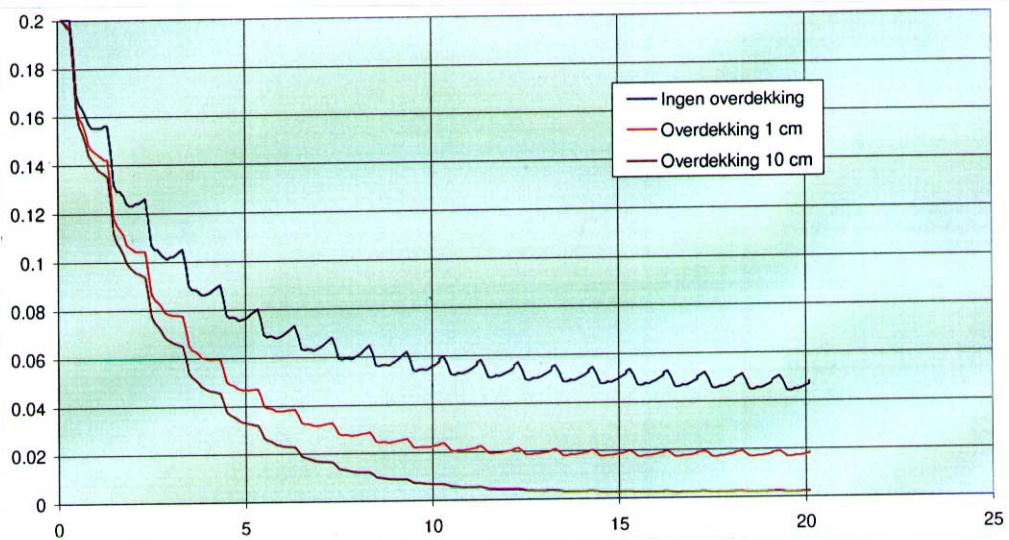


Avgangsdeponering under vann

Utluting av forurensninger fra
avgangsdeponiet i
Huddingsvatnet



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Avgangsdeponering under vann Utluting av forurensninger fra avgangsdeponiet i Huddingsvatnet	Løpenr. (for bestilling) 3780-98	Dato 12. januar 1998
	Prosjektnr. Undernr. 69120	Sider Pris 26
Forfatter(e) Rolf Tore Arnesen	Fagområde Miljøteknikk	Distribusjon Sperrert
	Geografisk område Nord-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) NORSULFID AS Avd. Grong Gruber	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

Ved nedleggelsen av Norsulfid AS - Avd. Grong Gruber, har den fremtidige utviklingen i avgangsdeponiet stor interesse. Eksisterende data fra NIVAs undersøkelser er benyttet til modellberegninger for å anslå fremtidige konsentrasjoner av sulfat og tungmetaller i vassdraget.

Beregningene er basert på laboratorieforsøk fra tre sett av avgangsprøver (1989, 1992 og 1996). Av disse prøvene inneholder de siste to avgang fra oppredning av malm fra Gjersvika og Joma i blanding.

Det er anslått utvikling i konsentrasjonene for sulfat, sink og kopper i overløpet fra Østre Huddingsvatn i 20 år framover, ved 3 alternative situasjoner: Uten overdekking, 1 cm overdekking og 10 cm overdekking av avgangen.

Uten tiltak i avgangsdeponiet kan det forventes en sulfatkonsentrasjon på 50 - 100 mg/l i utløpet av østre Huddingsvatn. Etter 10 år vil den ha avtatt noe mer, men neppe vesentlig. For kopper er det ikke grunn til å vente vesentlige tilførsler fra avgangen. Konsentrasjonen av sink vil antakelig avta til ca 50 - 100 µg/l etter 5 år. Etter 10 år vil denne konsentrasjonen avta ytterligere til ca. 20 - 50 µg/l. Etter fortykning i Vestre Huddingsvatn er det ikke sannsynlig at konsentrasjonene har økologiske skadevirkninger.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Gruver	1. Mining
2. Avgangsdeponering	2. Tailings disposal
3. Modell	3. Model
4. Tungmetaller	4. Heavy metals


Rolf Tore Arnesen

Prosjektleder

ISBN 82-577-3353-9


Bente M. Wathne

Forskningsjef

Avgangsdeponering under vann

Utluting av forurensninger fra avgangsdeponiet

i

Huddingsvatnet

Forord

NIVA har arbeidet med vannforurensning fra gruvevirksomheten ved Huddingsvatnet siden før driften ble etablert sommeren 1972. Et viktig element i beskrivelsen av forurensningssituasjonen har hele tiden vært deponering av avgang, og effekten av det. Når tiltak ved nedleggelse av driften diskuteres er det viktig at avgangsdeponiet blir vurdert.

Denne rapporten er en slik gjennomgang, så langt det kan gjøres med data fra NIVAs tidligere undersøkelser.

Oslo, 12. januar 1998

Rolf Tore Arnesen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Eksperimentelt	7
2.1 Generelt	7
2.2 Forsøk 1989	8
2.3 Forsøk 1992	11
2.4 Forsøk 1996	14
3. Modellberegninger	17
4. Konklusjon	19
5. Referanser	20
Vedlegg A.	21

Sammendrag

Avgangsdeponering under vann har siden 1968 vært en metode som har vært brukt for å hindre alvorlig vannforurensning fra kisgruver i Norge. Etter hvert er denne deponeringsmetoden også blitt anerkjent internasjonalt, og er nå aktuell i en rekke land.

Ved nedleggelsen av Norsulfid AS - Avd. Grong Gruber, har den fremtidige utviklingen i avgangsdeponiet stor interesse. I denne rapporten er eksisterende data fra NIVAs undersøkelser benyttet til modellberegninger for å anslå fremtidige konsentrasjoner av sulfat og tungmetaller i vassdraget.

Slike modellberegninger er beheftet med betydelig usikkerhet, men erfaringer viser at de gir et visst uttrykk for utviklingstendenser i årene framover. I tillegg er det mulig å anslå hvilken effekt tildekking av avgangen med inert materiale vil ha.

Beregningene er basert på laboratorieforsøk med avgangsprøver. NIVA hadde fra tidligere prøvetakinger tre sett av avgangsprøver som beregningene er basert på. Prøvene er tatt i 1989, 1992 og 1996. Av disse prøvene inneholder de siste to avgang fra Gjersvikforekomsten.

Det er anslått utvikling i konsentrasjonene for sulfat, sink og kopper i overløpet fra Østre Huddingsvatn i 20 år framover, ved 3 alternative situasjoner: Uten overdekking, 1 cm overdekking og 10 cm overdekking av avgangen. Resultatene er angitt i form av grafer, men følgende tabell angir hovedtrekk i utviklingen.

Resultater fra modellberegninger av fluks av sulfat, kopper og sink fra avgang fra Grong Gruber.

Data	Sulfat			Kopper			Sink		
	Ingen	1 cm	10 cm	Ingen	1 cm	10 cm	Ingen	1 cm	10 cm
1989 - 5 år	67	38	25	2	2	2	35	35	33
1989 - 10 år	48	20	5	0.4	0.4	0.4	9	9	7
1992 - 5 år	107	38	25	11	10	5	73	31	31
1992 - 10 år	66	21	5	10	10	0.4	36	5	5
1996 - 5 år	51	50	37	2	2	2	76	46	33
1996 - 10 år	36	55	19	0.4	0.4	0.4	56	22	7

Vannet som renner ut av Østre Huddingsvatn vil bli fortynnet ca. 20 ganger når det blandes inn i vannmassene i hovedvassdraget. Det er ikke sannsynlig at de konsentrasjoner av gruveforurensninger som da blir aktuelle vil ha økologiske effekter.

Summary

Title: Leaching of polluting constituents from tailings in Lake Huddingsvatnet.

Year: 1998

Author: Rolf Tore Arnesen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3353-9

Underwater disposal of tailings from sulphide mining has been a method to prevent water pollution since 1968 in Norway. Gradually this method has been internationally accepted, and is now used in a number of countries.

At the closing of Norsulfid AS - Avd. Grong Gruber, the future development in the tailings deposit in the eastern part of Lake Huddingsvatn, will be important. In this report, existing data from NIVA's investigations in the area are used to perform model estimation of future concentrations of sulphate, zinc and copper in the recipient.

The results of such estimates are uncertain, but practice has shown that they give an impression of future trends. In addition it is possible to estimate the effect of covering the tailings with inert materials.

The calculations are based on laboratory tests. NIVA have done such test three times on samples taken in 1989, 1992 and 1996. The two latter samples contained tailings from a mixture of ore from Gjersvika and Joma.

The trends in concentration of sulphate, zinc and copper in the outlet from the eastern part of the Lake Huddingsvatn 20 years ahead are calculated, by three different situations: No cover, 1 cm cover and 10 cm cover on top of the tailings. The results are given as graphs. In the Norwegian summary (Sammendrag) the results are summarised in a table.

Water in the outlet from the eastern part of the lake will be diluted 20 times when it is mixed with the water in the western part of Lake Huddingsvatn. The concentrations of pollutants in the river system will probably not give any ecological effects.

1. Bakgrunn

Under et møte i SFT 20. juni 1997 vedrørende avslutning av virksomheten ved Norsulfid AS, avd. Grong Gruber, ble det diskutert om det kunne bli høyere utluting av tungmetaller fra avgangen i Huddingsvatnet etter at malm fra gruva ved Gjersvika inngikk i produksjonen. I et brev fra Outokumpu datert 25. juni er NIVA bedt om å foreta en gjennomgang av foreliggende data som kan belyse dette.

Avgangsdeponering under vann har siden 1968 vært en metode som har vært brukt for å hindre alvorlig vannforurensning fra kisgruver i Norge. Etter hvert er denne deponeringsmetoden også blitt anerkjent internasjonalt, og er nå aktuell i en rekke land.

Praktiske erfaringer fra andre avgangsdeponier under vann, har vist at de forurensningsmessig gir små problemer (Arnesen et al. 1997). Ved prøvefiske i 1995 i Hjerkinndammen, som inneholder avgangen fra den tidligere gruvevirksomheten her, ble det fanget ørret av god kvalitet (Iversen og Grande 1996). I det tidligere avgangsdeponiet til Boliden ABs gruve i Stekenjokk er det likeledes påvist at det lever fisk (Boliden 1997).

Tidligere har NIVA utført flere forsøk både med den opprinnelige malmen fra Joma, og med innblanding av malm fra forekomsten i Gjersvika. Da vi mottok henvendelsen fra gruveselskapet, hadde vi dessuten et forsøk i gang, med avgang som var tatt fra oppredningsverket i Joma sommeren 1996.

I det følgende vil alle disse forsøkene bli referert, og resultatene vil i den grad det er mulig bli brukt til å belyse den antatte fremtidige utviklingen i dette avgangsdeponiet. For å se nærmere på effekter av en eventuell tildekking av avgangen har vi benyttet en enkel modell for beregning av utlaking fra avgangen ved forskjellige tykkelser av inert materiale over avgangen.

I det følgende er Norsulfid AS, avd. Grong Gruber for enkelhets skyld omtalt som Grong Gruber.

2. Eksperimentelt

2.1 Generelt

NIVA har utviklet en enkelt modell som kan benyttes til å anslå utluting av tungmetaller fra avgang som er deponert under vann. Modellen er beskrevet i flere NIVA-rapporter og publikasjoner (Arnesen *et al.* 1979, 1993, 1997). Bakgrunnen for denne modellen vil derfor ikke bli nærmere beskrevet i det følgende.

For å utføre beregningene er det nødvendig å gjennomføre laboratorieeksperimenter som i noen grad simulerer forholdene i et avgangsdeponi. Disse eksperimentene er i denne rapporten omtalt som rør-forsøk og kolbeforsøk. I tillegg er det utført analyse av avgangsprøvene som er benyttet i forsøkene. Rørforsøkene benyttes til å beregne maksimal utløsningshastighet fra avgangen som angis i mg/m² pr. døgn. Fordeling av oksygenforbruk mellom ulike sulfider ved oksidasjonen beregnes %-vis fra resultatene av kolbeforsøkene og teoretisk innhold av metaller og svovel i avgangen beregnes ut fra analyse av oppsluttede prøver av avgang. Disse verdiene angis i henholdsvis mg SO₄ og mg metall pr. liter sediment. Disse beregningene er ikke nærmere beskrevet i denne rapporten, men finnes i andre NIVA-rapporter (Arnesen og Bjerkeng 1993). Ved beregningen er avgangens tetthet satt til 3.8 kg/l. Avgangens tetthet i vann er satt til 1.75 kg/l hvorav tørrstoffet utgjør 1 kg og vannet 0.75 kg.

Modellen er utviklet for beregning av fremtidige konsentrasjoner av kopper, sink og sulfat i utløpet fra et vanndekket avgangsdeponi. Her er beregningene gjort for vannkvaliteten i overløpet mellom Østre og Vestre Huddingsvatn. Beregningene tar utgangspunkt i verdiene på et gitt tidspunkt og beregner utviklingen i årene framover. Det er forutsatt at det ikke foregår deponering av ny avgang, og at den allerede deponerte avgang ligger i ro.

Som nevnt finnes tre sett av data fra forsøk med avgang fra Grong Gruber. I det følgende er disse forsøkene omtalt slik: Forsøk 1989 (kun Joma-malm), Forsøk 1992 (blanding av malm fra Joma og Gjersvika) og Forsøk 1996 (blanding av malm fra Joma og Gjersvika).

Resultatene av modellberegningene er vist grafisk i forbindelse med beskrivelsen av hvert forsøk. En nærmere gjennomgang av beregningsgrunnlaget og resultatene er gitt i kapittel 3 Modellberegninger.

Slike modellberegninger er beheftet med betydelig usikkerhet, men erfaringer viser at de gir et visst uttrykk for utviklingstendenser i årene framover. I tillegg er det mulig å anslå hvilken effekt tildekking av avgangen med inert materiale vil ha.

2.2 Forsøk 1989

Forsøkene i 1989 omfattet rørforsøk, risteforsøk og kjemisk analyse av avgang som var tatt ut i oppredningsverket 4. juli.

Det ble utført tre parallelle rørforsøk og resultatene av alle disse er samlet i tabell 19 til tabell 21 i vedlegg A. På grunnlag av analysedata beregnes fluksverdier som benyttes i modellen. De enkelte fluksverdiene er ikke gjengitt her, men kan beregnes på grunnlag av data i Vedlegg A. Tabell 1 viser midlere fluksverdier som er benyttet i modellberegningene. Verdiene for kadmium er så lave at det er vanskelig å vurdere om de er reelle.

Tabell 1. Midlere fluksverdier fra rørforsøkene. Benyttes for beregning av maksimal utløsningshastighet.

Rørnr.	pH	Sulfat mg/m ² pr. døgn	Kopper mg/m ² pr. døgn	Sink mg/m ² pr. døgn	Kadmium µg/m ² pr. døgn
I	7.54	526	0.047	0.018	-0.43
II	7.59	446	0.031	0.039	-0.54
III	7.58	464	0.074	0.016	-0.48

Det ble også utført to kolbeforsøk med henholdsvis 1 % og 10 % suspensjoner. Analyseresultatene fra disse forsøkene er samlet i tabell 22 og tabell 23 i Vedlegg A. Ved modellberegningene benyttes utløsning pr. tidsenhet som gjennomsnitt over lengre tid. Disse verdiene brukes til beregning av prosentvis fordeling av oksygenforbruket, og her er de siste tre uttakene fra kolbeforsøkene benyttet. Midlere utløsning av sulfat og metaller i denne perioden er angitt i tabell 2. %-vis fordeling av oksygen ved oksidasjon av avgangen, beregnet på grunnlag av disse data er angitt i tabell 3.

Tabell 2. Midlere utløsning av sulfat og metaller fra avgang i kolbeforsøkene 1989.

Sulfat mg/l pr. døgn	Kopper µg/l pr. døgn	Sink mg/l pr. døgn	Kadmium µg/l pr. døgn
0.28245	0.04857	0.00034	0.00338

Tabell 3. %-vis fordeling av oksygenforbruk ved oksidasjon av avgang.
Beregnet på grunnlag av kolbeforsøkene (tabell 2).

FeS ₂	99.825
ZnS	0.175

Den kjemiske sammensetningen av avgangen benyttes til å angi den teoretiske fordelingen på ulike mineraler. I tabell 4 er sammensetning og fordeling på mineraler vist.

Tabell 4. Teoretisk %-vis fordeling av elementer på aktuelle mineraler. Beregnet ut fra sammensetning av avgang. Prøven ble tatt i oppredningsværet 4. juli 1989.

Faststoffanalyse		Elementer fordelt på mineraler (vekt-%)			
	Vekt-%	FeS ₂	CuFeS ₂	ZnS	Andre Fe-forb.
Cu	0.21		0.21		
Zn	0.16			0.16	
S	23.8	23.5	0.21	0.08	
Fe	28.1	20.5	0.18		7.44

Ved beregningen er denne fordelingen omregnet til g/l, der sedimentets tetthet er anslått til 1,75 kg/l, og hvor faststoffet utgjør 1 kg pr. liter. Tabell 5 viser disse verdiene.

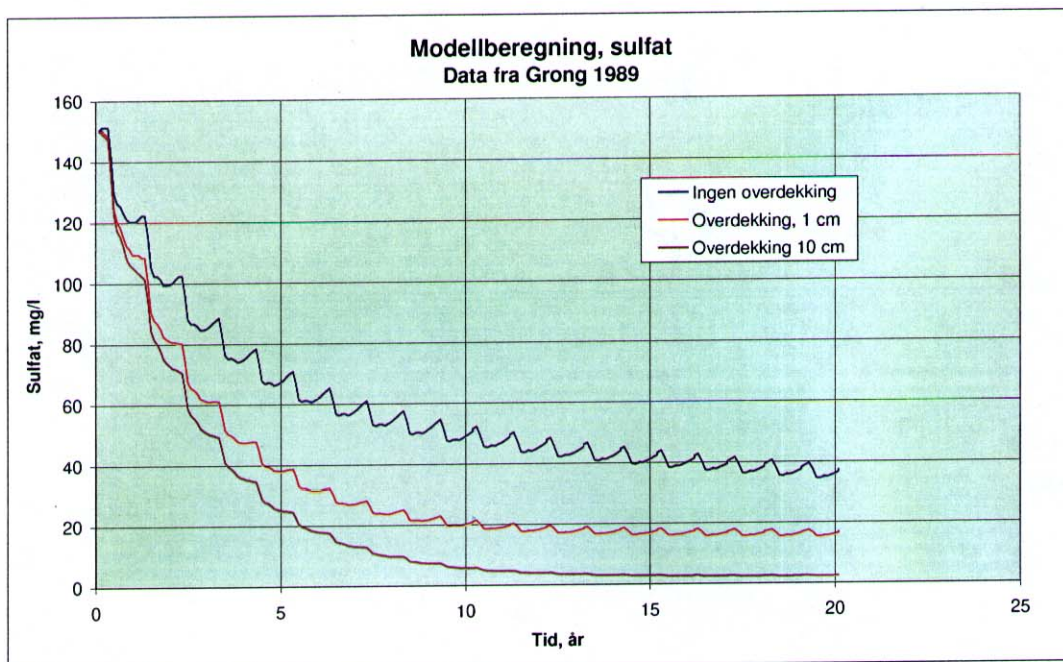
Tabell 5. Teoretisk innhold av FeS₂, ZnS og CuFeS₂ i bunnsediment målt i g/l.
Sedimentets tetthet er anslått til 1,75 kg/l hvorav faststoffet utgjør 1 kg.

Merk benevning!

Komponent	g/l
FeS ₂	704
ZnS	1.6
CuFeS ₂	2.1

Sulfat, sink og kopper løses ut i mengder som har en størrelsesorden som gjør det mulig å benytte data i det videre regnearbeidet. Når det gjelder kadmium er det klart målbar utløsning i kolbeforsøket, men analysefeil og andre usikkerheter i beregningene blir relativt sett meget store. I rørforsøkene er det ikke påvist reell utløsning av kadmium.

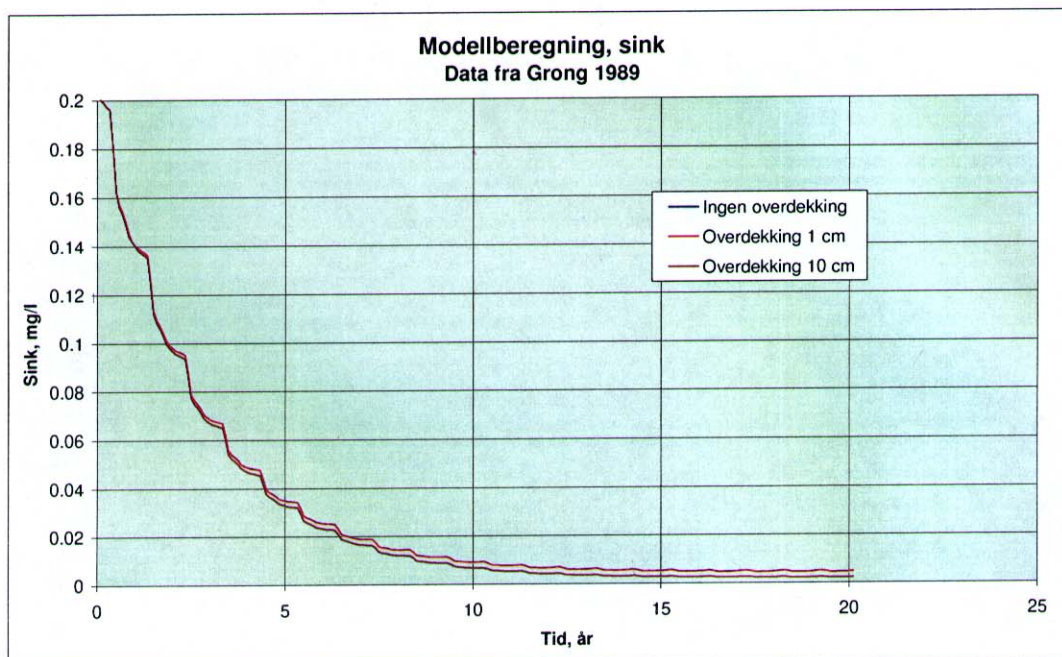
De modellberegningene som er utført med utgangspunkt i de ovennevnte data, er presentert grafisk i figur 1. og figur 2. Figurene viser estimerte konsentrasjoner i utløpet fra Østre Huddingsvatn etter at driften ved Grong Gruber er nedlagt. Resultatene av beregningene er nærmere omtalt i kapittel 3 Modellberegninger. Figurene er ment som en kvalitativ illustrasjon av den fremtidige utviklingen i vannkvalitet. For alle beregningene er sink og sulfat valgt som eksempler. I praksis er det disse komponentene som viser forhøyede konsentrasjoner.



Figur 1. Resultater av modellberegning for sulfat. Datagrunnlag er forsøkene fra 1989.

Sulfat, sink og kopper løses ut i mengder som har en størrelsesorden som gjør det mulig å benytte data i det videre regnearbeidet. Når det gjelder kadmium er det klart målbar utløsning i kolbeforsøket, men analysefeil og andre usikkerheter i beregningene blir relativt sett meget store. I rørforsøkene er det ikke påvist reell utløsning av kadmium.

De modellberegningene som er utført med utgangspunkt i de ovennevnte data, er presentert grafisk i figur 1. og figur 2. Figurene viser estimerte konsentrasjoner i utløpet fra Østre Huddingsvatn etter at driften ved Grong Gruber er nedlagt. Resultatene av beregningene er nærmere omtalt i kapittel 3 Modellberegninger. Figurene er ment som en kvalitativ illustrasjon av den fremtidige utviklingen i vannkvalitet. For alle beregningene er sink og sulfat valgt som eksempler. I praksis er det disse komponentene som viser forhøyede konsentrasjoner.



Figur 2. Resultater av modellberegning for sink. Datagrunnlag er forsøkene fra 1989. Kurvene for ingen og 1 cm overdekking er praktisk talt sammenfallende.

2.3 Forsøk 1992

Forsøkene i 1992 ble utført for å sammenlikne Joma-avgang med den antatte blandingen av malm fra Joma og Gjervik-malm. Også da ble det utført både rørforsøk og risteforsøk. Det ble imidlertid ikke gjennomført modellberegninger ved denne anledning, men de nødvendige data for slike beregninger forelå, slik at de kunne foretas nå. Resultatene av forsøkene i 1992 ble rapportert i et notat av 5. oktober 1992.

På samme måte som for forsøkene i 1989, er resultatene fra 1992 omregnet og redigert for å kunne utføre modellberegningene. Tabell 6 til tabell 10 i det følgende inneholder stort sett informasjon slik det er beskrevet i foregående kapittel. Resultatene fra de enkelte forsøkene er samlet i tabell 24 og tabell 25 i vedlegg A. Prøvene som ble testet var fra oppredningsforsøk ved SINTEF. Prøvenes sammensetning ble angitt fra SINTEF med tre forskjellige sett av kjemiske analyser. I tabell 6 er middelverdiene for disse resultatene listet.

Tabell 6. Gjennomsnittlig fluks ved rørforsøkene i 1992. (Dag 17 - 120). Ved modellkjøringen er data fra rør 7 benyttet.

Rør nr.	Sulfat mg/m ² pr. døgn	Kopper mg/m ² pr. døgn	Sink mg/m ² pr. døgn
7	3207	0.091	1.07
8	1634	0.006	0.33

Tabell 7. Midlere utløsning av sulfat og metaller fra avgang i kolbeforsøket i 1992 (Dag 10 - 120).

Sulfat mg/l pr.døgn	Jern µg/l pr. døgn	Kopper µg/l pr. døgn	Sink µg/l pr. døgn
3.04	572	0.035	14.7

Tabell 8. %-vis fordeling av oksygenforbruk på de ulike komponentene. Beregnet ut fra kolbeforsøket i 1992.

Komponent	%
FeS ₂	99.288
ZnS	0.710
CuFeS ₂	0.002

Tabell 9. Teoretisk %-vis fordeling av elementer på aktuelle mineraler i prøven fra 1992. Angitt innhold av svovel er ikke analysert, og er derfor en anslått verdi.

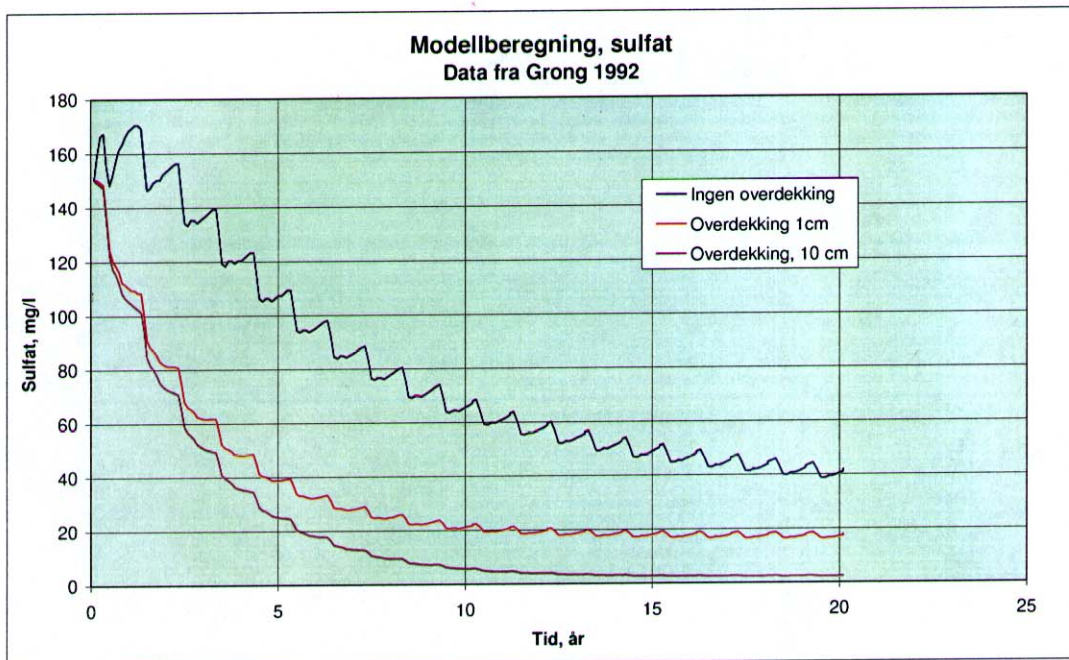
Faststoffanalyse		Elementer fordelt på mineraler (vekt-%)			
	Vekt-%	FeS ₂	CuFeS ₂	ZnS	Andre Fe-fob.
Cu	0.27		0.27		
Zn	1.84			1.84	
S	32	30.8	0.27	0.90	
Fe	34.4	26.8	0.24		7.31

Tabell 10. Teoretisk innhold av FeS₂, ZnS og CuFeS₂ i bunnsediment målt i g/l.
Merk benevning!

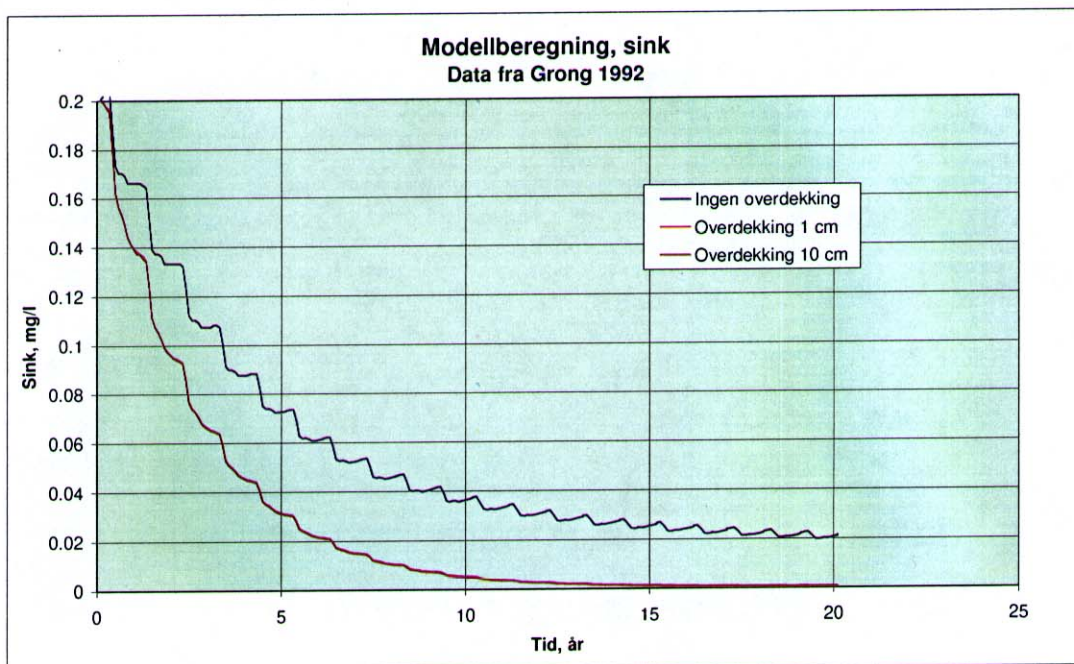
Komponent	g/l
FeS ₂	924
ZnS	18.4
CuFeS ₂	2.7

Resultater av forsøk og analyser av avgang fra 1992 er avvikende fra det som ble funnet for avgangen fra 1989 og 1996. Særlig er innholdet av sink i en av prøvene svært høyt. Prøvene er dessuten oppbevart annerledes, bl. a. ved at de kan ha vært tørre en tid. Dette kan ha ført til at denne avgangen ikke var representativ for det materialet som er deponert i Huddingsvatn.

I figurene figur 3 og figur 4 er resultatene av modellberegningene fremstilt grafisk.



Figur 3. Resultater av modellberegning for sulfat. Datagrunnlaget er forsøkene fra 1992.



Figur 4. Resultater av modellberegning for sink. Datagrunnlaget er forsøkene fra 1992. Kurvene for 1 og 10 cm overdekking er praktisk talt sammenfallende.

2.4 Forsøk 1996

Forsøkene i 1996 omfattet kun rørforsøk og kjemiske analyser av avgang. Dette skyldes at det i utgangspunkt ikke forelå noe program for noen nærmere undersøkelse av avgangen. Avgangsprøvene som ble tatt i oppredningsverket høsten 1996 skulle være orienterende for de undersøkelser som skulle gjennomføres i forbindelse med at driften i gruva legges ned.

Middelverdier for fluks fra rørforsøkene er samlet i tabell 11. Maksimal utløsningshastighet bestemt ut fra rørforsøkene, er angitt i tabell 12.

Tabell 11. Middelverdier for fluks fra avgangen i rørforsøkene i 1996.

Rørnr.	pH	Sulfat mg/m ² pr. døgn	Kopper mg/m ² pr. døgn	Sink mg/m ² pr. døgn	Kadmium µg/m ² pr. døgn
Rør 8	6.65	277	-0.005	0.507	-2.03
Rør 9	6.75	190	0.012	-0.030	-1.60
Rør 11	6.69	83	-0.035	0.004	-1.06
Rør 13	6.91	329	0.044	-0.004	-9.72

For å unngå de høye verdiene som man ofte får i starten av forsøkene, bl.a. på grunn av partikler og innhold av porevann i avgangsprøvene, ble middelverdier for fluks fra avgangen først beregnet fra dag 11. Ved modellberegningene ble de høyeste verdiene for utløsning uansett rør benyttet. Disse verdiene er samlet i tabell 12.

De fire rørene fra forsøket i 1996/97 viste en viss overensstemmelse, men det var en del variasjon fra rør til rør og mellom analysevariablene. pH i prøvene var hele tiden høy, og utløsningen av kopper og til dels sink var meget lav. De noe høyere verdiene som forekommer, kan skyldes feil ved prøvetaking eller analyse. Disse verdiene influerer lite på det endelige resultatet. De negative fluksverdiene som er registrert for kopper, sink og kadmium, betyr at det skjer en utfelling eller adsorpsjon av metaller på avgangen.

Tabell 12. Verdier som ble brukt i modellberegningene fra rørforsøkene i 1996.

Sulfat g/m ² pr. døgn	Kopper g/m ² pr. døgn	Sink g/m ² pr. døgn
0.3	$0.4 \cdot 10^{-4}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$

De høyeste middelverdiene for sulfat og sink er lagt til grunn for de videre vurderingene, selv om de neppe er helt representative for forsøket. Det betyr at de beregnede utløsningene over tid er høyere enn det som kan forventes i fremtiden.

Sammensetning av avgangen som ble benyttet til rørforsøkene i 1996/97 er angitt i tabell 13. I samme tabell er den %-vise fordelingen på mineraler satt opp. Sammensetningen er beregnet som middel av resultatene for avgang fra fire forskjellige rørforsøk. Det var meget liten forskjell mellom disse resultatene.

Tabell 13. Sammensetning og teoretisk %-vis fordeling av elementer på aktuelle mineraler. Beregnet ut fra gjennomsnittlig sammensetning av avgangen som ble benyttet i rørforsøkene.

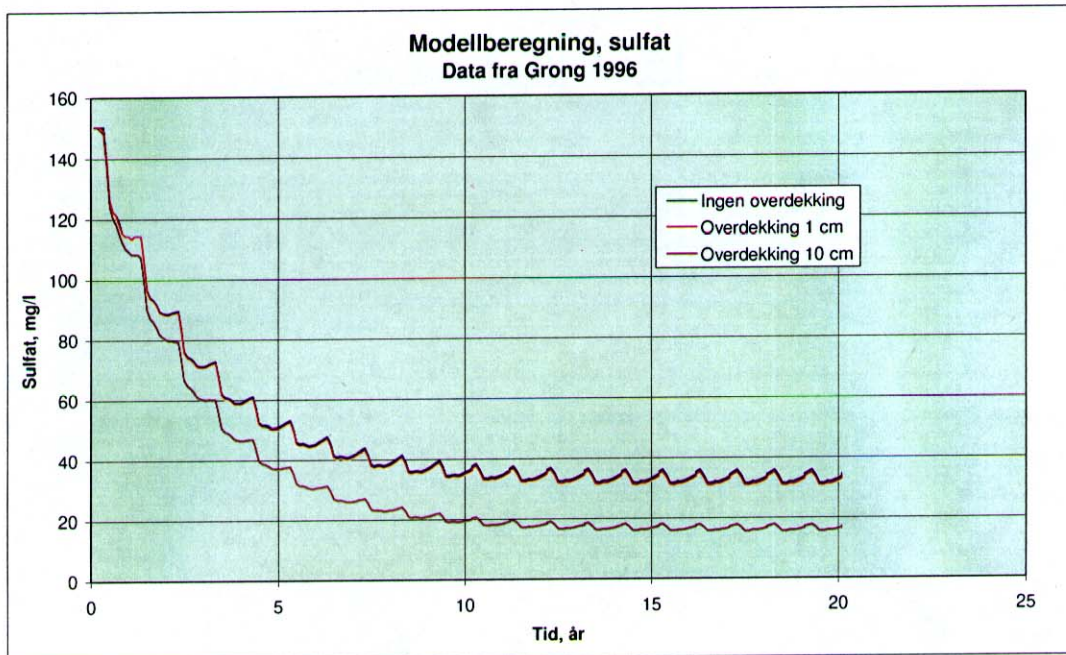
Faststoffanalyse		Elementer fordelt på mineraler (vekts-%)			
	Vekt-%	FeS ₂	CuFeS ₂	ZnS	Andre Fe-forb.
Cu %	0.2		0.20		
Zn %	0.13			0.13	
S %	28.87	28.6	0.20	0.06	
Fe %	29.39	24.9	0.18		4.30

Ut fra data i tabell 13 er teoretisk innhold av FeS₂, Zn S og CuFeS₂ beregnet og listet i tabell 14.

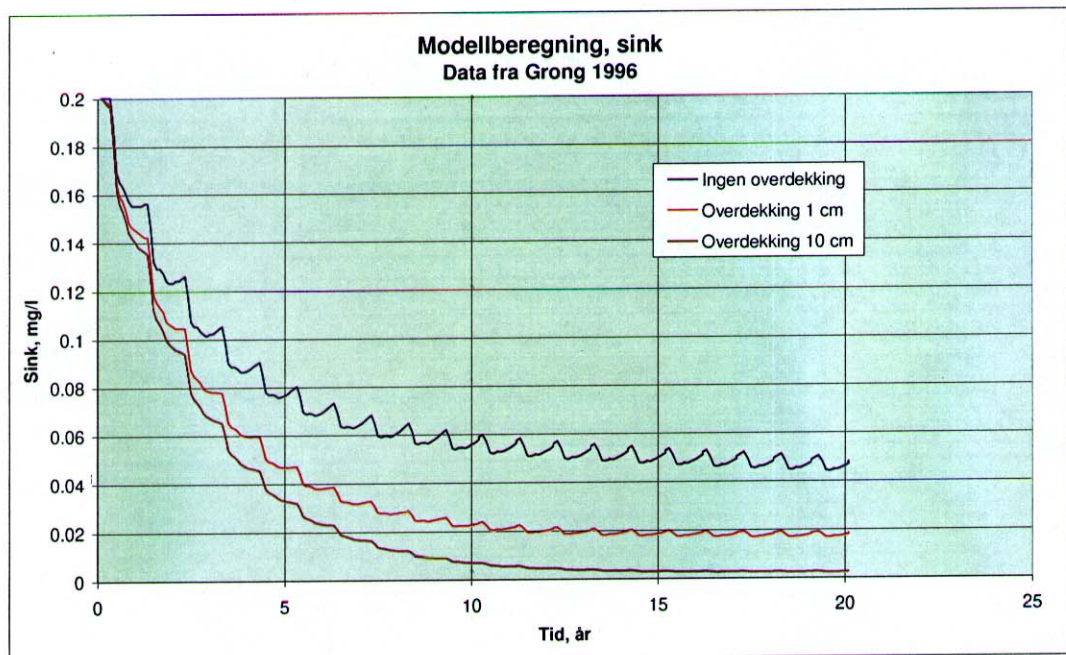
Tabell 14. Teoretisk innhold av FeS₂, ZnS og CuFeS₂ i bunnsediment målt i g/l. Sedimentets tetthet er anslått til 1,75 kg/l hvorav faststoffet utgjør 1 kg. Merk benevning!

Komponent	g/l
FeS ₂	857
ZnS	1.3
CuFeS ₂	2.0

Det ble ikke utført risteforsøk i 1996. Det finnes derfor ikke noe eksperimentelt grunnlag for beregning av fordeling av oksygenforbruket på de ulike komponentene i avgangen. Det er valgt å benytte verdiene fra avgangen i 1989, fordi avgangen fra 1992 syntes å være lite representativ for den avgangen som finnes i Huddingsvatnet. Data fra 1989 er listet i tabell 3. Resultatene av modellberegningene er fremstilt grafisk i figur 5 og figur 6.



Figur 5. Resultater av modellberegning for sulfat. Datagrunnlaget er forsøkene fra 1996.



Figur 6. Resultater av modellberegning for sink. Datagrunnlaget er forsøkene fra 1996.

3. Modellberegninger

Den tidligere nevnte NIVA-modellen benyttes til å anslå framtidige konsentrasjoner av tungmetaller og sulfat i avrenningen fra et vanndekket avgangsdeponi. Denne konsentrasjonen beregnes som månedsgjennomsnitt, og kan variere betydelig, avhengig av hydrologiske forhold og hvorvidt deponiet er islagt eller ikke. De hydrologiske forhold i Huddingsvassdraget er endret en god del i løpet av de senere år, først og fremst på grunn av tiltakene som er gjennomført i Østre Huddingsvatn. I tabell 15 er månedlig avrenning ved en del alternative situasjoner listet. Det er en viss overensstemmelse mellom avrenningsdata fra ulike kilde. Vi har valgt å legge de verdiene som kan tas ut av "Avrenningskart for Norge" fra Norges Vassdrags- og Energiverk til grunn. Avrenningskoeffisienten for området er her satt til $42.4 \text{ l/sek}\cdot\text{km}^{-2}$.

Tabell 15. Månedlig avrenning angitt i m^3/s i Huddingsvassdraget ved ulike situasjoner
Basert på: Beregninger 1963 - 1974 (Rapport fra Grong Gruber, januar 1976),
Avrenningskart (Norges Vassdrags og Energiverk 1987)

Ref	Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
1)	7.1	3.4	5.3	5.2	47.9	65.6	22.5	11.5	16.7	21.6	10.8	9.2
2)	5.5	2.6	4.1	4	36.8	50.5	14.3	8.8	12.8	16.6	8.3	7.1
3)	0.29	0.14	0.22	0.22	1.98	2.72	0.93	0.48	0.69	0.89	0.45	0.38
4)	0.34	0.16	0.26	0.26	2.32	3.19	1.09	0.56	0.81	1.04	0.53	0.44

1) Huddingselva ved veibro (H8)

3) Utløp Østre Huddingsvatn etter nedleggelse

2) Utløp Østre Huddingsvatn før tiltak

4) Avløp Østre Huddingsvatn under drift (etter tiltak).

Modellen tar dessuten utgangspunkt i vannkvaliteten i deponiet når beregningen starter, og det er nødvendig å stipulere en konsentrasjon av kopper, sink og sulfat i Østre Huddingsvatn ved beregningens start. Det er rimelig å ta utgangspunkt i de vannprøvene som rutinemessig tas i overløpet mellom de to delene av innsjøen. Tabell 16 viser de verdier som er lagt til grunn for beregningene her. Bortsett fra at disse verdiene ikke må være helt urealistiske, spiller den eksakte verdien mindre rolle.

Tabell 16. Startkonsentrasjoner for kopper, sink og sulfat i overløp fra Østre til Vestre Huddingsvatn ved modellberegningen i rapporten.

Kopper, $\mu\text{g/l}$	Sink, $\mu\text{g/l}$	Sulfat, mg/l
15	200	150

I

tabell 17 er en del resultatene av modellberegningene for forskjellige avgangsprøver og ulike overdekninger av avgangen i Huddingsvatnet satt opp. Beregningene er som nevnt basert på laboratorieforsøk med ulike prøver av avgang. Resultatene av forsøkene i 1992 er tatt med, selv om analyser av prøvene og forsøksresultatene vist at denne avgangen ikke var typisk for det som nå deponeres. Prøvene var den gang tatt fra oppredningsforsøk i Trondheim, og prøvenes behandling før forsøkene er ikke godt dokumentert. Vi vil derfor i noen grad se bort fra disse resultatene i den videre diskusjonen.

Tabell 17. Resultater fra modellberegninger av fluks av sulfat, kopper og sink fra avgang fra Grong Gruber. Datagrunnlaget er beskrevet i teksten.

Sulfat mg/l			
Data	Ingen	1 cm	10 cm
1989 - 5 år	67	38	25
1989 - 10 år	48	20	5
1992 - 5 år	107	38	25
1992 - 10 år	66	21	5
1996 - 5 år	51	50	37
1996 - 10 år	36	55	19.

Kopper µg/l			
Data	Ingen	1 cm	10 cm
1989 - 5 år	2	2	2.
1989 - 10 år	0.4	0.4	0.4
1992 - 5 år	11	10	5
1992 - 10 år	10	10	0.4
1996 - 5 år	2.	2	2
1996 - 10 år	0.4	0.4	0.4

Sink µg/l			
Data	Ingen	1 cm	10 cm
1989 - 5 år	35	35	33
1989 - 10 år	9	9	7
1992 - 5 år	73	31	31
1992 - 10 år	36	5	5
1996 - 5 år	76	46	33
1996 - 10 år	56	22	7

For å bedømme betydningen av konsentrasjonene som er listet i tabell 17, er det nødvendig å kjenne hvilken fortykning vannet fra Østre Huddingsvatn får når det ledes ut i hovedvassdraget. I tabell 18 er den antatte midlere vannføringen ved forskjellige punkter og ulike situasjoner samlet.

Tabell 18. Årlige midlere vannføringer i Huddingsvassdraget på forskjellige punkter og ved ulike situasjoner. Alle verdier er angitt i m³/s.

Målested	Sum
Huddingselva ved veibro (H8)	226.8
Utløp Østre Huddingsvatn før tiltak	171.4
Utløp Østre Huddingsvatn etter nedleggelse	9.4
Avløp Østre Huddingsvatn ved drift av gruva.	11

Avløpet fra Østre Huddingsvatn vil etter tabell 18 bli fortennet mer enn 20 ganger før det når veibroen over Huddingselva (st. 8). Lokalt vil selvfølgelig konsentrasjonene bli noe høyere, f.eks. rett ut for

utløpet til Vestre Huddingsvatn. Lokale nedbørepisoder kan også forskyve dette fortynningsbildet. En fortynning på minst 1:10 vil i alle fall skje ganske raskt.

4. Konklusjon

Selv om de teoretiske beregningene som er referert i det foregående er basert på forholdsvis enkle forutsetninger, er erfaringen at de stemmer ganske godt med praktiske målinger (Arnesen *et al.* 1997).

Datagrunnlaget for beregningene er i dette tilfellet noe mangelfullt, men resultatene er likevel i ganske god overensstemmelse (tabell 17). Alle modellkjøringene viser at konsentrasjonen av sink og sulfat avtar relativt raskt de første årene etter at deponeringen av avgang slutter. I løpet av 5 - 10 år vil konsentrasjonene ha nådd et stabilt nivå.

Uten tiltak i avgangsdeponiet kan det forventes en sulfatkonsentrasjon på 50 - 100 mg/l i utløpet av østre Huddingsvatn. Etter 10 år vil den ha avtatt noe mer, men neppe vesentlig. For kopper er det ikke grunn til å vente vesentlige tilførsler fra avgangen. Konsentrasjonen av sink vil antakelig avta til ca 50 - 100 µg/l etter 5 år. Etter 10 år vil denne konsentrasjonen avta ytterligere til ca. 20 - 50 µg/l.

En eventuell overdekking av avgangen med inert materiale vil neppe ha noen virkning på utløsningen av kopper. For sulfat kan et relativt tykt sjikt halvere konsentrasjonen i utløpet av østre Huddingsvatn. For sink er det vanskeligere å trekke noen entydig konklusjon, men selv et forholdsvis tynt lag kan føre til en betydelig reduksjon av sinkkonsentrasjonen.

Selv de høyeste verdiene for utløsning fra avgangen blir forholdsvis beskjedne når den aktuelle fortynningen tas i betraktning.

En overdekking med inert materiale vil som ventet gi en viss reduksjon i utløsningen. For f. eks. kopper blir effekten likevel liten dersom overdekkingen ikke blir jevn og ganske tykk. For sink oppnås forholdsvis mer ved en tynnere overdekking.

Det finnes ikke grunnlag for å si at de sulfatmengdene som blir løst ut fra avgangen vil ha særlig betydning for vassdraget, selv uten overdekking.

De aktuelle konsentrasjonene av sink kan muligens helt lokalt skade enkelte organismer (alger), men etter fortynning i Vestre Huddingsvatn er det ikke sannsynlig at konsentrasjonene har økologiske skadevirkninger.

Alle konsentrasjoner som er angitt for modellberegningen, er tilleggskonsentrasjoner i forhold til dem som skyldes naturlige kilder i nedbørfeltet eller eventuelle landbaserte kilder for forurensning av vassdraget. Det er viktig at det gjøres en samlet vurdering av de tiltak som nå er planlagt gjennomført ved nedleggelse av driften ved Grong Gruber. Måten disse tiltakene gjennomføres på kan ha stor betydning for den fremtidige forurensningssituasjonen i vassdraget. Det vil være mest kostnads-effektivt å legge vekt på arbeidet med eventuelle landbaserte forurensningskildene, før det gjøres tiltak på avgangsdeponiet.

5. Referanser

Arnesen, R.T. og Bjerkeng, B. 1979

Utløsning av deponert avgang i Dausjøen.

Utredning for Elkem-Spigerverket A/S-Skorovas Gruber.

NIVA-rapport O-78083, Lnr.: 1137

Arnesen, R.T. og Bjerkeng, B. 1993

Fremtidig utvikling i Avgangsdeponier under vann.

Hjerkinndammen, Hjerkin - Bjørndalsdammen, Løkken

Arnesen, R.T., Bjerkeng, B. and Iversen, E.R. 1997

Comparison of Model Predicted and Measured copper and Zinc Concentrations at three Norwegian Underwater Tailings Disposal Sites.

Fourth Int. Conf. on Acid Rock Drainage, May 31 - June 6, 1997, Vancouver, B.C., Canada.

Boliden (1997)

Stekenjokk - Fem år etter etterbehandling är rödingen tillbaka.

Brosjyre fra Boliden AB.

Iversen, E.R. og Grande, M. 1996

Norsulfid AS - Avd. Folldal Verk, Kontrollundersøkelser 1993 - 95

NIVA-rapport: O-64120, L.nr.: 3470-96, p.p.: 44

Vedlegg A.

Tabell 19. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong Gruber A.S. Tatt i oppredningsverket høsten 1989. Volum: 4.257 l Areal: 0.008495 m². Uttak: 0.25 l

Døgn	pH	Sulfat mg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink mg/l	Kadmium µg/l
Bl.vann	6.04	670	< 5	0.110	0.03	0.93
0	7.15	13	< 5	0.005	< 0.01	< 0.1
3	7.16	16	< 5	0.004	< 0.01	< 0.1
7	7.30	20	< 5	0.004	< 0.01	< 0.1
12	7.42	20	81	0.007	< 0.01	< 0.1
27	7.54	43.6	< 5	0.017	0.01	0.17
54	7.81	70	< 5	0.007	0.02	0.16
107	7.94	160	< 5	0.003	0.01	0.21
356	8.03	295	6	0.004	0.02	0.27

Tabell 20. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong Gruber A.S. Tatt i oppredningsverket høsten 1989. Volum: 4.257 l Areal: 0.008495 m². Uttak: 0.25 l.

Døgn	pH	Sulfat mg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink mg/l	Kadmium µg/l
Bl.vann	6.10	680	< 5	0.110	0.02	0.9
0	7.22	10	9.8	0.006	< 0.01	< 0.1
3	7.23	14	5	0.004	< 0.01	< 0.1
7	7.47	14	6	0.005	< 0.01	< 0.1
12	7.45	16	7	0.006	< 0.01	< 0.1
27	7.51	37	5.2	0.023	0.02	0.13
54	7.80	65	< 5	0.009	0.01	0.13
107	7.98	120	< 5	0.004	0.01	0.21
356	8.05	275	6	0.004	0.02	0.34

Tabell 21. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong Gruber A.S. Tatt i oppredningsverket høsten 1989. Volum: 4.257 l Areal: 0.008495 m² Uttak: 0.25 l.

Døgn	pH	Sulfat mg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink mg/l	Kadmium µg/l
Bl.vann	5.81	660	< 5	0.100	0.02	0.78
0	7.25	14	< 5	0.004	< 0.01	< 0.1
3	7.29	22	< 5	0.003	< 0.01	< 0.1
7	7.45	20	< 5	0.004	< 0.01	< 0.1
12	7.41	18	57	0.005	< 0.01	< 0.1
27	7.55	37	< 5	0.031	0.01	0.16
54	7.82	71	< 5	0.009	0.01	0.14
107	7.92	120	12	0.004	0.01	0.18
356	7.98	282	< 5	0.006	0.02	0.39

Tabell 22. Analyseresultater fra kolbeforsøk med avgang fra Grong, 1989, 1 %-suspensjon.

Døgn	pH	Sulfat mg/l	Kopper µg/l	Sink mg/l	Jern µg/l	Kadmium µg/l
3	7.59	13	30	0.01	150	0.17
7	7.8	24	29	0.01	70	0.18
12	7.49	35	9	0.01	<50	<0.1
27	7.86	60	10.6	0.02	19.5	0.34
54	7.77	61	16	0.03	5.2	0.38
107	7.92	90	11.1	0.05	20.4	0.65
183	7.77	110	14	0.07	6	0.92

Tabell 23. Analyseresultater fra kolbeforsøk med avgang fra Grong, 1989, 10 %-suspensjon.

Døgn	pH	Sulfat mg/l	Kopper µg/l	Sink mg/l	Jern µg/l	Kad- mium µg/l
3	7.62	85	26	0.01	210	0.27
7	7.74	100	25	0.01	90	0.17
12	7.80	140	8	0.01	<50	0.1
27	7.78	200	7.04	0.02	42.6	0.44
54	7.68	360	14	0.01	33.6	0.56
107	7.68	1100	6.8	0.05	26.5	1
183	7.61	1500	5.2	0.15	<5	2.4

Tabell 24. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong Gruber, 1992, Areal: 0.00773 m², Volum: 4.1, Uttak: 0.2 l.

	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l
Bl.vann	6.40	3.0	6.0	0.0020	0.01
3	5.92	25.8	72	0.0034	0.21
11	5.78	39.1	136	0.0033	0.25
17	5.18	49.4	196	0.0041	0.26
32	5.46	64.2	230	0.0081	0.26
63	5.06	80.1	360	0.0019	0.30
93	4.48	96.4	470	0.0029	0.29
128	3.93	113	710	0.0240	0.41

Tabell 25. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong Gruber, 1992, Areal: 0.00848, Volum: 4.56, Uttak: 0.2 l

	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l
Bl.vann	6.40	3.0	6	0.0020	0.01
3	6.19	11.5	25	0.0026	0.05
11	6.11	26.2	76	0.0009	0.11
17	5.88	28.8	84	0.0009	0.12
32	5.96	31.4	92	0.0017	0.12
63	5.51	44.4	160	0.0008	0.18
93	5.37	61.7	240	0.0016	0.20
128	5.92	71.1	488	0.0021	0.10

Tabell 26. Analyseresultater fra kolbeforsøk med avgang fra Grong, 1992, 1 %-suspensjon

Døgn	pH	Kond mS/m	Sulfat mg/l	Jern mg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Kad- mium µg/l
1			55	0.83	18.9	250	1.1
4	6.93	25.8	107	0.09	5.3	25	0.37
10	6.97	31.2	151	0.03	5.1	90	0.67
25	6.67	30.3	216	0.15	17.0	430	2.1
56	4.63	48.2	311	32.1	5.1	180	1.6
86	3.91	70.7	344	99.8	11.0	80	3
120	4.19	83.1	485	191	5.7	170	<0.10

Tabell 27. Analyseresultater fra rørforsøk med avgangsprøve fra Grong tatt høsten 1996,
Volum: 4.6, Areal: 0.008479, Uttak: 0.2 l

Døgn	pH	Kond	Sulfat	Kopper	Sink	Kad-
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mium µg/l
Bl.vann	6.40	3.00	6.0	0.002	0.010	0.50
7	6.72	12.00	19.0	0.020	0.014	0.40
11	6.57	11.87	18.4	0.019	0.040	0.34
22	6.49	16.86	45.0	0.021	0.019	0.37
67	6.86	19.54	30.5	0.018	0.016	0.13
137	6.91	24.20	47.0	0.014	0.010	0.17
251	6.43	25.50	60.0	0.016	0.021	0.23

Tabell 28. Analyseresultater fra rørforsøk med avgangsprøve fra Grong tatt høsten 1996,
Volum: 4.4, Areal: 0.008446, Uttak: 0.2 l

Døgn	pH	Kond	Sulfat	Kopper	Sink	Kad-
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mium µg/l
Bl.vann	6.40	3.0	6.0	0.002	0.010	0.500
7	6.73	11.8	17.9	0.021	0.014	0.220
11	6.61	13.1	20.4	0.020	0.014	0.180
22	6.65	15.9	28.5	0.020	0.011	0.200
67	6.82	17.1	28.5	0.021	0.012	0.005
137	6.97	19.5	35.0	0.017	0.010	0.203
251	6.72	22.1	49.0	0.018	0.015	0.160

Tabell 29. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong tatt høsten 1996,
Volum: 3.55, Areal: 0.006822, Uttak: 0.2

Døgn	pH	Kond	Sulfat	Kopper	Sink	Kad-
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mium µg/l
Bl.vann	6.40	3.0	6.0	0.002	0.010	0.500
7	6.68	13.4	20.5	0.009	0.008	0.120
11	6.64	13.2	20.2	0.007	0.007	0.110
22	6.66	13.5	21.5	0.005	0.007	0.120
67	6.59	15.2	24.5	0.005	0.007	0.005
137	6.88	22.7	41.0	0.006	0.060	0.145
251	6.68	26.3	55.0	0.011	0.009	0.190

Tabell 30. Analyseresultater fra rørforsøk med avgang fra Grong tatt høsten 1996,
Volum: 3.7, Areal: 0.00709, Uttak: 0.2.

Døgn	pH	Kond	Sulfat	Kopper	Sink	Kad-
		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mium µg/l
Bl.vann	6.40	3.0	6.0	0.002	0.010	0.500
7	6.52	15.0	25.0	0.016	0.013	0.910
11	6.61	17.7	28.5	0.016	0.012	0.580
31	6.76	21.7	39.0	0.023	0.009	0.470
67	7.07	32.2	68.0	0.018	0.008	0.001
137	7.27	37.9	91.0	0.014	0.060	0.203
251	6.83	41.9	110.0	0.013	0.011	0.180

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3780-98

ISBN 82-577-3353-9