

Rapport nr.: 2004.029		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Saudaprojektet - Tipp Raundalen. Mulige miljøkonsekvenser ved deponering av sinkholdig malm				
Forfatter: Andersson M, Cook NJ, Korneliussen A, Ottesen RT			Oppdragsgiver: Saudefaldene	
Fylke: Rogaland			Kommune: Sauda	
Kartblad (M=1:250.000) Sauda			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1314 III Sauda	
Forekomstens navn og koordinater: UTM 32: 6614600, 358200			Sidetall: 15	Pris: 50,-
Feltarbeid utført:		Rapportdato: 12.05.2004	Prosjektnr.: 296000	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>NGU har på oppdrag fra Saudefaldene gjort en undersøkelse av fem malmprøver fra malmtipper i Sauda for å beskrive mineralogi, kjemi og mulig utlekkingspotensial av metaller. Prøvene representerer relativt frisk malm og kan ikke direkte sammenlignes med malm som vært deponert over lengre tid. Prøvene representerer en indikasjon på maksimalverdier for utlekkingspotensial og følgelig verst tenkelig tilstand ut fra et miljøperspektiv. Undersøkelsen har omfattet kjemisk analyse, optisk mikroskopering, skanning elektronmikroskopering og utlekkingsstest.</p> <p>De mineralogiske studiene viser at hovedmineralene i forekomsten er sinkblende, svovelkis og kobberkis. Disse viser få tegn på forvitring. Mineralet magnetkis viser tegn på omfattende omvandling. Det må poengteres at malmprøvene er samlet inn for å representere uforvitret malm og er ikke innsamlet med tanke på studier av forvitningsprosesser.</p> <p>Resultatet fra utlekkingsstestet viser et meget høyt utlekkingspotensial for kadmium, sink og bly, noe som indikerer at selve malmen sannsynligvis har et høyt utlekkingspotensial. Utlekkingsstestet er utført på finfordelt material og kan ikke direkte sammenlignes med potensialet fra store blokk, ettersom utlekkingen avtar med størrelsen på stoffene.</p>				
Emneord: Gruveavfall		Mineralisering		Utlekkingspotensiale
Risteforsøk		Kjemisk analyse		
				Fagrapport

## INNHOOLD

1. INNLEDNING .....	4
2. OPPSUMMERING .....	4
3. METODER.....	4
3.1 Prøvetaking.....	4
3.2 Kjemiske analyser .....	5
3.3 Mineralogisk beskrivelse.....	5
3.4 Utlekkingstest.....	5
4. RESULTATER .....	5
4.1 Prøvebeskrivelse.....	5
4.2 Kjemisk sammensetning .....	6
4.3 Mineralogi .....	7
4.4 Utlekkingspotensial .....	12
4.4.1 Analyseresultat .....	12
5. KONKLUSJONER .....	13
6. REFERANSER .....	14

## FIGURER

Figur 1. Lokalitetsangivelse for de undersøkte malmprøver.....	6
Figur 2: Mikroskopbilder tatt i reflektert lys av sinkmalm. ....	8
Figur 3: Mikroskopbilder som viser karakteristisk omvandling av magnetkis.....	8
Figur 4: Mikroskopbilder som viser såkalt "markasittomvandling" .....	9
Figur 5: Mikroskopbilder som viser total omvandling av magnetkis til goethitt.....	9
Figur 6: Mikroskopbilder som viser svak omvandling av sinkblende .....	9
Figur 7: SEM bse-bilder av omvandlet magnetkis.....	10
Figur 8: SEM bse-bilder som viser progressiv oksidasjon av magnetkis .....	10
Figur 9: SEM bse-bilder som viser omvandling av svovelkis .....	11
Figur 10: SEM bse-bilde som viser reliket av (ikke omvandlet) sinkblende.....	11

## TABELLER

Tabell 1. ICP-analyser av bergartsprøvene. ....	7
Tabell 2. Analyseresultat av væskefase fra risteforsøk.....	13

## VEDLEGG

Vedlegg 1: Metaller som inngår i sinkmalm fra Sauda

## **1. INNLEDNING**

NGU ble kontaktet av Saudefaldene for å utføre en begrenset mineralogisk og kjemisk undersøkelse av tidligere innsamlede malmprøver fra Sauda. Hensikten med undersøkelsene var å vurdere miljøkonsekvenser ved deponering av masser som skal deponeres i samband med tunnelbygging samt å estimere utlekkingspotensialet av forurensningsstoffer fra massene.

Undersøkelsen innbefattet en beskrivelse av materialets primære beskaffenhet, mineralogi og kjemi, samt utførelse av utlekkingsstester på materialet som grunnlag for risikovurderinger.

Birkeland sinkgruver i Sauda var i drift i totalt 12 år, mellom 1882 og 1894, da det ble tatt ut 24 000 kubikkmeter masse. Diverse informasjon om de gamle gruvene er tilgjengelig i NGUs arkiver.

## **2. OPPSUMMERING**

For undersøkelsen ble fem prøver studert ved kjemiske analyser av bergartsprøvene, visuelle studier ved optisk mikroskopering og skanning elektronmikroskop samt ved utlekkingsstest. Prøvene er representative for malmføremstoffene i området, men ikke direkte for tunnelmassene som skal deponeres og gir en indikasjon på verst tenkelig tilstand. Utlekkingsstesten er utført på finfordelt material med et høyt overflateareal, hvilket gir et høyere utlekkingspotensial enn større blokk av samme bergart.

De viktigste malmmineralene er sinkblende, svovelkis og kobberkis. Prøvene viser et høyt innhold av sink og kadmium, og lavt innhold av bly og arsen. Malmen viser varierende grad av forvitring, hvor magnetkis er det eneste mineral med tydelig forvitring. Utlekkingsstest påviser et betydelig utlekkingspotensial for sink, bly og kadmium fra malmen.

## **3. METODER**

### **3.1 Prøvetaking**

De nedlagte sinkgruvene ved Sauda ble befart av NGU i 2000 i forbindelse med en gjennomgang av mineralforekomster i Rogaland fylke. Diverse gamle rapporter fra gruveindustrien på slutten av 1800-tallet eksisterer i NGUs Bergarkiv. Befaringene i 2000 ble ikke rapportert men det foreligger befaringsinformasjon i NGUs mineralressursdatabase; denne informasjonen vil i framtiden bli tilgjengelig over Internett.

Prøver tatt ved denne befaringen er analysert på diverse metaller og referanseprøver er lagret i NGUs prøvesamling.

Det er i denne sammenheng viktig å være klar over at det ved prøvetakingen fra de gamle gruvetippene ble lagt vekt på å få friske prøver med minst mulig forvitring som følge av eksponering for vær og vind. Prøvene er derfor relativt representative for malmen slik denne foreligger i fjellet, men kan ikke uten videre anses som representativt for tunnelmassene som skal deponeres. Eventuelle videre studier av forvitringseffekter på malmen vil kreve ny prøvetaking av gruvetippene med dette formålet for øye.

For dette prosjekt ble det valgt ut 5 malmprøver fra totalt ca. 15 tilgjengelige prøver i NGUs prøvearkiv som ble innsamlet i 2000 fra gruvetippene (Figur 1). Disse prøver anses å være relativt representative for sinkmalmen, men er på ingen måte representative for berggrunnen i området. Sinkmalmens opptreden i området er ikke tema for denne rapporten.

De aktuelle prøver er rike på tungmetaller. De utvalgte prøvene gir dermed en indikasjon på en verst tenkelig tilstand ut fra et miljøperspektiv, der forvitring og dekomponere metallrike mineraler vil frigjøre og mobilisere metaller som kan spres i miljøet.

### **3.2 Kjemiske analyser**

Bergartsprøvene fra befaringen i 2000 er analysert på tungmetaller av ACME Analytical Laboratories, Canada. Analysemetoden er ICP (Exploration package 4) der konge vanns-oppslutning er brukt for å løse opp prøvene. Data for de viktigste elementer i denne sammenheng er oppgitt i Tabell 1.

### **3.3 Mineralogisk beskrivelse**

For å kunne studere malmmineralene i detalj er det laget polerte tynnslip som er studert ved optisk mikroskopering og i skanning elektronmikroskop (SEM). Med SEM kan omdannelsesmineraler ses i større detalj enn under mikroskop. SEM studier muliggjør også en forståelse av kjemien i mineraler som forvitrer. Det er i tillegg mulig å påvise interne kjemiske variasjoner i mineralene. Slike studier er viktige for å danne en forståelse av utlekkingspotensialet av sporelementer under forvitring. Dette er dessverre ikke tilfellet for de prøver som har vært tilgjengelige for dette prosjektet, ettersom de er for friske. Imidlertid gir det mineralogiske studiet (se nedenfor) en relevant innsikt i sinkmalms hovedkarakteristika.

### **3.4 Utlekkingstest**

De utvalgte steinprøvene ble nedknust (<0,4 cm) på NGU og sendt til TAUW laboratorium i Nederland. Utlekkingen fra steinprøvene ble påvist gjennom et risteforsøk. Ristetesten (Standard: NEN-EN 12457-2) brukes ved utlekking av granulært avfallmateriale og slam. Den utlekkbare fraksjonen blir bestemt som en funksjon av forholdet mellom væske og faststoff, det så kalte L/S-forholdet. Den aktuelle testen er en ett-trinns ristetest, der L/S-forholdet er 10 liter væske (nøytralt vann) per kg tørt faststoff. Det finfordelte prøvematerialet ristes i et døgn og deretter separeres væskefasen fra faststoffet. I vårt tilfelle ble væskefasen analysert på innhold av bly, sink, kobber og kadmium.

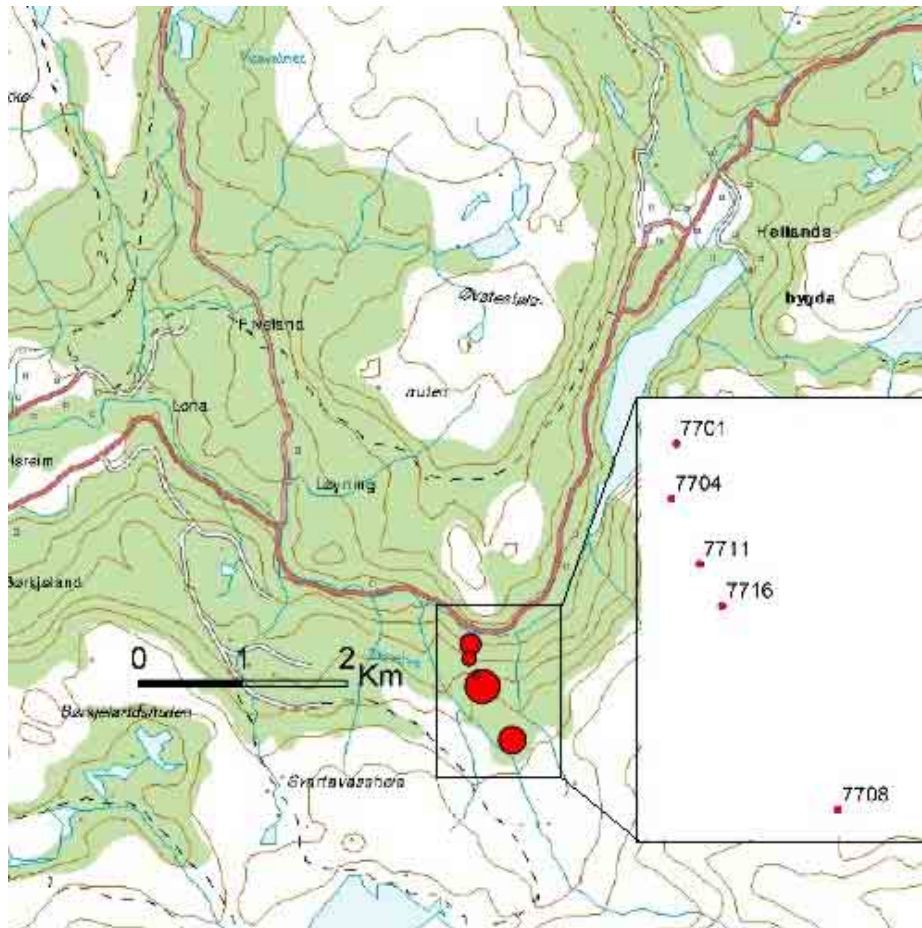
## **4. RESULTATER**

### **4.1 Prøvebeskrivelse**

Prøvelokaliteter og analyseresultater framgår av henholdsvis Figur 1 og Tabell 1.

- Prøve 77.01: Massiv sinkblendemalm, fin- til grovkornet, få disseminerte kobberkiskorn, tipp Grunnstoll II.
- Prøve 77.04: Massiv sinkblende-kobberkis, finkornet, tipp Gamle stoll.
- Prøve 77.08: Massiv magnetkis med kobberkis aggregater og bergartsfragmenter, tipp Holmen.
- Prøve 77.11: Massiv kobberkis-sinkblende, fin- til middelskornet, litt amfibol og kvarts i matriks, tipp Samson.
- Prøve 77.16: Svak-moderat sinkblende disseminasjon, dels sinkblende-bånd og kobberkis + pyritt aggregater i finkornet "malmkvartsitt", tipp Dahlsgruva.

De fem utvalgte prøvene ser relativt uforvitrede ut med blotte øye. Polerte tynnslip av prøvene er studert ved optisk mikroskopering og malmmineralene (sulfider) er bestemt. I tillegg er det tatt bilder som viser hvordan disse mineralene opptrer i forhold til hverandre. De samme preparater er deretter studert i elektronmikroskop (SEM), som gir informasjon om mineralenes kjemiske sammensetning.



Figur 1. Lokalitetsangivelse for de undersøkte malmprøver.

## 4.2 Kjemisk sammensetning

De kjemiske analyser som ble utført på prøvene etter befaringen i 2000 viser at prøvene har et høyt innhold av sink og kadmium, men lavt arseninnhold. Innholdet av kobber er middels høyt mens bly innholdet er betydelig lavere. Resultatene varierer imidlertid mellom prøvene, men samtlige prøver er likevel typiske for denne type mineralisering. Tabell 1 angir analyseresultatene for et utvalg metaller. Analysene er utført av ACME Analytical Laboratories, Canada (exploration package 4, jfr. <http://www.acmelab.com/cfm/index.cfm> for mer detaljert informasjon om analyse-metoden). I tabellen er kun de elementer som er relevante for denne rapporten tatt med. Disse er analysert på ICP. To av prøvene har et sinkinnhold over en øvre deteksjonsgrense, indikert med > 99999 mg/kg (> 10%). Tungmetallinnholdet så vel som mineralogien (se nedenfor) er typisk for denne type malmer.

Tungmetallene er bundet til sulfidmineraler; sink og kadmium i sinkblende, kobber i kobberkis og bly i blyglans.

Tabell 1. ICP-analyser av bergartsprøvene.

PRØVENUMMER	77.01	77.04	77.08	77.11	77.16
Pb (mg/kg)	48	25	6159	70	1133
Zn (mg/kg)	> 99999	> 99999	23528	52016	77070
Cu (mg/kg)	2802	7479	23157	27370	1462
Cd (mg/kg)	1168	964	51	1907	387
Mn (mg/kg)	267	185	2605	183	293
Fe (mg/kg)	8,25	9	22,32	11,04	6,43
As (mg/kg)	15	14	36	14	163
S %	23,85	16,16	14,15	9,89	9,71

### 4.3 Mineralogi

Følgende malmmineraler er identifisert ved optisk mikroskopering:

- Sinkblende (ZnS), viktig malmmineral. Sinkblendene kan være grovkornet (mm- og t.o.m. cm-skala; Figur 2c), med inneslutninger av kobberkis og andre sulfider.
- Svovelkis (FeS<sub>2</sub>), også kalt pyritt. I malmen opptrer svovelkis vanligvis som relativt store og klart avgrensede korn (porfyroblaster) i mm-skala (Figur 2a), med inneslutninger av sinkblende, blyglans og magnetkis.
- Kobberkis (CuFeS<sub>2</sub>). Kobberkis kan fylle mellomrom mellom grovkornet svovelkis (Figur 2b).
- Små mengder av magnetkis (Fe<sub>1-x</sub>S), markasitt (FeS<sub>2</sub>) og blyglans (PbS).
- Gahnitt (sinkspinell, ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) er vanlig, som omvandlingsmineral fra sinkblende.

Magnetkis er det eneste sulfidmineralet som i alle prøver viser en tydelig forvitring. Dette antas å ha skjedd under påvirkning av vær og vind på gruvetippene, og kan ses som omvandling til markasitt langs brudd og kornrensere (Figur. 3).

Omvandling av magnetkis via markasitt fører til dannelse av ikke-krystalline jernhydroksider og goethitt (krystallin  $\alpha$ -FeO(OH)). Goethittdannelsen er imidlertid ikke særlig markant, noe som antas å skyldes at de undersøkte prøver ikke har vært særlig eksponert for forvitring (Figur 4 and 5). Hvis en ved et senere anledning velger å undersøke andre og mer forvitrede malmprøver fra de samme gruvetipper, vil en forvente å se vesentlig sterkere mineralogiske omvandlinger.

Svovelkis og kobberkis viser kun svake tegn på forvitring, noe som har sammenheng med at forvitringshastighet og reaktivitet hos disse mineraler er mye lavere enn for magnetkis (Jambor & Blowes, 1998). De tegn til omvandling som kan ses er der hvor svovelkis og kobberkis opptrer i kontakt med omvandlingsmineral som erstatter magnetkis. Her eksisterer nesten alltid en omvandling i  $\mu\text{m}$ -skala. Dette er illustrert i Figur 5a og b, der både svovelkisen og kobberkisen er omringet av en smal goethittkant. I malmfyllinger er omvandling av svovelkis den vanligste årsaken til surt sivevann.

Sinkblende betraktes generelt som en av de minst reaktive sulfidene (Jambor 1994), men viser likevel en tendens til omvandling der den grenser til (oppriinnelig) magnetkis. Dette gjelder spesielt hvis sinkblendene er oppsprukket (Figur 6) eller i de tilfeller hvor den inneholder inneslutninger av magnetkis. I motsetning til andre sulfidmineraler, har sinkblende en tendens til å oppløses i stedet for å danne omvandlingsmineral *in situ*.



Figur 2: Mikroskopbilder tatt i reflektert lys av sinkmalm. (a) Grovkornet svovelkis (lys grågul) med inneslutninger av sinkblende (mørkgrå) og blyglans (lysgrå). (b) Sammensveisede svovelkiskorn med brudd innfylt med kobberkis (grågul). (c) Grovkornet masse av sinkblende (grå) med inneslutninger av kobberkis (grågul). De mørke inneslutningene i sinkblendene er magnetitt. Lengden på bildene representerer 4 mm.



Figur 3: (a, b, c) Mikroskopbilder som viser karakteristisk omvandling av magnetkis (svakt rosa) til markasitt (gråhvit) langs sprekker og korn grenser. Merk i figur 3b sterkt omvandlet magnetkis sammenlignet med 'inert' uomvandlet svovelkis (grågul). Lengden på bildene representerer 2 mm.



Figur 4: (a, b) Mikroskopbilder som viser såkalt "markasittomvandling" (tidligere magnetkis, gråhvit) til ikke-krySTALLINE jernhydroksider (sort). (c) Svovelkis (lys grå) som tidligere sameksisterte med magnetkis er bevart. Lengden på bildene representerer 2 mm.



Figur 5: (a, b, c) Mikroskopbilder som viser total omvandling av magnetkis til goethitt (brunrød i figur 5c). I figur a og b kan en se at kantene av både svovelkis (kremhvit) og kobberkis (gulhvit, men lite synlig i disse bildene) er omvandlet til sekundær goethitt. Lengden på bildene a og b representerer 2 mm, c representerer 0.5mm.



Figur 6: (a, b, c) Mikroskopbilder som viser svak omvandling av sinkblende (grå) langs kontakten mot omvandlet magnetkis. (b) Bildet viser magnetitt (lysgrå). Lengden på bildene representerer 2 mm.

Bilder fra elektronmikroskop (SEM bse-bilder; bse - "backscattered electron image") er nyttig for å illustrere mineralkjemiske forhold, spesielt hva som skjer ved mineralomvandlinger. Det er ved SEM mulig å detaljstudere hva som skjer kjemisk med mineralene ved forvitringen, og dermed lage illustrative framstillinger av hvordan mineraler dekomponeres og metaller frigjøres.

I dette tilfellet viser prøvene en markant omvandling av magnetkis relatert til forvitring på gruvetippene; i likhet med for optisk mikroskopering kommer dette også tydelig fram i SEM bse-bilder. Problemmineralene er i første rekke sinkblende (inneholder miljøgiften Cd) og kobberkis. Disse er imidlertid ikke omvandlet i særlig grad og en har derfor ikke utført analyseprofiler over mineraler og mineralomvandlingssoner. Magnetkis som har vært

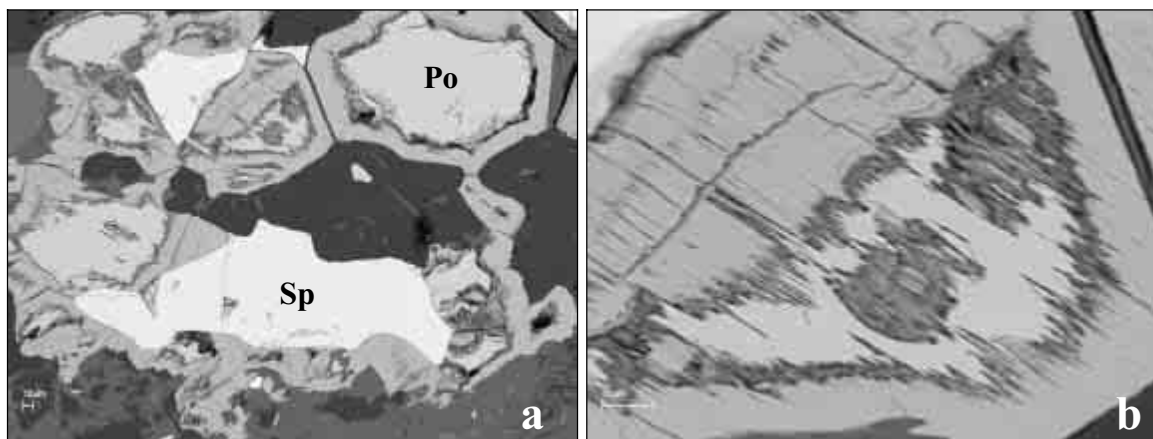


gjenstand for omfattende forvittringsrelatert omvandling, inneholder ikke annet enn jern og svovel, og representerer ikke det samme miljøproblemet m.h.p. metaller, men kan gi forurening av vann ved at svovel frigjøres og danner svovelsyre.

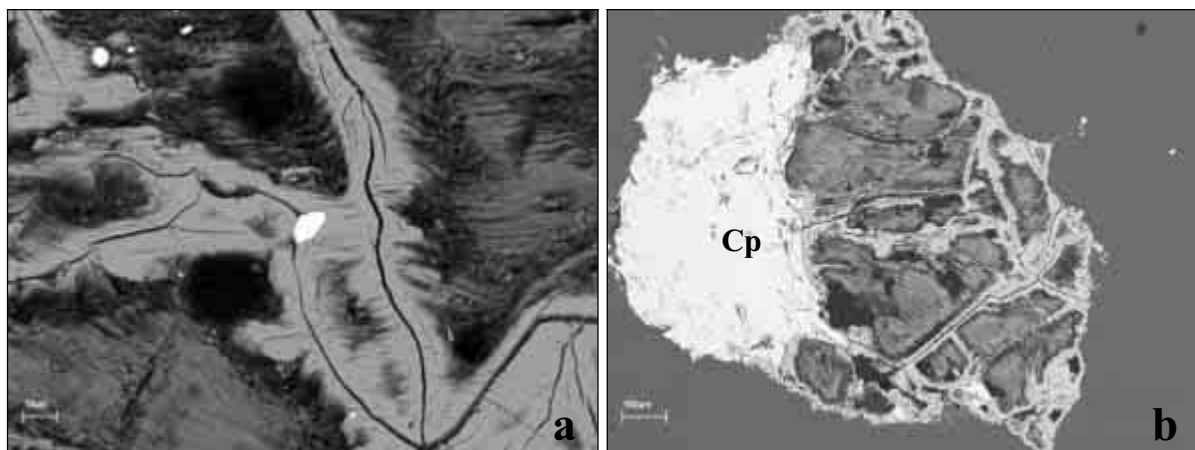
Figur 7 og 8 gir gode illustrasjoner på omvandling av magnetkis. Figur 9 (prøve 77.01) viser omvandling av svovelkis til goethitt etterfulgt av en total oppløsning av mineralet i form av en struktur med mange hulrom. Denne type oppløsning av svovelkis kan gi betydelig forurening av sigevann. Slik omvandling er sannsynligvis vanlig i mer forvitrede malmprøver fra tippene (som ikke er prøvetatt i denne undersøkelsen).

Kadmium er identifisert som en bestandsdel av sinkblende og er homogent distribuert med konsentrasjoner som varierer fra 0.2% til 1 %. Ingen særskilte Cd-mineral er identifisert.

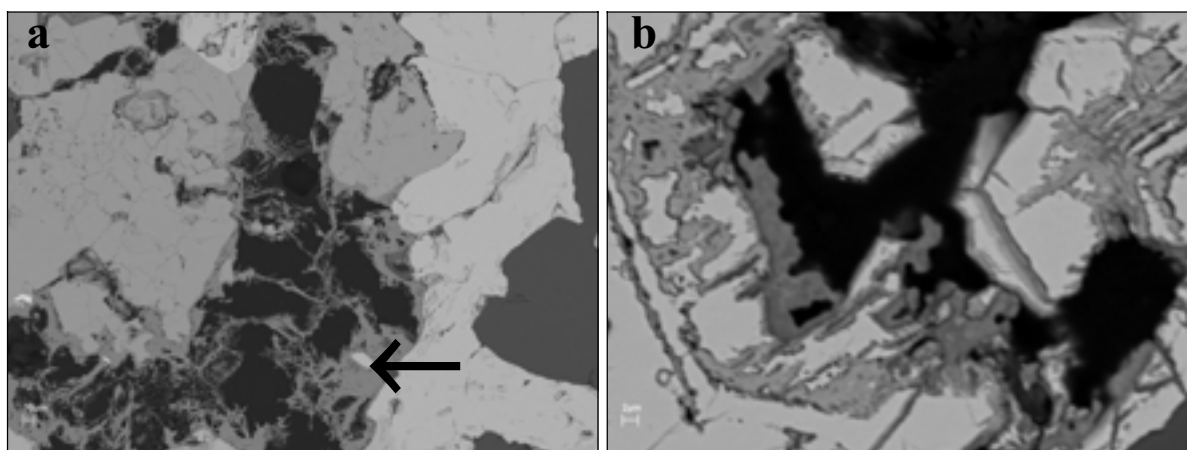
Sinkblendens inneholder domener og inneslutninger (opp til 20 µm i diameter) som er markant anriket på indium (opp til 18 % In i sinkblendens; jfr Figur 10). Det er velkjent at indium kan inngå i sinkblendestrukturen, men så høye konsentrasjoner som i disse prøver er svært uvanlige. Mineralet petrukitt  $[(Cu,Fe,Zn)_3InS_4]$  forekommer som inneslutning i sinkblendens.



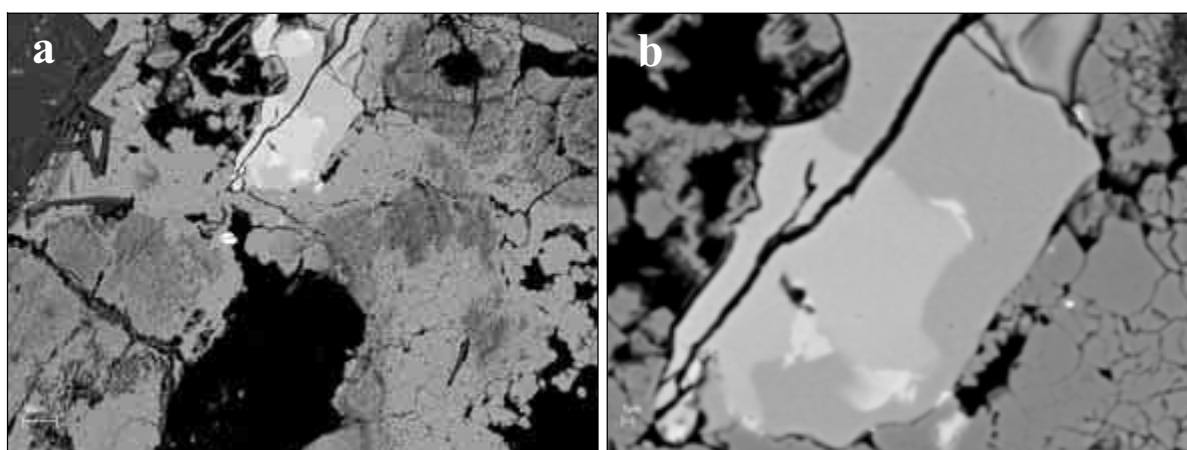
Figur 7: SEM bse-bilder av omvandlet magnetkis. (a) Omvandling av magnetkis (Po, lysgrå) til markasitt (middels grå). Sinkblendekornet (Sp, hvit) er ikke omdannet. (b) Utsnitt fra øvre halvdel av foregående bilde som viser et uidentifisert Fe-sulfat mineral (mørk grå) som ligger mellom relik magnetkis (lys grå) og markasitt (middels grå).



Figur 8: SEM bse-bilder som viser progressiv oksidasjon av magnetkis (a, b). Kobberkisen (Cp) er ikke påvirket av denne omvandlingsprosessen.



Figur 9: SEM bse-bilder som viser omvandling av svovelkis. (a) Randen av store svovelkiskorn (lys grå) er omvandlet til goethitt (grå, vist med pil). Sorte områder er hulrom. (b) Detaljbilde som viser oppløsning og total nedbrytning av svovelkis.



Figur 10 (a) SEM bse-bilde som viser relikv av (ikke omvandlet) sinkblende (grå) innesluttet i goethitt (varierende mørkere grå, omdannet fra magnetkis). (b) Detalj fra foregående bilde som viser 'normal' sinkblende (middels grå) og In-rik sinkblende (lysgrå). De hvite områdene er bismutinitt og matilditt.

#### Oppsummering av mineralogiske hovedtrekk:

- Prøver er fra gruvetipper hvor de har vært eksponert for vær og vind i over hundre år, men viser gjennomgående kun svake tegn til forvitring. Dette kan ha sammenheng med at prøvene opprinnelig ble tatt for å representere primærmalmen og ikke for å illustrere forvitringseffekter. Prøvene kan derfor ikke anses å være representative for forvitret tippmateriale.
- Malmmineralene er hovedsakelig sulfidmineralene sinkblende ( $ZnS$ ), svovelkis ( $FeS_2$ ) og kobberkis ( $CuFeS_2$ ). Magnetkis ( $Fe_{1-x}S$ ) og markasitt ( $FeS_2$ ) er karakteristiske mineraler, men opptrer i mindre mengde enn de ovenfor nevnte. I tillegg inneholder malmen små mengder av diverse andre sulfid og oksidmineraler. De karakteristiske malmmineralogiske trekk er illustrert i en rekke bilder fra optisk mikroskopering og SEM.

- Selv om effekten av forvitring gjennomgående er liten i de undersøkte prøver, så er den likevel tydelig i form av omvandling av magnetkis til markasitt og jernhydroksider. Sinkblende og kobberkis viser praktisk talt ingen tegn til forvitningsrelatert omvandling. Svovelkis er i en prøve omvandlet til goethitt og også gått i løsning (synlig som hulrom).

En eventuell videreføring av dette mineralogiske studiet vil være å innhente prøver av sterkt forvitrede malmprøver på gruvetippene, og gjennomføre et detaljert mineralkjemisk studium som også innbefatter utførelse av analyseprofiler over mineralomvandlingssoner. Dette vil vise hvordan problemelementer som Cd og Cu frigjøres fra primærmineralogien.

#### 4.4 Utlekkingspotensial

Utlekking betyr en utvasking av oppløselige komponenter fra faststoff til væske og en utlekkingsstest gir en simulert bilde av mobiliteten av forurensningskomponentene i faststoff over tid. Det finnes en rekke forskjellige utlekkingsstester utviklet i flere land, men det finnes ingen test som spesifikt kvantifiserer utlekkning fra bergarter.

Det finnes per i dag ikke noen grenseverdier for forholdet mellom innhold av tungmetaller i faststoffet og hvor mye som etter utlekkingsstestet finnes i væskefasen. På grunn av dette finnes det derfor ingen enhetlige krav til hvilken deponiklasse gruveavfallet tilhører eller hvordan avfallet skal håndteres. De egenskaper som imidlertid er avgjørende for hvilken deponikategori avfallet tilhører er:

- Innholdet av forurensningskomponenter, både totalmengde og konsentrasjon
- Mobiliteten av forurensningen over tid
- Forhold som påvirker oppbyggingen av deponiet, som nedbrytbarhet, kompressibilitet og stabilitet (SFT 1999).

Deponerbarheten av metallinnholdig avfall skal vurderes på basis av utlekkingssegenskaper og totalinnhold (SFT 1999). De to første punktene, konsentrasjonen av forurensende komponenter og mobiliteten av noen av disse, og er behandlet i denne rapport.

##### 4.4.1 Analyseresultat

Væskefasen fra risteforsøkene ble analysert på innholdet av Pb, Cu, Cd og Zn.

For å sette analyseresultatene i et slags perspektiv kan de sammenlignes med Statens Forurensningstilsyns (SFT) klassifisering av ferskvann (SFT 1997). SFT deler inn miljøpåvirkningen av tungmetaller på ferskvann i fem tilstandsklasser (I-V), fra ”ubetydlig forurenset” (I) til ”meget sterkt forurenset” (V). Tabell 2 viser analyseresultatene av væskefasen i risteforsøket sammenlignet med tilstandsklasse V. Tabellen demonstrerer at det kun er konsentrasjonen av kobber som ligger under denne tilstandsklassegrense i fire av fem prøver, prøve 77.16 er tilstandsklasse IV (”sterkt forurenset”), mens de tre første prøvene ikke kan kategoriseres pga. høy deteksjonsgrense (2µg/kg). Alle andre metallkonsentrasjoner ligger betydelig over grenseverdien for denne tilstandsklasse i samtlige prøver.

Det må noteres at vannet som ble brukt til risteforsøket var pH-nøytralt, men etter et døgn var pH i alle prøver omtrent 4 (Tabell 2). Det sure vannet vil mest sannsynligvis forsterke

utlekking av andre elementer, som for eksempel aluminium, kalsium og magnesium fra et deponi (SFT 1999b). Utlekking av forurensningsstoffer fra en tipp må imidlertid også ses på som en funksjon av hvor stor mengde nedbør som faller i området.

Tabell 2. Analyseresultat av væskefase fra risteforsøk. Siste kolonnen viser SFTs tilstandsklasse V (rød farge). Orange farge indikerer tilstandsklasse IV, sterkt forurenset.

PRØVENUMMER	77.01	77.04	77.08	77.11	77.16	Tilstandsklasse V
Pb (µg/kg)	120	55	330	34	1200	> 5
Zn (µg/kg)	5000	38000	3200	100000	43000	> 100
Cu (µg/kg)	< 2 <sup>1)</sup>	< 2 <sup>1)</sup>	< 2 <sup>1)</sup>	7500	4.5	> 6
Cd (µg/kg)	0.6	65	5	2100	80	> 0.4
pH	4,6	4,0	4,4	3,9	4,3	< 5.0
Konduktivitet (µS/cm)	173	387	253	700	220	

<sup>1)</sup> Prøvene kan ikke tildeles tilstandsklasse pga. deteksjonsgrensen.

## 5. KONKLUSJONER

### Sinkmalmen mineralogiske sammensetning

- Malmen i Sauda er heterogen i sin mineralogiske sammensetning og innhold av tungmetaller, og har gjennomgående et høyt innhold av sink- og kadmium. Kadmium forekommer innesluttet i sinkblende.
- Malmen som ligger på tipp, representert ved prøvene i dette studiet, har gjennomgått forvitring ved nedbryting av magnetkis til markasitt, goethitt og jernhydroksider. Dette vil resultere i surt sigevann.
- Andre sulfider i malmen (svovelkis, sinkblende, kobberkis, blyglans) er lite påvirket av forvitringen. Begrensede tegn til korrosjon og utlekking kan dog observeres. Det er her på sin plass å bemerke at de aktuelle malmprøver ikke ble tatt med henblikk på studier av forvitringseffekter men for å skaffe til veie representative prøver av primærmalmen dvs. minst mulig forvitret. De utvalgte prøvene er derfor ikke representative i forvitringssammenheng. Den reelle forvitringen av gruvetippene vil trolig være større enn det som er vist gjennom risteforsøk med utvalgte prøver.
- For å skaffe til veie et mer representativt mineralogisk datagrunnlag vil det være nødvendig med ny prøvetaking av gruvetippene med påfølgende detaljert mineralogisk studium.

### Utlekkingspotensialet

- Utlekkingspotensialet er utført på fem malmprøver fra tippene. Resultatene indikerer et meget høyt utlekkingspotensial for sink, kadmium og bly.
- For at et mer representativt bilde kan dannes, må det gjøres analyser på sigevannet fra gruvetippene.

- Ut fra et begrenset prøveutvalg konkluderes det med at malmen sannsynligvis har et høyt utlekkingspotensial av sink, kadmium og bly.
- Utlekkingspotensialet er representativt for finfordelt material, hvilket ikke kan direkte kvantifiseres for grovere material. Utlekkingspotensialet avtar med stuffstørrelse.

## 6. REFERANSER

Jambor, J.L. 1994. Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. In: Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Wastes (J.L. Jambor & D.W. Blowes, Eds.). Mineral. Assoc. Canada Short Course vol. 22: 59-102.

Jambor, J.L., Blowes, D.W. 1998. Theory and applications of mineralogy in environmental studies of sulfide-bearing mine wastes. In: Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy (L.J. Cabri & D.J. Vaughan, Eds.). Mineral. Assoc. Canada Short Course vol. 27: 367-401.

Statens forurensningstilsyn, SFT. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning 97:04.

Statens forurensningstilsyn, SFT. 1999. Bruk av utlekkings tester for klassifisering av avfall og forurenset masse, krav til dokumentasjon og testing. SFT-veiledning 99:03.

Statens forurensningstilsyn, SFT. 1999b. Loadings of heavy metals from sulphide ore mines on Norwegian freshwater recipients. SFT-veiledning 99:02.

## VEDLEGG 1:

### Metaller som inngår i sinkmalm fra Sauda

Kadmium: I sulfidmalmer forekommer kadmium kun som utbytter i sinkblende (ZnS). Cd-konsentrasjonene i sinkblende kan variere fra <100 mg/kg til 30000-50000 mg/kg, men konsentrasjonene i sulfidmalmer innen Kaledonidene ligger typisk innen intervallet 1000 til 5000 mg/kg. Cd-mineral som greenockite (CdS) er ikke vanlig i disse malmer.

Bly: Blyglans (PbS) er den vanligste formen av bly i sulfidmalm. Det er et vanlig mineral i prøvene fra Sauda (malmen inneholder opp mot 1% av blyglans).

Kobber: Kobberkis (CuFeS<sub>2</sub>) er vanligvis vert for kobber og finnes rikelig av i prøvene (opp mot ca. 10% av malmen).

Arsen: Arsenopyritt (FeAsS) er det mest vanlige As-mineralet i sulfidmalmer. Arsen kan også byttes ut i mindre mengder i de vanlige sulfidene, vanligvis svovelkis. De lave innholdet av As i de fem prøvene (kun et prøve overskrider 100 mg/kg) peker på at As er fordelt i sulfidene.

Sølv, Vismut og Antimon: Blyglans er vanligvis vert for Ag, Bi og Sb i mange sulfidmalmer og inneholder trolig størstedelen av disse elementer. Dårlig korrelasjon mellom Pb og Ag, Bi, Sb i prøvene antyder selvstendige Ag og Bi mineral. Ag konsentrasjonen i flere prøver er uvanlig høy (>50 ppm).

Kobolt og Nikkel: Svovelkis og magnetkis er vanligvis vert for Co og Ni i sulfidmalm. Middelskonsentrasjonen av disse elementene er lav i prøvene.

---