

Tungmetallavrenning fra kisgruver Vannkjemi og transport Bruk av overvåkingsdata i planlegging og kontroll av tiltak

Av Eigil Rune Iversen

Eigil Rune Iversen er forsker ved NIVA,
avd. for miljøteknikk og vannforvaltning

Sammendrag

Tungmetallavrenning fra kisgruver har i lang tid påvirket vannkvaliteten i en rekke større og mindre norske vassdrag. I årene 1985-1995 er det gjennomført en rekke forurensningsbegrensende tiltak. Målsettingen med tiltakene var å redusere kobberbelastningen på resipientene med 60-90 %. Dette målet er nådd. I noen områder er kobberbelastningen redusert med mer enn 90 %. Norsk institutt for vannforskning har i denne perioden overvåket vannkvaliteten og tungmetalltransport i alle områdene hvor tiltak er gjennomført, samt i nærmeste vassdragsstrekning. I tillegg til å ha innhentet erfaring når det gjelder effektiviteten av de enkelte tiltak, har en også laget en beregningsmodell for utvikling av vannkvalitet i vanddekkede avgangsdeponier. I denne artikkelen er erfaringene fra overvåkingsundersøkelser ved Løkken gruveområde og Orkla benyttet som eksempel. Dette gruveområde har i lang tid vært det område hvor problemene i forbin-

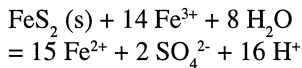
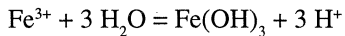
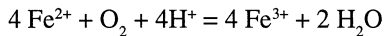
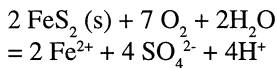
delse med denne type forurensning har vært størst.

Summary

Acid Rock Drainage (ARD) from different sources at Norwegian pyritic mining fields has for long time affected the water quality in several major rivers. During the period 1985-1995 different mitigation acts were accomplished. At some mine sites the copper load on the recipient is reduced with more than 90 % during this period. NIVA has been monitoring water quality and heavy metal loads at most of the sites where mitigation measures were carried out. In addition to gaining experiences from measures reducing this type of pollution, NIVA has developed a model for calculation of the future development of water quality in water covered tailing ponds. In this article experiences from monitoring programs in the Løkken mining field are exemplified.

Kisgruvene har i lang tid vært en av de betydeligste kildene for tungmetalltilførsler til norske vassdrag.

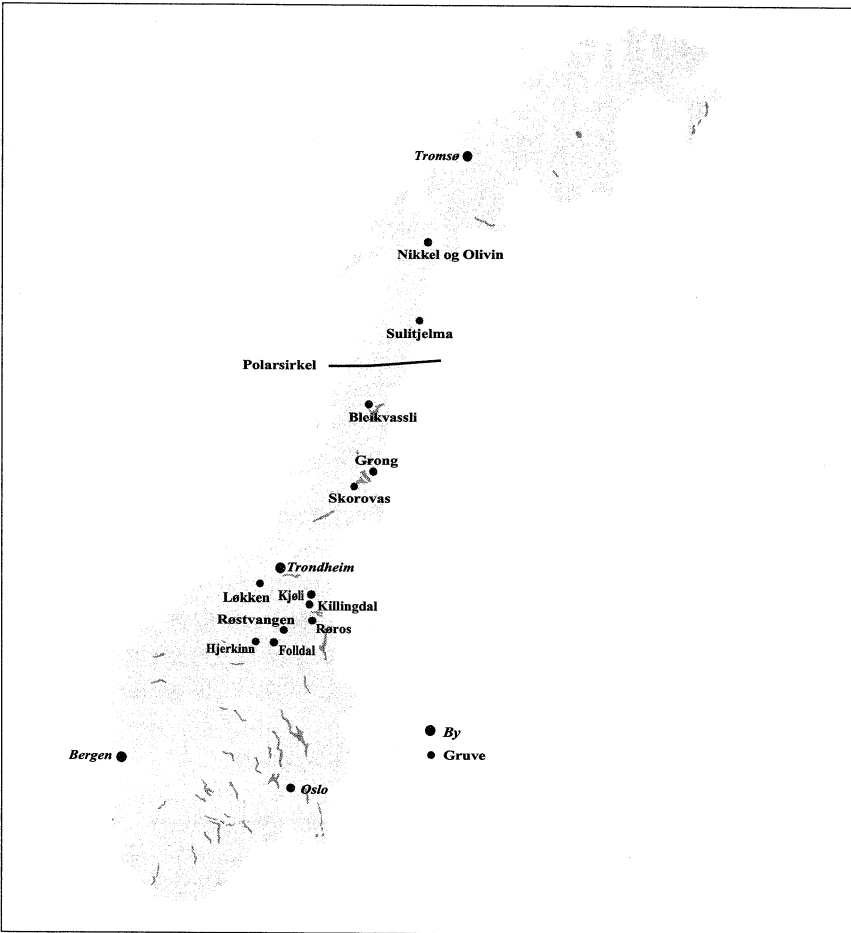
Gravedrift etter kismineraler i Norge startet trolig i 1530-årene, men det var først etter at produksjonen økte kraftig utover i det forrige århundre og nye forekomster ble åpnet, at miljøproblemene startet på alvor. Årsaken til tungmetallproblemene har sammenheng med kismineralenes forvitringsegenskaper. I ligningene under er vist hvordan oksidasjonen av pyritt (svovelkis) forløper.



Tilsvarende reaksjonsforløp vil skje med de andre kismineralene som f.eks. kobberkis (Chalcopyritt) CuFeS_2 . Forvitringen har som konsekvens at en får frigjort tungmetaller i ionisk form og at det skjer en forsurening. Hvor surt drensvannet blir og hvor store tungmetallmengder som frigjøres, vil avhenge av en rekke forhold som geologisk sammensetning, nedbør, klima, avfallsmengder og typer, samt deponeringsforhold etc. I slikt drensvann vil en derfor finne at den kjemiske sammensetning kan variere betydelig. De

vanligste komponenter er Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Co, Ni, As, Ca, Mg, Al, Si og SO_4 . pH-verdien i primærvannet (det vannet som står i direkte kontakt med avfallet) kan variere mellom 2 og 9. Størst oppmerksomhet er vanligvis knyttet til kobberkonsentrasjonen på grunn av kobberets giftighet over for fisk og spesielt laksefisk. Man ble tidlig klar over de toksiske egenskapene til kobber. Da f.eks. Løkken gruve skulle tømmes for vann i 1902 og klargjøres for ny drift etter noen års driftshvile, ble kobberet i gruvevannet tatt ut v.h.a. sementering, man lot pumpevannet passere gjennom jernskrot (Orkla Grube-Aktiebolag, 1954). På den måten tok en ut ca. 10 tonn kobber som ellers ville ha forårsaket store problemer for laksefisket i Orkla. I et gruveområde der det har vært drift av noen størrelse, vil en vanligvis ha med flere forurensningskilder å gjøre som f.eks. gråbergvelter, avfall fra oppredningsprosesser, slagg der det har vært smeltehytter, samt avrenning fra gruverom, såkalt gruvevann. I tiltaksutredninger vil en av oppgavene være å vurdere betydningen av de enkelte kilder og hvordan utviklingen vil være over tid ved de enkelte kilder. Ved nyetableringer vil noen av de mest sentrale oppgaver være å beregne hva slags vannkvalitet en vil få i drensvann fra bergvelter og avgangsdeponier som grunnlag for å vurdere hvilke miljøeffekter virksomheten vil forårsake.

I følge Foslie (1925) har en kjennskap til mer enn 3000 forekomster med kismineraler i Norge. Ved de fleste forekomstene har det imidlertid ikke vært



Figur 1. Lokalisering av de viktigste kisgruver i Norge

noe drift. En har etterhvert fått en god oversikt over forurensningstilstanden ved de fleste av kisgruvene i Norge. Ved Norsk institutt for vannforskning har en i årenes løp kartlagt vannkvalitet i drensvann og i nærmeste vassdragsstrekning som mottar drensvann ved mer enn 100 gruveområder. Ved mange områder har en obserasjoner over lang tid (opptil 30 år), og en har i tillegg fore-

tatt biologiske undersøkelser i resipienten (fisk og næringsdyr for fisk). Det foreligger derfor et bredt erfaringsmateriale når det gjelder vannkvalitet, metalltransport og effekter ved de viktigste gruveområdene i Norge.

Figur 1 viser lokaliseringen til de viktigste gruveområdene. De vassdrag som mottar de største metallmengder, er Sulitjelmavassdraget (Sulitjelma gruve-

felt), Namsen (Skorovas gruve), øvre Gaula (Kjøli og Killingdal gruver), Orkla (Løkken verk), Stjørdalselva (Meråkerfeltet) og øvre Glåma med Folla (Rørosfeltet og Folldal verk).

Hva har oppryddings- tiltakene ført til ?

I perioden 1985-95 har det vært et oppryddingsprogram ved flere av de områdene hvor problemene har vært størst. Målsettingen var å redusere kobberbelastningen fra nedlagte gruver med 60-90 % på landsbasis. Målet ble nådd med god margin, men det er fortsatt områder der situasjonen er ustabil og krever overvåkning i tiden fremover og områder hvor en ennå ikke har oppnådd noen reduksjoner av betydning. Det pågår fortsatt en del oppryddingsarbeider ved noen gruveområder som staten har ansvaret for. NIVA har i en

rapport nylig gjort en oppdatert beregning av tungmetalltransporten ved de viktigste kisgruvene i perioden 1985 til 1996 (Arnesen, 1999). Resultatene for kobbertransporten er samlet i tabell 1.

Aktiviteten har vært størst i Trondheimsfeltet, og det er også her en finner de største forurensningsproblemene. En har imidlertid erfaringer fra enkelte områder som f.eks. Røros og Folldal at transporten kan variere svært mye fra år til år avhengig av nedbør og klima. En trenger derfor observasjoner over flere år for å få et pålitelig bilde av tungmetallavrenningen.

Erfaringer fra overvåkingsundersøkelser i Løkken gruveområde og nedre del av Orkla

Nedre del av Orklavassdraget med Orkdalsfjorden er den resipient i Norge

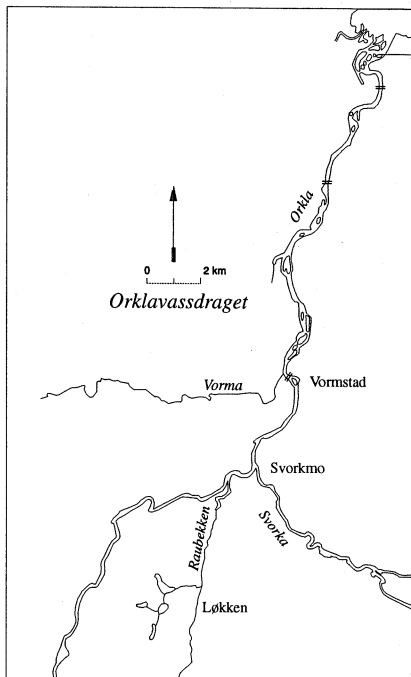
Tabell 1. Transport av kobber fra norske kisgruver i 1985, 1993 og 1996 i tonn/år.

Gruve	1985	1993	1996
Bleikvassli	0,25	1,1	-
Folldal hovedgruve, Folldal	16	8,0	5,0
Folldal Verk, Hjerkin	0,1	1,1	0,03
Grong	3,2	0,2	0,3
Killingdal	5,0	0,5	0,9
Kjøli	18	0,6	0,4
Løkken	48	18	8,6
Røros, Nordgruvefeltet	7,6	7,2	3,6
Røros, Storzart	1,8	1,8	1,9
Røstvangen	3,0	1,0	1,7

som har vært mest belastet med tungmetallavrenning fra kisgruver. Hovedkilden er Løkken gruve i Meldal kommune. Avrenningen herfra har opp gjennom tidene vært i særklasse det største problem av denne art i Norge. Forurensningsproblemene her er mangesidige og det har vært arbeidet med en rekke problemstillinger knyttet til de enkelte forurensningskilder i området. I tillegg til undersøkelser av forurensningskilder og deponeringsforhold foreligger det et stort erfaringsmateriale fra kjemiske og biologiske undersøkelser i vassdraget over lang tid. Løkken gruveområde egner seg derfor godt som et eksempel på hvilken nytte en har hatt av overvåkingsundersøkelser i området og hva en kan benytte erfaringene til i det videre arbeid for å føre kontroll med forurensningssituasjonen i dette vassdragsavsnittet.

Driften ved Løkken gruve pågikk i 333 år fra 1654 til 1987. I løpet en så lang periode skjedde det store forandringer i driftsmåter og deponeringsløsninger. Avrenningen fra gruveområdet har påvirket vannkvaliteten i nedre del av Orkla i svært lang tid. Området drenerer idag i sin helhet til Raubekken som er tatt inn i overføringstunnelen fra Bjørset til Svorkmo kraftverk. Avløpet fra kraftverket blandes inn i Orkla nedstrøms Svorkmo. I årene fra 1952 til 1984 ble gruvevannet, som var største forurensningskilde i området, ført i rør ned til Orkdalsfjorden ved Thamshavn av hensyn til forurensningstilstanden i Orkla.

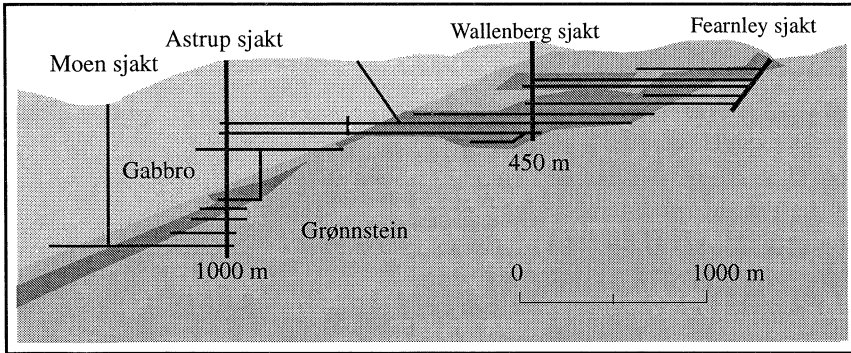
Figur 2 viser nedre del av Orklavass-



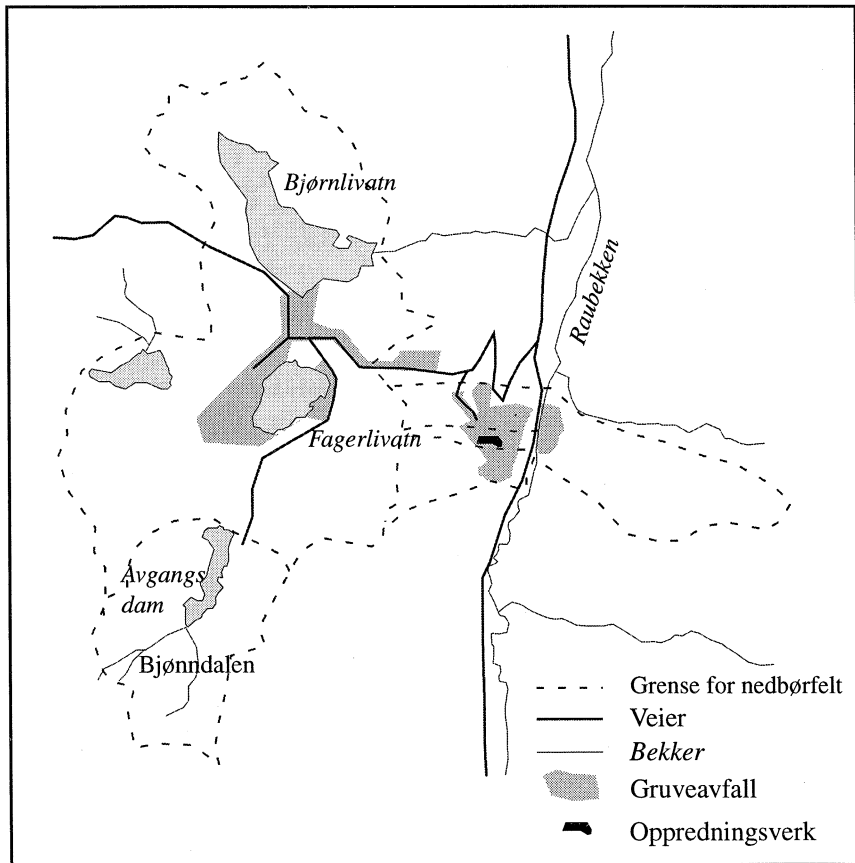
Figur 2. Nedre del av Orklavassdraget.

draget. Selve gruva er en meget dyp underjordsgruve som går ned til ca. 1000 meters dyp fra overflaten. Gruva kan deles i to hovedområder, Wallenberg og Astrup gruve. Figur 3 viser et snitt av gruva.

Forbindelsen mellom Wallenberg og Astrup gruve er stengt ved gjenstøpning. Det pågår for tiden aktiviteter i Astrup gruve, mens Wallenberg gruve er vannfylt. Vannstanden i gruva kontrolleres ved pumping fra Wallenberg sjakt. Utpumpet vann går via Fagerlivatn til Bjørnlivatn som har avløp til Raubekken. Figur 4 viser en kartskisse over gruveområdet med markering av avfallsdeponier.



Figur 3. Snitt av Løkken gruve



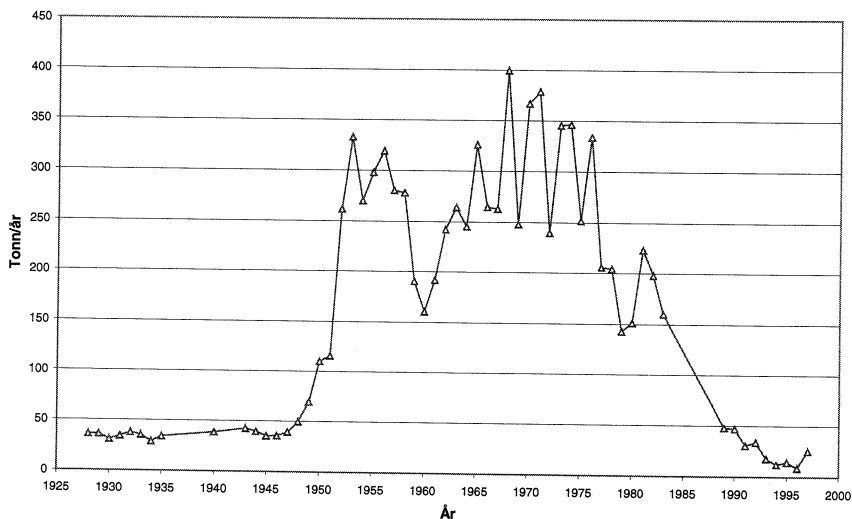
Figur 4. Kartskisse over Løkken gruveområde

Etter at Løkken gruve ble modernisert og ny stordrift etter kis startet i begynnelsen av dette århundre, ble gruveselskapet etter få år klar over at de hadde et forurensningsproblem. I slutten av 1920-årene startet derfor selskapet et miljøovervåkingsprogram i egen regi. Programmet omfattet til å begynne med bare kontroll av metallinnhold i utpumpet gruvevann som var den største forurensningskilde i området. Etter hvert omfattet programmet også stasjoner ved andre forurensningskilder i området samt i Raubekken og Orkla. Med den tidens analyseteknikk sier det seg selv at verdien av resultatene fra vassdraget er begrenset. Resultatene for gruvevannet, som hadde meget høye metallkonsentrasjoner, ser imidlertid pålitelige ut ved sammenligning med resultatene fra de senere år utført v.h.a. moderne metoder. Gruveselskapet for-

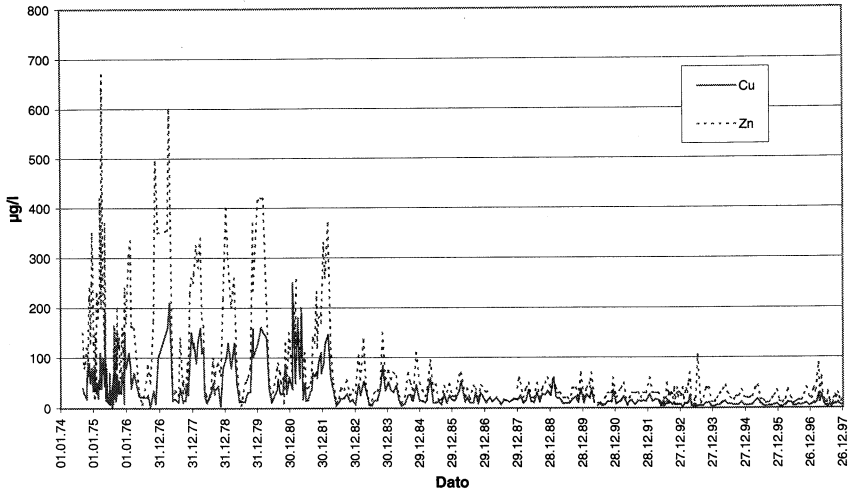
sto også at det var viktig å føre kontroll med forurensningstransporten for å ha en god oversikt over forurensningsutviklingen. Figur 5 viser en beregning av samlet kobbertransport fra Løkken gruveområde til Orkdalsfjorden for perioden 1928-1997 (sum av gruvevann og overflateavrenning).

Figuren viser en dramatisk utvikling i forurensningsis@Ysjonen i nedre Orkla med Orkdalsfjorden. Fram til 1984 utgjorde bidraget fra gruvevannet mer enn 90 % av samlede tilførsler fra området. Gruvevannet ble ført i rør ned til fjorden i perioden 1952-84. I perioden 1984 til 1992 stoppet pumpingen av gruvevann direkte til fjorden og gruva sto under oppfylling med vann. Overløpet kom i april 1992. Fra og med 1984 har all avrenningen fra gruveområdet gått til Raubekken.

Den kraftige transportøkningen om-



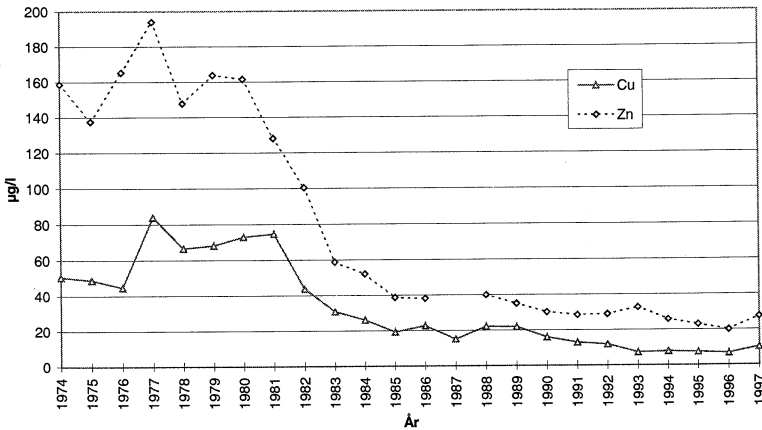
Figur 5. Samlet årstransport av kobber fra Løkken gruveområde til Orkdalsfjorden 1928-97.



Figur 6. Kobber- og sinkkonsentrasjoner i Orkla ved Vormstad 1974 - 1997.

kring 1950 skyldes et ras i gruva som gikk opp i dagen, noe som førte til inntrengning av overflatevann ned i gruva. Dette førte igjen til utvasking av forvittringsprodukter fra områder i gruva som tidligere ikke sto i kontakt med vann. I 1974 ble NIVA gitt i opp-

drag av gruveselskapet å utføre miljøundersøkelsene i gruveområdet med nærmeste vassdragsstrekning. På denne tiden foretok bedriften en endring i oppredningsprosessen, og det ble behov for å føre kontroll med deponering av prosessavfallet som bl.a. inneholdt store



Figur 7. Tidsveiede middelverdier for kobber og sink i Orkla ved Vormstad 1974-1997.

mengder svovelkis. Man hadde på det tidspunkt meget beskjedne erfaringer såvel nasjonalt som internasjonalt vedrørende de langsiktige konsekvensene av en slik deponeringsløsning som ble valgt, deponering under vann i en tett dam.

Figur 6 viser det observasjonsmateriale NIVA har for kobber og sink i Orkla ved Vormstad (etter innblanding av Raubekken) for perioden 1974 – 1997. I figur 7 er det presentert en beregning av tidsveiede årsmiddelverdier for den samme perioden.

Fram til 1982 var vannkvaliteten preget av store konsentrasjonsvariasjoner i løpet av året. De høyeste konsentrasjonene inntraff stort sett bare om vinteren. En konsekvens av vassdragsreguleringen er at vintervannføringen er vesentlig høyere enn uregulert vannføring. Reguleringen førte derfor til en utjevning av tungmetallkonsentrasjonene i nedre del av vassdraget.

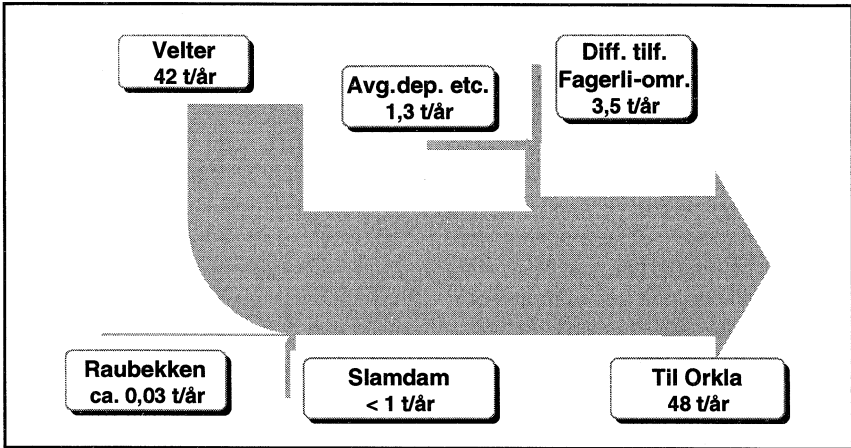
Da driften ved Løkken gruve ble nedlagt i 1987, var forurensningstilstanden i vassdraget fortsatt ikke tilfredsstillende i henhold til de krav SFT satte til vannkvalitet i store vassdrag (se figur 7). Bedriften ble pålagt å utrede tiltak for å redusere kobberbelastningen på Orkla i en slik grad at årsmiddelverdien

ble mindre enn 10 µg/l. NIVA ble gitt i oppdrag utrede alternative forurensningsbegrensende tiltak i området (Øren et al, 1989). I NIVA's tiltaksanalyse valgte en først å gjennomføre en kartlegging av viktigste forurensningskilder i området m.h.t. avfallsmengder, forvitringstilstand, deponeringsforhold, vannkvalitet og forurensningstransport ved kildene, spredningsveier, samt en vurdering av forurensningsutvikling på kort og lang sikt. Kildekartleggingen viste at man hadde med svært forskjellige avfallstyper å gjøre både når det gjaldt avrenningsmengder og forurensningspotensiale. I 1989 da feltundersøkelsene ble gjennomført, kom alle forurensningstilførsler fra området fra kilder i dagen idet gruva var under oppfylling med vann. I tabell 2 er gitt en oversikt over de to hovedtyper av avfall.

Figur 8 viser hvordan kobbertransporten fordelte seg på de enkelte kilder i 1989. Avgangsdeponiet i Bjønndalen er den enkeltkilde i området som har størst forurensningspotensiale da avfallet har et meget høyt innhold av metallsulfider, hovedsaklig svovelkis. Likevel ser en at deponiet bidrar med svært beskjedne andeler av samlet kobbertransport fra Løkkenområdet.

Tabell 2. Gruveavfall i Løkken

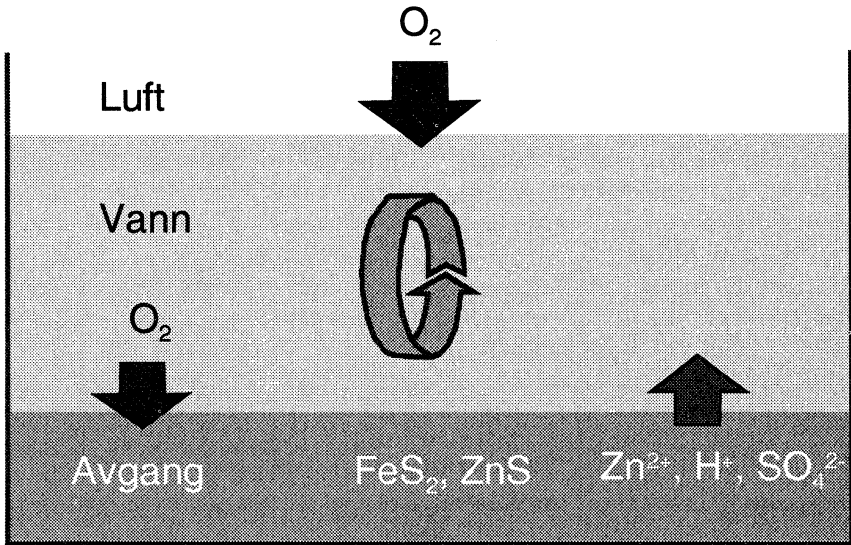
Type	Totalt Tonn	Kobber Tonn	Sink Tonn	Svovel Tonn
Sum bergvelter og prosessavfall	2800000	9600	10500	175000
Bjønndalen deponi	3250000	7800	10400	1100000



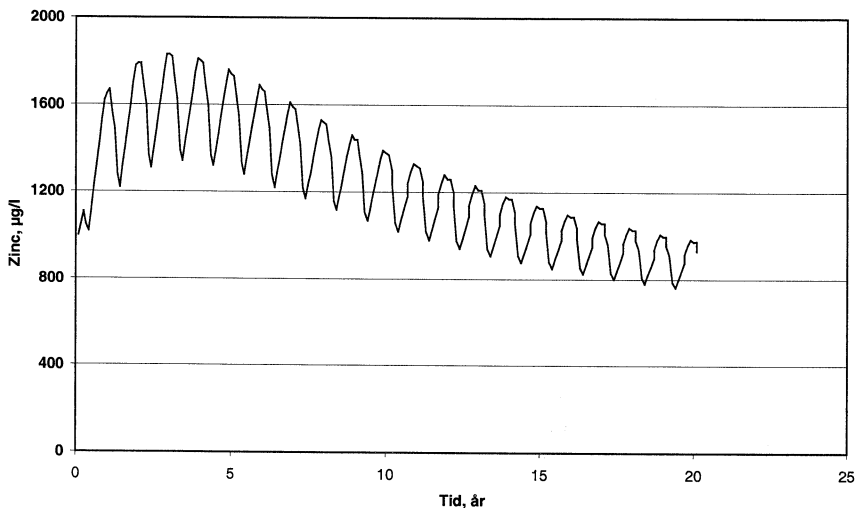
Figur 8. Kobbertransport fra Løkken gruveområde 1989

De store forskjeller når det gjelder avrenningsmengder og forurensningspotensiale i gruveområdet stiller spesielle krav til framtidig overvåking av området.

Ved NIVA har en i mange år arbeidet med de langsiktige konsekvenser av å deponere sulfidholdig avgang under vann, og en har i den forbindelse innhentert erfaringsmateriale fra en rekke



Figur 9. Beregnede sinkkonsentrasjoner i Bjonndalen deponi



Figur 10. Beregnede sinkkonsentrasjoner i Bjønndalen deponi

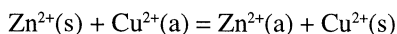
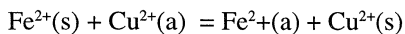
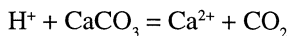
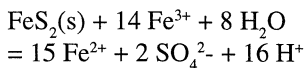
vanddekkede deponier i Norge og Sve-
rige. Ved NIVA er det også utviklet en
modell som bl.a. kan beregne hvordan
vannkvaliteten vil utvikle seg over tid i
slike deponier. Modellen tar utgangs-
punkt i at tilgjengelig oksygen, samt
den hastighet som oksygenet beveger
seg med fram til kisoeverflaten med, er
bestemmende for omfanget av
forvittringsprosessene (Arnesen et al,
1997). Figur 9 viser prinsippet for
“NIVA-modellen”.

Figur 10 viser hvordan modellen be-
regner utviklingen i sinkkonsentra-
sjonene i Bjønndalen deponi. En stikk-
prøve i deponet tatt i september 1998,
11 år etter at deponering opphørte, viste
en sinkkonsentrasjon på 1400 µg/l. Re-
sultatet er i god overensstemmelse med
beregnet verdi. Selv om modellen er
enkel, viser de praktiske erfaringer som
er gjort ved flere norske og svenske

deponier god overensstemmelse med
modellen.

NIVA foreslo i sin tiltaksplan to mulige tiltak for å nå de krav SFT stilte til vannkvalitet i Orkla, enten en overdekking av avfallstipper, eller en kjemisk rensing av sigevann. Når Løkken Gruber likevel valgte en annen tiltaks-løsning, har dette sin bakgrunn i resultatene fra de observasjoner NIVA gjorde i Wallenberg sjakt (se figur 3) under oppfyllingen av gruva. Det ble tatt ut prøver fra forskjellige dyp i sjakten (fra hvert hovednivå i gruva). Analyseresultatene viste en bemerkelsesverdig reduksjon i kobberkonsentrasjonene, mens konsentrasjonene av jern og sink var meget høye, særlig mot dypet. Jernet forelå hovedsaklig i toverdige form. pH-verdiene var også forholdsvis høye, dessuten inneholdt vannet store mengder CO₂

som økte kraftig mot dypet. Etter gjennomgang av mulige geokjemiske prosesser og simulering i laboratorioskala (Arnesen et al, 1994, 1996 og 1997) antar vi at følgende reaksjoner finner sted i gruva:



Det vil føre for langt å gå inn på forholdene i gruva i denne sammenheng. I korthet viser ligningene :

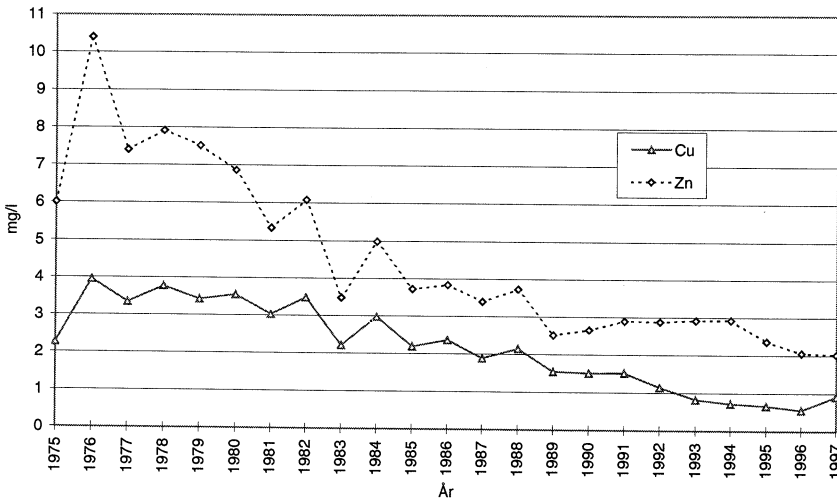
- Treverdig jern reduseres til toverdig ved kontakt med kisflater i gruva.
- Dannet syre nøytraliseres av basiske bergarter i gruva som kalkspat. I gruva er det foretatt gjenfylling med gråberg for å stabilisere utdrevne strosser. Gråberget inneholder mye kalkspat.
- Kobberioner adsorberes på svovelkisflater samtidig som toverdige jernioner frigjøres.

Denne reaksjonen er pH-avhengig og går lettest jo høyere pH-verdiene er. Reaksjonshastigheten avtar sterkt ved pH-verdier ned mot 2,5 (Ljøkjell, 1980).

- Det vil også skje en tilsvarende utbyttereaksjon overflaten av sinkblende ved at kobber adsorberes mens sinkioner frigjøres. Denne reaksjonen er også pH-avhengig og går best ved høye pH-verdier.

Løkken Gruber foreslo i sin tiltaksplan å utnytte disse forholdene og benytte gruva som et renseanlegg" for kobber. Sigevann fra veltene på Løkken-siden ble samlet opp og delvis pumpet og delvis ført inn i den eldste delen av gruva gjennom Gammelstollen. Vannstanden i gruva reguleres ved en pumpestasjon i Wallenberg sjakt. Pumpestasjonen har vært i drift siden april 1992. NIVA har foretatt kontroll av vannkvaliteten i utpumpet vann og ved forskjellige nivå i sjakten i tiden etter. Resultatene ved utgangen av 1998 viser at tiltaket hittil har vært effektivt m.h.t. kobberfjerning.

Tiltaket er avhengig av at gruva har evne til å heve pH i inngående gruvevann så mye at adsorpsjonen av kobber er effektiv. Da en ikke har muligheter til å foreta beregning av gruvas kapasitet til å buffre innkommende gruvevann, er en henvist til å foreta en regelmessig driftskontroll av pumpestasjonen. Sannsynligvis vil gruvass nøytralisasjonsevne avta over tid, delvis som følge av tilslamming av overflatene med jernslam. Dette understøttes av undersøkelser foretatt av materialbalansen i gruva i 1997/98 (Arnesen, 1999) som tyder på at det foregår en utfelling av jern i gruva. Man må derfor konkludere med at tiltaket vil ha begrenset levetid og at det vil være nødvendig å stoppe driften av pumpestasjonen når pH i avløpsvannet synker og kobberkonsentrasjonene øker. Tidsperspektivet er her ukjent. Når renseeffekten av kobber avtar, må pumping av surt gruvevann med høyt innhold av treverdig jern stoppes. Som



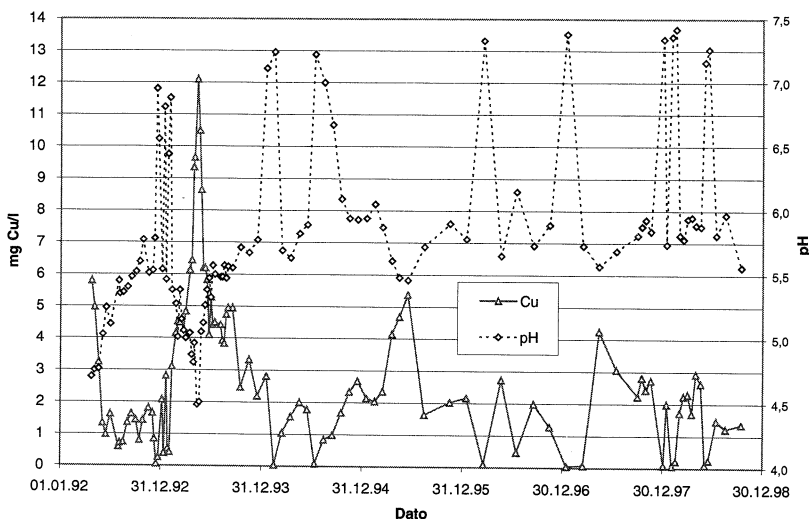
Figur 12. Tidsveioede middelverdier for kobber og sink i Raubekken, 1975-1997.

nevnt innledningsvis, kan treverdige jern forårsake oksidasjon av kisminaler. All overflateavrenning fra gruvedområdet må derfor ledes direkte til Raubekken når driften av pumpestasjonen stoppes. Slik vannkvaliteten og vannmengdene er i inngående vann til gruva idag, vil ikke Orkla kunne motta slike tilførsler uten skadelige effekter.

Figur 12 viser tidsveioede middelverdier for kobber og sink i Raubekken for perioden 1975–1997. Etter at Løkken Gruber gjennomførte en del overdekkings- og dreneringstiltak ved bergveltene i perioden 1975-1978, ser at konsentrasjonene avtok gradvis i de følgende årene. En økning av kobberverdien for 1997 skyldes en midlertidig stopp i pumpestasjonen for drensvann, slik at Raubekken fikk en økt tilførsel av drensvann i en periode. En har bare vannføringsobservasjoner fra 1990 slik at det bare er mulig å be-

regne pålitelige transporttall fra dette år. Beregningene viser en jevnt fallende transport t.o.m 1996 da kobbertransporten for første gang var lavere enn 10 tonn/år. En økning i 1997 ble observert igjen, noe som skyldes forhold som nevnt ovenfor.

Figur 13 viser observasjonsmaterialet for pH og kobber for pumpestasjonen i Wallenberg sjakt. Høye pH-verdier opp mot 7 med derav følgende lave kobberkonsentrasjoner har sammenheng med stor fortykning med uforurenset overflatevann som trenger inn i gruva i rasområdet i nærheten av sjakten. Under forhold med lite overflatevann til gruva ligger pH-verdiene fram til utgangen av 1997 stabilt i området 5,5-6,0, mens kobberverdiene ligger omkring 2 mg/l. Antall observasjoner pr. år bør derfor være så mange at en unngår bare å observere når pumpestasjonen pumper sterkt fortyknet gruvevann. I den fremtidige kontroll av vann-



Figur 13. pH- og kobberkonsentrasjoner i utpumpet grunnvann fra Wallenberg pumpestasjon

kvaliteten vil det være svært viktig å følge med i hvordan minimumsverdiene for pH utvikler seg over tid slik at en kan avgjøre når det er fare for økt metallbelastning fra gruva.

Konklusjoner - Behov for framtidig overvåking

Overvåkingsundersøkelsene som er gjennomført i Løkken gruveområde og i Orklavassdraget har gitt en meget detaljert innsikt i betydningen av de enkelte forurensningskilder. En har en god oversikt over hvilke kilder som betyr mest for dagens situasjon slik at en kan legge opp et mer kildeorientert overvåkingsopplegg for å føre kontroll med utviklingen. Veldefinerte kilder muliggjør således en effektiv overvåking av

tungmetalltilførslene til Orkla. I prioritert rekkefølge kan en således navngi følgende kilder som viktige for den fremtidige overvåking av området for å sikre miljømålene for nedre del av Orklavassdraget :

1. Utpumpet vann fra Wallenberg sjakt
2. Vannkvalitet i Wallenberg sjakt
3. Materialtransport og vannkvalitet i Raubekken
4. Annen overflateavrenning (avrenning fra velter på Løkken-siden). Drift av pumpestasjoner
5. Bjønndalen deponi
6. Materialbalanse fordelt på kilder

Oppgaven for en framtidig overvåking av området blir å vurdere observasjonsmaterialet mot de erfaringer og de modellberegninger som er gjort ved de enkelte kilder for å kunne

sette inn nye tiltak så raskt som mulig dersom det skulle bli nødvendig.

Selv om tungmetalltransporten fra Løkken gruveområde er redusert betydelig i de senere år, og en har nådd de miljømål som ble satt i 1990, vil avrenningen likevel påvirke vannkvaliteten i Orkla i overskuelig framtid. Da de forurensningsbegrensende tiltak som ble valgt i 1990 ikke sikrer en stabil forurensningssituasjon uten behov for framtidige tiltak, vil det være nødvendig for å føre kontroll med forurensningstilstanden i lang tid framover.

Referanser

Arnesen, R.T., Nygaard, K., Iversen, E.R., Christensen, B., Slørdahl, A., Bollingmo, Å., 1994. Vannfylling av Wallenberg gruve. NIVA-Rapport, O-92174. L.nr. 3079, pp79.

Arnesen, R.T., Håøya, A-O. og Aagaard, P., 1996. Vannforurensning fra kisgruver. Geokjemisk modellstudie av reaksjoner i kolonner med kis og grønnstein fra Løkken. NIVA-Rapport, O-94014, L.nr. 3517-96. pp 43.

Arnesen, R.T., Bjerkeng, B, Iversen, E.R., 1997. Comparison of model predicted and measured copper and zinc concentrations at three Norwegian underwater tailings disposal sites. Proc. IV Int. conf. on Acid Rock Drainage, May 31-June 6, 1997, Vancouver, B.C., Canada. pp15.

Arnesen, R.T., Iversen, E.R., 1997. The "Lokken Project". Flooding a sulphide ore mine. Proc. IV Int. conf. on Acid Rock Drainage, May 31-June 6, 1997, Vancouver, B.C., Canada. pp3.

Arnesen, R.T. 1999, Loading of heavy metals from sulphide ore mines on Norwegian freshwater recipients. NIVA-Report in press. pp 103.

Arnesen, R.T., 1999. Løkken Gruber. Oppfølgende undersøkelser. NIVA-Rapport, O-97122, L.nr. 4028-99. pp 32.

Foslie, S., 1925. Syd-Norges Gruber og Malmforekomster. Norges Geologiske Undersøkelse nr. 126. 67 pp.

Ljøkjell, P., 1980. Adsorpsjon av Cu- og Zn-ioner på svovelkis og magnetkis. Bergforskningen. Teknisk rapport, Vol.:47/2, pp51, Mai 1980.

Orkla Grube-Aktiebolag, 1954. Løkken Verk. En norsk grube gjennom 300 år. pp 507.

Øren, K., Arnesen, R.T., Iversen, E.R., Knudsen, C-H., Lundgren, T., Skjelkvåle, B.L., 1990. Løkken Gruber A/S & Co. Vurdering av forurensningsstatus og alternative tiltak for å redusere forurensningstilførslene fra gruveområdet. NIVA-Rapport O-88226, L.nr. 2400, pp 163.