



VÄSTERVIKS
KOMMUN



Betydelsen av Holländarefältet för masstransporten till Tjursbosjön

- Undersökning av processer i gruvsystemen belägna ovan Tjursbosjön -



Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:15

Linköping 2005-06-09

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	4
2. SYFTE	4
3. GRUVOR OCH DAGBROTT – EN INLEDNING	4
4. UNDERSÖKNINGAR	5
4.1. PROVTAGNING OCH ANALYS	5
4.1.1. <i>Inventering</i>	5
4.1.2. <i>Yt- och gruvvatten</i>	6
4.1.2. <i>Utfällningar –fasta prover</i>	6
4.1.3. <i>Gruvmodell</i>	6
5. RESULTAT OCH DISKUSSION	7
5.1. INVENTERING OCH GRUVBESÖK - HOLLÄNDAREFÄLTET	7
5.2. VATTEN I GRUVORNA SAMT YTAVRINNING	9
5.2.1. <i>Holländarfältet – Svenskgruvan och Knutsschaktet</i>	9
5.2.2. <i>Sohlbergsfältet</i>	13
5.2.3. <i>Ryssgruvorna</i>	14
5.2.4. <i>Meijersgruvan</i>	15
5.2.5. <i>Ytavrinning – Längs slutningen mot Tjursbosjön och i Knutsschaktet</i>	15
5.3. STOLLGÅNGEN	17
5.4. UTFÄLLNINGAR PÅ SCHAKTVÄGGAR	22
5.5. GRUVANS BETYDELSE FÖR MASSTRANSPORTEN UT TILL TJURSBOSJÖN.....	25
5.6. PROCESSER IDAG – PROCESSER PÅ SIKT	26
6. REFERENSER	27

FÖRORD

Västerviks kommun har under perioden maj 2003 till maj 2005 genomfört Projekt Gladhammars gruvor, en huvudstudie enligt Naturvårdsverket kvalitetsmanual för efterbehandling av förorenade områden. Arbetet har finansierats med bidragsmedel från Naturvårdsverket anslag till Länsstyrelsen i Kalmar.

Omfattningen av undersökningarna har utformats och drivits av en styrgrupp med Västerviks kommunalråd Harald Hjalmarsson som ordförande. Övriga medlemmar i styrgruppen har varit kommunstyrelsens vice ordförande Anita Bohman, tekniske chefen Per Allerth, miljö- och byggnadschefen Mariann Teurnell-Söderlund samt kommunchef Conny Jansson som även fungerat som beställarombud. Tommy Hammar från Länsstyrelsen i Kalmar län och projektledaren Christer Ramström, Västerviks kommun, har varit adjungerade till styrgruppen. Tommy Hammar har även fungerat som projektstöd inom miljöstyrning.

Det löpande arbetet har utförts av en projektgrupp där Christer Ramström från Västerviks kommun varit projektledare. Christer Hermansson från Västerviks kommun har haft ansvar som delprojektledare för delprojekt Miljökontroll medan Henning Holmström, Envipro Miljöteknik AB har upphandlats som delprojektledare för delprojekt Utredningar. Länsstyrelsen i Kalmar har representerats av Anders Svensson från miljöenheten och Birgitta Eriksson från kulturmiljöfunktionen. I projektgruppen har även Barbro Friberg från Kultur- och Fritidsförvaltningen ingått samt Petra Rissmann från Tekniska kontoret.

Fältarbetena inom projektet har organiserats av delprojekt Miljökontroll som i huvudsak bemannats av Christer Hermansson och Christer Ramström. Ansvaret för upprättandet av undersökningsprogrammet samt för flera av delrapporterna har vilat på delprojektledare Henning Holmström.

I huvudstudien för Projekt Gladhammars gruvor ingår följande rapporter:

2004:01	–	Sammanfattande Huvudstudierapport
2004:02	–	Metodik för provtagning och analys
2004:03	–	Inventering och karaktärisering av avfallen vid Gladhammars gruvor
2004:04	–	Grundvattnets geokemi
2004:05	–	Resultat från miljökontroll
2004:06	–	Hydrogeologisk åtgärdsutredning för Gladhammars gruvområde
2004:07	–	Geokemin i Tjursbosjön, Ekenässjön och Kyrksjön
2004:08	–	Systemförståelsen för Gladhammars gruvor och närområdet
2004:09	–	Kulturhistorisk utredning för Gladhammars gruvområde
2004:10	–	Sedimentkartering av Tjursbosjön
2004:11	–	Riskperspektivet för gruvområdet vid Gladhammar och nedströms liggande sjösystem
2004:12	–	Åtgärdsutredning Alternativ för efterbehandling av Gladhammars gruvor och förorenade sediment i Tjursbosjön
2004:13	–	Undersökning av Bondegruvan, Knutsschaktet och stollgången vid Holländarefältet, Gladhammars gruvor
2004:14	–	Effekter av föroreningsspredningen från den tidigare gruvdriften vid Gladhammars gruvor
2004:15	–	Betydelsen av Holländarefältet för masstransporten till Tjursbosjön
2004:16	–	Mobilisering och immobilisering av bly och kadmium i sjösediment
2004:17	–	Undersökning av bottenfauna i Tjursbosjön, Ekenässjön och Kyrksjön

Denna rapport har i huvudsak utarbetats av Henning Holmström, Envipro Miljöteknik AB med hjälp av Christer Hermansson, Västerviks kommun.

Sammanfattning

Föreliggande rapport syftar till att beskriva de processer som sker i gruvorna som finns runt Tjursbosjön och Gladhammar och det diffusa läckage som sker längs gruvschakten och längs med berget ned mot Tjursbosjön. Dessutom behandlas betydelsen av processerna för spridningen idag och i framtiden. Fokus i rapporten ligger på elementen kobolt, koppar och bly, de ”tungmetaller” som dominerar samt de bärarfaser (Fe, Mn och S) som till större delen styr processerna. Data från Ryssgruvorna, Meijersgruvan och Sohlbergfältet har inkluderats som jämförelse.

Gruvorna har inventerats vid två tillfällen genom att personal firades ned i Bondegruvan och Knuttschaktet samt genom att personal togs sig in i stollgången. Vattenprover har tagits på olika djup i gruvorna samt på ytavrinning längs schaktväggen och bergsslutningen. Utfällningar på schaktväggen har provtagits. En 3D-modell för gruvorna uppe på Käringryggen har också upprättats.

Inventeringen och gruvbesöken på Holländarefältet visar att stora delar av gruvan idag är vattenfylld. Gruvsystemet är delvis kommunicerande, delvis inte. Huvuddelen av läckaget från systemet mynnar ut genom stollgången till Tjursbosjön. Genom den upprättade gruvmodellen har den totala gruvvolymen uppskattats till cirka 64 000 m³ för gruvorna belägna ovan Tjursbosjön. I gruvan finns flera olika typer av utfällningar både på golv och på väggar. De mest framträdande är olika typer av järnutfällningar och kopparutfällningar. Slutsatserna som kan dras är att en anrikning och fastläggning sker i sekundära faser inne i gruvan.

Halterna av koppar i Svenskgruvan ligger runt 5800-6000 µg/l medan kobolthalterna i vattnet ligger mellan 915-930 µg/l. Även kadmium och blyhalterna är tämligen höga. Halterna av koppar och kobolt verkar vara något lägre i Knuttschaktet jämfört med Svenskgruvan. Ingen haltförhöjning mot djupet har kunnat påvisas i någon utav gruvorna. Halterna av koppar och kobolt är lägre i de mindre gruvorna utanför Holländarefältet jämfört med Svenskgruvan och Knuttschaktet.

Proverna på ytavrinning visar att halterna i vattnet längs med bergsslutningen kan bli betydande i samband med nederbörd. Kobolthalterna i avrinningen varierar från 1820 µg/l upp till 7900 µg/l och kopparhalterna från 4440 µg/l upp till 19000 µg/l. Detta är mycket höga halter. Även halterna i ytavrinningen längs med Knuttschaktet visar på höga kobolt- och kopparhalter. Något som är tydligt i alla de prover som tagits är att vittringen är intensiv i varpen, vilket visas bland annat av höga halter av aluminium. I stollgången ligger halterna av koppar och kobolt som medel runt 1100 respektive 6600 µg/l. Någon haltförändring sker inte med ökande respektive minskande flöde. En förklaring till detta kan vara att den ökning i flöde som kan förklaras med till gruvan inrinnande nederbörd inte ger upphov till några större vattenmängder.

Transporten ut ur stollgången avseende koppar och kobolt ligger runt 121 kg koppar och 20 kg kobolt. Tillskottet från varpen i den direkta närheten av gruvorna ligger endast på omkring 5 kg koppar och cirka 2 kg kobolt. Årligen finns ett underskott på t.ex. 116 kg koppar och 18 kg kobolt, vilket är det tillskott som den interna oxidationen i gruvan årligen kan tillskrivas

De processer som sker i gruvan idag har sannolikt pågått under lång tid. Några indikationer på en förändring med tiden finns inte och med all sannolikhet kommer halterna i gruvvattnet och i stollgången vara konstanta även framöver. Det enda som skulle kunna förändra detta förhållande är en eventuell vattennivåförändring.

1. INLEDNING

Länsstyrelsen i Kalmar län har tillsammans med Västerviks kommun 2001 inlett undersökningar av miljön och omgivningarna kring Gladhammars gruva i Västerviks kommun. En utökad förstudie sammanställdes hösten 2003 vilken ledde till att en huvudstudie nu genomförts.

Förstudien visade på höga halter av arsenik, koppar, kobolt, bly och zink i gruvavfallet i området. Mängderna har i förstudien uppskattats till 364 ton koppar, 44 ton kobolt, 34 ton bly samt 11 ton zink. Utlakningen gör att föroreningshalterna är höga i grundvattnet i området samt i Tjursbosjöns ytvatten som tar emot vattnet från bäcken i stollgången som dränerar gruvan.

Det syns även en påverkan i de nedströms liggande sjöarna. Påverkansgraden av koppar och kobolt i Tjursbosjön och Ekenässjön klassas som mycket stor. I den tredje sjön i systemet; Kyrksjön i Gladhammar, klassas den som stor. Utlakningen minskar med tiden men det går mycket långsamt och den kan pågå i hundratals eller till och med tusentals år till.

Sammantaget innebär detta att avfallen klart utgör en ekotoxikologisk risk. Men det finns också en humantoxikologisk risk som främst utgörs av den arsenikhaltiga anrikningssanden som ligger lätt tillgänglig längs Tjursbosjöns strand. Med anledning av ovan nämnda förhållanden har Länsstyrelsen placerat Gladhammars gruvområde i riskklass 1.

Denna rapport är en del i Huvudstudien.

2. SYFTE

Syftet med denna rapport är följande:

- Att beskriva de processer som sker i gruvan och i de övriga gruvor som finns runt Tjursbosjön och Gladhammar.
- Att beskriva det diffusa läckage som sker längs gruvschakten samt längs med berget ned mot Tjursbosjön.
- Att beskriva och tydliggöra betydelsen av de processer som sker för spridningen idag och den i framtiden.

Fokus i rapporten ligger på elementen kobolt, koppar och bly, de ”tungmetaller” som dominerar samt de bärarfaser (Fe, Mn och S) som till större delen styr processerna.

Trots att Ryssgruvorna, Meijersgruvan och Sohlbergsfältet endast indirekt eller inte alls dränerar till Tjursbosjön har data från dessa brytningsområden inkluderats för jämförelse.

3. GRUVOR OCH DAGBROTT – EN INLEDNING

Dagbrott och vattenfyllda gruvor är unika vatten. De har generellt liten eller ringa likhet med naturliga sjöar. De har t.ex. oftast en liten diameter jämfört med djupet. Geokemin i flera dagbrott i Sverige har undersökts av bl.a. Ramstedt, 1999, Lu, 2002, Ramstedt *et al.*, 2003 och utomlands av bl.a. Davis och Ashenberg, 1989, Friese *et al.*, 1998, Bachman *et al.*, 2001, Gammons *et al.*, 2003.

Geokemin i just vattenfyllda gruvor som de i Gladhammar d.v.s. inte dagbrott har undersökts i mindre grad, sannolikt p.g.a. svårtillgängligheten, men geokemin uppvisar sannolikt stora likheter med vattenfyllda dagbrott.

Dessa miljöer bildas genom mänsklig aktivitet, gruvbrytning. Under brytningen hålls vattennivåerna konstanta genom pumpning. När gruvbrytningen avtar blir exponeringen av gruvväggar och golv mer tydlig genom att element frigörs genom vittringen vilket bidrar till en haltökning i gruvvattnet som nu inte pumpas bort. Vattennivån stiger tills den antingen når den naturliga grundvattennivån eller vattnet börjar läcka ut genom artificiellt bildade vägar (t.ex. schakt).

Halterna i ett gruvvatten påverkas av flera olika källor. Initialt vid en vattennivåhöjning kan sekundära salter bildade genom vittringen av väggar och golv lösas upp. Detta ger inte alltid ett helt obetydligt tillskott vilket visas av den kontinuerliga pumpningen som krävs vid vissa av de nedlagda kolgruvorna i Storbritannien (Younger *et al.*, 1996) Efter en stabil nivå nåts påverkas halterna mer av vittringen i de torrlagda delarna av gruvorna samt transporten av vittringsprodukter från avfall lokaliserade ovan markytan.

I de flesta vattenfyllda gruvor och dagbrott finns inget eller ringa biologiskt liv. De har generellt höga kanter vilket medför att någon litoral zon inte kan bildas, de saknar överhuvudtaget generellt en strandlinje eller grunt vatten. Primärproduktionen är också generellt låg p.g.a. de höga metallhalterna. Detta medför att främst ”kemiska” sediment bildas på botten.

Miljöerna är också speciella genom att de kan vara konstant stratifierade (t.ex. Lu, 2002). Det är inte alltid att termokliner bildas d.v.s. att miljöerna fungerar som vanliga sjöar med höst och våromrörning. Denna säsongsvariation bör vara ovanlig i djupa gruvor och mer vanlig i större dagbrott, med stora strykriktningar d.v.s. där vinden har möjlighet att röra om vattnet. Dagbrott och vattenfyllda gruvor kan hålla så pass höga halter i vattenmassan att också chemokliner, d.v.s. en kemisk stratifiering, bildas. Generellt stiger då halterna mot djupet (t.ex. Davis *et al.*, 1989, Lu 2002).

Vanliga processer i dessa speciella miljöer är olika redoxprocesser som t.ex.. utfällning och upplösning av järn- och manganoxidhydroxider, utfällning av sekundära mineral samt i vissa fall t.o.m. sekundärbildning av sulfider. Betydelsen av dessa processer i gruvvattnet styr till stor del uttransporten av metaller till recipienten från miljöerna. Det är av stor vikt att förstå dessa processer och hur de samspelar även ur ett direkt åtgärds perspektiv. Om halterna är högre mot djupet får det en stor betydelse vid t.ex. en grundvattensänkning då vatten måste pumpas ut och renas. Om ett artificiellt metallrikt sediment bildats på botten måste även det tas om hand vid en torrläggning. En förändring av vattennivån kan också innebära att eventuella redoxzoner påverkas med en följd att metaller kan immobiliseras eller remobiliseras. Allt detta påverkar möjliga tekniker och kostnader.

4. UNDERSÖKNINGAR

4.1. Provtagning och analys

4.1.1. Inventering

Totalt två inventeringar har genomförts i gruvan vid två tillfällen. Vid ett tillfälle firades personal ned i Bondegruvan och Knutschaktet ned till vattennivån (cirka 28-30 m). Vid det andra tillfället tog sig personal in i stollgången. För utförligare beskrivning av besöken hänvisas till rapporten Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:13.

4.1.2. Yt- och gruvvatten

Vattenprover från olika djup i gruvan har tagits på två platser, Svenskgruvan och Knutsschaktet. Metaller och anjoner har analyserats. Till detta har prov på ytavrinning längs med bergslutningen tagits vid ett tillfälle på tre platser. Ytavrinning längs schaktväggen i Knutsschaktet har också provtagits (ett tillfälle). En screeninganalys på vatten från stollgången har också utförts. Vatten från stollgången har regelbundet provtagits och analyserats under perioden 2001-2004. Till detta har även vatten i Ryssgruvorna, Meijersgruvan och i Sohlbergsfältet provtagits och analyserats vid ett tillfälle.

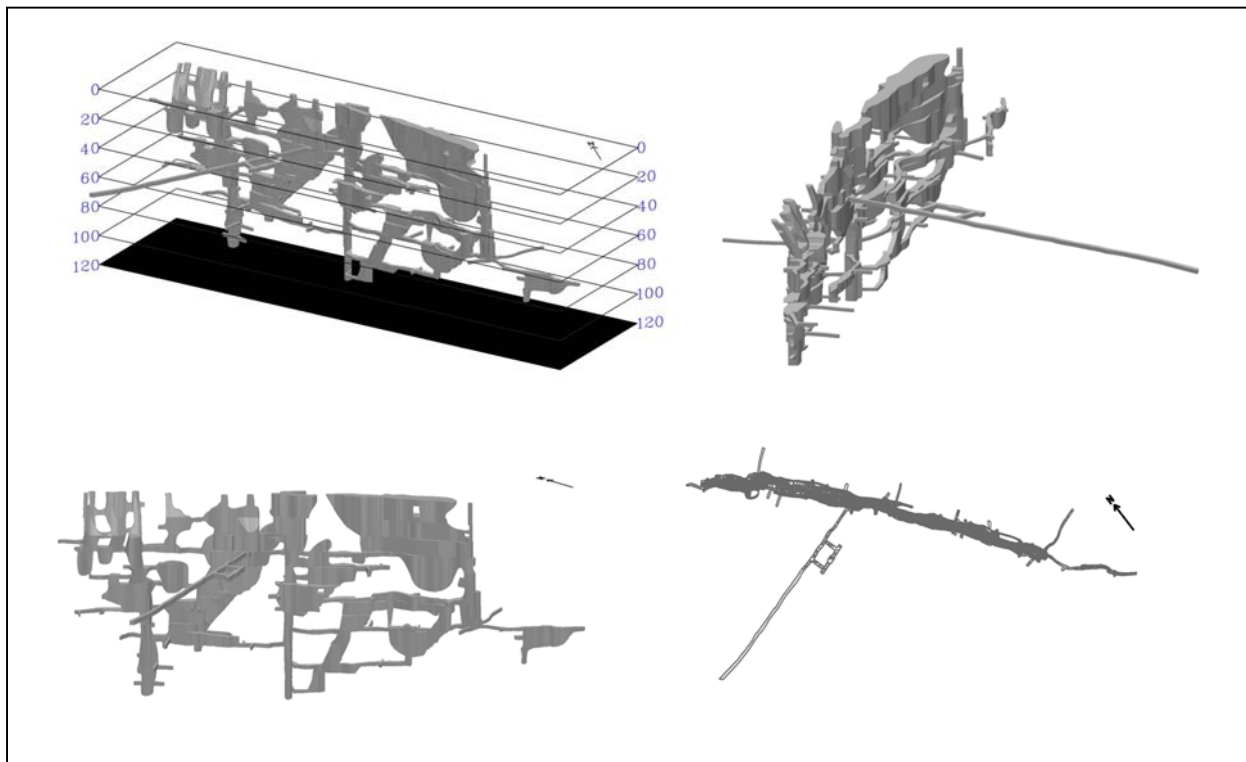
För utförligare beskrivning av provtagning- och analysmetodik hänvisas till metodikrapporten Projekt Gladhammar gruvor, delrapport 2004:02.

4.1.2. Utfällningar –fasta prover

Ett prov på utfällningar (Fe-oxidutfällningar) har tagits i Knutsschaktet och analyserats avseende metaller. För utförligare beskrivning av provtagning- och analysmetodik hänvisas till rapporten Projekt Gladhammar gruvor, delrapport 2004:02.

4.1.3. Gruvmodell

De sista uppförda gruvkartorna från 1892, delvis uppdaterade 1966, har skannats in och digitaliserats.



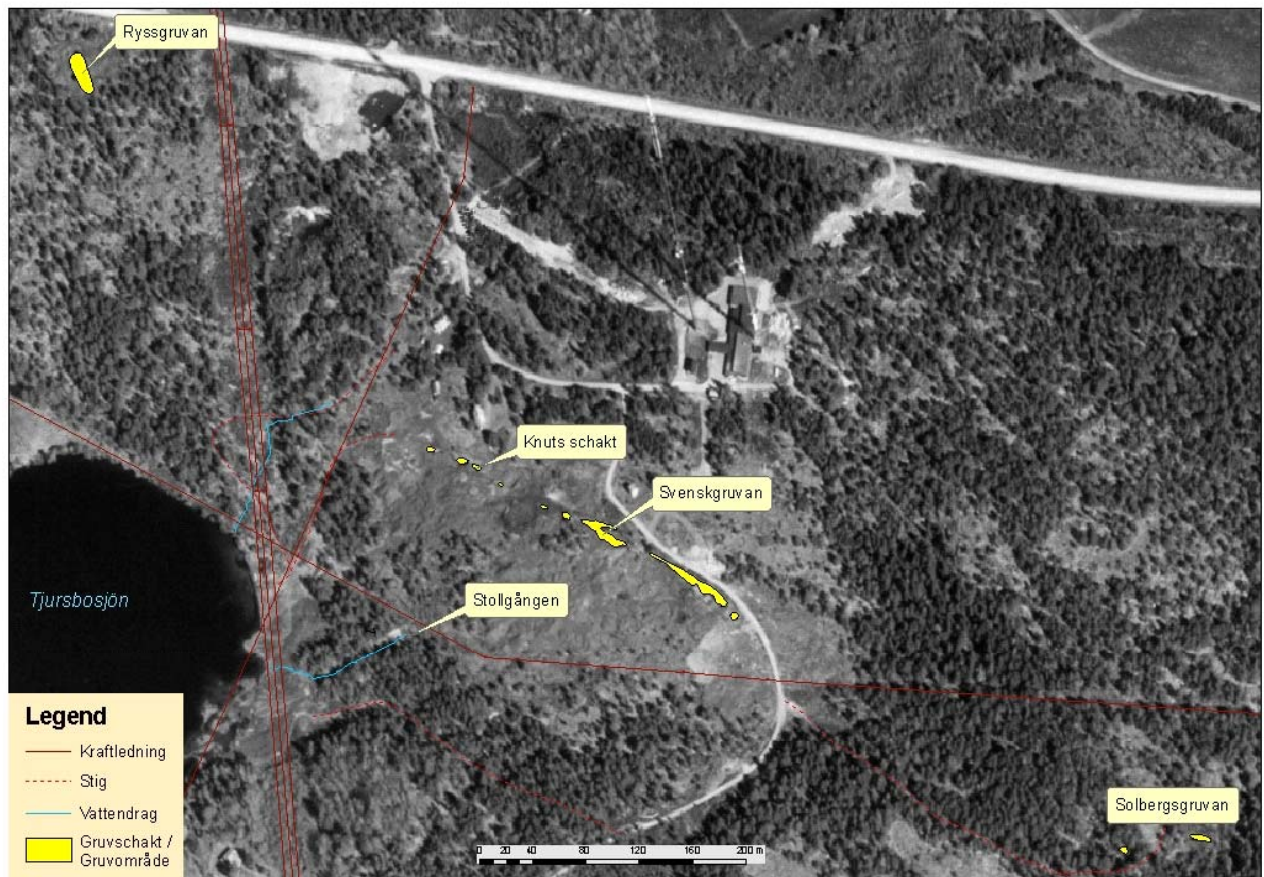
Figur 1. Figurerna visar gruvornas utbredning ovan Tjursbosjön. I bilderna är den s.k. stollgångens sträckning tydlig.

En 3D-gruvmodell har upprättats för gruvorna uppe på den s.k. Käringryggen, och volymer beräknats. Arbetet har utförts av Geosigma i Uppsala (2004). Volymer och areor har beräknats för varje 5 m intervall ända ned till det maximala djupet (cirka 120 m).

5. RESULTAT OCH DISKUSSION

5.1. Inventering och gruvbesök - Holländarefältet

Den inventering av orter, samt de gruvbesök av det brytningsområde som finns ovan Tjursbosjön på Käringryggen, d.v.s. Holländarefältet (fig 2), som utförts visar att stora delar av gruvan idag är vattenfylld. Grundvattennivån i gruvan ligger idag cirka 28-30 m under markytan.



Figur 2. Kartan visar de olika gruvorna längs Käringryggen/Holländarefältet samt lokaliseringen av Ryssgruvorna och Sohlbergsgruvan. Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.

Gruvsystemet är delvis kommunicerande, delvis inte. Det finns en möjlighet att ta sig från ena änden av systemet till det andra. Bitvis är det dock endast mindre orter med ringa diameter som är den direkt kommunicerande vägen. Gruvsystemet kan således delas in i ett antal brytningsområden som delvis är separata. Detta innebär att vattenvolymen i gruvan inte kan ses som en kemisk enhet. Halterna kan variera och gör så. Det är inte heller riktigt att anta att hela systemet håller en konstant vattennivå. Detta är tydligast för de östra delarna. En klack finns där mellan det östligaste gruvhålet (Bondegruvan) och resten av gruvsystemet. Vattennivån ligger uppskattningsvis någon eller ett par meter högre i Bondegruvan. Det kan även finnas en vattenfylld förbindelseort mellan Bondegruvan och Sohlbergsfältet i öster.

Huvuddelen av läckaget från systemet mynnar ut genom stollgången. Stollgången sluttar svagt uppåt. Generellt ökar även graden av utfällningar på väggar, främst järnoxidhydroxider, men även gips och

olika kopparkarbonater, längre in. Botten av stollgången täcks av en slurry, längre ut mot mynningen grönfärgad/beige, längre in rostfärgad/beige med uppskattningsvis upp till någon decimeters mäktighet. Slurrin är mycket lös och virvlar lätt upp i vattenmassan. Vattnet är i övrigt ”kristallklart”. En del av flocken eller slurrin har också en svart-mörk färg vilket kan tyda på utfällning av andra okända mineral.

Tabell 1. Beräknade volymer i intervall samt den totala gruvvolymen samt ytarean. Med ytarea menas den totalt uppskattade golv, vägg och takarean för utbrutna orter och schakt. Gråmarkerade nivåer visar idag ej vattenfyllda områden.

Under markyta (m)	Volym (m ³)	Ytarea (m ²)
0 - 5	4505	3922
5 - 10	4258	2932
10 - 15	3638	3020
15 - 20	2466	2351
20 - 25	2896	2804
25 - 30	3559	3013
30 - 35	5470	5296
35 - 40	3709	3707
40 - 45	3491	3113
45 - 50	3233	2655
50 - 55	3206	2550
55 - 60	3978	3320
60 - 65	4022	2799
65 - 70	3173	2612
70 - 75	3039	2736
75 - 80	2501	2137
80 - 85	2605	2257
85 - 90	1336	1461
90 - 95	719	1096
95 - 100	865	1393
100 - 105	394	571
105 - 110	359	536
110 - 115	340	562
115 - 120	101	177
Summa:	63864 m³	57020 m²

Cirka 100 meter in i gången finns en sprängkammare som byggdes av Försvarmakten på 1950-talet. Ytterligare cirka 30-40 m in är gången fylld med sten, möjligen ett ras eller en igenfyllnad.

Genom den upprättade gruvmodellen har den totala gruvvolymen uppskattats till cirka 64 000 m³ för gruvorna belägna ovan Tjursbosjön. Den del av området som direkt dränerar till Tjursbosjön genom stollgången. Ryssgruvorna och Sohlbergsfältet är exkluderade. För dessa är volymerna och djupen okända.

Huvuddelen av brytningen har skett ovan 50 m nivån (cirka 37 000 m³). Volymen ovan den nuvarande vattennivån d.v.s. den idag ej vattenfyllda delen av gruvan ligger på cirka 21 000 m³. Andelen utbruten volym under 90 m nivån är relativt begränsad (cirka 2800 m³).

Den totala ytarean för den utbrutna delen av gruvan ligger på cirka 57 000 m², varav huvuddelen av arean, precis som för gruvvolymen, ligger ovan 50 m nivå. Den totala arean för den del av gruvan som ligger ovan nuvarande vattenyta har beräknats till cirka 18 000 m².

5.2. Vatten i gruvorna samt ytavrinning

5.2.1. Holländarfältet – Svenskgruvan och Knutsschaktet

Svenskgruvan är en gruva som ligger centralt i gruvfälten ovan Tjursbosjön. Gruvans centrala delar sträcker sig ned till djup på omkring 120 m. I gruvan, eller i en del av denna (Odelmarksgruvan) har koboltmalm bl.a. brutits. Knutsschaktet är en gruva längre åt nordväst, i utkanten av det centrala gruvområdet. Denna gruva, eller schakt har ett maximalt djup på även det cirka 120 m.

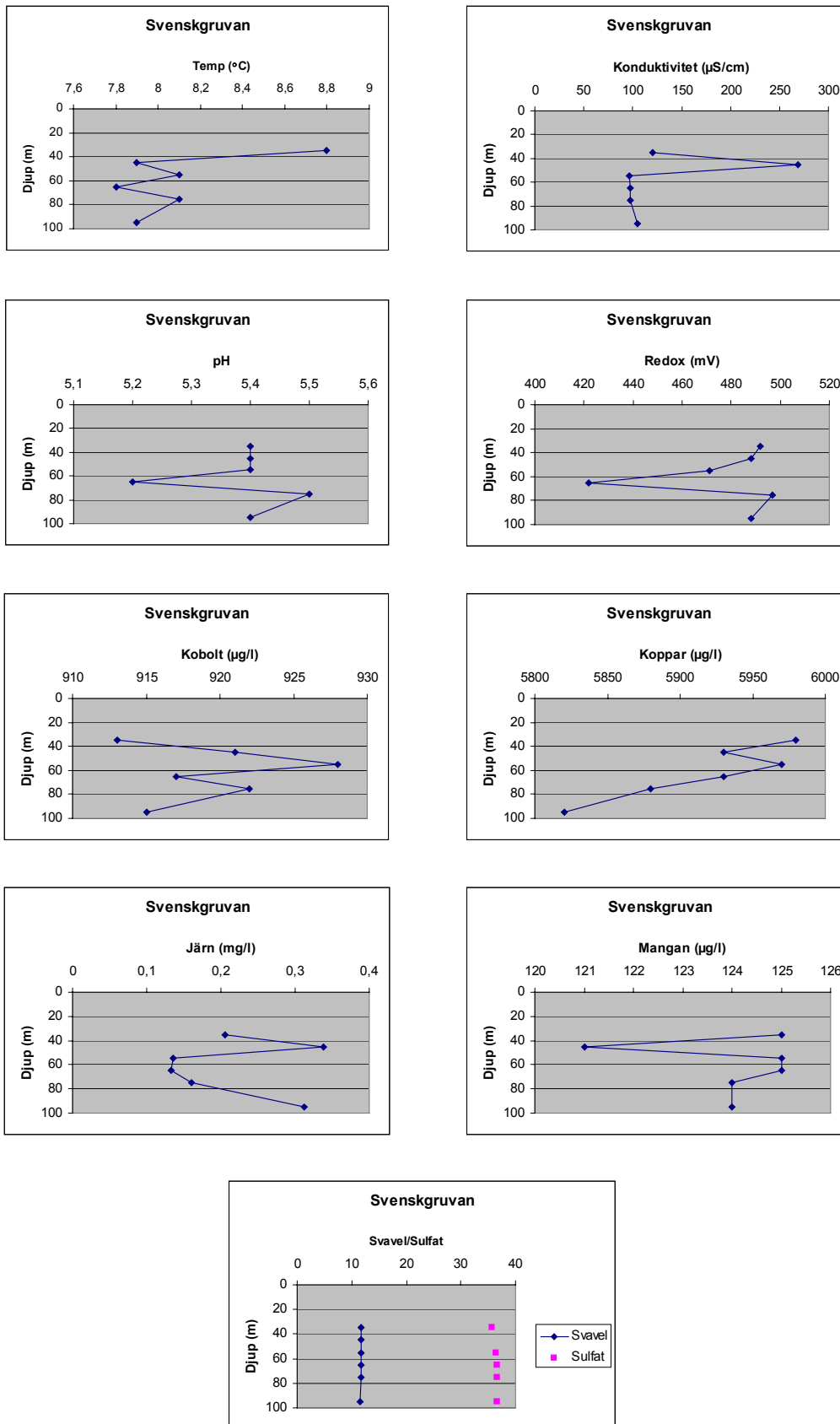
I Svenskgruvan har vattenprover kunnat tas, i stort sett, ända ned till botten (100 m nivå). Generellt så uppvisar gruvvattnet i denna del ingen tydlig skiktning. Temperaturen är omkring 9°C i vattenytan och cirka 1°C lägre under denna, men är i övrigt konstant mot botten. Någon stratifiering p.g.a. temperatur skillnader, tyngre vatten mot botten finns inte.

Några haltförhöjningar kan heller inte konstateras mot djupet, bortsett från möjligen järn. Detta bekräftas också av de jämna konduktivitetsvärdena från ytan ned till botten. Kopparhalterna sjunker i stället mot djupet, dock marginellt, från cirka 6000 µg/l i ytan ned till omkring 5800 µg/l mot botten, vilket skulle kunna tyda på att en relativt liten omblandning av gruvvattnet, och ett påslag från vittring och oxidation från nivåer belägna ovan vattenytan sker.

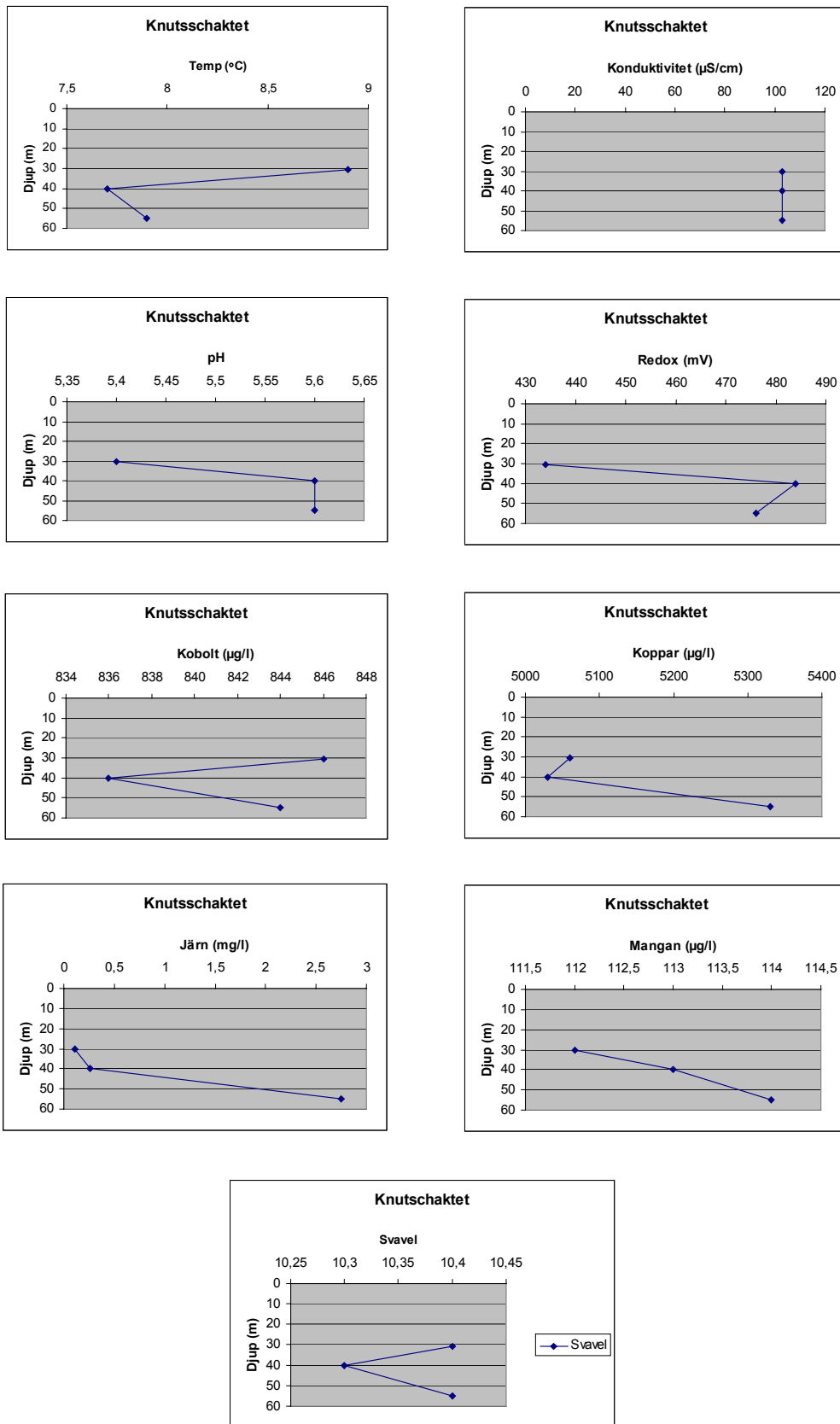
Trenderna för svavel och sulfathalterna är likartade, någon sulfatreduktion verkar inte ske mot botten. I stort sett allt svavel förekommer i sulfatform. Redoxförhållandena är också likartade. Ingen trend till sjunkande redoxpotential. Allt detta tillsammans med de jämna pH-värdena mot djupet tyder på ingen eller ringa sulfatreduktion mot djupet.

Halterna av koppar ligger runt 5800-6000 µg/l medan kobolthalterna i vattnet ligger mellan 915-930 µg/l. Även kadmium och blyhalterna är tämligen höga. Kadmiumhalterna ligger runt 1,3 µg/l och blyhalterna varierar från 518-580 µg/l. Arsenikhalterna ligger generellt under detektionsgränsen (<0,1 µg/l) med enstaka värden uppåt 0,3-0,6 µg/l.

Generellt är halterna och värdena i Knutsschaktet likartade. Någon stratifiering verkar inte finnas heller här. Inte heller någon sulfatreduktion sker mot djupet. Järn och manganhalterna verkar dock vara något högre mot djupet vilket skulle kunna tolkas som en upplösning av järn- och manganoxidhydroxider mot djupet. Det bekräftas inte av de högre redoxvärdena mot djupet. En förklaring skulle kunna vara sedimentation av partiklar (järn- och manganhydroxider). Att det är partikulärt bundet järn och mangan tycks bekräftas av de högre koppar- och delvis kobolthalterna mot djupet, vilka sannolikt är bundna till dessa oxidhydroxidfraktioner (t.ex. Johnsson 1986; Kooner, 1993).



Figur 3. Figurerna visar ett urval av parametrar från olika nivåer provtagna i Svenskgruvan.



Figur 4. Figurerna visar ett urval av parametrar från olika nivåer provtagna i Knutsschaktet.

Tabell 2. Medelhalter i gruvvattnen i Svenskgruvan och Knuttschaktet.

	Svenskgruvan	Knuttschaktet
Temperatur		
(°C)	8,1±0,4	8,2±0,6
pH	5,38±0,10	5,53±0,11
Konduktivitet		
(µS/cm)	131±68	103
Redox		
(mV)	476±28	465±27
[mg/l]		
Ca	6,34±0,03	6,22±0,06
Fe	0,21±0,09	1,04±1,48
K	1,16±0,05	1,09±0,03
Mg	1,91±0,02	1,79±0,02
Na	2,97±0,05	3,06±0,06
S	11,7±0,1	10,4±0,1
Si	5,41±0,02	5,15±0,10
[µg/l]		
Al	438±47	395±193
As	0,46±0,20	2,50±1,94
Ba	14,3±0,30	16,2±0,9
Cd	1,32±0,05	1,27±0,04
Co	919±6	842±5
Cr	0,11±0,08	0,09±0,11
Cu	5918±60	5140±165
Hg	<0,002	<0,002
Mn	124±2	113±1
Mo	<0,05±	0,93±0,82
Ni	75,8±5,4	76,9±15,6
P	1,87±0,59	5,97±7,22
Pb	549±26	465±106
Sr	28,4±0,5	27,9±0,2
Zn	286±9	263±28

Halterna av koppar och kobolt verkar vara något lägre jämfört med Svenskgruvan. Kopparhalterna ligger mellan 5030-5330 µg/l d.v.s. nästan 1000 µg/l lägre jämfört med Svenskgruvan. Kobolthalterna varierar mellan 836-846 µg/l d.v.s. cirka 100 µg/l lägre. Den enda kommunikationen sker genom orter på 30, 55 och 65 m nivåerna som antingen till större delen ligger ovan dagens vattenyta eller hindras av en större klack i ett bergrum i Tyskgruvorna mellan Knuttschaktet och Svenskgruvan. Den enda kommunikationen idag är en mindre tvärort på 90 m nivå. Förklaringen till skillnaderna i halter kan således vara dålig kommunikation mellan de två gruvorna samt att vittringen bör vara mer intensiv i Svenskgruvan d.v.s. de centrala delarna (där även kobolt brutits).

5.2.2. Sohlbergsfältet

Sohlbergsfältet ligger strax sydost om Holländarefältet ovan Tjursbosjön. Fältet började i huvudsak bearbetas omkring 1738 (se Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:09). En av de större och djupare gruvorna är Prins Carls Gruva. En gruva som sannolikt även användes under 1900-talets undersökningar i området.

Tabell 3. Halter i vattnet från två djup i Sohlbergsfältet (Prins Carls Gruva).

Nivå	m under vattenyta	0	24
Temperatur	°C	15,9	8,4
pH		4,6	4,6
Konduktivitet	µS/cm	41	43
Redox	mV	466	549
Ca	mg/l	1,11	1,19
Fe	mg/l	0,135	1,46
K	mg/l	0,443	0,415
Mg	mg/l	0,649	0,736
Na	mg/l	1,55	1,59
S	mg/l	3,14	3,57
Si	mg/l	3,1	3,31
Al	µg/l	340	740
As	µg/l	0,229	0,184
Ba	µg/l	9,84	10,8
Cd	µg/l	1,02	1,38
Co	µg/l	11,8	12,8
Cr	µg/l	0,13	0,23
Cu	µg/l	756	1290
Hg	µg/l	<0,002	0,0031
Mn	µg/l	35,6	39,2
Mo	µg/l	0,49	1,86
Ni	µg/l	10,7	13,6
P	µg/l	7,18	10,2
Pb	µg/l	75	228
Sr	µg/l	9,3	9,8
Zn	µg/l	169	238

Denna gruva har möjligen en kommunikation med Bondegruvan genom en ort som drevs under 1950-talet i samband med privata prospekteringsarbeten.

Resultaten från den provtagning som utförts visar åter att järn- och manganhalterna är något högre mot djupet. Likaså ökar koppar- och kobolthalterna något mot djupet. Någon stratifiering verkar dock inte finnas heller i denna del av systemet.

Halterna av koppar och kobolt är lägre jämfört med halterna i de övriga gruvorna. Kobolthalten ligger på omkring 12-13 µg/l i jämförelse med 800-900 µg/l för Knutsschaktet och Svenskgruvan. Kopparhalterna ligger runt 760-1300 µg/l i jämförelse med 5000-7000 µg/l. Även blyhalterna är lägre. Mellan 75-228 µg/l i jämförelse med 400-600 µg/l. Malmen och avfallen som brutits i detta område bör således ha varit relativt fattig på kobolt och även fattigare avseende koppar. Kommunikationen bör även vara dålig mellan detta system och resten av systemet. Sannolikt delvis p.g.a. den klack som finns i Bondegruvan.

5.2.3. Ryssgruvorna

Ryssgruvorna ligger strax söder om vägen till Ankarsrum. Brytningen i detta område ska ha skett under perioden 1738-1763 (se Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:09). Varpen i området är tämligen vittrad i jämförelse med övriga varpförekomster i Gladhammarsområdet. Uppgifter finns om att djupet i gruvorna kan uppgå till cirka 36 m.

Tabell 4. Halter i vattnet från två djup vid Ryssgruvorna.

Nivå	m under vattenyta	0	10
Temperatur	0C	14,7	13
pH		4,7	4,8
Konduktivitet	µS/cm	61	57
Redox	mV	494	517
Ca	mg/l	0,613	0,629
Fe	mg/l	0,0296	0,156
K	mg/l	0,412	0,555
Mg	mg/l	0,804	0,821
Na	mg/l	0,927	1,09
S	mg/l	5,37	5,4
Si	mg/l	2,22	2,3
Al	µg/l	676	829
As	µg/l	0,721	0,539
Ba	µg/l	19	18,8
Cd	µg/l	0,214	0,237
Co	µg/l	21,8	18,6
Cr	µg/l	0,0879	0,209
Cu	µg/l	5710	5750
Hg	µg/l	<0,002	0,007
Mn	µg/l	64	66
Mo	µg/l	0,123	0,0776
Ni	µg/l	13,8	14,7
P	µg/l	2,33	8,57
Pb	µg/l	1100	1120
Sr	µg/l	4,6	5,2
Zn	µg/l	48,5	79,8

Någon direkt stratifiering verkar inte finnas i denna gruva heller. Kobolthalterna är låga omkring 20 µg/l i jämförelse med de centrala gruvorna. Kopparhalterna på omkring 5700 µg/l ligger dock väl i nivå med halterna i de tidigare gruvorna. Blyhalterna i Ryssgruvorna är dock cirka 2 ggr högre jämfört med halterna i både Svenskgruvan och Knutschaktet, omkring 1100 µg/l. Malmen och avfallen runt Ryssgruvorna verkar således vara något mer blyrika och koboltfattigare, men hålla liknande kopparhalt som den tidigare malmen i de centrala delarna av gruvfältet.

5.2.4. Meijersgruvan

Meijersgruvan är den gruva som ligger längst bort i gruvfältet. Gruvan är mer att likna vid en skärpning och mängden varp är liten. Uppgifterna om gruvan är få.

Tabell 5. Halter i vattnet vid Meijersgruvan.

Nivå	m under vattenyta	0
Temperatur	°C	10,2
pH		5,6
Konduktivitet	µS/cm	42
Redox	mV	373
Ca	mg/l	2,67
Fe	mg/l	2,01
K	mg/l	0,666
Mg	mg/l	0,765
Na	mg/l	1,33
S	mg/l	1,09
Si	mg/l	2,53
Al	µg/l	191
As	µg/l	1,28
Ba	µg/l	11,6
Cd	µg/l	0,0203
Co	µg/l	3,49
Cr	µg/l	0,953
Cu	µg/l	83,6
Hg	µg/l	0,0045
Mn	µg/l	219
Mo	µg/l	0,197
Ni	µg/l	1,16
P	µg/l	33,6
Pb	µg/l	0,701
Sr	µg/l	8,2
Zn	µg/l	4,28

Halterna i vattnet i gruvhålet visar att malmen och avfallen måste ha varit och vara fattiga på både kobolt, koppar och bly. Det är möjligt så att ingen eller ringa produktion har skett här.

5.2.5. Ytavrinning – Längs slutningen mot Tjursbosjön och i Knutsschaktet

Ytavrinning har provtagits längs bergslutningen i samband med hög nederbörd. Syftet har varit att få ett mått på betydelsen av den diffusa lakvattenspridning som sker ned mot Tjursbosjön från varpen på höjden. Vatten rinnande längs schaktväggen i Knutsschaktet har också provtagits med syftet att få ett mått på betydelsen av den tillrinning som sker till gruvorna från varpen ovan gruvorna.

Tabell 6. Data för halter i ytavrinning. Ytavrinningen vid stollgången, GV-6 och GV-17 har provtagits i fåror där lakvatten från varpen ovan Tjursbosjön periodvis samlas i samband med hög nederbörd.

ELEMENT	Ytavrinning vid stollgång	Ytavrinning vid GV 6 (mitten av bergsslutningen)	Ytavrinning vid GV 17 (norra delen av bergsslutningen)	Avrinning i Knutschaktet
[mg/l]				
Ca	0,839	1,86	2,05	4,13
Fe	0,02	0,02	0,06	0,02
K	<0,4	0,56	0,89	1,25
Mg	1,18	2,22	0,95	1,12
Na	1,08	1,85	1,72	1,91
S	9,72	26,3	10	8,71
Si	4,42	6,1	4,44	4,23
[µg/l]				
Al	1930	4160	1250	860
As	0,58	1,09	0,79	0,93
Ba	13,6	21,5	25,6	27,6
Cd	0,48	0,80	0,28	0,25
Co	1820	7900	1900	1170
Cr	0,10	0,09	0,10	0,07
Cu	4440	19000	6840	3180
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mn	117	371	147	145
Mo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ni	190	638	125	113
P	2,85	2,61	16,3	<1
Pb	92	138	50,1	79,4
Sr	9,7	18,5	17,4	21,1
Zn	116	210	87,4	104

Resultaten visar att halterna i ytavrinningen längs med bergsslutningen kan bli betydande i samband med nederbörd. Kobolthalterna i avrinningen varierar från 1820 µg/l upp till 7900 µg/l och kopparhalterna från 4440 µg/l upp till 19000 µg/l. Detta är mycket höga halter. Bly- och arsenikhalterna tillsammans med järn och manganhalterna är dock tämligen låga. Blyhalterna är t.ex. omkring 4-6 ggr lägre än halterna i gruvvattnet. Det visar att fastläggningen för element som t.ex. bly och arsenik, d.v.s. element som till stor del styrs av järn- och mangans geokemi eller generellt är svärmobila p.g.a. svårlösliga sekundära salter (bly fastläggs t.ex. vanligen som anglesit, $PbSO_4$) är stor i närheten av den vittrande varpen. De genom vittringen och oxidationen frigjorda elementen fastläggs således i varphögarna och transporteras enbart till mindre del bort. Detta gäller dock inte för kobolt och koppar som bevisligen lakar från högarna, ned längs slutningen, ned i grundvattnet och/eller direkt ut till Tjursbosjön. De gruvhål som finns direkt ovan Tjursbosjön har tillsammans ett uppskattat direkt tillrinningsområde på cirka 1 ha. Med detta menas att nederbörden från detta område direkt rinner ned i gruvan och inte rinner längs bergsslutningen ned mot Tjursbosjön. Denna varp bidrar med ett tillskott av föroreningar ned till gruvan. Detta tillskott och avrinning bedöms kunna representeras av provet taget längs Knutsschaktet. Detta prov uppvisar även det höga halter kobolt, 1170 µg/l och koppar, 3180 µg/l och liknar de prov på ytavrinning som tagits längs slutningen ned mot Tjursbosjön.

Något som är tydligt i alla de prover som tagits är att vittringen är intensiv i varpen. Detta tydliggörs t.ex. av de höga aluminiumhalterna som varierar från 860 µg/l upp till 4160 µg/l. Även andra silikatbundna element som kalium, magnesium, natrium och kisel finns i proverna. Halterna indikerar att oxidationen är intensiv och den efterföljande buffringen sannolikt sker genom silikatbuffring, vilket

teoretiskt skulle innebära låga pH i lak- och vittringsvattnen. Lägre pH än under 5 har dock inte kunnat uppmätas i fält men det är inte orimligt att tänka sig att pH lokalt i varphögarna kan vara lägre. Pasta-pH-mätningar på vittrad varp har t.ex. gett pH så låga som 4,3-4,5, vilket bekräftar teorin.

5.3. Stollgången

Stollgången är den gång som grävdes för bl.a. avvattning av gruvsystemet till Tjursbosjön. Den färdigställdes redan 1773 och mynnar ut i Tyskgruvorna nära Svenskgruvan.

Tabell 7. Data för halterna i stollgången under perioden 2001-2004.

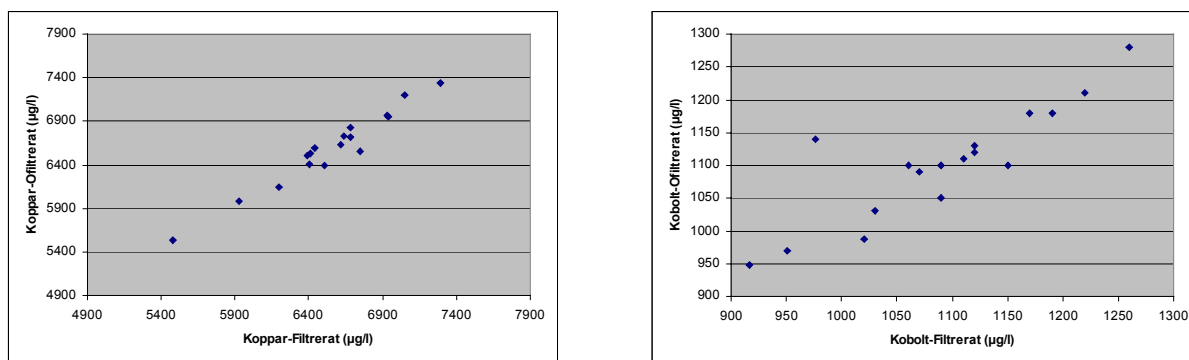
Datum	Medel ofiltrerat	Stdav ofiltrerat	antal	Medel filtrerat	Stdav filtrerat	antal
Temperatur	6,40	0,93	65	6,19	1,14	16
pH	5,36	0,26	59	5,42	0,29	14
Konduktivitet	118	7	65	121	12	16
Redox	561	56	58	539	60	13
[mg/l]						
HCO ₃	3	1,27	26	3,78	9,32	10
Aciditet	1,53	0,97	26	1,46	0,87	10
Sulfat	39,9	2,03	26	39,4	2,61	10
Ca	6,04	0,37	37	6,03	0,28	11
Fe	0,07	0,04	37	0,02	0,02	11
K	1,35	1,01	37	1,57	0,06	11
Mg	1,97	0,08	37	1,96	0,09	11
Na	2,97	0,26	37	3,02	0,21	11
S	12,8	0,50	37	12,5	0,78	11
Si	5,19	0,26	37	5,13	0,24	11
[µg/l]						
Al	589	156	37	540	90	11
As	0,16	0,10	26	0,08	0,13	7
Ba	16,2	0,89	37	16,3	0,45	11
Cd	1,31	0,08	37	1,29	0,06	11
Co	1099	72	37	1091	73	11
Cr	0,09	0,04	29	0,04	0,01	9
Cu	6573	379	37	6537	471	11
Hg ¹	<0,002	e.b.	31	<0,001	e.b.	11
Mn	133	6	37	132	8	11
Ni	97,8	9,7	37	101	5	11
P	4,85	1,89	27	2,02	0,56	7
Pb	388	26	37	389	32	11
Sr	27,9	1,48	37	27,8	1,09	11
Zn	236	33	37	239	16	11

¹ För Hg ligger generellt alla analyser under detektionsgränsen.
e.b. Ej beräknad.

Halterna av både kobolt och koppar liknar mycket halterna i Svenskgruvan. Generellt är dock kobolthalterna omkring 100 µg/l högre och kopparhalterna cirka 500 µg/l högre. En förklaring skulle även här kunna vara den dåliga kommunikationen mellan de olika delarna. Stollgången mynnar i praktiken ut i Tyskgruvorna, en del av systemet som visserligen har anknytning till både Knutschaktet och Svenskgruvan men med relativt dålig kommunikation med båda. Sträckorter finns mellan dessa

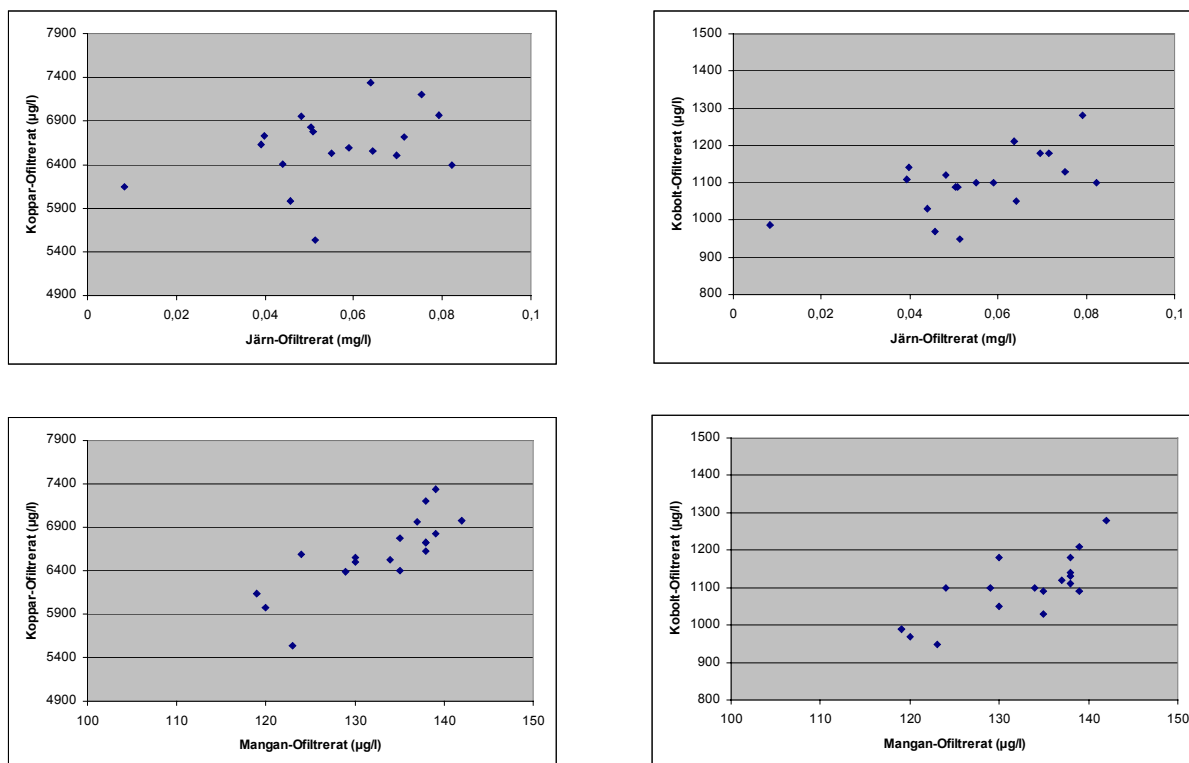
områden men några större sammanhängande områden finns egentligen inte. Kommunikationen mellan Tyskgruvorna och just Svenskgruvan är särskilt dålig och hindras av att vattennivån ligger på omkring 30 m. En höjning i nivå med 5-10 m skulle dock innebära att vattnet fritt skulle kunna strömma mellan de olika brytningsområdena.

Medelhalten kobolt ligger under perioden 2001-2004 på omkring 1100 µg/l och kopparhalten runt 6600 µg/l. Blyhalten ligger endast på omkring 400 µg/l d.v.s. cirka 100 µg/l lägre än i de övriga gruvorna.



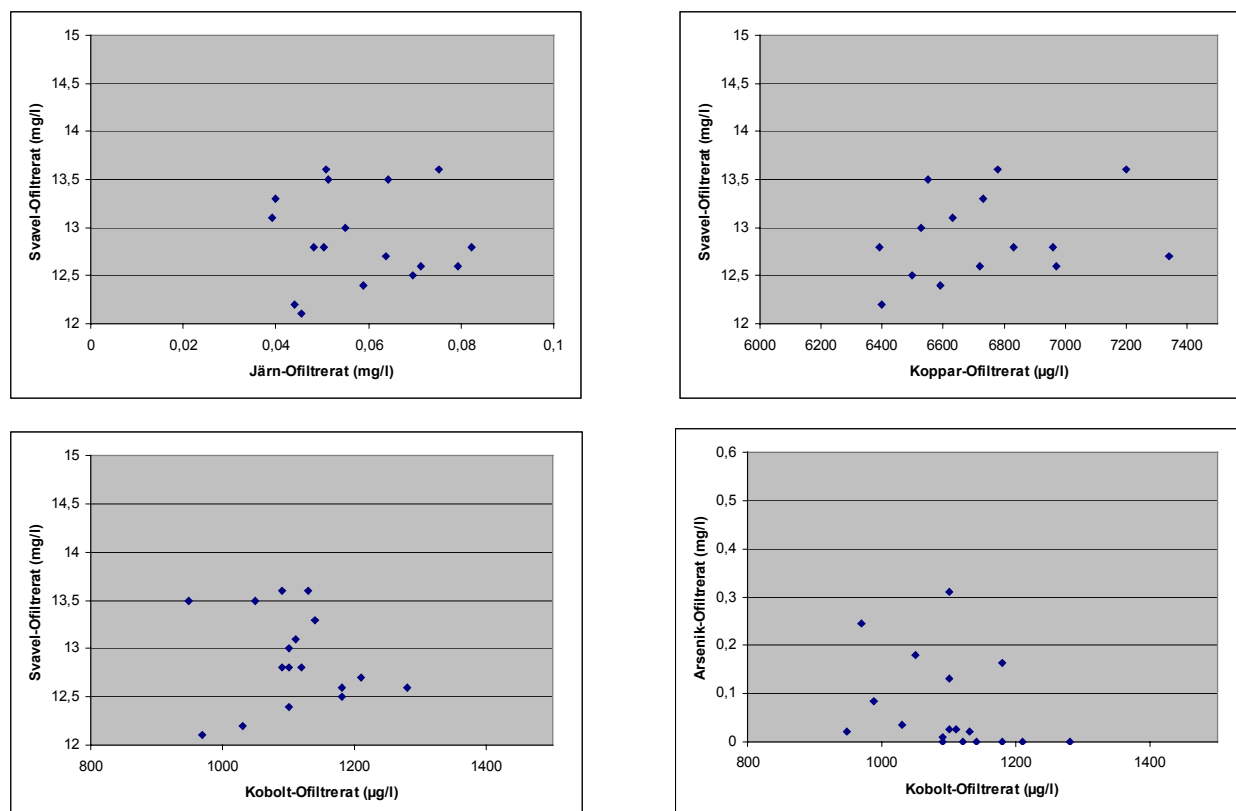
Figur 5. Figureorna visar sambandet mellan löst och löst+partikulär koppar och kobolt.

Figur 5 visar sambandet mellan löst fas och totalhalter. Inte förvånande finns det ett samband. De flesta metallerna som transporteras ut ur stollgången transporteras som lösta. I stort sett 95-100 % är lösta. Det enda elementet som transporteras som partiklar i någon större andel är järn, där omkring 20-30 % är löst.



Figur 6. Figureorna visar sambanden mellan totalhalter koppar, kobolt och totalhalter järn och mangan.

I figur 6 redovisas sambanden mellan totalhalter av koppar, kobolt och järn och mangan. Korrelationer finns mellan både koppar och mangan samt kobolt och mangan. Något svagare samband finns mellan koppar och järn samt kobolt och järn. Sambanden visar att den icke-lösta delen av elementen transporteras bundna till järn- och manganoxidhydroxider. Dessa järn- och manganhydroxider är kända att binda "tungmetaller" till sig (t.ex. Johnson, 1986; Kooner, 1993; Bowell och Bruce, 1995). Till viss del skulle även det svaga sambandet mellan järn och koppar kunna visa sambandet mellan oxidation av kopparkis (CuFeS_2) och halter av järn och koppar i vattnen.



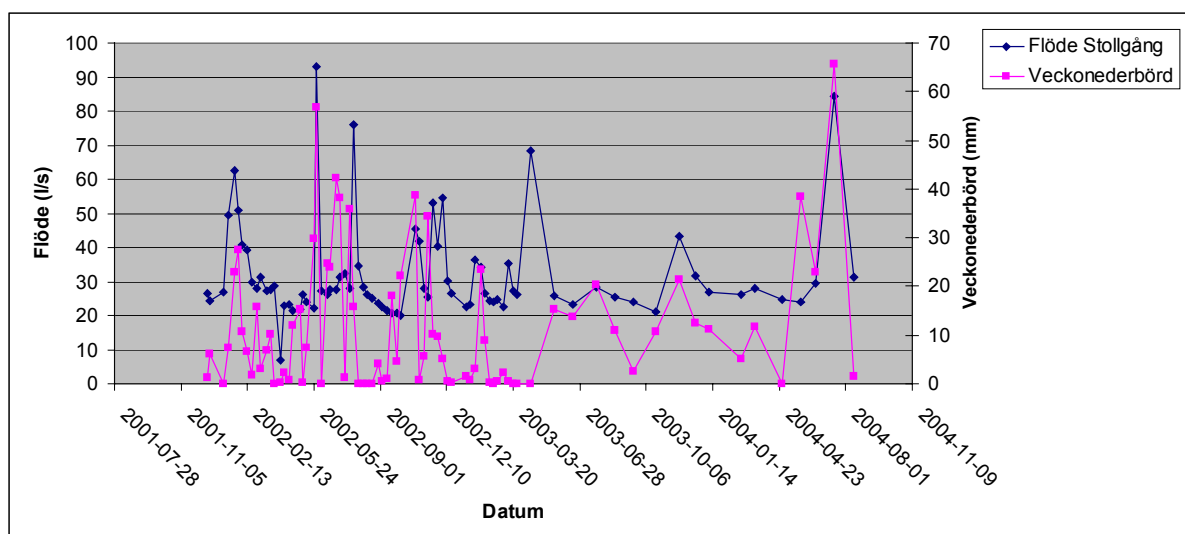
Figur 7. Figurerna visar sambanden svavel, järn-koppar-kobolt samt arsenik och kobolt d.v.s. sambanden mellan olika sulfidmineral (koboltglans, kopparkis och svavel, magnetkis).

I figur 7 visas några plottar som visar sambandet mellan vittring av några vanliga malmineral och halterna i vatten ut ur stollgången. Viss korrelation mellan totalsvavel och järn verkar finnas, även om det är svagt. Det indikerar att pyrit (FeS_2) samt magnetkis (FeS) är möjligt ursprung. Sambanden mellan koppar och järn (Fig. 6) samt svavel och koppar (Fig. 7) indikerar att oxidation av kopparkis sker i gruvmiljön. Inga tydliga samband finns mellan svavel och kobolt och arsenik och kobolt verkar finnas. Möjligen finns en trend att ökad svavelhalt ger en ökad kobolthalt, vilket skulle kunna tolkas som att koboltglans (CoAsS) är källan. Det svaga sambandet mellan arsenik och kobolt beror sannolikt på att mobiliteten för arsenik till stor del styrs av järnets geokemi. Arsenik har en stark förmåga att adsorbera/samutfällas med metalloxidhydroxider t.ex. järn-, mangan- och aluminium-oxidhydroxider. Adsorptionen påverkas av flera faktorer som t.ex. arseniks oxidationstal, adsorbentens ytegenskaper och pH. Generellt gynnas fastläggningen av att arsenik förekommer i den femvärda formen, lågt pH samt att oxidhydroxiderna är amorfa (Kim och Nriagu, 2000).

En geokemisk modellering har utförts för att kunna speciera de element som finns i stollgångsvattnet som är det vatten som direkt sprids från gruvan. Modelleringen har utförts med dataprogrammet PHREEQC (Parkhurst, 1995). Som databas användes MINTEQ-databasen, vilken är relativt

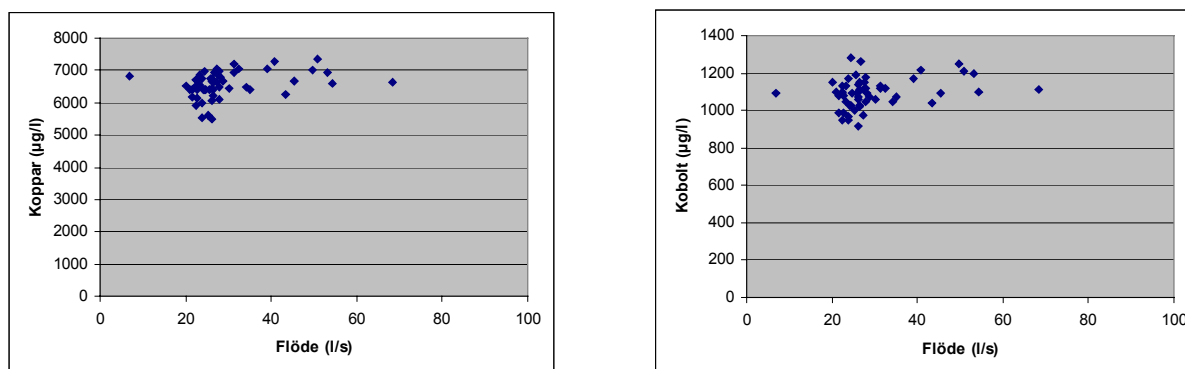
heltäckande (Allison *et al*, 1991). Termodynamiska data för kobolt saknas dock. Resultatet från modelleringen med vattnet från stollgången (medelhalt) visar att den femvärda formen av arsenik dominerar d.v.s. den form som gynnar fastläggning av arsenik. De rena jonformerna (t.ex. Cd^{2+} , Cu^{2+} o.s.v.) är de som i övrigt dominerar i vattnen. De mineral som generellt verkar övermättade i vattnet är främst olika typer av järnoxidhydroxider, vilket bekräftas av att endast en mindre del av järnet är löst.

Några koppar- eller arsenikmineral har inte kunnat konstateras. Även rena kopparkarbonater verkar vara undermättade, även så gips. Dessa mineral har dock påträffats inne i gruvan. Blymineralet Plumbogummit ($\text{PbAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$) kan även finnas, även om det bedöms som högst teoretiskt. Med tanke på de ändå relativt små skillnaderna mellan stollgångsvattnet och gruvvattnen gäller dessa resultat även för gruvan som helhet.

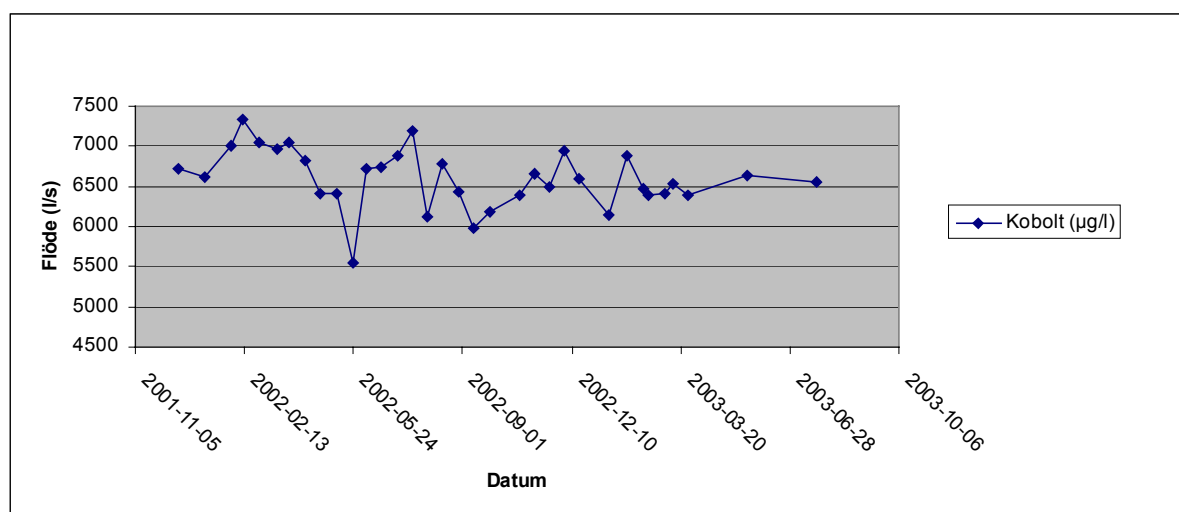
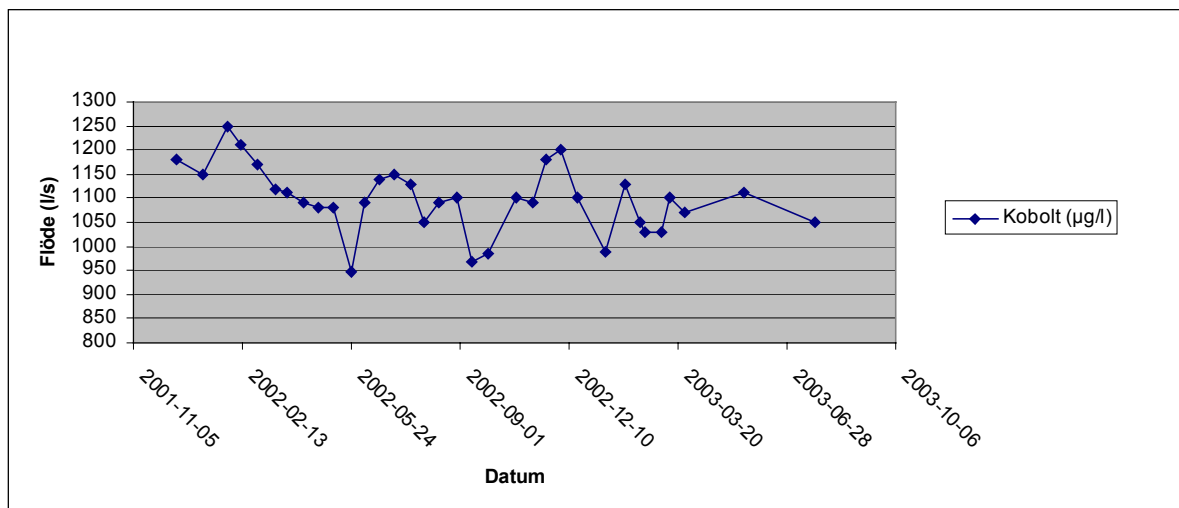


Figur 8. Figuren visar sambandet mellan flöde ut ur stollgången och nederbörd i området.

I figur 8 visas sambandet mellan flödet i stollgången och nederbörden i Gladhammarsområdet. Det är tydligt att nederbörden ger en snabb respons i flödet ut ur stollgången. I figur 9 redovisas motsvarande samband mellan flöde, koppar och kobolthalt.



Figur 9. Figurerna visar sambanden mellan flöde ut stollgången och koppar samt kobolt.



Figur 10. Figurerna visar halterna av kobolt och koppar i stollgången under perioden 2001-2004.

Någon haltminskning, p.g.a. utspädning, eller haltökning, p.g.a. uppkoncentration, sker inte med ökande respektive minskande flöde. Trots att flödet varierar upp till 8 ggr finns inget samband mellan halt och flöde. Detta är även tydligt i figur 10 där halterna är relativt konstanta med tiden. Trenderna är liknande för övriga element d.v.s. ingen variation med tid eller flöde.

En förklaring till de konstanta halterna kan vara att den ökning i flöde som kan förklaras med till gruvan inrinnande nederbörd inte ger upphov till några större vattenmängder. Dessa små mängder vatten som kommer med nederbörden späds sedan ut i en stor vattenmassa d.v.s. gruvvattnet, vilket innebär en relativt konstant halt i utgående vatten ur stollgången. I stort sett representerar halterna i stollgången de halter som finns i gruvvattnet.

Halterna av kobolt och koppar ut ur stollgången ligger som medel runt 1100 µg/l respektive 6600 µg/l. Provtagning och analys av stollgångsvattnet utfördes redan 1992 (ITM. 1993) d.v.s. för cirka 13 år sedan. Halten kobolt låg då på cirka 1100 µg/l och kopparhalten låg på 6200 µg/l d.v.s. i stort sett identiska halter. Halterna har således inte sjunkit och någon minskande trend kan inte urskiljas.

Tabell 8. Screeninganalys för vattnet ut ur stollgången. Element under detektionsgränsen redovisas ej.

	[µg/l]		[µg/l]
Al	510	Mg	1900
Sb	0,015	Mn	120
As	0,33	Mo	0,007
Ba	15	Na	2600
Be	0,44	Nd	2,1
Pb	360	Nb	0,0002
B	7,5	Ni	88
Br	8	Pr	0,55
Ce	4,8	Re	0,0078
Cs	0,025	Rb	2,6
Dy	0,35	Sm	0,48
Er	0,12	Ag	0,067
Eu	0,075	Sr	25
P	0,51	S	12000
Gd	0,57	Ta	0,0001
Ho	0,054	Tl	0,044
I	0,23	Sn	0,003
Fe	45	Tb	0,074
Cd	1,2	Ti	0,004
Ca	5500	Th	0,002
K	1100	Tm	0,014
Si	5000	U	1,3
Co	890	V	0,005
Cu	5400	Bi	0,013
Cr	0,016	W	0,0018
Hg	0,012	Yb	0,077
La	2,3	Y	1,8
Li	7,3	Zn	210
Lu	0,011	Zr	0,004

I tabell 8 redovisas en screeninganalys utförd på vattnet som flödar ut ur stollgången. Det är känt från screeninganalyser på varp (se Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2005:05) att avfallen, framförallt varpen är rik på vismut (Bi). Vismuten föreligger i avfallen som s.k. vismuthållande sulfosalter varav vissa även blyhållande (d.v.s. i praktiken sulfidbunden vismut). Några exempel är rezbanyit ($4\text{PbS}, 5\text{Bi}_2\text{S}_3$), galenobismutit (PbBi_2S_4), hammarit ($5\text{PbS}, 3\text{Bi}_2\text{S}_3$) och lillianit ($3\text{PbS}, \text{Bi}_2\text{S}_3$). Att dessa sulfider vittrar och oxiderar bör vara klarlagt genom de höga halterna av bly i både gruv- och stollgångsvattnet. I jämförelse med bly verkar dock vismut vara ännu svårörligare i mark och vatten och snabbt fastläggas. Halten vismut i stollgången ligger i storleksordningen $0,01 \mu\text{g/l}$. Några övriga element av betydelse finns inte i stollgångsvattnet. Halterna av antimon och silver, som är känt att vara giftigt för vattenlevande organismer, samt uran är t.ex. låga.

5.4. Utfällningar på schaktväggar

I gruvan finns flera olika typer av utfällningar både på golv och väggar (se bild 1 och 2). De mest framträdande är olika typer av järnutfällningar (järnoxidhydroxider), olika kopparutfällningar vilka sannolikt främst består av olika kopparkarbonater (azurit, $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$, blåaktigt mineral samt malakit, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), grönaktigt mineral). Att det sannolikt rör sig om kopparkarbonatmineral bekräftas av att det i samband med gjutning av ett överfall i cement nära utloppet av stollgången efter en

tid kunde konstateras stora mängder grön flock och utfällning på cementen. Ett annat påträffat mineral är gips, som förekommer som saltutfällningar (både droppliknande och snöflingeliknande).

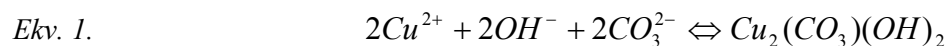


Bild 1. Fotografierna visar olika typer av utfällningar på brottväggar i gruvan. Till höger visas sannolika kopparkarbonatutfällningar (azurit) samt järnoxidhydroxidutfällningar. Till vänster visas utfällningar av järnoxidhydroxid och gips.



Bild 2. Fotografierna visar olika typer av utfällningar på brottväggar i gruvan. Till höger visas sannolika kopparkarbonatutfällningar (malakit) samt järnoxidhydroxidutfällningar. Längre in i gången är golvet täckt av gröna utfällningar. Till vänster visas utfällningar av järnoxidhydroxid och malakit

Den ursprungliga malmen och även moderbergarten (kvartsit) är tämligen fattig på karbonater (kalcit). Förklaringen till att olika typer av kopparkarbonater bildas inne i gruvan måste således vara att luftens koldioxid (och det som löser sig i vatten) är tillräcklig för att mineralen faller ut. Med detta inses också att pH måste vara tillräckligt högt, för att tillskottet av OH^- ska räcka samt att kopparhalterna i vattnen måste vara höga. En av de reaktioner genom vilken malakit bildas visas i ekv. 1.



Tabell 9. Halt i järnutfällning i Knutsschaktet och som jämförelse visas halterna i varp och morän.

	Fe-utfällning	Varp	Morän
		medel±std.av. (14 analyser)	medel±std.av. (4 analyser)
[%TS]			
Al ₂ O ₃	5,25	3,23±1,58	15,8±2,69
CaO	0,30	0,65±1,08	1,37±0,30
Fe ₂ O ₃	19,3	23,3±9,7	5,14±2,66
K ₂ O	0,28	0,30±0,13	3,16±0,75
MgO	1,01	1,15±0,44	0,58±0,20
MnO ₂	0,08	0,07±0,04	0,05±0,01
Na ₂ O	0,11	0,06±0,01	2,68±0,72
P ₂ O ₅	0,32	0,08±0,05	0,28±0,26
SiO ₂	56,7	69,2±10,5	61,5±14,4
TiO ₂	0,54	0,24±0,10	0,51±0,04
TS	97,9	99,8±0,1	77,4±15,0
[mg/kg TS]			
As	349	191±232	2,28±0,76
Ba	63,5	42,9±21,4	728±164
Cd	0,66	0,17±0,13	0,10±0,04
Co	235	947±698	4,55±1,83
Cr	72,9	63,9±18,7	53,4±7,2
Cu	2580	5767±8552	117±195
Hg	<0,2	<0,04	0,09±0,03 ¹
Mo	34,3	214±587	<6
Ni	70,1	115±60	7,47±2,85
Pb	4390	1247±683	14,0±3,2
S	2580	6757±4674	729±544
Sr	97	14,2±7,5	262±69
V	87,9	79,5±31,4	54,5±16,5
Zn	179	90,7±34,2	34,0±4,9
Zr	747	353±142	239±62

¹ Endast tre värden.

pH i gruvan är relativt högt, likaså är kopparhalterna i vattnen höga. Vattnet i stollgången varierar t.ex. mellan 4,7-5,8 (data från 2001-2004) d.v.s. endast något surt. I medel ligger pH på omkring 5,3 d.v.s. ändå relativt högt. Varpen i området är tämligen fattigt på järnsulfider (pyrit, FeS₂ och FeS), vilket skulle kunna vara en förklaring, d.v.s. att både varpen och gruvan i sig har en relativt begränsad syraproducerande kapacitet. Utförda syra-bastester har dock visat att viss syraproducerande potential ändå finns. Syraproducerande mineral som pyrit och magnetkis är således inte helt sällsynta (jmf. t.ex. Johansson, 1924; Welin, 1966).

En hel del utfällningar av järnoxidhydroxid finns i gruvan. Järn- och manganhydroxider tillsammans med lermineral har stor specifik yta och därmed stor potential att fördröja att joner sprids vidare (Johnson, 1986; Kooner, 1993; Howell och Bruce, 1995; Coston *et al*, 1995; Düker *et al*, 1995). Dessa hydroxider har en nettoladdning som beror på vilket pH omgivningen har (Benjamin och Honeyman, 2000). Prov på Fe-utfällning har tagits i Knutsschaktet och halterna redovisas i tabell 9.

Utfällningen består av främst järn. Mängden kalcium och svavel är tämligen låg, vilket visar att inblandningen av gips är liten, om någon alls. Det svavel som finns i prover sitter sannolikt sorberat på Fe-oxidhydroxiderna, eller möjligen som sekundära järnsulfater. Halterna av arsenik i utfällningen är betydligt högre än både halterna i varpen och i den naturliga jordmånen runt Gladhammar. Arsenik har

en stor affinitet för Fe-oxidhydroxider, vilka gör att arsenik generellt inte sprids i järnrika miljöer (Jmf. Envipro, 2004). Även kopparhalten är hög, 2580 mg/kg TS och även så kobolthalten på 235 mg/kg TS. Blyhalten är cirka 3 ggr högre i utfällningen jämfört med halterna i varpen.

Slutsatserna som kan dras är att en anrikning och fastläggning sker i sekundära faser i gruvan. Hur betydelsefull denna fastläggning är, är svår att beräkna. Ett grovt räkneexempel kan dock ge en uppskattning. Om det antas att fastläggningen är betydelsefull i den del av gruvan som ligger över nuvarande grundvattenytan d.v.s. ovan 30 m nivån samt att utfällningarna på väggar och tak i medel har en tjocklek på 0,5 mm medför detta att cirka 1,3 ton järn, 3,5 kg arsenik, 2,3 kg kobolt, 23,6 kg koppar samt 43,6 kg bly kan finnas tillgängligt i form av olika typer av utfällningar i systemet. Dessa utfällningar kan i viss mån frigöras vid en vattennivåhöjning. I jämförelse med den årliga uttransporten motsvarar dessa mängder uttransporten under omkring 1-2 månader för koppar och kobolt och nästan 6 årstransporter för bly (jmf. tabell 10).

5.5. Gruvans betydelse för masstransporten ut till Tjursbosjön

Vattenvolymen i gruvan har uppskattats till cirka 42 500 m³ (under 30 m nivån). Den totala mängden föroreningar kan beräknas utgående från de vattenprover som tagits i Svenskgruvan och Knutsschaktet. Även transporten ut ur stollgången kan beräknas utgående från att flödet är cirka 2200 l/tim (se Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2005:06). Till detta kan även tillskottet från varpen i det direkta tillrinningsområdet runt gruvhålen beräknas om det antas att provet på avrinning i Knutsschaktet är representativt. Det är inte heller orimligt att anta att all nederbörd i detta tillrinningsområde direkt rinner ned i schakten. Resultaten från beräkningarna redovisas i tabell 10.

Tabell 10. Beräkningar av mängder, uttransport samt uppskattade tillskott från betydande källor.

ELEMENT	Mängd i gruvvatten (kg)	Årlig uttransport stollgång (kg/år)	Omsättningstid (år)	Tillskott från varp inom tillrinningsområdet (kg/år)	Beräknat tillskott från gruvan (kg/år)
Ca	268	111	2,4	6,51	105
Fe	20,8	1,22	17	0,03	1,195
K	48,3	24,8	1,9	1,97	22,8
Mg	79,6	36,2	2,2	1,77	34,45
Na	128	54,6	2,3	3,01	51,6
S	4788	235	2,0	13,7	222
Si	2268	95,4	2,4	6,67	88,8
Al	18,1	10,8	1,7	1,36	9,47
As	0,08	0,003	23,8	0,001	0,002
Ba	0,64	0,30	2,1	0,04	0,25
Cd	0,06	0,02	2,3	0,0004	0,02
Co	38,0	20,2	1,9	1,84	18,4
Cr	0,004	0,002	2,7	0,0001	0,002
Cu	241	121	2,0	5,01	116
Hg	e.b.	e.b.	27	e.b.	e.b.
Mn	5,11	2,45	2,1	0,23	2,22
Mo	0,03	0,006	5,0	e.b.	e.b.
Ni	3,24	1,80	1,8	0,18	1,62
P	0,14	0,09	1,5	e.b.	e.b.
Pb	22,1	7,14	3,1	0,13	7,01
Sr	1,20	0,51	2,3	0,033	0,48
Zn	11,8	4,34	2,7	0,16	4,17

e.b. Ej beräknad

I gruvvattnet finns betydande mängder koppar, kobolt och bly lagrade. Cirka 241 kg koppar, 38 kg kobolt och 22 kg bly finns totalt upplagrat i gruvvattnet tillsammans med betydande mängder svavel, 4788 kg. Transporten ut ur stollgången avseende koppar och kobolt ligger runt 121 kg koppar och 20 kg kobolt. Stollgången är även den huvudsakliga transport- och flödesvägen ut ur gruvan till Tjursbosjön. Generellt så ligger det cirka 2 årstransporter metaller lagrat i gruvvattnet. Endast järn har en längre uppehållstid, cirka 17 år, p.g.a. den större andelen partikelbunden järn, samt arsenik (cirka 24 år) som binder till järn.

Tillskottet från varpen i den direkta närheten av gruvan ligger endast på omkring 5 kg koppar och cirka 2 kg kobolt. Även tillskottet av övriga element är ringa, vilket tyder på att källan för metallerna i gruvvattnet inte kan vara tillrinning från vittrande varphögar utan måste förklaras med intern vittring och oxidation inne i gruvsystemet. Årligen finns ett underskott på t.ex. 116 kg koppar och 18 kg kobolt, vilket är det tillskott som den interna oxidationen i gruvan årligen kan tillskrivas (se tabell 10).

5.6. Processer idag – processer på sikt

Idag verkar det finnas flera små ”vattenmagasin” i gruvsystemet. Magasinen kan grovt säga representeras av de olika gruvorna (Knutschaktet, Svenskgruvan m.fl.). Kommunikationen mellan de olika magasinerna verkar vara tämligen dålig vilket medför en viss haltvariation i de olika gruvhålerna. Haltvariationen beror sannolikt på hur mineraliserade gruvgångarna är samt hur intensiv vittringen och oxidationen är lokalt. Någon stratifiering med olika vatten på olika djup verkar inte finnas. Några termokliner eller chemokliner verkar inte bildas eller finnas. Någon säsongsvariation bör därmed inte heller finnas i gruvvattnet.

Transporten ut ur stollgången uppvisar inte heller någon säsongsvariation och inte heller någon variation med varierande flöden, vilket sannolikt orsakas av att vattenmassan i gruvan är stor och väl omblandad. Till största delen transporteras metallerna som lösta. Endast järn förekommer i partikulär form, vilket även indikeras av den slurry som finns på botten av stollgången. Någon avtagande trend med tiden, d.v.s. minskande halter med tiden kan heller inte urskiljas i vattnet som rinner ut ur stollgången. Halterna idag är likadana som de som uppmättes för över 13 år sedan och halterna har sannolikt varit konstanta under lång tid.

I gruvvattnet finns idag cirka 2 årstransporter av föroreningar upplagrade, vilket innebär att de flesta metaller i gruvvattnet i stort sett även har en uppehållstid på 2 år. Detta i sin tur medför att det årliga tillskottet till gruvvattnet måste vara betydande. En kontinuerlig tillförsel krävs för att upprätthålla halterna på de nivåer som uppmäts idag. Beräkningar av det tillskott som sker från varpen runt gruvhålen d.v.s. varpen som finns belägen inom gruvhålens direkta tillrinningsområde, visar på att just detta tillskott är för litet. Den slutsats som måste dras är att det största bidraget kommer från den vittring som sker inne i gruvan.

Sammanfattningsvis har de processer som sker i gruvan idag sannolikt pågått under lång tid. Några indikationer på en förändring med tiden finns inte och med all sannolikhet kommer halterna i gruvvattnet och i stollgången vara konstanta även framöver. Det enda som skulle kunna förändra detta förhållande är en eventuell vattennivåförändring. En sänkning i vattennivå skulle kunna innebära en haltökning i gruvvattnet eftersom nya ytor exponeras för vittring och oxidation. En vattennivåsänkning innebär dock inte per definition en ökad uttransport av föroreningar eftersom denna styrs av läckaget ut genom stollgången. Ett minskat flöde innebär en minskad mängd ut till Tjursbosjön. En vattennivåhöjning skulle initialt innebära ett tillskott på metaller och även möjligen också initialt ökad utläckage. Detta tillskott är dock begränsat och uppgår endast till några månadstransporter. Det sannolika är i stället att en vattennivåhöjning skulle kunna innebära både en haltsänkning på sikt och därmed en minskad uttransport eftersom de ytor tillgängliga för vittring och oxidation skulle minska.

6. REFERENSER

- Bachman T.M., Friese K., Zachman D.W. (2001) Redox and pH conditions in the water column and in the sediments of an acidic mining lake. *Journal of Geochemical Exploration* 73:75-86.
- Benjamin M. M., Honeyman B. D. (2000) Trace Metals in: Jacobson M. (ed.), Charlson R., Rohde H., Orians G. (2000) *Earth System Science Academic press San Diego*
- Bowell R. J., Bruce I. (1995) Geochemistry of Iron Ochres and Mine Waters from Levant Mine, Cornwall *Applied Geochemistry* 10:237-250.
- Coston J. A., Fuller C. C., Davis J. A., (1995) Pb²⁺ and Zn²⁺ Adsorption by a Natural Aluminium and Iron Bearing Surface Coating on an Aquifer Sand *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59:3535-3547.
- Davis A., Ashenberg D. (1989) The aqueous geochemistry of the Berkeley Pit, Butte, Montana U.S.A. *Applied Geochemistry* 4:23-36.
- Düker A., Ledin A., Karlsson S., Allard B. (1995) Adsorption of Zinc on Colloidal (Hydr)oxides of Si, Al and Fe in The Presence of a Fulvic Acid *Applied Geochemistry* 10:197-205.
- Friese K., Wndt-Potthoff K., Zachman D.W., Fauville A., Mayer B., Veizer J. (1998) Biogeochemistry of iron and sulfur in sediments of an acidic mining lake in Lusatia, Germany. *Water, Air and Soil Pollution* 108:231-247.
- Gammons C.H., Wood S.A., Jonas J.P., Madison J.P. (2003) Geochemistry of the rare-earth elements and uranium in the acidic Berkeley Pit lake, Butte, Montana. *Chemical Geology* 198:269-288.
- ITM (1993) Biologiska effekter av metalläckage från gruvavfall. Hans Borg och Björn Kinsten. Institutet för Tillämpad Miljöforskning.
- Johansson K.F. (1924). Bidrag till Gladhammar-Gruvornas mineralogi. *Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi* 9:8.
- Johnson C. A. (1986) The Regulation of Trace Element Concentrations in River and Estuarine Waters Contaminated with Acid Mine Drainage: The Adsorption of Cu and Zn on Amorphous Fe Oxyhydroxides *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50:2433-2438.
- Kim M-J, Nriagu J. (2000). Oxidation of arsenite in groundwater using ozone and oxygen. *The Science of the Total Environment*. 257:71-79.
- Kooner Z. S. (1993) Comparative Study of Adsorption Behavior of Copper, Lead, and Zinc onto Goethite in Aqueous Systems *Environmental Geology* 21:242-250.
- Lu M. (2002) Aqueous Geochemistry of Pit Lakes – Two case studies at Rävlidmyran and Udden, Sweden. Licentiat avhandling Luleå Tekniska Universitet 2002:59.
- Ramstedt M. (1999) The Aqueous Chemistry of the Udden Pit Lake. Examensarbete Umeå Universitet.
- Ramstedt M., Carlsson E., Lövgren L. (2003) Aqueous geochemistry in the Udden pit lake, northern Sweden. *Applied Geochemistry* 18:97-108.

Västerviks kommun (2005), *Metodik för provtagning och analys inom ramen för Projekt Gladhammars gruvor*, Västerviks kommun, Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:02

Västerviks Kommun (2005), *Resultat från miljökontroll – referensprogram*, Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:05.

Västerviks kommun (2005), *Hydrogeologisk åtgärdsutredning Gladhammars gruvfält*, Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:06

Västerviks kommun (2005) *Kulturhistorisk utredning av Gladhammars gruvområde*. Lotta Lamke och Håkan Nilsson. Kalmar Läns Museum, Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:09.

Västerviks kommun (2005), *Undersökning av Bondegruvan, Knutsschaktet och stollgången vid Holländarefältet, Gladhammars gruvor, Västerviks kommun*, Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:13

Welin, E. (1966) Notes on the mineralogy of Sweden 5 (Bismuth-bearing sulphosalts from Gladhammar, A revision). Arkiv för Mineralogi och Geologi 4:13.

Younger P., Sherwood J., Banks D., Banwart S., Thornton I., Jarvis A. (1996) Short Course Handbook Mine waste and minewater pollution. University of Braford 25-27 mars 1996.