgbergsmagasinet, utfördes kompletterande borrhningar i januari 2004. Borrprotokollen redovisas i bilaga 1:1. De nya rören sattes framförallt nedströms magasinet, vid dess östra släntfot, samt mellan Övre och Nedre Dammen. Syftet med borrhningarna var att skaffa kunskap om grundvattenytans läge/lägesvariationer samt grundvattnets kvalitet på olika djup, för att kunna projektera en eventuell uppsamlingsanordning för lakvatten så bra som möjligt.

I samband med borrhningarna togs grundvattenprover ut ur rören och grundvattennivån mättes. Analysresultaten redovisas i bilaga 2. Mätningar av grundvattennivån har legat till grund för nivåkartan på ritning -106.

YTVATTEN

För att kartlägga var de största läckagen till ytvatten sker längs magasinet, utfördes konduktivitetsmätningar i diket som rinner längs magasinets sidor och mellan Övre och Nedre dammen i april/maj 2004. Resultatet av mätningarna redovisas på ritning-1:02. Det visade sig att en stor del av konduktivitetshöjningen sker på en relativt kort sträcka mellan Övre och Nedre dammen, där grundvatten (lakvatten) tränger fram. Även längs Nedre dammens östra släntfot sker ett märkbart läckage till diket.

Kompletterande vattenprovtagning utfördes i juni 2004 för att få ett grepp om storleksordningen på metallläckaget kring Galgbergsmagasinet. Provtagningen utfördes samtidigt med Faluprojektets kontroll, där provtagning och flödesmätning i Syrabäcken (nedströms Galgbergsmagasinet) ingår.

6.3.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

Moränen inom området är i huvudsak sandig siltig och relativt sten- och blockrik. Det är svårborrat inom området på grund av sten och block, samt för att moränen är hårt lagrad. Borringarna som utförts är inte djupare ca 2 m på grund av svårigheter att tränga ner. Moränen är tät, vilket innebär att grundvatten (lakvatten) läcker ut längs hela släntfoten på nedre magasinet och där förekommer sumpmark (torvbildning).

Falu kommun (Miljö- och hälsoskydd) konstaterade 1995 att "i det mest metallpåverkade området vid Galgberget-Falu gruva finns ingen vegetation och nedbrytningen av förna (tallbarr) är starkt hämmad varför humusskiktet inte nybildas".

AVFALLSTYPER

I Galgbergsmagasinet har avfallssand från anrikningsverket deponerats. Dels sådan som producerades mellan åren 1944-1965 (Nedre Dammen) och 1965-1982 (Övre Dammen), och dels äldre anrikningssand som transporterades till Nedre Dammen från ett tidigare upplag öster om anrikningsverket.

Anrikningssanden förekommer även norr om Galgbergsmagasinet (nedströms), som ett resultat av att anrikningssand spolats ur dammarna då dessa var i drift vid tillfällen med extrema flöden.

TÄCKNING

Galgbergsmagasinet är idag sluttäckt. Inför återställningen gjordes utredningar och försök kring olika täckningsmaterial och metoder.



Idén om att använda restprodukter från pappersindustrin som täckmaterial väcktes och testades, först i liten skala och sedan på större provytor. Resultaten användes för det fortsatta arbetet med sluttäckning av hela magasinet. Förutom att täckmaterial och blandningsförhållanden provades ut, utvecklades även metoder för materialutläggning och för kontroll av täckningens funktion.

Materialen och metoden för täckning som provades fram var: ett tätskikt (ca 1,0 m) av bioslam och aska från Kvarnsvedens pappersbruk samt ett växtskikt/skyddsskikt (ca 0,5 m) av morän, barkavfall m m.

Syftet med täckningen är främst att förhindra syreinträngning och därmed hindra en accelererande vittring i magasinet.

6.3.5. Yt- och grundvattenflöden

Recipient för lakvatten från Galgbergsmagasinet är Syrabäcken. Syrabäcken är kulverterad på vissa sträckor och mynnar i Tisken, det vill säga nedströms Faluån men uppströms Slussen. Både avrinnande ytvatten från magasinet och lakvattenförorenat grundvatten från magasinet läcker fram i Syrabäcken. Galgbergsmagasinet underlagras av tät morän som är mycket hård mot djupet. Moräntäcket är troligtvis tunt men bergläget har inte kunnat fastställas vid de borrhningar som utförts. Grundvattenflödet är i stora drag riktat mot nord-nordost. I moränen är grundvattenflödet litet, den största delen av vattnet som infiltrerar på magasinet läcker ut i släntfoten, längs hela nedre magasinet och till diket mellan övre och nedre magasinet. Längs hela nedre magasinets östra sida är området vattensjukt och försumpat. Grundvattenflödet i moränen nedströms magasinet är försumbart i förhållande till utläckaget.

6.3.6. Metallläckage

Uppmätta metallhalter i ytvatten vid Galgberget redovisas på ritning -1:02. På ritning -1:03 redovisas uppmätta metallhalter i grundvatten.

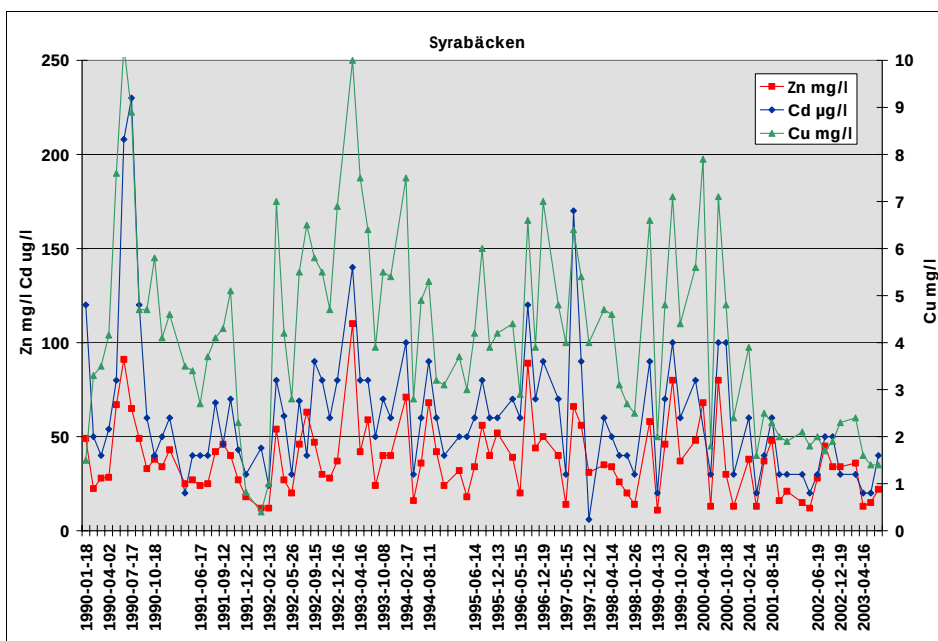
Metallläckaget från området utgörs i huvudsak av vad som läcker fram till Syrabäcken. Uppmätta metalltransporter i Syrabäcken inom ramen för Stora Ensos kontrollprogram 1990-2003 redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 12. Metalltransporter i Syrabäcken 1990-2003.

År	Metalltransport i Syrabäcken(ton/år)				Flöde	Årsnederbörd
	Zn	Cu	Fe	Cd	m³/h	mm
medel 90	10	1,4	52	0,019	38	665
medel 91	6	0,7	27	0,009	26	548
medel 92	2	0,3	12	0,004	8	597
medel 93	3	0,4	20	0,004	8	713
medel 94	1	0,2	16	0,002	5	607
medel 95	3	0,4	34	0,006	12	704
medel 96	4	0,5	24	0,010	18	567
medel 97	4	0,7	50	0,008	19	768
Medel -98	3	0,5	30	0,006	20	717
Medel -99	3	0,3	38	0,004	10	579
Medel -00	5	0,7	78	0,010	26	679
Medel -01	2	0,2	33	0,003	11	556
Medel-02	1	0,1	23	0,002	8	555
Medel -03	2	0,2	28	0,003	11	583
medel 90-03	2,7	0,36	34,9	0,005	14	

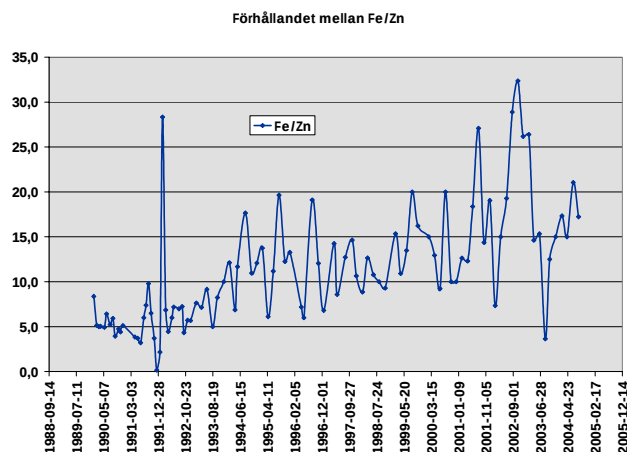
Läckaget av zink till Syrabäcken har under senare år har varit ca 2 ton zink per år, ca 0,2 ton koppar per år och för kadmium ca 2-3 kg per år.

Täckningen av Galgberget påbörjades 1989 och var till största del avslutat till 1997, men en mindre del av nedre magasinet färdigtäcktes inte förrän början av 2001. Anledningen att hela Galgbergsmagasinet ej färdigtäckets 1997 var att en kraftledning måste flyttas.



Figur 10. Variationer i zink-, koppar- och kadmiumhalter i Syrabäcken 1990-2003.

Enligt figuren ovan kan man se att metallerna väl följer varandra. Från 2001 är variationer i halt över tiden mindre än under tidigare år, motsvarande gäller även för flödet.



I diagrammet till vänster redovisas hur förhållandet mellan järn och zink har förändrats under perioden. Förhållandet Fe/Zn var tidigare ca 5, men under senare år har det legat närmare 20. Järnhalten har legat på en relativt konstant nivå under åren, medan zinkhalten har reducerats.

Det beräknade framtida metalläckaget från Galgberget framgår nedan.

Beräknat framtida läckage:

* Zink	2,5-3 ton/år
* Koppar	ca 0,2 ton/år
* Järn	30-40 ton/år
* Kadmium	ca 2 kg/år
* Bly	ca 2 kg/år

6.4. OMRÅDE 2 – Nicolaiområdet

6.4.1. Historik

Inom området har diverse massor tippas under årens lopp, allt från gruvavfall till rena moränmassor. Vid ett antal tillfällen har även avfallsand från Galbergsmagasinet svämmat över området.

6.4.2. Tidigare undersökningar

De borringar som genomförts inom område 2 har sammanställts på ritning-1:01. Borrprotokollet återfinns i bilaga 1.

Utredningar/rapporter (av betydelse för beräkningarna):

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
Miljöfrågor, Anslutningsväg Timmervägen-Väg 50	Bo Ledin, GVT AB	2003

6.4.3. Kompletterande undersökningar

Inga kompletterande undersökningar har utförts i detta område.

Under 2003-2004 byggs en ny anslutningsväg till Galgbergets bostadsområde och i samband med det läggs nya ledningar och ytvattenavrinningen kommer att förändras. Delar av Syrabäcken har/kommer att kulverteras längs den nya vägsträckningen.

6.4.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

Området är flackt och grundvattenytan ligger högt, i stort sett i nivå med markytan i områdets lägre delar. Markmaterialet utgörs av fyllning i form av olika gruvavfall och morän. Under fyllningen utgörs det naturliga markmaterialet av morän, silt och lera. I de lägre partierna dominerar jordarna av både silt och lera med varierande mäktighet. Inom området har tidigare två mindre vattensamlingar förekommit, se ritning -105 (Historiska vattenvägar).

Området nyttjas delvis som industrimark, t ex Bilmetros fastighet där det förekommer stora asfalterade ytor. De lägre (östra) delarna av området är obebyggda.

AVFALLSTYPER

Inom området mellan Galgbergsmagasinet och (gamla) Timmervägen förekommer en blandning av fyllnadsmaterial i form av anrikningssand, slagg, varp, mindre mängder rödfärgsråvara, men även morän och annan fyllning.

I samband med anläggningsarbeten för nya Timmervägen sommaren 2004, har förorenade massor grävts bort från området, dock i mindre omfattning. Massorna har deponerats vid Varggårdens avfallsanläggning.

6.4.5. Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage

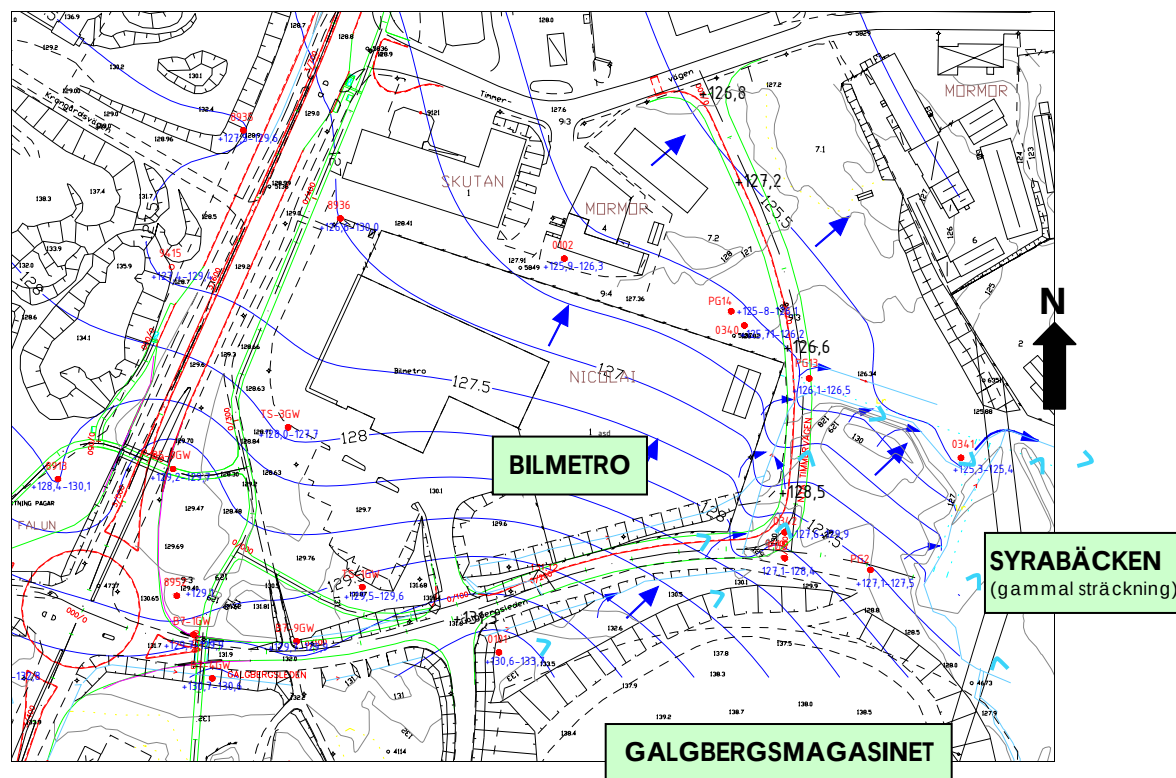
Metalläckaget från Nicolaiområdet har kartlagts i en tidigare utredning ("*Miljöfrågor, Anslutningsväg Timmervägen-Väg 50*", GVT AB, 2003).

Området är flackt och grundvattenytan ligger högt, i stort sett i nivå med markytan i områdets lägre delar. Grundvattenflödet inom området varierar

kraftigt och är komplext eftersom ytvattendikena dränerar av närliggande fyllning. Förekomsten av fyllning gör även att det är svårt att förutsäga grundvattenströmmarna. Endast en liten andel av vattnet som passerar genom fyllningen kan infiltrera/transporteras genom underliggande, täta morän. Merparten tränger istället fram i diken som dränerar området och bär snarare karaktären av lakvatten, än egentligt grundvatten.

Grundvattnet/"lakvattnet" bildas dels genom nederbörd och snösmältning inom själva Timmervägsområdet, dels inom ett nederbördsområde uppströms. Nederbördsområdet uppströms är relativt brant och berget är inom vissa delar ytligt beläget och marken tät, varför grundvattenbildningen bedöms vara liten och ytavrinningen stor. Det förekommer även ett antal diken och dagvattenledningar som avvattnar området, vilket bidrar till minskad grundvattenbildning. Själva Timmervägsområdet är relativt flackt och fyllningen är delvis mer genomsläpplig. Grundvattenbildningen bedöms därför vara större här, men som nämnts ovan tränger huvuddelen av vattnet snabbt fram i de diken som dränerar området.

Grundvattenytans nivå och grundvattnets flödesriktning i stora drag framgår av Figur 11 nedan.



Figur 11. Grundvattennivåer och grundvattnets strömningsriktning. De blå siffrorna visar grundvattenytans läge (plushöjd i FLOK, Faluns lokala höjdsystem). Svarta siffror och höjdkurvor visar markytans nivå, förutom de större svarta siffrorna längs vägsträckningen (gröna linjer) som redovisar blivande Nya Timmervägens nivå. De mörkblå pilarna visar grundvattnets strömningsriktning i marken.

	Zn-läckage	Flöde
• Från området diffust med grundvatten	0,1-0,5 ton/år	5-10 m³/d
• Utläckage av förorenat vatten till diken o s v inom eller i anslutning till området (utlopp i Syrabäcken)	0,6-1 ton/år	10-20 m³/d
• Summa läckage från området uppskattas till	1-1,5 ton/år	15-30 m³/d

Som framgår sker det största läckaget till omgivande diken, medan en mindre del läcker diffust med grundvattnet.

6.5. OMRÅDE 3 – Gruvan/Rödfärgsråvaran

6.5.1. Historik

Inom detta område ligger eller har legat många olika industriverksamheter med anknytning till gruvan, t ex anrikningsverk, vitriolfabrik, rödfärgsverk (fortfarande i drift), svavelkokeri och talkverk. Själva gruvan lades ner 1992, efter att ha varit i drift i över tusen år.

På området förekommer idag upplag av varp, rödfärgsråvara och slagg. Fram till omkring 1700-talet fanns inga större upplag av varp vid gruvan. Orsaken var att man sparade så mycket ofyndigt berg som möjligt nere i gruvan, eftersom det var besvärligt att uppföra utan elektricitet. Under 1800-talet sorterade man dock bort mycket av den malm som togs upp, och denna varp lades i höga tippor på gruvområdet.

6.5.2. Tidigare undersökningar

De borrhinar som genomförts inom område 6 har sammanställts på ritning-3:2. Borrhinprotokollet återfinns i bilaga 1:1.

Utredningar/rapporter (av betydelse för beräkningarna) redovisas i tabell nedan.

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
"Dalälvsdelegationens projekt Gruvavfall, delprojekt 2:4	SGU	1989
"Gruvavfallsprojektet – Geohydrologisk undersökning, delar av gruvområdet"	VIK	1990
"Rödfärgsråvaran", Hydrogeologisk undersökning	GVT AB	1995
"Rödfärgsråvaran", Pumpning för kontroll av utförda åtgärder.	GVT AB	1998
"Stora Kopparberg, Gruvan, Hydrogeologisk undersökning"	GVT AB	1997, rev 1999
Undersökning av total- och lakhalter samt utlakbara mängder metaller från tre områden i Falun	Anna Westman, Uppsala universitet	2000
Metallläckage från rödfärgsråvaran vid riksväg 60, Falu Gruva	SwedPower	2000
Tiskenprojektet – Uppsamling av förorenat grundvatten från Ingarvsmagasinet och rödfärgsråvaran	GVT AB	2001
Falu Gruva-Metallreduktion Förslag och idéer till åtgärder för att reducera metallutlakningen till Faluån.	Envipro Miljöteknik AB	2003
Gruvområdet Falun PM: Reduktion av metallläckaget till Faluån och Tisken	SGI	2003
Lst-Falu kommun, Översiktlig geohydrologisk undersökning och ledningsinventering gruvområdet	GVT AB	2003
Väg 50 Gruvområdet: Teknisk beskrivning av uppsamlingsanordning längs väg 50.	GVT AB	2003

6.5.3. Kompletterande undersökningar

Under vintern och våren 2004 har en uppsamlingsanordning för lakvatten anlagts längs väg 50 (i samband med att vägen byggts om) och i samband med det har vattenprover uttagits. Efter det att nästan hela uppsamlingsanordningen byggts har en provpumpning påbörjats av anläggningen.

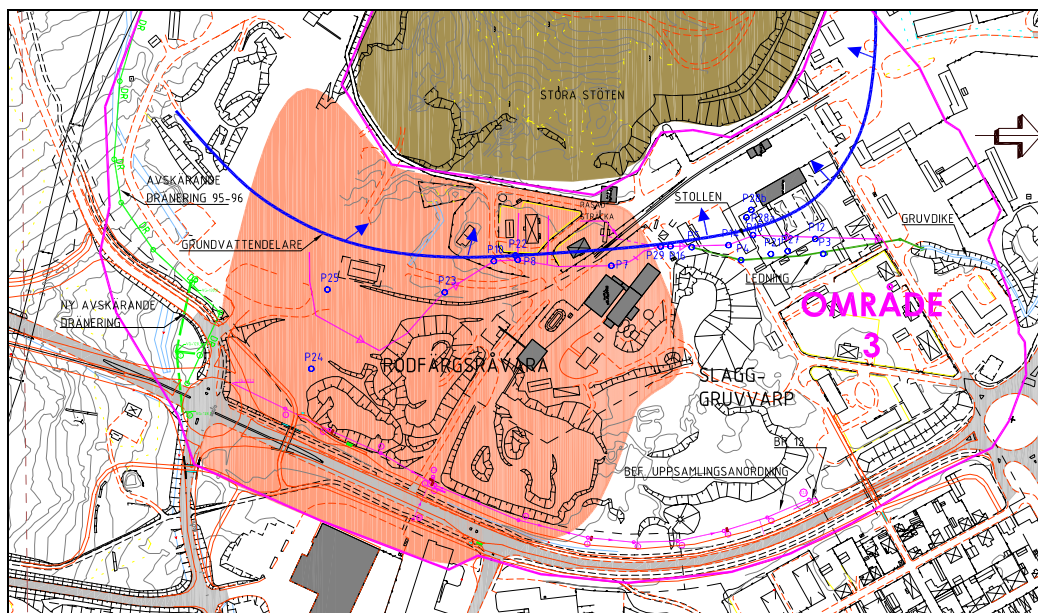
Ytterligare arbeten som har utförts är kompletterande borringar vid planerad reningsanläggning för gruvvatten, vattenprovtagning, inmätning och mätning av grundvattennivåer.

6.5.4. Markförhållanden och avfallstyper

Inom gruvområdets södra del utgörs jordarna till stor del av rödfärgsråvara med varierande kornstorlek, från siltigt till grusigt material. Även slagg förekommer inom den södra delen, vilket lokalt innebär hög genomsläpplighet. Här förekommer också (mindre mängder) avfallssand från anrikningsverket. Området från rödfärgsråvaran och ner mot staden utgörs av varierande fyllning med varierande genomsläpplighet. De genomsläppligare fyllningarna har ingen större utbredning, varför de jordar som har låg genomsläpplighet begränsar grundvattenflödet. Underliggande lera-silt och morän har låg genomsläpplighet.

I gruvområdets norra del förekommer betydligt mer slagg och varp med hög genomsläpplighet än i de södra delarna. Inom vissa delar underlagras slaggen av torv och lera där gamla vattenområden förekommit. I slaggen är fyllningen normalt blandat med diverse tätare material, vilket innebär begränsad genomsläpplighet. Det förekommer dock områden med mycket hög genomsläpplighet, men dessa är oftast lokala vilket innebär att momentant kan en stor grundvattenmängd uttas (magasinstömning, större vattenmängd kan tas ut under ett antal dygn).

I figuren nedan samt på ritning -3:1 framgår var den huvudsakliga rödfärgsråvaran, Stollen o s v är belägna.



Figur 13. Rödfärgsråvarans ungefärliga utbredning

Området ner mot staden utgörs inom stora delar av slagg som underlagras av silt-lera eller en relativt tät morän.

6.5.5. Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage

Området avvattnas i tre riktningar: dels via Stollen, Gruvdiket vidare till Gruvbäcken och Faluån, dels ner i gruvan (varifrån det pumpas upp och avleds till nuvarande gruvvattenrening vid Främby ARV, se ritning -101) och dels som ett diffust grundvattenflöde ner mot Faluån (genom stadsdelen Elsborg) genom befintliga ledningar och ledningsgravar. I samband med schaktningsarbetena för väg 50 har konstaterats att befintliga dagvattenledningar längs väg 50 var anslutna till kommunens spillvatten. Detta har inneburit att en stor del av metalläckaget, tom november 2004, har gått till kommunens ARV i Främby. I slutet av november 2004 utfördes en omkoppling och idag avleds vattnet till Gruvbäcken.

Inom gruvområdet finns sedan gammalt en stoll från norr till söder. Stollen mynnar ut i ett dike som benämns Gruvdiket på den sista biten ut till Gruvdiket finns även en ledning som ansluter på Stollen och mynnar ut i Gruvdiket.

Stollen/Gruvdiket sträcker sig från gamla anrikningsverket, förbi museet och fram till Gruvrondellen (se ritning -3:1). Gruvdiket fungerar längs vissa sträckor som en dränering för en del av gruvområdet eftersom diket inom stora delar är beläget under grundvattenytan. Stollgången är ett gammalt dike, som är utfört av en träkonstruktion, och genom den sker ett inläckage av grundvatten. Till Stollen/Gruvdiket avleds idag också dagvatten från området vid museet och parkeringen och till viss del från planen vid Rödfärgsverket. Flödet i Gruvdiket varierar kraftigt under året beroende på nederbörden. I samband med

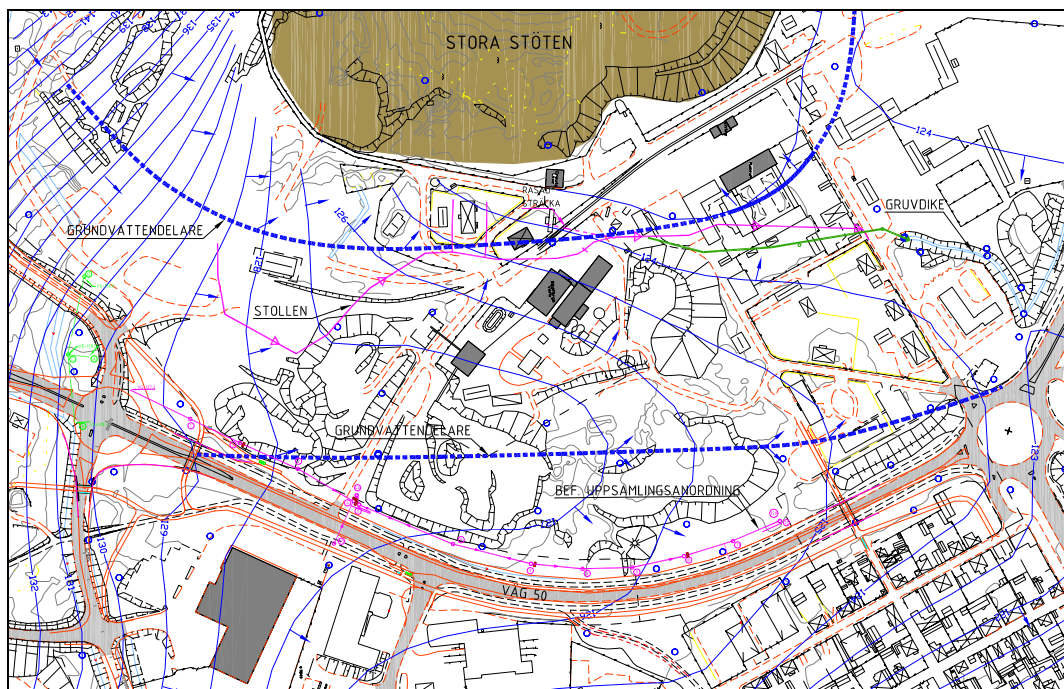
provtagningar utförda av Stora Enso, har flödet mätts under de senaste åren och årsmedelflödet (medel av momentana mätningar) har då varierat mellan 0,6 m³/h och 4,3 m³/h. Lägst uppmätta momentana flöde har varit ca 0,1 m³/h och det högsta har varit ca 18 m³/h.

Stollgången användes vid den tidiga gruvdriften för avledning av vatten. Stollen var försedd med överfall i botten för att samla upp slam som sedan kunde användas som Rödfärgsråvara. Längs Stollen fanns ett antal nedstigningsbrunnar varav en del fortfarande finns kvar. Bitvis har Stollen rasat igen och bitvis är det fortfarande möjligt att gå ner i brunnarna och gå i Stollen. En bedömning av Stollen sträckning har gjorts av utifrån gammalt kartmaterial, muntlig information och egna observationer på plats. Under årens lopp har ett antal olika ledningar dragits fram inom området, där man nyttjat Stollen som ledningsschakt. Ett flertal ledningar finns alltså kvar i Stollen men nyttjas inte längre. Nedanstående bilder visar hur Stollen ser ut på några delsträckor.



Figur 14. Stollen

Gruvområdet är ett flackt område med en rörlig grundvattendelare. Vattnet närmast Stora Stöten går ner i gruvan. Denna del av flödet tas idag omhand via länsuppsugning och rening av gruvvattnet vid Främby ARV. Grundvattennivåerna och flödesriktningar redovisas på ritning -3:4 och i figur nedan.



Figur 15. Grundvattennivåer, flödesriktningar och grundvattendelare.

I östra delen av gruvområdet sträcker sig en grundvattendelare som är rörlig (ungefärligt läge redovisas på ritning -3:4 och i figuren ovan), den kan flyttas beroende på yttre förutsättningar. Utförs inga större grundvattensänkningar så ligger den relativt fast. Grundvattendelarens läge innebär att en del av grundvattenflödet är riktat ner mot staden och en del av flödet mot befintligt ledningssystem inom gruvområdet och Gruvdiket/Stollen. Ca 30-40 % av flödet är riktat ner mot staden.

En stor del av området väster om Stollen/Gruvdiket avvattnas mot gruvan, se ritning-3:4 och figur.

Den del av grundvattenflödet som tar vägen **mot staden, diffust** genom jord- och slagglagren och under stadsdelen Elsborg, läcker till viss del in i dagvattensystemet längs Borlängevägen (väg 50)(som tidigare varit ansluten på spillvattnet). Av resterande del som passerar ner mot staden, läcker en stor del sannolikt in i avloppssystemet (dag- och spillvattenledningar, delvis kombinerat system). Metallerna i denna delström hamnar alltså dels i Faluån via dagvattenutsläpp, dels i Främby ARV där de fälls ut och fastnar i det kommunala avloppsslammet.

Området ner mot staden utgörs inom stora delar av slagg som underlagras av silt-lera och en relativt tät morän. Slaggens mäktighet i Elsborgsområdet är normalt liten och grundvattenytan står normalt under slaggen inom stora delar av Elsborg. Det finns en risk att det kan förekomma ett lite större grundvattenflöde längs Gruvgatan (gamla Gruvbäcken) ner mot Faluån men vi bedömer att risken är liten för att några större metalltransporter ska ske i dessa lager. I anslutning till

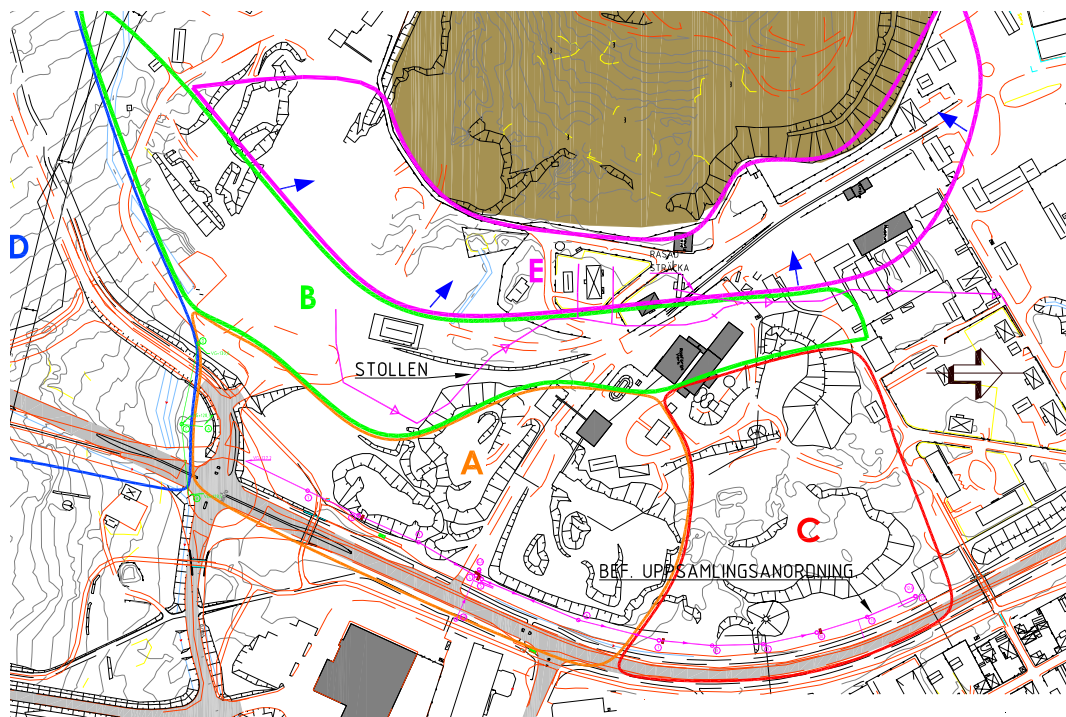
Gruvgatan och Gruvrondellen är en relativt tät morän belägen som en tröskel ner mot Faluån. Vid området runt Gruvrondellen är slaggens mäktighet liten.

Söder om rödfärgsråvaran (uppströms) anlades en avskärande dränering 1995-96, för att minska tillflödet av vatten till gruvan och till rödfärgsområdet. Dräneringens läge framgår av ritning -3:1. Dräneringsvattnet avleds till dagvattenssystemet. Nivån på dräneringen som byggdes bestämdes av befintligt dagvattenssystem, vilket innebar att dräneringen inte blev belägen så djupt som var önskvärt. I samband med anläggandet av väg 50 anläggs nu ytterligare en avskärande dränering uppströms rödfärgsråvaran. Den nya dräneringen läggs djupare och med något annorlunda sträckning jämfört med den gamla, se ritning -3:1.

Grundvattenflöden

Område 6 har delats upp i fem delområden, betecknade A-E, som framgår av ritning -3:3 och nedanstående figur.

- Område A Rödfärgsråvara
- Område B Stollen/Gruvdiket
- Område C Slagg/gruvvarp
- Område D Uppströms Gruvområdet
- Område E Gruvan



Figur 16. Områdesindelning beroende av grundvattenbildning och flödesriktning.

Område A: Inom området förekommer i huvudsak rödfärgsråvara men även en mindre mängd anrikningssand. I mitten av området underlagras rödfärgsråvaran av slagg vilket innebär att den delen av området är lättdränerad. För övrigt har materialet inom området en låg genomsläpplighet vilket innebär att vid en grundvattensänkning längs uppsamlingsanordningen erhåller man en liten påverkan på grundvattennivån uppströms ledningen och troligtvis en något större nedströms. Vid gamla infarten till rödfärgsverket, där slagg förekommer under rödfärgsråvaran, breder grundvattensänkning ut sig betydligt mer. Sedan början av 90-talet har rödfärgsråvaran flyttats närmare gruvans avsänkningstratt. Inom område A kommer troligtvis rödfärgsråvara att hanteras under en mycket lång tid framöver. Vår bedömning att materialet som kommer att flyttas och har flyttats, påverkar framtida läckage från området relativt lite, eftersom det hela tiden kommer att finnas stora kvantiteter rödfärgsråvara inom området så länge rödfärgsverket är i drift.

Vid beräkning av grundvattenbildning inom område A har vi antagit 150 till 250 mm/år. Allt vatten inom område A läcker idag mot Stollen/Gruvdiket eller diffust i ledningssystem, fyllningar o s v ner mot Faluån.

Område B: Inom området förekommer blandad fyllning, som i huvudsak av rödfärgsråvara och varp. Området avvattnas mot Stollen/Gruvdiket. Materialet inom området är något grövre och vi har antagit att ca 200-300 mm/år kan avledas till Stollen/Gruvdiket.

Område C: Inom området förekommer i huvudsak slagg och varp med varierande mäktighet, från någon meter till över 7-8 meter. Området är mycket genomsläppligt i fyllningen, men underliggande silt och morän har en låg genomsläpplighet. Grundvattenflödet inom området är lokalt och styrs till stor del av den naturligt lagrade jordens topografi. Grundvattenbildningen är stor och har beräknats till 200-300 mm/år (närmare 300 mm än 200 mm). Området är idealiskt att använda som utjämningsmagasin. Vid en variation i grundvattennivån med 0,1 m, kan det magasineras ca 800 m³ inom området. Det ska jämföras med att vid en grundvattenbildning på 300 mm/år är grundvattenflödet (som medel) från området ca 30 m³/d. Vid en nederbörd på 10 mm innebär det att grundvattennivån stiger med 5 cm om inget vattenuttag sker.

Område D: Inom området förekommer i huvudsak morän med relativ låg genomsläpplighet. Det förekommer även mindre mängder av slagg och rödfärgsråvara som tunna lager, eller fyllt i mindre ojämnheter i terrängen. Mellan område A och D har en avskärande dränering byggts under 2004 för att minska grundvattenflödet till rödfärgsråvaran o s v. Del av grundvattenbildningen som kan **läcka in i område 3** härifrån har beräknats motsvara ca 20-50 mm/år.

Område E: Inom område E förekommer till mesta del rödfärgsråvara som transporterats in under de senaste tio åren. Både varp och slagg förekommer också inom området. Området avvattnas i huvudsak till gruvan.

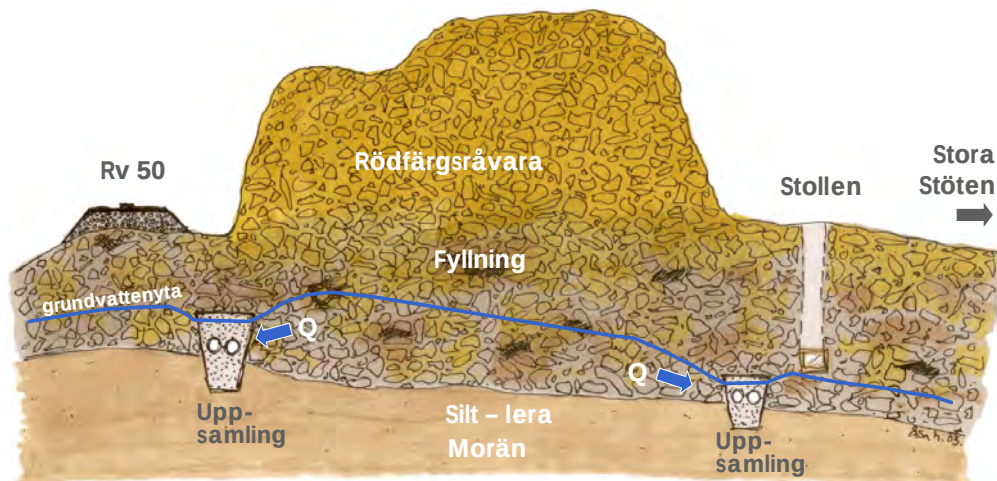
I tabellen nedan redovisas grundvattenbildningen inom områdena A-D. Område E berörs inte, eftersom vatten inom detta område avvattnas till Gruvan och behandlas vid Främby ARV.

	Område A	Område B	Område C	Område D	Summa
Grundvattenbildning, antagen/undersökt	150/250 mm/år	200/300 mm/år	200/300 mm/år	20/50 mm/år	
Grundvattenflöde, beräknat	0,9/1,4 m³/h	1,0/1,4 m³/h	0,9/1,4 m³/h	1,2/3,0 m³/h	4-7 m³/h

Befintlig uppsamlingsledning - Provpumpning

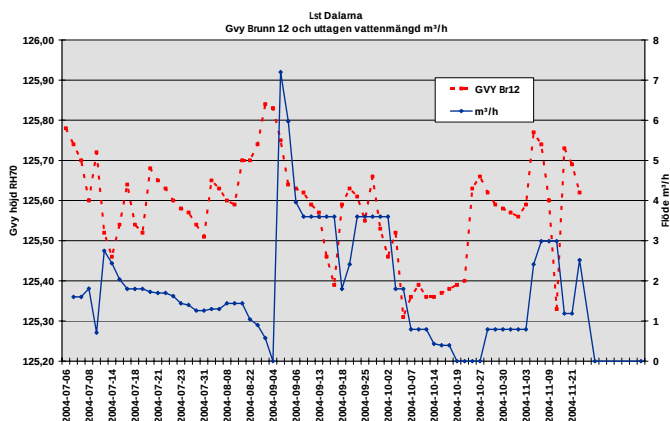
Drygt 500 m av en uppsamlingsledning för förorenat grundvatten (lakvatten) från gruvområdet har byggts längs väg 50. En kortare sträcka (ca 40 m) som ska korsa väg 50 är inte färdigställd, utan den kommer att byggas under år 2005.

Uppsamlingsledningen är konstruerad så att en (dubbel) dränering läggs i en sand med hög genomsläpplighet djupt under lägsta grundvattenytan, ner i den underliggande moränen med låg genomsläpplighet. Sanden fylls upp till nivån för högsta grundvattenyta. Längs ledningen sänks grundvattennivån något vilket innebär att man samlar upp i princip hela grundvattenflödet, se figur nedan. Grundvattennivån styrs med hjälp av nivåregleringsbrunnar som placerats med regelbundna mellanrum längs uppsamlingsledningen.



Figur 17. Principbild uppsamling

Den uppsamlingsledning som finns idag längs väg 50 byggdes under våren 2004. Under i stort sett hela byggperioden utfördes en länshållning till en viss nivå. Det innebär att ett grundvattenuttag från området har pågått innan det att propumpningen av ledningen påbörjades.



En provpumpning av ledningen utfördes för att kontrollera funktion, flöde och vattenkvalité. Pumpningen påbörjades 2004-07-07 och uttagen vattenmängd har varierat mellan ca 1-7 m³/h. Det största vattenuttaget skedde endast under en dag, se diagram till vänster. I början av oktober minskade flödet drastiskt beroende av att Vägverket byggde en ny

dagvattenledning i anslutning till uppsamlingsledningen. En del av grundvattenflödet från området sker idag till den ny anlagda dagvattenledningen istället för till uppsamlingsledningen. Vägverket kommer att vidta åtgärder för att uppsamlingsledningen ska fungera som planerat.

Medeluttaget under perioden har varit ca 1,6 m³/h med en fördelning per månad enligt nedan.

Juli-04	Augusti-04	September-04	Oktober-04	November-04
1,6 m³/h	1,3 m³/h	3,9 m³/h	0,6 m³/h	1,5 m³/h

Som framgår ovan så minskade flödet drastiskt när Vägverket lade en ny dagvattenledning i direkt anslutning till uppsamlingsledningen. Under höstmånaderna september-november borde flödet ha varit ca 3-4 m³/h. Arbeten pågår för att åtgärda läckaget.

Nivån i pumpbrunnen (Br12) är tänkt att styras mellan +125,4-+ 125,6. Grundvattennivån längs ledningen har sjunkit till den nivå som ställts in i nivåstyrningsbrunnarna. I området där slagg förekommer, under rödfärsråvaran, vid gamla infarten till rödfärgsverket, har grundvattennivån sjunkit under ett större område med ca 0,1-0,5 m. Övriga områden belägna ca 10-20 m väster om ledningen är avsänkningen 0,0-0,1 m. Avsänkningen 30 – 80 m öster om ledningen är ca 0,3-0,6 m.

6.5.6. Metalläckage

Vattenprovtagningar i Gruvdiket har utförts kontinuerligt sedan 1994. Provtagning har utförts en gång per månad under förutsättning att diket ej varit fruset.

Enstaka kompletterande provtagningar har även utförts under årens lopp.

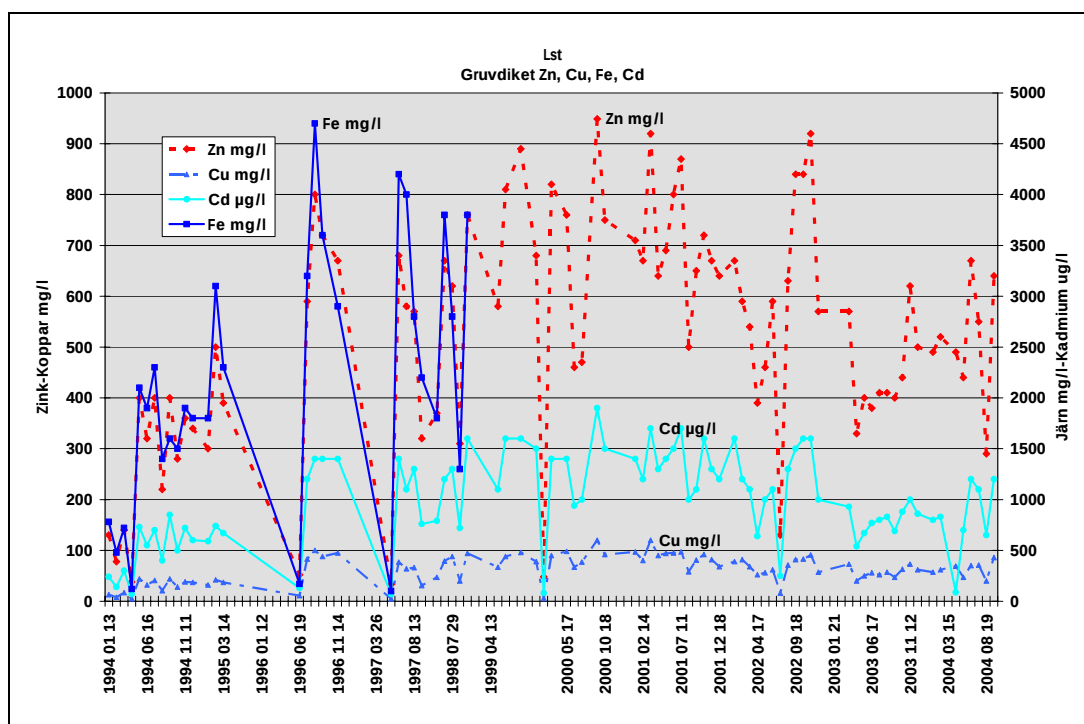
Provtagning Gruvdiket

Resultaten från provtagningen redovisas i tabellen nedan som årsmedelvärden.

Tabell 13. Metallhalter i Gruvdiket från 1994-2004, (för 2004 t o m september).

År	Fe mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	Cd µg/l	Årsnederbörd mm
Medel 94	1383	259	27	483	607
Medel 95	2400	397	37	667	704
Medel 96	2914	566	75	1106	567
Medel 97	2660	437	49	926	768
Medel -98	2700	546	70	1122	717
Medel -99		760	84	1433	579
Medel -00		617	78	1215	679
Medel -01		707	88	1367	556
Medel-02		598	67	1158	555
Medel -03		475	60	808	579
Medel-04 del av		511	63	821	
Medel tot	2186	523	63	993	

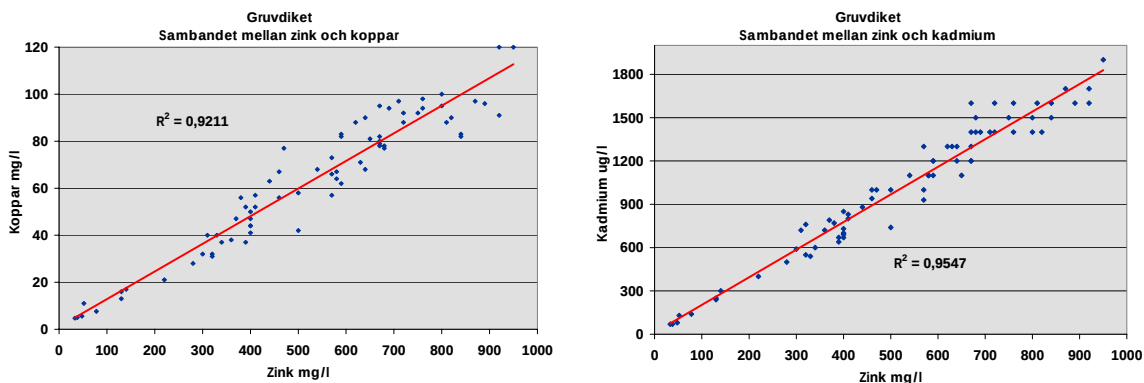
Av sammanställningen kan man konstatera att halterna de senaste 10 åren har varierat något, men det finns ingen tendens till att halterna är på väg att minska. Förhållandet mellan järn och zink (Fe/Zn) varierar mellan 5 och 6.



Figur 18. Analysresultat från Gruvdiket

I ovanstående diagram framgår hur halterna för zink, koppar (vänstra axeln), järn och kadmium (högra axeln) varierat under åren.

Förhållandet mellan kadmium och zink samt koppar och zink i Gruvdiket visas i diagrammen nedan.



Figur 19. Sambandet mellan zink- och koppar- samt zink- och kadmiumhalter i Gruvdiket.

Som framgår är sambandet starkt mellan zink och koppar och zink och kadmium.

I tabellen nedan redovisa uppmätt transport av metaller, samt flöden i Gruvdiket från 1994 till 2003.

Tabell 14. Metalltransport och flöde i Gruvdiket.

År	Metalltransport (ton/år)				Flöde m³/h
	Fe	Zn	Cu	Cd	
Medel 94	35	7	0,7	0,016	2,9
Medel 95	32	5	0,5	0,009	1,6
Medel 96	36	7	1,0	0,015	2,6
Medel 97	31	6	0,6	0,010	4,6
Medel -98	40	8	1,0	0,016	1,7
Medel -99		4	0,5	0,008	0,6
Medel -00		6	0,8	0,014	1,3
Medel -01		9	0,9	0,014	1,5
Medel -02		7	0,8	0,013	1,8
Medel -03		6	0,8	0,012	1,8
Medel 94-03	35	7	0,8	0,014	2,1

På ritning 3:05 redovisas ett antal provtagningar i Stollen/Gruvdiket och tillhörande ledningssystem. En del av dessa provpunkter i (Stollen/Gruvdiket) redovisas tabellen nedan. Provpunkternas läge framgår också av ritning 3:1.

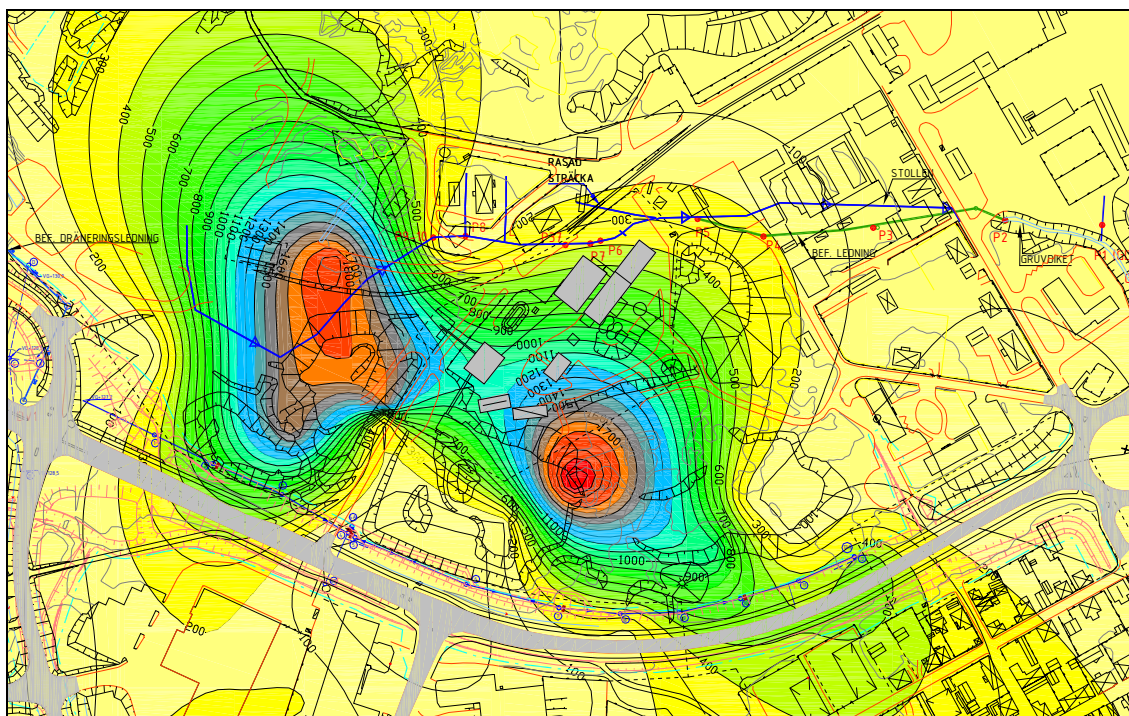
Tabell 15. Uppmätta halter i Stollen. Punkter betecknade **GD** är tagna i Gruvdiket **S** i Stollen, **Ledn** i betongledning och **rör** i inkommande ledning till Stollen.

Punkt	2003-03-27				2003-04-23			
	Fältmätning		Analys		Fältmätning		Analys	
	pH	Kond	Järn	Zink	pH	Kond	Järn	Zink
		mS/m	mg/l	mg/l		mS/m	mg/l	mg/l
P1 (GD)	3,0	113	24	19				
P2 (GD)	2,3	1 035	3 200	570				
P3 (Ledn)	2,4	1 030	3 200	560				
P4 (Ledn)	2,3	1 030	3 100	560				
P5 (S)	2,3	1 050	3 300	580	2,2	1 001	3 000	500
P5 (rör)					3,3	97	75	25
P6 (rör)	2,9	188	180	61				
P7 (S)	2,2	1 190	4 100	780	2,2	1 014	3 000	510
P8 (rör)	2,2	1 190	4 000	690	2,1	1 035	3 200	530
P9 (S)	2,2	1 410	3 500	860				
P10 (S)	2,2	1 440	5 200	850				
P37 (S)					2,2	1 019	3 000	470

Av provtagningarna kan man konstatera att ingen ökning av metallhalterna sker i Stollen från P2 till P5, se ritning 3:05.

Diverse provtagning

Inom området har en mängd prover tagits i grundvattnet och figuren nedan redovisar hur zinkhalten kan variera inom området. Utförda provtagningar redovisas i bilaga 3 och del av provtagningarna på ritning 3:05.

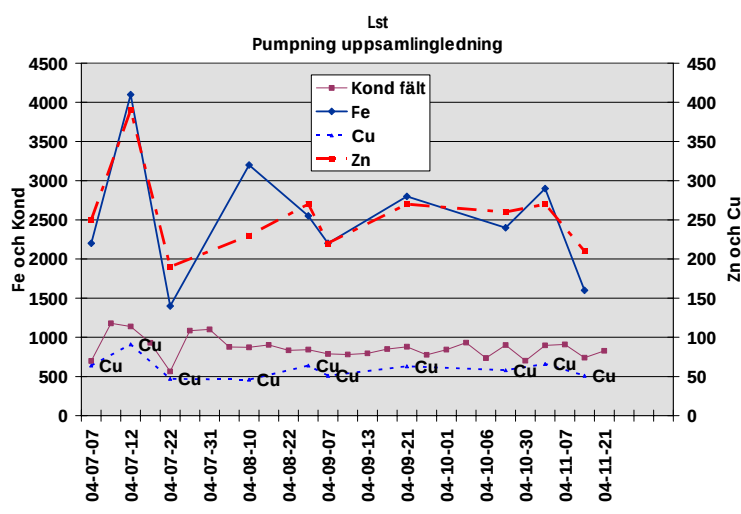


Figur 20. Färgerna och isolinjerna anger zinkhalt i mg/l inom Gruvområdet.

I figuren ovan anger isolinjerna zinkhalten i grundvattnet i mg/l. De blå-röda områdena motsvarar zinkhalter över 1 000 mg/l och de gröna motsvarar zinkhalter över 400 mg/l.

Provpumpning av uppsamlingsledning

Under provpumpningen har vattenprov uttagits. Analysresultaten redovisas i nedanstående tabell och diagram.



Som framgår av diagrammet har det inte varit några större haltvariationer under pumpningen. Medelhalterna under pumpningen har hittills varit:

Zink: 260 mg/l
Koppar: 61 mg/l
Järn: 2640 mg/l
Kadmium: 0,68 mg/l
Bly: 0,18 mg/l

Figur 21. Metallhalter under pumpning av uppsamlingsledning

I tabellen nedan redovisas uppmätt pH, konduktivitet, zink-, koppar-, järn-, kadmium- och blyhalt.

*Tabell 16. Halter av vissa metaller under pumpning av uppsamlingsledning.
Angivna halter i mg/l och konduktiviteten i mS/m.*

Pumpning brunn 12 Uppsamlingsledning analyser 2004										
År 2004	7/7	12/7	22/7	10/8	22/8	7/9	21/9	12/10	2/11	11/11
pH fält	2,45	2,47	2,53	2,6	2,4	2,64	3,2	2,55	2,92	2,89
Kond fält	698	1139	564	872	833	788	880	901	897	731
Järn	2 200	4 100	1 400	3 200	2 550	2 400	2 800	2 400	2 900	1 600
Bly	0,081	0,24	0,068	0,056	0,12	0,35	0,31	0,28	0,41	0,17
Kadmium	0,52	1,3	0,52	0,50	0,53	0,59	0,80	0,64	0,72	0,60
Koppar	64	91	47	46	64	51	63	58	66	51
Zink	250	390	190	230	270	220	270	260	270	210
Fe/Zn	9	11	7	14	9	11	10	9	11	8
Cu/Zn	0,26	0,23	0,25	0,20	0,24	0,23	0,23	0,22	0,24	0,24
Cd/Zn*1000	2,1	3,3	2,7	2,2	2,0	2,7	3,0	2,5	2,7	2,9
Pb/Zn*1000	0,3	0,6	0,4	0,2	0,4	1,6	1,1	1,1	1,5	0,8

Längst ner i tabellen redovisas förhållandet mellan olika metaller. Man kan se att förhållandet mellan järn och zink ligger mellan 7 och 14 att jämföra med Gruvdiket där det ligger på ca 5 till 6.

Av tabellen kan man konstatera att blyhalten visat en stigande tendens under pumpningen, men att dra några slutsatser av det är svårt med en så kort mätserie.

Beräkning av metallflöden

Vid beräkning av metalläckaget från området har olika metoder använts för att göra beräkningen säkrare. Två av dessa metoder redovisas.

Beräkning för varje delområde har skett utifrån uppmätta halter i grund- och ytvatten, samt beräknade grundvattenflöden för området. Som tidigare nämnts har området delats upp i fem delområden A-E. Metalläckaget från område E försvinner ner i gruvan så det behandlas inte i den här utredningen.

Resultatet från beräkningen redovisas i tabell nedan.

Tabell 17. Beräkning av metalläckage från de olika delområdena

Område A										
Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Pb	
m ³ /h	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
0,9	3 500	28	800	6	90	0,7	2,00	15,8	0,40	3,2
1,15	3 500	35	800	8	90	0,9	2,00	20,1	0,40	4,0
1,4	3 500	43	800	10	90	1,1	2,00	24,5	0,40	4,9

Område B										
Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Pb	
m ³ /h	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
1,0	2 200	19	500	4	63	0,6	0,90	7,9	0,10	0,9
1,2	2 200	23	500	5	63	0,7	0,90	9,5	0,10	1,1
1,4	2 200	27	500	6	63	0,8	0,90	11,0	0,10	1,2

Område C										
Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Pb	
m ³ /h	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
1,0	1 000	9	150	1	40	0,4	0,30	2,6	0,01	0,1
1,25	1 000	11	150	2	40	0,4	0,30	3,3	0,01	0,1
1,5	1 000	13	150	2	40	0,5	0,30	3,9	0,01	0,1

Område D										
Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Pb	
m ³ /h	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
1,2	1 000	11	100	1	25	0,3	0,10	1,1	0,01	0,1
2,10	1 000	18	100	2	25	0,5	0,10	1,8	0,01	0,2
3,0	1 000	26	100	3	25	0,7	0,10	2,6	0,01	0,3

Summa					
Flöde	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
m ³ /h	ton/år	ton/år	ton/år	kg/år	kg/år
4,1	66	13	1,9	27	4
5,7	88	17	2,5	35	5
7,3	109	21	3,1	42	7

Längst ner i tabellen redovisas totalt beräknat läckage summerat från alla delområden. Metalläckaget från delområde D avser inte metalläckaget från delområdet utan från det grundvattentillskott man får in i området 3. De högre halterna får man när grundvattenflödet rinner genom de förorenade massorna.

Motsvarande beräkning har även utförts med en annan utgångspunkt, som har varit följande:

- * Uppmätta halter och flöden i Gruvdiket.
- * Uppmätta halter och flöden från provpumpning i uppsamlingsledning.
- * Beräknat flöde och halter i planerad uppsamling.

I tabellen nedan redovisas en sammanställning av beräkningen.

Tabell 18.

Gruvdiket/Stollen

Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Bly	
	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
1,5	2 100	28	525	7	63	0,8	1,00	13	0,1	1,3
2	2 100	37	525	9	63	1,1	1,00	18	0,1	1,8
2,5	2 100	46	525	11	63	1,4	1,00	22	0,1	2,2

Pumpning uppsamlingsanordning

Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Bly	
	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
1,5	2 600	34	260	3	61	0,8	0,68	9	0,18	2,4
2	2 600	46	260	5	61	1,1	0,68	12	0,18	3,2
2,5	2 600	57	260	6	61	1,3	0,68	15	0,18	3,9

Planerad uppsamlingsanordning

Flöde	Fe		Zn		Cu		Cd		Bly	
	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år	mg/l	kg/år	mg/l	kg/år
1	2 700	24	265	2	63	0,6	0,71	6	0,11	1,0
1,5	2 700	35	265	3	63	0,8	0,71	9	0,11	1,4
2	2 700	47	265	5	63	1,1	0,71	12	0,11	1,9

Summa

Flöde	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
m³/h	ton/år	ton/år	ton/år	kg/år	kg/år
4	85	13	2,2	28	5
5,5	118	17	3,0	39	6
7	150	22	3,8	49	8

Utifrån de två beräkningar har en spridning av de olika metallerna erhållits enligt nedan.

Spridning på beräkning:

*	Zink	13-22 ton/år
*	Koppar	1,9-3,8 ton/år
*	Järn	66-150 ton/år
*	Kadmium	27-49 kg/år
*	Bly	4-8 kg/år
*	Vattenflöde	4-7,3 m ³ /h

Med ovanstående som underlag har vi gjort den bedömningen att de högre angivna mängderna troligtvis är för höga. Blir den avskärande dräneringen för delområde D bra, kan grundvattenflödet minska ytterligare, vilket innebär att vi tror mer på nedan angivna framtida metalläckage och flöden från området.

Beräknat framtida läckage:

*	Zink	13-18 ton/år
*	Koppar	2-3 ton/år
*	Järn	90-120 ton/år
*	Kadmium	30-40 kg/år
*	Bly	4-5 kg/år
*	Vattenflöde	4-6 m³/h

Knappt halva mängden metaller läcker idag ut i Stollen/Gruvdiket. Drygt 10% läcker in i Gruvbäcken och resterande metallmängd läcker med grundvattnet ner mot Faluån och dräneras bort via avloppsledningar i mark (dagvattenledning från gruvområdet var tidigare, före november 2004 ansluten till spillvattnet). En del av dessa metaller hamnar så småningom i Främby ARV där de fälls ut och binds i det kommunala avloppsslammet.

Den del av metalläckaget som kommer från vägområdet har beräknats till ca 20% av det som samlas upp i den nybyggda uppsamlingsledning, vilket innebär:

Beräknat läckage från vägområdet:

*	Zink	0,9 ton/år	vilket är ca 6% av framtida läckage
*	Koppar	0,2 ton/år	vilket är ca 8% av framtida läckage
*	Järn	9 ton/år	vilket är ca 9% av framtida läckage
*	Kadmium	2,4 kg/år	vilket är ca 8% av framtida läckage
*	Bly	0,6 kg/år	vilket är ca 8% av framtida läckage

Metalläckaget som kan hänföras till **vägområdet är ca 8 %** av det totala läckaget.

6.6. OMRÅDE 4 – Ingarvsmagasinet och Lovisa

Område 4 har för viss redovisning delats upp på tre delområden – område 4a (själva sandmagasinet, inklusive gruvavfallet vid Lovisaschaktet), 4b (området öster om magasinet, "nedströms" magasinet) samt område 4c (området väster om magasinet, mot Gamla Berget, "uppströms" magasinet). Anledningen till uppdelningen är att karaktären på områdena skiljer sig åt på många sätt, samtidigt som läckaget med fördel bedöms för område 4 som helhet då Ingarvsdiket är gemensam recipient.

6.6.1. Historik

Ingarvsmagasinet togs i drift 1982. Det ersatte då det dåvarande sandmagasinet – Galgbergsmagasinet - som togs ur drift av utrymmesskäl. Ingarvsmagasinet drevs till och med år 1993, då den sista kvarvarande gruvverksamheten (förutom Rödfärgstillverkningen) i Falun lades ner. I första hand har magasinet använts som deponi för den avfallssand som uppkom vid anrikningsverket. Förutom anrikningssand, så innehåller magasinet en relativt stor mängd gråberg av växlande sammansättning. Övrigt material som deponerats är anrikningssand från Galgberget, kisbränder och metallhydroxidslam.

Återställningen av Ingarvsmagasinet påbörjades år 1997 och avslutades sommaren 2004. Magasinet har täckts med samma material och metod som Galgbergsmagasinet, dvs med ett tätskikt (ca 1,0 m) av bioslam och aska från Kvarnsvedens pappersbruk samt ett växtskikt/skyddsskikt (ca 0,5 m) av morän, barkavfall m m. Syftet med täckningen är främst att förhindra syreinträngning, och därmed accelererande vittring i magasinet. Återställningen av Ingarvsmagasinet har ingått som en del i Faluprojektet.

Inom området nedströms Ingarvsmagasinet (4b - Transformatorstationen) har det längre tillbaka i tiden legat flera hyttor och området är utfyllt med slagg. Vid hyttorna höjde man kopparhalten i malmen genom att skilja bort övriga beståndsdelar. Detta skedde i en komplicerad process med ömsom oxiderande rostning, ömsom reducerande smältning. Första hyttorna längs Hyttbäcken (vid nuvarande Västra skolan) omnämns redan i början av 1400-talet. Den sista traditionella hyttan i Falun lades ner på 1870-talet. Med anledning av hyttförekomsten är område 4b värdefullt ur kulturmiljösynpunkt.

Inom området väster om Ingarvsmagasinet (4c) förekommer i huvudsak slagg. Dels i synliga högar samt fyllning norr om väg 293, mellan Industriområdet Ingarvet och bostadsbebyggelsen på Gamla Berget, dels söder om väg 293.

6.6.2. Tidigare undersökningar

De borringar som genomförts vid Ingarvsmagasinet har sammanställts på ritning -4:01. Borrprotokollet återfinns i bilaga 1.

Nedan listas ett antal utredningar som behandlar metallurlakningen från Ingarvsmagasinet med kringområden.

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
Nytt sandmagasin – teknisk beskrivning	VIAK AB	1979
Teknisk kartläggning av gruvavfall i Falun. Projekt 2:2 i Dalälvsdelegationens gruvavfallsprojekt.	A-M Fällman, SGI och U Qvarfort, Uppsala Universitet	1990
Prognos över framtida läckage från Ingarvsmagasinet	B Ledin, GVT AB och U Qvarfort, Uppsala Universitet, Institutionen för Geovetenskap	1998
Avslutningsplan för Ingarvsmagasinet	Å Hanæus och B Ledin, GVT AB	2004
Årlig miljörapport	Faluprojektet	1995-2004

6.6.3. Kompletterande undersökningar

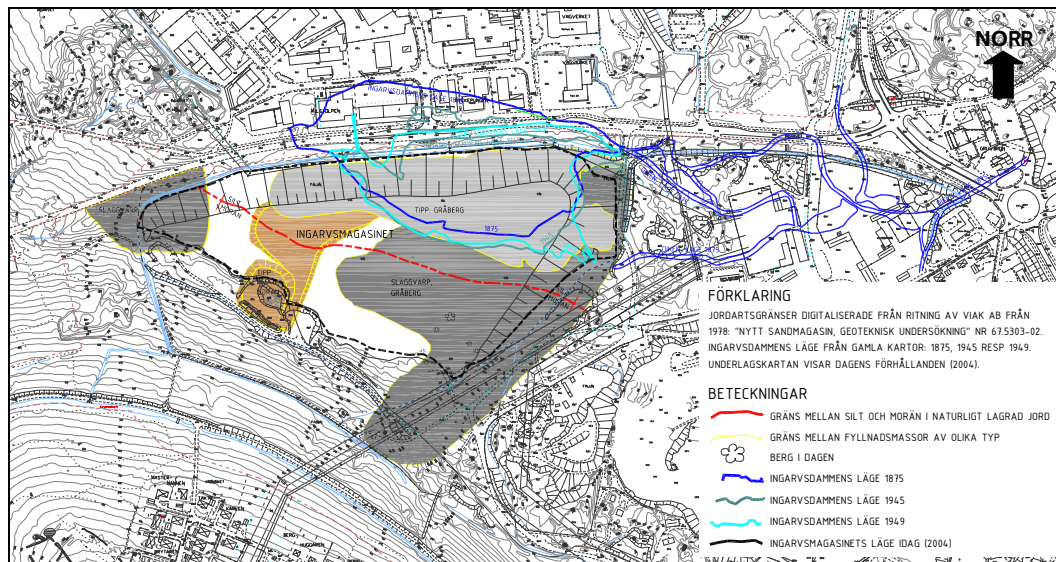
För att få bättre underlag vid bedömning av metallläckaget, framför allt från område 4b och 4c, har kompletterande mätning och provtagning utförts längs Ingarvsdiket med tillflöden vid några tillfällen under våren 2004.

Kompletterande grundvattenprover har tagits vid tre tillfällen. Dels i befintliga grundvattenrör i Ingarvsmagasinet, dels i de dräneringspunkter (5 st) som finns i magasinets släntfot.

Därtill har Ingarvsdikets läge längs magasininfoten mätts in i detalj inför eventuell projektering.

6.6.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN



Figur 22. Jordarter och fyllnadsmassor av olika typ vid Ingarvsmagasinet, som det såg ut innan magasinet togs i drift.

Området som Ingarvsmagasinet är uppfyllt över, utgörs inom de södra (högre belägna) delarna av morän. Moränen är i huvudsak siltig, med låg genomsläpplighet. I sandmagasinet nordöstra del låg tidigare den s k Ingarvsdammen. Där dammen tidigare var belägen utgörs jordarna av torv/lera/silt som underlagras av morän. Över delar av den gamla dammen låg tidigare en gråbergstipp. Bergmaterialet är idag till viss del nedpressat i Ingarvsdammens sediment och överlagras av anrikningssand. Längs Ingarvsdiket förekommer lera och silt med varierande mäktighet.

Sydost om Ingarvsmagasinet, mot kanten av Stora Stöten vid Lovisaschaktet, finns upplag av varp och slagg. Upplagen avvattnas delvis till Lovisadiket som mynnar i Ingarvsdiket, men också till gruvan. I detta område utgörs underliggande mark av tunna moränlager på berg, men ibland förekommer även slagg/varp direkt på berget.

Inom område 4b, öster om magasinet, utgörs marken främst av morän. Moränen är överlagrad av slagg, dels som fyllning, dels i form av synliga upplag. Under olika tidsepoker har diken från Ingarvsdammen runnit genom området längs olika sträckningar, se ritning -105 (historiska vattenvägar). Dikena är idag igenfyllda, men kan eventuellt fungera som mer eller mindre effektiva grundvattendraineringar av området, till Gruvdiket och/eller Ingarvsdiket.

Område 4c, Gamla Berget, väster om magasinet, utgörs främst av slagg. Dels i synliga högar norr om väg 293 (mellan Industriområdet Ingarvet och bostadsbebyggelsen på Gamla Berget), dels söder om väg 293. Slaggen underlagras av morän.

AVFALLSTYPER

Omfattande inventeringsarbete och undersökningar har tidigare genomförts för att kartlägga vilka avfallsslag som finns deponerade i Ingarvsmagasinet. Följande uppskattning av magasinets innehåll har gjorts:

Tabell 19. Uppgifter om magasinet inklusive uppskattade och kända deponerade mängder av olika material i Ingarvsmagasinet.

Material	m ³	%
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
Summa	1 225 000	100%

I första hand har magasinet använts som deponi för den avfallssand som uppkom vid anrikningen. Inom vissa partier har det dock vid inventering och borrhningar påträffats äldre, vittrat material, som lagts upp innan sandmagasinet togs i drift. Genom jämförande studier av gamla flygbilder har det framkommit att det äldre materialet i stort sett är lokaliserat till sandmagasinets nordöstra del och härrör från 1945-1955. Borrhningar har tidigare utförts för att fastställa materialets egenskaper och materialet visade sig innehålla höga lakbara mängder zink och järn. Med hänsyn till de relativt höga resthalterna av zink, härstammar materialet troligen från en period då man främst anrikade fram koppar. Förutom anrikningssand, så innehåller magasinet en relativt stor mängd gråberg av växlande sammansättning. Detta har bl a använts som material i dammvallarna och påfördes under senare tid även magasinets överyta. Övrigt material som deponerats är anrikningssand från Galgberget, kisbränder och metallhydroxidslam. Ett försök att uppskatta mängderna har redovisats i Tabell 19. Därutöver har täckmaterial i form av bioslam/aska från Grycksbo pappersbruk påförts.

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

Inom område 4c förekommer som nämnts ovan främst slagg. Volymen slagg norr om väg 253 har beräknats till ca 100 000 m³. Volymen slagg söder om väg 253 är mer osäker men det rör sig om i storleksordningen ca 10 000-15 000 m³.

Inom område 4b nedströms Ingarvsmagasinet har det legat flera hyttor och området är utfyllt med slagg.

6.6.5. Yt- och grundvattenflöden

YTVATTEN

Det största vattendraget i området är Ingarvsdiket, som löper parallellt med Ingarvsmagasinet norra släntfot och vidare mot Gruvrondellen, se ritning -4:02. Ingarvsdiket avleder vatten från sjön Vällan och passerar Ingarvsmagasinet innan det ansluter till Gruvbäcken som mynnar i Faluån vid Klabbron. Flödet från Vällans utlopp är reglerat. På sträckan längs sandmagasinets släntfot sker ett utläckage av grundvatten (lakvatten) till Ingarvsdiket.

Uppströms Ingarvsmagasinet ansluter Krondiket till Ingarvsdiket. Det finns även ett par avskärande diken uppströms magasinet, bland annat Drottning Margaretas dike. Moränen i slutningen ned mot magasinet är som tidigare nämnts mycket tät och tätheten ökar mot botten. Detta gör det svårt för nederbörden att infiltrera och bilda grundvatten, varför en stor andel av nederbörden uppströms magasinet avleds som ytvatten. Själva magasinet är sluttäckt med täta massor, vilket medför att även nederbörden på magasinet till största delen avrinner som ytvatten.

Flödet i Ingarvsdiket mäts i en punkt just innan det ansluter till Gruvdiket (vid Gruvrondellen). Mätpunkten ingår i kontrollprogrammet för Faluprojektets åtgärder och flödet mäts 1 gg/månad (momentant). Under perioden 1994-2003 var medelflödet 0,22 m³/s. Årmedelflödet varierade mellan 0,1 och 0,5 m³/s. Det momentana maxflödet som uppmätts under perioden är 1,0 m³/s och som lägst har flödet momentant varit 0,02 m³/s.

Som nämnts tidigare avleds främst vatten från sjön Vällan i Ingarvsdiket, men även avskärande diken uppströms magasinet (Krondiket, Drottning Margaretas dike, m fl), liksom det s k Lovisadiket nedströms magasinet, avvattnas till Ingarvsdiket. Dessutom ansluter ett par diken norrifrån på sträckan längs magasinet. Dikena från norr avleder ytvatten från Stångtjärn/Varggården samt dag- och dränvatten från Ingarvets industriområde. Även vägdräneringsvatten från väg 293 rinner fram i Ingarvsdiket. Dikena norrifrån är recipienter för lakvatten från slaggen vid Gamla Berget, område 4c.

TILLFLÖDEN FRÅN STÅNGTJÄRN OCH VÄLLAN

Vatten från Stångtjärn och Vällan har inte alltid avbördats till Ingarvsdiket. Det är en följd av åtgärder som genomförts historiskt för att ge tillgång till vatten och vattenkraft för gruvans drift. Stångtjärn avvattnades tidigare norrut, mot Bergsgårdsviken i Varpan. Vällan avvattnades tidigare söderut, via Norsbobäcken med mynning i Liljan (Runn), och dit leds fortfarande en del av flödet från Vällan.

Att samla upp förorenat grundvatten (lakvatten) längs Ingarvsmagasinet släntfot är svårt i praktiken, på grund av utrymmesbrist mellan magasinet, Ingarvsdiket

och väg 293. Om flödet i Ingarvsdiket kunde minskas, skulle kostnaden för kulvertering av det rena ytvattnet kunna sänkas markant. Detta skulle kunna åstadkommas genom att styra bort flödena från Vällan och Stångtjärn till deras ursprungliga utlopp. Detta är dock åtgärder som kräver vattendom, vilket medför omfattande utredningsarbeten. När det gäller flödet från Vällan, har bebyggelse etablerats vid utloppet i Liljan (Norsbo). Skulle hela flödet från Vällan styras om att gå den vägen, är risken stor för översvämningsproblem i fastigheterna.

GRUNDTVATTEN

Grundvattennivåer och grundvattnets flödesriktning i området framgår av ritning -4:01.

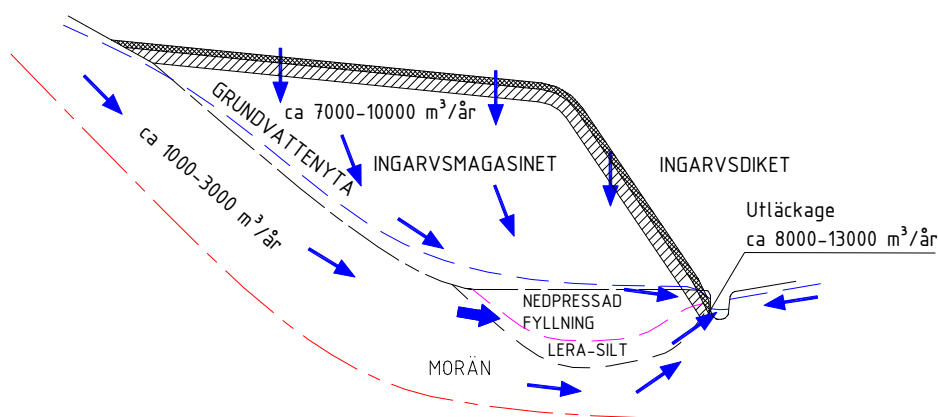
GRUNDTVATTEN – OMRÅDE 4a (Ingarvsmagasinet och Lovisa)

Grundvattenbildningsområdet uppströms magasinet utgörs av skogsmark och av bostadsbebyggelse (Kron diket). Området är ca 300 000 m² stort och marken lutar relativt brant ner mot magasinet - ca 10-15 % närmast magasinet och ca 5 % högre upp i sluttningen. Själva magasinet är sluttäckt med tät- och skyddsskikt.

Vattentillförseln till magasinet sker genom infiltration av nederbörd på magasinsytan, samt via grundvattenflödet från moränmarkerna uppströms.

Grundvattenbildningen (lakvattenbildningen) på magasinsytan beräknas bli ca 50-70 mm/år när sluttäckningen är färdigställd, vilket motsvarar ett flöde om ca 7 000-10 000 m³/år (0,2-0,3 l/s). Detta kan jämföras med situationen innan täckning, då lakvattenbildningen beräknades uppgå till ca 40 000 m³/år (1,3 l/s).

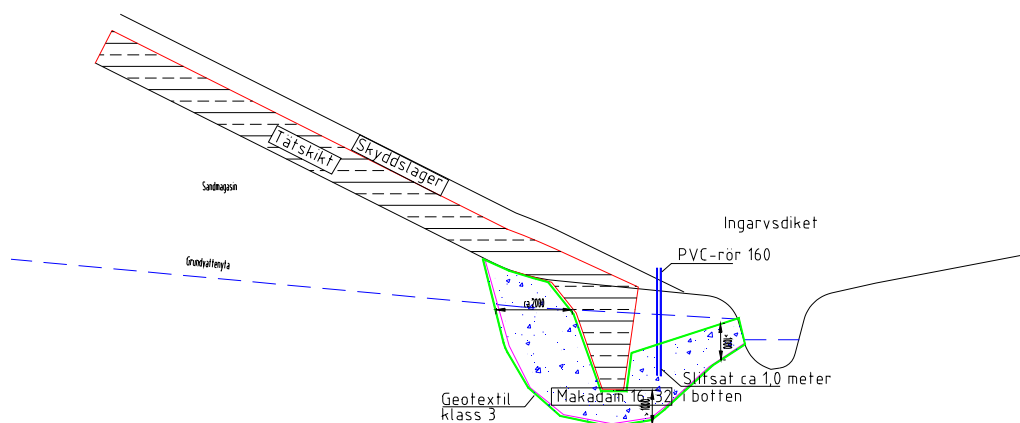
Grundvattenbildningen inom området uppströms magasinet beräknas endast vara ca 4-10 mm/år, motsvarande flödet 1 000-3 000 m³/år (0,04-0,1 l/s) genom magasinet. Beräkningarna är behäftade med stor osäkerhet, eftersom redan små områden/skikt med högre genomsläpplighet än den dominerande moränen kan göra att grundvattenflödena ökar relativt mycket. En principsektion som visar grundvattenflödena genom magasinet visas i figur nedan.



Figur 23. Principsektion som visar storleksordningen på grund-/lakvattenflöden genom Ingarvsmagasinet efter sluttäckning. Sektion från söder till norr.

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, som under en övergångsperiod kan tvättas ur av det genomströmmande grundvattnet.

Sluttäckningen av Ingarvsmagasinet, och med den tätningen mot Ingarvsdiket, medför att grundvattennivån inuti magasinet stiger. Eftersom materialet i botten av magasinet innehåller relativt stora mängder lakbara metaller, bör grundvattennivån hållas så låg som möjligt, samtidigt som täckningen ska hållas vattenmättad. För att uppnå en grundvattensänkning har fem dräneringspunkter i form av "vattenlås" anlagts längs magasinets norra släntfot. Syftet med "vattenlåsen" är att grundvatten ska tillåtas dränera ur magasinet, samtidigt som syre hindras från att tränga in via dräneringen. En principskiss av dräneringsanordningarnas konstruktion återfinns i Figur 24 nedan.



Figur 24. Principsektion som visar de dränerande "vattenlåsens" konstruktion.

Det sker också ett betydande utläckage av lakvatten från magasinet vid dess östra släntfot. Detta läckage avleds via det så kallade Lovisadiket till Ingarvsdiket. Lovisadiket avvattnar även områden med slagg och varp vid Lovisaschaktet, vilket totalt sett medför att metallhalterna i diket är mycket höga.

GRUNDVATTEN – OMRÅDE 4b (nedströms Ingarvsmagasinet)

Inom området finns få grundvattenrör för nivåmätning och utförda mätningar indikerar att grundvattenytan är mycket flack. Med anledning av detta är det svårt att avgöra grundvattnets flödesriktning och flödesriktningen kan dessutom variera, exempelvis beroende på vattennivån i Ingarvsdiket.

Grundvattenflödet bedöms dock främst vara riktat mot söder (Stora Stöten) och öster (Gruvdiket). Beroende på Ingarvsdikets nivå, kan grundvatten ibland läcka ut i diket och ibland kan vatten från Ingarvsdiket läcka in i grundvattenmagasinet.

Grundvattenbildningen uppströms och inom område 4b antas ligga mellan 200 och 300 mm/år, vilket ger ett grundvattenflöde på 2-3 m³/h.

GRUNDVATTEN – OMRÅDE 4c (slaggområden uppströms Ingarvsmagasinet)

Grundvattenbildningen inom slaggområdet och området uppströms antas ligga mellan 200 och 300 mm/år, vilket ger ett grundvattenflöde på 4-6 m³/h.

6.6.6. Metalläckage

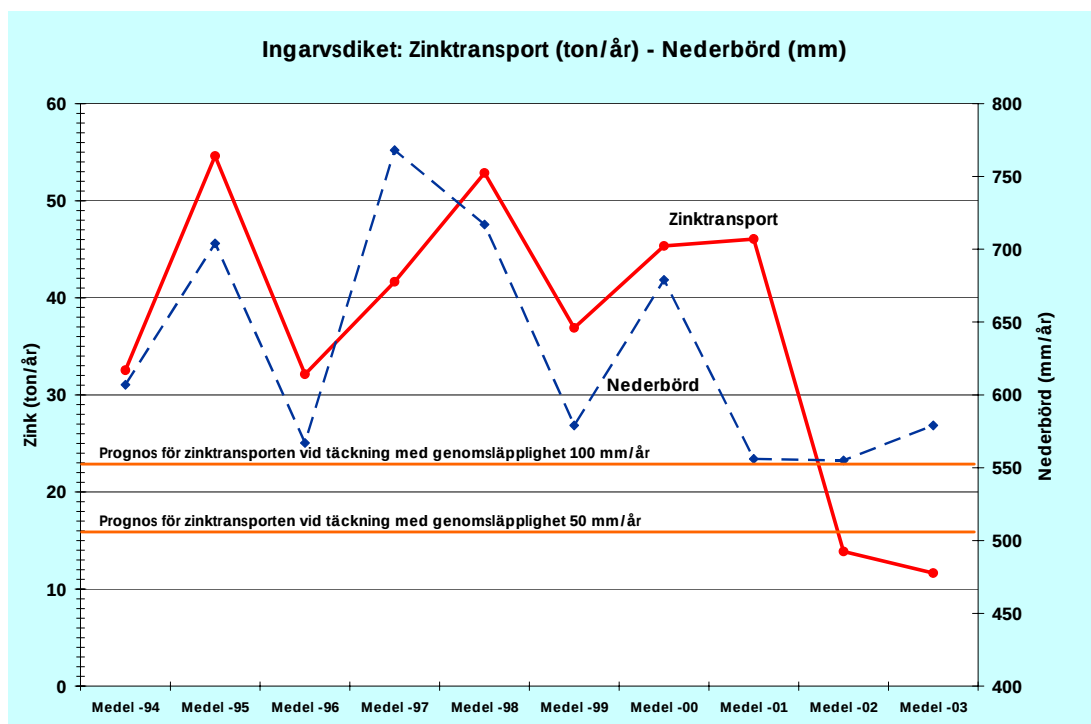
Den av Faluprojektet uppmätta metalltransporten i Ingarvsdiket framgår av Tabell 20 nedan. Mätningen sker i en punkt just innan Ingarvsdiket ansluter till Gruvdiket (vid Gruvrondellen), det vill säga nedströms område 4a, b och c.

6.6.6.1. Mätresultat

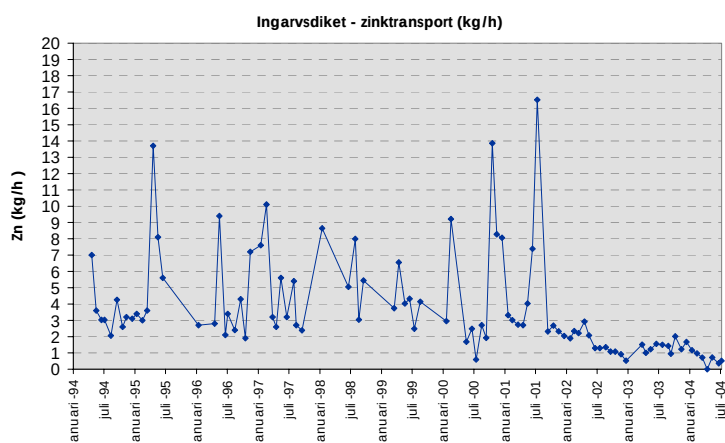
Tabell 20. Metalltransport i Ingarvsdiket 1994-2003:

År	ton/år				Flöde	Årsnederbörd
	Fe	Zn	Cu	Cd	m ³ /s	mm
medel 94	46	33	1,7	0,05	0,19	607
medel 95	53	55	4,8	0,10	0,48	704
medel 96	44	32	1,8	0,06	0,10	567
medel 97	46	42	2,4	0,08	0,15	768
medel 98	58	53	4,1	0,09	0,27	717
medel 99		37	2,5	0,10	0,28	579
medel 00		45	3,9	0,12	0,37	679
medel 01		46	1,3	0,06	0,26	556
medel 02		14	1,0	0,05	0,16	555
medel 03		12	1,0	0,04	0,13	579
medel 94-03	41	32	2,2	0,07	0,21	631

Som framgår av Tabell 20 och Figur 25, har metalltransporten i Ingarvsdiket minskat under de senaste åren. De senaste åren har zinktransporten legat lägre än den prognos som gjordes 1998 för hur mycket zink magasinet skulle läcka efter täckning. Preliminära siffror visar på att zinktransporten kommer att vara ännu lägre under 2004.

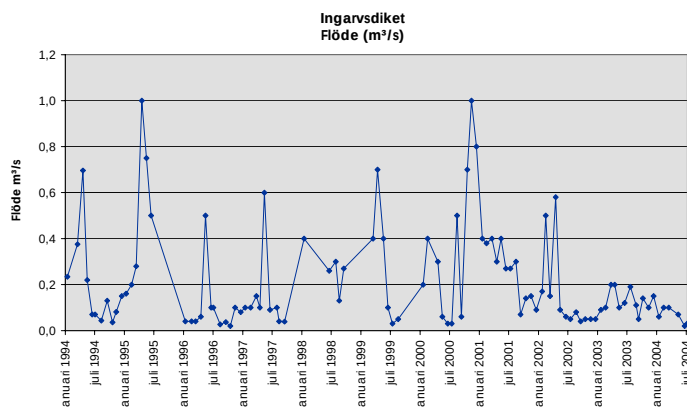


Figur 25. Årsnederbörd och uppmätt zinktransport i Ingarvsdiket jämfört med prognosen för framtida läckage från Ingarvsmagasinet som upprättades 1998. Täckning av magasinet har skett under perioden 1997-2004.



I Figur 26 till vänster framgår att årstidsvariationen i zinktransporten blivit betydligt mindre. Både halten och flödet har varierat betydligt mindre de senaste två åren än tidigare. Skillnaden i flödets variationer kan förklaras med att regleringen av Vällan förändrats och att mer vatten nu avleds åt annat håll.

Figur 26 (fortsätter på nästa sida)

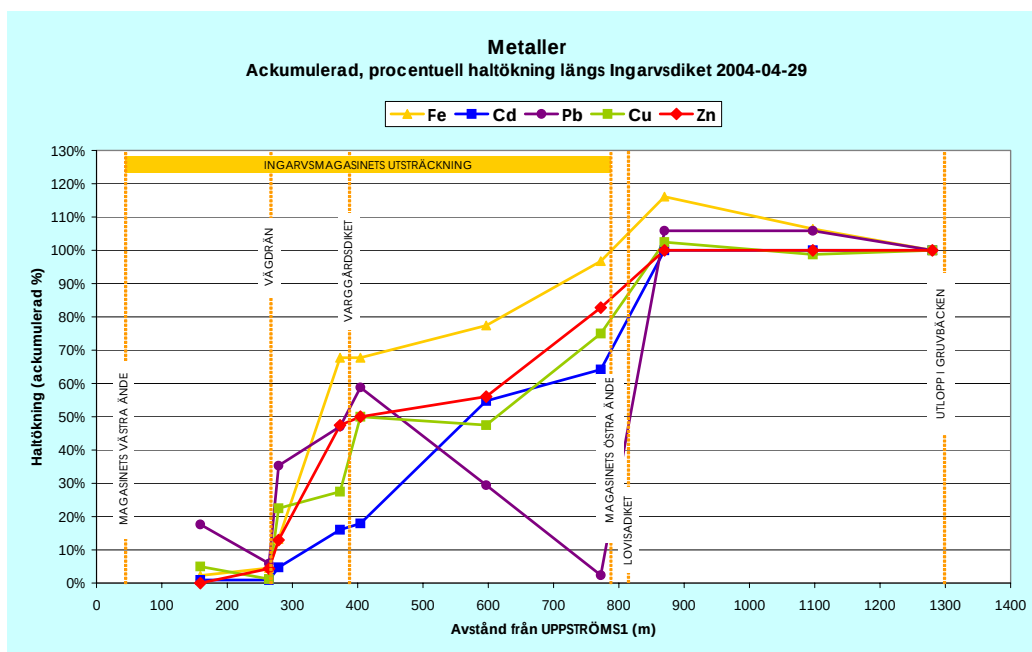


Figur 26. Zinktransport och flöde i Ingarvsdiket under perioden 1994-juli 2004.

Mätningar av hur metallhalterna förändras under Ingarvsdikets passage genom område 4a och 4b, samt av tillflöden från område 4c har utförts vid några olika tillfällen.

Mätningarna har sammanställts på ritning-4:03. Resultatet av mätningar längs Ingarvsdiket och dess tillflöden redovisas i figuren nedan.

Resultatet från uttagna vattenprover i grundvattnet redovisas i bilaga 4 och på ritning 4:04.



Figur 27. Procentuell haltökning av järn, kadmium, koppar, bly och zink längs Ingarvsmagasinet passage genom område 4. Halterna uppmätta 2004-04-29.

Kommentarer till diagrammet:

Zink – begränsad tillförsel från vägdränningen och Varggårdsdiket, vilka båda avvattnar slaggområdena mellan Ingarvsmagasinet och Gamla Berget (4c). Betydande bidrag med det diffusa utläckaget från magasinets släntfot, samt

med Lovisadiket (4a). Ingen tillförsel nedströms Lovisadiket, det vill säga vid passagen av område 4b.

Koppar – betydande tillförsel från vägdränningen och Varggårdsdiket. Måttligt bidrag med det diffusa utläckaget från magasinets släntfot, men betydande bidrag med Lovisadiket.

Kadmium – minimal tillförsel från vägdränningen och Varggårdsdiket. Betydande bidrag från det diffusa utläckaget från magasinets släntfot, även mycket stort bidrag med Lovisadiket.

Järn – minimal tillförsel från vägdränningen och Varggårdsdiket. Däremot stor tillförsel från magasinet, samt via Lovisadiket. Nedströms magasinet och Lovisadiket sjunker järnhalten, vilket förmodas bero på att utfällning av järn sker i Ingarvsvikens nedre del.

6.6.6.2. Beräknat metalläckage från område 4

4a – Ingarvsmagasinet och Lovisadiket: Metalläckaget från Ingarvsmagasinet efter täckning har beräknats genom att lakvattenutflödet från magasinet beräknats utifrån vad täckningen släpper igenom, grundvattenbildningen inom området uppströms magasinet, samt vad marken kan transportera, multiplicerat med medelvärdet av uppmätta halter i de fem dräneringspunkterna längs magasininfoten. Detta metalläckage sker till Ingarvsviken och Lovisadiket. Metalltransporten i Lovisadiket har beräknats utifrån ett fåtal haltmätningar med tillhörande flödesuppskattningar. Hela metalltransporten i Lovisadiket härrör dock inte från Ingarvsmagasinet, utan ett bidrag fås även från varp- och slaggupplagen kring Lovisaschakten.

4b – "Transformatorstation": Ingen haltökning har uppmätts i Ingarvsmagasinet vid passage genom område 4b. Inte heller kan något läckage av metaller från detta område spåras vid mätningar i Gruvdiket. Viss del till av läckaget från detta område bedöms ske till gruvan, vilket inte kunnat mätas. Uppskattningen av metalläckaget från området har istället gjorts utifrån schablonhalter för årlig metallurlakning från slagg enligt avsnitt 4.2.1.

4c – Gamla Berget: Även här har "schablonvärden" för årlig metallurlakning från slagg enligt avsnitt 4.2.1 använts för att beräkna metalläckaget. Som kontroll har stickprovsmätningar av metallhalter i Stångtjärnsbäcken uppströms och nedströms slaggupplaget utförts vid två tillfällen, med samtidig uppskattning av flödet.

Tabell 21. Beräknad metallurlakning från område 4, Ingarvsmagasinet med kringområden.

OMRÅDE	Zink (ton/år)	Koppar (ton/år)	Järn (ton/år)	Kadmium (kg/år)	Bly (kg/år)
4a. – Ingarvsmagasinet – Lovisadiket	4-8 ca 2	0,03-0,3 0,1-0,2	20-40 5-10	ca 2 4-6	ca 2 ca 6
4b. "Transformatorstation"	ca 1	0,1-0,2		ca 1	-
4c. "Gamla Berget"	0,8-1	0,2-0,4	ca 2	1-2	ca 2
TOTALT OMRÅDE 4	7-11	0,3-0,9	30-50	ca 8-10	ca 8-10
Transport Ingarvsdikt -03	12	1,0	ingen uppgift	40	ingen uppgift

6.7. OMRÅDE 5 – Hyttberget och Västra industriområdet

6.7.1. Historik

I södra delen av område 5, längs f d Hyttbäcken (nuvarande Ingarvsdikt) och Gruvbäcken, har det funnits många hyttor på 1400- till 1600-talet. Inom områdets västra del (5a) finns ett antal kallrostar ("Vändrostarna") och i östra delen (5b) finns ett stort slaggupplag benämnt Hyttberget, se ritning -5:01. Hyttberget är en av de största synliga slagglämningarna i Falun. Inom område 5a fanns sex rostbatterier med 6-8 rostbås i varje. Rostarna anlades 1862-1863 och var igång till 1905¹.

6.7.2. Tidigare undersökningar

Nedan listas tidigare undersökningar med fokus på metalläckaget från Hyttberget och vändrostarna.

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
Teknisk kartläggning av gruvavfall i Falun	A-M Fällman, SGU och U Qvarfort, Uppsala Universitet	1990
Undersökning av total- och lakhalter samt utlakbara mängder metaller från tre områden i Falun	Anna Westman Uppsala Universitet. (Examensarbete)	2000

¹ "Falu gruva och tillhörande industrier – industrihistorisk kartläggning med avseende på förorenad mark", Länsstyrelsen i Dalarnas län, rapport 2002:12.

De borrningar som genomförts inom område 5 har sammanställts på ritning-5:01. Borrprotokollet återfinns i bilaga 1:2.

6.7.3. Kompletterande undersökningar

Inom området har enstaka kompletterande vattenprover tagits i yt- och grundvatten. Dessutom har grundvattennivåmätningar utförts.

6.7.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

Inom övervägande del av området förekommer fyllning av gruvavfall, i huvudsak slagg. I den västra delen av område 5a förekommer morän utan fyllning inom ett mindre område. Inom större delen av område 5 underlagras fyllningen av silt-lera med varierande mäktighet, från ca 0,5 m upp till ca 3 m. Under silten och leran förekommer på de flesta ställen en morän som är siltig och sandig.

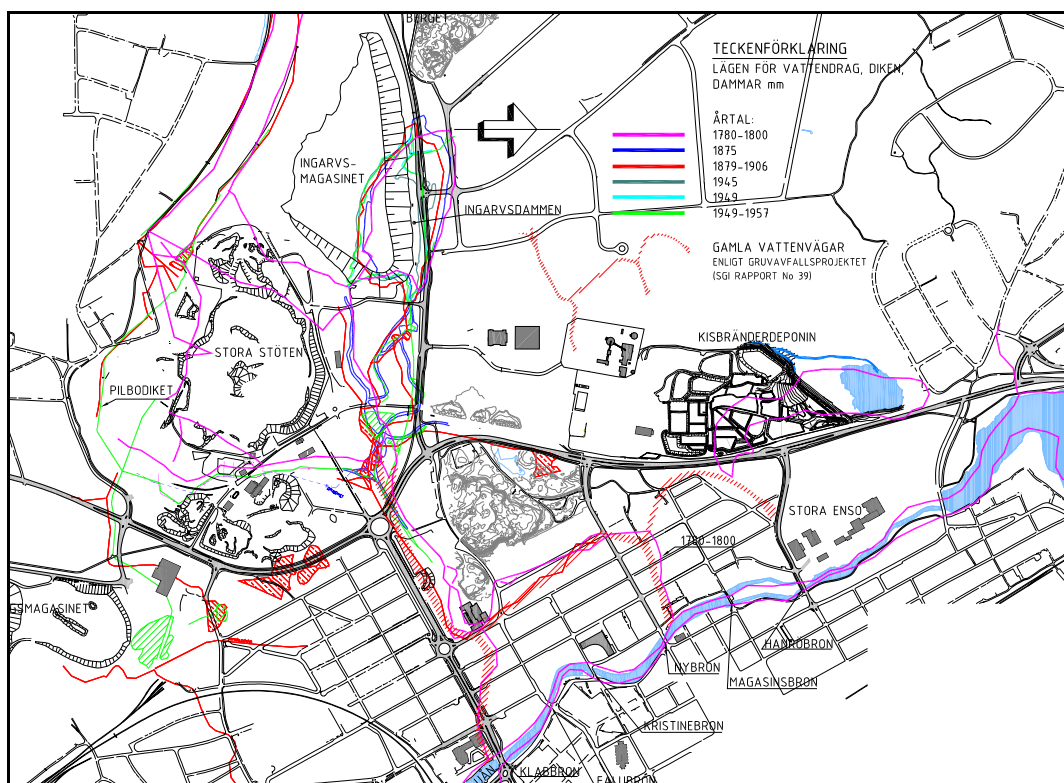
AVFALLSTYPER

Område 5 är ca 0,27 km² stort och ca 90% av ytan är täckt med slagg. Den största slaggförekomsten är Hyttberget som höjer sig ca 10 m över omgivande marknivå på de högsta ställena. Mängden slagg på Hyttberget har beräknats till ca 350 000-400 000 m³ vilket är ca 200 000 m³ mindre än vad som angivits i tidigare utredningar i samband med Gruvavfallsprojektet (SGI rapport No 39). Inom hela område 5, inklusive Hyttberget, har den totala slaggvolymen uppskattats till ca 550 000-750 000 m³. Kallrostarna täcker en yta av knappt 0,007 km² vilket innebär att volymen vid kallrostarna är liten i förhållande till övriga området.

6.7.5. Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage

Inom området finns idag bara ett par mindre diken som för det mesta är torra. I västra delen av området (5a) finns ett mindre sankområde i lågpunkten mellan moränkullarna. Det låglänta området underlagras av lera och silt vilket är orsaken till att sankområdet bildats. Väster om Hyttberget finns en mindre vattensamling utan ytvattenavlopp, som dräneras genom infiltration till underliggande slagg/mark. Vatten till det området kommer i mindre diken och från en vägtrumma som avvattnar kallrostarna och området i dess närhet.

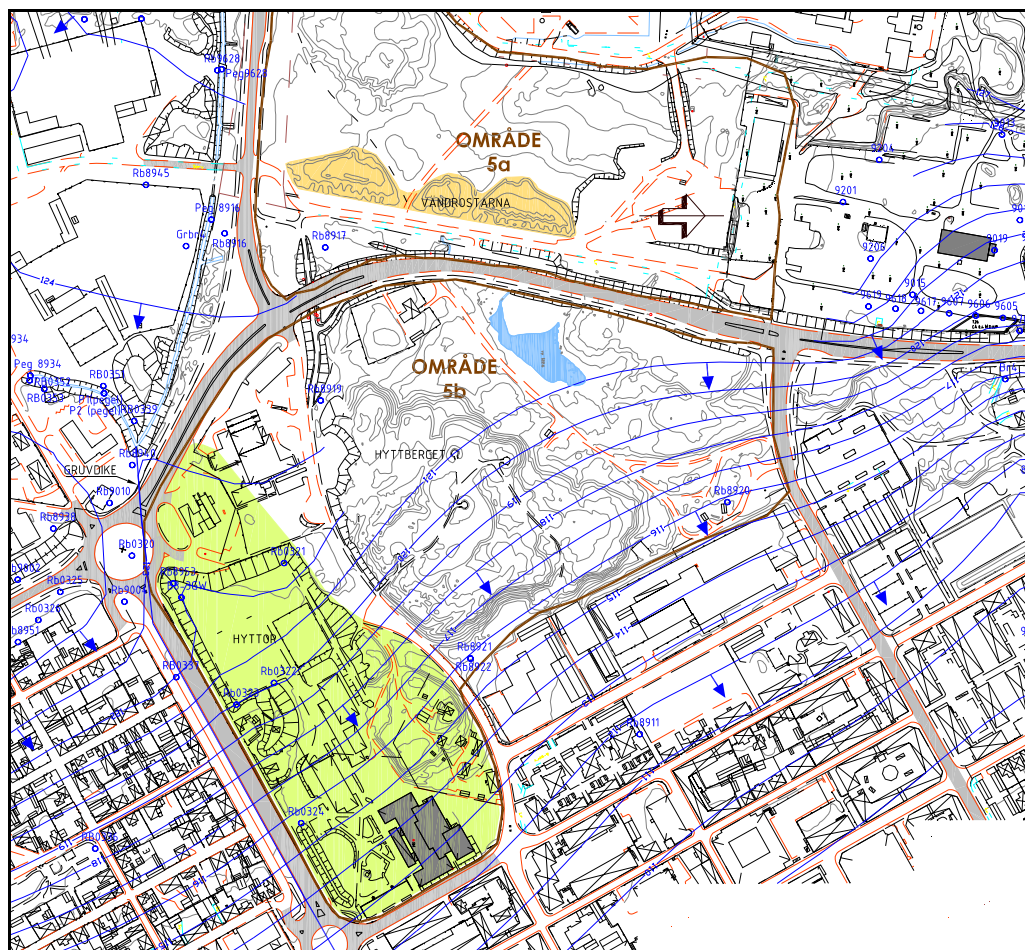
Historiskt har ett antal bäckar sträckt sig genom området under olika tidsepoker, se figur nedan och ritning -105.



Figur 28. Karta med historiska vattenvägar.

Längs områdets södra del sträckte sig gamla Gruvbäcken som tidigare har avlett vatten från Ingarvsdiken och Stollen/Gruvdiken. Idag har Gruvbäckens sträckning ändrats något och kulverterats. Mindre bäckar har även på senare tid förekommit i direkt anslutning till Hyttbergets södra sida. Historiskt har även större bäckar med nord- sydlig riktning genom området förekommit.

På ritning -5:01 och bilden nedan redovisas grundvattennivåerna inom området.



Figur 29. Grundvattennivåer och flödesriktningar

Grundvattengradienten inom området är ca 3-4% och grundvattenflödet har en östlig riktning ner mot Faluån. Grundvattennivån följer i stort den naturliga markytan, med mindre avvikelser. Grundvattenflödet i moränen i området är litet och huvuddelen av det grundvatten som bildas rinner i slaggen på silt-lerlagret.

Grundvattenbildningen torde uppgå till ca 200-300 mm/år. Det högre värdet 300 mm/år gäller inom områden där slagg förekommer i dagen och det lägre värdet 200 mm/år där slaggen är täckt med annat material och viss avledning av ytvatten finns. Grundvattenflödet inom området ner mot Faluån beräknas vara ca 6-9 m³/h varav ca 5-8 m³/h kommer från Hyttbergsområdet och område 5A.

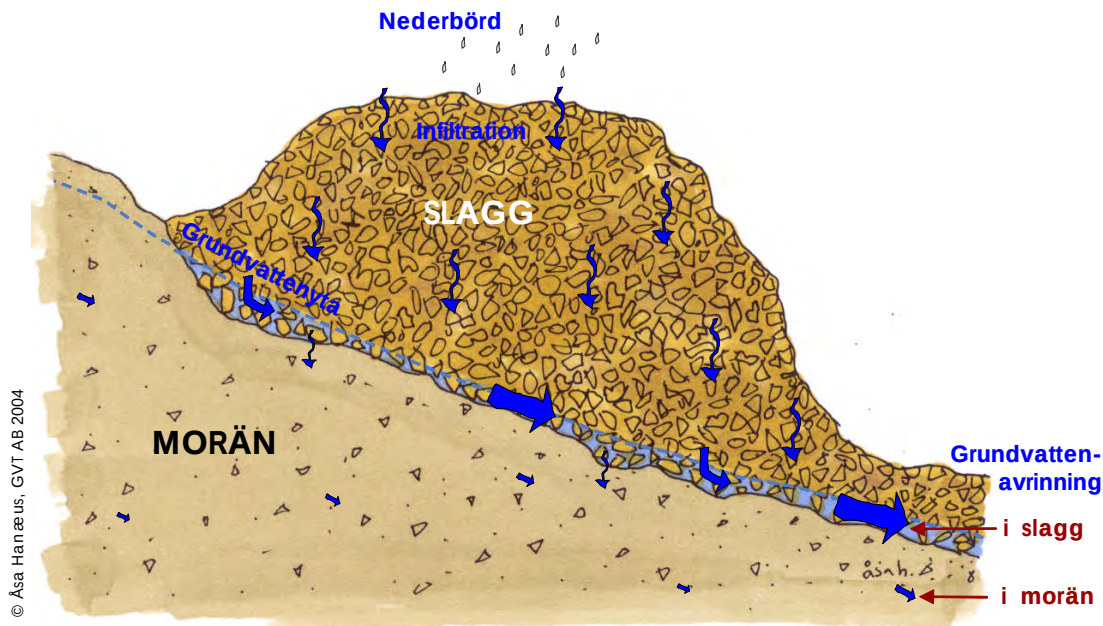
6.7.6. Metallläckage

Några vattenprover har tagits inom område 5, varav ett prov på vattnet vid vattensamlingen som kommer från området med kallrostar (benämnt "Ledn.pöl"). Övriga vattenprover är tagna på grundvatten. Beträffande rörens läge se ritning -5:01. Utvalda analysresultat redovisas i tabell nedan och resterande analyser i bilaga 5.

Tabell 22. Resultat av vattenanalyser inom område 5.

mg/l		Zink	Koppar	Järn	Kadmium	Bly
Ledn, pöl	04-06-01	9,7	0,78	3,4	0,014	< 0,0001
Rb 8911	89-01-24	64	6,6	157	0,04	0,07
Rb 8911	89-02-22	64	18	118	0,5	5
Rb 8911	89-05-17	66	6,4	100	0,04	0,05
Rb 8916	89-03-22	30	1,5	26	0,01	0,07
Rb 8916	89-04-18	4,9	0,13	2,1	< 0,01	0,15
Rb 8916	89-05-30	20	1,03	6,5	< 0,01	0,12
Rb 8920	04-06-01	26	0,001	9,3	0,0074	< 0,0001

Vattnet som kommer till vattensamlingen ("Ledn. Pöl") och till viss del avvattnar område 5A har låga metallhalter. I ett antal grundvattenrör har vattenprover uttagits tidigare och en kompletterande provtagning har utförts i rb 8920. Uppmätta halter är betydligt lägre än inom gruv- och kisbränderområdet. Vid en beräkning av metalläcket utifrån uppmätta halter i grundvattenrören, blir mängdtransporterna mindre än de är i verkligheten. Samtliga rör står i moränen där halterna troligtvis är betydligt lägre än i slaggen beroende av att moränen har låg genomsläpplighet och inom stora områden överlagras av silt-lera. Provtagningen inom den här typen av område är svår eftersom det vid nederbörd sker en snabb infiltration genom slaggen och man erhåller en relativt snabb avrinning i slaggen på ler-silt-ytan, respektive moränytan. I bilden nedan illustreras förloppet.



Figur 30. Grundvattenflöde och i slagg och i underliggande morän.

Vid t ex kraftig nederbörd infiltrerar vattnet snabbt genom slaggen, och vattnet rinner därefter på den naturligt lagrade jorden, underliggande tätare jordlager. Topografin styr grundvattenflödet. Något förenklat kan man säga att ett slagglager med en tjocklek mindre än 0,1 m kan avleda mer än 100 gånger så mycket vatten som en morän med en mäktighet av 5 m och en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-6}$ m/s vid en gradient på 3 %. För att få en något så när representativ provtagning bör därför prov uttas på grundvattnet i slaggen. Det är oftast praktiskt svårt på ställen som nedströms Hyttberget där grundvattennivån ligger i kontaktzonen mellan slagg och naturligt lagrad jord.

Vid beräkning av läckaget har därför en kombination av uttagna vattenprover, och antaganden att slaggen lakar en viss årlig metallmängd, baserat på tidigare undersökningar (se avsnitt 4.2.1) använts. För läckaget av zink har antagits att den årliga urlakningen är knappt 5 g zink per m^3 slagg och för koppar ca 1-1,3 g per m^3 slagg. Beträffande kadmium och bly har ett förhållande antagits mellan zink och koppar, baserat på uttagna vattenanalyser och utförda lakningsförsök i tidigare utförda utredningar^{2, 3}. Anledningen till att vi valt de lägre lakbara halterna från avsnitt 4.2.1 är att vi anser att där slaggens mäktighet är liten och kontakttiden med vatten är kort, erhålls en mindre urlakning. Stora delar av område 5, utgörs av ytor med kort kontakttid.

Läckaget från område 5 har beräknats till:

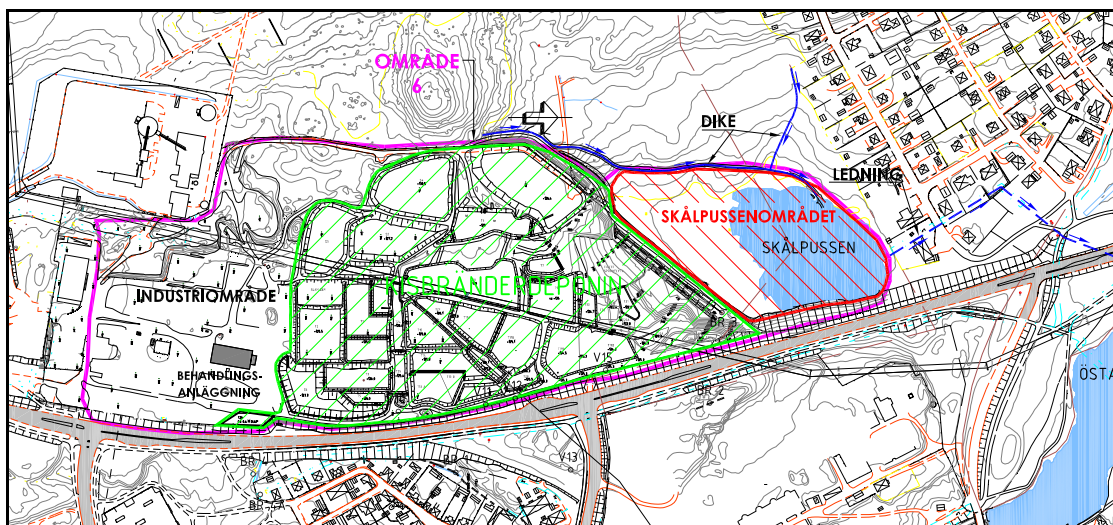
Zink	1,7-3,0 ton/år
Koppar	0,5-0,8 ton/år
Järn	1,7-3,0 ton/år
Kadmium	4-8 kg/år
Bly	5-9 kg/år.

6.8. OMRÅDE 6 Kisbränderna

Området omfattar industriområdet vid den f d svavelsyrafabriken och fabriken kisbränderdeponi. För viss redovisning har område 6 delats upp i tre olika delar som betecknas "deponiområdet", "Skålpussenområdet" och "industriområdet väster om deponin", se nedanstående figur och ritning -6:01.

² Teknisk kartläggning av gruvavfall i Falun, Ann-Marie Fällman och Ulf Qvarfort.

³ Miljökontoret Falu kommun, 1999 (rapport M 1999:1. Per-Erik Sandberg.



Figur 31. Plan över område 6

6.8.1. Historik

Kisbränderna uppkom som restprodukt från den svavelsyrafabrik som tidigare var belägen på området. Svavelsyrafabriken var i drift från mitten av 1800-talet till 1993 då den lades ner. Som råmaterial vid tillverkning av svavelsyra användes pyrit (FeS_2) i form av svavelkis som anrikades från brytningen i Falu gruva. Svavelkisen upphettades till ca 900°C för att svavlet skulle oxidera ("rostning"). I en äldre process bildades magnetit (Fe_3O_4) då järnet oxiderades, vilket gav svarta kisbränder. Senare lät man oxidationen gå längre, så att restprodukten blev hematit (Fe_2O_3), röd kisbrand. I pyriten förekommer spår av zink-, kadmium- och kopparmineraler. Vid rostningen förångas både zink och kadmium. De förångade metallerna kondenserar tillsammans med rester av svaveloxid på de avskilda restprodukterna.

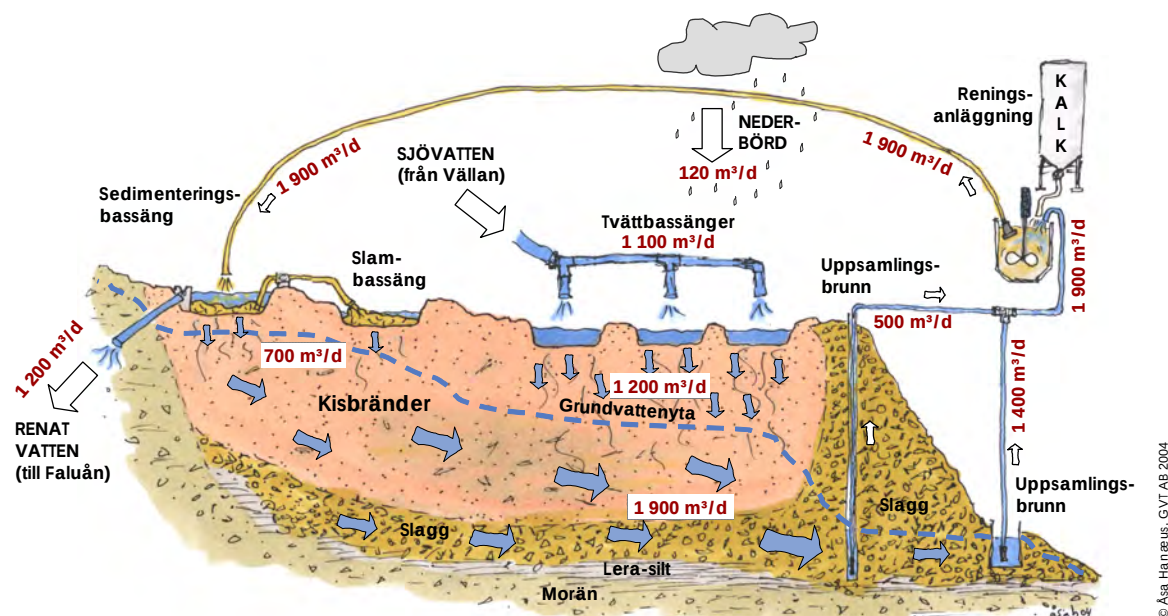
Under perioden 1850-1948 kördes kisbränderna ut i torr form och placerades i närheten av fabriken i den sydöstra delen av deponiområdet. Den svavelkis som användes var inte anrikad, vilket innebär att zinkhalten ibland blev hög under denna period. Från och med 1948 anrikades all svavelkis som användes vid svavelsyratillverkningen. Kisbränderna slammades upp i vatten och pumpades ut på deponin. En stor del av dessa kisbränder togs dock tillbaka och användes till kulsinterframställning under perioden 1960-1976. Hela mängden kisbränder som uppstod under denna period användes också för framställning av kulsinter.

Perioden 1977-1983, efter nedläggningen av kulsinterverket, kördes kisbränderna åter ut på deponin. Från 1983 fram till nedläggningen av svavelsyrafabriken 1993 deponerades kisbränderna i gruvan.

6.8.2. Pågående åtgärder

Inom område 6 har efterbehandling i form av in situ tvättning av kisbränder pågått sedan 1995 inom ramen för Faluprojektet. Tvättningen beräknas vara

färdig under 2005 eller 2006. Tvättningen utförs genom att vatten från sjön Vällan påförs kisbränderdeponin i uppbyggda bassänger, eller (inom vissa områden) sprinklas vatten över ytan. En principbild över hur tvättningen går till redovisas i figur nedan.

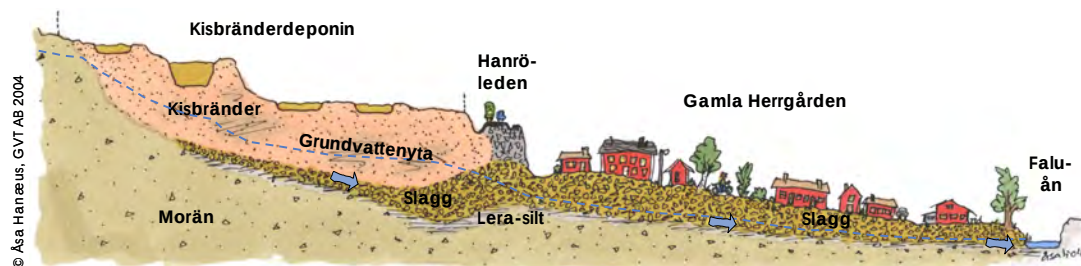


Figur 32. Principbild över hur tvättningen av kisbränderdeponin går till.

Det tillförda tvättvatten samlas upp i ett antal brunnar nedströms kisbränderdeponin, varefter det pumpas upp till en behandlingsanläggning där det metallrika vattnet behandlas genom kalkfällning och luftning. Behandlingsanläggningen är belägen vid f.d svavelsyrafabriken.

Behandlat vatten pumpas tillbaka till speciella bassänger (tidigare tvättade) för sedimentering, efter det att en polymer har tillsatts för att förbättra fällningen. Från sedimenteringsbassängen avleds klarvattenfasen till ytterligare en bassäng för kompletterande sedimentering/klarning. Från denna bassäng tas den rena klarfasen ut och avleds till Faluån.

I figur nedan visas hur kisbränderna ligger i förhållande till Faluån och bebyggelse.



Figur 33. Principsektion över kisbränderna och Faluån.

I bilderna nedan visas hur tvättning och sedimentering sker.



Figur 34. Sedimenteringsbassäng vid tömning.

Till vänster visas hur sedimenteringsbassängerna ser ut när de töms på metallhydroxidslam.

Metallhydroxidslammet som bildas vid fällningen pumpas till speciella bassänger (tidigare tvättade) för förtjockning och avvattnings genom torkning och frysning. I metallhydroxidslammet ligger metallerna hårt bundna. Slammet är dessutom relativt tätt

och kan därför fungera som tätskikt vid återställning av de tvättade områdena.

Vid sedimentering och slamförtjockning infiltrerar en del av det behandlade vattnet i marken genom bassängernas botten. Detta vatten samlas på nytt upp i brunnarna nedströms området och renas åter i behandlingsanläggningen. Av det vatten som samlas upp i brunnarna är ca två tredjedelar nypåfört sjövattnet och en tredjedel returvattnet från sedimentering och förtjockning.

Inom deponiområdet sker tvättningen i huvudsak med hjälp av uppbyggda bassänger. Sprinkling sker inom en mindre del av området, där slänter och andra områden med stor rasrisk förekommer.



Figur 35. Bild över tvättområdet från väster mot öst, med olika typer av ytor markerade.

I bilden ovan visas en del av kisbränderdeponin där tvättning pågår i bassänger. Området till höger om den vattenfyllda bassängen har provtäckts med metallhydroxidslam och morän.

Inom Skålpussenområdet utförs tvättningen endast genom sprinkling, som framgår av nedanstående bild. I samband med tvättningen har det ordinarie utloppet från Skålpussen stängts och det förorenade vattnet från tvättningen pumpas istället till behandlingsanläggningen.



Figur 36. Sprinkling av Skålpussenområdet, kort tagit från norr mot söder.

Tvättningen utförs normalt från slutet av april till månadsskiftet oktober-november. Under åren 1995-2004, den period som tvättning hittills har utförts, har nedanstående metallmängder behandlats:

- Zink ca 1 395 ton
- Järn ca 1 280 ton
- Koppar ca 25 ton
- Kadmium ca 2,2 ton Beräknat, ej mätt sedan 2001

6.8.3. Tidigare undersökningar

Inom ramen för Faluprojektet har ett stort antal borringar inom området utförts i samband med vattenprovtagningar, efterkontroller av tvättresultat och liknande. Resultaten från borringarna redovisas i bilaga 1:3 och borringarnas läge på ritning -6:02.

Nedan redovisas ett antal centrala utredningar som har utförts för Kisbränderdeponin. Dessutom hänvisas till SGI rapport nr 39 och VARP-89, samt den separata referenslista för handlingar om Kisbränderdeponin som upprättats i Faluprojektet, se bilaga 9.

TITEL	FÖRFATTARE	DATUM
Tvättförsök	GVT AB Stora Teknik Uppsala Universitet	1993
Fastställande av metallmängder, Kisbränder	GVT AB Uppsala Universitet	1994
Kolonnförsök med Kisbränder från tvättbassäng 3 och 5.	GVT AB	2003
Kisbränder längs Hanröleden	GVT AB	2003
Framtida metalläckage från Skålpussenområdet	GVT AB	2003
Prognos framtida metalläckage från kisbränder deponin och Skålpussenområdet	GVT AB	2004

6.8.4. Kompletterande undersökningar

På kisbränderområdet har kompletterande undersökningar för att bedöma metalläckaget utförts inom ramen för Faluprojektet. Delar av resultatet redovisas i denna utredning.

6.8.5. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

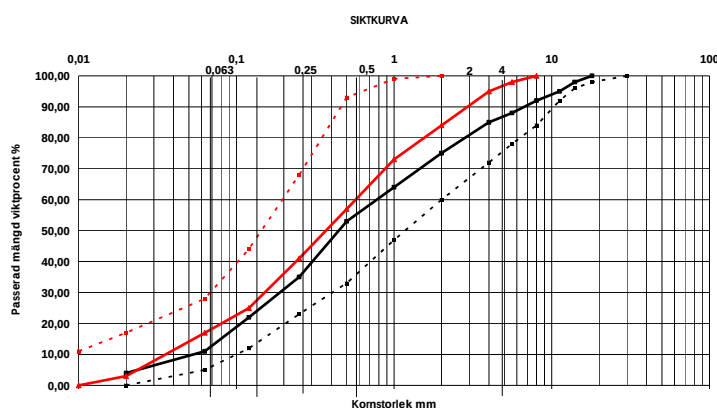
Större delen av områdena som benämns Deponi- och Skålpussenområdet täcks av fyllning som i huvudsak består av kisbränder. I områdets västra del underlagras fyllningen av morän som är relativt tät och hårt packad. I den östra och norra delen av deponin underlagras fyllningen av ett tunnare ler- och siltlager med varierande mäktighet från ca 0,5 m till drygt 1m. Vid Skålpussenområdet förekommer tjockare lerlager med mäktigheter över två meter. Inom en stor del av Skålpussenområdet överlagras leran av torv med mäktigheter från ca 0,5 till ca 2 m. Skålpussen har tidigare varit betydligt större, den har sträckt sig längs Hanröleden och ner mot Gamla Herrgården, se ritning -6:02.

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

Inom deponiområdet har ett stort antal borrhinar utförts under åren för att utta vattenprover, mäta grundvattennivåer, utta prover för lakförsök osv. Utförda borrhinar inom området redovisas på ritning -6:02 och i bilaga 1:3 under rubrik Kisbränderområdet.

AVFALLSTYPER

Inom området förekommer i huvudsak kisbränder och slagg men även annan fyllning kan förekomma i mindre mängder. Kisbränderna kan vara röda, svarta och brun-svarta, beroende på skillnader i tillverkningsprocessen mellan olika tidsperioder. De röda kisbränderna är mer lättvättade än de svarta och de brun-svarta kisbränderna är de mest svårtvättade. Normalt är de svarta kisbränderna något grövre än de röda och de bruna kisbränderna är betydligt grövre. I figur nedan redovisas en siktkurva för finkorniga röda kisbränder (från norra delen av området) och svarta kisbränder. De brun-svarta kisbränderna innehåller betydligt grövre material och även annan fyllning förekommer som t ex tegel och slagg.



Figur 37. Siktkurvor för röda och svarta kisbränder.

I figuren är röda kisbränder markerad med röd kurva och svarta med svart kurva. Kornstorleksfördelningen på kisbränderna varierar dock inom området. Kurvorna beskriver en ungefärlig kornstorleksfördelning. Inom vissa områden är svarta kisbränder betydligt grövre än vad siktkurvan visar och kornstorleken för de

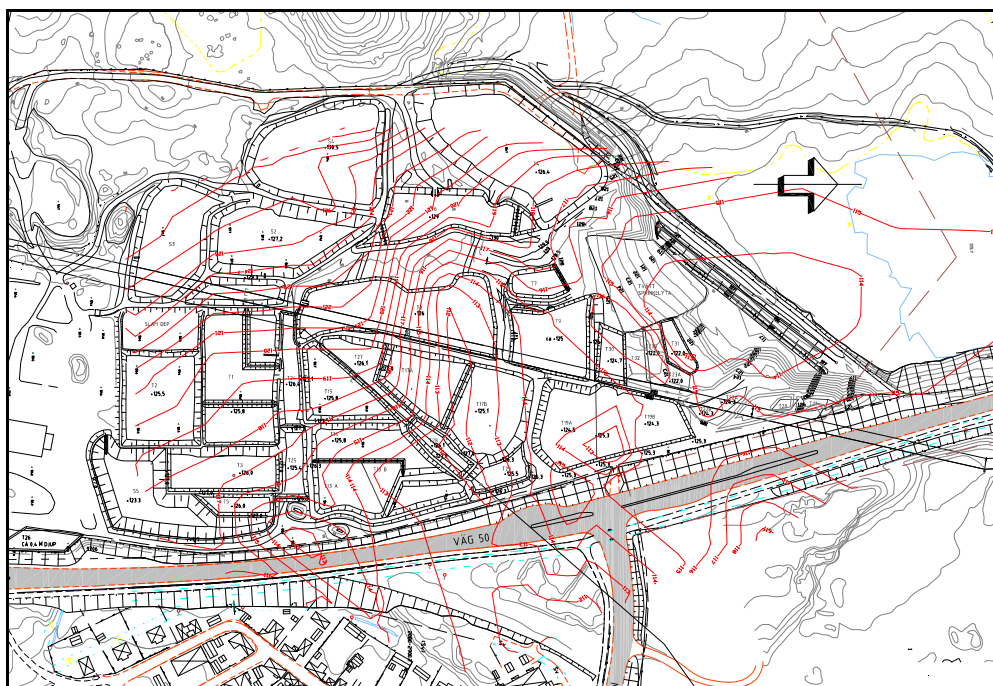
röda är oftast mindre än 2 mm. De streckade linjerna visar den ungefärliga max- och min-fördelningen.

I tabellen nedan redovisas mängderna av de olika avfallstyperna inom området. Som framgår av tabellen är övervägande delen av kisbränderna röda, ca 400 000 m³.

Tabell 23.Redovisning av mängderna av de olika avfallstyper som förekommer.

AVFALLSSLAG	VOLYM (m³)
Röda kisbränder, deponiområdet	372 000
Röda kisbränder, Skålpussenområdet	28 000
Svarta kisbränder	135 000
Brun-svarta kisbränder	35 000
Summa kisbränder	570 000
Diverse fyllning	15 000
Slagg	115 000
Summa avfall	700 000

Kisbränderdeponins mäktighet uppgår ca 14 m inom de djupaste delarna, men som medel är mäktigheten ca 5-6 m. Topografin hos markytan under deponin framgår av nedanstående figur samt av ritning -6:03.



Figur 38. Nivåkurvor för underkant fyllning (d v s den naturliga markens överyta under deponin).

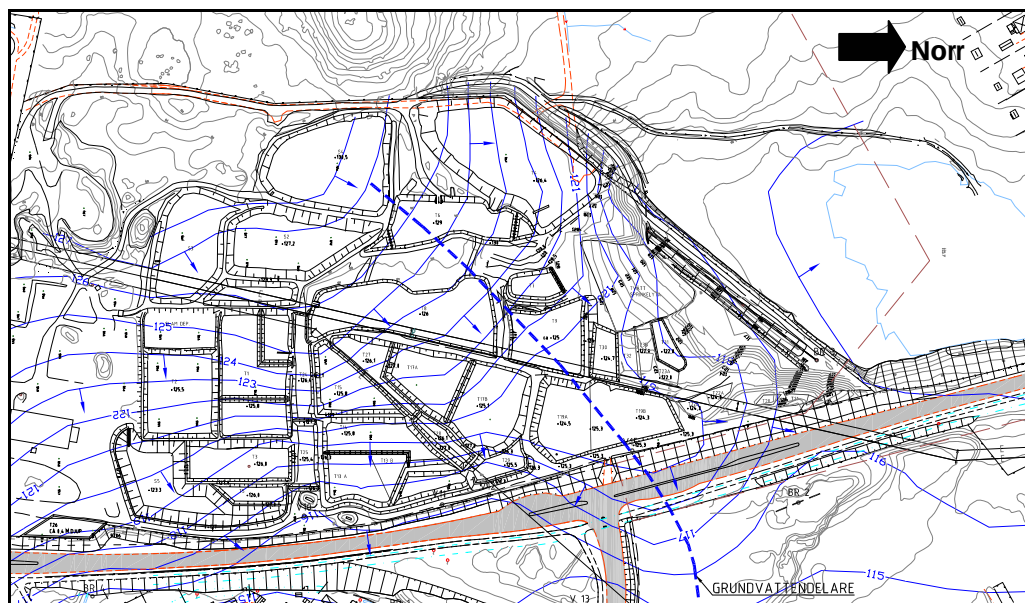
Kisbrändernas mäktighet framgår av ritning -6:04. Utifrån ritningen kan man konstatera att de största kisbrändermäktigheterna förekommer inom deponins centrala till norra del, där övervägande röda kisbränder förekommer.

Under kisbränderdeponin förekommer lera-silt, morän, slagg och diverse fyllning (t ex rivningsmaterial, tegel o s v). Längs områdets östra del utgörs fyllningen under kisbränderna i huvudsak av slagg med mäktigheter över 10 m. Slaggen är fylld på en morän i den södra delen och på lera-silt i den norra delen av området. Inom en del av området sträcker sig slaggen relativt långt in under kisbränderna åt väster. Inom detta område förekommer även en hel del "diverse-fyllning" och brun-svarta kisbränder. Slaggen har en stor mäktighet direkt söder om Södra Mariegatan, se ritning -6:05.

6.8.6. Yt- och grundvattenflöden

Inom området finns ett dike i den nordvästra delen och ett mindre dike i norra delen. De två dikena som finns idag avleds till Skålpussen, som har ett kulverterat utlopp till Östanforsån, se ritning -6:01.

Som tidigare nämnts sker en tvättning in situ, inom deponi- och Skålpussenområdet från senare delen av april tom oktober varje år. Från sjön Vällan har under tvättperioden en varierande vattenmängd tillförts. Under åren 1995-2004 har ca 600-2 200 m³/d tillförts och under 2004 har ca 1 400 m³/d tillförts. Det innebär att grundvattennivån inom området är betydligt högre under tvättperioden än normalt. Grundvattennivån samt flödesriktningar för sommaren 2004 redovisas på ritning -6:06 och i nedanstående figur.

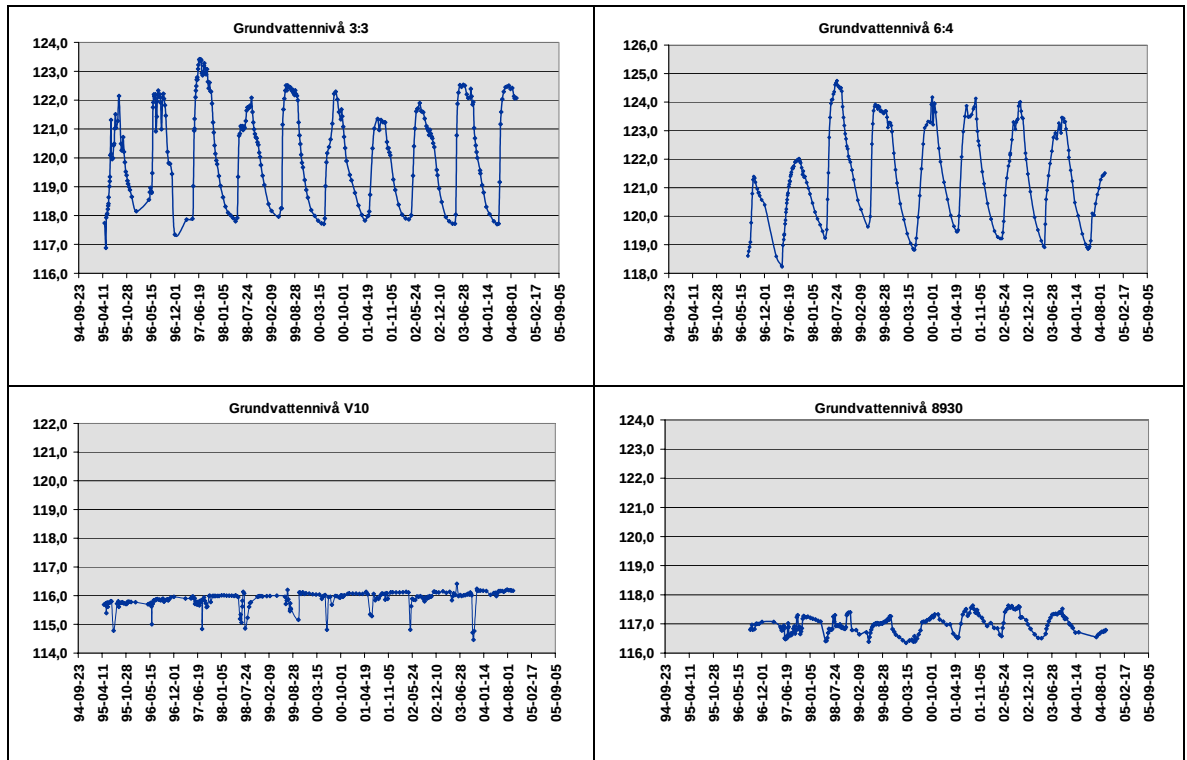


Figur 39. Grundvattennivåer och flödesriktningar sommaren 2004, vid tvättning.

Av figuren ovan och ritning -6:06 framgår att det finns en grundvattendelare med sydvästlig riktning belägen i deponins norra del. Det innebär att en del av

grundvattnet avrinner mot Skålpussenområdet och en del mot Faluån. Grundvattnet samlas upp i ett antal brunnar både öster om deponiområdet och inom Skålpussenområdet.

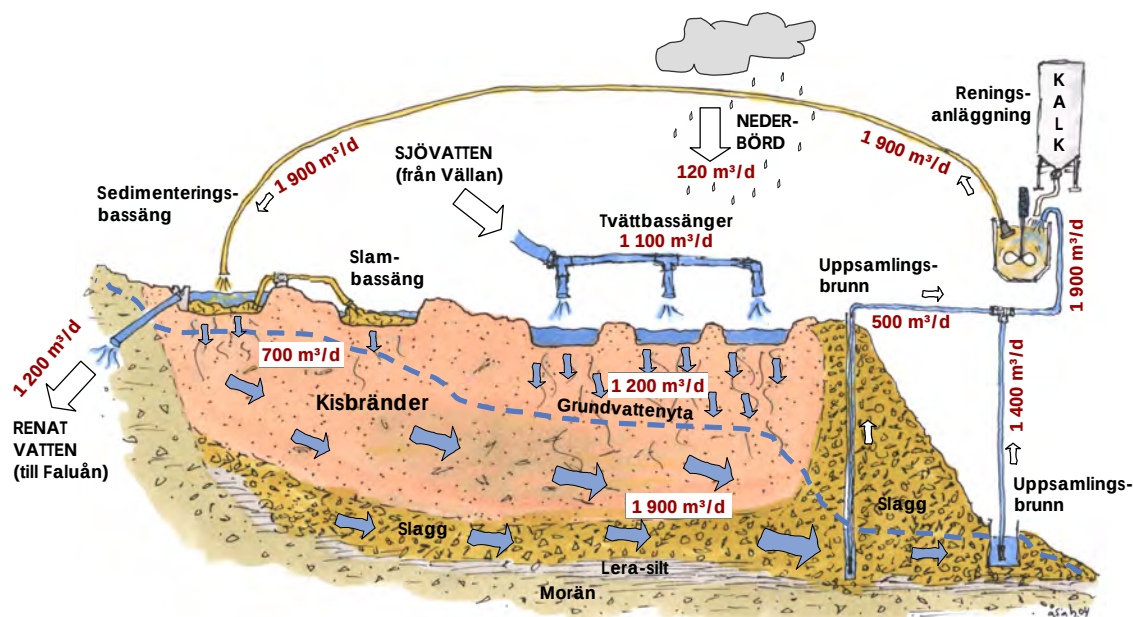
I figuren nedan visas hur grundvattennivån kan variera under året då tvättning sker. I figuren redovisas grundvattennivåer i fyra rör inom området. Rörens placering framgår av ritning -6:2.



Figur 40. Grundvattennivåer inom deponiområdet i rören 3:3, 6:4, V10 och 8930

De två översta rören i figuren 3:3 och 6:4 är placerade centralt i deponin där kisbränder förekommer. Grundvattennivån i rören varierar med ca 5-6 m under året beroende på om tvättning sker eller inte. Brunn V10 är placerad i slaggen direkt nedströms kisbränderna och där varierar grundvattennivån endast några decimeter. Genomsläppligheten i slaggen är mycket hög, flera tiopotenser högre än i kisbränderna, vilket innebär små variationer på grundvattennivån. Vid vissa tillfällen sjunker nivån i V10 och det är orsakat av att vattenuttaget ökas tillfälligt ur brunnen. Rör 8930 är placerad i norra delen av deponin, i foten av en slänt och endast några meter från horisontalbrunn 3, se ritning -6:08. Grundvattennivån i rör 8930 påverkas av horisontalbrunnen, dessutom förekommer läckage av grundvatten i slänten ner mot röret. Grundvattenytans variation är ca 1 m, vilket är betydligt mindre än i de rör som är placerade mer centralt i deponin.

Grundvattenflödet inom området under tvättning (år 2003) var ca 1 900 m³/d varav ca 1 400 m³/d avrinner mot Faluån och ca 500 m³/d mot Skålpussenområdet. Vattnet samlas dock upp i brunnar innan det kommer till Faluån. Principen för tvättningen och flöden för 2003, se figur nedan.

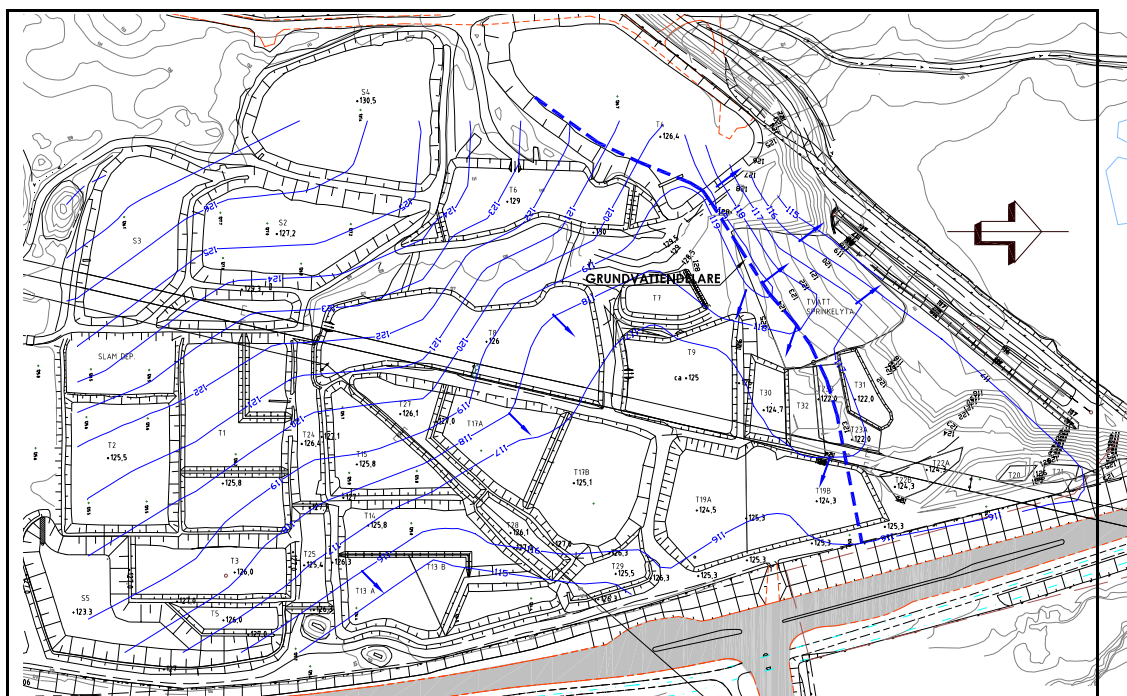


© Åsa Harnæus, GVT AB 2004

Figur 41. Principen för tvättning och flöden under år 2003.

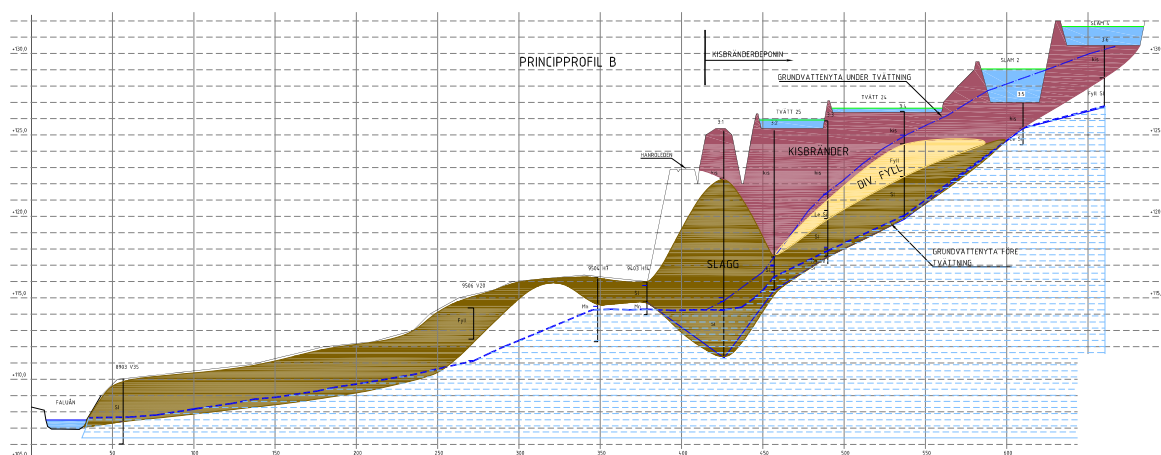
Under 2003 tillfördes ca 1 100 m³/d tvättvatten från Vällan och nederbörden var ca 120 m³/d vilket innebär att till området **tillfördes ca 1 200 m³/d**. Ur brunnar mot Faluån uttogs ca 1 400 m³/d och mot Skålpussenområdet ca 500 m³/d. Totalt uppgick vattenflödet som pumpades åter till **behandling till ca 1 900 m³/d**. Behandlat vatten som avletts till Faluån uppgick **till ca 1 200 m³/d**, vilket väl stämmer överens med tillförd vattenmängd (1 200 m³/d) från Vällan och nederbörd. Skillnaden mellan tillförd vatten och behandlat vatten 1 900-1 200= 700 m³/d är vatten som infiltrerar från slambassänger och åter pumpas till behandling. Ovan angivna flöden är medelflöden för år 2003.

Ovan beskrivna grundvattenflöden och nivåer gäller när tvättning utförs. Efter avslutad tvättning bedöms grundvattennivåerna i stort bli enligt ritning -6:07 och nedanstående figur.



Figur 42. Prognos för grundvattennivåer och flödesriktningar efter avslutad tvättning.

Som framgår av ritning 6:07 och figuren ovan kommer grundvattendelare att vara belägen i norra delen av deponiområdet. Grundvattnet kommer att avledas åt två håll, grundvattnet från områdets södra del avleds ner mot Faluån och grundvattnet i den norra delen avleds mot Skålpussen ungefär på samma sätt som under tvättning. Grundvattenflödet mot Skålpussen läcker till största delen ut i Skålpussenområdet och därefter avleds det i befintlig ledning mot Östanforsån. Övriga områden avleds direkt mot Faluån genom slaggfyllningen ner till Faluån. Det huvudsakliga grundvattenflödet avleds i fyllningen (slaggen) ovanpå moränen eftersom slaggen har en mycket hög genomsläpplighet, se figuren nedan och ritningar -6:12 och 6:13.



Figur 43. Principsektion från kisbränderområdet till Faluån

Grundvattenbildningen och ytvattenavrinningen har delats upp i två områden, ett område som avvattnas mot Faluån och ett område som avvattnas mot Skålpussen. Respektive område har därefter delats upp i två områden, se tabell nedan.

Grundvattenflödet mot Faluån bildas inom kisbränderdeponin och moränområdet väster om deponin. Grundvattenflödet väster om deponin har en östlig riktning och inom deponiområdet är det grundvattendelaren som avleder en del av grundvattnet mot Faluån och en del mot Skålpussen, se figur och ritning -6:07. Grundvattenbildningsområdenas storlek och flöden redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 24. Grundvattenbildningen inom de olika områdena.

	Område	Area km ²	Grundvattenbildning mm/år	Flöde m ³ /h	Flöde m ³ /d
FALUÅN	Morän	0,08	150-200	1,4-1,8	33-44
	Deponi	0,06	250-350	1,0-1,4	24-34
	Summa	0,14		2,4-3,2	57-78
SKÅLPUSSEN- OMRÅDET			Grundvatten/Ytvatten		
	Morän	0,14	250-350	4-5,6	96-134
	Deponi	0,035	250-350	1-1,4	24-34
	Skålpussen	0,028	250-350	0,8-1,1	19-27
	Summa	0,203		5,8-8,1	139-195

Som framgår av tabellen ovan uppgår grundvattenflödet mot Faluån till ca 60-80 m³/d och till Skålpussenområdet ca 140-200 m³/d. Till Skålpussenområdet är den största delen ej förorenat vatten, utan det är vatten från moränområdet som rinner ut i Skålpussens norra del. Mängden vatten som är förorenat av kisbränder och avleds mot Skålpussen uppgår till knappt 40-60 m³/d. Summa vatten som varit i kontakt med förorenade massor är **ca 100-140 m³/d**.

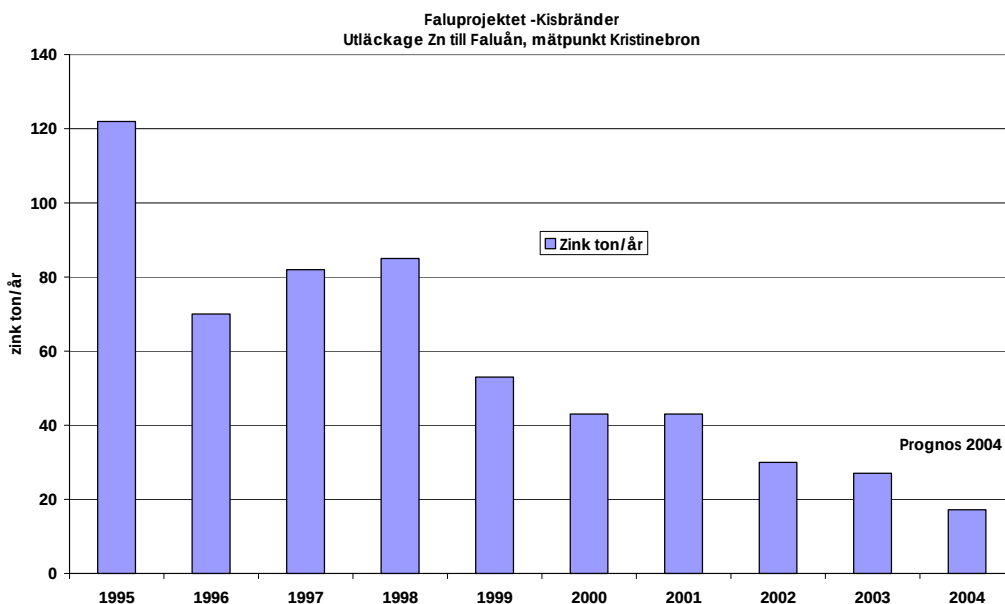
6.8.7. Metalläckage

6.8.7.1. Företsättningar

I SGI rapport No 39 "Gruvavfall i Dalälvens avrinningsområde" från 1990 gjordes bedömningen att metalläckaget från kisbränderområdet uppgick till:

- Zink 145 ton/år
- Koppar 2,1 ton/år
- Kadmium 160 kg/år

Under det att tvättningen har pågått sedan 1995 har läckaget av metaller minskat kontinuerligt. I nedanstående diagram redovisas zinktransporten i Faluån vid Kristinebron.



Figur 44. Zinktransporten i Faluån vid Kristinebron

I mätpunkten ingår även zinkläckaget från slaggområdena 8 och 9 nedströms kisbränderna (Gamla Herrgården). Man kan se en kraftig reduktion under de åren tvättning pågått. Prognosen för år 2004 är baserad på provtagningar t o m oktober.

6.8.7.2. Lakade metallmängder

Innan tvättning av området påbörjades 1995 uttogs 335 st kisbränderprover som lakades. Medelvärde för lakbar zink var 1 850 mg/kg TS. Den lakbara mängden zink beräknades på ett antal sätt och man kom fram till att ca 1 900-2 300 ton var lakbart inom kisbränder- och Skålpussenområdet. Mängden kisbränder uppskattades 1994 till ca 500 000 m³. Under åren har ytterligare borrhinar utförts och Skålpussenområdet har tillkommit, varför volymen har korrigerats till ca 570 000 m³. Angiven mängd lakbar zink har korrigerats för den ökade kisbrändermängden.

För att avgöra om en yta är färdigtvättad har en kontroll utförts genom provtagning och lakning på ett stort antal prover.

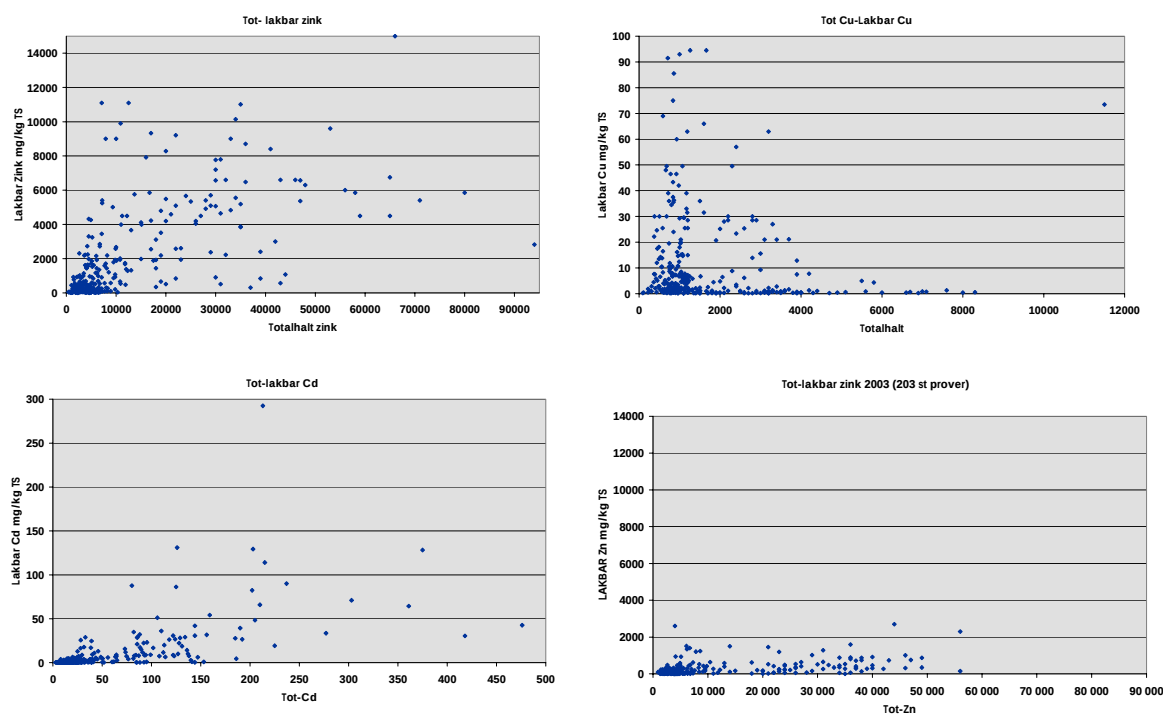
Kriteriet för en färdigtvättad yta är följande:

1. Minst 20 bäddvolymmer ska tvättas igenom kisbränderna.
2. Tvättningen ska ske intermittent minst två gånger, med dränering däremellan.
3. Halten lakbart zink bör vara mindre än 300 mg/kg som medelvärde för det tvättade området (bassängen).
4. Grundvattenprov tagna nedströms och i anslutning till bassäng ska ha en zinkhalt som är mindre än 200 mg/l.

Punkterna 3-4 gäller som riktvärde till dess att annat beslutas.

Under 2003 uttogs 203 st kisbränderprover som analyserades med avseende på zink, koppar, kadmium och bly. Tidigare har bara mängden zink bestämts.

Förhållandet mellan total- och lakbar halt för zink, koppar och kadmium från provtagningen 1994 (335 st prover), samt förhållandet för zink från 2003 (203 st prover) redovisas nedan.



Figur 45. Förhållande mellan totalhalter och lakbart, för Zn, Cu och Cd 1994 och för Zn 2003.

De första tre diagrammen är från provtagning före tvättning och diagrammet längst ner till höger är från provtagning 2003 av tvättade ytor. Av ovanstående kan man konstatera att sambandet mellan hög totalhalt och hög lakbar halt är dåligt. Diagrammet längst upp till vänster (zink 1994) och diagrammet längst ner till höger (zink 2003) kan till viss del jämföras med varandra. Man kan då se att halten lakbar zink är betydligt mindre efter tvättning än före.

Innan starten av tvättningen 1995 uppskattades de lakbara mängder metaller inom kisbränderområdet till:

- Zink 1 700-2 500 ton (antar ca 2 100 ton)
- Koppar 19 ton
- Kadmium 8 ton

Man kan konstatera att lakbar mängd koppar var betydligt större än den som beräknades innan tvättningen. En av anledningarna att koppar underskattades var att man utförde lakning under 1 timme med L/S=1/1 tidigare. Under 2003 har lakning utförts under 24 timmar med L/S=1/10.

Urtvättade mängder från 1995 tom 2003 och 2004

Under åren 1995-2003, den period som tvättning hittills har utförts, har nedanstående metallmängder behandlats:

	1995-2003	1995-2004
• Zink	ca 1 350 ton	ca 1 395 ton
• Järn	ca 1 220 ton	ca 1 280 ton
• Koppar	ca 24 ton	ca 25 ton
• Kadmium ¹	ca 2 ton	ca 2,2 ton

¹Beträffande kadmium så har det inte mätts sedan 2001. Under åren 2001-2004 är det en uppskattad mängd på 0,125 ton per år. Under åren 1995-2000 var behandlad mängd kadmium ca 0,28 ton/år.

Nedströms kisbränderområdet mellan Hanröleden och Faluån förekommer slaggfyllning med en varierande mäktighet från ca 1 meter till ca 5 meter inom största delen av området. Längs Södra Mariegatan (vid brunn V13) uppgår slaggens mäktighet till drygt 14 m på några ställen se ritning -6:08 (genomsläppligt material). Mellan kisbränderområdet (3) och Faluån sker således även ett metalltillskott.

Under motsvarande period, 1995-2003, har zinktransporten i Faluån nedströms kisbränderdeponin varit ca 555 ton, varav ca 40 ton enligt beräkningar kommer från slaggområdet mellan kisbränderområdet och Faluån.

Utförs en zinkbalans där vi förutsätter att mängden lakbar zink inom området var 2 100 ton innan tvättstart (lakbar mängd 1994) gäller följande:

Tabell 25. Zinkbalans

Lakbar zink 1994	2 100 ton
Har beräknats laka från slaggområde mellan Kisbränderna och Faluån. 1995-2003	40 ton
Summa lakbar zink från kisbränder och slaggområdet	2 140 ton
Behandlad mängd zink 1995-2003	-1350 ton
Zinktransport i Faluån 1995-2003	-555 ton
Kvarvarande lakbar mängd zink inom området	234 ton

6.8.7.3. Kvarvarande metallmängder

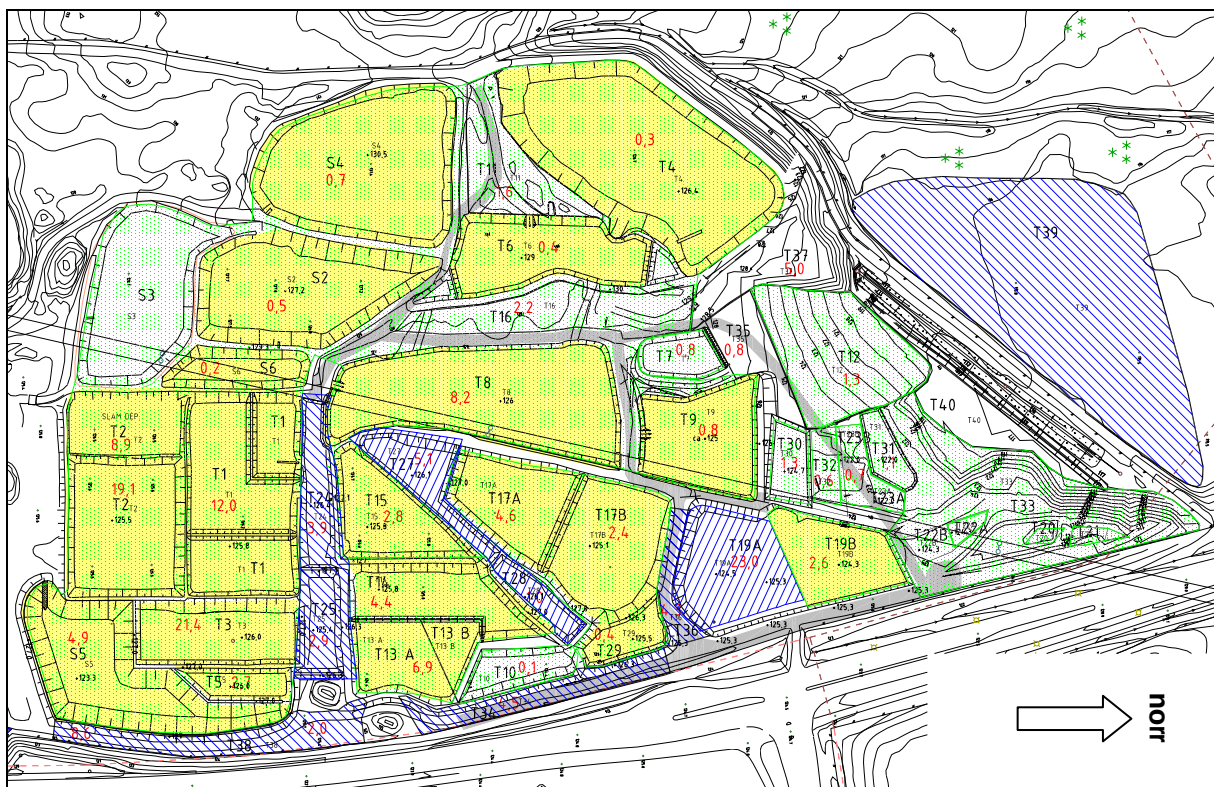
I samband med efterkontrollen av tvättade ytor 2003, uttogs 203 st prover för lakning av zink, koppar, kadmium och bly. Provpunkternas läge och uppmätta halter av lakbar zink framgår av ritning -6:14. Proverna var inte jämt fördelade över hela ytan, utan togs ut inom områden där tvättning fortfarande pågick 2003. Dessa områden har från start innehållit större lakbara mängder metaller, än de delar av området som inte provtogs (i de röda kisbränderna på nordvästra sidan). Vid antagande om att medelhalterna från provtagningen 2003 ändå gäller för hela volymen kisbränder, uppgår kvarvarande lakbara mängderna enligt nedan.

• Zink	324 mg/kg TS	314 ton
• Koppar	35 mg/kg TS	34 ton
• Kadmium	5,1 mg/kg TS	5 ton
• Bly	20 mg/kg TS	20 ton

Ovanstående mängder är något överskattade eftersom ingen provtagning utfördes inom de områden där den lakbara mängden är låg.

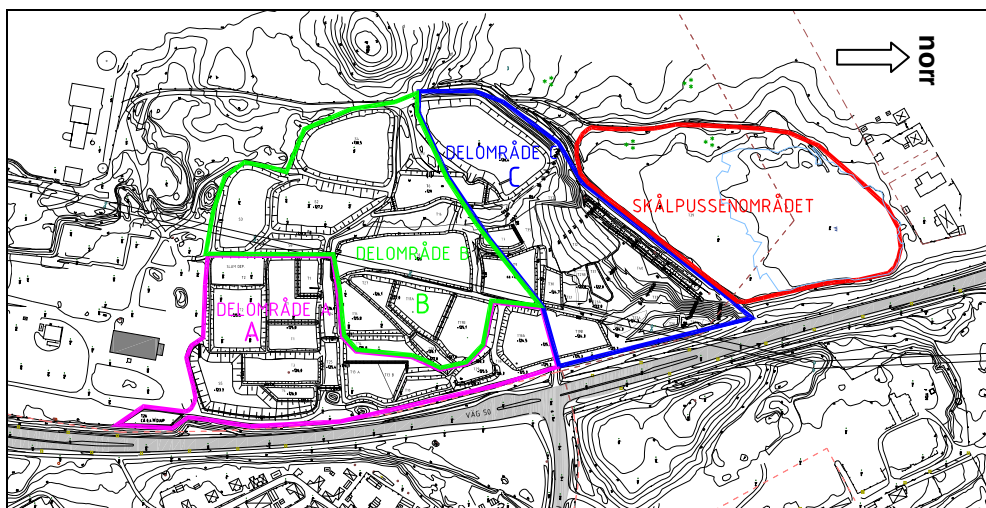
Vid efterkontroller som har utförts under årens lopp har den kvarvarande lakbara mängden zink i de bassänger som har tvättats t o m 2003 beräknats uppgå till **ca 244 ton**.

Hur den kvarvarande lakbara mängden zink är fördelad inom området framgår av ritning -6:09 och figuren nedan.



Figur 46. Kvarvarande lakbar zink i ton per bassäng (röda siffror).

För fortsatta beräkningar har en områdesindelning gjorts som redovisas på ritning -6:10 och i nedanstående figur.



Figur 47. Delområdesindelning beträffande lakbara metallmängder och eventuella åtgärder.

Från de olika delområdena har den lakbara mängden zink beräknats till:

Delområde A	120 ton
Delområde B	30 ton
Delområde C	30 ton
Skålpussenområdet	60 ton
Summa	240 ton

En beräkning har gjorts över vad som är lakbart från olika typer kisbränder där resultatet blev **ca 280 ton**. Fördelningen mellan de olika kisbränderna blev enligt nedan:

- | | |
|---|----------------|
| • Röda kisbränder (till mindre del blandade med svarta) | 125 ton |
| • Svarta kisbränder | 115 ton |
| • Skålpussenområdet | 40 ton |
| • Summa | 280 ton |

Som tidigare nämnts är inte provtagningen 2003 representativ för hela området, eftersom prover endast har tagits där högre halter förekommer. Spridningen för beräkningen av mängden lakbar zink har varit från ca 234 ton till ca 314 ton. Med underlag av ovanstående bedömer vi att nedan angivna lakbara mängder finns inom området efter avslutad tvättsäsong 2003.

- | | |
|------------------|--------------------|
| • Zink | 250-300 ton |
| • Koppar | 30-35 ton |
| • Kadmium | 3-5 ton |
| • Bly | 15-20 ton |

6.8.7.4. Framtida metalläckage

Styrgruppen för Faluprojektet har tagit beslut om att området ska täckas och en större mängd massor finns redan i dag tillgängliga för täckning. En del av de köpta massorna är en siltig till lerig morän som kan nyttjas för att täcka delområde A där det mest svårtvättade materialet förekommer.

Ytterligare enkla åtgärder kan vidtas för att minska grundvattenflödet genom området, som t ex avskärande diken uppströms området.

Täckning

Ett stort antal tvättbassänger är idag täckta med 0,5-1,5 m metallhydroxidslam, vars genomsläpplighet är relativt låg. Hydrauliska konduktiviteten har bestämts på ett antal prover, resultatet redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 26. Hydrauliska konduktivitet för metallhydroxidslam.

Prover tagna 1996-97	Prov	Hydraulisk Konduktivitet m/s	Prover tagna 2004	Prov	Hydraulisk Konduktivitet m/s
Obelastat	Försök 1	2,50E-09	Obelastat	T 1:2	3,90E-09
Obelastat	Försök 2	1,50E-09	Belastat	T 1:2	2,20E-09
Obelastat	Prov 1	2,00E-09	Obelastat	T 1:4	3,70E-09
Obelastat	Prov 2	2,90E-09	Belastat	T 1:4	3,40E-09
Obelastat	Prov 3	5,90E-08	Obelastat	T 2:3	4,10E-09
Obelastat	Prov 4	8,30E-09	Belastat	T 2:3	2,50E-09
			Tvättbass 6	Punkt 1	5,00E-07
			Tvättbass 7	Punkt 2	5,10E-09
			Tvättbass 8	Punkt 3	1,50E-09
			Slam 5	Punkt 4	9,80E-09

Prover som är benämnda "Belastade" har före bestämning av den hydrauliska konduktiviteten belastats med motsvarande 1 m morän under ca två veckor. Övriga prover är ostörda prover, tagna direkt i bassängerna efter det att slammet legat under en vinter. Som framgår av ritning -6:09 är de områden där de största kvarvarande lakbara mängderna förekommer nu täckta med slam.

Genom att nyttja det material som idag är beställt bedöms att en täckning kan utföras med nedan angiven grundvattenbildning.

- a. Delområde A < 50 mm/år
- b. Delområde B <150-200 mm/år
- c. Delområde C <150-200 mm/år

Inom Skålpussenområdet förutsätts bara en enklare täckning och åtgärder för att minska grundvattnets gradient genom området utföras.

Efter det att täckning och vissa dikningsarbeten utförts, beräknas grundvattenbildningen och flödet från området bli enligt tabell nedan.

Tabell 27. Grundvattenbildning och flöde från kisbränder- och Skålpussenområdet

	Område	Area km ²	Grundvattenbildning mm/år	Flöde m ³ /d
FALUÅN	Morän	0,08	150-200	33-44
	Deponi delområde A	0,03	50	4
	Deponi delområde B	0,03	150-200	12-16
	Summa	0,14		49-64
SKÅLPUSSEN- OMRÅDET	Morän	0,14	Grundvatten/Ytvatten 250-350	96-134
	Deponi delområde C	0,035	150-200	14-19
	Skålpussen	0,013 Ej inkl. vatten- spegeln	200-250	7-9
	Summa	0,188		117-162

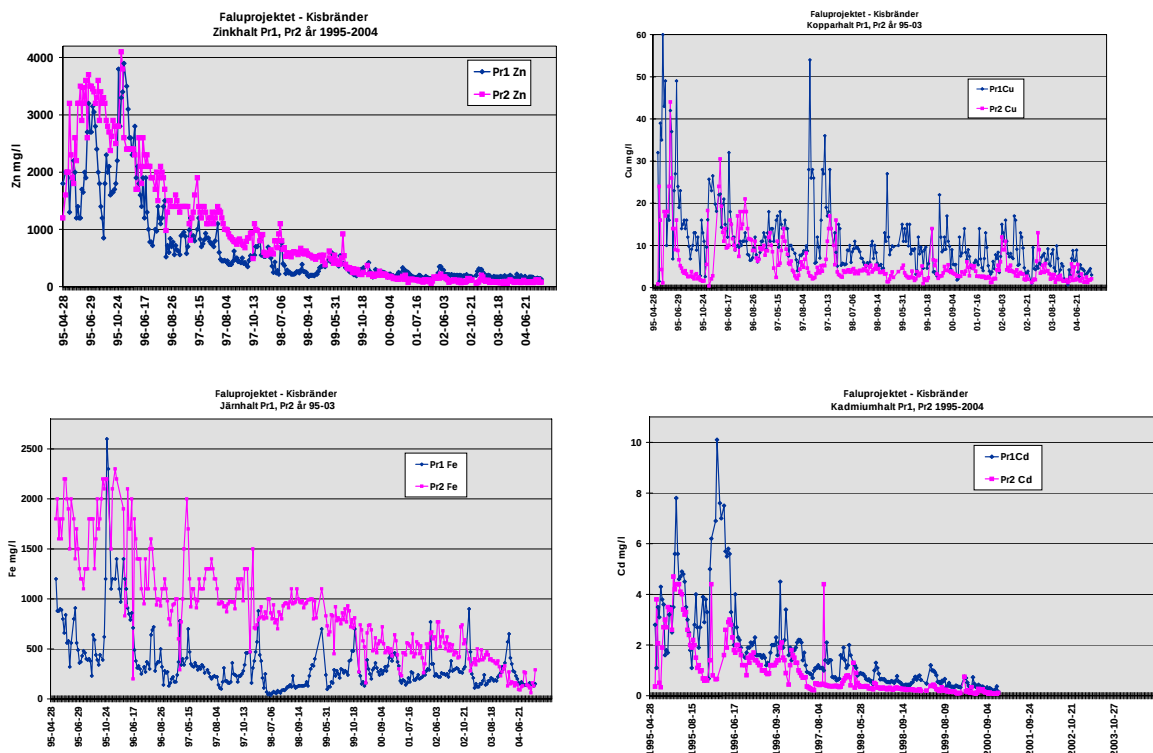
Grundvattenflödet ner mot Faluån kommer efter avslutad tvättning att uppgå till **ca 50-65 m³/d** och mot Skålpussen från delområde C och Skålpussenområdet (som ej är täckt av vattenspegel) kommer grundvattenflödet att vara **ca 20-30 m³/d**. Vattenflödet (grundvatten/ytvatten) från hela Skålpussenområdet kommer att uppgå till ca 120-160 m³/d.

Prognos framtida metalläckage

Idag är det inte bestämt hur länge tvättningen ska pågå och hur området ska täckas, det beslutas i Styrgruppen för Faluprojektet. Antar vi att tvättningen pågår minst under 2005 och eventuellt under 2006 kan man anta att nedanstående lakbara mängder kvarstår inom området.

- | | |
|------------------|--------------------|
| • Zink | 150-200 ton |
| • Koppar | 20-25 ton |
| • Kadmium | 2-4 ton |
| • Bly | 10-15 ton |

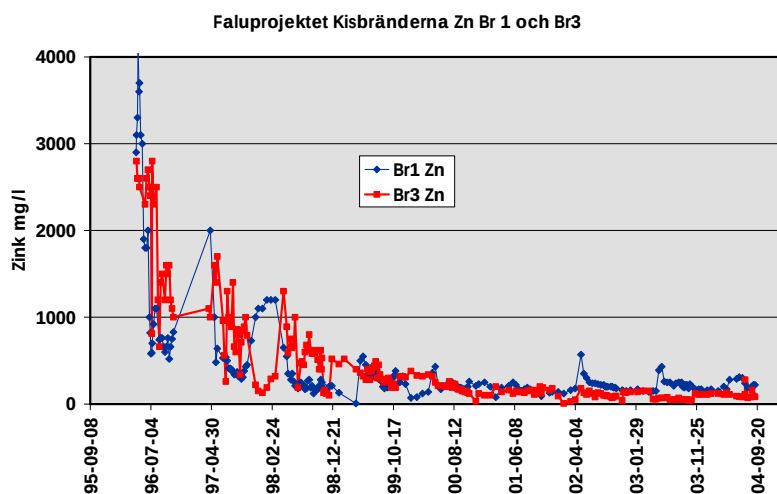
Som tidigare nämnts samlas grundvattnet upp nedströms och pumpas in till behandlingsanläggningen i två olika ledningssystem under tvättningen. Lite förenklat kan man säga att det ena ledningssystem tar grundvatten som läcker åt öster till Faluån och benämns Pr1 och det andra systemet samlar upp vattnet som läcker mot Skålpussenområdet och benämns Pr2. Hur zinken har minskat under de år tvättningen har pågått redovisas i nedanstående diagram.



Figur 48. Zink, koppar, järn och kadmiumhalter i Pr 1 och Pr 2.

Som framgår av figuren har halterna för zink, koppar, järn och kadmium reducerats kraftigt de första åren tvättningen pågått. Fr o m 2001 analyserades inte kadmium.

I brunnarna Br1, Br3 och V15 uttas även vattenprover under den period då ingen tvättning sker (senhösten och vintern), brunnarnas läge framgår av ritning -6:08. Zinkhaltens utveckling i Br1 och Br3 redovisas i nedanstående figur.



Figur 49. Zinkhalten i Br1 och Br3.

Zinkhalterna i brunnarna har minskat från över 3 000 mg/l till under 200 mg/l under de år tvättningen pågått.

I tabellen nedan redovisas förhållandet mellan Cu/Zn, Cd/Zn och Fe/Zn. Koppar och kadmium halterna har multiplicerats med 1 000.

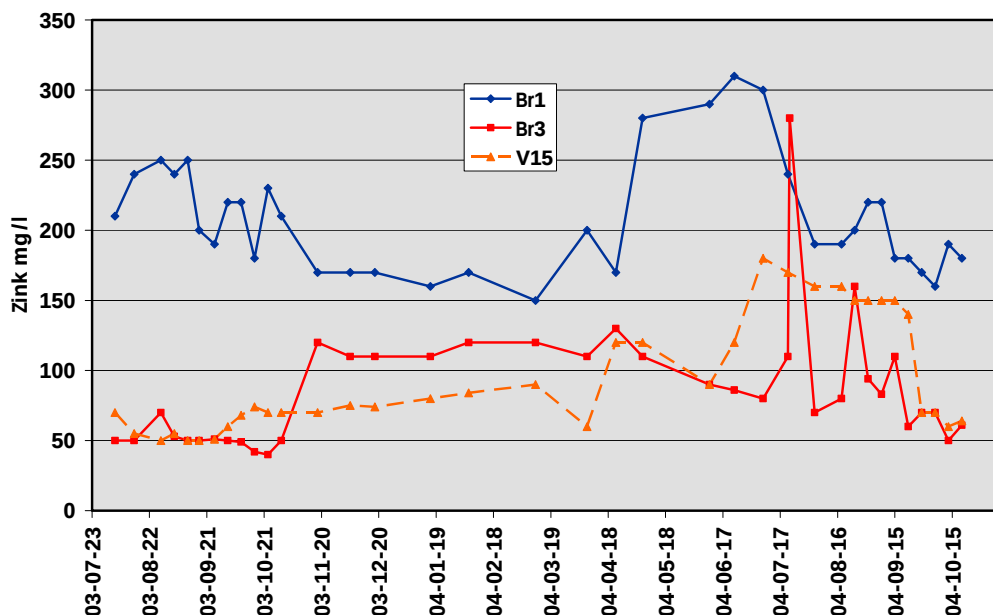
Tabell 28. Förhållandet mellan metallerna i Pr 1 och Pr2

År	Pr1			Pr2		
	Cu/Zn*1000	Cd/Zn*1000	Fe/Zn	Cu/Zn*1000	Cd/Zn*1000	Fe/Zn
1995	10	1,7	0,3	3	0,8	0,6
1996	10	2,3	0,4	6	0,8	0,7
1997	26	2,3	0,5	6	0,7	1,1
1998	25	2,0	0,6	7	0,5	1,5
1999	26	1,6	0,8	7	0,6	2,0
2000	34	1,6	1,2	21	0,9	2,8
2001	36		1,3	27		3,9
2002	41		1,4	39		4,8
2003	30		1,2	38		4,0
2004	27		1,4	26		1,9

Pr1 och Pr2 är grundvatten som pumpas in för rening. Pr1 kommer från brunnar utanför staketet (delyta A-B) och Pr2 från brunnar inne på området (delyta C och Skålpussenområdet). Som framgår av tabellen har zinkhalten minskat mer än andra metaller och förhållandet mellan zinken och andra metaller har därför ökat.

Normalt analyseras endast zink, förutom i Pr1 och Pr2 där även koppar och järn analyseras (samt kadmium t o m år 2000). Några ICP-analyser har tagits under sommaren 2004 vars resultat redovisas i bilaga 6.

Faluprojektet Kisbränderna Zn Br 1, Br3 och V15



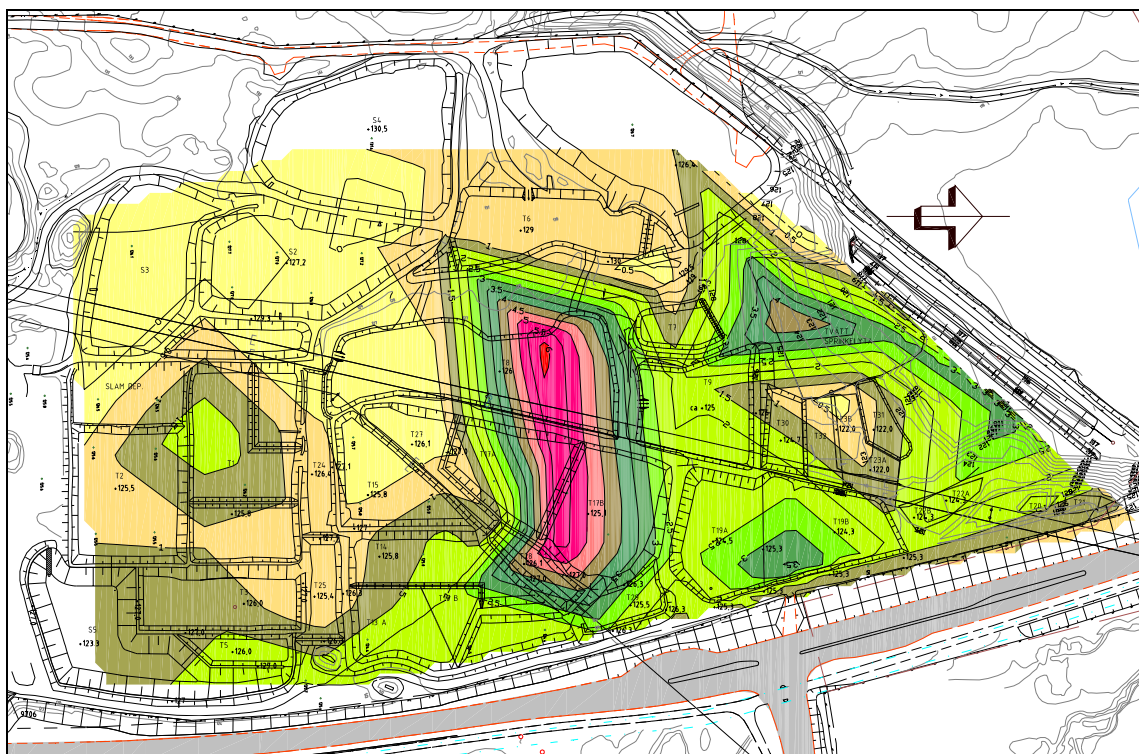
Figur 50. Zinkhalten i Br1, Br 3 och V15 vintern 2003-2004

I tre st brunnar uttas vattenprover även under vintern då ingen tvättning sker, brunnarnas läge framgår av ritning -6:08. Under perioden november till mitten av april, då ingen tvättning pågår, kan man se att zinkhalten i brunn 1 och V15 varierat mellan ca 60 och ca 180 mg/l och i Br3 kring drygt 100 mg/l. Man ska dock veta att under en vintersäsong har man inte erhållit jämvikt i grundvattenmagasinet.

Det huvudsakliga grundvattenflödet, från delområdena A och B, är till området där brunnarna 1 och V13 är belägna. De båda brunnarna ligger i ett slaggområde med mycket stor mäktighet och hög genomsläpplighet.

När tvättningen är avslutad kommer grundvattenytan inom vissa delar av kisbränderområdet att vara belägen under kisbränderna, se ritning -6:11, -6:12 och -6:13.

Inom delområde A är endast en liten del av kisbränderna belägna under grundvattenytan. På ritningar -6:12 och -6:13 redovisas profiler tvärs området och ner mot Faluån, av vilka framgår hur grundvattenytans nivå ligger i förhållande till underkant fyllning (kisbränder och andra deponerade massor). Profilernas läge framgår av ritning -6:08. I nedanstående figur visas grundvattenytans läge i kisbränderdeponin.



Figur 51. Plan som visar hur djupt under grundvattennivån deponerade massor (fyllning) förekommer. Skalan går från 0-0,5 m (gult) till 5,5-6 m (rött).

Inom de gula områdena ligger inga eller max 0,5 m deponerade massor under grundvattenytan. Så är förhållandena i sydvästra delen av området. Mitt i området däremot ligger deponerade massor ned till 6 m under grundvattenytan som mest.

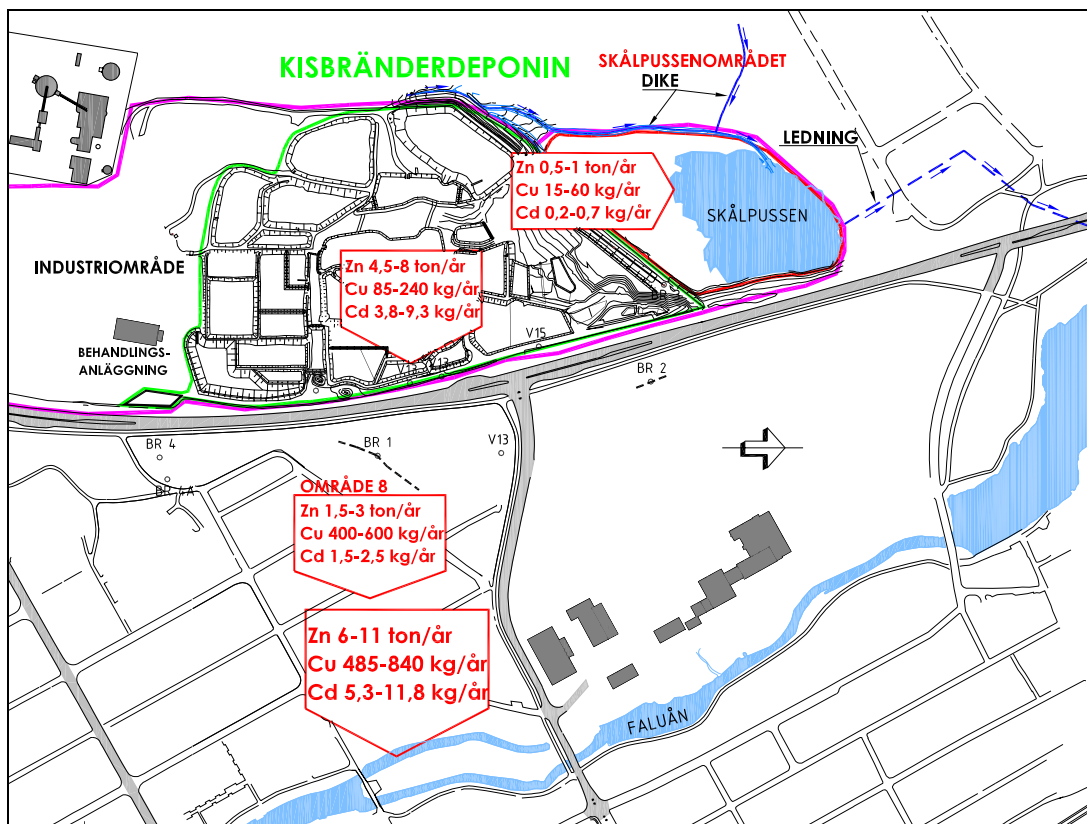
Genom att utföra en relativ tät täckning inom de delar där de största mängderna lakbart material finns kan framtida utläckage av metaller minskas.

För att prognostisera ett framtida metalläckage från området har det antagits att grundvattnet kommer att innehålla vissa halter efter täckning. Halterna baseras till viss del på provtagningar utförda under vintern 2003-2004.

Tabell 29. Halter som har använts för att prognostisera framtida metalläckage.

Metall	Mot Faluån mg/l	Mot Skålpussenområdet mg/l
Zink	250-340	50-40
Koppar	5-10	3-6
Järn	180-280	100-160
Kadmium	0,2-0,4	0,03-0,07
Bly	0,5-1,5	0,5-2

Med ovan angivna halter och flöden beräknas metallläckaget bli enligt nedan.



Figur 52. Prognos framtida metall läckage.

Halter angivna med små siffror visar delläckage från kisbränderdeponin samt slaggområdet mellan deponin och Faluån. Halter angivna med stora siffror anger det sammanlagda metallläckaget till Faluån (exklusive det som går mot Skålpussenområdet till Östanforsån och därefter till Faluån).

I tabellen nedan redovisa prognostiserad framtida metallläckage.

Tabell 30. En prognos för metallläckaget från området efter det att tvättning och täckning utförts.

Metall	Mot Faluån	Mot Skålpussenområdet	Summa läckage
Zink	4,5-8 ton/år	0,5-1 ton/år	5-9 ton/år
Koppar	85-240 kg/år	15-60 kg/år	100-300 kg/år
Järn	3,2-6,7 ton/år	0,8-1,3 ton/år	4-8 ton/år
Kadmium	3,8-9,3 kg/år	0,2-0,7 kg/år	4-10 kg/år
Bly	9-35 kg/år	4-20 kg/år	13-55 kg/år

Den största osäkerheten ligger i det framtida läckaget av bly. Beräkningen för bly är endast baserad på ett fåtal prover, eftersom bly inte har analyserats under tvättningen. När tvättningen av kisbränder påbörjades var det främst zink som var i fokus, eftersom det var ett mycket stort zinkläckage från området (145 ton/år).

6.9. OMRÅDE 7 – Stora Research

6.9.1. Historik

Inom område 7 förekommer i huvudsak slagg, men man kan även träffa på mindre mängder kisbränder. I västra delen av området har tidigare funnits kisbränder som schaktades ur under senare delen av 1980-talet och lagts i gruvan. Kvar idag är en stor grop som är ca 5 m djup.

Området har historiskt varit ett industriområde, där tillverkning av ättiksyra pågick under åren 1910-1971, kopparvitriolframställning pågick 1886-1976 och tillverkningen av järnvitriol pågick 1877-1976, med avbrott för åren 1902-1940. Längs Faluån har ett antal hyttor förekommit.

6.9.2. Tidigare undersökningar

De borrhningar som genomförts inom område 7 har sammanställts på ritning-7:1. Borrhprotokollet återfinns i bilaga 1:3.

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
"Teknisk kartläggning av gruvavfall i Falun"	A-M Fällman, SGU och U Qvarfort, Uppsala Universitet	1990
Undersökning av total- lakhalter samt utlakbara mängder metaller från tre områden i Falun.	Anna Westman Uppsala Universitet. (Examensarbete)	2000

6.9.3. Kompletterande undersökningar

Inom området har kompletterande vattenprovtagning utförts i Faluån både uppströms och nedströms området.

6.9.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

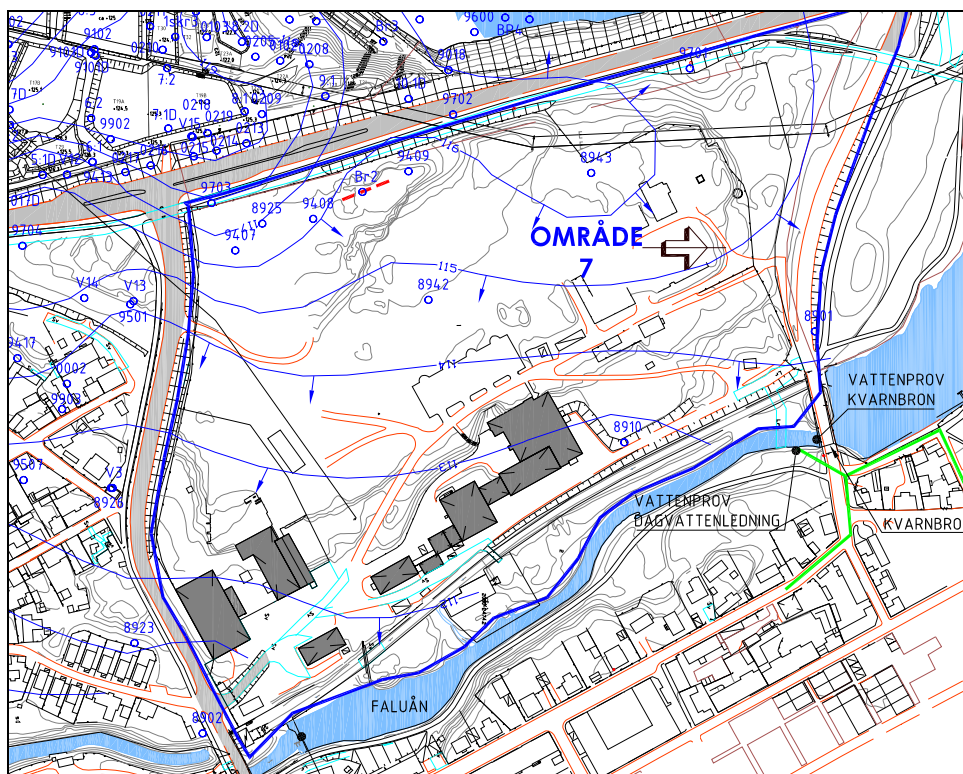
Inom en stor del av området förekommer slagg. Mäktigheten varierar från < 0,5 m till 7-8 m som mest. Inom stora delar är slaggmäktigheten liten mindre än 1 m. Slaggen underlagras även här av silt-lera under stor del av området. Silt-lerlagret är relativt tunt - från någon decimeter till ca en meter.

AVFALLSTYPER

Den huvudsakliga fyllningen utgörs av slagg och de största mäktigheterna förekommer mitt på området. Längs Faluån förekommer slagg med relativt stor mäktighet, ca 3-6 m. De kisbränder som finns kvar på området efter bortschaktningen på 80-talet, är små kvantiteter som mer eller mindre är inblandade i slaggen. Ur metalläckagesynpunkt saknar de betydelse. Mängden slagg har beräknats till ca 250 000-350 000 m³.

6.9.5. Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage

Några ytvattendiken förekommer inte inom området. På ritning -7:1 och i figuren nedan redovisas grundvattennivåerna.



Figur 53. Grundvattennivåer och flödesriktningar.

I västra delen av området finns en grundvattendelare som innebär att en del av området avvattnas mot Skålpussen och Östansforsån och resterande mot Faluån. Grundvattnet från den västra delen av området rinner in i område 8, se ritning -7:1 och figur. Gradienten är ca 2-3% och moränens genomsläpplighet är låg. I västra delen finns en horisontalbrunn (dränering), nr 2, som ingår som uppsamlingsbrunn av grundvatten från tvättningen av kisbränder. Brunnens intagsdel är en dränering som är ca 35 m lång och som ligger drygt 1 m under naturlig grundvattenyta. Under tvättning kan ca 2-4 m³/d uttas ur brunnen vilket visar att genomsläppligheten är låg i det här området. Som en jämförelse kan nämnas att ur brunn V13 som är belägen ca 160 m söderut kan ca 1 200-1 400 m³/d uttas.

Grundvattenbildningen inom området är ca 3-4 m³/h varav ca 15% avvattnas till Skålpussenområdet och Östansforsån och ca 25% till område 8. Resterande flöde ca 2-3 m³/h läcker till Faluån längs sträckan Kvarnbron-Hanröbron.

6.9.6. Metallläckage

I brunn 2, i västra delen av området har vattenprov tagits där medelhalten för zink är 6,8 mg/l baserat på 15 st prover. Ett mer fullständigt prov uttogs sommaren 2004, se tabell nedan.

mg/l		Zink	Koppar	Järn	Kadmium	Bly
Br 2	04-07-21	9,7	0,67	3,2	0,0048	0,14

De uppmätta halterna är låga, vilket innebär att man inte har något märkbart läckage från område 6 (Kisbränderområdet). Slaggen i anslutning till brunnen ger en liten påverkan av vattenkvaliteten i förhållande till övriga områden.

Längs Faluån, nedströms område 7, har vattenprover tagits när dammluckorna varit stängda så att det vatten som runnit i Faluån endast varit framläckande grundvatten och det vatten som läcker genom luckorna. Läckaget genom luckorna vid Kvarnbron och flödet i dagvattenledningen var i stort detsamma vid varje provtagning och det totala flödet uppskattades till ca 30-40 m³/h. Tillskottet från grundvattnet längs sträckan uppskattas till ca 2-3 m³/h, vilket motsvarar ca 7-8% av det totala flödet.

Vattenprover har tagits vid fyra tillfällen under februari-mars 2004 vid respektive bro och från dagvattenledningen. Analysresultaten redovisas i bilaga 7 och provpunkternas läge på ritning -7:01. I tabellen nedan redovisas haltökningen man erhållit längs område 7.

mg/l	Zink	Koppar	Järn	Kadmium	Bly
Medelvärden - Haltökning Kvarnbron-Hanröbron	0,56	0,013	0,48	0,00014	0,0006

Angivna halter är medelvärden på de fyra provtagningarna som utfördes februari-mars. En av provtagningarna för dagvattnet är ej med vid medelvärdesberäkningen på grund av att det var snösmältning och regn och vid provtagningen var dagvattnet kraftigt grumligt. Vid en beräkning av metalltillskottet längs sträckan så blir det för zink ca 0,1-0,2 ton/år, för koppar ca 4-7 kg/år, för järn ca 0,1-0,2 ton/år, för kadmium ca 0,04-0,07 kg/år och för bly ca 0,2-0,3 kg/år.

Läckaget från område 7 till Faluån har beräknats till:

Zink	0,1-0,2 ton/år
Koppar	<0,01 ton/år
Järn	0,1-0,2 ton/år
Kadmium	<0,5 kg/år
Bly	<0,5 kg/år

6.10. OMRÅDE 8 – Gamla Herrgården/Prästtåkten

6.10.1. Historik

Inom område 8 har i huvudsak slagg deponerats under en lång period. I norra delen, i närheten av Hanröbron, har det förekommit hyttor.

6.10.2. Tidigare undersökningar

Tidigare genomförda borrhningar inom område 8 har sammanställts på ritning-8:01. Borrhprotokollet återfinns i bilaga 1:1 för område 8A och bilaga 1:3 för område 8B. I samband med Faluprojektet har ett stort antal undersökningar utförts även nedströms kisbränderområdet, se bilaga 9.

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
Varp 89	Stora Teknik, VIAK	1989
Teknisk kartläggning av gruvavfall i Falun	A-M Fällman, SGU och U Qvarfort, Uppsala Universitet	1990

6.10.3. Kompletterande undersökningar

Några kompletterande undersökningar i detta projekt har inte utförts. Faluprojektet utför däremot kontinuerligt vattenprovtagningar, mätning av grundvattennivåer m m inom området.

6.10.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

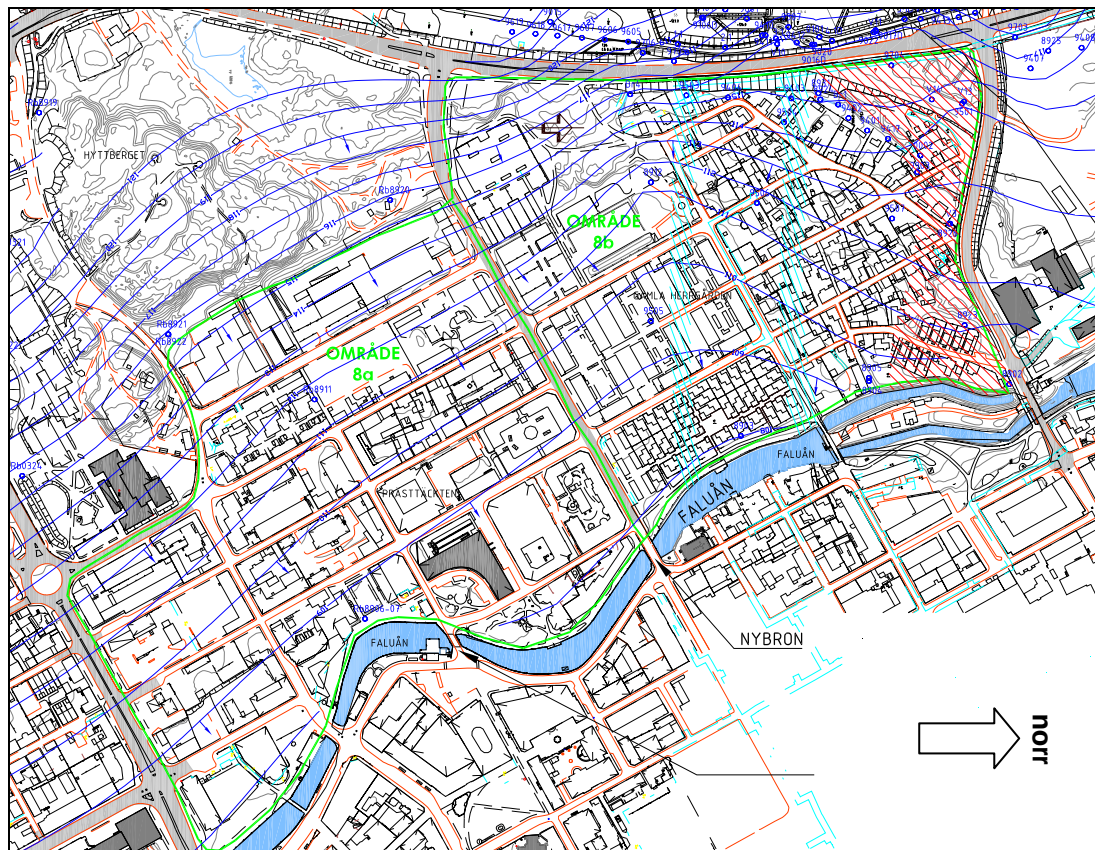
Inom i princip hela området förekommer fyllning av slagg, utom på en mindre yta i nordvästra hörnet där det förekommer morän. I grova drag kan man säga att slaggen underlagras av morän i den västra delen av område 8B och inom övrigt förekommer oftast silt-lera som underlagrar fyllningen. Silten-leran har mäktigheter från någon decimeter till ett par meter.

AVFALLSTYPER

Den huvudsakliga fyllningen är slagg och de största mäktigheterna förekommer i områdets norra del. Slaggens mäktighet i nordvästra delen är ända uppemot 14 m, se ritning 8:01. På ritningen har även markerats två sträckningar där gamla diken eventuellt förekommit. Mängden slagg inom området uppskattas till ca 700 000-1 000 000 m³, varav ca 400 000-600 000 m³ inom område 8B.

6.10.5. Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage

Ett mindre ytvattendike, ca 30 m långt, förekommer i nordvästra delen. Diket är gammalt och har tidigare haft en sydlig riktning, se ritning -105. Diket är idag anslutet till en dagvattenledning som har sitt utlopp vid Nybron. I figuren nedan och på ritning 8:1 redovisas grundvattennivåer och flödesriktningar.



Figur 54. Grundvattennivåer och flödesriktningar

Gradienten varierar mellan 1% och 3%, den flackare gradienten finns närmast ån. Genomsläppligheten inom området är mycket hög i fyllningen. Inom största delen av området är grundvattennivån belägen i fyllningen, det är endast sydvästra delen av område 8B som grundvattennivån är belägen under fyllningen. Slaggens mäktighet över grundvattenytan varierar från några decimetrar till upp emot 6-7 m vilket innebär att grundvattenflödets storlek varierar kraftigt inom området.

Områdets storlek är ca 0,34 km² och grundvattenbildningen inom området har beräknats till ca 2-6 m³/h. Större delen av området är bebyggt, vilket innebär att grundvattenbildningen är svår att bestämma, därav det stora spannet. Grundvattenflödet genom området är dock betydligt större än 2-6 m³/h, eftersom grundvattenbildningsområdet stäcker sig betydligt längre västerut. Grundvattenflödet genom område 8A uppskattas till ca 7-12 m³/h och flödet genom område 8B till ca 3-6 m³/h.

6.10.6. Metalläckage

Ett antal vattenprover har under årens lopp tagits inom området, men vi har inte använt oss av dessa för beräkning av metalläckaget. Anledningen är att vattenproverna påverkas av de stora tillskotten av metaller från områdena 5 och 6 (kisbränderdeponin) som är belägna väster om område 8.

Vid beräkning av metalltillskottet har vi istället använt oss schablonvärden för årlig lakning från slagg enligt tidigare utredningar. Schablonvärdena 5 g lakbar zink per m³ slagg och år och ca 1,3 g koppar per m³ slagg och år har nyttjats. För metallerna kadmium och bly har använts förhållandet mellan de olika metallerna.

Läckaget från område 8 till Faluån har beräknats till:

Zink	3,5-5 ton/år
Koppar	0,9-1,3 ton/år
Järn	3-5 ton/år
Kadmium	ca 3-9 kg/år
Bly	ca 4-12 kg/år

Som framgår är det en osäkerhet i beräknade mängder, särskilt vad gäller kadmium och bly.

6.11. OMRÅDE 9 – Elsborg

6.11.1. Historik

Liksom för övriga områden har slagg använts som fyllnadsmaterial även i område 9.

6.11.2. Tidigare undersökningar

Borrningar som har utförts inom område 9 har sammanställts på ritning-9:1. Borrprotokollet återfinns i bilaga 1:1.

TITEL	FÖRFATTARE	ÅR
Översiktlig geohydrologisk undersökning	GVT AB	2003

6.11.3. Kompletterande undersökningar

Några kompletterande undersökningar har inte utförts i detta projekt.

6.11.4. Markförhållanden och avfallstyper

MARKFÖRHÅLLANDEN

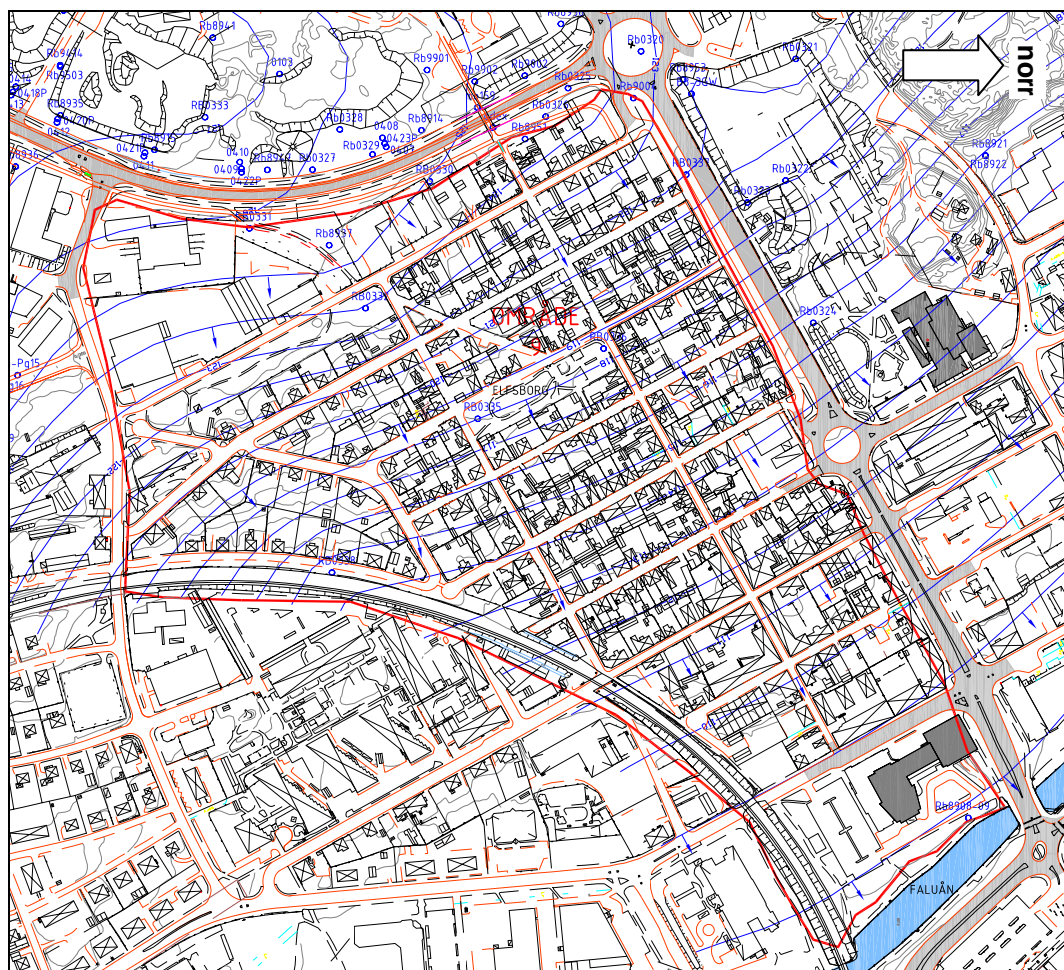
Mäktigheten på slaggyllningen i område 9 är betydligt mindre än i övriga områden. I norra delen av området förekommer dock betydligt mer slag än i de södra delarna. I den södra delen förekommer morän i dagen på ett flertal ställen.

AVFALLSTYPER

Den huvudsakliga fyllningen är slag och de största mäktigheterna förekommer i områdets norra del. Mängden slag inom området uppskattas till ca 100 000-200 000 m³.

6.11.5. Yt- och grundvattenflöden samt metalläckage

Inom området finns inga ytvattendiken av betydelse. Grundvattenflödet har en östlig riktning ned mot Faluån, se ritning 9:01 och figuren nedan.



Figur 55. Nivålinjer och flödesriktningar för grundvattnet inom område 9, Elsborg.

Grundvattenytan är normalt belägen under slaggen, men i den norra delen finns det dock mindre områden där slaggen har större mäktighet så att grundvattnet står i slaggen. Gradienten varierar mellan 7% och 8%. Moränen i området har en låg genomsläpplighet. Det innebär att det är samma förhållanden här som i område 5 - vid kraftig nederbörd sker en avrinning i slaggen på moränytan.

Områdets storlek är ca 0,34 km² och grundvattenbildningen inom området har beräknats till ca 4-7 m³/h. Grundvattenflödet genom området är betydligt större eftersom grundvattenbildningsområdet sträcker sig betydligt längre västerut. Inom vissa delar av området är va-ledningssystemet beläget under grundvattenytan, vilket innebär att man har ett läckage till ledningssystemet och längs ledningsbäddarna.

6.11.6. Metallläckage

I området har konduktivitet och pH bestämts i ett antal grundvattenrör. Metaller har analyserats i ett antal grundvattenrör som är belägna i anslutning till gruvområdet (område 3). Av tidigare uttagna vattenprover kan man inte bestämma läckaget från slaggen, eftersom områden uppströms (gruvområdet) läcker betydligt mer metaller.

Vid beräkning av metalltillskottet har vi använts oss av tidigare utredningar. Vi har använt schablonvärden för lakning på ca 5 g lakbar zink per m³ slagg och år, samt ca 1,3 g koppar per m³ slagg och år. För metallerna kadmium och bly har använts förhållandet mellan de olika metallerna.

Läckaget från område 9 till Faluån och Tisken har beräknats till:

Zink	0,5-1 ton/år
Koppar	0,2-0,4 ton/år
Järn	0,5-1 ton/år
Kadmium	ca <0,5 kg/år
Bly	ca <0,5 kg/år

7. METALLERNAS SPRIDNING

7.1. Metalltransport från gruvavfall i Falu stad till Faluån

En summering av de områdesvisa beräkningar av dagens metalläckage från gruvavfallet i Falu stad till Faluån/Tisken framgår av Tabell 31.

Tabell 31. Beräknad storleksordning på metallurlakningen från gruvavfall på olika områden i Falu stad år 2003, samt när pågående efterbehandling av kisbränderdeponin är avslutad.*

OMRÅDE	Zink (ton/år)	Koppar (ton/år)	Järn (ton/år)	Kadmium (kg/år)	Bly (kg/år)
1. Galgbergsmagasinet	2,5-3	ca 0,2	30-40	ca 2	ca 2
2. Nicolaiområdet	0,3-0,8	0,03-0,05	1,0-1,5	ca 0,5	ca 0,5
3. Gruvan/Rödfärgsråvaran	13-18	2-3	90-120	30-40	4-5
4. Ingarvsmagasinet m m	7-11	0,3-0,9	30-50	ca 8-10	ca 8-10
5. Hyttberget/Vändrostarna	1,7-3,0	0,5-0,8	1,7-3,0	ca 4-8	ca 5-9
6. Kisbränderdeponin – läge idag – efter tvättning/täckning	20-27 5-9	0,4-0,9 0,1-0,3	12-16 4-8	20-30 4-10	40-100 10-60
7. Stora Enso Research	0,1-0,2	<0,01	0,1-0,2	<0,5	<0,5
8. Gamla Herrgården	3,5-5,0	0,9-1,3	3-5	ca 3-9	ca 4-12
9. Elsborg	0,5-1,0	0,2-0,4	0,5-1,0	<0,5	<0,5
TOTALT OMRÅDE 1 till 9 – läge idag – efter tvättning/täckning av Kisbränderdeponin	48-69 33-51	5-8 4-7	165-239 157-231	68-100 52-80	64-139 37-94

* Mängden underlagsdata för beräkningarna varierar kraftigt. Generellt finns överlägset mest data för zink och koppar. Kadmium och järn har analyserats relativt ofta för de mest undersökta områdena (Ingarvsmagasinet, Kisbränderdeponin, Gruvan/Rödfärgsråvaran), medan bly endast analyserats vid enstaka tillfällen. För slaggområdena (område 5 samt 7 till 9) finns generellt väldigt lite underlagsdata. Halter med ca-angivelser framför är behäftade med stor osäkerhet.

Beräkningarna visar att området "Gruvan/Rödfärgsråvaran" står för det klart största läckaget av zink, kadmium, koppar och järn. Enligt gjorda beräkningar kommer detta område ensamt att svara för i storleksordningen hälften av det samlade läckaget av zink, kadmium, koppar och järn då den pågående saneringen av kisbränderdeponin är avslutad.

Från område 3 och område 4 sker en del av metallurlakningen till gruvan. Denna del har inte räknats med i Tabell 31. Orsaken är att den delen av metalläckaget inte sker till Faluån/Tisken, utan ingår i läns pumpningsvattnet från gruvan som renas i Främby avloppsreningsverk. Det renade vattnet släpps ut i Runn.

I Tabell 32 nedan har en förenklad metallbalans för Falu stad ställts upp. I tabellen jämförs det beräknade metalläckaget från gruvavfall med vad som transporteras ut från staden. I huvudsak sker uttransporten med Faluån, men viss del av det metallförorenade grundvattnet dräneras bort i avloppsledningar och hamnar i kommunens reningsverk. Där fastläggs metallerna i avloppsslammet genom kemisk fällning. Det finns självklart andra källor till metaller i avloppsslammet än gruvavfallet, men i Falun är det den dominerande källan för många metaller.

Tabell 32. Beräknad storleksordning på metalläckage från gruvavfall på olika områden i Falu stad jämfört med "uttransporten" av metaller från staden år 2003.

OMRÅDE	Zink (ton/år)	Koppar (ton/år)	Järn (ton/år)	Kadmium (kg/år)	Bly (kg/år)
Transport m Faluån*	47	2,6	130	49	140
Transport via avloppsnätet**	7	1,5	14	10	30
TOTAL TRANSPORTERAT 2003	54	4,1	144	59	170
BERÄKNAT LÄCKAGE 2003 (enl Tabell 1)	48–69	5–8	165–239	68–100	64–139
DIFFERENS: BERÄKNAT LÄCKAGE minus UPPMÄTT TRANSPORT	-6–15	1–3	21–95	9–41	-106–-31
KVOT: DIFFERENSEN delat med BERÄKNAT LÄCKAGE	-12–22%	11–45%	13–40%	13–41%	-167–-23%

* DVVF:s mätstationer Slussen (nedströms Falun) minus station Vällan (uppströms Falun), medelvärden för år 2003.

** Metallmängder i inkommande avloppsvatten 2003 (Fe) och medelvärde för slam 2000-2002 (Zn, Cu, Cd, Pb) vid Främby ARV 2003, mätningar Falu Energi & Vatten.

Skillnaderna mellan beräknat läckage och uppmätt transport speglar osäkerheterna i beräkningar och mätningar, men har även andra orsaker. Negativa differenser i tabellen (röd text) betyder att beräkningen av metalläckaget ligger lågt jämfört med den uppmätta metalltransporten i Faluån. För bly beror den stora skillnaden på att andra källor än gruvavfall bidrar märkbart till metalltransporten i ån. Detta framgår även när man tittar på sambandet mellan olika metaller i Faluåns nedre del (mätstation Slussen), där blyhalten uppvisar dålig korrelation med zink- och kadmiumhalterna. När det gäller järn är det beräknade läckaget från gruvavfall större än den uppmätta transporten. En förklaring är att järn faller ut i vattendragen under passagen genom Falun. När järnet faller ut sker även en medfällning av andra metaller, vilket kan förklara att det även "fattas" kadmium och koppar i Slussen jämfört med det beräknade läckaget från gruvavfall. Tilläggas bör också att inte hela metallmängden som transporteras via avloppsnätet härrör från gruvavfallet. Metaller tillförs också via spillvatten från hushåll och industrier, samt till exempel via kopparledningar. Hur stora mängder övriga källor bidrar med är inte undersökt inom ramen för denna studie.

I tabellen har inte länsbypumpningsvattnet från gruvan tagits med. Vattnet pumpas idag till Främby reningsverk och renas där i en separat gruvvattenlinje. Det

renade vattnet innehåller fortfarande metaller, vilka släpps ut i Runn – det vill säga nedströms mätstationen Slussen.

Urlakningen av metaller från gruvavfall till Faluån och vidare till Dalälven har pågått under flera århundraden. Någon ytterligare, betydande fastläggning av metaller i mark förväntas därför inte ske. Däremot finns, som nämnts ovan, mätbara, synliga bevis för att järn faller ut i vattendragen på sin väg till Faluån/Tisken och då även medfäller andra metaller.

7.1.1. Metalltransport i Faluåns tillflöden

Faluprojektet och Stora Enso genomför sedan 1994 respektive 1990 omfattande provtagning enligt kontrollprogram i Ingarvsdiket, Gruvdiket, Gruvbäcken (Faluprojektet) samt Syrabäcken (Stora Enso).

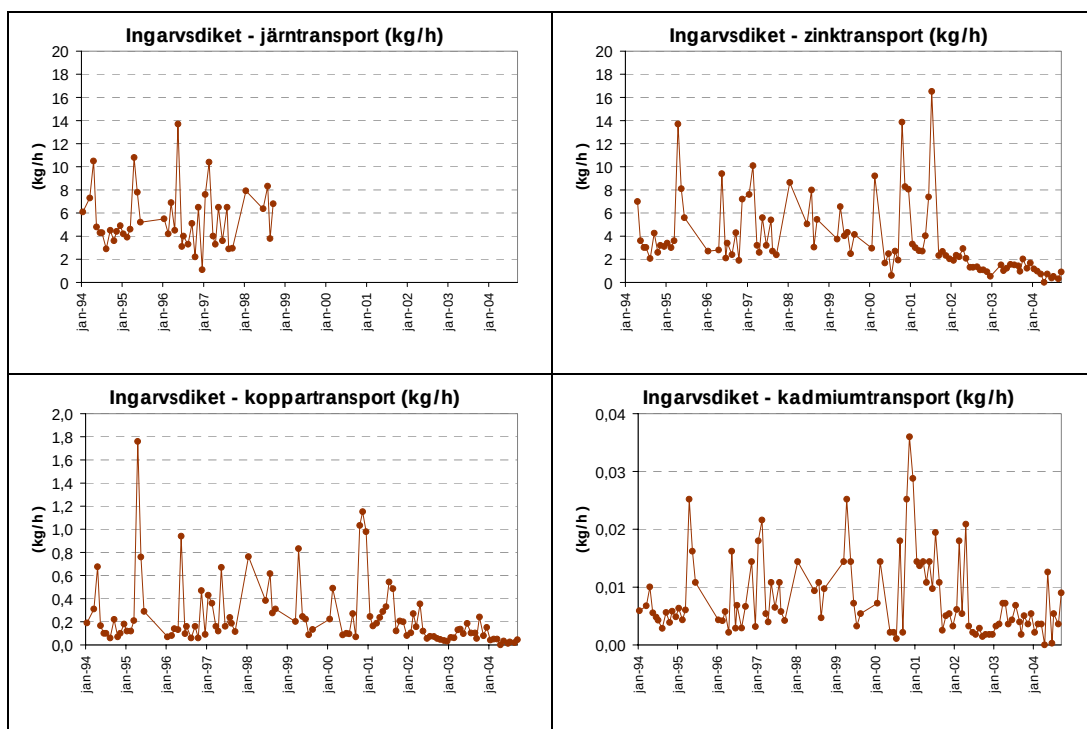
Mätningarna som skett i Faluån och dess tillflöden under perioden 1989-2003 har lagts in i en databas och utvärderats på uppdrag av Länsstyrelsen i Dalarnas län (*"Utvärdering av mätningar i Faluån och dess tillflöden", Mopelikan och Svensk MKB, 2004-04-26*). Där görs också jämförelse av halter och vattenflöden mätta av Faluprojektet respektive Dalälvens vattenvårdsförening (DVVF).

Nedan redovisas de metalltransporter som uppmäts inom ramen för Faluprojektets och Stora Ensos kontrollprogram. Resultaten har delvis använts vid de områdesvisa metalläckageberäkningarna som redovisats i tidigare avsnitt.

Ingarvsdiket

Ingarvsdiket påverkas av lakvatten från Gamla Bergets slaggområden (område 4c), Ingarvsmagasinet (4a), samt slagg och varp vid Lovisa (4a) och "transformatorstationen" (4c). Det tillförs även dagvatten från Ingarvets industriområde och Stångtjärnsbäcken, vilken i sin tur är påverkad av lakvatten från Varggårdsdeponin.

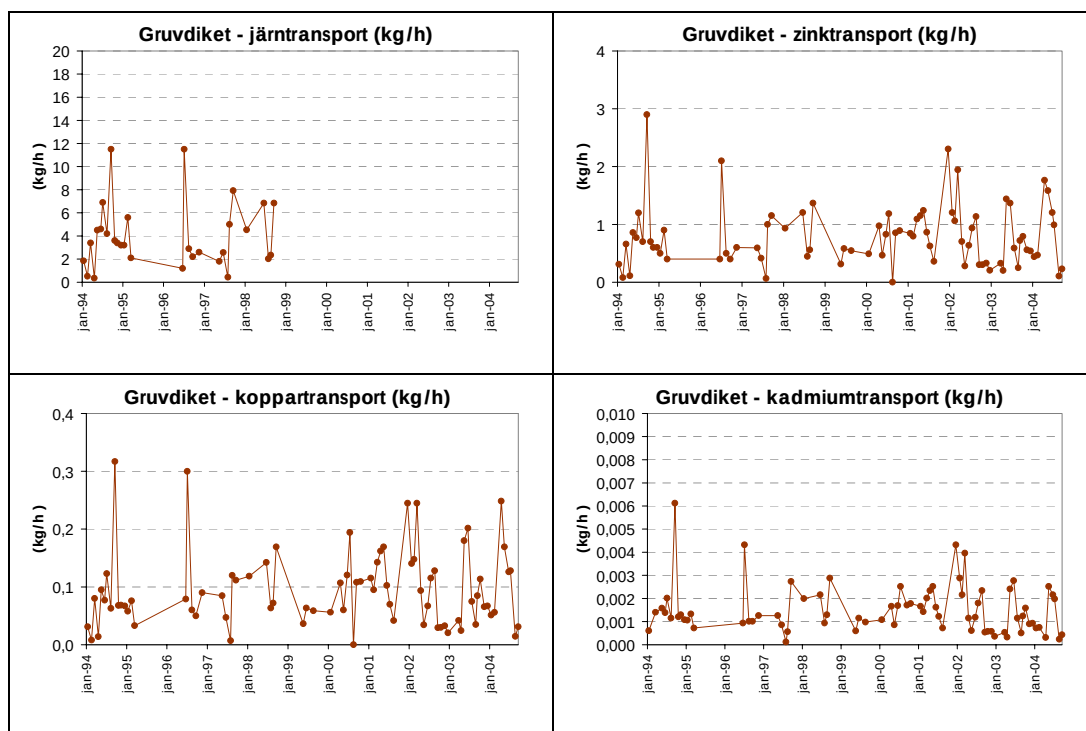
Av Figur 56 framgår att metalltransporten i Ingarvsdiket har minskat under senare år, främst med avseende på zink. Ingarvsmagasinet togs ur drift 1993 och sluttäcktes under perioden 1997-2004. Den minskade variationen i metalltransporten under de senaste åren beror troligen på förändringar i regleringen av sjön Vällan uppströms Ingarvsdiket.



Figur 56. Metalltransporter i Ingarvsdiket 1994 till september 2004. Enheten 1 kg/h motsvarar knappt 9 ton/år.

Gruvdiket

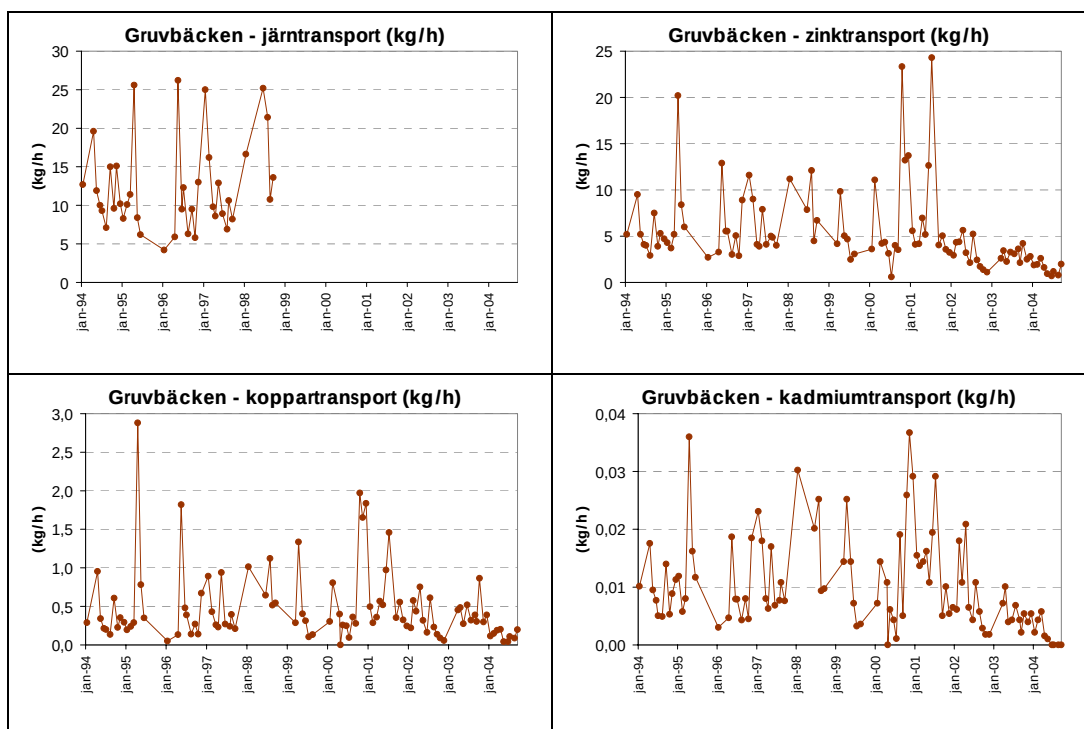
Gruvdiket avvattnar gruvområdet (område 3). Inom detta område har endast mindre omfattande åtgärder vidtagits för att minska urlakningen av metaller. Rödfärgsråvaran inom området flyttas successivt närmare Stora Stöten för att lakvatten från materialet ska dräneras till gruvan. En avskärande dränering har anlagts uppströms området för att minska grundvattenflödet genom den metallrika fyllningen i området. Någon tydlig trend för metalltransporten i Gruvdiket kan inte utläsas (se Figur 57).



Figur 57. Metalltransporter i Gruvdiket 1994 till september 2004. Enheten 1 kg/h motsvarar knappt 9 ton/år.

Gruvbäcken

Gruvdiket och Ingarvsviket går ihop till Gruvbäcken. Flödet i Ingarvsviket är betydligt större än i Gruvdiket (medel 1990-2003 var 21 000 l/s i Ingarvsviket jämfört med 0,6 l/s i Gruvdiket). Trots det är metalltransporten med de båda vattendragen relativt likvärdig för flera metaller (speciellt sedan Ingarvsvikens magasin sluttsluts), på grund av att metallhalterna i Gruvdiket är mycket höga.

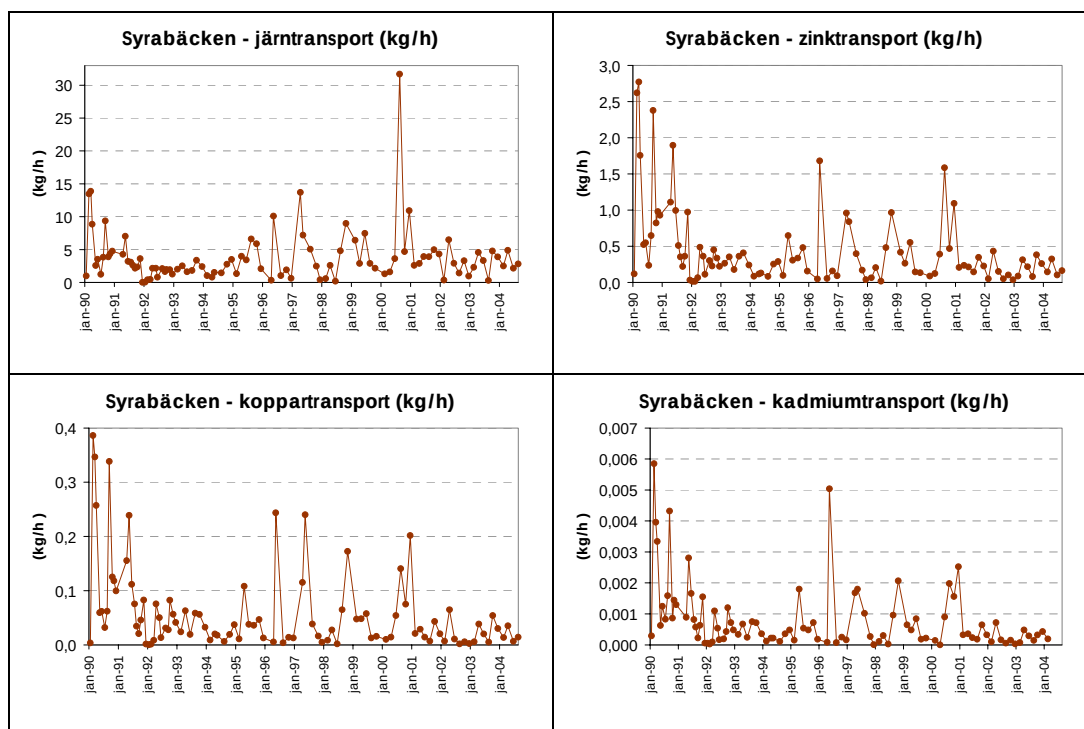


Figur 58. Metalltransporter i Gruvbäcken 1994 till september 2004. Enheten 1 kg/h motsvarar knappt 9 ton/år.

Syrabäcken

Syrabäcken tar emot lakvatten från Galgbergsmagasinet (område 1) och Nicolaiområdet (2). Syrabäcken mynnar i Tisken.

Galgbergsmagasinet sluttäcktes under perioden 1989 till 2001. Huvuddelen av täckningen var dock klar 1997. Metalltransporten i Syrabäcken 1990-2004 framgår av Figur 59.



Figur 59. Metalltransporter i Syrabäcken 1990 till september 2004.

Utifrån de halter som uppmäts inom ramen för Faluprojektets och Stora Ensos kontrollprogram har en sammanställning av metallkvoter i Faluåns tillflöden gjorts (Tabell 33). Zink har använts som normeringsmetall, eftersom zink historiskt har varit den metall som Faluprojektets åtgärder inriktats på.

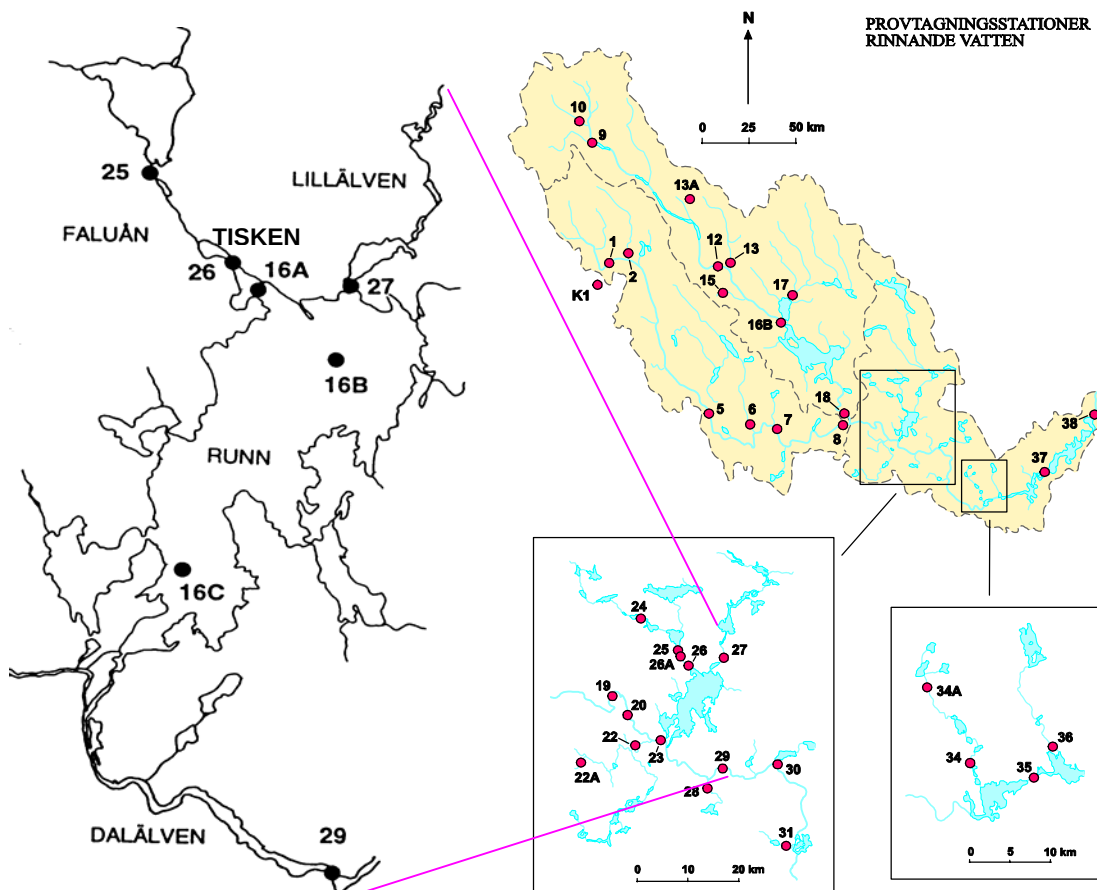
Tabell 33. Metallkvoter i Faluåns tillflöden 1990-2003.

KVOTER	YTVATTEN														
	Kvot Fe/Zn					Kvot Cu/Zn					Kvot Cd/Zn				
	Syra- bäcken	Gruv- diket	Gruv- bäcken	Ingarvs- diket	Skål- pussen	Syra- bäcken	Gruv- diket	Gruv- bäcken	Ingarvs- diket	Skål- pussen	Syra- bäcken	Gruv- diket	Gruv- bäcken	Ingarvs- diket	Skål- pussen
Medel -90	5,4					0,12					0,0019				
Medel -91	4,9					0,11					0,0015				
Medel -92	7,7					0,13					0,0020				
Medel -93	7,9					0,14					0,0016				
Medel -94	12	5,3	2,3	1,4		0,12	0,11	0,06	0,05		0,0016	0,00011	0,0017	0,0015	
Medel -95	13	5,2	1,7	1,1		0,12	0,11	0,08	0,07	0,0056	0,0017	0,00011	0,0019	0,0018	0,00044
Medel -96	10	5,2	1,9	1,4		0,11	0,11	0,06	0,05	0,0076	0,0019	0,00011	0,0015	0,0016	0,00072
Medel -97	12	5,3	2,0	1,1		0,15	0,10	0,07	0,06	0,0068	0,0017	0,00010	0,0019	0,0019	0,00063
Medel -98	10	5,6	2,2	1,1		0,14	0,10	0,09	0,08	0,0065	0,0018	0,00010	0,0022	0,0016	0,00041
Medel -99	15	5,6				0,12	0,10	0,07	0,06	0,0001	0,0016	0,00010	0,0021	0,0026	0,00031
Medel -00	13	5,6				0,13	0,10	0,10	0,09		0,0018	0,00010	0,0021	0,0025	
Medel -01	17	5,5				0,09	0,10	0,09	0,06		0,0015	0,00010	0,0021	0,0027	
Medel -02	22	5,4				0,09	0,10	0,09	0,06		0,0014	0,00010	0,0023	0,0030	
Medel -03	15	5,7				0,09	0,10	0,14	0,08		0,0014	0,00010	0,0018	0,0034	

Kvoten Fe/Zn har ökat tydligt i Syrabäcken sedan Galbergsmagasinet sluttäckts. Indikationer finns på samma tendens för förhållandet Fe/Zn i Ingarvsdiket sedan Ingarvsmagasinet täckts, men underlagsdata saknas då järnanalyser för mätpunkten i Ingarvsdiket inte längre ingår i Faluprojektets kontrollprogram. Cu/Zn-kvoten har legat relativt konstant i samtliga tillflöden under perioden. Kvoten Cd/Zn har varit relativt konstant under perioden, med undantag för Ingarvsdiket där den stigit.

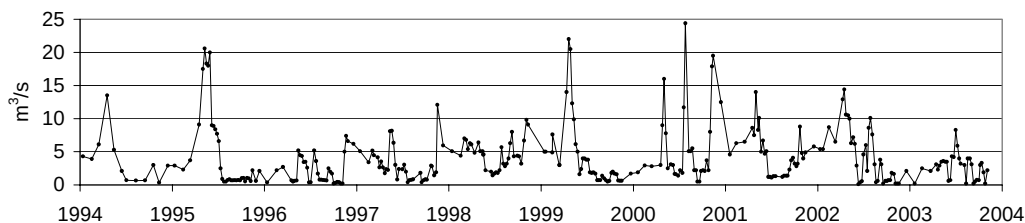
7.2. Vattenrecipienten - Faluån och nedströms

Det metallrika läckagevattnet rinner i huvudsak ut i Faluån, som via Tisken mynnar i sjön Runn. Runn har sitt utflöde i Dalälvens huvudfåra några tiotal km nedströms Borlänge tätort. Dalälven mynnar i sin tur i Bottenhavet strax öster om Skutskär (Figur 4).



Figur 60. Vattenrecipienten Faluån-Runn-Dalälven i olika förstoringar. Punkterna anger de provtagningslokaler som undersöks av Dalälvens vattenvårdsförening. Kartor från DVVF:s årsrapporter¹.

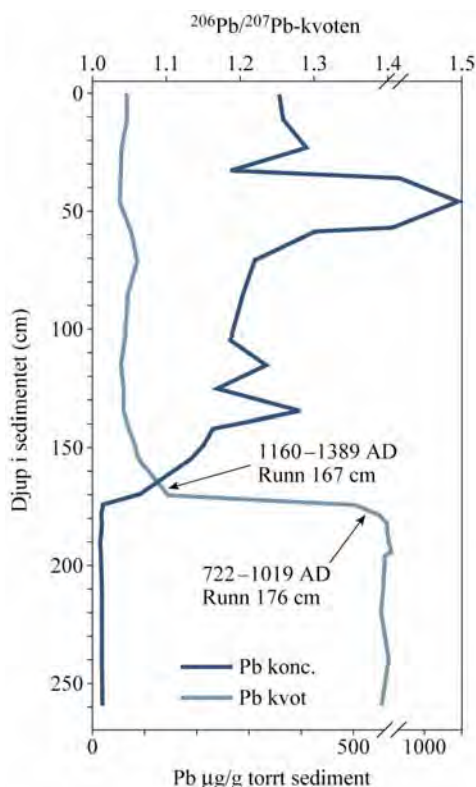
Faluåns vattenflöde varierar förhållandevis mycket, delvis beroende på att vattensystemet är reglerat. Exempel på flödesvariationer i ån i centrala Falun (Kristinebron) ges i Figur 61. Medelflödet i Tiskens utflöde, Slussen (stn 26), ligger på ungefär 4 m³/s.



Figur 61. Vattenflödets variation i Faluån i centrala Falun under perioden 1994-2004^{iv}.

7.2.1. Historiska och aktuella utsläpp

Faluån har under långa tider, uppskattningsvis femhundra år eller mer, mottagit stora mängder metall från gruvavfall. Sedimenten i Runn visar att en påtaglig ökning av metalltillförseln till sjön inträffade redan kring år 800. Ända till 1987 fördes dessutom allt gruvvatten från Falu gruva orenat till ån.



Figur 62. Sediment på olika djup i Runns botten visar hur tillförseln av bly förändrats under de senaste tvåtusen åren. Blyhalten ökade påtagligt kring år 800 samtidigt som blyets isotopsammansättning förändrades. Detta är tecken på en påverkan på vattensystemet från och med denna tidpunkt. Bilden är från ett arbete av Niclas Nilssonⁱⁱ.

Enligt mätningar under början av 1980-taletⁱⁱⁱ tillfördes Faluån vid den tiden årligen ca 500 ton järn och 700 ton zink samt mindre kvantiteter kadmium, koppar m.m. Det utflödade gruvvattnet var dessutom så surt att Faluån stundtals uppvisade pH-värden kring 3,5.

I och med att gruvvattnet började renas vid slutet av 1980-talet halverades i stort sett metalltillförseln till ån. Gruvans nedläggning 1992 ledde till en ytterligare minskning av metallflödet, en minskning som fortsatt under 1990-talet och början

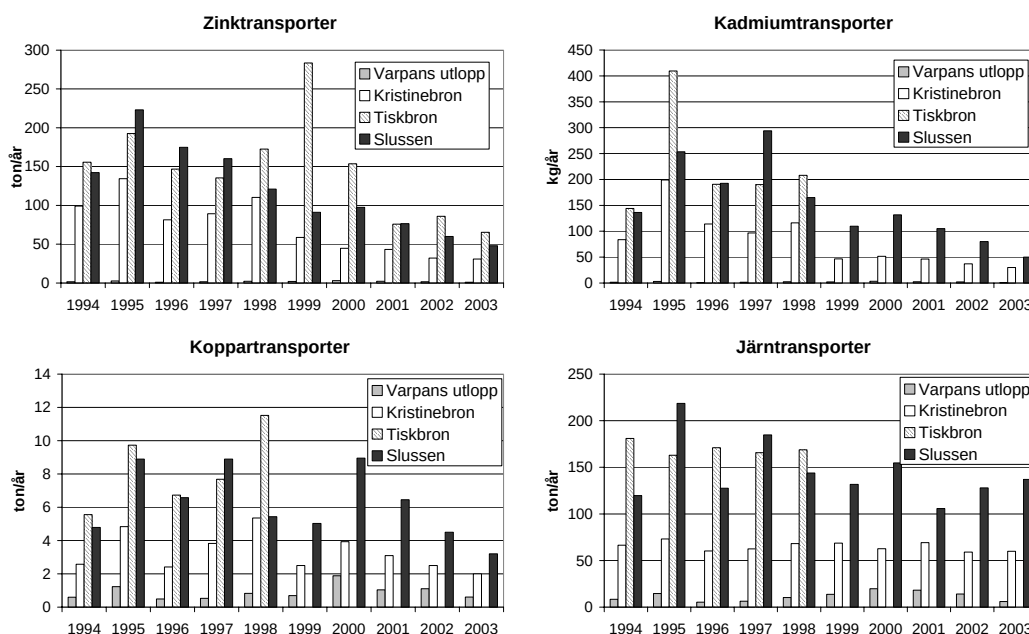
av 2000-talet som en följd av de åtgärder som vidtagits för att minska metalläckagen från sandmagasin, kisbränder m.m.

Åtgärderna har dock lett till olika grad av metallreduktion för olika metaller. Enligt gjorda mätningar och beräkningar^{iv} uppvisar zinktransporten i Faluån en påtaglig minskning under det senaste decenniet, vilket rimligen måste hänföras till genomförda åtgärder. Mätningarna tyder på en reduktion i storleksordningen 60-70 % sedan mitten av 1990-talet. En liknande bild uppvisar kadmium, medan mönstret är mindre tydligt för koppar och i det närmaste obefintligt för järn (Figur 63).

Faluåns vatten är numera pH-neutralt med ett medelvärde år 2002 på 6,7 och en variation mellan 6,3 och 7,1 samma år. Den aktuella metaltillförseln till Faluån från källor i Falun enligt mätningar i Varpans utlopp och i Slussen framgår av Tabell 34. P.g.a. nyligen uppmärksammade osäkerheter kring provtagningen i Slussen kan dock tillförseln vara större, eventuellt i storleksordningen 30 % större. Utredningar pågår för att närmare försöka beräkna felkällans storlek (våren-sommaren 2004).

Tabell 34. Metaltillförseln till Faluån längs sträckan Varpans utlopp – Slussen enligt gjorda mätningar i ån under 2003^{iv}. Notera kommentaren i texten att dessa värden sannolikt är underskattade!

	Zink	Kadmium	Koppar	Bly	Järn
ton/år	47	0,049	2,6	0,14	130



Figur 63. Årliga transporter (ton/år) av zink, kadmium, koppar och järn i olika delar av Faluån under perioden 1994-2003^{iv}.

7.2.2. Metallernas spridning och fastläggning

I Dalälvens vattenvårdsförenings regi, DVVF, mäts sedan 1990 koncentrationen av flera metaller i olika delar av älvens vattensystem. Mätningar görs främst i vatten men även i sediment och fisk. Medelhalter i vatten under år 2002 i några provpunkter kring och nedströms Falun framgår av Tabell 35.

Tabell 35. Metallhalter (medelvärden) i Faluån, Runn och Dalälven under 2002.
Från i.

	µg/l	Zink	Kadmium	Koppar	Bly	Järn
Faluån uppströms Falun (Varpan)	11	0,014	7,3	0,24	85	
Faluån nedströms Falun (Slussen)	710	0,81	35	1,5	1 400	
Runns ytvatten (centrala sjön)	91	0,10	8,5	0,36	280	
Runns bottenvatten	140	0,17	11	0,34	320	
Dalälven uppströms Runns utflöde	4,0	0,007	0,58	0,16	290	
Dalälven nedströms Runns utflöde	9,2	0,013	1,1	0,15	270	
Nedre Dalälven vid Gysinge	9,6	0,015	1,4	0,28	300	
Normalhalt i sjöar och vattendrag ^v	1-3	0,003-0,009	0,3-0,9	0,04-0,12	-	

Ur tabellen kan bl.a. följande utläsas:

- Koncentrationsökningen i Faluån är störst för zink och kadmium, ca 60 ggr i Slussen än i Varpan som genomsnitt för det aktuella året 2002. Haltökningen för koppar och bly var ca en tiopotens lägre, ca 6 ggr, medan järnhalten ökade drygt 15 ggr.
- Utspädningen i Runn leder åter till en haltminskning med knappt en tiopotens för zink och kadmium, och ungefär en hälften så stor reduktion för de övriga metallerna.
- Det saltrika, och därmed förhållandevis tunga vattnet från Faluån söker sig, framför allt vintertid, till sjöns djupare vattenmassor. Detta leder till att metallhalterna är högre där än i ytvattnet genomsnittligt sett.
- Utflödet från Runn orsakade under 2002 ungefär en fördubbling av halterna zink, kadmium och koppar i Dalälvens vatten. Ingen haltökning noterades för vare sig bly eller järn.
- Flera metaller ökar ytterligare i koncentration vid Gysinge längre ner i Dalälven, vilket visar på en ytterligare metalltillförsel från andra källor.
- Särskilt markant är haltökningen för bly, som ökar ännu mer ned till mynningen vid Älvkarleby.
- Bilden blir ungefär densamma om man istället betraktar tidsperioden 1990-2002. Haltförhöjningarna i älven blir dock något större för de metaller som minskat mest sedan 1990 (se Figur 64).



Figur 64. Slussen i nedre delen av Faluån vid utflödet i Runn. Foto: Böril Jonsson.

I en temarapport om metaller i Dalälven^{vi} har metallernas fastläggningsgrad i Runn beräknats för perioden 1990-97. Resultatet redovisas i Tabell 36. Den fastläggningsgrad som gällt under början av 2000-talet bör rimligen ha varit ungefär densamma eller möjligen något större än under 1990-97. Det senare antagandet kan förklaras av att järnets förmåga att medfälla andra metaller är omvitnat, och att tillförseln av järn till sjön inte reducerats i samma grad som exempelvis zink och kadmium. Andelen utfällda metaller med järn kan därmed ha ökat.

Tabell 36. Metallernas fastläggningsgrad i sjön Runn baserat på mätningar och beräkningar för perioden 1990-1997^{vi}.

Fastläggningsgrad	Zink	Kadmium	Koppar	Bly	Järn
%	25	49	45	79	55

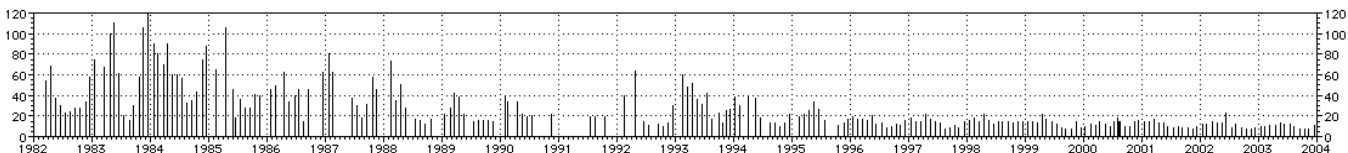
Ytterligare metallfastläggning kan förväntas ske i fjärdarna i nedre Dalälven fr.o.m. sjön Bäsingen vid Näs. Retentionens storlek inom detta parti sett på årsbasis kan inte kvantifieras, men ligger rimligen i storleksordningen 10-20 % för flera av metallerna. Detta innebär samtidigt att de tillkommande metallkällorna nedströms Runns utflöde är större än vad koncentrationsökningen antyder.

7.2.3. Registrerade förändringar i tiden

Ovan har beskrivits att tillförseln av metaller till Faluån var avsevärt större perioden innan gruvvattnet började renas 1987 än vad den varit under senare år. Före 1987 transporterades årligen ca 700 ton zink i ån, att jämföra med ca 50 ton år 2003.

En uppfattning om utvecklingen på lite längre sikt kan man få av Figur 65, som visar zinkhalten i nedre Dalälven vid Älvkarleby sedan 1982 och framåt i tiden. Även om man generellt sett måste vara försiktig med äldre analysdata, som ofta visat sig innehålla felkällor på grund av dåvarande sämre provtagningsrutiner och

analysmetoder, visar ändå diagrammet på en drastisk sänkning av zinkhalten i älven, från haltnivåer kring 40-80 µg/l fram till 1987 jämfört med ca 10 µg/l 2003.



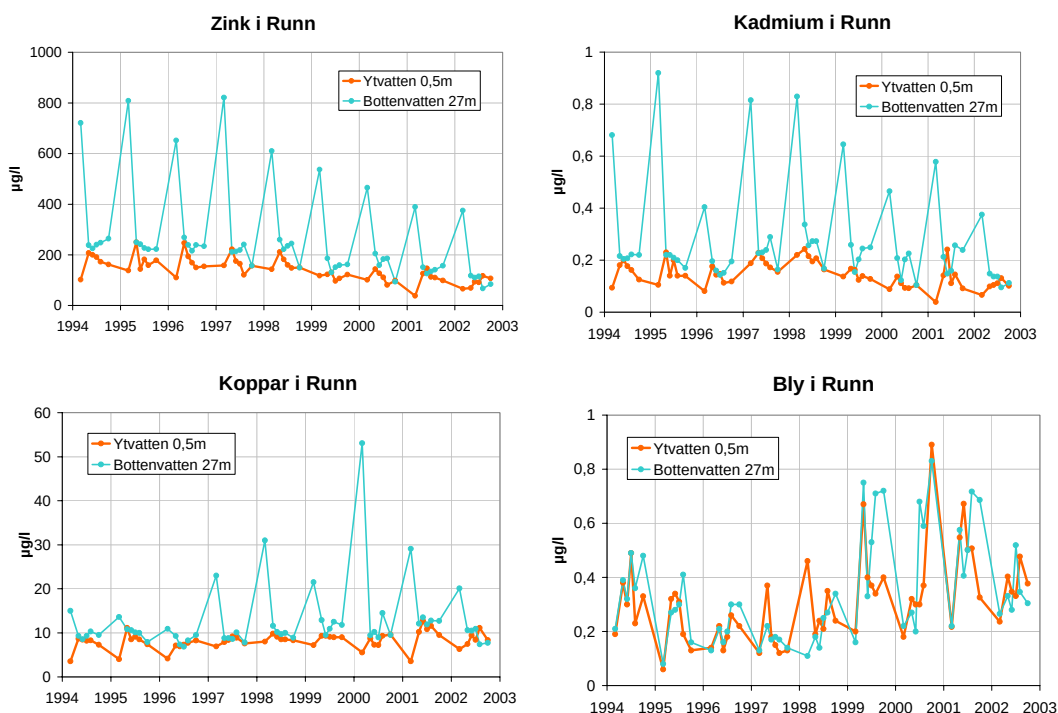
Figur 65. Zinkhaltens utveckling (µg/l) i nedre Dalälven under perioden 1982-2003 enligt de nationella mätningarna vid Älvkarleby. Från IMA/SLU:s hemsida.

Även efter 1987 har, som omtalats ovan, en minskning registrerats av transporten i Faluån för flertalet metaller. Detta har samtidigt påverkat metalltransporten i Dalälven. I Tabell 37 redovisas Faluområdets andel (Tabell 34) av metalltransporten i älven vid Långhag nedströms Runns utflöde. Detta görs för år 1990, för perioden 1990-2003 (genomsnittet) respektive för år 2003. I beräkningen har antagits att metallfastläggningen i Runn varit den som anges i Tabell 36.

Tabell 37. Den betydelse som metalltillförseln från Faluområdet vid olika tidpunkter har haft för metalltransporten i Dalälven vid Långhag nedströms Runns utflöde uttryckt i procent av den totala metalltransporten. Hänsyn har tagits till fastläggning i Runn (se texten).

Andel från Falun vid Långhag (%)	Zink	Kadmium	Koppar	Bly	Järn
1990	77	67	43	1	-
1990-2003	67	48	28	2	2
2003	40	23	17	2	3

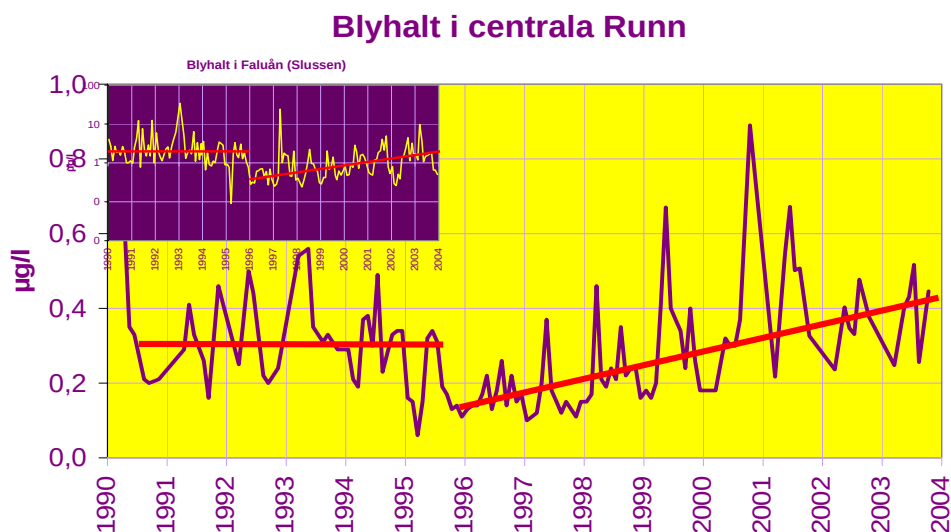
Av tabellen kan utläsas att metallbidraget från Falun minskat drastiskt för zink och kadmium. År 2003 för mindre än hälften av zinktransporten i Dalälven nedströms Runn respektive ca en fjärdedel av kadmiumtransporten. En motsvarande utveckling för dessa metaller kan även följas i centrala Runns vatten (Figur 66). Utvecklingen för zink och kadmium är således entydig.



Figur 66. Metallhalter i centrala Runns yt- respektive bottennära vatten under perioden 1994-2003ⁱ.

När det gäller koppar är tolkningen tvetydig. Enligt Tabell 37 var Faluområdets andel av koppartransporten i Dalälven år 2003 ungefär hälften av vad den var 1990, vilket tyder på en minskad koppartillförsel till älven under denna period. Som tidigare antytts i anslutning till Figur 63 uppvisar koppar dock inte någon entydig reduktion i Faluån under den något snävare tidsperioden 1994-2003. Betraktar man slutligen utvecklingen i Runn under samma period (Figur 66), framträder inga som helst tecken på en reduktion av kopparhalten i sjöns vatten (snarare en tendens till ökande halter i bottenvattnet).

För metallen bly slutligen framstår med all tydlighet av Tabell 37 att Faluområdets påverkan på Dalälvens blyhalt är försumbar. Vad som samtidigt är värt att notera är att blyhalten i Runns vatten tenderat att öka under senare år. I Figur 67, där ytvattnet särredovisas för perioden 1990-2003, kan ett trendbrott skönjas vid mitten av 1990-talet, följt av en tendens till haltökning under nästföljande period. Bilden är densamma i Faluån för samma period (infällt diagram).



Figur 67. Blyhalten i centrala Runns ytvatten (och i Faluån – infällt) under perioden 1990-2003.

7.2.4. Betydelse för Bottenhavet

Helsingforskommissionen, HELCOM, har klassat Falu gruva som en "hot spot" för Östersjön. Gruvan anses därmed utgöra en väsentlig metalkälla till havet.

I Figur 68 kan medelvärdet för ett antal metaller från mätningar vid Gysinge i nedre Dalälven från 1990 och framåt jämföras med motsvarande värden vid Eggegrund i Bottenhavet på 37 meters djup. Under den aktuella perioden har zinkhalten i genomsnitt varit 10-15 gånger högre i Dalälven än i havsvattnet. Zinkhalten har även varit påtagligt högre i ytvattnet nära älvmynningen än längre ut i Bottenhavet. Dalälven och Falu gruva kan därmed sägas ha haft en väsentlig betydelse för zinkhalten i detta begränsade havsområde. Denna betydelse har minskat som en följd av genomförda åtgärder under senare år. Medelhalten för zink vid Gysinge år 2002 på 9,6 µg/l antyder att älvvattnet idag innehåller ca 7 gånger mer zink än havet.

För koppar och bly är dock skillnaden endast ca 50 %, d v s koncentrationen i älven är ca ½ gånger högre än i havet. Som framgått av Tabell 37 härrör 20-25 % av koppars i nedre Dalälven från Falu gruva och i stort sett inget av blyet. Därmed kan knappast Dalälven och Falu gruva sägas utgöra någon metalkälla av betydelse för havet.



Eggegrund

37 m

Medelhalt 1990-2003	Zink (µg/l)	Kadmium (ng/l)	Koppar (µg/l)	Bly (µg/l)
Dalälven				
Gysinge (0,5 m)	17	19	1,4	0,3
Bottenhavet				
Eggegrund (37 m)	1,3	29	0,9	0,2

Gysinge

0,5 m

Figur 68. Metallhalter vid Gysinge i nedre Dalälven och på 37 meters djup i Bottenhavet vid Eggegrund enligt DVVF:s mätningar. Medelvärden för perioden 1990-2002.

För kadmium slutligen är förhållandena de omvända. En registrerad kadmiumhalt på 15 µg/l år 2002 vid Gysinge innebär att kadmiumhalten idag är dubbelt så hög i havsvattnet som i nedre Dalälven. Älven späder således paradoxalt nog ut havet avseende kadmium! Det är därmed knappast relevant att betrakta älven och gruvan som väsentliga kadmiumkällor för Östersjön.

8. OMGIVNINGSPÅVERKAN

8.1. Registrerade miljöeffekter

8.1.1. Faluån och Tisken

Vid början av 1980-talet registrerades i Faluån och Tisken enstaka bestånd av säv, starr och vattenmossa^{vii} samt i bottensedimenten två tåliga arter fjärdermygglarver^{viii}. Vid enstaka tillfällen noterades en och annan fisk som sannolikt passerade förbi. Något fungerande ekosystem att tala om fanns således inte vid denna tidpunkt i dessa vatten, men de var heller inte helt utan högre livsformer trots de extrema miljöförhållandena.

Idag, år 2004, uppvisar Faluån en allt frodigare vattenvegetation samtidigt som Tisken och området nedströms är helt igenväxt av en speciell växt, löktåg. Växtligheten är så frodig att den uppfattas som ett miljöproblem, dels estetiskt

genom att eliminera de fria vattenytorna, dels praktiskt genom att på olika sätt försvåra för båtägare m.fl.

Även fisken har idag återvänt till Tisken och Faluån. Med största sannolikhet är det dock inget normalt fisksamhälle som etablerat sig i detta område. Inga provfiske eller bottenfaunaundersökningar har gjorts under senare år som kan belysa de aktuella miljöförhållandena i mer exakta termer.



Figur 69. Den igenväxta sjön Tisken våren 2004. I bildens övre del syns den fåra som fortfarande hålls öppen av Faluån. I förgrunden framträder den rotfilt som löktågen bildar. Mängden löktåg i sjön har uppskattas till ca 1 500 ton (färskvikt). Foto: Böril Jonsson.

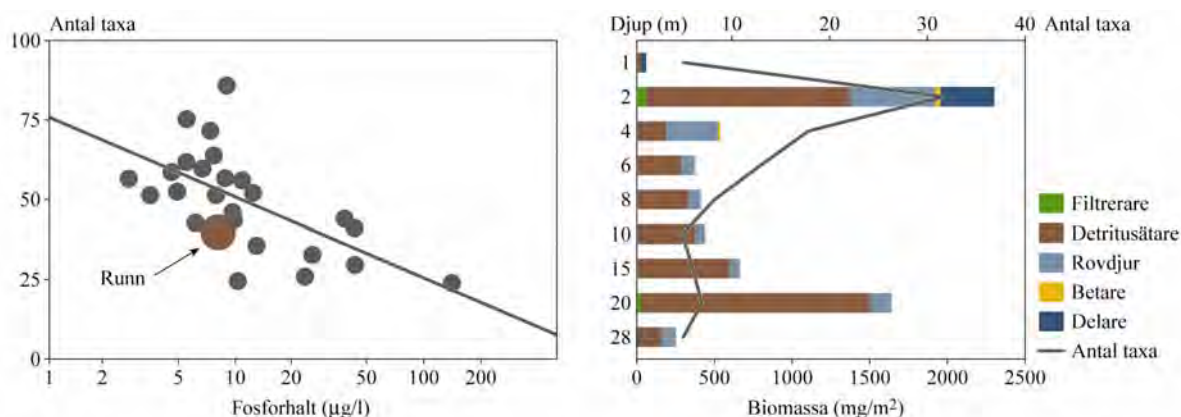
8.1.2. Runn

Undersökningar i Runn under 1970-talet och början av 1980-talet visade att antalet arter och individer av den bottenlevande faunan var något färre än normalt för denna sjötyp, medan växtplanktonsamhället var typiskt för en näringsfattig sjö. Vid något tillfälle noterades att några exemplar av en kiselalgart verkade vara deformerade (se referat i ^{ix}).

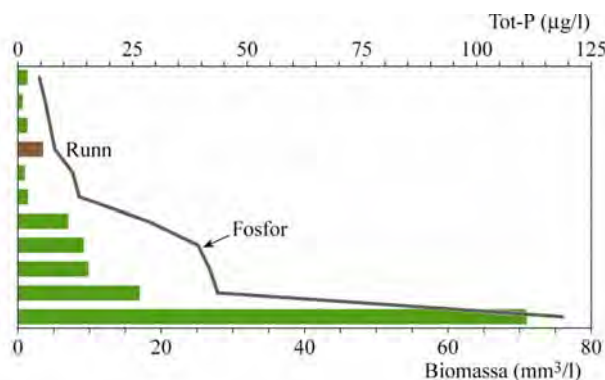
Undersökningar under 1990-talet och början av 2000-talet i DDVF:s regi har visat på förvånansvärt få effekter på studerade växter och djur i Runn. Makroskopiska bottenlevande djur finns på alla djup i sjön. Förutom på botten på 0-1 meters djup förekommer de djur man kan förvänta vid dessa näringsförhållanden. Bortfallet på den översta metern är den främsta orsaken till att Runn hyser något färre arter än genomsnittet för Dalälvens sjöar (Figur 70). Förklaringen till detta bortfall är att sjön är reglerad, vilket leder till att den översta meters botten tidvis är torrlagda. En annan avvikelse är att flera djurarter är mindre till storlek än normalt. Förklaringen kan vara antingen toxisk påverkan eller näringsbrist p g a att utfällda järnoxider/-hydroxider binder till sig djurens föda. Den senare förklaringen bedöms vara den mest sannolika.

Likaså har antalet växtplanktonarter genomsnittligt sett varit den förväntade sett till sjöns näringsstatus, medan algbiomassan snarare varit större än normalt (Figur 71). Den enda påverkan som kan skönjas hos algsamhället är att något färre arter påträffats i sjön totalt sett under den 14-årsperiod som undersökningarna pågått. Detta tolkas som ett tecken på genetisk anpassning (se diskussion i ett senare avsnitt).

Genomförda provfisken visar att fisksamhället innehåller de arter man kan förvänta. Samtidigt är de vanligaste arternas storleksfördelning liksom abborrens tillväxt normal sett till andra sjöar i Dalälven (Figur 72). De tecken på effekter som registrerats är att färre småmörtar än förväntat fångats i Faluåns mynning något av provfiskeåren. Förklaringen kan antingen vara en toxisk påverkan eller överlagring av järnflockar på fiskrommen, vilket riskerar att leda till kvävning och därmed sämre reproduktion. Den senare förklaringen bedöms vara den troligaste.

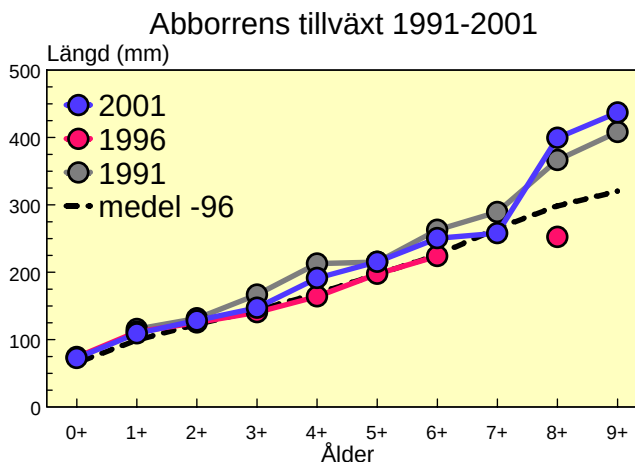


Figur 70. Bottenfaunans mångfald (antal taxa = antal arter och djurgrupper) i förhållande till vattnets fosforhalt i Runn och 26 andra småsjöar inom Dalälvens avrinningsområde våren 1996 (vänster). Stapeldiagrammet (höger) visar biomassan av sedimentlevande djur med olika födoval på olika djup i Runn, och kurvan anger det totala antalet påträffade taxa på respektive djup. Från ^{ix}.



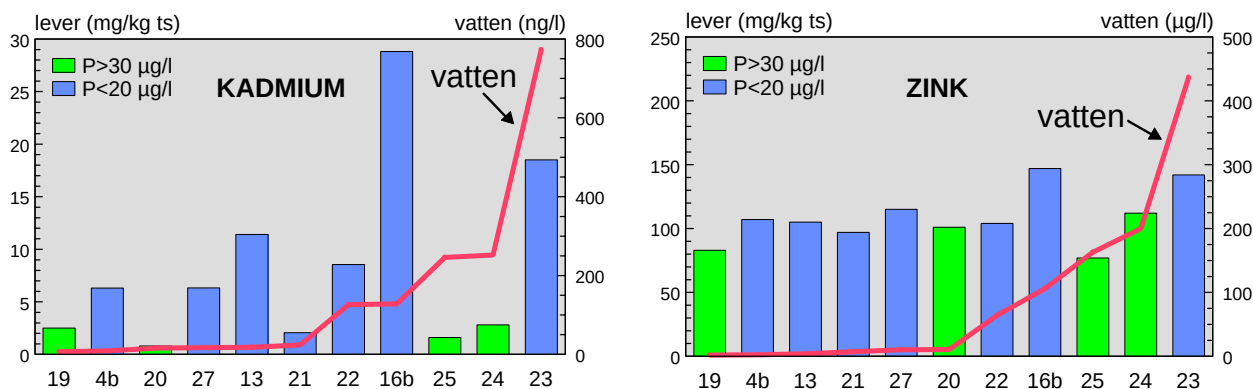
Figur 71. Biomassan (volymen) hos växtplankton i Dalälvens sjöar i genomsnitt under 1990-2000, sorterade efter vattnets fosforhalt. Runn uppvisar en något högre biomassa än förväntat sett till sjöns näringsförhållanden. Från ^{ix}.

Figur 72. Abborrsamhället i centrala Runn. Fiskens tillväxt har alla tre undersökningsåren 1991, 1996 och 2001 varit densamma eller bättre än genomsnittet för 16 provfiskelokaler i andra sjöar inom Dalälvens avrinningsområde (streckad linje). Från ix.



Få eller inga miljöeffekter, som invändningsfritt kan hänföras till toxiska effekter av metaller, har således registrerats hos växter och djur i Runn under det senaste decenniet. De avvikelser som noterats i form av mindre storlek hos vissa bottendjur och färre småmört i delar av sjön, bedöms i första hand vara orsakat av järnflockarnas täckande och bindande förmåga.

En tydlig konsekvens av metallpåverkan är emellertid de haltförhöjningar av främst kadmium som uppmäts i lever- och muskelvävnad hos abborre från Runn (Figur 73). Koncentrationen av kadmium är märkbart högre i abborre från Runn än i flertalet andra undersökta sjöar i Dalälven. Skillnaden är dock måttlig jämfört med exempelvis den näringsfattiga referenssjön till Runn, tillika Faluns vattentäkt, Rogsjön (stn 13).

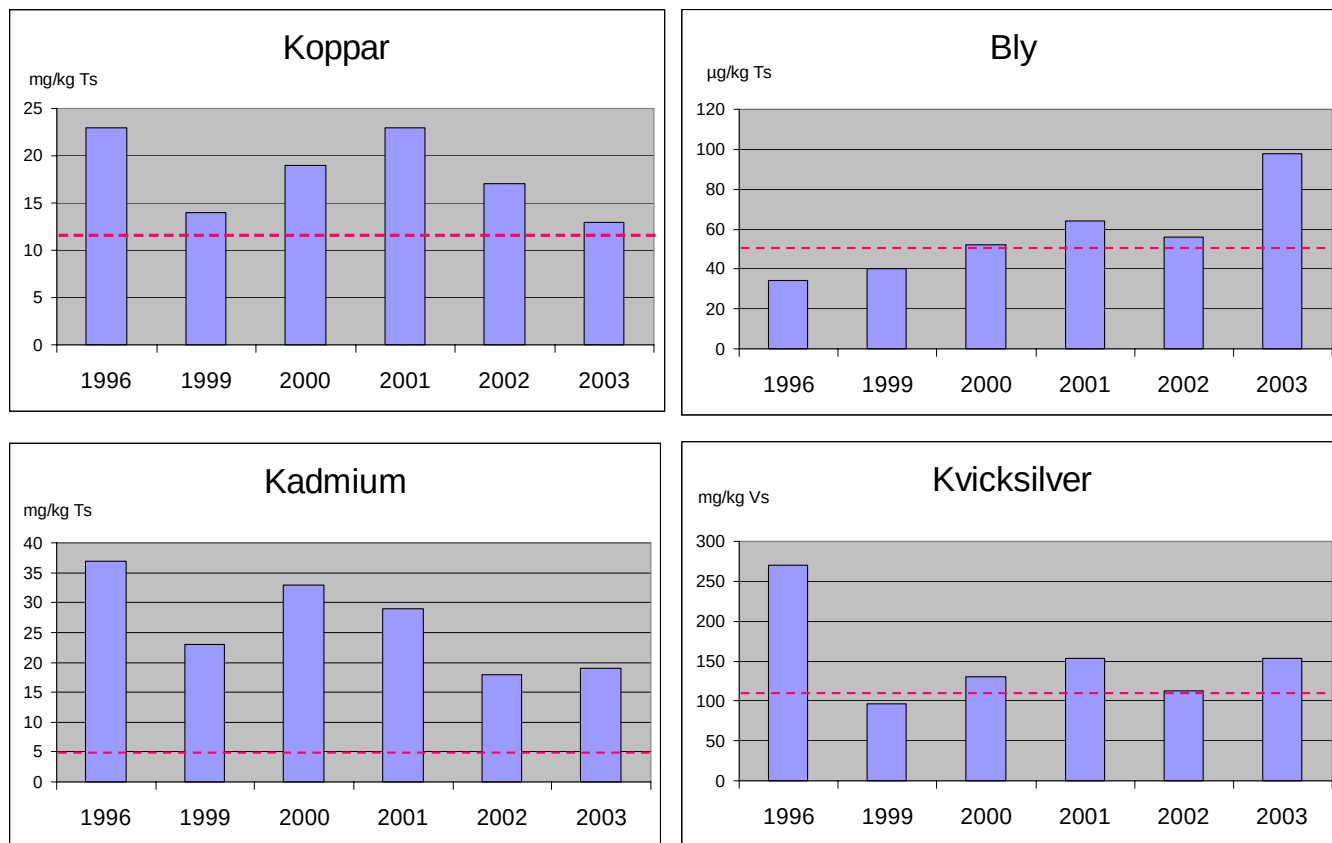


Figur 73. Koncentrationen av kadmium och zink i vatten i sjöar inom Dalälvens avrinningsområde (kurva) sorterade från vänster till höger i ökande halter. Staplarna visar motsvarande halter i abborrlever i samma sjöar. De gröna staplarna representerar de mest näringsrika sjöarna. Centrala Runn har beteckningen 16b. Värdena representerar 2001 års mätresultat^{ix}. Sjöarna med högre metallhalter i vatten än Runn (23-25) tillhör Garpenbergsåns vattensystem.

Värt att notera i Figur 73 är även den "bioutspädning" av metallhalten i biologiska vävnader som ofta förekommer i näringsrika sjöar, samt den fullständiga brist på samband mellan koncentration i vatten och fiskvävnad som metallen zink uppvisar (diskuteras i senare avsnitt).

Metallkoncentrationen i vävnader hos abborre från Runn har under senare år undersökts på uppdrag av Faluprojektet. Resultat från analyser på abborre finns även från tidigare år, men först fr.o.m. 1996 har dessa standardiserats genom att endast omfatta abborrhonor av samma storlek. Resultaten för några av metallerna framgår av Figur 74.

Den enda metall som uppvisar tecken på en haltminskning är kadmium. Det är främst de senaste två åren som kadmiumhalten varit lägre i abborrlever. Koppar- och kvicksilverhalten har pendlat upp och ner under perioden (kvicksilverhalten var lägre före 1996 och gick tillfälligtvis upp detta år) medan blyhalten snarast visar tecken på att öka.



Figur 74. Metallkoncentrationer i vävnader hos abborrhonor från centrala Runn 1996-2003. Koppar, bly och kadmium avser levervävnad (mg/kg torrsustans) och kvicksilver muskelvävnad (mg/kg färskvikt). Halterna representerar aritmetiska medelvärdena av 10 individer i storleken 17-22 cm. Den streckade linjen representerar medianhalten för samtliga undersökta sjöar i Dalälven 2001.

Jämför man med de koncentrationer som representerar genomsnittet i abborre för de undersökta sjöarna i Dalälven 2001 (andra gruvrecipienter ej inräknade), är haltnivån idag densamma eller måttligt högre i Runn för koppar, bly och kvicksilver (gäller även zink), medan kadmiumhalten i abborre från Runn fortfarande är tydligt förhöjd trots tendensen till en haltreduktion under senare år.

8.1.3. Dalälven och Bottenhavet

Inga miljöeffekter som kan hänföras till metaller från Falun och Runn har registrerats i Dalälven eller i mynningsområdet i Bottenhavet, vare sig tidigare än under senare år^x. Inga undersökningar har dock genomförts med speciellt syfte att söka efter sådana effekter.

9. RISKBEDÖMNING

9.1. Generella risker för miljöeffekter av metaller

Alla metaller kan i vissa situationer orsaka giftverkan på växter och djur. Avgörande för detta är bl.a. de exponerade organismernas känslighet för metallen ifråga samt påverkan från omgivningsfaktorer som har betydelse för metallens biotillgänglighet. Detta behandlas mer utförligt i nästföljande avsnitt.

Den rådande svenska tillståndsklassningen för metaller i vatten enligt bedömningsgrunderna för miljökvalitet bygger främst på bedömda risker för effekter i känsliga vatten. Tillståndsklass 3, "måttligt höga metallhalter" anger enligt underlaget^{xi} de haltintervall inom vilka "effekter kan förekomma" (se Tabell 38). Överskrids den övre haltnivån i intervallet ökar risken för biologiska effekter.

Tabell 38. Haltintervall för tillståndsklass 3, "måttligt höga metallhalter", enligt bedömningsgrunder för miljökvalitet.

Medelhalt 1990-2003	Zink	Kadmium	Koppar	Bly
Tillståndsklass 3	20-60	100-300	3-9	1-3
	µg/l	ng/l	µg/l	µg/l

Jämför man med de år 2002 uppmätta medelhalterna i olika delar av Dalälven (Tabell 35), finner man att halterna enligt tillståndsklass 3 överskrids för zink, kadmium och koppar i nedre Faluån samt för zink i centrala Runns vatten (även för koppar i bottenvattnet). Zinkhalten i Faluån överskrider även haltgränsen för tillståndsklass 5, "mycket höga halter", vilket enligt bedömningsunderlaget innebär att "överlevnaden hos vattenorganismer påverkas redan vid kort exponering". Blyhalten i Faluån samt kadmium- och kopparhalterna i Runn innefattas av tillståndsklass 3.

Enligt detta bedömningsunderlag skulle det således föreligga en allmänt sett stor risk för biologiska effekter av zink i Faluån (klass 5), en risk för effekter av koppar och kadmium i Faluån och av zink i Runn (klass 4), respektive en möjlig risk för effekter av bly i Faluån och av koppar och kadmium i Runn (klass 3). Med hänsyn till risken för biologiska effekter grupperar sig därmed metallerna med fallande risk i ordningen zink, koppar/kadmium, bly sett till nuvarande koncentrationer i vattenrecipienten.

9.2. Faktorer som påverkar miljöeffekter av metaller

Som en kommentar till de haltintervall som anger tillståndsklass 3 för metaller i vatten i bedömningsgrunderna för miljö kvalitet^{xi} påpekas att "risken är störst i mjuka, närings- och humusfattiga vatten samt i vatten med lågt pH-värde". Det är av största vikt att ta hänsyn till rådande omgivningsförhållanden när risken för metallers giftverkan ska bedömas!

Av Figur 72 framgår exempelvis att upptaget av kadmium i abborre är väsentligt lägre i de näringsrika än de näringsfattiga sjöarna, särskilt när metallkoncentrationen i vatten är hög. Man brukar tala om en "bioutspädning" av metallerna i en näringsrik sjö. Runn bör därmed inte bli alltför näringsfattig eftersom risken för metallpåverkan då ökar generellt sett.

Andra faktorer som påverkar upptag och omsättning av en metall i växter och djur är bl.a. förekomsten av lermineral och humus som kan bilda komplex med metallen, tillgången av oxider och hydroxider av järn och mangan som binder metallen, och pH som påverkar metallföreningarnas stabilitet. I Faluån och Runn är det idag framför allt förekomsten av järn som bör uppmärksammas. Den rikliga tillgången på järnoxider/-hydroxider har med största sannolikhet bidragit till att minska påverkan av andra metaller genom att dessa bundits upp och medfölls till bottenarna.

Även konkurrensen mellan olika ämnen om bindningsställen såväl på cellmembranens yta som inne i de exponerade organismerna är en viktig faktor att beakta i sammanhanget. Det är exempelvis välkänt att en ökad förekomst av kalciumjoner minskar upptaget av flertalet andra metalljoner i växter och djur. Även en metall som zink kan dock utöva konkurrens om bindningsställen med exempelvis kadmium och bly, och förmodligen även med kvicksilver^{xii}. En minskad förekomst av zink kan därmed riskera att samtidigt öka upptaget av dessa metaller i exempelvis fisk. Denna risk för interaktion måste uppmärksammas så att inte en fortsatt reduktion av zinktillflödet till Runn leder till en oacceptabelt ökad exponering av andra metaller för växter och djur.

Likaså måste en principiell skillnad mellan olika metaller beaktas, vilken bl.a. påverkar deras upptag i organismer. Vissa metaller är essentiella och andra icke-essentiella. De essentiella metallerna som zink och koppar behöver alla levande varelser tillgång till, eftersom en större eller mindre kvantitet av dem måste finnas i deras vävnader för att viktiga biologiska funktioner ska upprätthållas. För att detta ska vara möjligt har regleringsmekanismer utvecklats, som är alltmer avancerade ju högre organismen står i näringskedjan. Lägre stående organismer har sämre förmåga att reglera essentiella metaller. Exempel på fiskars regleringsförmåga presenteras i Figur 72 där zinkkoncentrationen i fiskvävnad är ungefär densamma oavsett zinkförekomsten i det omgivande vattnet.

Icke-essentiella metaller som kadmium och bly kan aldrig vara till nytta utan endast till skada för levande organismer (eventuellt finns det någon svampart som behöver kadmium). Dessa kan även öka påtagligt i koncentration i högre organismers vävnader vid exponering. Skillnaden mellan essentiella och icke-

essentiella metallers principiella påverkan och betydelse för levande organismer bör rimligen tas hänsyn till vid valet av fortsatta åtgärder med gruvavfall i Falun.

Ytterligare en faktor av betydelse för metallernas biologiska verkan är flertalet organismers förmåga att, redan efter ganska kort tids exponering, anpassa sig till en förhöjd metallexponering genom ökad produktion av skyddande ämnen som syror, fetter, pigment, cellorganeller eller metallbindande enzym. I Faluområdet har gruvverksamheten pågått så länge att åtminstone delar av de exponerade ekosystemen dessutom hunnit anpassa sig genetiskt. Detta förstärks av den naturligt förhöjda metallexponering som växter och djur är utsatt för i detta och andra mineraliserade områden, vilket genetiskt anpassat ekosystemen i varierande grad.

En principfråga i sammanhanget är hur man ska betrakta en genetisk anpassning orsakat av människans verksamhet på ett lokalt ekosystem bestående av inhemska arter. Enligt fastslagna kriterier för biologisk mångfald borde en sådan anpassning i grunden betraktas som positiv. Frågan inställer sig om den ska anses vara negativ och oönskad därför att den orsakats av människan, och i så fall varför?!

9.3. Risker för miljöeffekter i Runn

När man bedömer vilken koncentration av en metall som kan anses utgöra risk för effekter i en given miljö, utgår man vanligtvis från "sämsta möjliga situation". Detta innebär att det är den känsligaste individen som ska skyddas, samtidigt som de minst gynnsamma omgivningsförhållandena ska råda. Detta betraktelsesätt var exempelvis en viktig utgångspunkt för klassificeringen enligt bedömningsgrunderna (Tabell 38).

Situationen för Runn är dock mycket speciell. Växters och djurs förmåga att anpassa sig, den långa tidsrymd under vilken organismerna exponerats, och olika omgivningsfaktors påverkan på metallernas förekomstform (främst bindningen till järnföreningar) är troliga orsaker till att Runns ekosystem fungerat förvånansvärt väl trots den betydande metallexponering det utsatts för. De kriterier som anges i bedömningsgrunderna kan därför knappast anses gälla fullt ut för denna sjö.

Att exempelvis dagens zinkhalt i vatten, som klassas som "hög" enligt bedömningsgrunderna, skulle utgöra något allvarligt hot mot sjöns växt- och djursamhällen är inte troligt. Enligt tidigare undersökningar har ju inga eller endast få toxiska effekter av zink och/eller andra metaller i sjön noterats vid betydligt högre halter, för zink sannolikt upp till ca tio gånger högre än idag.

De fåtal tecken på effekter som registrerats under senare år i form av mindre individstorlek hos vissa bottenlevande djur och färre småmört nära Faluåns mynning kan visserligen vara toxiska till sin natur. Som redan omtalats är det dock troligare att det är de bildade järnflockarna som ligger bakom dessa effekter genom att binda upp näring och täcka över fiskrom.

Det går för den skull inte att påstå att ingen skadlig påverkan av exempelvis zink, kadmium och/eller koppar förekommit i Runn under senare tid, eller att sådana

inte kan förekomma idag. Enskilda skador på enskilda individer behöver inte få genomslag på populationsnivå, liksom eventuella skador på ej undersökta typer av organismer inte alltid kan registreras på ekosystemnivå. Det är snarare högst troligt att de tidigare mycket höga koncentrationerna av flera metaller i Runns vattenmassa orsakade några slags toxiska effekter på enskilda individer av såväl växter som djur. Det är heller inte osannolikt att så sker även idag. Frågan inställer sig dock hur allvarligt vi ska se på eventuella effekter som inte kan utläsas av de undersökningar som hittills gjorts (under förutsättning att vi förklarar de ovan nämnda effekterna på vissa bottendjur och mört som icke-toxiska effekter av järnföreningar), och som därmed inte påverkar vare sig de undersökta populationernas sammansättning och biomassa eller ekosystemets principiella uppbyggnad och funktion.

Under alla förhållanden måste risken bedömas som liten att toxiska effekter av allvarligare art skulle drabba växter och djur av zink eller andra metaller under de miljöförhållanden som för närvarande råder i Runn. Detta påstående bygger främst på att några effekter som kan anses ha avgörande betydelse för arters förekomst eller ekosystemets funktion inte tidigare registrerats i sjön då koncentrationen av metaller i vatten var högre än idag.

En risk som måste beaktas i sammanhanget, är att biotillgängligheten hos vissa metaller kan öka om någon central omgivningsfaktor, eller balansen mellan interaktiva metaller, förändras. Denna problemställning belyses ytterligare i det avslutande avsnittet

9.4. Risker för miljöeffekter i nedre Dalälven och Bottenhavet

Lax anses allmänt sett vara känsligare för föroreningar av olika slag än andra fiskarter. Enligt den gällande miljökvalitetsnormen för laxfiskevatten får zinkhalten inte överstiga 30 µg/l vid den hårdhet hos vattnet som råder i Dalälven. I nedre Dalälven har zinkhalten under lång tid, sannolikt flera hundra år, legat kring 50 µg/l i genomsnitt och väsentligt högre vid enstaka tillfällen.

I denna vattenmiljö bedrevs fram till 1990-talet huvudparten av landets forskning kring lax och dess olika utvecklingsstadier vid Laxforskningsinstitutet i Älvkarleby. Samtidigt drivs vid Näs kraftverk sedan slutet av 1950-talet en fiskodling för lax, där hela kedjan från ägg och yngel till vuxen fisk exponeras för Dalälvens vatten. Det faktum att inga problem i form av försämrade kläckningsfrekvens, sjukdomsbild etc noterats under 1900-talet vare sig vid fiskodlingen eller vid forskningsinstitutet^x vittnar om att åtminstone fiskar i Dalälven inte påverkats negativt av metaller från Falun, ens vid de förhållanden som rådde före gruvvattnets rening. Risken för att negativa miljöeffekter av zink ska uppkomma på fisk i Dalälven under nuvarande förhållanden då zinkhalten i genomsnitt understiger 10 µg/l får anses obefintlig.

När det gäller lägre stående organismer än fisk finns det anledning att hänvisa till den maximalt tolerabla zinkkoncentration vid vilken åtminstone 95 % av alla "ekosystemfunktioner" förblir opåverkade^{xii}, och som för sötvatten föreslagits ligga på 25 µg/l. Med ledning av denna zinkhalt och vad som tidigare sagts om

långtidsexponering m.m. bör man räkna med att någon form av negativ påverkan av zink kan ha förekommit på det lägre växt- och djurlivet i nedre Dalälven innan gruvvattnet började renas i Falun. Risken för sådana effekter under nuvarande förhållanden får dock, i likhet med vad som gäller för fisk, anses vara minimal eller obefintlig.

Även mynningsområdet strax öster om Dalälvens utflöde undersöks fortlöpande av DVVF. Vid början av 1990-talet uppmättes i genomsnitt en zinkhalt på knappt 15 µg/l i ytvattnet i detta område (Billudden). Den maximalt tolerabla zinkkoncentrationen enligt ovan har föreslagits ligga på 20 µg/l för havsvatten (10 µg/l för vissa musslor, krabbor m.m.)^{xii}. Om man beaktar att även mynningsområdet exponerats för förhöjda zinkhalter under lång tid, bör rimligen även detta ekosystem vara mindre känsligt för metallexponering än vad som är normalt för älvmynningsområden. Ser man till dagens miljöförhållanden i detta område, med en medelhalt för zink på mellan 5 och 10 µg/l, måste det anses som osannolikt att någon negativ påverkan orsakas av zink.

Vad man heller inte får bortse ifrån är de positiva konsekvenser som zinktillförseln från Dalälven eventuellt kan ha för upptaget av andra metaller, som kadmium, bly och kvicksilver, i växters och djurs vävnader i detta havsområde. Detta beror på den tidigare omtalade förmågan hos zink att verka antagonistiskt mot dessa metaller.

9.5. Omgivningspåverkan och riskbedömning – kommentarer metall för metall

Den aktuella situationen skiljer sig åt för var och en av de aktuella metallerna. I det följande behandlas varje metall för sig sett till registrerade förändringar fram till idag och möjliga konsekvenser i framtiden med utgångspunkt från risker för oönskade miljökonsekvenser. Som främsta utgångspunkt för resonemanget har valts förhållandena i Runns ytvatten.

Zink är den metall som fortfarande uppvisar störst haltförhöjning i Runns ytvatten, 50 -100 gånger högre halt i genomsnitt åren 2002-2003 jämfört med normala mellansvenska sjöar. Detta trots att zinktillförseln till sjön idag är mindre än 10 % av vad den var mindre än två decennier tillbaka i tiden. Zink är samtidigt den metall som förekommer i sådana koncentrationer i Runn att den enligt gängse kriterier och bedömningsgrunder löper störst risk att toxiskt påverka sjöns ekosystem. Detta är faktorer som talar för att ytterligare ansträngningar bör vidtas för att än mer minska zinktillförseln till Runn.

Emellertid har under senare år inga negativa biologiska effekter registrerats hos växt- och djursamhällen i Runn, som uteslutande kan hänföras till toxiska effekter av metaller i allmänhet och zink i synnerhet. Flertalet undersökningar genomfördes när zinkhalten i Runns vatten var betydligt högre än idag. För den skull kan toxiska effekter på någon nivå i ekosystemet inte uteslutas, vare sig tidigare eller under nuvarande miljöförhållanden. Om sådana förekommer har de dock inte kunnat registreras vid undersökningar av olika organismgruppers artsammansättning, biomassa, tillväxt, skadefrekvens etc fränsett två

observationer som bedömts i första hand bero på järnföreningarnas fysiska egenskaper (se nedan). Därmed har förekomsten av zink och andra metaller i Runn inte heller påverkat ekosystemets principiella uppbyggnad och funktion i någon mätbar negativ riktning, eftersom dessa inte skiljer sig från andra näringsfattiga sjöar i samma del av landet.

Vidare bedöms risken för toxisk påverkan av zink var marginell eller obefintlig för ekosystemen i nedre Dalälven och i älvens mynningsområde. Zinkens egenskap som essentiell metall gör att den heller inte förekommer i nämnvärt förhöjda koncentrationer i fisk, som är den organism i vattensystemet som konsumeras av människan. Samtidigt måste man beakta zinkens antagonistiska förmåga att motverka upptaget av flera andra metaller i fiskvävnad, företrädesvis bly och kadmium och troligtvis kvicksilver, något som dock inte har bevisats gälla i just Dalälven.

Frånvaron av registrerad toxisk påverkan av zink i Runn liksom frånvaron av risker för påverkan i Dalälven och Bottenhavet, tillsammans med vetskapen om zinkens essentiella och interaktiva egenskaper, gör att behovet att ytterligare minska zinktillförseln till Dalälven för närvarande bedöms vara mindre angeläget.

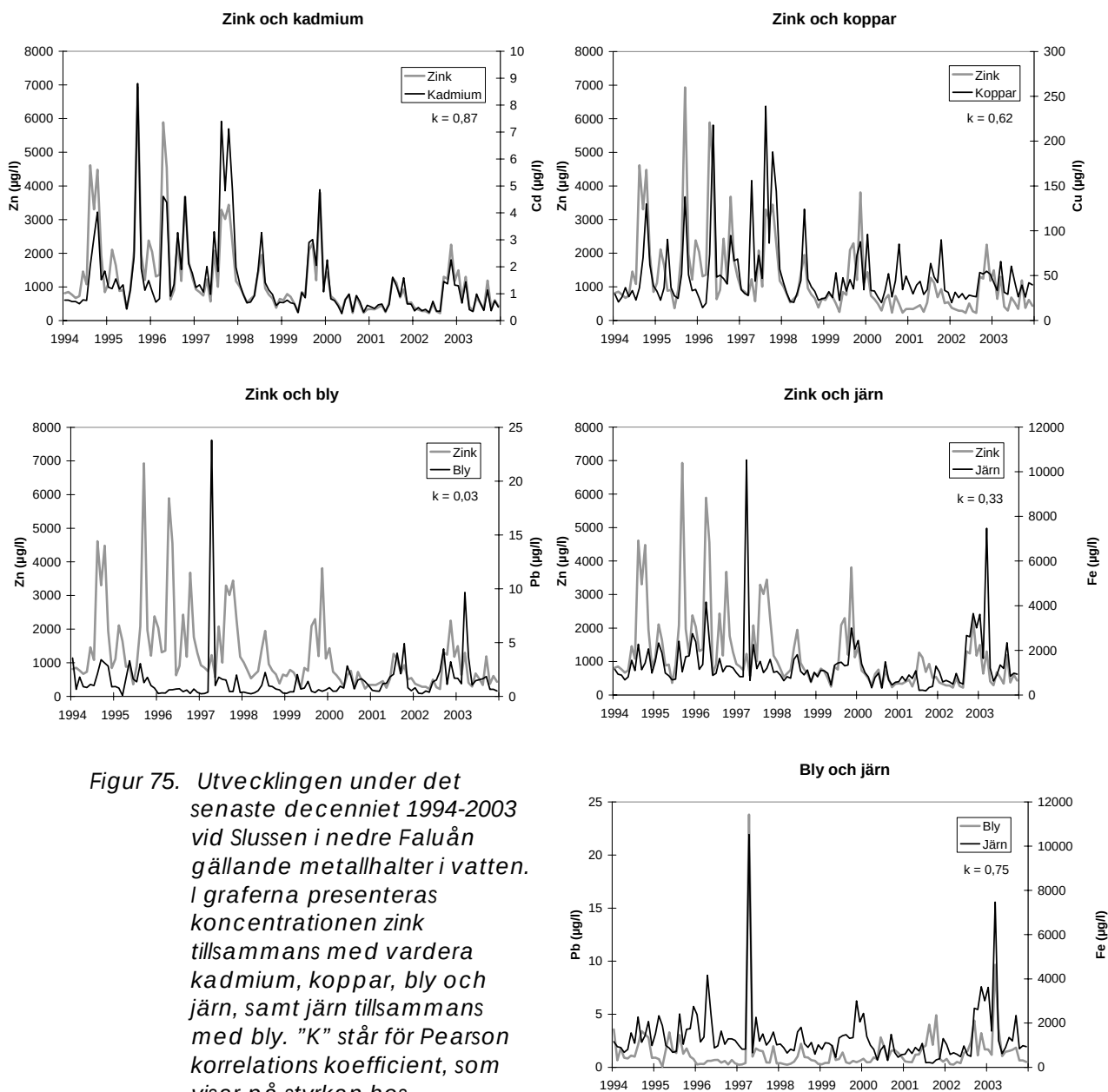
Halten av **kadmium** i Runns ytvatten är för närvarande 5-30 gånger högre än vad som är normalt för mellansvenska sjöar. Förhöjningen är således ganska stor men ändå betydligt mindre än för zink. Enligt bedömningsgrunderna och andra kriterier finns det idag en möjlig risk för toxiska effekter av kadmium i Runn. Baserat på samma motivering som ovan för zink, bedöms dock kadmium idag inte orsaka några skadliga effekter på ekosystemet i Runn.

Till skillnad från övriga undersökta metaller uppvisar dock kadmium en tydlig koncentrationsförhöjning i fiskens vävnader i Runn. För den skull är kadmiumhalten i fiskkött från Runn inte särskilt hög jämfört med andra livsmedel på den svenska marknaden (ungefär i nivå med potatis). Samtidigt har utvecklingen under det senaste decenniet varit positiv med minskande kadmiumhalter i både vatten och fisk. Det tydliga genomslaget för kadmium i fiskvävnad, tillsammans med det faktum att kadmium är en icke-essentiell metall som således inte har några positiva egenskaper för växter och djur, gör dock att man bör vara observant på kadmium och dess förekomst och utveckling i Runn.

Kadmium och zink uppvisar en stark korrelation. När zinkhalten ökat i Faluån har normalt även kadmiumhalten ökat, och vice versa (Figur 75). Dessa två metaller verkar därmed härröra från i huvudsak samma källor i Falun, vilket innebär att en inriktning på att reducera zinktillförseln till vattensystemet normalt även leder till en samtidig kadmiumreduktion. Relationen mellan zink och kadmium i nedre Faluån har också legat på en förhållandevis konstant nivå sedan början av 1990-talet ($Zn/Cd = 800-850$). Detta visar att åtgärder för att minska zinkflödet (som utgjort styrvariabel) lett till motsvarande reduktion av kadmiumflödet.

För att inte kadmiums biotillgänglighet ska öka är det viktigt att relationen mellan zink och kadmium bibehålls, eller åtminstone inte minskar påtagligt till kadmiums förmån. Av samma anledning är det positivt att halten kadmium i Faluån och Runn minskat mer än järn, vilket sedan mitten av 1990-talet lett till mer än en fördubbling av kvoten Fe/Cd .

Man kan därmed inte påstå att rådande miljöförhållanden i Runn och Dalälven pekar på några omedelbara behov av förnyade åtgärder för att ytterligare minska förekomsten av kadmium i vattensystemet. Eftersom kadmiumhalten i Dalälvens mynning idag är ungefär hälften så hög som i Bottenhavet, kan man rimligen heller inte ställa några speciella krav på ytterligare kadmiumreduktion i Falun med hänvisning till miljöförhållandena i havet. Detta förändrar för den skull inte den allmänna grundsyn man bör ha på ett ämne som kadmium, nämligen att det aldrig kan vara till nackdel att minska dess förekomst i miljön.



Figur 75. Utvecklingen under det senaste decenniet 1994-2003 vid Slussen i nedre Faluån gällande metallhalter i vatten. I graferna presenteras koncentrationen zink tillsammans med vardera kadmium, koppar, bly och järn, samt järn tillsammans med bly. "K" står för Pearson korrelationskoefficient, som visar på styrkan hos sambandet mellan de olika metallerna (1 = starkt samband, 0 = inget samband).

Koppar uppvisar ungefär samma haltförhöjning i Runn som kadmium jämfört med normala mellansvenska sjöar, 15-30 ggr. Liksom för kadmium finns det enligt bedömningsgrunderna en möjlig risk för toxiska effekter av koppar i Runn, även om det för den skull inte är troligt att koppar idag orsakar skadliga effekter på ekosystemet i Runn.

Ett viktigt kriterium för att koppar ska vara giftigt är att det förekommer i biotillgänglig form, och då företrädesvis som fri jon. Detta gäller naturligtvis alla metaller, men är speciellt viktigt att ta hänsyn till för de metaller som har särskilt lätt att bilda komplex och på andra sätt bindas till partiklar, humus, järnföreningar

m.m. Dit hör koppar (tillsammans med exempelvis bly). Den rikliga förekomsten av utfällda järnföreningar i Faluån och Runn förstärker därför antagandet att koppar idag inte orsakar någon toxisk påverkan i åtminstone Runn.

Av Figur 75 framgår att koppar uppvisar en måttligt stark korrelation med zink i Faluån. Detta kan tolkas som att en del av kopparn härrör från samma källor som zink och kadmium, medan en annan del kommer från andra källor.

Liksom zink är koppar en essentiell metall, vilket gör att åtminstone högre stående organismer har en relativt god förmåga att reglera dess förekomst i sina vävnader. Reglerförmågan verkar dock inte vara lika god som för zink. En annan sak som skiljer dessa metaller åt är att koppar inte verkar ha samma grad av skyddande antagonistiska förmåga mot andra metaller som zink, åtminstone inte mot de metaller som är aktuella i Falun (däremot verkar koppar interaktivt med exempelvis molybden). Det finns därför, till skillnad mot zink, ingen specifik grund för att beakta huruvida koncentrationen av koppar i den aktuella miljön minskar mer än andra metaller. Samtidigt kan det heller inte sägas finnas någon allmän strävan att i möjligaste mån minska förekomsten av denna essentiella metall i miljön.

För **bly** gäller dock samma grundregel som för kadmium, som även det är en icke-essentiell metall och vars förekomst i miljön det därmed aldrig kan vara till nackdel att minska. Blyhalten i Runns ytvatten är endast 2-10 gånger högre än i mellansvenska sjöar, och risken för att denna blyhalt ska orsaka någon skada får anses minimal.

Bly i Faluån härrör från helt andra källor än zink och kadmium. Sambandet mellan dessa metaller är obefintligt. Däremot uppvisar bly en relativt stark korrelation med järn i Faluåns vatten.

Till skillnad från övriga metaller uppvisar bly en tendens till haltökning under senare år, både i vatten och i fiskvävnad. Denna tendens, som är värd att uppmärksamma, kan för närvarande inte förklaras. Förekomsten av järn visar exempelvis inte på någon nämnvärd förändring under perioden (Figur 63) vilket skulle kunna ha varit en förklaring genom reduktion av denna "fällningskemikalie" för bly. Ökningen av bly i fiskens levervävnad kan i sin tur vara en direkt följd av haltökningen i vatten, men kan även vara förstärkt av den samtidiga haltminskningen av zink, som troligtvis ökat biotillgängligheten hos bly.

Förhållandena är således komplexa och förklaringen till utvecklingen inte entydig.

När det slutligen gäller **järn**, talar man sällan om denna metalls toxiska verkan. Några bedömningsgrunder eller liknande kriterier finns heller inte föreslagna för järn.

Förekomsten av järn varierar mycket i naturen, och koncentrationen i Varpans utflöde i Faluån uppströms Falun är exempelvis endast en fjärdedel av den i Dalälven vid Forshuvud. Detta förhållande, tillsammans med en betydande utfällning i Runn, bidrar till att järnkoncentrationen i Runns utflöde ligger på en förhållandevis normal nivå.

I nedre Faluån uppvisar järn ett svagt eller obefintligt samband med zink (Figur 63). Detta måste rimligen tolkas som att dessa metaller i huvudsak härrör från olika källor.

De konstaterade biologiska effekter i Runn form av onormalt liten storlek hos vissa bottenlevande djur och tidvis brist på småmört nära Faluåns mynning, bedöms i första hand bero på indirekta, icke-toxiska, effekter av järn. Som tidigare nämnts skulle effekterna främst bestå i en bindning av bottendjurens näring till utfällda järnföreningar, som leder till näringsbrist, respektive en övertäckning av mörtens rom, som leder till kvävning. Den rikliga förekomsten av järnutfällningarna innebär även att bottensubstrat genom sin höga vattenhalt och "fluffighet" är osedvanligt ogynnsamt för de bottenlevande djuren.

Järnet och dess oxid-/hydroxidföreningar orsakar dessutom en helt annan typ av miljöpåverkan med såväl praktiska som estetiska konsekvenser för människan som följd. En betydande sedimentation och utfyllnad av bottnarna med järnutfällningar i Tisken i nedre Faluån och utanför dess mynning har lett till betydande olägenheter för bl.a. båtägare, som tillsammans med kommunen nyligen låtit muddra båthamnen i området. Det grumliga vattnet liksom avsaknaden av en vattenspegel i Tisken upplevs som en estetisk olägenhet för många falubor. Planer finns på att även muddra Tisken för att bl.a. få denna sjö farbar med båt in till stadens centrum.

Om det ska vara meningsfullt att göra bottnarna fria från järnutfällningar i nedre Faluån bör dock järntillförseln till ån reduceras väsentligt. Annars är arbetet ogjort och bottnarna åter uppfyllda redan efter en relativt kort tid. Här ligger dock en konflikt med risk för toxiska miljöeffekter av övriga metaller. En drastisk minskning av järnet i systemet riskerar nämligen att samtidigt minska utfällningen av övriga metaller och därmed öka deras biotillgänglighet, med ökad risk för skada på vattenlevande växter och djur som följd.

Ett ämne som inte kommer att avlägsnas i den planerade reningsprocessen är **mangan**. Från de aktuella gruvavfallsupplagen kommer därmed samma kvantitet mangan som idag att tillföras vattendraget, men i framtiden istället ledas via reningsverket direkt ut i Faluåns mynningsområde. Det ökade utsläpp av mangan, som blir följden av det planerade nya reningsförfarandet av gruvvattnet, finns redovisat och miljöbedömt i underlaget till reningsanläggningens pågående miljöprövning.

10. OMGIVNINGSPÅVERKAN OCH RISKBEDÖMNING – SLUTSATSER

Utvecklingen fram till idag för metaller i vatten kan sammanfattas enligt följande:

- Tillförseln till Faluån av flera metaller har minskat drastiskt sedan slutet av 1980-talet då gruvvattnet i Falu gruva började renas. Mätningar i ån har visat att reduktionen är störst för zink, från tidigare ca 700 ton/år till 50-70 ton/år 2003.
- Även senare års åtgärder med att reducera metallutflödet från gruvavfall har i hög grad bidragit till denna reduktion av zink och kadmium, som sedan mitten av 1990-talet uppvisar en tydlig minskning i vattnet i Faluån och Runn.
- Enligt gjorda mätningar har haltreduktionen under samma period varit mindre för koppar och ingen alls för järn, medan blyhalten snarare tenderat att öka.
- Korrelationsberäkningar visar att zink och kadmium samvarierar starkt, medan zink och järn inte gör det, eller åtminstone gör det mycket svagt. Koppar intar en mellanposition. En samvariation bör tolkas som att metaller i huvudsak härrör från samma källor och vice versa.
- Det biologiska livet i Faluån har tidigare varit gravt påverkat av surt och metallrikt lakvatten. Idag uppvisar ån tydliga tecken på tillfriskning i takt med den minskade föroreningsbelastningen genom att växter och djur etablerat sig. En obalans förekommer dock, som yttrar sig i att vissa tåliga arter tenderar att ta överhand.
- Registrerade biologiska effekter i Runn bestående i småväxta bottenlevande djur och frånvaro av småmört i Faluåns mynning, bedöms företrädesvis bero på "fysiska" effekter av utfällda järnföreningar snarare än gifteffekter av metaller.
- I övrigt har inga biologiska effekter registrerats hos växt- och djursamhällen i Runn som kan hänföras till effekter av metaller. Istället visar genomförda undersökningar att ekosystemets principiella uppbyggnad och funktion i Runn inte skiljer sig från andra näringsfattiga sjöar i samma del av landet.
- Undersökningar av abborre i Runn visar att det endast är kadmiumhalten som idag är påtagligt hög i fisk från Runn jämfört med andra sjöar i Dalälven. Under det senaste decenniet har tecken på en haltminskning i fiskens levervävnad registrerats för kadmium och en haltökning för bly, d v s motsvarande den noterade tendensen i vatten.
- Även i nedre Dalälvens vatten har tydliga haltminskningar registrerats sedan 1990 av zink och kadmium (däremot inte av koppar, bly och järn), men fortfarande sker ungefär en fördubbling av halten för dessa metaller då älven passerar Runns utflöde.
- Idag är det endast zink från Dalälven som i någon mening orsakar en haltförhöjning i mynningsområdet, medan exempelvis havsvattnets kadmiumhalt snarare späds ut av älvens vatten.

- Risken för negativa effekter på växter och djur i nedre Dalälven och i älvens mynningsområde i Bottenhavet av metaller från Faluområdet får anses vara minimal eller obefintlig under nuvarande förhållanden.

Falun 2004-11-25

GRUNDTVATTENTEKNIK AB

Svensk MKB

Bo Ledin

Lennart Lindeström

Åsa Hanæus

ⁱ Lindeström, L. (1991-2003). Årsrapporter för Dalälvens vattenvårdsförening.

ⁱⁱ Nilsson, N. (1998). Falu Koppargruvas ålder och föroreningsbelastning av koppar och bly i sjön Runn under 1000 år. Examensarbete, Umeå universitet. MH 1998:20.

ⁱⁱⁱ Ahl, T. & Måhlstedt, S. (1983). Projekt Falu gruva – slutrapport. Naturvårdsverket pm 1838.

^{iv} Tröjbom, M. & Lindeström, L. (2004). Utvärdering av mätningar i Faluån och dess tillflöden. Rapport för Länsstyrelsen Dalarna.

^v Naturvårdsverket (1999). Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjöar och vattendrag. NV rapport 4913.

^{vi} Lindeström, L. (1999). Metaller i Dalälven – förekomst & ursprung, trender & samband, naturligt & antropogent. Länsstyrelsen Dalarnas län, rapport 1999:16.

^{vii} Dottne-Lindgren, Å. (1978). Falu gruvans inverkan på sjön Runn (2). Rapport från Limnologiska institutionen, Uppsala universitet.

^{viii} Ahl, T. & Wiederholm, T. (1983). Projekt Falu gruva – miljöeffekter. Naturvårdsverket pm 1837.

^{ix} Lindeström, L. (2003). Falu gruvans miljöhistoria. ISBN 91-631-3535-3.

^x Lindeström, L. (1991). Miljöbedömning av metallsituationen i Dalälven och Bottenhavet. Rapport för Dalälvsdelegationen.

^{xi} Alm, G. m.fl. (1999). Avsnittet om metaller i: Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, sjöar och vattendrag. Bakgrundsrapport 1, kemiska och fysikaliska parametrar. NV rapport 4920.

^{xii} Landner, L. & Lindeström, L. (1998). Zinc in society and in the environment. ISBN 91-630-6871-0.