



Sveriges geologiska undersökning

Multidisciplinär geovetenskaplig studie av små till medelstora gruvdeponier

## Multidisciplinär geovetenskaplig studie av små till medelstora gruvdeponier



Magnus Ripa, Kaj Lax, Lena Maxe  
& Lena Persson

## Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Inledning	4
Målsättningar	4
Beskrivning av Bergslagens regionala geologi	5
Beskrivning av de valda objekten	11
Geologisk undersökning	14
Geofysisk undersökning	16
Geokemiska egenskaper hos morän och andra avlagringar	20
Hydrogeologisk och –geokemisk undersökning	31
Diskussion	35
Tack till	40
Referenser	40

Bilagor 1–5

## Sammanfattning

Detta projekt avsåg att geovetenskapligt studera ett par varphögar i Bergslagen. Huvudmålet var att kvalitativt och kvantitativt fastställa eventuellt metalläckage, dess utbredningsområde samt rörelse av vatten i deponierna och deras omedelbara omgivning.

Personal från flera av SGUs enheter (Berggrundsgeologi, Hydrogeologi, Maringeologi och geofysik samt Miljö och geokemi) deltog i alla faser av projektet. Samarbetet över disciplingränserna har fungerat bra och varit lärorikt och givande för de inblandade, och sannolikt är "tvärvetenskapliga" projekt nödvändiga för den här typen av undersökningar.

De objekt som valdes var Blybergsgruvan i Örebro län och Stora Lobergsgruvan i Dalarnas län. Vid Blybergsgruvan har man brutit blyglans som sitter i en felsisk metavulkanit med kalkstens- och skarnhorisonter. Vid Stora Lobergsgruvan har man främst brutit koppar. Omgivande bergarter består främst av felsisk metavulkanit.

Arbetena har bestått av:

En *berggrundsgeologisk* undersökning för att fastställa vilka bergarter och mineral som finns i varpen samt varpens karaktär, volym och kemiska sammansättning. Mineralogin avgör vittringsbenägenheten och den kemiska sammansättningen begränsar vilka element som teoretiskt sett kan frigöras.

En *geofysisk undersökning*. Elektriska och elektromagnetiska metoder har använts för att bestämma djup till berg- och grundvattenyta, förekomst av sprickzoner i berggrunden samt för att direkt detektera utbredningen av förorenande områden. Djup till bergytan och bergytans topografi är av betydelse för vattenavrinningen i området, liksom sprickzoner i berggrunden som kan utgöra snabba transportvägar för vatten. Förorenat vatten kan lokaliseras med elektriska och elektromagnetiska metoder eftersom det kan innehålla mer lösta joner än rent vatten vilket ökar den elektriska ledningsförmågan. Resultaten från de geofysiska undersökningarna användes bl.a. för att styra utsättningen av grundvattenrör.

En *hydrogeologisk och geokemisk* undersökning. Provtagningen har bestått av vattenprovtagning i grundvattenrör och bäckar. Totalt sattes 5 st. grundvattenrör vid Blybergsgruvan och 8 st. vid Stora Lobergsgruvan. Vid utsättningen av grundvattenrör togs även ett antal prov av de jordarter som rören sattes i. De naturliga bakgrundshalterna fastlades genom ett antal moränprov som insamlades i närheten av respektive objekt. För att undersöka hur de lösa avlagringarna geokemiskt varierar mellan de bägge lokalerna analyserades proven med avseende på pH, försurningsresistens, lättlakade element och salpetersyralakbara (7 M) halter. Utöver denna provtagning har rekognoscerande mätningar av temperatur, elektrisk konduktivitet och pH utförts på vatten i bäckar, gruvhål och skärpningar.

Kemiskt sett har varpen vid båda objekten en anrikning av bl.a. malmrelaterade element. Proverna från Stora Lobergsgruvan visar relativt större anrikning av As, men också av Au (kan vara kontaminering), Cd, Zn, Co, Ca och Mo, och mindre av Pb, Bi, W, Ag, Sb, Tl, Mg, Mn, Ba och K än Blybergsgroverna.

Vid de geofysiska undersökningarna användes en bl.a. en stängslingram som ger en yttäckande bild av markens ledningsförmåga. För att även kartlägga variationer i djupled utfördes en resistivitetsmätning längs parallella profiler. Ett område med låg resistivitet sammanfaller med det förorenade området enligt analyser från grundvattenrören.

Blybergsgruvans morän utmärker sig genom förhöjda halter av framförallt K, Rb, Mo och Ba, medan morän vid Stora Lobergsgruvan har förhöjda halter av framförallt Zn och Cd, men även av As, Pb, Mn och Bi. Med tanke på att områdena har mineraliserad berggrund avviker halterna dock inte anmärkningsvärt från medianvärden för morän från riket i övrigt. Undantag utgörs närmast av Zn, Cd och Bi, som är något förhöjda vid Stora Lobergsgruvan, samt W vid Blybergsgruvan.

I några vattenprov är halterna av en rad metaller förhöjda. Detta gäller framförallt vid Stora Lobergsgruvan. I Blybergsgruvan är det mest Pb som kommer upp i höga halter. Jämviktsberäkningar indikerar att olika komplexbildningar bidrar till höga halter av vissa metaller i speciellt Stora Lobergsgruvan. De extremt höga halterna av F och  $\text{SO}_4$  samverkar med låga pH-värden för att hålla Al i lösning, och även prov med mycket höga Al-halter kan beräknas vara starkt undermättade med avseende på fasta faser som t.ex. gibbsit. Cu komplexbinds starkt till organiskt material och kan beräknas förekomma nästan uteslutande som lösta komplex med organiska syror förutom i de suraste provpunkterna där fria joner eller sulfatkomplex också förekommer. Cd och Pb kan beräknas förekomma i huvudsak som fria joner även om t.ex. sulfatkomplex förekommer i de punkter där  $\text{SO}_4$ -halten är hög.

I Stora Lobergsgruvan är alltså omgivningen kraftigt påverkad av varpen och gruvverksamheten. Både grundvatten och påverkade moränprov karakteriseras av låga pH och höga metallhalter. Med geofysiska metoder är det möjligt att avgränsa det förorenade området som är relativt begränsat till sin storlek. Ingen bebyggelse finns i närheten av deponin. Vid Blyberget är pH relativt högt på grund av den karbonatrika berggrunden. Påverkan på omgivningen av gruvavfallet är mycket liten.

## Inledning

Metallproduktion ur gruvor har förekommit i mer än 1000 år i Sverige, och avfallsdeponier från denna verksamhet finns spridda över hela landet, främst dock, med tanke på antalet, i Bergslagen. Av de typer av malmer som brutits, är de sulfidhaltiga de vilkas deponier som kan påverka miljön mest negativt. Genom vittringsprocesser i dessa orsakas nu och teoretiskt sett under mycket lång tid framöver miljöproblem i form av läckage av surt, metallhaltigt vatten.

Tack vare förbättrad processteknik är det gruvavfall som produceras och har producerats inom den moderna (efter ca 1920) gruvindustrin betydligt mer finmalet än äldre avfall, vilket möjliggör en mer effektiv metallutvinning. De moderna deponierna är ofta stora och efterbehandlingstekniken relativt välkänd och etablerad. Äldre gruvteknik genererade däremot många små och medelstora deponier med något annan sammansättning i form av grövre partikelstorlek och högre metallhalter, detta eftersom utbytena i de då befintliga processerna var betydligt sämre än de i dagens flotationsprocesser.

Länsstyrelser och kommuner har framfört ett stort intresse till Naturvårdsverket och SGU gällande frågan hur gruvavfallsdeponier skall hanteras eftersom miljöpåverkan från dem ofta är ett faktum. Det är därför angeläget att studera de basfunktioner, som är verksamma i en äldre och mindre deponi ur ett tvärgeovetenskapligt perspektiv. Resultaten kan sedan jämföras med de från de stora forskningsprogram, t.ex. inom MiMi-projektet, som pågår för större sandmagasin från den nu verksamma gruvindustrin. Relaterad FoU-verksamhet pågår vid andra institutioner, såsom Örebro universitet /MTM (lakterer), Bergsskolan i Filipstad (geologiska barriärer), SGI m.fl., se också Herbert (1995).

## Målsättningar

Detta projekt avsåg att geovetenskapligt studera ett par varphögar i Bergslagen för att finna ett sätt att klassificera och kvantifiera olika deponiers miljöpåverkan. De biologiska och medicinska aspekterna ligger utanför projektets ram.

Huvudmålet var att kvalitativt och kvantitativt fastställa eventuellt metallläckage, dess utbredningsområde, rörelse av vatten i deponin och omedelbara omgivning m.m.

Målsättningen antogs kunna uppnås genom att studera och analysera ett antal fysikaliska och kemiska parametrar samt förlopp i deponins material liksom i grundvatten och ytvatten i nära anslutning till deponin, utifrån den erfarenhet och teknik som SGU förfogar över. Projektet har engagerat personal från följande enheter på SGU: berggrundsgeologi, jordartsgeologi, hydrogeologi, geofysik samt miljö och geokemi.

En sekundär målsättning var att vid behov och om möjligt föreslå åtgärder mot metallläckage från de valda typerna av deponier. Allmänt sett kan problemen i några fall lösas genom att deponin transporteras bort, i andra fall genom att den täcks med antingen tät morän, annat fast material eller vatten som långsiktigt förhindrar syreinflöde och därmed vittring av deponimaterialet. I många fall är emellertid deponierna belagda med någon typ av kulturminnesskydd, varför täckning eller flytt inte alltid är tillåten. Vid de senare kan alltså vid behov någon ickeberörande åtgärd bli aktuell, framförallt i de fall där de negativa

miljökonsekvenserna kan antas påverka känsliga naturvärden och/eller utgöra en hälsorisk. Den sekundära målsättningen har dock inte beaktats.

Förhoppningsvis har dessutom projektet bidragit med kompetensuppbyggnad inom SGU och leder till nytta för samhället, representerat allmänt av Naturvårdsverket och i synnerhet av de sex länsstyrelser i Bergslagen som aktivt jobbar med förorenad mark från gruvepoken i fråga.

## Beskrivning av Bergslagens regionala geologi

### Berggrunden

Nedanstående regionalgeologiska information har huvudsakligen inhämtats ur Magnusson (1936), Lundqvist (1979) och Stephens m.fl. (under arbete).

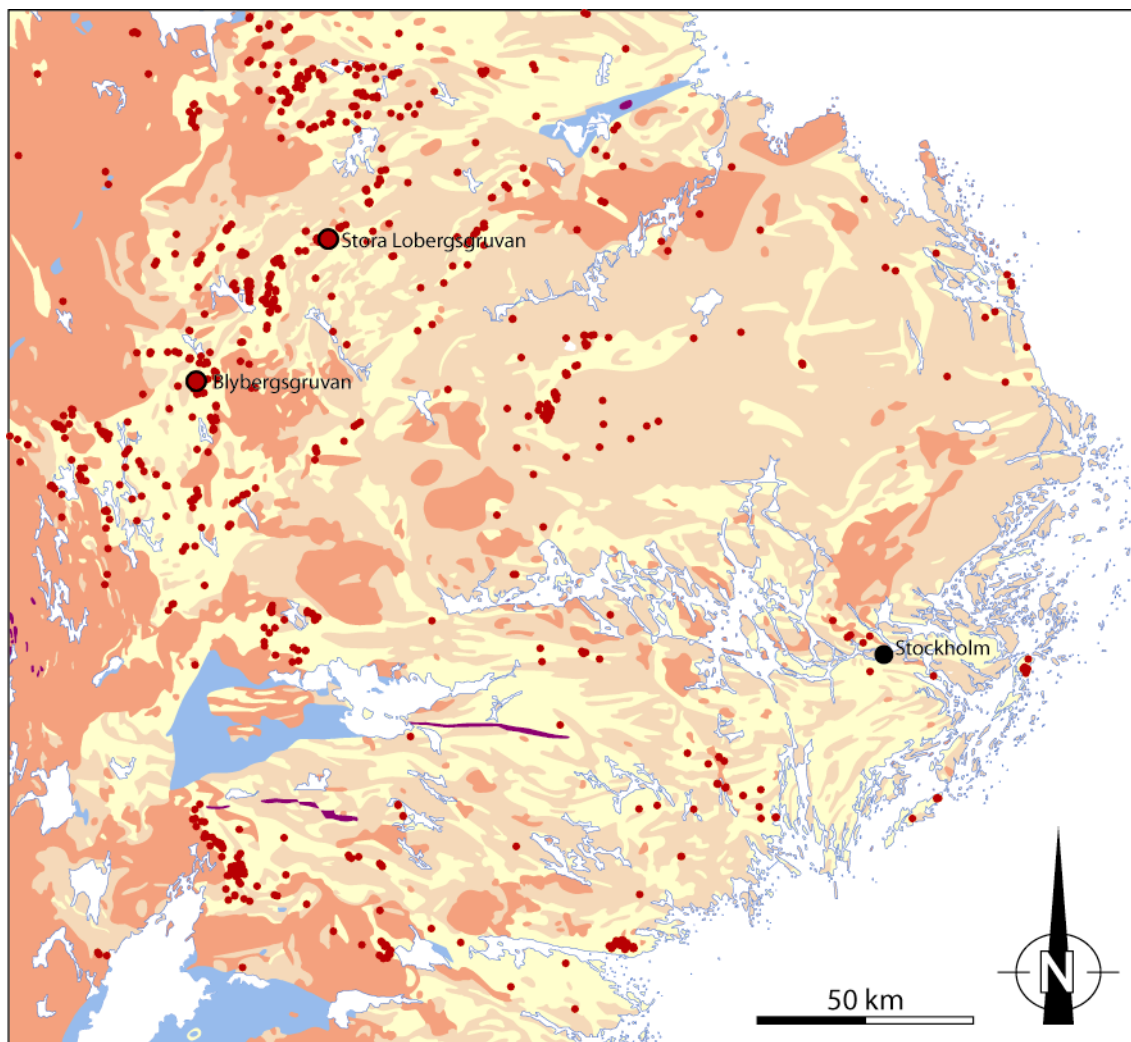
Bergslagen domineras av bergarter som bildades under den svekokarelska orogenesen (bergskedjebildningen) för ca 1910 till 1750 miljoner år sedan (fig. 1). Äldst är de svekofenniska ytbergarterna (bergarter avsatta på jordytan), som utgörs av vulkaniska och sedimentära avlagringar bildade för ca 1900 miljoner år sedan. Ytbergarterna intruderades av djup- och gångbergarter (intrusivbergarter bildade i jordskorpan) för ca 1900 till 1850 miljoner år sedan. Djupbergarterna kallas tidigorogent svekokarelska. Ovannämnda bergarter omvandlades genom att de fördes ner i jordskorpan och där utsattes för höga temperaturer och/eller tryck (s.k. metamorfos) under kulminationen av orogenesen. Lokalt var omvandlingen så stark att bergarterna smälte. Dessa smältor (magmor) gav upphov till en ny generation djup- och gångbergarter, som kallas senorogent eller syn- till senorogent svekokarelska. De stelnade för ca 1800 miljoner år sedan. I framförallt de västra delarna av Bergslagen bildades delvis samtidigt med metamorfosen en annan svit av magmatiska och underordnat sedimentära bergarter. Den tillhör det transskandinaviska magmatiska bältet (TMB) och anses vara postorogent svekokarelsk. Efter orogenesen intruderades den äldre berggrunden av dels *rapakivi*-graniter för ca 1500 miljoner år sedan, dels flera generationer av diabasgångar. Lokalt finns dessutom smärre förekomster av jotniska, kambriska och ordoviciska sedimentära bergarter.

I samband med ovannämnda metamorfa processer utsattes jordskorpan för krafter som deformerade den. Beroende på tryck- och temperaturförhållanden var deformationen plastisk eller spröd till karaktären. Vid plastiska förhållanden sker deformation (veckning, utdragning, ihoptryckning) utan att materialet brister, medan sprickor och förkastningar bildas vid spröda förhållanden. Sedan bildningen har bergarterna dessutom eroderats ner; vid den nuvarande jordytan exponeras en del bergarter som bildats eller omvandlats vid flera kilometers djup i jordskorpan.

### Jordarterna

Enligt Persson (2002) tillhör jordarterna kring objekten nordvästra Svealands moränområde. Området ligger övervägande över högsta kustlinjen (HK), men undantag finns, t.ex. kring Siljan, Dalälven och lågt belägna delar av Bergslagen. Båda objekten (se nedan) ligger dock klart över HK. Som namnet antyder domineras området av morän, men torvmarker har lokalt stor utbredning. I dalgångarna finns isälvsavlagringar och sediment. I Dalarna bildar moränen

ett jämnt täcke på höjder och sluttningar medan dödismorän kan finnas i sänkor. Materialet i moränen präglas av underliggande bergarter.



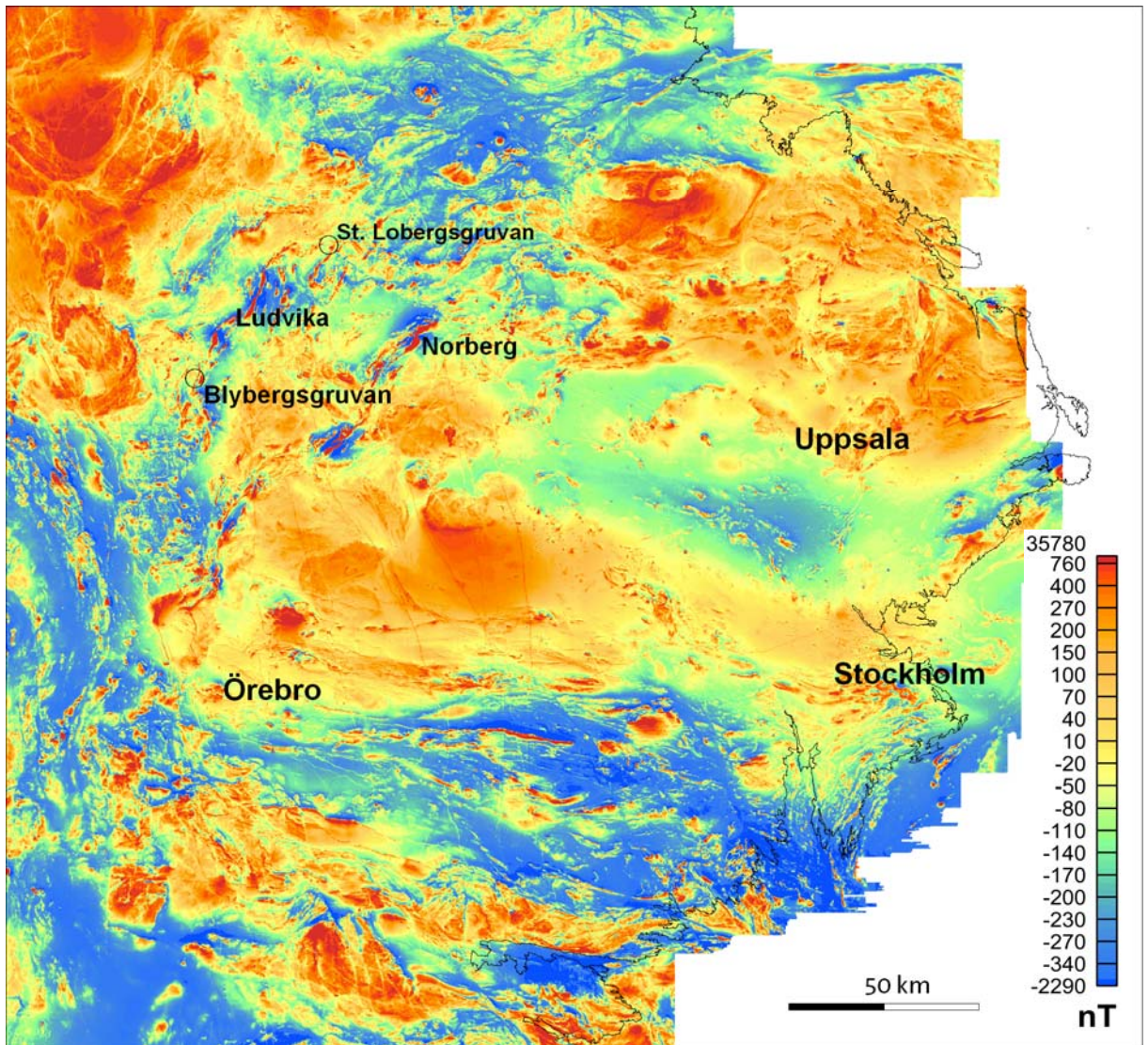
- Sulfidförekomst (n=1038)
- Fanerozoisk bergart
- Diabas
- Yngre intrusivbergart (ca 1,85–1,65 Ga och 1,5 Ga)
- Äldre intrusivbergart (ca 1,89–1,85 Ga)
- Svekofennisk ytbergart (ca 1,9 Ga)



Figur 1. Schematisk och förenklad berggrundskarta över Bergslagsområdet. Sulfidmalmsfyndigheter enligt SGUs fyndighetsdatabas är markerade, liksom läget för de två undersökta objekten.

## Regional geofysik

Figur 2 visar den flygmätta magnetiska anomalikartan över Bergslagen. Högmagnetiska anomalier orsakas bland annat av yngre intrusivbergarter och diabaser i området. Flertalet malmförekomster i Bergslagen sammanfaller med stråk av högmagnetiska anomalier. Det är främst järnmalmsförekomster med magnetit som orsakar de största anomalierna, t.ex. kring Ludvika och Norberg, men även sulfidmalmer med magnetkis kan ge upphov till magnetiska anomalier.



Figur 2. Flygmätt magnetisk anomalikarta över Bergslagen.

## Malmförekomster

I Bergslagen finns ett stort antal gamla gruvhål; i SGUs fyndighetsdatabas finns det inom det område som motsvaras av figur 1 angivna ca 7 000 stycken. Av dessa är ca 6 000 järnmalmsfyndigheter, ett fåtal volframfyndigheter och drygt 1 000 sulfidmalmsfyndigheter. De senare domineras av basmetallfyndigheter (Cu, Zn, Pb), medan ett mindre antal har brutits

på molybden eller annan metall. Det bör påpekas att även om brytningen avsett nyss nämnda metaller förekommer ofta även andra metaller i fyndigheterna.

Malmerna bildades under två perioder i områdets geologiska utveckling. Den första var i samband med avsättningen av de svekofenniska ytbergarterna och intrusionen av de i stort sett likåldriga tidigorogena djupbergarterna. Då bildades dels järnmalmerna, dels basmetallfyndigheterna. Smärre järn- och järn-nickelsulfidmineraliseringar bildades lokalt i och intill de tidigorogena gång- och djupbergarter som är mafiska. Den andra perioden av malmbildning skedde i samband med intrusionen av de senorogena graniterna. Då bildades molybden- och volframfyndigheterna.

Ur vittrings- och miljösynpunkt är det sulfidförekomsterna som är mest problematiska, speciellt de som förutom den brytvärda metallsulfiden innehåller järnsulfider som magnetkis och pyrit (svavelkis). En del av järnmalmerna kan innehålla sulfidmineral; faktum är att en del av dem periodvis brutits som sulfidmalmer. Alla basmetallförekomsterna innehåller naturligtvis också sulfider och i varierande grad järnsulfider. Även molybden- och volframfyndigheterna kan vara järnsulfidförande eftersom de lokalt bildats på samma ställen som äldre mineraliseringar.

Många av mineraliseringarna bildades i kontakten mellan vulkanit och kalksten genom att de ingående grundämnena transporterades dit i vattenlösning (se t.ex. Roberts & Sheahan 1988 och Sheahan & Cherry 1993 för teorier om malmbildning). När den metallhaltiga lösningen träffade på en sådan kontakt fälldes metallerna ut som oxider och sulfider. Intilliggande vulkanit och kalksten omvandlades i allmänhet av vattenlösningen till så kallat skarn. I den mån någon kalksten (mer eller mindre omvandlad) finns kvar kommer den att buffra de syrabildande reaktioner som vittringen av järn- och andra sulfider innebär. Sådana fyndigheter är alltså teoretiskt sett mindre problematiska ur miljösynpunkt. En del sulfidmineraliseringar bildades emellertid genom att metallhaltiga lösningar fällde sitt innehåll i en vulkanit. I dessa finns inte några karbonater som kan buffra systemet, och potentiellt större miljöproblem är tänkbara.

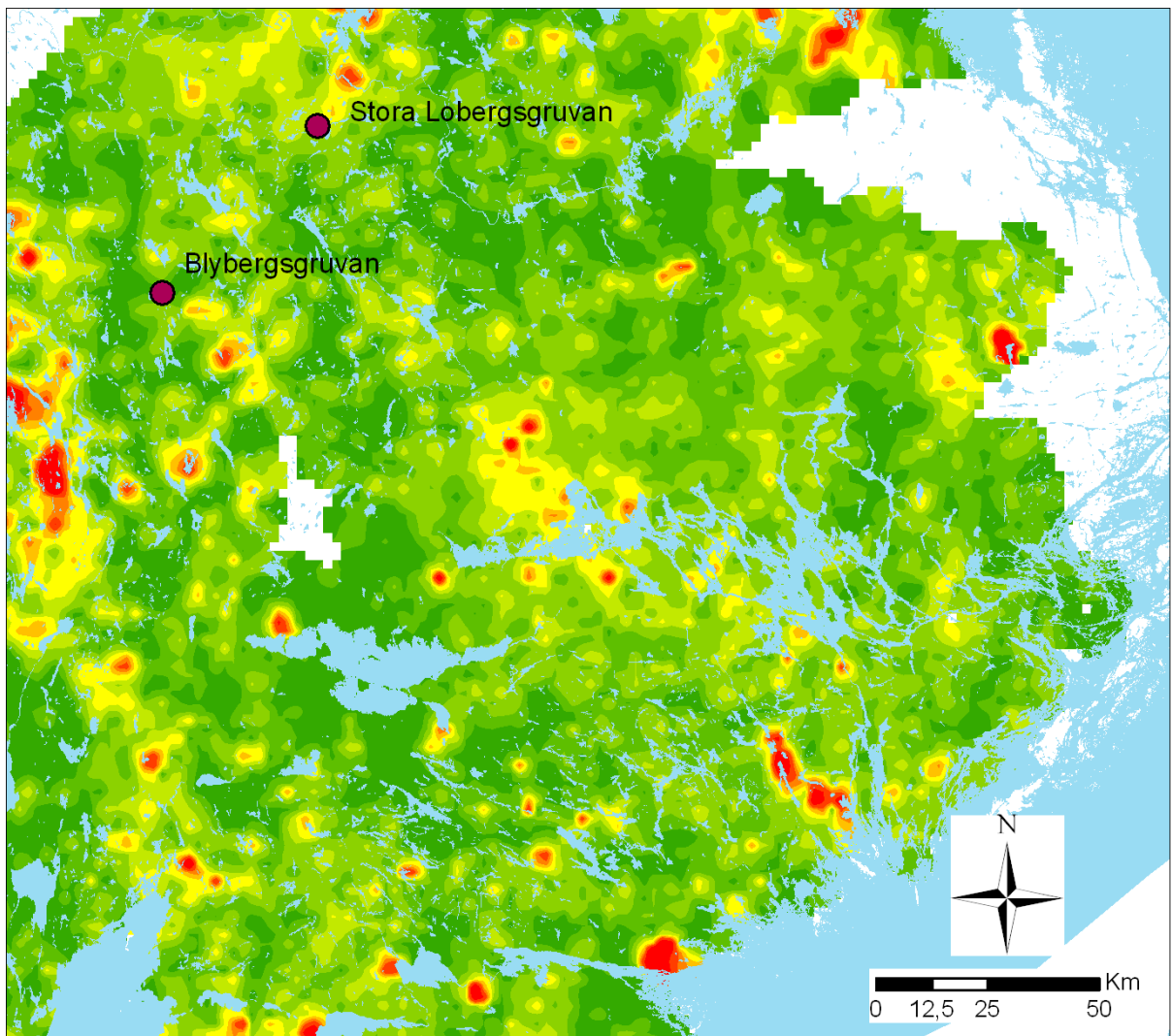
## Regional geokemi

SGUs geokemiska kartering i Sverige har som huvudsyfte att undersöka de bakgrundshalter av metaller och andra ämnen i mark och levande material (markgeokemi respektive biogeokemi). Det viktigaste provmediet vid den markgeokemiska karteringen utgörs av morän, en jordart vars sammansättning relativt väl brukar återspegla källbergarterna.

I Bergslagen finns morängeokemisk information från två olika karteringsprogram, dels SGUs egna, pågående program, dels från det projekt som bedrevs av NSG-SGAB ("Guld i Sverige"). Analysmetodikerna är inte identiska för de två databaserna, vilket gör att ingen fullständig karakterisering av den regionala geokemin kan göras. För några element är dock likheterna för analysresultaten tillräckligt stora för att tillåta en enklare tolkning.

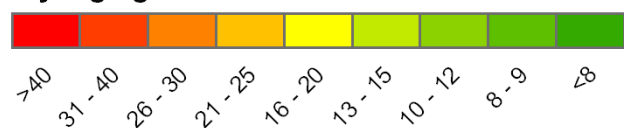
Det mest slående för t.ex. Pb (fig. 3) och Zn (fig. 4) är att halterna i regel inte är speciellt höga i de regioner där sulfidmineraliseringar är kända. I den västra delen är de t.o.m. relativt låga. Situationen är för övrigt likartad i Skelleftefältet och visar att geokemin i dessa skalor sällan styrs av enskilda mineraliseringar, istället är det förhöjda bakgrundshalter i specifika bergarter som styr det mesta i kartbilderna. Sett i ett riksperspektiv innebär t.ex. närvaro av alunskiffer oftast markant förhöjda halter av bl.a. As, Pb, Cu, Mo, Ni och U.

De enskilda malmer som framträder tydligast i den regionala geokemin över Bergslagen är Falu koppargruva och Zinkgruvan. Bägge är av betydande storlek, och i det förstnämnda fallet finns undersökningar som visar att marken flera mil runt gruvan förorenats ner till moränens C-horisont på grund av de tidvis kraftiga luftutsläppen. De två objekten som här studerats har inte lämnat några tydliga spår i den regionala geokemin, de omges inte heller av speciellt metallrik morän med ursprung från andra fyndigheter eller bergarter med förhöjdabakgrundskoncentrationer. Som framgår av figurerna 3 och 4 samt tabell 3 är moränen vid Stora Lobergsgruvan något rikare på Pb och Zn (och även andra metaller) än Blybergsgruvan, men skillnaderna är inte speciellt stora.

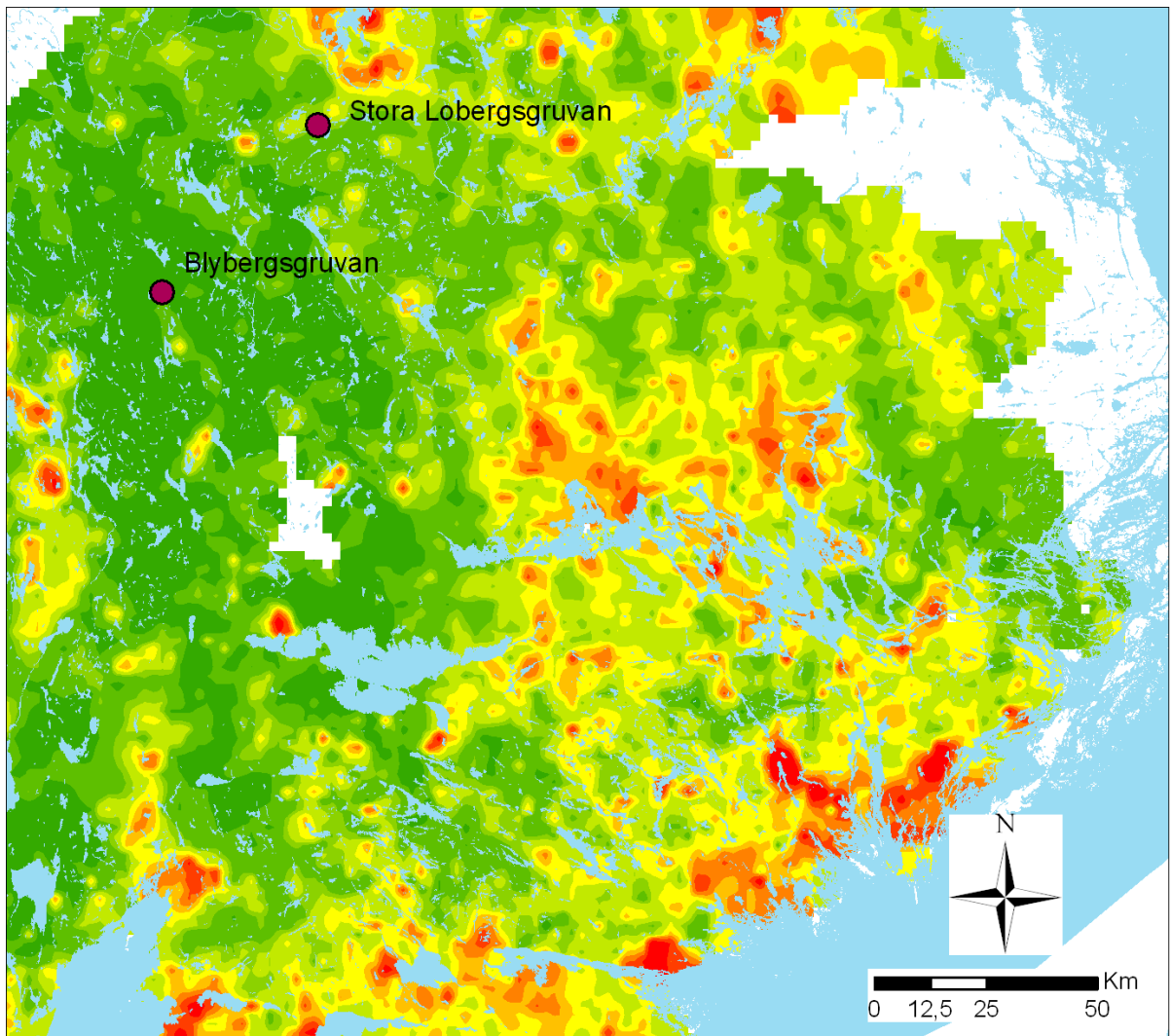


### Morängegeokemi

Bly mg/kg

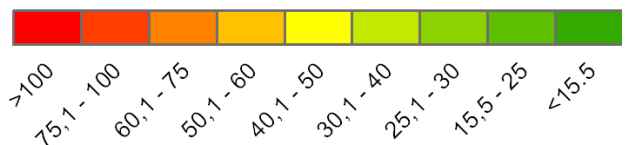


Figur 3. Naturliga bakgrundshalter av Pb i moränens finfraktion (<0,063 mm). Halterna baseras på kungsvattenlakning och är delvis nivellerade.



### Morängeokemi

#### Zink mg/kg



Figur 4. Naturliga bakgrundshalter av Zn i moränens finfraktion (<0,063 mm). Halterna baseras på kungsvattenlakning och är delvis nivellerade.

### Hydrogeologi

Bergslagen präglas i huvudsak av stor nederbörd och sammanhängande stor grundvattenbildning och avrinning. Nederbörden, liksom temperaturklimatet, påverkas av höjden. I högre belägna områden är nederbördsmängderna större, och det något kallare vinterklimatet innebär normalt att snön ligger kvar under vintrarna i större utsträckning än i lägre områden och att snösmältningen koncentreras till en kortare period. De bägge undersökta lokalerna ligger relativt högt (Blyberget 245 m.ö.h. och Loberget 250 m.ö.h.) med

en årlig grundvattenbildning (beräknad som effektiv nederbörd; dvs. korrigerad nederbörd minus evapotranspiration ifrån SMHIs klimatserier 1961-1990) i medeltal kring 340 mm i Loberget respektive 420 mm i Blyberget.

I moränområden över HK har moränen inte påverkats av svallning vilket innebär att den är relativt homogen vad avser kornstorleksfördelning med djupet. Tjälning och biologiska processer har emellertid luckrat upp markens övre del. Morän har vanligtvis relativt låg permeabilitet:  $10^{-8} - 10^{-5}$  m/s (Lind 1990), men i den översta metern kan permeabiliteten vara betydligt högre (Lundin 1982). Eftersom den effektiva porositeten är låg i morän som inte påverkats av markprocesser så innebär även små vattentillskott att grundvattenytan kan höjas betydligt. I områden där grundvattenytan når upp till markens övre del kan avrinningen bli snabb. I moränterräng över HK kan grundvattenytan ligga relativt ytligt och med en årlig variation på 1-2 m. En stor del av avrinningen kommer ske i den översta metern. Den typiska bergslagsterrängen är storbruten och grundvattenytan kommer att avspegla detta, djupet till grundvattenytan är generellt något större uppe på kullarna och sedan allt mindre ner mot sänkorna. För att förbättra dräneringen och öka skogsproduktionen är diken vanligt förekommande.

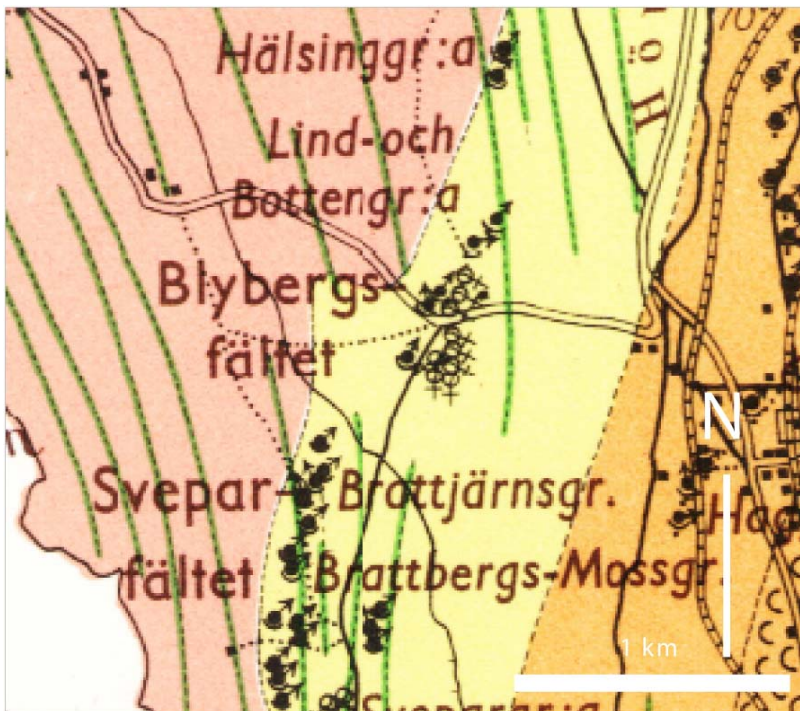
## Beskrivning av de valda objekten

### **Blybergsgruvan (topografiska kartbladet 12E Säfsnäs SO, 665165/144975)**

Blybergs- och Svepargruvorna bildar ett malmstråk som förutom sulfid- även har järnmalmgruvor (fig. 5).

Omgivande bergarter är grå, skiktad "leptit" (svkofennisk felsisk metavulkanit) med kalkstens- och skarnhorisonter som intruderats av rikligt med tidigorogena basitgångar och dito granit (Ripa 1998). Mineraliseringen är blyglans med låg Ag-halt och underordnad kopparkis, svavelkis, zinkblände och magnetkis som sitter i strålstensskarn och kalksten. Även pyroxen, hornblände, kondroit-olivin, spinell och flogopit finns i skarnet (Tegengren m.fl. 1924, Magnusson 1940).

Jordarten är enligt Magnusson & Lundqvist (1932) normalblockig, moig morän. Jorddjupet är varierande. Området kan sägas utgöra en avsats i en storskalig sluttning. Området ligger i ett konvext läge i sluttningen och dräneras åt två olika håll. I området kring gruvhålen går berget i dagen medan jorddjupet är större längre ned i terrängen. Grundvattenytan ligger ytligt; ca 1 meter under markytan. Flera olika bäckar/diken dränerar området. Området dräneras slutligen mot Arbogaån och vidare till Mälaren och tillhör således Norrströms avrinningsområde. Den del av området som ingått i undersökningen är skogsbevuxen.



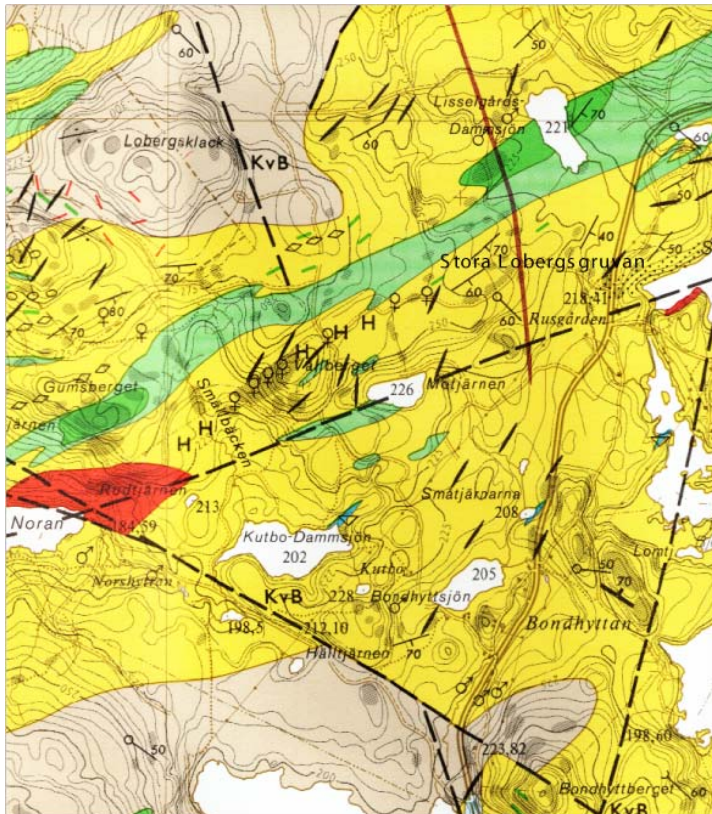
Figur 5. Utsnitt ur berggrundsgeologiska kartan till SGU Ca 30 (Magnusson 1940). Gul och orange färg är felsisk metavulkanisk bergart, ljusröd är tidigorogen granit och grön linje är tidigorogen metabasitgång. Svart punkt med pil åt nordost är järnmineralisering, ring med kors är sulfidmineralisering. Nedre bilden: Ett av flera gruvhål i Blyberget.

### Stora Lobergsgruvan (topografiska kartbladet 12F Ludvika NO, 668933/148476)

Stora Lobergsgruvan (fig. 6) är en del av det så kallade Vallbergsfältet, vilket i sin tur enligt äldre litteratur (e.g. Tegengren m.fl. 1924; Hjelmqvist & Lundqvist 1953) är en sydvästlig fortsättning av Öster Silvbergs malmfält.

Sidoberget består av växellagrade felsiska och mafiska svekofenniska metavulkaniter, synvulkaniska mafiska intrusioner och yngre diabasgångar (Strömberg 1996). De felsiska leden är grå, relativt grovkorniga och saknar synlig lagring. Mineraliseringens värdbergart är ytterligare grovkornig och består av granat-antofyllitförande, glimmerhaltig kvartsit, vilken uppenbarligen är en hydrotermalt omvandlad felsisk metavulkanit. Lokalt för den även grågrön gahnit.

Mineraliseringen utgörs av magnetkis, pyrit, kopparkis, hornblände och flusspat och ersatte troligen ett kalkstenslager (e.g. Tegengren m.fl. 1924; Hjelmqvist & Lundqvist 1953). Härifrån och vidare mot sydväst genom fältet finns till synes en metallzonering från dominerande Cu- via Zn- i Lilla Loberget till Zn-Pb-mineralisering i Gamla Bovallsgruvorna.



Figur 6. Stora Loberget. Utsnitt ur berggrundsgeologiska kartan (1:50 000; Strömberg 1996). Gul är felsisk metavulkanisk bergart, ljusgrön är mafisk metavulkanisk bergart, mörkblå är svekofennisk karbonatsten, mörkgrön är tidigorogen mafisk intrusivbergart, ljusbrun är tidigorogen granit, röd är yngre granit, lila linje är diabas. Ring med kors är sulfidmineralisering, ring med pil åt nordost är järnmineralisering. Nedre bilden: Vy åt väster över varphögar och ett avspolat, svartfärgat område med lite växtlighet där ytavrinningen huvudsakligen sker.

Jordarten är enligt Hjelmqvist & Lundqvist (1953) en blockfattig, sandig morän med intilliggande flackmosse. Området är relativt högt beläget och ligger på vattendelaren mellan Norrströms (Mälaren) och Dalälvens avrinningsområden. Det undersökta området dräneras efter myrmarken relativt samlat i en bäck och sedan vidare mot Dalälven. Stora delar av området avverkades efter att grundvattenrören satts men innan den första provtagningen. Detta är olyckligt och vissa effekter, t.ex. något förhöjda kvävehalter, har varit uppenbara i grundvattnet och i bäckar inom området.

## Geologisk undersökning

Ur berggrundsgeologisk synpunkt är det viktigt att fastställa dels vilka bergarter och mineral som finns i varpen vid respektive objekt, dels vilken kemisk sammansättning varpen har. Anledningarna är att mineralogin avgör vittringsbenägenheten och att den kemiska sammansättningen begränsar vilka element som teoretiskt sett kan frigöras.

För att bestämma varpens mineralogiska sammansättning gjordes dels en preliminär litteraturstudie för att se vad tidigare geologiska undersökningar kommit fram till (se sammanställningen ovan), dels ett antal fältbesök till objekten. Vid de senare togs representativa prover ur varphögarna, och provens mineralogiska (genom mikroskopering av polerslip) och kemiska sammansättningar analyserades.

Vid fältbesöken gjordes även en bedömning av varpens karaktär (grovlek och vittringsgrad) och volym. Vid Blybergsgruvan består varpen av decimeter- till halvmeterstora stycken som i allmänhet är en aning (<1 mm) vittrade. Varphögarnas volym i det område där grundvattenrör utsatts (se fig. 16; den streckade linjen i figuren motsvarar inte varpens exakta utbredning) uppskattas till drygt 47 000 m<sup>3</sup>, vilket med tätpackning innebär en reell varpmängd om knappt 36 000 m<sup>3</sup>. Vid Stora Lobergsgruvan är varphögarna delvis omflyttade i relativt sen tid. Varpens grovlek är ungefär som i Blybergsgruvan, men här är sulfidförande bitar, vilka dominerar, måttligt till kraftigt vittrade. Varphögarnas volym (mindre utbredning än streckad linje i fig. 10) uppskattas till drygt 13 000 m<sup>3</sup>, vilket med tätpackning innebär knappt 10 000 m<sup>3</sup> varp.

I Blybergsgruvan finns tre identifierade typer av mineralisering i varpen: a) järnsulfiddominerad med eller utan kopparkis, b) blyglansdominerad och c) magnetitdominerad. Typ a verkar att sitta i glimmeromvandlad metavulkanit. Den övergår band- eller stråkvis i typ b som är associerad med skarn. Typ c verkar mest sitta i relativt grovkornig karbonatsten.

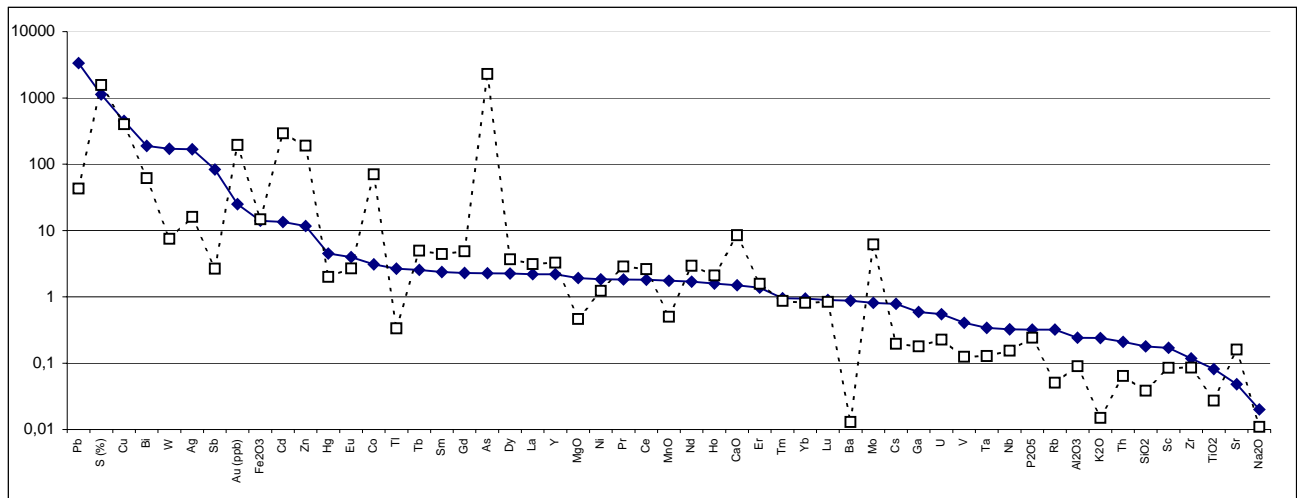
Tunnslipsanalys av proverna från Blybergsgruvan visar att malmmineralen sitter tillsammans med flogopit (lokalt övergående i biotit), olivin, spinell, klorit (retrograd efter flogopit-biotit), karbonat, ortit, aktinolit, hornblände, flusspat, epidot och klinozoisit. Möjligen finns även kvarts, pyroxen och serpentin. Malmmineralen domineras av magnetkis (Fe<sub>1-x</sub>S) och pyrit (FeS<sub>2</sub>) i olika proportioner. Vissa prov domineras av zinkblände (ZnS) tillsammans med någon av järnsulfiderna. I de flesta proverna finns dessutom i lägre halter och i varierande proportioner blyglans (PbS) och kopparkis (CuFeS<sub>2</sub>). Markasit, som är en lågtemperaturstruktur av FeS<sub>2</sub>, finns lokalt som omvandlingsfas av magnetkis. Ett prov har möjligen gedigen vismut (Bi).

I Stora Lobergsgruvan är det p.g.a. omvandling och vittring i allmänhet svårt att se vilken bergart som mineraliseringarna sitter i. Några varpbitar består dock av metadacit som är ådrad och eventuellt även disseminerad av kopparkis och magnetkis. I övrigt visar varpen mineralisering av järnsulfider med eller utan kopparkis. Ofta åtföljs mineraliseringarna av skarn och flusspat.

Tunnslipsanalys av proverna från Stora Lobergsgruvan visar, förutom malmmineral, hornblände, klorit, epidot, ortit, pyroxen, flusspat, karbonat, kvarts, apatit och plagioklas (delvis saussuritiserad). Möjligen finns även zirkon, som tillsammans med plagioklas, apatit och en del av hornbländet troligen är primära magmatiska faser. Malmmineralen domineras antingen av magnetkis, av magnetkis plus zinkblände eller av kopparkis. Förutom dessa mineral finns pyrit och sekundär markasit i de flesta proverna. Ett prov innehåller troligen även arsenikkis (FeAsS).

Varpproverna krossades och maldes i fat av kromstål och analyserades av ACME (Kanada) 2005. De malmrelaterade elementen (Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se) analyserades med ICP-MS efter lakning av prover i varmt kungsvatten. Övriga element analyserades traditionellt med ICP-ES och -MS efter upplösning av litiumboratsmälta. Resultaten av den kemiska analysen visas i bilaga 1.

En jämförelse av varpens mediansammansättning vid de två objekten och den mediansammansättning som ett urval av Bergslagens felsiska metavulkaniter har visas i figur 7.



Figur 7. Medianvärden för sammansättningen hos varpprover i Blybergsgruvan (heldragen linje) och Stora Lobergsgruvan (streckad linje) genom mediansammansättningen för några (n=40) felsiska metavulkaniter i Bergslagen.

Linjen i figur 7 som representerar kvoter mellan sammansättningen i prover från Blybergsgruvan och vulkaniter är arrangerad med värdena jämnt avtagande åt höger. När motsvarande kvoter för proverna från Stora Loberget plottas framhävs skillnaderna mellan de två objekten. Mest påtagligt är relativt högre anrikning av As, men också av Au (kan vara kontaminering), Cd, Zn, Co, Ca och Mo, och lägre av Pb, Bi, W, Ag, Sb, Tl, Mg, Mn, Ba och K jämfört med Blybergsproverna. Proverna från Stora Loberget har genomgående lägre halter av samtliga element, undantaget Sr, som plottar lägre än (till höger om) Mo i figur 7.

## Geofysisk undersökning

Några av de problemställningar som uppkommer vid karakterisering av ett förorenat område vid en gruvdeponi och som geofysiska metoder kan ge svara på är t.ex.:

- djup till bergyta
- djup till grundvattenyta
- lagermaktigheter (t.ex. utbredning av lera eller sandlager)
- sprickzoner i berggrunden

samt för att mer direkt identifiera och avgränsa föroreningar:

- lokalisering av nedgrävda föremål
- utbredning av föroreningsplym
- vattenkvalitet

Djup till bergytan och bergytans topografi är av betydelse för vattenavrinningen i området. Detsamma gäller även sprickzoner i berggrunden som kan utgöra snabba transportvägar för vatten. Förorenat vatten kan innehålla mer lösta joner än rent vatten vilket påverkar den elektriska ledningsförmågan. Områden med förorenat vatten kan därför identifieras med hjälp av elektriska och elektromagnetiska metoder.

Vid undersökningen var en av målsättningarna att testa flera olika geofysiska metoder som kan vara användbara för karakterisering av ett förorenat område. Vi ville undersöka vilka geofysiska metoder eller kombination av metoder som ger tillförlitlig information samtidigt som datainsamling och tolkning bör kunna ske relativt snabbt. Resultatet från de geofysiska undersökningar kan sedan utgöra ett underlag för de fortsatta undersökningarna för att bättre styra utsättning av grundvattenrör och annan provtagning. De geofysiska mätningarna har enbart utförts inom ett av områdena, Stora Lobergsgruvan.

De metoder som vi använde var georadar, stångslingram (elektromagnetisk metod) och resistivitetsmätning med s.k. multielektrodsystem (elektrisk metod). Nedan följer en kortfattad beskrivning av dem.

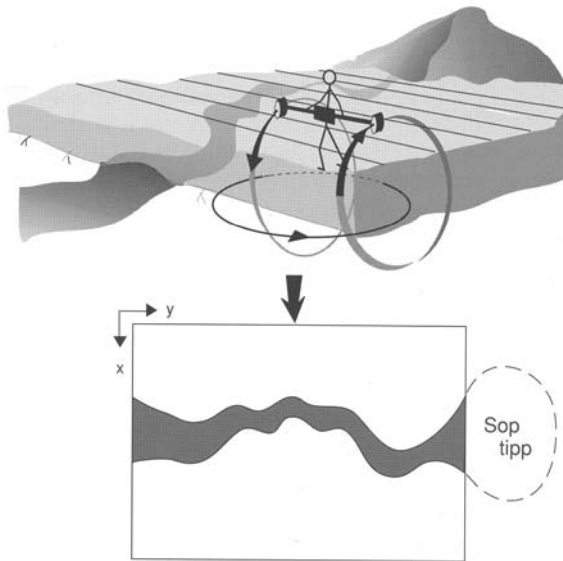
### Georadar

Georadar arbetar med elektromagnetiska vågor med mycket hög frekvens, ca 80 Mhz till 1 Ghz. Vid så höga frekvenser styrs radarvågornas utbredning i marken främst av den relativa dielektricitetskonstanten,  $\epsilon_r$ . En elektromagnetisk våg sänds ut och reflekteras mot olika diskontinuitetsytor, som t.ex. grundvattenyta, ler- och sandlager och andra föremål. Fördelarna med georadar är främst att det är en snabb metod. Nackdelarna är att radarvågornas inträngningsdjup är begränsat i material med bra ledningsförmåga, t.ex. i områden med lera, silt eller sediment med elektriskt ledande mineral.

### Stångslingram

Stångslingram är en elektromagnetisk metod som i princip består av en sändare och en mottagare på ett bestämt avstånd (fig. 8). Ett elektromagnetiskt fält sänds ut med en frekvens av ca 10 kHz. Det resulterande fältet, vars storlek och utseende beror av markens elektriska

egenskaper, registreras i mottagarspolen och markens elektriska ledningsförmåga kan avläsas direkt på instrumentet. Fördelarna med stångslingramen är att det är en snabb metod som kan hanteras av en person. Nackdelarna är den begränsade djupkänningen (ungefär samma storleksordning som avståndet mellan sändare och mottagare, dvs. 3,6 m). En annan begränsning är att man enbart kan detektera laterala variationer av markens ledningsförmåga, dvs. vi får ingen information av variationer i djupled.



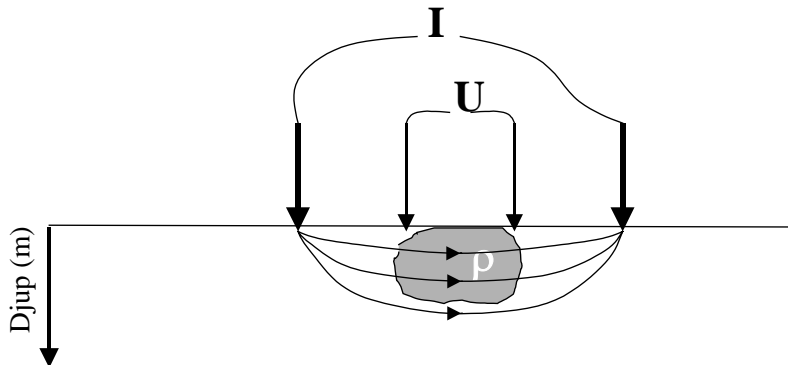
Figur 8. Principskiss för stångslingrammätning över ett förorenat område. Bilden hämtad från Triumf (1992).

### Elektrisk resistivitmätning

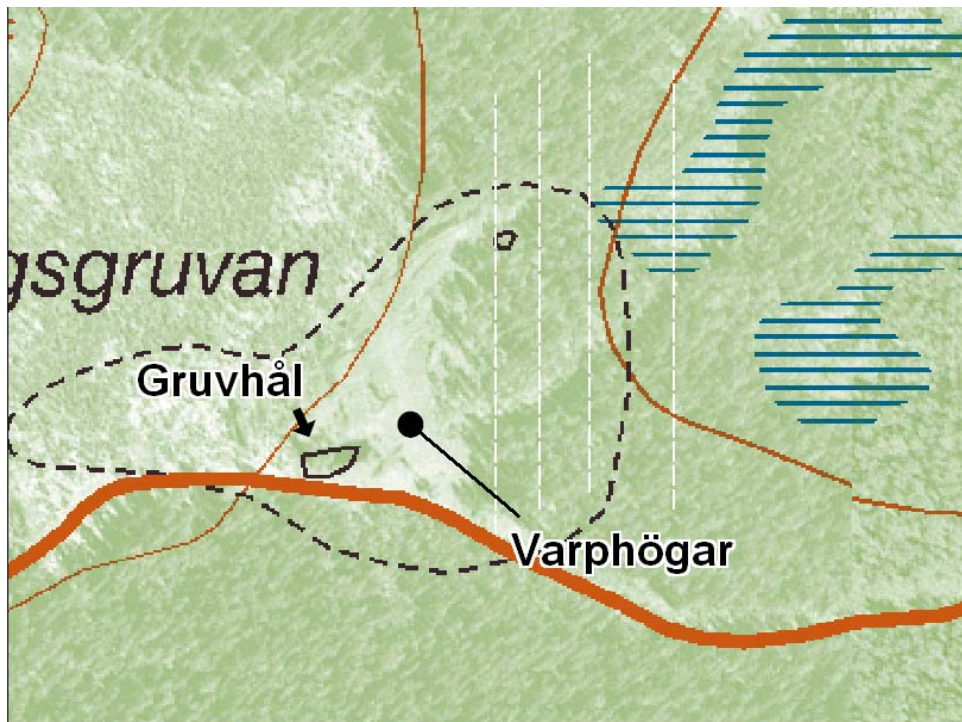
Vid elektrisk resistivitmätning skickas en likström ned i marken via två strömelektroder och potentialskillnaden mäts sedan mellan två elektroder (fig. 9). Markens resistivitet, dvs. motstånd att leda elektrisk ström, kan sedan beräknas. Variationer i resistiviteten beror på markens sammansättning, t.ex. dess vattenhalt, vattnets jonstyrka, förekomst av lermineral m.m. Genom att successivt öka avståndet mellan strömelektroderna kan variationer i markens resistivitet i djupled undersökas. Numera används s.k. multielektrodsystem där man sätter ut ett stort antal elektroder längs en vald profil. Mätning och datainsamling sker automatisk längs profilen och för olika djup. Resistivitmätning är en bra metod när man vill bestämma lagertjocklekar, djup till grundvatten- och berggrundsytan samt för lokalisering av förorenat vatten. Den är dock mer tidskrävande i jämförelse med mätningar med georadar och stångslingram, och det krävs minst två personer vid mätningen.

### Resultat

Figur 10 visar Stora Lobergsgruvan med gruvhålet markerat samt det öppna området med varphögar. De vita linjerna markerar läget för uppmätta profiler med stångslingram och elektrisk resistivitmätning. Området sluttar svagt åt öster och profilernas riktning antas vara vinkelräta mot grundvattenströmningen i området.



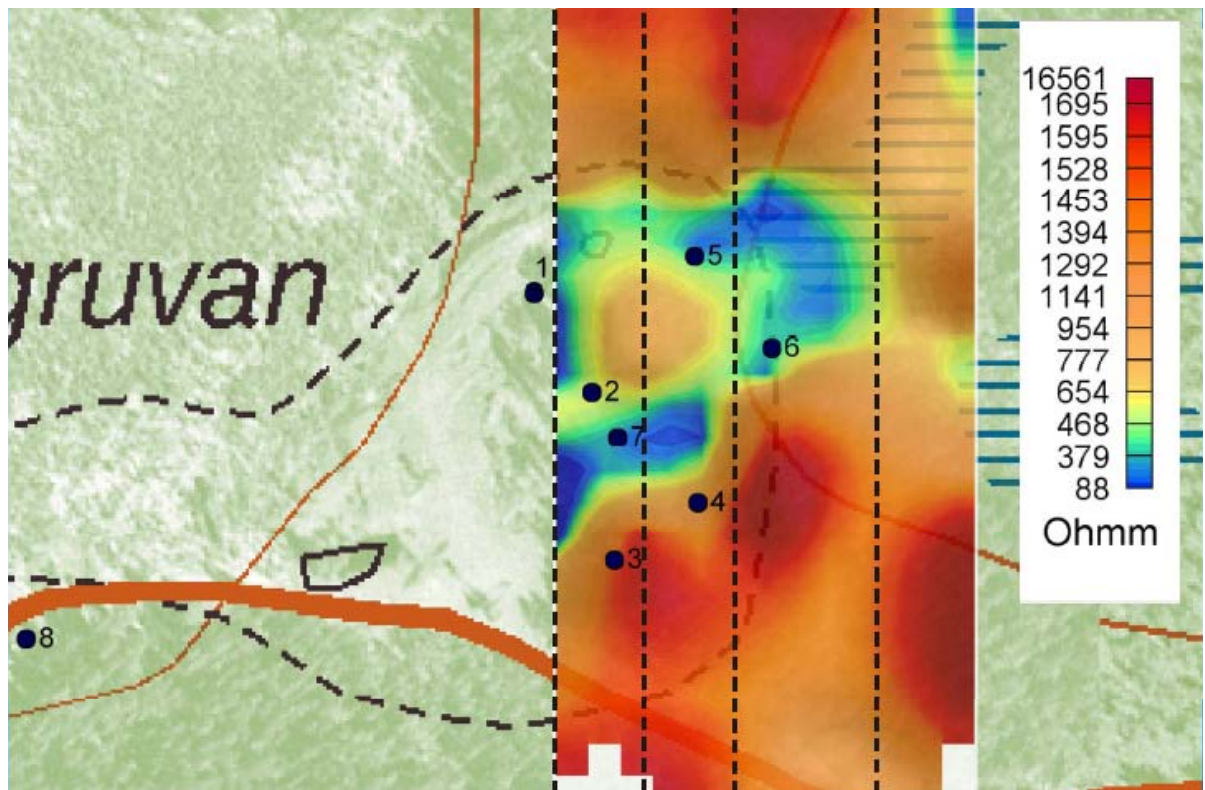
Figur 9. Principskiss för elektrisk resistivitetsmätning. En ström (I) tillförs marken genom stromelektroder och potentialskillnaden (U) mäts sedan med två potientialelektroder. Markens resistivitet kan därefter beräknas.



Figur 10. Stora Lobergsgruvan. Kartan visar läget för gruvhål, varphögar (ljusare områden inom svart, streckad linje) och geofysiska mätningar (vita, streckade linjer). De senare är ca 200 m långa, norr är upp i bilden.

Figur 11 visar resultatet från slingrammätningen. Låg resistivitet (dvs. bra elektrisk ledningsförmåga) visas med blå färg. Mätningen visar ett område med mycket låg resistivitet som sträcker sig från upplaget i nordöstlig riktning. Anomalin följer utbredningen av det svartfärgade avrinningsområdet som syns på fotot i figur 6, och tyder på att konduktivt vatten strömmat från upplaget i väster mot nordöst. Också i den norra begränsningen av gruvområdet (streckad linje) finns en lågresistiv anomali. Den sammanfaller med en våtmark och en mindre bäck.

Resistiviteten utanför det anomala området är relativt hög ( $>1000 \Omega\text{m}$ ) vilket motsvarar resistiviteten för berg, och indikerar att jorddjupet är litet i området.



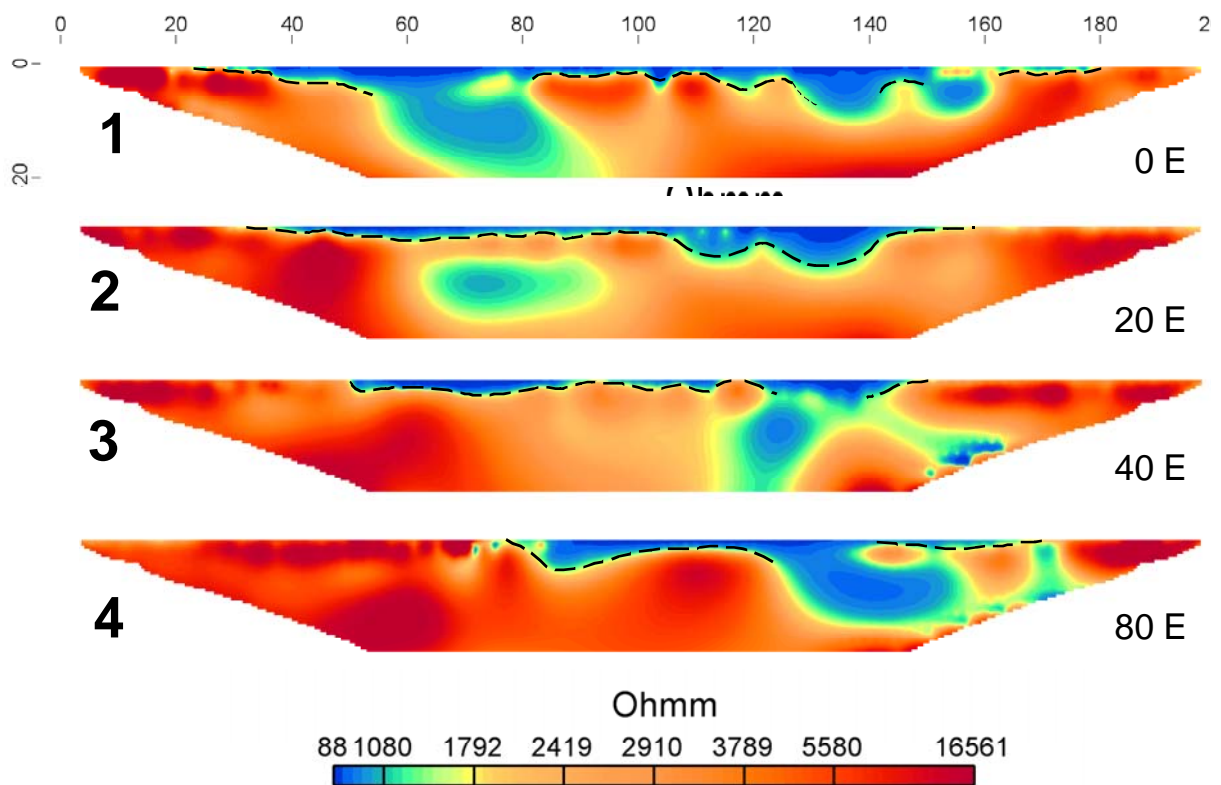
Figur 11. Stora Lobergsgruvan. Resultat från slingrammätning. Blå färg motsvarar låg resistivitet, dvs. god elektrisk ledningsförmåga. Punkterna markerar läget för grundvattenrören i området.

Resultaten från slingrammätningen användes för att planera de fortsatta geofysiska undersökningarna. För att kunna studera resistivitetvariationer med avseende på djupet mättes fyra stycken resistivitetsprofiler med Lund Imaging System (Dahlin 1993) från ABEM. Profilernas läge är markerade i figur 11. Ett antal elektroder placerades ut längs en linje. Avståndet mellan varje elektrod var 2 m. Ett kortare avstånd mellan elektroderna innebär att man får bättre upplösning av de ytliga delarna på bekostnad av djupkänningen. Profilernas längd är 200 m, och avståndet är 20 m mellan de tre västligare och 40 m mellan de två östligaste profilerna.

Figur 12 visar resultaten från resistivitetmätningarna. Profillinjerna är samma som vid slingrammätningarna (se fig. 11). Profilerna visar markens resistivitet ned till ett djup av 20 m. Mätdata tolkades med inversionsprogrammet RES2Dinv.

Profilerna 1–4 (fig. 12) uppvisar sinsemellan flera likheter. Resistiviteten i början (söder) och slutet (norr) av profilerna är relativt homogen och genomgående mycket hög ( $>4000 \Omega\text{m}$ ) vilket indikerar berg utan större sprickzoner. Man kan inom detta område inte heller identifiera något övre lager med lägre resistivitet, vilket tyder på att jorddjupet är så pass litet (ca 1 m) att det inte går att upplösa med den valda elektrodseparationen. I de centrala delarna däremot, mellan 40 och 160 m, skiljer sig resistivitetsmodellerna åt mellan profilerna. Den västligaste (1) visar ett konduktivt övre skikt som motsvaras av det jordlager som överlagrar berggrunden. Jorddjupet varierar mellan 1,5 och 2 m förutom efter ca 140 m (där profilen

passerar våtmarken; fig. 11) där det uppgår till ca 5 m. Efter ca 60 m finns en ca 20 m bred lågresistiv zon som stupar åt öster. Den kan vara orsakad av en sprickzon med lägre resistivitet än omgivande berg. En annan förklaring kan vara att berggrunden innehåller elektriskt ledande mineral. Den näst västligaste profilen (2) uppvisar liknande jorddjup som den västligaste, dvs. 1,5–2 m jorddjup förutom i ett område efter 140 m med större djup. Den elektriskt ledande zonen efter 60 m är mindre här och finns bara kvar som en isolerad struktur på ca 10 m djup. Längs de två östligaste profilerna (3-4) saknas den lågresistiva strukturen i början av profilen. Efter ca 140 m finns däremot en något komplex lågresistiv struktur som kan vara orsakad av sprickzoner i berggrunden eller förekomst av elektriskt ledande mineral.



Figur 12. Resultat från resistivitetsmätning längs fyra profiler vid Stora Lobergsgruvan (se fig. 10). Svarta, streckade linjer markerar den tolkade gränsytan mellan jordlager och berggrund. Profilernas lägen är markerade i figur 10.

## Geokemiska egenskaper hos morän och andra avlagringar

### Provtagning

Vid utsättningen av grundvattenrör togs ett antal prov av de jordarter som rören sattes i. Totalt insamlades 14 prov, varav 2 kom från samma lokal men från olika djup; 6 st prov togs vid Blybergsgruvan och 8 vid Stora Lobergsgruvan. Vid ett senare tillfälle kompletterades dessa med 9 st moränprov (4 vid Blybergsgruvan, 5 vid Stora Lobergsgruvan) och 2 av finkornigare gruvavfall vid Stora Lobergsgruvan. Provlokaler sammanfattas i tabell 1.

Proven förslöts i plastpåsar, numrerades och torkades i dragskåp vid rumstemperatur. Efter torkning siktades proven för hand till <2 mm. Grovrestfraktionen sparades för ev. framtida ändamål.

## Analys

För att undersöka hur de lösa avlagringarna geokemiskt varierar mellan de bägge lokalerna analyserades proven med avseende på pH, försurningsresistens, lättlakade element och salpetersyralakbara (7 M) halter. All analysering utfördes vid SGUs geokemiska laboratorium (certifierat för vattenanalys enligt SS-EN ISO/IEC 17025). Analysschemat framgår av tabell 2.

Tabell 1. Provförteckning med koordinater (RT 90 2,5 gon W) samt provtagningsintervall/djup.

Provid	Lokal	GV-rör	X	Y	Intervall m/Djup m
B0408	Blygruvan	3	6651530	1449698	1,0-2,0
B0412	Blygruvan	3	6651530	1449698	0,0-1,0
B0409	Blygruvan	4	6651761	1449932	0,0-1,5
B0411	Blygruvan	5	6651831	1449927	0,5-1,5
B0413	Blygruvan	6	6651855	1449964	0,5-1,5
B0410	Blygruvan	8	6651691	1449793	0,0-1,5
B0402	Loberg	1	6689347	1484856	0,0-1,0
B0405	Loberg	2	6689383	1484838	0,0-0,6
B0403	Loberg	3	6689403	1484823	0,0-0,8
B0401	Loberg	4	6689393	1484908	0,0-1,3
B0406	Loberg	5	6689422	1484878	0,0-1,2
B0407	Loberg	6	6689370	1484842	0,0-1,0
B0404	Loberg	7	6689329	1484833	0,0-1,5
B0414	Loberg	9	6689305	1484666	0,0-1,0
KL05001	Blygruvan	-	6651779	1449684	0,9
KL05002	Blygruvan	-	6651577	1449708	0,7
KL05003	Blygruvan	-	6651705	1449763	0,7
KL05004	Blygruvan	-	6651507	1449802	0,7
KL05005	Loberg	-	6689367	1484602	0,55
KL05006	Loberg	-	6689414	1484687	0,8
KL05007	Loberg	-	6689452	1484775	0,55
KL05008	Loberg	-	6689489	1484875	0,65
KL05009	Loberg	-	6689270	1484815	0,65
KL05010	Loberg	-	6689341	1484777	0,8
KL05011	Loberg	-	6689361	1484779	0,8

För kvalitetskontroll användes laboratoriets interna kontroll och referensprov, samt SGUs egna kontrollprov MP1 (<0,063 mm-fraktionen av C-horisonten i morän från Ainasvaara, Vittangi, Norrbotten), vilket är ett prov som analyserats ett stort antal gånger sedan 2002, och vars kemiska sammansättning är välkänd. Samtliga analysresultat redovisas i bilaga 5.

## pH och försurningsresistens

pH mättes på 6,0 g torkat prov efter tillsats av 30 ml MilliQ-H<sub>2</sub>O. För försurningsresistens användes 6,0 g torkat prov, samt tillsats av 30 ml MilliQ-H<sub>2</sub>O och 12 ml 12,5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Proven pH-bestämdes tre dagar efter tillsatserna. För mätning användes pH-mätare modell PHM 240 med tillhörande provväxlare SAC 80 samt skrivare. För kalibrering användes buffertlösningar IUPAC (pH 4,005 och pH 7,000). Utförlig metodik för här tillämpliga delar beskrivs i SGUs interna kvalitetssystem (pH.doc i GUKM3:2:3In v 2.0).

## Metallbestämning

Metaller och andra element analyserades för de prov som lakats i vatten, svag svavelsyra och 7 M salpetersyra. Analyserade parametrar framgår av tabell 3. Analyseringen utfördes vid SGUs geokemiska laboratorium med en Perkin-Elmer Elan 5000 ICP MS. Analysordningen redovisas i tabell 2.

## Kvalitetskontroll

Kvalitetskontrollen som redovisas här beräknas på analys av kontrollprov MP1 (totalt fyra analyser). Elementanalyser med en analysvarians <10 % (beräknat som standardavvikelse/medelvärde \*100 %) kan betraktas som utmärkt till god kvalitet, 10-25 % som acceptabel, medan element med analysvarians >25 % skall användas med försiktighet.

Samtliga analyserade parametrar med analysvarianser redovisas i bilaga 2. För svaga lakningar är de flesta halter från MP1-provet i trakten av eller under detektionsgräns, vilket gör att analysvariansen inte kan beräknas.

## Naturliga bakgrundsvärden

De naturliga bakgrundshalterna av metaller och andra ämnen kontrollerades genom att ett antal moränprov insamlades i närheten av respektive objekt. Morän är den jordart som nästan totalt dominerar i de två områdena. Detta är en fördel eftersom (1) morän till stora delar består av bergartsmaterial och man kan få en bild av bergarternas generella geokemiska signaturer och (2) morän är den dominerande jordarten i Sverige, och jämförelsedata från ett stort antal lokaler finns tillgängliga i SGUs databaser.

För att öka populationernas storlek vid varje objekt slogs resultaten från de naturliga moränproven samman med resultat från prov tagna vid sättandet av grundvattenrör. Endast rör som bedöms ha satts på betydande säkert avstånd från gruvavfall accepterades. Genom denna indelning erhöles åtta respektive nio ”naturliga bakgrundsprov” per lokal.

Resultaten från dessa analyser visar att det finns en del skillnader i de naturliga bakgrundshalterna mellan de två undersökningsområdena (tabell 3).

Blybergsgruvans morän utmärker sig genom högre halter av framförallt K, Rb, Mo och Ba, medan morän vid Stora Lobergsgruvan ger högre halter av framförallt Zn och Cd, men även As, Pb, Mn och Bi. Med hänsyn taget till att områdena har mineraliserad berggrund avviker

halterna i regel inte anmärkningsvärt från medianvärden för riket i övrigt. Undantag utgörs närmast av Zn, Cd och Bi, som är något förhöjda vid Stora Lobergsgruvan, samt W vid Blybergsgruvan.

### Partiella lakningar – vatten och svag svavelsyra

Lättillgängliga element analyserades i de lakväschor som pH-mätningarna utfördes i. Resultaten redovisas nedan i tabellerna 4 och 5 där provtyperna grupperats efter lokal och provtyp. Med opåverkat avses (morän-)prov vilkas läge gör att de sannolikt inte påverkats. Påverkade prov ligger i nära anknytning till eller i gruvavfall, medan gruppen avfall utgörs av delvis vittrade restprodukter från gruvdriften. Som jämförelse anges resultat från opåverkad morän från Norrbotten.

Tabell 2. Förteckning över provid, analysid samt uppslutningsmetod.

Provid	Analysid		Provid	Analysid		Provid	Analysid	
MP1	KLA01		MP1	KLA17		MP1	KLA33	
B0413	KLA02		B0413	KLA18		B0413	KLA34	
B0412	KLA03		B0412	KLA19		B0412	KLA35	
B0408	KLA04		B0408	KLA20		B0408	KLA36	
B0410	KLA05		B0410	KLA21		B0410	KLA37	
B0409	KLA06		B0409	KLA22		B0409	KLA38	
B0411	KLA07		B0411	KLA23		B0411	KLA39	
B0414	KLA08		B0414	KLA24		B0414	KLA40	
B0401	KLA09		B0401	KLA25		B0401	KLA41	
B0406	KLA10		B0406	KLA26		B0406	KLA42	
B0403	KLA11		B0403	KLA27		B0403	KLA43	
B0405	KLA12		B0405	KLA28		B0405	KLA44	
B0407	KLA13		B0407	KLA29		B0407	KLA45	
B0404	KLA14		B0404	KLA30		B0404	KLA46	
B0402	KLA15		B0402	KLA31		B0402	KLA47	
MP1	KLA16		MP1	KLA32		MP1	KLA48	
MP1	KLX01		MP1	KLX14		MP1	KLX27	
KL05001	KLX02		KL05001	KLX15		KL05001	KLX28	
KL05002	KLX03		KL05002	KLX16		KL05002	KLX29	
KL05003	KLX04		KL05003	KLX17		KL05003	KLX30	
KL05004	KLX05		KL05004	KLX18		KL05004	KLX31	
KL05005	KLX06		KL05005	KLX19		KL05005	KLX32	
KL05006	KLX07		KL05006	KLX20		KL05006	KLX33	
KL05007	KLX08		KL05007	KLX21		KL05007	KLX34	
KL05008	KLX09		KL05008	KLX22		KL05008	KLX35	
KL05009	KLX10		KL05009	KLX23		KL05009	KLX36	
KL05010	KLX11		KL05010	KLX24		KL05010	KLX37	
KL05011	KLX12		KL05011	KLX25		KL05011	KLX38	
MP1	KLX13		MP1	KLX26		MP1	KLX39	

För pH (vatten) samt analys

För pH (syra) samt analys

För analys 7M HNO<sub>3</sub>

Av tabell 4 framgår att halterna i påverkade prov från Blybergsgruvan generellt inte avviker från vare sig den lokala opåverkade moränen eller från kontrollprovet. Undantag är Pb och i

viss mån Mo. Vid Stora Lobergsgruvan är situationen annorlunda. För flera element är de påverkade proven och gruvavfallet betydligt rikare på lättlakade komponenter än såväl Blygruvans prov som kontrollprovet. Ca, Co, Cu, Zn, Cd och S är utmärkande för såväl avfall som påverkade prov, medan Al, As, Fe och Pb är specifikt knutna till enbart gruvavfallet. Det finns en uppenbar koppling till uppmätt pH-värde, samt för flera metaller även till halt vid lakning med stark syra. Av figur 13 framgår relationen mellan pH och de vattenlakbara halterna för Mo, Cu, S och Ca. De låga pH-värden som uppmäts några av de påverkade proven beror på oxidering av sulfidmineral, vilket leder till förhöjda  $\text{SO}_4$ -halter (och därmed S) i lakvattnet. Cu- och Ca-halterna börjar öka när haltnivåerna sjunker under 4 respektive 4,5. Mo uppvisar ett motsatt förhållande, en viss ökning av halterna sker vid pH 6 varefter halten ökar starkt vid  $\text{pH} > 7$ .

Sammanfattningsvis kan man på basen av vattenlakningen konstatera att de parametrar som kan antas vara förhöjda i surt lakvatten från Stora Lobergsgruvans avfallsprodukter utgörs av i första hand S, Zn, Cu, Cd, Co och Ca. Arsenik, Al och Fe verkar visserligen lakas ur avfallet, men i de påverkade proven avviker halterna obetydligt eller inte alls från opåverkade prov. I jämförelse med Stora Lobergsgruvan är situationen vid Blybergsgruvan helt annorlunda, och enbart Pb (samt i mindre utsträckning Mo) kan antas vara specifika för lakvattnet.

I de prov som pH-mättes efter tillsats av svag svavelsyra analyserades även elementinnehåll. Resultaten redovisas i tabellform på samma sätt som för vattenlakning (tabell 5) och visar att halterna generellt ökar för de flesta element. Speciellt utmärkande är en relativt sett kraftig ökning av Pb-halter i prov från Blybergsgruvan, såväl opåverkade som påverkade. Det kan även noteras att påverkade prov och avfall från Stora Lobergsgruvan påverkas endast marginellt av svavelsyratillsatsen.

Resultaten av testerna med avseende på svag lakning (vatten respektive svag svavelsyra) visar att Pb sannolikt är det element som kan lakas ut till grundvatten vid Blybergsgruvan, medan grundvatten som påverkas av det betydligt surare lakvattnet vid Stora Lobergsgruvan bör innehålla förhöjda halter av framförallt Ca, Mg, Cu, Zn och S. Något förvånande visar även antaget opåverkade prov vid Blybergsgruvan tendenser till att innehålla en del relativt lättlakat Pb, vilket möjligen kan innebära att grundvattnet i viss mån är naturligt påverkat.

Analyserna från den svaga svavelsyralakningen jämfördes med resultaten från lakningen med 7 M salpetersyra. Flera element visade en utmärkt korrelation, men givetvis med väsentligt lägre halt för den svaga svavelsyralakningen. Det finns dock skillnader mellan lakbarheten för de olika elementen. Som figur 14 visar är lakbarheten för Cd högre än för Pb, medianvärdet (kontrollproven exkluderade) för Cd är 0,015 % medan motsvarande tal för Pb är 0,0006 %. Trots att underlaget är begränsat visar de relativt goda korrelationerna mellan svag och stark lakning på intressanta möjligheter vad gäller användning av SGUs markgeokemiska information, bl.a. för att prognosticera områden med potentiellt, naturligt metalläckage till grundvatten.

## pH

Ytvattnet vid Stora Lobergsgruvan har pH normalt mellan 2,8 och 4,0 i gruvhål och vatten som dränerar varphögarna (fig. 15). Utanför själva gruvområdet (sannolikt opåverkat ytvatten) uppmättes pH-värden mellan 5 och 6. Till skillnad från Stora Lobergsgruvan uppmättes vid

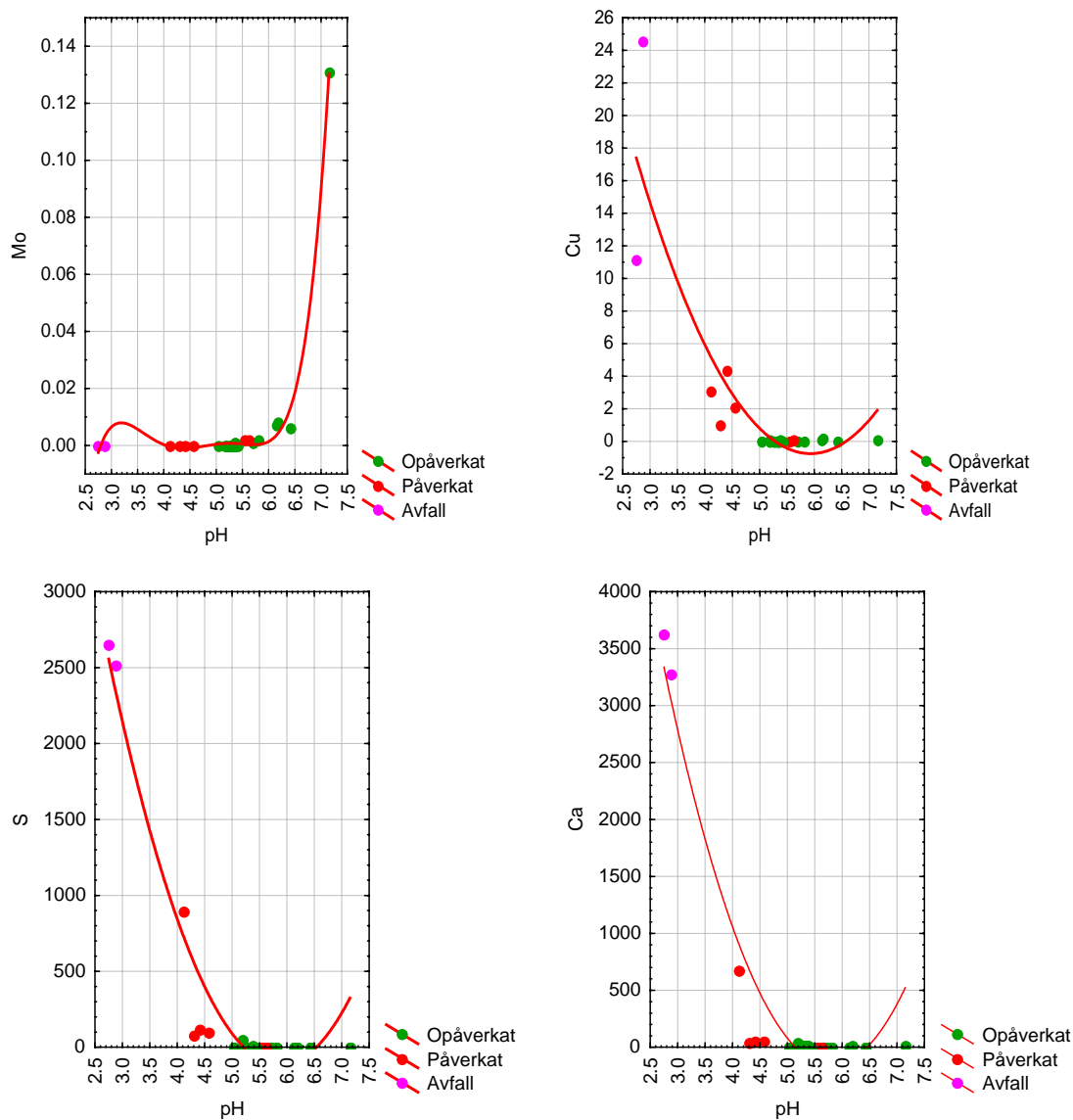
Blybergsgruvan enbart neutrala, eller t.o.m. svagt basiska pH-värden (pH 6-7,5). Detta avspeglar den mineralogiska skillnaden mellan områdena, t.ex. förekomsten av kalciumkarbonater vid Blybergsgruvan.

Tabell 3. Generell geokemi i respektive undersökningsområde jämfört med medianvärdet för riket.

Element	Blyberget median	Loberg median	Riket median	Haltsort
<i>n</i>	8	9	1 051	
Ag	0,054	0,043	0,024	mg kg <sup>-1</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,86	1,10	0,99	%
As	0,3	0,8	1,0	mg kg <sup>-1</sup>
BaO	0,0020	0,0013	0,0024	%
Be	0,28	0,36	0,23	mg kg <sup>-1</sup>
Bi	0,110	0,199	0,042	mg kg <sup>-1</sup>
CaO	0,18	0,16	0,21	%
Cd	0,04	0,16	0,03	mg kg <sup>-1</sup>
Co	2,7	2,3	3,1	mg kg <sup>-1</sup>
Cr	4	6	7	mg kg <sup>-1</sup>
Cu	8,4	7,9	6,7	mg kg <sup>-1</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,96	1,05	1,05	%
K <sub>2</sub> O	0,09	0,02	0,08	%
La	14,5	9,3	12,7	mg kg <sup>-1</sup>
Li	2,5	3,3	5,7	mg kg <sup>-1</sup>
MgO	0,36	0,35	0,36	%
MnO	0,010	0,019	0,014	%
Mo	0,41	0,17	0,18	mg kg <sup>-1</sup>
Na <sub>2</sub> O	0,008	0,005	0,008	%
Ni	3,4	3,0	4,5	mg kg <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,057	0,049	0,097	%
Pb	3,6	7,0	3,1	mg kg <sup>-1</sup>
Rb	7,5	2,7	7,4	mg kg <sup>-1</sup>
Se	0,14	0,16	0,11	mg kg <sup>-1</sup>
Sn	0,37	0,29	0,17	mg kg <sup>-1</sup>
Sr	4,2	5,2	4,7	mg kg <sup>-1</sup>
Th	6,4	6,2	4,5	mg kg <sup>-1</sup>
TiO <sub>2</sub>	0,075	0,068	0,077	%
Tl	0,05	0,04	0,06	mg kg <sup>-1</sup>
U	1	1	1	mg kg <sup>-1</sup>
V	8,6	9,3	12,7	mg kg <sup>-1</sup>
W	0,30	0,15	0,06	mg kg <sup>-1</sup>
Y	8,6	5,5	5,6	mg kg <sup>-1</sup>
Zn	9,0	45,9	15,1	mg kg <sup>-1</sup>

Tabell 4. Statistisk sammanställning av vattenlakade halter. Prov med  $n > 2$  anges som medianvärden, prov med  $n=2$  anges som medelvärde. MP1 = opåverkat kontrollprov, Bg = Blygruvan, Lob = Loberg, opåv = opåverkat, påv = påverkat, avf = gruvavfall.

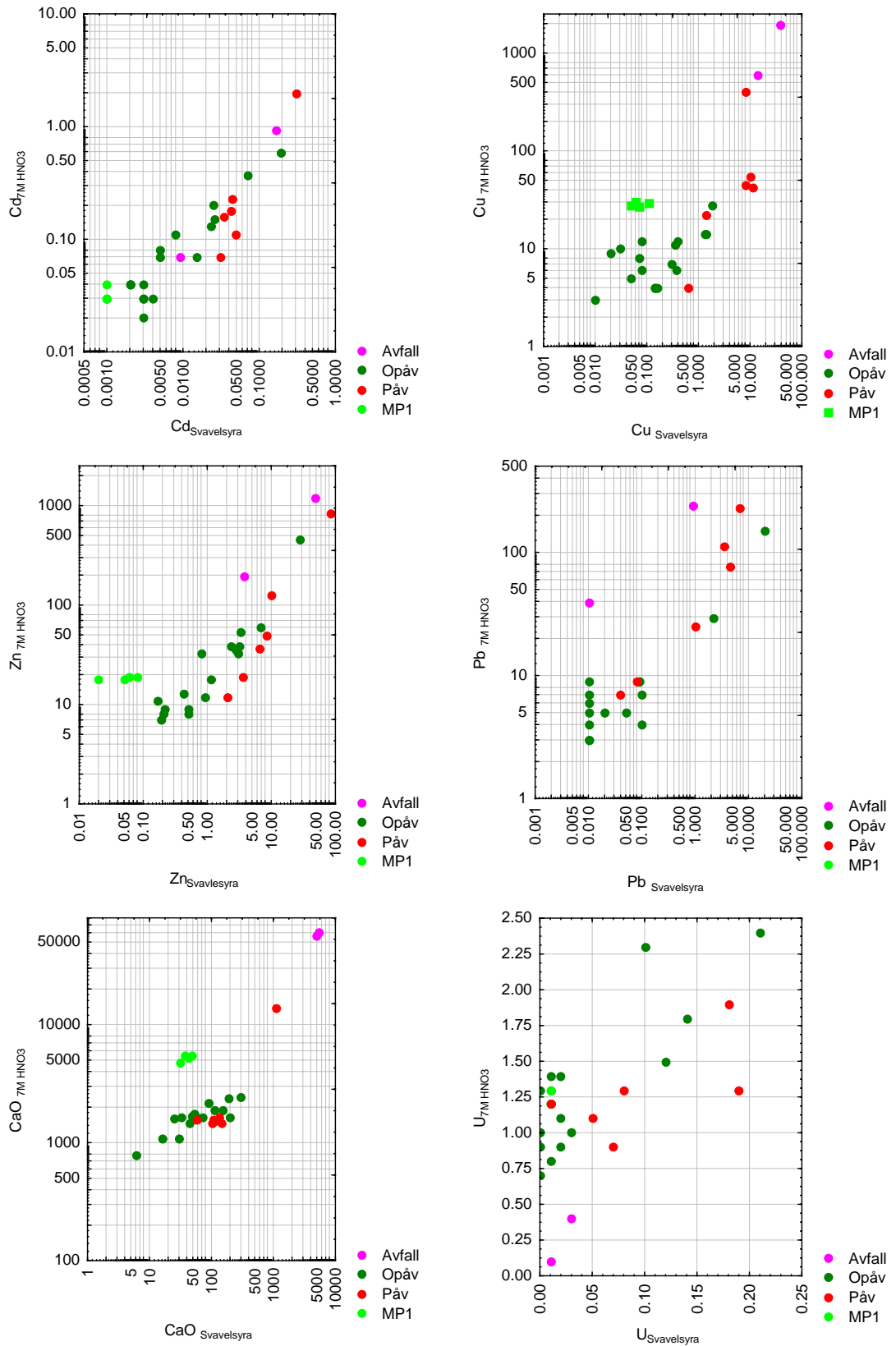
	MP1	Bg opåv	Bg påv	Lob opåv	Lob påv	Lob avf
<i>n</i>	4	8	2	9	4	2
pH	5,3	5,6	5,6	5,2	4,3	2,8
Al ppb	16	4	3	6	9	147
Ca ppb	7	3	5	8	53	3448
V ppb	0,019	0,002	0,009	0,002	0,001	0,005
Cr ppb	0,013	0,003	0,005	0,002	0,001	0,057
Fe ppb	8,7	1,8	2,2	0,6	1,7	183,6
Mn ppb	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	3,7
Co ppb	0,011	0,008	0,005	0,008	0,502	1,544
Ni ppb	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,32	0,02
Cu ppb	0,03	0,01	0,07	0,01	2,59	17,87
Zn ppb	0,02	0,02	0,11	0,12	8,82	24,40
As ppb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,290
Mo ppb	0,0003	0,0005	0,0022	0,0001	0,0001	0,0003
Cd ppb	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,026	0,088
Pb ppb	0,006	0,003	0,251	0,004	0,019	0,441
U ppb	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,016
S ppb	<0	<0	1	<0	110	2583
BaO ppb	0,28	0,12	0,14	0,13	0,17	0,04



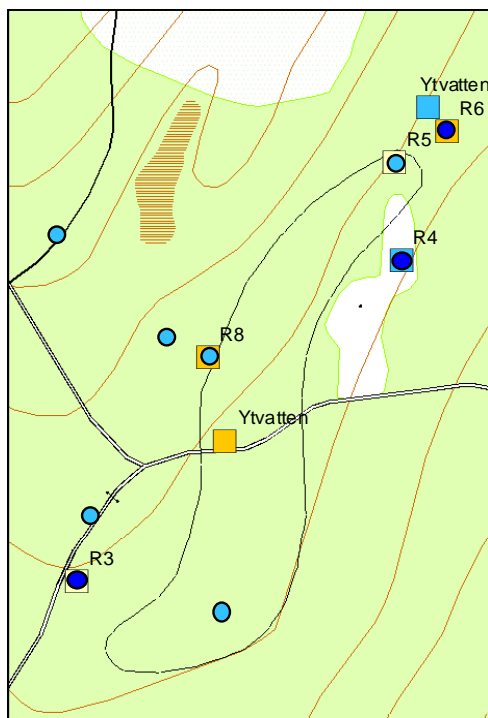
Figur 13. Samband mellan pH i vattenlakade prov och uppmätt halt (ppb) för molybden, koppar, svavel och kalcium.

Tabell 5. Statistisk sammanställning av svavelsyralakade halter. Prov med  $n > 2$  anges som medianvärden, prov med  $n=2$  anges som medelvärde. MP1 = opåverkat kontrollprov, Bg = Blygruvan, Lob = Loberg, opåv = opåverkat, påv = påverkat, avf = gruvavfall.

	MP1	Bg opåv	Bg påv	Lob opåv	Lob påv	Lob avf
<i>n</i>	4	8	2	9	4	2
pH	3,9	3,2	3,0	3,1	3,0	2,5
Be	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	<0,01
Cr	0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,10
Co	0,2	0,3	0,1	0,1	0,5	1,8
Ni	0,06	0,41	0,33	0,04	0,28	0,08
Cu	0,1	0,2	1,0	0,1	9,2	26,1
Zn	0,1	0,6	2,9	3,0	9,4	25,7
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,35
Se	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02
Rb	0,07	0,19	0,18	0,04	0,04	0,13
Sr	0,16	0,15	0,11	0,06	0,09	0,48
Y	0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	0,5
Mo	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cd	<0,01	<0,01	0,04	0,02	0,04	0,09
Ba	1,38	1,42	1,23	0,99	0,13	0,04
La	0,27	0,68	0,41	0,32	0,48	0,81
Pb	<0,01	2,53	4,04	0,01	0,55	0,46
U	0,01	0,04	0,04	0,02	0,13	0,02
Na	4,5	8,9	5,9	2,2	4,5	8,2
Mg	4	19	10	4	13	112
Al	207	183	126	161	140	130
P	0,2	0,9	0,8	0,1	0,3	0,1
K	7	39	22	3	12	10
Ca	29	84	74	32	86	3646
Ti	0,08	0,10	0,11	0,04	0,08	0,46
Mn	4	5	2	8	3	5
Fe	1	33	15	1	25	483

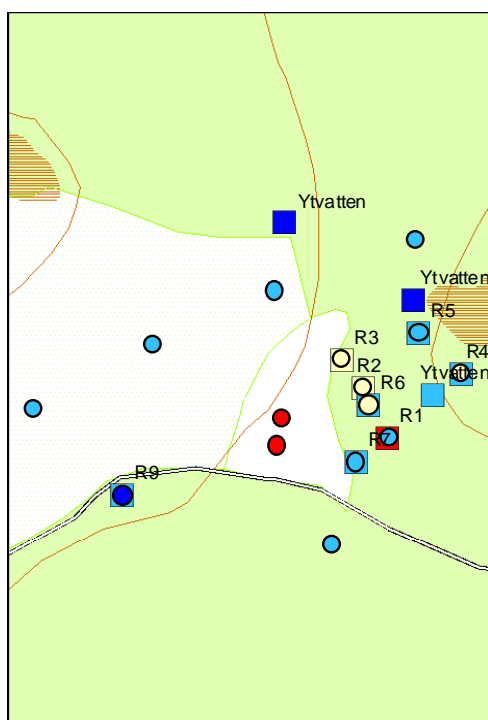


Figur 14. Samband mellan elementhalter vid lakning med 7M HNO<sub>3</sub> och lakning med svag svavelsyra för kadmium, koppar, zink, bly, kalcium och uran. Proverna färgkodade efter provtyp. Haltangivelser för 7M HNO<sub>3</sub> i ppm (mg kg<sup>-1</sup>) och för H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i ppb (µg g<sup>-1</sup>)

**Vatten (pH)**

■	2.9 - 3.0
■	3.1 - 4.0
■	4.1 - 5.0
■	5.1 - 6.0
■	6.1 - 6.0

Blyberget



Lobergsgruvan

Figur 15. pH-mätningar i vattenslammade prov (cirklar), vatten från grundvattenrör (kvadrat med överbeteckning "R\*") samt ytvatten (kvadrat med överbeteckning "Ytvatten").

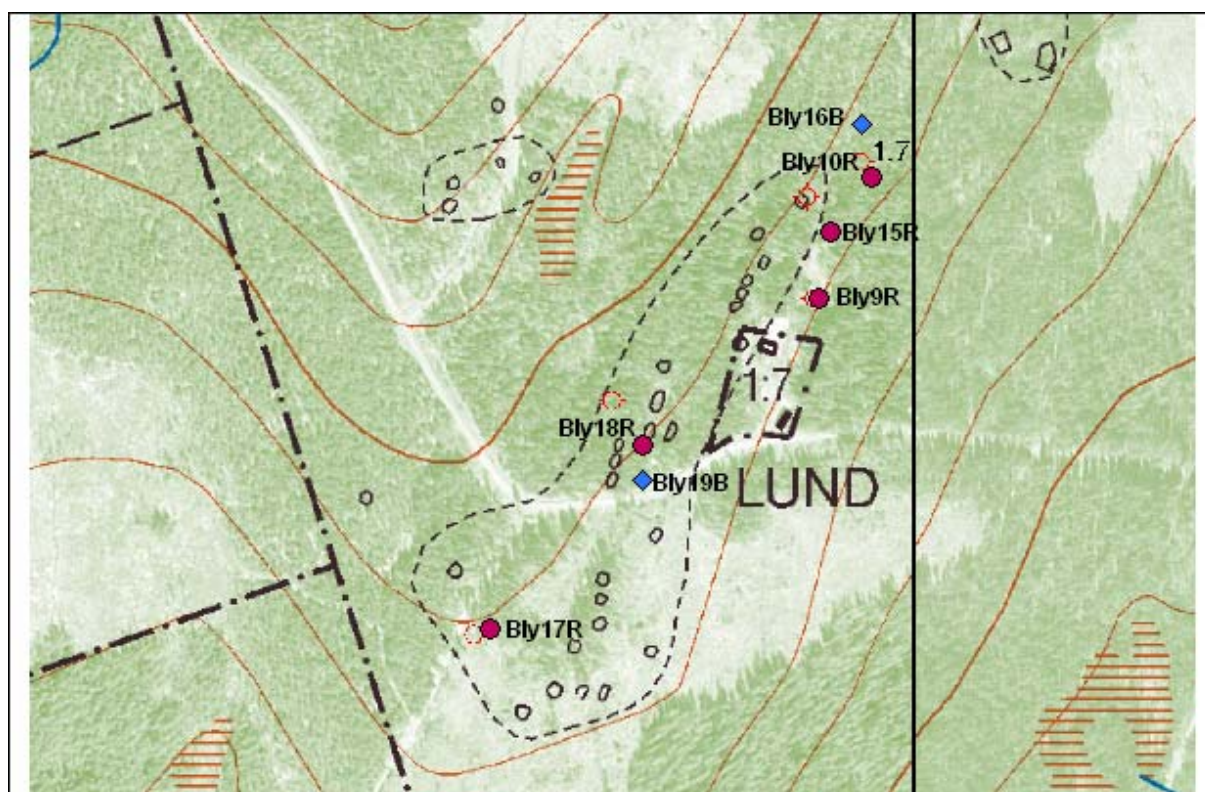
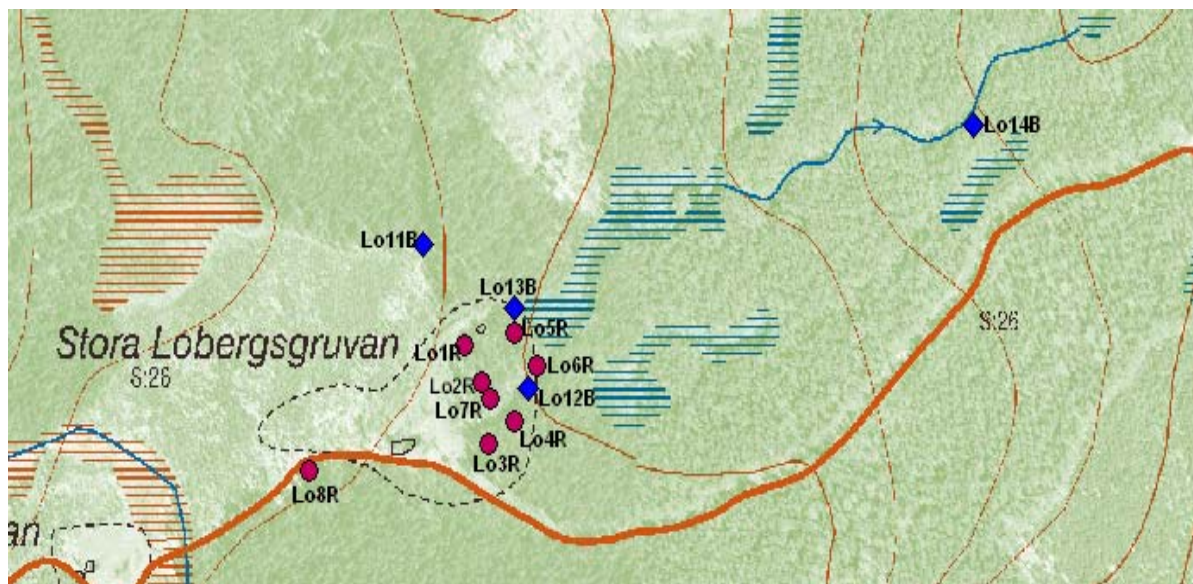
## Hydrogeologisk och -geokemisk undersökning

För att kunna bedöma hur mycket och under vilka omständigheter metaller läcker från områdena är det nödvändigt att bestämma grundvattnets och det avrinnande ytvattnets halter av metaller och övriga ämnen. Inom projektets ram har inte rymts en så tät och långvarig provtagning som hade behövts för att upprätta en tillförlitlig budget över metallflödena, för att göra detta hade det också varit nödvändigt att mäta vattenföringen i avrinnande vattendrag. Istället får de uppmätta halterna ses som exempel på hur varpen påverkat yt- och grundvatten inom området. Det har varit svårt att hitta bra referenspunkter som är opåverkade av gruvverksamheten, i dessa områden har man försökt hitta brytvärd malm på de flesta ställen och mindre varphögar finns lite varstans.

Vattenprov har tagits i särskilt installerade grundvattenrör respektive i bäckar och diken. Grundvattenrören installerades hösten 2004 genom borrhning. Lägna för dessa visas i figur 11 och 16 samt i bilaga 3. Samtidigt togs prov av det genomborrade materialet för geokemisk analys. Grundvattenrören är i PEH-plast med 63 mm utvändig diameter och slitsade den understa metern. Vid Stora Lobergsgruvan var jorddjupet ringa, 0,9-1,7 m, vid de satta grundvattenrören. Här var också grundvattenytan ytligt belägen, mellan 0,2-0,8 m under markytan vid de tre provtagningstillfällena. Vid Blybergsgruvan nåddes berget endast i ett rör (på 1,7 m) och grundvattenytan ligger i allmänhet något djupare, 0,1- 1,5 m, under markytan och varierar dessutom mer mellan provtagningarna (bilaga 3).

Vattenprov har tagits vid tre tillfällen under 2005 (18-20 april; 30-31 augusti; 23-24 november). Vattnets temperatur, pH och elektrisk konduktivitet och mättes i fält. Syrehalten mättes vid den sista provtagningsomgången. Prov för metallanalys filtrerades i fält genom 0,045 µm filter, prov för anjoner, TOC, NH<sub>4</sub> och PO<sub>4</sub> filtrerades genom filter med 5µm porstorlek. Prov för alkalinitet, Si och NO<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub> togs utan någon filtrering. Provtagning har huvudsakligen genomförts enligt SGUs kvalitetssystem GDGvGkln3 och GDGvGkln4 (version 1.0). Metallanalyser utfördes på SGU medelst ICP-MS. SGUs laboratorium är ackrediterat för Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, U, V och Zn i vatten. Därutöver analyserade även As, Ba, Be, Bi, Cl, K, Mg, Na, P, Sb, Si, Sr, Tl och Zr på samma instrument. Övriga analyser utfördes enligt ackrediterade metoder på Institutionen för miljöanalys på SLU varvid alkalinitet och aciditet bestämdes genom titrering enligt SS-EN ISO 9963-2, utg 1, mod respektive St Methods 16<sup>th</sup> Ed; NH<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> enligt SS 028133, utg 2, mod Bran Luebbe, Method No: J-002-88B; NH<sub>4</sub> enligt Bran Luebbe Method No G-176-96 Rev 1; Si enligt Bran Luebbe, Industrial Method No 811-86T; PO<sub>4</sub> enligt Bran Luebbe, Method No: G-175-96 rev 2; jonkromatografi användes för F, Cl, SO<sub>4</sub> enligt SS EN ISO 10 304-1 utg 1 mod, TOC bestämdes med kolanalysator enligt SS-EN 1484, utg 1. Detta innebär att Cl respektive Si analyserades både på SLU och SGU.

Innan provtagningen tömdes grundvattenrören, ofta gjordes detta några timmar eller t.o.m. dagen innan provtagningen för att slampartiklar i vattnet skulle sedimentera eftersom en del vatten annars var svårfiltrerade. Vattnet uppfordrades med en handdriven peristaltisk pump, filtrering kunde ske genom att filtret anbringades direkt på pumpslangen så att luftkontakt innan filtrering undveks. För prov ur ytvatten togs vattnet upp och filtrerades m.h.a. en spruta (se även SGUs processbeskrivning). Utöver denna provtagning har rekognoserande mätningar av temperatur, elektrisk konduktivitet och pH utförts vid de inledande fältbesöken samt i maj 2006.



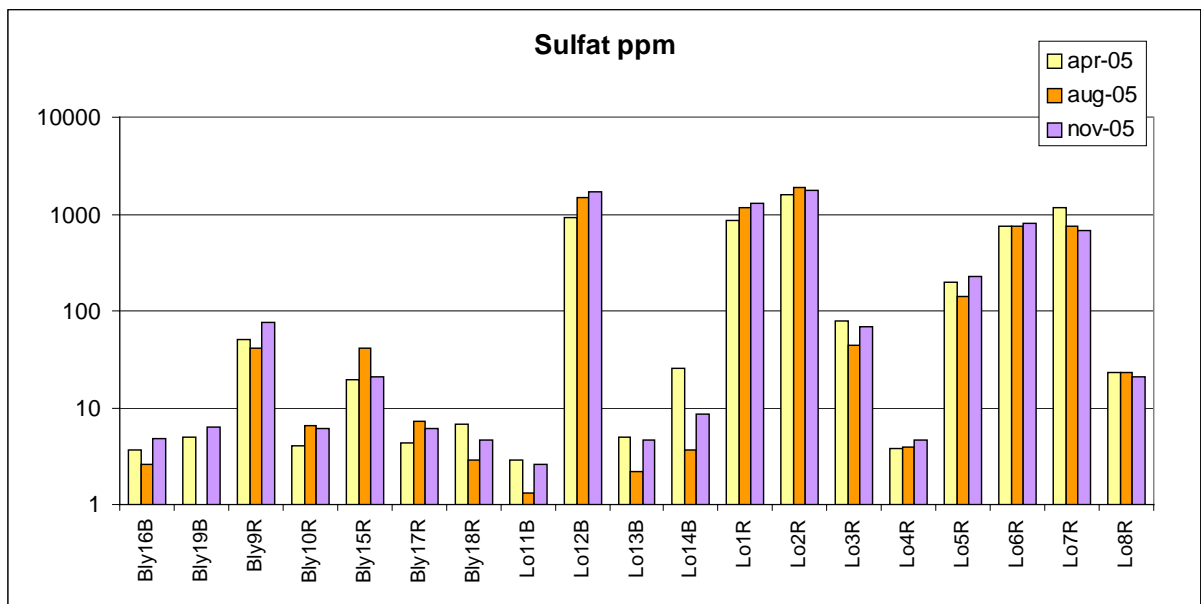
Figur 16. Utsnitt ur ekonomiska kartan över Stora Löbergsgruvan (överst) och Blybergsgruvan (nederst) med gruvhål, varphögarnas ungefärliga utbredning (svart, streckad linje) och grundvattenrörens placering (röd cirkel) samt plats för ytvattenprovtagning (blå romb).

Analysresultaten visas i bilaga 4. Den beräknade jonbalansen (skillnad mellan katjoner och anjoner) visar för en del prov relativt stora avvikelser. Eftersom balansberäkningen har utförts med hänsyn till komplexbildning bör avvikelserna i första hand kunna hänföras till

provbehandling och analys. De vatten som är påverkade av varphögarna har höga halter av en rad ämnen och det gör dem svåra att analysera. Ett exempel är de extrema halterna av F i några prov som skymde Cl-toppen vid analys som genomfördes m.h.a. jonkromatografi. Inga prov har emellertid uteslutits från de fortsatta beräkningarna p.g.a. bristande jonbalans.

Om man tillfälligtvis bortser från den påverkan som ges av den tidigare gruvverksamheten är vattnen i bägge områdena relativt jonsvaga. Cl-halten är på en nivå som ungefär motsvarar luftdepositionen. Det kan noteras att N-halterna, framförallt ammoniumkväve, är relativt höga och på flera provtagningspunkter i Loberget stigande (Lo12B, Lo1R, Lo6R och Lo7R). Detta är sannolikt en effekt av att skogen i området har avverkats vilket har lett till att kväve i avverkningsrester och mark har börjat mineraliseras.

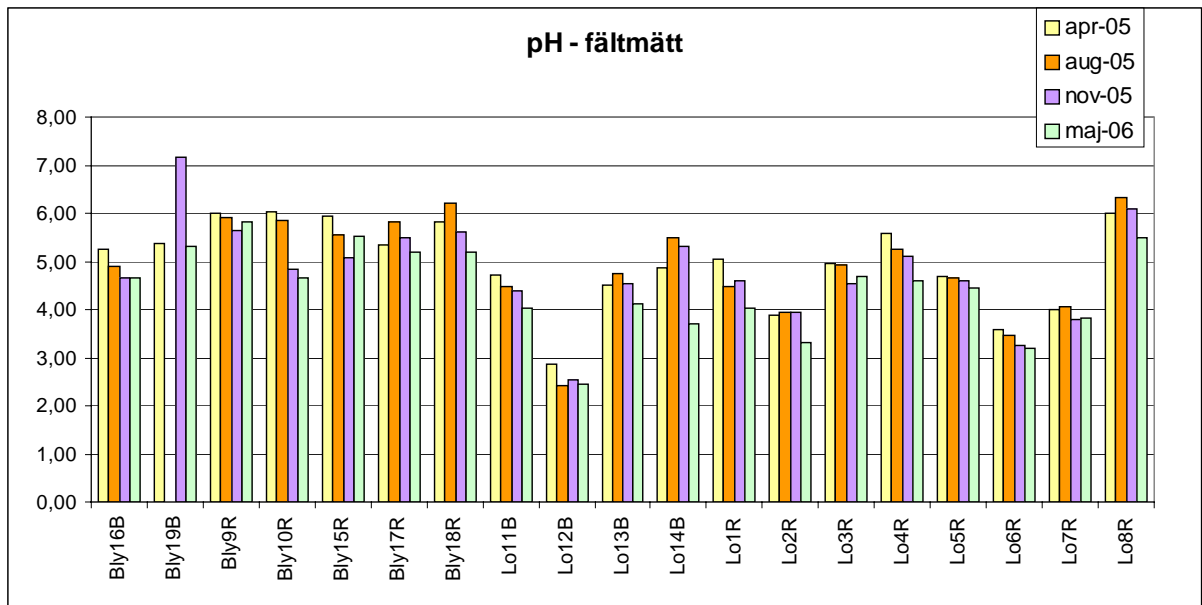
SO<sub>4</sub>-halterna motsvarar i några punkter depositionsnivån (under 10 mg/l) men är i många fall kraftigt påverkade (fig.17).



Figur 17. Sulfathalt i bäcker (B) och grundvatten (R) i Blyberget (Bly) respektive Loberget (Lo). Observera den logaritmiska skalan!

Detta gäller framförallt Loberget, men även i Blyberget (grundvattenrör Bly9R, Bly15R) finns ett tydligt inslag av sulfat från vittring av sulfidmineral. Mätning av pH visade generellt på högre pH-värden vid Blyberget än vid Loberget (fig. 18).

I flera punkter finns relativt stora variationer, upp till ca en pH-enhet, mellan de fyra olika provtagningsstillfällena. I Loberget förekommer pH-värden under 4 vid provpunkterna Lo12B, Lo1R och Lo6R samt vid något tillfälle även vid Lo7R och Lo14B. Särskilt låga pH-värden finns i bäcken som kommer ifrån varpområdet (Lo12B). I denna har pH-värden mellan 2,4 och 2,9 uppmätts. Sulfathalten i denna bäck är extremt hög; mellan ca 900-1700 mg/l. Lika höga sulfathalter finns i grundvattenrören Lo1R och LO2R men pH i dessa är betydligt högre; normalt kring 4 eller högre. Detta tyder på att buffringsprocesser i jordlagren är effektiva.



Figur 18. pH mätt direkt i fält i Blyberget (Bly) och Loberget (Lo). Prov från grundvattenrör (R) och bäckar (B)

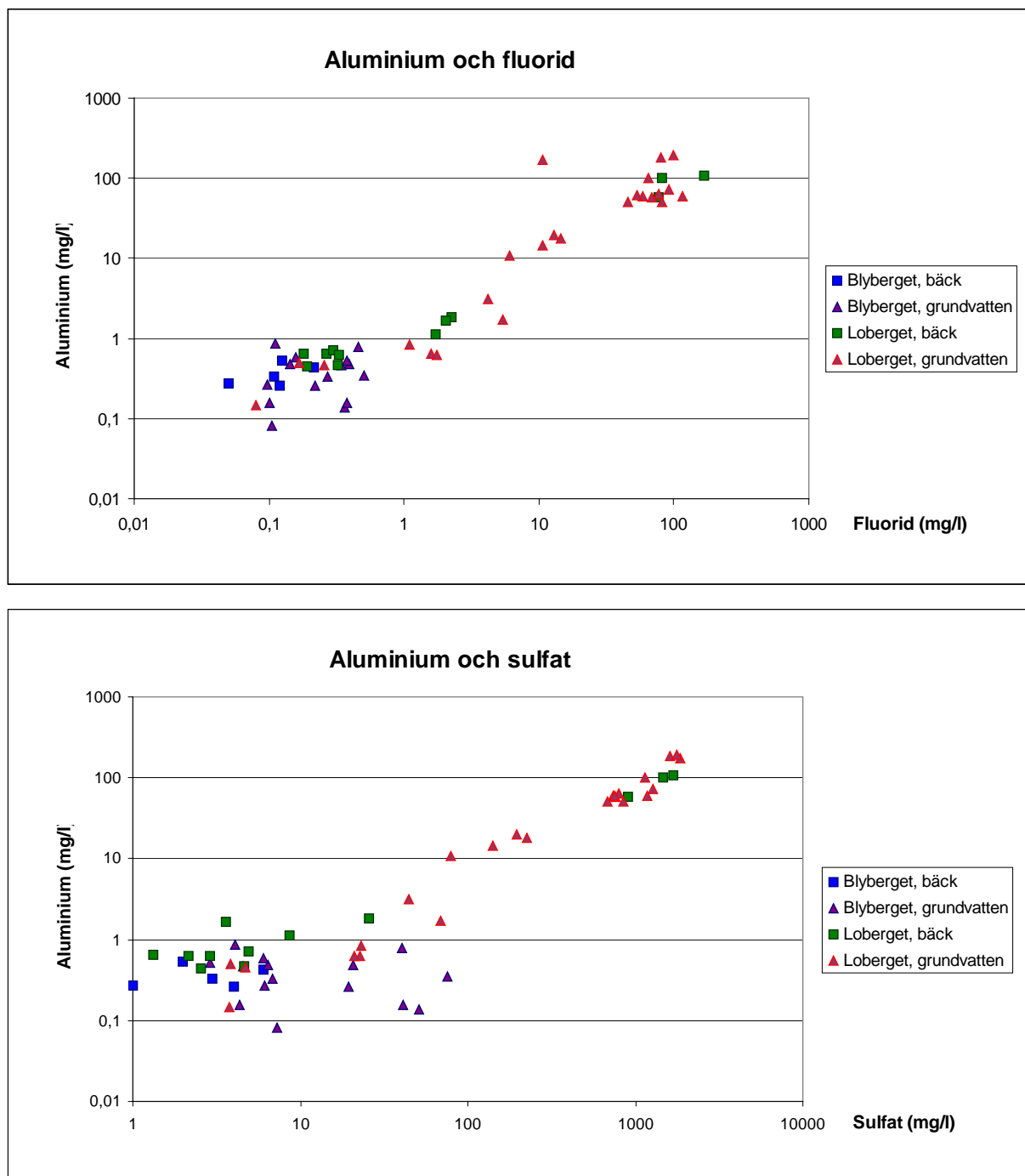
I de påverkade punkterna är halterna av en rad metaller förhöjda. Detta gäller framförallt Loberget. I Blyberget är det framförallt bly som kommer upp i höga halter, som mest kring 140 µg/l. Eftersom Socialstyrelsens hälsorelaterade riktlinje för bly är 10 µg/l måste grundvattnet i åtminstone jordlagren i Blyberget anses vara olämpligt som dricksvatten. Detta har också visats vid den tidigare undersökningen Blyberget som också innefattade en grävd brunn (Bäckström & Johansson 2003).

Jämviktsberäkningar avseende lösta komplex och undermättad respektive övermättad med olika mineralfaser har utförts med hjälp av beräkningsmodellen PHREEQC (Parkhurst & Appelo 1999). För beräkningarna antogs att det lösta organiska materialet (TOC) motsvarade 4,5 µEq/mg C (Cronan & Aiken 1985) i modellen satt som fulvosyror. Jämviktsberäkningarna indikerar att olika komplexbildningar bidrar till de höga halterna av vissa metaller i speciellt Loberget. Al komplexbinds lätt till F och de olika lösta F-komplexen dominerar både i Blyberget och Loberget enligt beräkningarna (fig. 19).

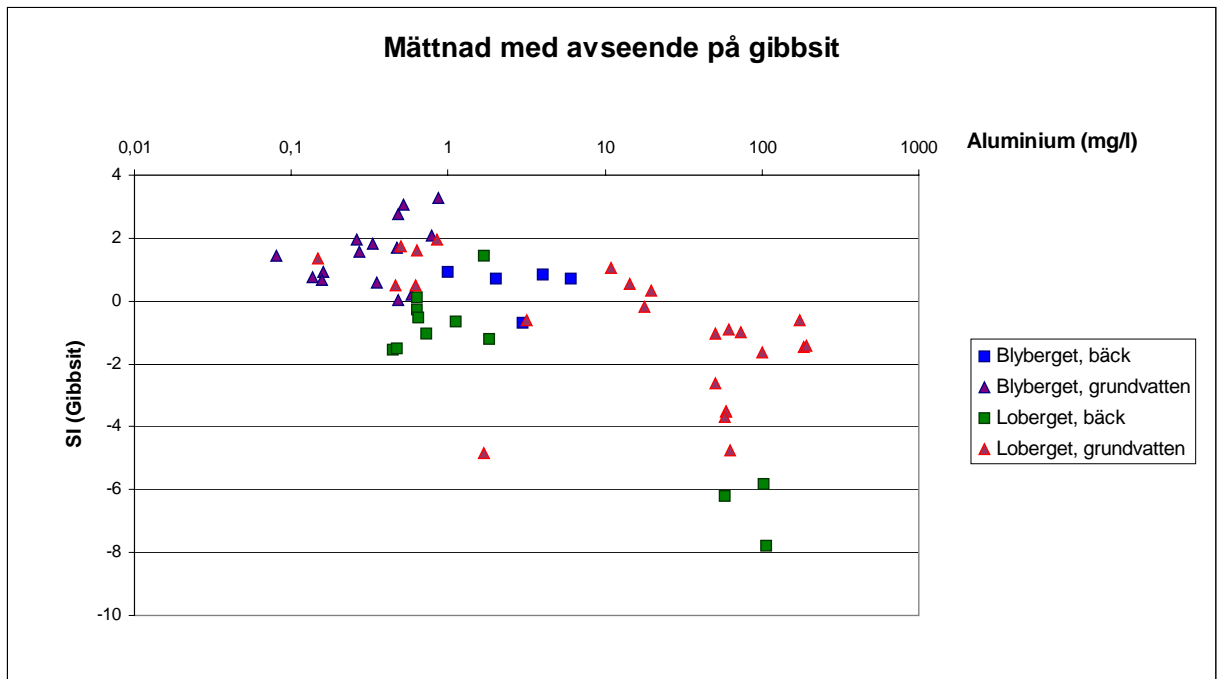
För grundvattnet i LO2R med den allra högsta Al-halten (medelvärde 183 mg/l) så komplexbinds enligt beräkningarna en stor del även av SO<sub>4</sub>. De höga halterna av F och SO<sub>4</sub> samverkar med det låga pH-värdet för att hålla Al i lösning och proven med höga aluminiumhalter kan beräknas vara starkt undermättade med avseende på fasta aluminiumfaser som t. ex gibbsit (fig 20 och 21).

Koppar komplexbinds starkt till organiskt material och kan beräknas förekomma nästan uteslutande som lösta komplex med organiska syror (fig. 22). Detta gäller även grundvattnet som innehåller en hel del organiskt kol (TOC). Vid de suraste provpunkterna i Loberget förekommer emellertid en betydande del av den lösta Cu som fria Cu-joner eller i sulfatkomplex. Kadmium och Pb kan beräknas förekomma i huvudsak som fria joner. Kadmium förekommer även som organiska komplex i bäckarna i Loberget och som sulfatkomplex i de mer påverkade provpunkterna. Även Pb förekommer som sulfatkomplex i





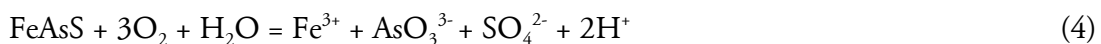
Figur 20. Totalhalter av fluorid, sulfat och aluminium (mg/l) i bäck- och grundvatten i Blyberget och Loberget vid de tre provtagningsomgångarna 2005.



Figur 21. Beräknad mättnadsgrad (SI= Saturation index) med avseende på ett gibbsitmineral. Positiva värden indikerar att vattnet är övermättat och att gibbsit ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) skulle kunna bildas; negativa värden visar att vattnet inte är mättat. Beräkningar med PHREEQC.

Reaktionerna (2) och (3) innebär dock att metalljoner frigörs och kan läcka ur bergarten. Reaktion (3) innebär att  $\text{Fe}^{2+}$  bildas vilket kan gå in i ett delsteg i reaktion (1) och ge upphov till protonbildning.

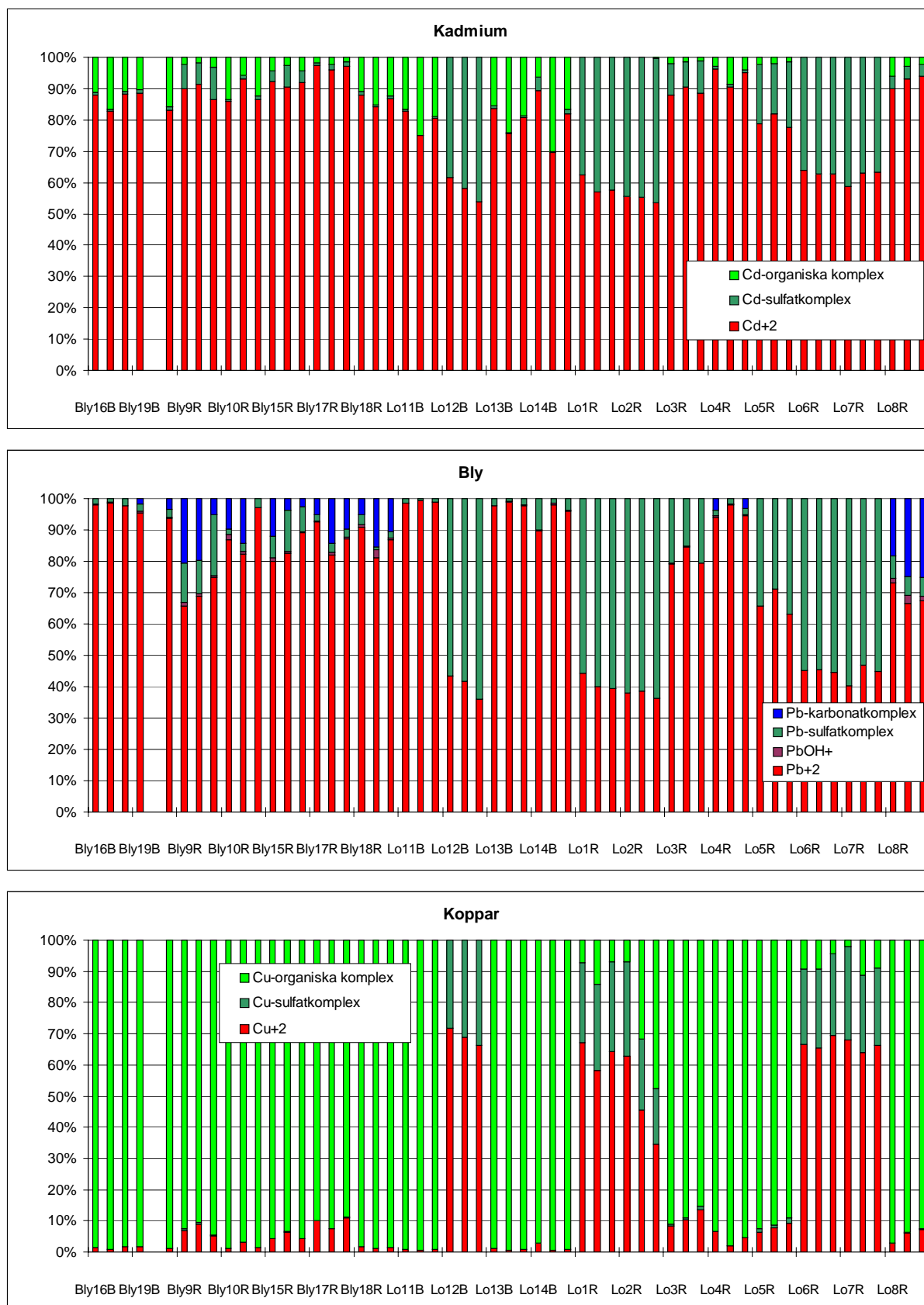
Arsenikkis,  $\text{FeAsS}$ , som förekommer i Stora Loberget, kan reagera:



I sur till svagt basisk miljö kommer arsenidjonen,  $\text{AsO}_3^{3-}$ , att reagera med protoner och bilda arseniksyrlighet,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ , som är en svag syra. Arsenidjonen är toxisk för de flesta livsformer.

En del av de reaktioner som sker i sulfidhaltigt gruvmaterial har sammanfattats av bl.a. Holmström (2000).

Som nämndes inledningsvis, tolkas mineraliseringarna ha bildats genom att varma, vattenbaserade lösningar omvandlade befintliga vulkaniter och eventuella kalkstenar och därvid också fällde ut t.ex. sulfidmineralen. Förutsatt att vulkaniterna vid objekten ursprungligen inte avvek alltför mycket i kemisk sammansättning från de i Bergslagen i övrigt, har åtminstone de grundämnen som plottar över värdet 1 i figur 7 tillförts. Eftersom tillförsel av vissa grundämnen innebär att halten av andra sjunker (dvs. att ursprunget späds ut) är det troligt att även de som har värden något under 1 har tillförts. Exakt var gränsen för tillförsel går är svårt att säga; i allmänhet anses att grundämnen som t.ex. Al, Ti och Zr är tämligen immobiliserade i malmbildande system, och möjligen har alltså de element som har högre värden än dessa i figur 7 tillförts, medan de med lägre värden urlakats.



Figur 22. Beräknad speciering av kadmium, bly och koppar. Alla komplex som bidrar till mer än 1 % i något prov har tagits med. Beräkningarna har utförts med PHREEQC.

Sammansättningarna från de två objekten visar i figur 7 tämligen likartade beteende; i båda fallen har de malmrelaterade grundämnena, t.ex. Cu, Pb, Zn och S, kraftigt anrikats jämfört med för Bergslagen normala metavulkaniter. Som väntat, med tanke på föreliggande mineralogi, är proverna från Stora Loberget relativt mer anrikade i Zn, Cd och As och mindre anrikade i Pb än de i Blyberget. Cu, Fe och S visar däremot samma grad av anrikning. Att element som t.ex. Al, Ti och Zr i proverna från Stora Loberget är relativt mindre anrikade än de från Blyberget kan antingen bero på skillnader i ursprunglig sammansättning eller grad av omvandling/mineralisering.

Moränen vid de båda objekten visar inte generellt någon anrikning av element p.g.a. gruvdriften, d.v.s. det är inte troligt att moränen i sig är förorenad. Däremot finns en viss naturlig anrikning av element, där elementassociationen avspeglar bergarternas sammansättning. De lakexperiment som utförts av moränproverna visar att de senare inte ger upphov till nämnvärt förhöjda metallhalter i vatten. De höga metallhalter (samt låga pH-värden, höga sulfathalter etc.) som uppmätts i grundvattenplymen härstammar med all sannolikhet från själva varpen. Teoretiskt skulle det låga pH-värdet även kunna leda till att metaller i moränen lakas ut och bidrar till de förhöjda metallhalterna, men det finns tecken som tyder på att så inte är fallet. Ett är t.ex. Ni – trots att det finns en del sådant i moränerna och att det lätt mobiliseras redan vid svagt sura förhållanden, är dess halt i grundvattenproven inte speciellt högt. Det kan jämföras med lakexperiment på sura sulfatjordar, där Ni-halterna lätt når hundratals eller t.o.m. ett par tusen µg/l.

Förekomst av flusspat som upplöstes i den sura miljön gav extrema F-halter i yt- och grundvatten vid Stora Loberget. Det innebär också att mycket stora mängder Al finns löst som F-komplex. F- och Al-halterna i grundvattnet förekommer i halter långt över de riktvärden som finns för enskild vattenförsörjning. Att även vittringen av silkatmineral påskyndas i den sura miljön indikeras av de relativt höga kiselhalter som finns i det avrinnade vattnet och det ytliga grundvattnet vid Stora Lobergsgruvan.

De resultat som framkommit visar att mätning med stångslingram i kombination med elektrisk resistivitetsmätning ger användbar information vid karakterisering av ett förorenat område. Med stångslingram var det möjligt relativt snabbt erhålla yttäckande information om markens ledningsförmåga och därigenom avgränsa det förorenade området. Resistivitetsmätning ger ytterligare information om variationer i marken på djupet.

Jämförelse mellan resultaten från de geofysiska mätningarna och analysen av grundvattnet i Stora Lobergsgruvan visar att låga pH och höga metallhalter sammanfaller med områdena med låg resistivitet från den geofysiska undersökningen.

De geokemiska undersökningarna av varp, mark, yt- och grundvatten visar på relativt logiska samband. I korthet kan man säga att de metaller och andra ämnen i varp som kan antas påverka miljön negativt också gör det. Halterna är höga, men transportlängden kort – vid Stora Lobergsgruvan avklingar halterna snabbt inom några tiotal meter. En viss spridning sker även via ytvattenavrinning, men eftersom vattnet passerar en närliggande torvmosse blir inte den spridningen heller speciellt betydande. Vid Blybergsgruvan är situationen lite mer svårbedömd p.g.a. brant topografi. Blyhaltigt grundvatten har påträffats i enskild brunn (Bäckström & Johansson 2003), vilket sannolikt delvis beror på vittring i varphögar men kanske även på att bakgrundshalten av Pb är förhöjd i området p.g.a. mineraliseringen.

Vid båda objekten är jordlagren relativt tunna. Detta gäller även andra områden som besöktes inför val av fältområde (Gåstjärnsgruvan, Vallbergsgruvorna och Öster Silvberg). Det är sannolikt att det är vanligt att äldre gruvor ofta ligger både relativt högt i terrängen och med måttliga jordtäcken eftersom man då lätt har kunnat påträffa fyndigheten. Ur ett hydrologiskt perspektiv innebär det att grundvattenflödet i jordlagren är begränsat och att mycket av vattnet dräneras relativt ytligt till bäcksystem. Det är emellertid möjligt att ett djupare grundvattenflöde med lång omsättningstid genom berggrunden är av kvantitativ betydelse. I Stora Loberget finns ett avspolat område som utgör "bäckfåra" för en del av avrinningen från varpområdet. Vid de besök som gjordes där var vattenföringen låg. De vattenprov som togs (Lo12B) var mycket starkt påverkade med pH-värde mellan 2,4 och 2,9 och höga metallhalter, t.ex. Al-halt kring 100 mg/l, Cu-halt upp till 15 mg/l och Cd-halt kring 100 µg/l. Det är sannolikt att en stor del av utflödet av metaller sker under korta perioder, t.ex. i samband med snösmältningen. Snösmältningen på de stora öppna varpytorna bör vara snabb liksom transporten genom varpen vilket leder till höga flöden och metalltransporter under korta perioder. Denna situation kan råda även på andra ställen.

I Blyberget är varpområdet betydligt mindre och dessutom överväxt. Ett något djupare jordtäckte ger större möjlighet till avrinning via grundvattnet i jordlager, även om ett mindre ytvattenflöde och sannolikt även grundvattenflöde genom berget är av betydelse. Att kvantifiera dessa flöden och transporten av metaller är inte möjligt utan mer omfattande undersökningar.

Resultaten visar att äldre gruvområden av dessa slag ger upphov till förorenade yt- och grundvatten.

## Tack till

Under de första två tredjedelarna av löptiden var Lars Söderberg ledare för det här projektet. Dag Fredriksson och Ulf Qvarfort deltog i de inledande planeringsmötena och Henning Holmström deltog under en senare del av projektet, bl.a. vid det sista fältarbetstillfället. Erik Jonsson utförde malmmikroskoperingen. Roger Smedberg satte tillsammans Joachim Albrecht grundvattenrören och Sven-Eric Gradstock genomförde vattenprovtagningen i augusti respektive november 2005. På SGU analyserades vattenproven av Torsten Liljefors. Thomas Sträng, Geosigma AB deltog vid några av de geofysiska undersökningarna.

## Referenser

- Bäckström, M. & Johansson, I., 2003: Översiktlig geokemisk undersökning (MIFO fas 2) av gruvavfall vid Blybergfältet, Ljusnarsbergs kommun. *Forskningscentrum Människa-Teknik-Miljö*, Örebro universitet. MTM 03-8 Rep.
- Cronan, C.S. & Aiken, G.R., 1985: Chemistry and transport of soluble humic substances in forested watersheds of the Adirondack Park, New York. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 49, 1697-1705.
- Dahlin, T. 1993. On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Doktorsavhandling, Lunds universitet, 187 s.

- Herbert, R.B., 1995: The Geochemistry of Groundwater and Soils Contaminated by Acid Mine Leachate. Doktorsavhandling, Uppsala universitet, 33 s.
- Hjelmqvist, S. & Lundqvist, G., 1953: Beskrivning till kartbladet Säter. *Sveriges geologiska undersökning Aa 194*, 97 s.
- Holmström, H., 2000: Geochemical processes in sulphide mine tailings. Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet, 2000:03, 26 s.
- Krauskopf, K.B. & Bird, D.K., 1995: Introduction to geochemistry, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, 647 s.
- Lind, B., 1990: The role of sediment structures for determining the saturated hydraulic conductivity of till. I (S. Haldorsen, red.): Hydrogeological properties of Nordic tills. *Nordic hydrological programme*. NHP Report No 25.
- Lundin, L., 1982: Soil moisture and groundwater in till soil and the significance of soil type for runoff. UNGI Rapport No 56.
- Lundqvist, T., 1979: The Precambrian of Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning C 768*, 87 s.
- Magnusson, N.H., 1936: The evolution of the lower Archean rocks in central Sweden and their iron, manganese, and sulphide ores. *Quarterly Journal of the Geological Society of London 367*, 332-359.
- Magnusson, N.H., 1940: Ljusnarsbergs malmtrakt. Sveriges geologiska undersökning Ca 30, 188 s.
- Magnusson, N.H. & Lundqvist, G., 1932: Beskrivning till kartbladet Nya Kopparberget. *Sveriges geologiska undersökning Aa 175*, 91 s.
- Parkhurst, D.L. & Appelo, C.A.J., 1999: User's guide to PHREEQC (Version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. Water-Resources Investigations Report 99-4259. U.S. Geological Survey.
- Persson, C., 2002: Sveriges jordartsområden. I C. Fredén (red.): Berg och jord. Sveriges Nationalatlas, 3:e utg., 143-149.
- Ripa, M., 1998: Beskrivning till berggrundskartan Säfsnäs SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 190*, 77 s.
- Roberts, R.G. & Sheahan, P.A., 1988: Ore deposit models. Geological Association of Canada, reprint series 3, 194 s.
- Sheahan, P.A. & Cherry, M.E., 1993: Ore deposit models II. Geological Association of Canada, reprint series 6, 154 s.
- Singer, P. & Stumm, W., 1970: Acidic mine drainage: The rate controlling step. *Science 167*, 1121-1123.
- Strömberg, A., 1996: Berggrundskartan 12F Ludvika NO, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Af 174*.

Tegengren, F.R. m.fl., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca 17*, 406 s.

Triumpf, C.-A., 1992: Geofysik för Geotekniker. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm, ISBN 91-540-5493-1.

Bilaga 1. Varpprovernas kemiska sammansättning. Oxider, LOI, oxid, C och S i vikt-%, övriga i ppm. Alla prov-id ska ha prefixet cmr05.

prov_id	7001a	7001b	7002a	7003a	7004a	7005a	7006a	7007a	7008a
NS	6651813	6651813	6651661	6651530	6651484	6689359	6689377	6689297	6689451
OV	1449889	1449889	1449831	1449789	1449770	1484767	1484742	1484757	1484856
Objekt	Blyberg	Blyberg	Blyberg	Blyberg	Blyberg	Loberget	Loberget	Loberget	Loberget
SiO <sub>2</sub>	3,16	12,11	12,82	18,53	3,48	2,43	5,59	45,68	2,67
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	1,23	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,64	6,89	3,5	5,9	1,65	0,8	2,21	14,85	1,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,11	54,5	64,91	52,27	45,15	57,76	64,15	15,84	57,39
MgO	2,21	2,65	2,93	11,04	2,81	0,36	0,69	4,05	0,87
CaO	2,94	11,73	3,85	1,52	19,05	22,12	13,88	10,19	23,21
MnO	0,15	0,08	0,11	0,07	0,1	0,03	0,04	0,33	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,4	0,1	0,01	0,02	0,07	3,21	0,03
K <sub>2</sub> O	0,68	0,84	0,6	4,68	0,04	0,04	0,04	0,86	0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,47	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,009	0,002	0,001	0,007	0,002	0,002	0,008	0,001
LOI	0,4	5,6	8,6	5,1	7	3,1	6,4	1,9	1,6
oxid	66,38	94,55	97,79	99,26	79,3	86,69	93,11	98,63	87,31
C	0,6	0,01	0,01	0,01	0,15	0,18	0,01	0,15	0,01
S	10,72	15,88	19,22	12,62	18,08	22,98	23,43	1,95	23,39
Ag	60,6	12,3	16,7	2,9	21,3	1,6	2,3	6,8	1,3
As	1,2	3,8	<0,5	1,2	560,8	292,7	2530,9	496,8	4203,2
Au	10,5	9,6	9,6	5,4	60,5	41,7	163,6	185,8	78,5
Ba	1856	3348,9	171,9	832,7	31	5,1	7,5	208,2	24
Be	<1	4	<1	<1	9	<1	1	<1	1
Bi	7,9	33,8	149,2	22,8	1,5	9,2	13,8	54	6,7
Cd	18	1,8	0,9	0,3	10,3	72,3	4,3	6,9	29,1
Co	20,2	144,6	42,3	27,4	4,1	68,3	663,8	193,5	754,7
Cs	0,4	0,9	2	15,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,5
Cu	2213,5	3241,4	3223,2	2437,6	7058,5	1006,5	2924,4	7898,4	2881,9
Ga	10	18,2	12,2	21,4	7,5	2,6	8,9	18,7	3,7
Hf	1,1	4,5	<0,5	1,4	<0,5	<0,5	0,8	2	0,5
Hg	0,7	0,11	0,16	0,01	0,08	0,14	0,01	0,01	0,06
Mo	1,5	1,3	4,5	0,9	0,7	10,7	66	6,2	2,7
Nb	3,2	11	3,8	7,3	0,6	<0,5	2,5	5,9	1
Ni	6,9	13	23,9	13	7,4	6,9	8,7	2,6	12,8
Pb	>10000	>10000	>10000	2898,1	>10000	357	128,5	446,5	56,1
Rb	27,5	38	24,3	263,5	<0,5	0,6	<0,5	17,5	8,1
Sb	104,4	26,2	0,5	0,3	24,5	0,6	0,4	0,7	0,4
Sc	1	6	3	1	1	1	1	26	1
Se	<0,5	0,7	13,5	1,6	0,7	2	2,2	0,8	2,5
Sn	1	5	6	<1	<1	<1	<1	4	<1
Sr	9,9	45,3	5,9	6,1	3,3	20,5	20,8	82,5	16,5
Ta	0,2	0,8	0,4	0,4	<0,1	<0,1	0,2	0,2	0,1
Th	2,3	10,6	1,5	3,7	<0,1	0,3	2,1	4,3	0,7
Tl	0,5	0,6	0,8	1	2,9	<0,1	<0,1	0,1	0,1
U	0,8	6,4	1,4	4,3	2	0,5	1,4	1,4	0,7
V	<5	<5	32	7	7	6	5	216	6
W	305,8	101,2	1126,7	31,8	10,3	14,5	8,9	1,2	6,6
Y	13,5	142,4	52,8	17,9	70,8	85,4	80,2	38,5	78,3
Zn	915	495	171	71	996	>10000	1225	2676	9603
Zr	27,4	116,8	12,8	39,8	0,8	3,7	14,7	78,1	16,3
La	23,2	789,3	65,4	25,1	75,2	92,6	41,4	13,6	157
Ce	42,6	1463,5	112,3	58,8	142,9	165,1	83,1	32,3	253,2
Pr	4	144,8	12,3	6,72	15,7	19,54	9,91	4,22	28,23
Nd	14	526,8	48,2	29,6	64,5	78,6	43,1	18,4	116,2
Sm	2,8	96,5	14,2	5,6	15,5	23,9	13,1	5,6	31,9
Eu	0,56	23,26	5,77	0,53	3,54	3,14	1,95	2,8	8,81
Gd	2,54	59,82	11,75	4,76	14,24	25,12	14,31	4,83	34,87
Tb	0,44	6,82	2,05	0,7	2,39	3,95	2,46	1,08	5,72
Dy	1,97	25,79	10,03	3,53	9,91	16,14	13,35	6,38	22,92
Ho	0,41	3,75	1,34	0,47	1,37	1,77	1,67	1,21	2,41
Er	1,23	9,14	4,11	1,43	3,03	3,53	3,83	3,91	4,17
Tm	0,15	1,07	0,41	0,16	0,31	0,33	0,33	0,42	0,31
Yb	0,87	6,55	2,8	1,03	1,9	1,88	2,13	2,92	2,02
Lu	0,2	0,84	0,46	0,15	0,22	0,32	0,35	0,5	0,32

Bilaga 2. Kvalitetskontroll analysmetod 7M HNO<sub>3</sub>/ICP-MS

Element	Medel	Stdav	Stdav %	Haltsort
Ag	0,040	0,007	17	mg kg <sup>-1</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,210	0,136	6	%
As	1,08	0,07	6	mg kg <sup>-1</sup>
BaO	84	1	2	mg kg <sup>-1</sup>
Be	0,49	0,04	8	mg kg <sup>-1</sup>
Bi	0,044	0,008	18	mg kg <sup>-1</sup>
CaO	0,520	0,033	6	%
Cd	0,034	0,002	7	mg kg <sup>-1</sup>
Co	8,9	0,5	6	mg kg <sup>-1</sup>
Cr	21,7	3,2	15	mg kg <sup>-1</sup>
Cu	28,4	1,1	4	mg kg <sup>-1</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,29	0,169	7	%
K <sub>2</sub> O	0,255	0,016	6	%
La	17,8	2,0	11	mg kg <sup>-1</sup>
Li	10,2	0,8	8	mg kg <sup>-1</sup>
MgO	0,935	0,030	3	%
MnO	272	15	6	mg kg <sup>-1</sup>
Mo	0,21	0,01	3	mg kg <sup>-1</sup>
Na <sub>2</sub> O	206	20	10	mg kg <sup>-1</sup>
Ni	17,3	0,9	5	mg kg <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,254	0,009	4	%
Pb	3,9	0,2	5	mg kg <sup>-1</sup>
Rb	19,6	2,0	10	mg kg <sup>-1</sup>
S (34)	45	26	57	mg kg <sup>-1</sup>
Se	0,12	0,03	24	mg kg <sup>-1</sup>
Si 29	286	58	20	mg kg <sup>-1</sup>
Sn	0,31	0,04	11	mg kg <sup>-1</sup>
Sr	12,8	2,4	19	mg kg <sup>-1</sup>
Th	5,9	0,3	5	mg kg <sup>-1</sup>
TiO <sub>2</sub>	0,181	0,011	6	%
Tl	0,115	0,005	5	mg kg <sup>-1</sup>
U	1,2	0,1	5	mg kg <sup>-1</sup>
V	30,5	5,1	17	mg kg <sup>-1</sup>
W	0,065	0,007	10	mg kg <sup>-1</sup>
Y	7,7	1,2	15	mg kg <sup>-1</sup>
Zn	18,5	0,6	3	mg kg <sup>-1</sup>
Zr	1,9	0,2	12	mg kg <sup>-1</sup>

Bilaga 3. Grundvattenrör i Blyberget respektive Stora Loberget. Grundvattenrörens lägen anges enligt RT90. Ingen absolut inmätning av höjden har utförts utan en relativ skala har använts där röröverkanten för rör 3 i varje område har satts till 10 meter. Resultaten från mätningarna vid de tre provtagningsstillfällena 2005 anges.

	X	Y	Relativ höjd, cm			Avstånd, cm			Mätvärde, cm				
			Röröverkant	Markyta	Grundvattenyta	Djup till grundvattenytan under markyta			Djup till grundvattenytan från röröverkant				
Blybergsgruvan					19 apr	30 aug	22 nov	19 apr	30 aug	22 nov	19 apr	30 aug	22 nov
Bly 17; Rör 3	1449702	6651530	1000	970	879	815	848	91	155	122	121	185	152
Bly 18; Rör 8	1449805	6651654	995,5	945,5	899,5	886,5	909,5	46	59	36	96	109	86
Gammalt rör norr om vägen			788				749						39
Bly 15; Rör 5	1449930	6651798	777,5	712,5		609,5	681,5		103	31		168	96
Gammalt rör söder om vägen			723				705						18
Bly 10; Rör 6	1449958	6651835	693,5	598,5	569,5	527,5	567,5	29	71	31	124	166	126
Bly 9; Rör 4	1449923	6651753	658,5	613,5	599,5	486,5	579,5	14	127	34	59	172	79

	X	Y	Relativ höjd, cm			Avstånd, cm			Mätvärde, cm				
			Röröverkant	Markyta	Grundvattenyta	Djup till grundvattenytan under markyta			Djup till grundvattenytan från röröverkant				
Stora Lobergsgruvan					19 apr	30 aug	22 nov	19 apr	30 aug	22 nov	19 apr	30 aug	22 nov
Lo 8; Rör 9	1484666	6689307	1490	1400	1379	1375	1368	21	25	32	111	115	122
Lo 2; Rör 2	1484842	6689383	1054	914	882	883	875	32	31	39	172	171	179
Lo 4; Rör 1	1484875	6689349	1039,5	914,5	868,5	868,5	868,5	46	46	46	171	171	171
Lo 3; Rör 7	1484849	6689331	1029,5	979,5	929,5	930,5	943,5	50	49	36	100	99	86
Lo 1; Rör 3	1484824	6689414	1000	880	853	847	847	27	33	33	147	153	153
Lo 7; (Rör 6)	1484850	6689369	901	791	885	885	883						
Lo 6; Rör 4	1484898	6689397	813,5	723,5	673,5	675,5	670,5	50	48	53	140	138	143
Lo 5; Rör 5	1484874	6689425	790,5	710,5	634,5	636,5	634,5	76	74	76	156	154	156

Bilaga 4. Vattenanalyser från grundvattenrör och ytvatten. Provmgång 1 (April 2005; Nr 101-119), Provmgång 2 (Augusti 2005; Nr 201-218), Provmgång 3 (November 2005; Nr 301-319).

Id	Station	x	y	Nr	Temp	pH	Kond	SYRE	Alkalinitet	Sulfat	Klorid I	Fluorid	TOC	Si	PO4-P	NO2+NO3	NH4-N
					°C				mekv/l								
Bly16B	Bäck utanför området	1449950	6651872	116	3,0	5,24			-0,013	3,7	1,1	0,05	9,6	2,53	3	7	13
Bly16B				216	11,1	4,91	18		-0,021	2,6	1,6	0,13	17,3	3,59	1	4	13
Bly16B				316	4	4,67	19	4,48		-0,018	4,8	1,6	0,11	11,9	3,68	3	3
Bly19B	Bäck vid väg torr	1449805	6651630	119	1,3	5,36			0,004	5,0	1,4	0,12	8,9	2,92	4	24	17
Bly19B				319	5,4	5,17	24	3,3	0,009	6,4	2,0	0,21	15,7	4,17	4	3	12
Bly9R				Rör 4	1449923	6651753	109	5,6	6,00			0,297	50,8	2,2	0,36	2,7	4,38
Bly9R				209	12,3	5,9	137		0,279	41,0	2,5	0,38	1,6	4,50	3	2	22
Bly9R				309	6,8	5,63	214	4,9	0,084	75,3	4,1	0,50	3,2	5,13	5	1	4
Bly10R	Rör 6	1449958	6651835	110	3,5	6,03			0,069	4,1	1,4	0,11	15,4	4,10	13	18	42
Bly10R				210	12,2	5,85	41		0,173	6,4	1,4	0,14	4,3	5,46	13	2	27
Bly10R				310	6,2	4,83	42	2,18		-0,002	6,1	2,1	0,16	13,4	3,61	4	1
Bly15R	Rör 5	1449930	6651798	115	3,7	5,93			0,133	19,3	1,6	0,22	4,5	4,11	6	19	115
Bly15R				215	13,3	5,54	123		0,057	40,7	1,3	0,46	2,7	5,07	3	23	12
Bly15R				315	6,4	5,07	82	3,82		0,027	20,5	2,0	0,40	3,7	4,04	4	34
Bly17R	Rör 3	1449702	6651530	117	5,9	5,35			0,062	4,3	1,2	0,10	1,2	2,90	4	8	21
Bly17R				217	12,3	5,82	37		0,163	7,3	1,5	0,10	1,7	8,53	7	8	50
Bly17R				317	7,1	5,49	23	3,55		0,129	6,1	1,4	0,10	1,2	4,01	10	2
Bly18R	Rör 8	1449805	6651654	118	3,6	5,81			0,023	6,8	1,6	0,27	11,0	3,62	10	15	108
Bly18R				218	11	6,22	42		0,132	2,9	1,4	0,38	12,6	3,60	1	2	27
Bly18R				318	6,3	5,61	27	1,15		0,097	4,6	1,9	0,34	12,8	4,12	12	3
Lo11B	Bäck utanför området	1484782	6689501	111	3,1	4,72			-0,061	2,9	1,0	0,18	19,8	3,40	4	10	27
Lo11B				211	12,9	4,47	33		-0,123	1,3	2,3	0,26	43,5	3,69	2	5	31
Lo11B				311	3,1	4,39	29	6,05		-0,060	2,6	2,3	0,19	31,1	4,72	4	2
Lo12B	Bäck från varphögar	1484889	6689377	112	5,1	2,86			-4,81	908		76,38	4,1	10,30	17	97	813
Lo12B				212	16,5	2,42	2361		-9,43	1464	0,7	81,66	5,8	18,08	14	16	1113
Lo12B				312	1,2	2,53	2595	12,26		-9,83	1689	0,9	167	6,8	16,78	27	205
Lo13B	Bäck nedanför hygge och varp	1484875	6689446	113	2,6	4,50			-0,061	4,9	1,0	0,30	21,3	3,37	3	12	23
Lo13B				213	12,8	4,76	28		-0,132	2,2	2,2	0,33	38,2	4,11	2	6	30
Lo13B				313	2,8	4,53	27	6,81		-0,057	4,6	2,2	0,32	28,1	4,65	4	5
Lo14B	Bäck nedströms området	1485342	6689602	114	3,3	4,86			-0,068	25,8	1,4	2,27	10,2	4,41	5	17	231
Lo14B				214	16,6	5,49	60		-0,133	3,6	3,0	2,05	69,0	4,12	9	35	84
Lo14B				314	2,9	5,31	41	5,71		-0,021	8,7	3,6	1,70	27,2	5,25	8	3
Lo1R	Rör 3	1484824	6689414	101	5,3	5,04			-0,158	854		81,71	3,3	6,78	16	21	278
Lo1R				201	13,8	4,48	1583		-1,024	1174	0,3	116,2	2,4	11,98	9	9	449
Lo1R				301	3,5	4,61	1728	1,83		-0,643	1276	0,2	91,10	2,8	10,57	14	15
Lo2R	Rör 2	1484842	6689383	102	6,7	3,87			-16,5	1606		80,01	12,9	12,95	41	10	44
Lo2R				202	13,3	3,95	2043		-14,7	1866	1,4	10,61	12,7	20,04	33	12	67
Lo2R				302	5,5	3,94	2080	6,6		-15,2	1754	1,1	99,65	15,1	20,28	41	18
Lo3R	Rör 7	1484849	6689331	103	3,5	4,96			-0,279	79,2	2,1	6,11	2,4	7,41	11	8	9
Lo3R				203	12,1	4,92	127		-0,304	44,7	2,5	4,17	1,8	6,36	4	29	7
Lo3R				303	6,9	4,55	122	4,37		-0,337	69,0	2,7	5,41	1,8	7,63	9	4
Lo4R	Rör 1	1484875	6689349	104	5,7	5,57			0,034	3,7	1,6	0,08	2,4	4,82	8	10	17
Lo4R				204	17,3	5,26	41		-0,013	3,9	2,1	0,17	8,3	8,16	10	1	43
Lo4R				304	6	5,09	54	5,24		0,023	4,7	2,6	0,26	3,7	6,18	13	5
Lo5R	Rör 5	1484874	6689425	105	6,0	4,69			-0,872	196	2,5	12,82	4,5	6,65	8	5	16
Lo5R				205	13,9	4,67	287		-0,762	141	2,9	10,73	3,8	7,71	4	7	15
Lo5R				305	6,7	4,6	417	5,7		-1,04	224	3,6	14,54	3,7	6,76	8	8
Lo6R	Rör 4	1484898	6689397	106	2,9	3,57			-3,13	741		58,46	3,6	10,13	24	149	106
Lo6R				206	13,1	3,47	1154		-3,35	756	0,4	68,75	4,1	18,40	17	11	237
Lo6R				306	6,4	3,26	1242	1,68		-3,36	795	0,5	76,62	4,3	17,17	26	18
Lo7R	Rör 6-sönderkört	1484850	6689369	107	3,9	3,99			-7,08	1147		64,57	9,0	11,69	39	86	220
Lo7R				207	19,8	4,05	1005		-5,66	753	0,9	53,09	15,0	14,80	7	9	508
Lo7R				307	5,7	3,79	775	0,98		-4,83	684	0,9	45,76	15,4	12,89	22	8
Lo8R	Rör 9	1484666	6689307	108	4,6	6,01			0,231	23,1	2,8	1,09	5,1	3,95	10	13	46
Lo8R				208	10,1	6,33	95		0,23	22,7	1,7	1,58	2,3	4,96	2	2	16
Lo8R				308	7,7	6,09	96	3,7		0,309	21,1	1,4	1,76	1,9	4,98	6	6

## Bilaga 4, forts.

Id	Nr	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Cl	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Na
		µg/l				mg/l	µg/l	mg/l	µg/l				mg/l	µg/l		mg/l		
Bly16B	116	275	0,19	11,3	0,03	0,002	1,1	0,01	1,2	0,8	0,5	1,6	338	0,16	0,33	27	0,03	0,59
Bly16B	216	538	0,24	21,4	0,05	0,006	1,8	0,0	1,3	2	0,91	2	632	0,1	0,6	46,3	0,04	1,3
Bly16B	316	330	0,20	16,3	0,05	0,01	1,6	0,03	1,9	1	0,50	2	469	0,3	0,5	34	0,05	1,2
Bly19B	119	261	0,14	9,7	0,05	0,014	1,4	0,05	1,4	0,7	0,3	2,7	395	0,39	0,48	21	0,03	0,92
Bly19B	torr																	
Bly19B	319	431	0,19	17,2	0,26	0,04	2,5	0,09	1,9	1	0,53	4	721	0,4	0,8	39	0,05	1,4
Bly9R	109	138	0,13	36,9	0,07	0,000	14,7	0,01	1,5	6,3	0,1	0,5	3355	0,98	2,6	483	0,16	1,28
Bly9R	209	158	0,00	44,6	0,14	0,002	14,9	0,0	1,9	2	0,12	3	85	2,1	3,0	122	0,10	2,5
Bly9R	309	350	0,08	65,8	0,06	0,00	23,1	0,06	2,9	2	0,07	3	25	1,5	3,9	32	0,08	2,3
Bly10R	110	861	0,28	14,0	0,05	0,007	1,3	0,02	1,5	1,6	1,5	1,1	6162	0,47	0,68	96	0,33	0,92
Bly10R	210	484	0,01	25,8	0,00	0,011	1,8	0,0	1,2	1	1,36	2	743	3,0	1,1	202	0,31	2,5
Bly10R	310	586	0,25	24,2	0,14	0,00	1,8	0,07	1,9	2	0,90	2	616	0,3	0,8	31	0,06	1,6
Bly15R	115	260	0,09	16,1	0,03	0,002	4,5	0,04	1,3	4,0	0,3	4,6	3129	0,20	1,11	125	0,17	1,21
Bly15R	215	787	0,06	61,5	0,55	0,012	10,4	0,4	1,7	6	0,52	9	635	0,8	2,8	139	0,11	2,6
Bly15R	315	480	0,07	25,3	0,12	0,00	5,8	0,17	1,8	3	0,12	14	44	0,1	1,2	18	0,04	1,8
Bly17R	117	156	0,01	35,0	0,10	0,000	1,5	0,01	1,3	1,9	0,0	1,1	23,8	0,44	0,34	50	0,02	0,55
Bly17R	217	81	0,01	20,9	0,00	0,001	3,7	0,0	1,2	1	0,11	6	98	0,5	1,0	33,0	0,08	1,2
Bly17R	317	269	0,05	15,6	0,16	0,01	2,8	0,01	1,5	1	0,21	2	194	0,3	0,7	36	0,07	1,0
Bly18R	118	332	0,16	14,7	0,02	0,050	1,6	0,09	1,6	1,2	0,6	3,3	2344	0,30	0,55	57	0,09	0,90
Bly18R	218	521	0,22	19,9	0,07	0,045	2,3	0,1	1,1	1	1,31	4	3080	0,8	0,8	74,0	0,12	1,7
Bly18R	318	471	0,23	19,9	0,08	0,04	2,5	0,09	1,8	1	1,14	5	1868	0,6	0,8	82	0,09	1,4
Lo11B	111	635	1,54	6,5	0,05	0,072	1,3	0,04	1,0	1,3	0,4	13,9	984	0,14	0,30	26	0,02	0,73
Lo11B	211	648	6,46	16,0	0,07	0,134	2,5	0,1	1,9	2	0,83	13	2979	0,5	0,7	40,5	0,06	1,7
Lo11B	311	445	2,96	11,5	0,00	0,07	2,1	0,04	1,9	1	0,54	6	1745	0,4	0,6	38	0,05	1,3
Lo12B	112	57864	1,21	6,2	1,72	0,001	160,0	52,0	0,2	1728	4,3	7228	30576	0,60	18,0	2398	0,02	3,49
Lo12B	212	101401	3,57	8,6	4,12	0,002	196,8	102,6	0,9	3301	9,05	13177	55438	0,9	43,2	3846	0,01	8,4
Lo12B	312	105814	3,51	6,5	5,02	0,00	212,6	121,3	1,3	4101	13,24	15597	89552	1,6	53,2	4655	0,02	9,7
Lo13B	113	719	2,95	6,4	0,04	0,083	1,8	0,2	0,9	3,2	0,4	12,8	1045	0,13	0,35	38	0,03	0,67
Lo13B	213	627	10,78	14,4	0,09	0,119	2,7	0,0	1,9	3	0,78	11	3719	0,4	0,7	50,8	0,06	1,7
Lo13B	313	471	3,61	10,8	0,15	0,11	2,5	0,06	1,9	3	0,43	8	1882	0,4	0,6	51	0,07	1,3
Lo14B	114	1823	0,40	4,7	0,11	0,011	5,4	0,4	0,7	18,0	0,3	57,9	1488	0,25	0,86	78	0,02	0,75
Lo14B	214	1679	2,75	8,0	0,16	0,044	6,5	0,2	2,4	26	2,75	148	16672	1,0	1,1	83,9	0,07	1,4
Lo14B	314	1113	0,79	3,9	0,05	0,02	3,8	0,18	3,0	12	1,02	88	4650	1,0	0,6	52	0,06	1,2
Lo1R	101	50679	11,0	17,4	1,65	0,028	195,3	0,7	1,1	248	0,2	1,5	58402	4,08	27,6	3196	0,03	2,64
Lo1R	201	59431	5,21	30,7	2,73	0,030	265,8	1,8	0,6	513	0,38	14	10283	5,8	44,3	4212	0,01	4,3
Lo1R	301	73119	9,44	23,1	2,68	0,10	303,2	2,70	0,8	621	0,38	11	12520	4,3	48,3	4872	0,04	3,9
Lo2R	102	184461	1,82	14,2	5,88	0,004	169,4	79,9	0,7	2074	2,0	8725	9971	0,46	36,5	4015	0,05	3,27
Lo2R	202	172411	3,35	22,5	10,58	0,002	194,7	97,8	1,3	2589	2,72	10239	1849	1,2	53,7	4506	0,04	6,2
Lo2R	302	193575	2,65	18,0	11,23	0,01	185,4	89,93	1,4	2353	2,56	10073	446	0,9	43,1	4391	0,03	4,7
Lo3R	103	10966	0,12	36,3	0,67	0,000	12,5	4,9	1,2	130	0,4	42,3	63,4	0,15	1,53	241	0,01	1,36
Lo3R	203	3135	0,08	42,1	0,62	0,000	7,4	3,0	1,6	69	0,37	49	84	0,3	1,0	147	0,02	2,2
Lo3R	303	1701	0,15	39,9	1,41	0,00	12,8	4,34	1,7	113	0,61	123	37	0,3	1,3	396	0,03	1,6
Lo4R	104	149	0,09	21,8	0,01	0,000	0,7	0,05	1,4	2,2	0,2	1,2	730	0,09	0,31	51	0,03	0,84
Lo4R	204	503	0,15	47,0	0,06	0,007	1,2	0,1	1,9	5	0,67	7	1054	0,9	0,6	31,9	0,03	1,8
Lo4R	304	457	0,10	56,0	0,23	0,00	1,3	0,18	2,1	8	0,25	10	335	0,3	0,5	53	0,01	1,4
Lo5R	105	19689	0,17	17,6	1,05	0,001	29,1	10,3	1,1	229	0,9	233,8	31,0	0,22	5,1	553	0,01	1,67
Lo5R	205	14376	0,22	26,0	2,12	0,000	26,1	7,7	1,5	201	0,98	280	62	0,7	4,7	433	0,02	2,9
Lo5R	305	17875	0,35	21,7	1,92	0,00	39,0	11,30	1,9	311	1,04	341	58	0,4	6,0	976	0,02	2,5
Lo6R	106	59635	0,49	11,1	2,16	0,001	133,7	32,4	1,9	1104	2,2	4033	1126	0,69	17,7	2208	0,03	3,52
Lo6R	206	57397	0,80	18,4	3,71	0,001	137,1	36,7	0,9	1121	2,04	4752	1725	2,1	26,4	2428	0,01	7,2
Lo6R	306	63269	0,75	13,4	4,19	0,00	140,9	38,95	1,3	1239	2,90	4506	2254	1,9	27,6	2522	0,01	7,0
Lo7R	107	100877	1,46	16,7	3,96	0,004	170	50,0	0,7	1434	1,7	1910	20144	1,05	25,3	3282	0,06	2,81
Lo7R	207	60880	2,62	22,4	5,16	0,013	115,9	30,1	1,8	991	2,55	544	37850	5,5	25,3	2537	0,06	5,1
Lo7R	307	50708	1,17	17,6	4,11	0,00	87,9	20,29	2,0	698	1,59	1404	11523	2,2	13,2	1696	0,04	2,9
Lo8R	108	849	0,95	10,3	0,08	0,006	8,4	1,9	1,7	10,5	0,1	9,6	355	0,58	0,91	367	0,23	0,77
Lo8R	208	635	0,81	15,4	0,22	0,001	10,9	1,9	1,5	11	0,20	9	173	1,6	1,4	494	0,35	1,7
Lo8R	308	624	0,38	13,6	0,23	0,00	10,2	1,62	1,2	7	0,14	5	91	1,3	1,2	363	0,33	1,4

## Bilaga 4, forts.

Id	Nr	Ni	P	Pb	Sb	Si	Sr	Tl	U	V	Zn	Zr	Kationer			Anjoner	Katj-anj	Avvikelse
													mekv/l					
µg/l													%					
Bly16B	116	0,6	0,0	0,7	0,06	2502	5,6	0,013	0,08	0,41	5,4	0,05	1,54E-04	2,13E-04	-5,91E-05	-16,1		
Bly16B	216	1,2	12,9	1,4	0,07	4366	8,9	0,014	0,1	0,67	11	0,11	2,75E-04	2,61E-04	1,41E-05	2,6		
Bly16B	316	1,2	7	0,71	0,06	4674	7,6	0,02	0,07	0,48	9	0,07	2,41E-04	2,62E-04	-2,15E-05	-4,3		
Bly19B	119	0,5	0,0	94	0,06	2861	6,8	0,017	0,10	0,37	11,8	0,04	1,97E-04	2,64E-04	-6,68E-05	-14,5		
Bly19B	319	1,4	6	142,75	0,07	5167	10,9	0,03	0,15	0,50	18	0,08	3,18E-04	3,89E-04	-7,13E-05	-10,1		
Bly9R	109	4,1	0,0	0,1	0,05	3970	19,9	0,022	0,09	0,08	3,9	0,02	1,08E-03	1,39E-03	-3,17E-04	-12,8		
Bly9R	209	2,1	0,6	0,1	0,04	5695	21,9	0,030	0,1	0,06	8	0,01	1,13E-03	1,17E-03	-4,34E-05	-1,9		
Bly9R	309	3,8	4	0,07	0,05	5950	27,6	0,03	0,11	0,08	10	0,02	1,53E-03	1,68E-03	-1,42E-04	-4,4		
Bly10R	110	2,4	0,0	0,9	0,08	3695	8,0	0,016	0,27	1,69	5,0	0,30	3,64E-04	3,54E-04	1,00E-05	1,4		
Bly10R	210	5,6	8,8	0,5	0,04	5864	10,1	0,033	0,2	0,73	4	0,13	4,22E-04	3,75E-04	4,68E-05	5,9		
Bly10R	310	1,6	1	0,86	0,08	4726	10,9	0,03	0,12	0,81	9	0,11	3,14E-04	3,03E-04	1,10E-05	1,8		
Bly15R	115	8,0	0,0	1,9	0,06	3564	9,3	0,018	0,09	0,15	25,4	0,04	4,69E-04	6,24E-04	-1,55E-04	-14,1		
Bly15R	215	14,9	21,5	13,5	0,05	5734	22,5	0,028	0,2	0,45	55	0,03	9,26E-04	9,46E-04	-1,98E-05	-1,1		
Bly15R	315	2,7	3	9,21	0,04	5275	10,8	0,02	0,06	0,10	33	0,02	5,02E-04	5,59E-04	-5,76E-05	-5,4		
Bly17R	117	3,2	0,0	0,2	0,02	2849	11,4	0,023	0,05	0,04	2,3	0,00	1,61E-04	2,10E-04	-4,89E-05	-13,2		
Bly17R	217	2,8	21,4	0,8	0,02	3130	13,3	0,017	0,1	0,12	18	0,01	3,47E-04	3,72E-04	-2,48E-05	-3,5		
Bly17R	317	2,6	20	0,82	0,02	3990	13,1	0,02	0,13	0,32	3	0,03	2,79E-04	3,11E-04	-3,20E-05	-5,4		
Bly18R	118	2,0	0,0	189	0,08	3274	7,4	0,016	0,23	1,11	18,2	0,08	2,58E-04	3,47E-04	-8,94E-05	-14,8		
Bly18R	218	2,0	13,0	136,3	0,04	4561	9,6	0,010	0,3	3,57	21	0,20	3,70E-04	3,58E-04	1,22E-05	1,7		
Bly18R	318	2,2	9	96,03	0,05	4761	10,4	0,01	0,25	1,67	22	0,13	3,49E-04	3,97E-04	-4,77E-05	-6,4		
Lo11B	111	0,32	0,0	1,9	0,06	3419	7,2	0,011	0,09	0,51	22,3	0,06	2,27E-04	2,67E-04	-4,04E-05	-8,2		
Lo11B	211	0,7	10,8	3,0	0,09	4155	14,1	0,017	0,1	1,09	35	0,13	4,18E-04	4,24E-04	-6,15E-06	-0,7		
Lo11B	311	0,7	11	1,68	0,08	5634	11,6	0,02	0,09	0,86	26	0,08	3,37E-04	3,56E-04	-1,87E-05	-2,7		
Lo12B	112	19,0	0,0	12,9	0,02	20597	129	0,066	8,5	0,03	18934	0,78	1,27E-02	1,52E-02	-2,49E-03	-9,0		
Lo12B	212	41,2	0,0	19,9	0,02	31670	168,7	0,069	16,6	0,11	35524	2,35	2,21E-02	2,14E-02	7,96E-04	1,8		
Lo12B	312	5,3	11	12,68	0,02	38329	185,6	0,07	17,66	0,09	44582	2,37	2,19E-02	2,71E-02	-5,22E-03	-10,7		
Lo13B	113	0,36	0,0	2,2	0,07	3171	7,2	0,014	0,10	0,68	75,4	0,05	2,71E-04	3,10E-04	-3,86E-05	-6,6		
Lo13B	213	0,7	9,1	3,1	0,08	4298	13,9	0,009	0,1	1,15	41	0,12	4,20E-04	3,91E-04	2,81E-05	3,5		
Lo13B	313	0,5	2	2,00	0,07	5410	11,3	0,03	0,09	0,98	48	0,07	3,42E-04	3,76E-04	-3,41E-05	-4,7		
Lo14B	114	0,33	0,0	1,1	0,06	3882	8,5	0,011	0,21	0,50	191	0,04	5,27E-04	6,23E-04	-9,58E-05	-8,3		
Lo14B	214	0,7	27,3	6,2	0,09	5173	10,3	0,007	1,5	4,22	82	0,29	9,20E-04	5,37E-04	3,83E-04	26,3		
Lo14B	314	0,5	20	2,39	0,05	6020	5,9	0,01	0,45	1,22	83	0,10	4,64E-04	4,44E-04	2,05E-05	2,3		
Lo1R	101	4,8	7	31,2	0,04	16205	76	0,003	0,16	0,68	15970	0,83	1,25E-02	1,43E-02	-1,74E-03	-6,5		
Lo1R	201	6,2	0,0	60,9	0,01	21626	111,8	0,022	0,3	0,62	26288	0,20	1,37E-02	1,90E-02	-5,31E-03	-16,3		
Lo1R	301	10	18	62,70	0,02	22938	116,1	0,02	0,17	1,05	30943	0,60	1,82E-02	2,05E-02	-2,27E-03	-5,9		
Lo2R	102	43,9	0,0	26,6	0,11	30742	136	0,048	15,1	1,04	38273	0,35	2,00E-02	2,35E-02	-3,50E-03	-8,0		
Lo2R	202	65,1	0,0	19,0	0,06	38853	183,3	0,064	23,2	1,60	47759	0,46	1,97E-02	2,35E-02	-3,80E-03	-8,8		
Lo2R	302	66	14	11,53	0,05	45242	163,8	0,05	19,89	1,10	46215	0,52	2,12E-02	2,65E-02	-5,36E-03	-11,2		
Lo3R	103	16,7	0,0	0,4	0,04	8651	21,5	0,016	0,39	0,05	2069	0,04	1,62E-03	1,54E-03	7,77E-05	2,5		
Lo3R	203	7,2	0,0	0,9	0,03	9781	16,0	0,022	0,3	0,03	1165	0,02	7,17E-04	9,83E-04	-2,66E-04	-15,7		
Lo3R	303	8	1	0,30	0,02	11072	19,4	0,02	0,43	0,04	1591	0,03	8,88E-04	1,56E-03	-6,75E-04	-27,5		
Lo4R	104	4,4	0,0	0,3	0,06	4781	5,3	0,015	0,05	0,18	28,8	0,02	1,32E-04	1,86E-04	-5,40E-05	-17,0		
Lo4R	204	6,7	6,3	0,8	0,05	6666	9,7	0,032	0,1	0,51	72	0,08	2,82E-04	2,09E-04	7,31E-05	14,9		
Lo4R	304	7	21	0,38	0,02	7200	10,1	0,02	0,06	0,16	102	0,02	2,30E-04	2,33E-04	-3,30E-06	-0,7		
Lo5R	105	20,3	0,0	0,8	0,05	6856	38	0,032	0,15	0,08	4898	0,06	3,15E-03	3,65E-03	-5,07E-04	-7,5		
Lo5R	205	12,2	0,0	2,3	0,03	9323	36,4	0,048	0,2	0,08	4039	0,05	2,70E-03	2,69E-03	1,03E-05	0,2		
Lo5R	305	14	7	1,86	0,03	9622	44,9	0,04	0,17	0,08	5069	0,05	3,48E-03	4,23E-03	-7,52E-04	-9,8		
Lo6R	106	18,0	0,0	29,7	0,06	21316	133	0,094	5,6	0,05	13666	0,16	1,03E-02	1,29E-02	-2,65E-03	-11,5		
Lo6R	206	20,7	0,0	49,9	0,01	30968	159,4	0,192	8,1	0,07	14106	0,15	1,05E-02	1,29E-02	-2,41E-03	-10,3		
Lo6R	306	22	3	25,48	0,02	34083	151,3	0,19	4,80	0,06	15783	0,21	1,14E-02	1,37E-02	-2,34E-03	-9,3		
Lo7R	107	38,7	0,0	7,9	0,31	25020	110	0,084	1,7	2,25	24551	0,34	1,49E-02	1,85E-02	-3,64E-03	-10,9		
Lo7R	207	30,9	4,8	6,6	0,10	26233	90,2	0,104	1,8	6,29	15929	0,52	1,09E-02	1,25E-02	-1,53E-03	-6,5		
Lo7R	307	25	4	4,49	0,05	24281	64,3	0,10	0,92	1,30	11996	0,24	7,90E-03	1,22E-02	-4,35E-03	-21,6		
Lo8R	108	3,2	0,0	7,4	0,10	3529	16,4	0,026	0,18	0,22	969	0,02	6,22E-04	8,16E-04	-1,94E-04	-13,5		
Lo8R	208	7,3	4,1	3,5	0,04	5810	26,6	0,032	0,2	0,10	1058	0,03	8,29E-04	7,80E-04	4,96E-05	3,1		
Lo8R	308	9	4	1,30	0,03	6341	26,7	0,02	0,14	0,08	935	0,01	7,47E-04	8,31E-04	-8,41E-05	-5,3		

\* Procent avvikelse, 100\*(Katjoner-|Anjoner|)/(Katjoner+|Anjoner|; räknat i mekv/l)

Bilaga 5. Resultat av geokemiska analyser av morän och varp med olika lakningar.

Provid	Lokal	X	Y	Bedömn	Li	Be	NaO	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ag
B0408	Blygruvan	6651530	1449698	Opäv	3	0,4	78	9	7	3	5	11	11	0,7	0,2	7	5	10	2	0,5	0,07
B0409	Blygruvan	6651761	1449932	Opäv	2	0,3	74	6	4	2	3	6	7	0,4	0,2	8	4	11	2	0,3	0,06
B0410	Blygruvan	6651691	1449793	Päv	2	0,2	52	7	3	2	3	4	19	0,2	0,1	6	3	5	1	0,4	0,05
B0411	Blygruvan	6651831	1449927	Päv	2	0,4	54	6	3	1	3	22	12	0,4	0,2	5	3	8	1	0,3	0,06
B0412	Blygruvan	6651530	1449698	Opäv	3	0,3	64	8	4	2	3	7	9	0,5	0,2	5	4	7	1	0,5	0,05
B0413	Blygruvan	6651855	1449964	Opäv	6	0,5	257	70	124	9	31	4	13	0,3	0,0	110	2	6	3	0,6	0,23
K105001	Blygruvan	6651779	1449684	Opäv	2	0,2	32	9	3	3	2	8	8	0,2	0,1	9	4	9	2	0,3	0,05
K105002	Blygruvan	6651577	1449708	Opäv	2	0,2	44	9	3	3	2	12	8	0,3	0,1	11	5	9	2	0,9	0,04
K105003	Blygruvan	6651705	1449763	Opäv	3	0,3	77	9	11	3	8	9	9	0,3	0,1	6	6	5	1	0,1	0,03
K105004	Blygruvan	6651507	1449802	Opäv	2	0,2	53	7	4	2	2	12	39	1,6	0,1	6	5	9	2	0,2	0,06
B0401	Loberg	6689393	1484908	Päv	3	0,2	60	13	8	3	4	42	124	1,1	0,2	3	3	5	1	0,4	0,07
B0402	Loberg	6689347	1484856	Opäv	2	0,2	39	7	4	1	3	4	33	0,4	0,1	1	3	4	1	0,2	0,05
B0403	Loberg	6689403	1484823	Päv	5	0,3	268	20	8	37	4	400	839	241	0,4	6	10	10	6	3,7	1,64
B0404	Loberg	6689329	1484833	Opäv	3	0,3	52	7	4	3	4	14	35	0,7	0,1	2	3	6	1	0,4	0,06
B0405	Loberg	6689383	1484838	Päv	4	0,2	34	11	5	2	3	54	49	0,7	0,2	2	3	6	1	0,2	0,04
B0406	Loberg	6689422	1484878	Opäv	3	0,3	63	6	4	3	3	14	39	1,9	0,1	2	4	5	1	0,3	0,05
B0414	Loberg	6689370	1484842	Päv	3	0,2	37	8	5	2	3	45	36	0,8	0,2	2	3	6	1	0,2	0,05
B0414	Loberg	6689305	1484666	Opäv	4	0,4	57	12	5	2	3	28	458	12	0,2	6	5	11	1	0,5	0,05
K105005	Loberg	6689367	1484602	Opäv	8	0,6	56	16	8	4	6	10	53	0,9	0,2	8	8	6	2	0,2	0,08
K105006	Loberg	6689414	1484687	Opäv	3	0,2	27	9	3	1	2	4	12	0,7	0,1	2	6	5	1	0,1	0,03
K105007	Loberg	6689452	1484775	Opäv	4	0,4	32	9	7	2	4	6	60	0,6	0,2	3	5	6	1	0,1	0,03
K105008	Loberg	6689489	1484875	Opäv	3	0,4	26	8	5	2	3	3	18	0,5	0,1	3	5	4	2	0,1	0,04
K105009	Loberg	6689270	1484815	Opäv	3	0,4	28	9	7	2	3	5	33	0,5	0,2	2	5	6	2	0,1	0,04
K105010	Loberg	6689341	1484777	Avfall	2	0,0	1794	24	19	15	2	595	196	1517	0,8	21	17	4	3	5,2	1,44
K105011	Loberg	6689361	1484779	Avfall	1	0,1	667	16	7	152	2	1938	1205	1215	1,3	14	8	12	6	18,5	5,50
MP1	Norb			Opäv	11	0,5	182	29	20	9	17	29	19	1,0	0,1	19	12	7	2	0,2	0,03
MP1	Norb			Opäv	10	0,5	143	25	18	8	16	28	18	1,0	0,1	18	10	6	2	0,2	0,03
MP1	Norb			Opäv	11	0,6	232	36	26	10	18	30	19	1,1	0,1	22	15	9	2	0,2	0,05
MP1	Norb			Opäv	9	0,5	244	32	23	9	17	27	18	1,2	0,1	20	15	9	2	0,2	0,05

Salpetersyrlakbara halter i markprov och gruvavfall (<2 mm). Kolonnen "Bedömn" anger om provet bedöms vara opåverkat (morän), delvis påverkat eller gruvavfall.

Provid	Cd	Sn	La	W	Tl	Pb	Bi	Th	U	MgO	AlO	PO	KO	CaO	TiO	MnO	FeO	BaO	S
Halter i mg/kg ts																			
B0408	0,04	0,34	18	0,26	0,06	5	0,16	8,6	2,3	3421	10727	620	810	2153	735	152	10410	25	81
B0409	0,02	0,41	19	0,33	0,05	4	0,11	7,7	1,8	3404	6376	645	1094	1888	720	117	9571	31	95
B0410	0,11	0,23	8	0,22	0,05	111	0,21	4,4	0,9	2228	4440	570	450	1573	589	71	6733	18	90
B0411	0,07	0,12	14	0,16	0,05	76	0,11	5,7	1,2	2579	6908	617	581	1451	590	67	7203	18	279
B0412	0,03	0,36	12	0,37	0,04	9	0,11	6,6	1,4	3020	8742	581	524	1640	768	106	9957	15	126
B0413	0,03	0,56	13	0,49	0,44	3	0,05	6,2	1,2	21409	28360	877	12236	2367	2889	228	46724	117	373
KL05001	0,04	0,34	16	0,16	0,04	3	0,07	7,1	1,3	3064	6526	561	1001	1647	734	81	7682	18	<10
KL05002	0,04	0,40	16	0,41	0,06	3	0,25	5,6	1,0	4594	8523	558	1137	1866	803	95	9518	18	<10
KL05003	0,03	0,22	9	0,19	0,03	3	0,06	3,8	0,7	5131	8815	369	520	1542	814	88	8976	14	<10
KL05004	0,07	0,37	13	0,26	0,04	151	0,24	4,7	0,8	3878	7805	505	798	1697	630	99	9795	39	<10
B0401	0,23	0,31	9	0,37	0,04	25	0,64	6,2	1,3	3715	7026	555	347	1629	675	232	16989	16	406
B0402	0,08	0,19	8	0,29	0,02	9	0,15	5,6	0,9	2565	7124	416	169	1097	480	122	7509	11	16
B0403	1,99	1,05	11	1,29	0,08	231	9,85	4,2	1,1	5682	10803	610	1121	13781	1283	241	60351	29	6514
B0404	0,15	0,27	9	0,39	0,04	5	0,21	5,6	1,5	2929	6920	489	218	1649	549	211	8751	11	78
B0405	0,18	0,28	10	0,23	0,03	9	0,15	5,1	1,9	3646	9363	480	179	1465	744	154	12125	11	293
B0406	0,20	0,26	9	0,38	0,03	7	0,20	5,9	1,0	2721	7875	540	236	1637	538	176	8258	10	210
B0407	0,16	0,27	10	0,33	0,04	7	0,15	5,6	1,3	2762	8425	542	195	1585	599	151	9037	13	231
B0414	0,58	0,25	16	0,29	0,10	29	0,22	6,3	2,4	4048	9206	689	573	2436	685	211	12122	20	97
KL05005	0,13	0,32	9	0,12	0,06	9	0,20	8,7	1,3	5805	21544	513	871	1765	955	251	17278	35	57
KL05006	0,04	0,25	9	0,15	0,02	4	0,16	6,1	1,1	1946	6814	444	126	1456	513	105	7393	8	<10
KL05007	0,37	0,24	10	0,15	0,04	6	0,15	6,0	1,2	3664	13793	475	192	1599	671	205	10200	13	<10
KL05008	0,07	0,32	7	0,13	0,03	5	0,19	5,9	0,9	2063	12942	204	130	786	714	105	8133	13	<10
KL05009	0,11	0,33	10	0,16	0,03	7	0,24	6,8	1,4	3369	13124	287	143	1074	841	129	10750	14	11
KL05010	0,07	0,11	7	1,15	0,26	39	5,92	2,7	0,1	12600	9375	347	5431	60443	850	177	173806	28	42855
KL05011	0,92	0,62	13	6,55	0,28	241	60,26	5,2	0,4	12097	15071	362	3170	56849	1054	286	330399	80	25321
MP1	0,03	0,30	17	0,07	0,12	4	0,04	5,9	1,2	9756	22284	2610	2548	5171	1813	284	22920	85	35
MP1	0,03	0,28	15	0,06	0,12	4	0,04	5,7	1,2	9115	20524	2505	2347	4739	1646	255	20712	84	83
MP1	0,03	0,36	20	0,06	0,12	4	0,04	6,3	1,3	9417	23820	2618	2730	5426	1866	285	24805	85	35
MP1	0,03	0,33	19	0,07	0,11	4	0,06	5,7	1,2	9124	21770	2419	2580	5448	1907	263	23333	82	27

Salpetersyrakbara halter (förs). Kolumnen "Bedömn" anger om provet bedöms vara opåverkat (morän), delvis påverkat eller gruvavfall.

Provid	Lokal	Bedömn	pH	Al	Ca	Cr	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Pb	U	S	BaO
B0408	Blygruvan	Opäv	6,14	17	3	0,02	14	0,7	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	0,01	<0,01	<5	0,12
B0409	Blygruvan	Opäv	6,42	3	6	<0,01	3	0,8	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,12
B0410	Blygruvan	Päv	5,54	4	6	<0,01	3	0,2	<1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,01	0,002	0,40	<0,01	<5	0,24
B0411	Blygruvan	Päv	5,62	3	5	<0,01	1	0,1	<1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	0,11	<0,01	<5	0,05
B0412	Blygruvan	Opäv	5,7	2	2	<0,01	1	1,6	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	5	0,07
B0413	Blygruvan	Opäv	7,15	7	11	0,32	67	0,6	<1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	<0,001	0,02	0,01	<5	0,24
KL05001	Blygruvan	Opäv	5,42	4	3	<0,01	<1	0,4	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,11
KL05002	Blygruvan	Opäv	5,35	4	3	<0,01	<1	0,5	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,21
KL05003	Blygruvan	Opäv	5,25	3	3	<0,01	1	0,1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,12
KL05004	Blygruvan	Opäv	5,3	7	5	<0,01	2	0,1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	0,001	0,44	<0,01	<5	0,50
B0401	Loberg	Päv	4,29	11	37	<0,01	3	3,2	<1	0,4	1	3,6	<0,1	<0,01	0,011	0,03	<0,01	74	0,24
B0402	Loberg	Opäv	5,81	4	2	<0,01	2	0,2	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,08
B0403	Loberg	Päv	4,12	6	677	<0,01	40	6,2	4	0,4	3	7,6	<0,1	<0,01	0,213	1,86	<0,01	891	0,17
B0404	Loberg	Opäv	5,37	1	8	<0,01	1	5,2	<1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	13	0,11
B0405	Loberg	Päv	4,4	6	49	<0,01	<1	1,9	<1	0,1	4	10	<0,1	<0,01	0,031	<0,01	<0,01	119	0,17
B0406	Loberg	Opäv	5,19	3	34	<0,01	<1	2,8	<1	0,2	<0,1	0,9	<0,1	<0,01	0,007	<0,01	<0,01	53	0,25
B0407	Loberg	Päv	4,56	17	57	<0,01	<1	1,6	<1	0,3	2	7,3	<0,1	<0,01	0,021	<0,01	<0,01	102	0,16
B0414	Loberg	Opäv	6,17	7	9	0,04	28	0,5	<1	<0,1	0,21	2,6	0,1	<0,01	0,003	0,17	0,02	<5	0,10
KL05005	Loberg	Opäv	5,25	4	8	<0,01	<1	1,1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	<5	0,13
KL05006	Loberg	Opäv	5,28	8	8	<0,01	2	0,4	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,13
KL05007	Loberg	Opäv	5,18	16	8	<0,01	1	1,3	<1	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	<0,01	0,008	<0,01	<0,01	<5	0,14
KL05008	Loberg	Opäv	5,03	11	2	<0,01	<1	0,1	<1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	<5	0,21
KL05009	Loberg	Opäv	5,18	6	6	<0,01	1	0,1	<1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	<5	0,18
KL05010	Loberg	Avfall	2,75	107	3619	0,09	164	2,6	<1	<0,1	11	3,7	0,3	<0,01	0,009	0,01	<0,01	2652	0,03
KL05011	Loberg	Avfall	2,87	187	3277	0,02	203	4,8	2	<0,1	25	45	0,3	<0,01	0,168	0,87	0,03	2514	0,05
MP1	Norrå	Opäv	5,32	11	8	0,01	10	0,4	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,49
MP1	Norrå	Opäv	5,37	16	7	0,03	20	0,5	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	0,01	<0,01	<5	0,36
MP1	Norrå	Opäv	5,33	16	7	0,01	6	0,5	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,21
MP1	Norrå	Opäv	5,35	19	7	0,01	7	0,6	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<5	0,17

Halter efter vattenläsning i markprov och gruvavfall (<2 mm).. Kolumnen "Bedömn" anger om provet bedöms vara opåverkat (morän), delvis påverkat eller gruvavfall.  
Halter i PPB, Ca och S i mg/l.