



O-94017/O-93126/O-92123

Virksomheter
av øket tilførsel
av gruvevann
til Orvsjøen

Nordgruvefeltet, Røros

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-94017	
O-93126	
O-92123	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3130	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: Virkninger av øket tilførsel av gruvevann til Orvsjøen Nordgruvefeltet, Røros	Dato:	Trykket:
	Sept. 1994	NIVA 1994
Forfatter(e): Rolf Tore Arnesen Eigil Rune Iversen	Faggruppe:	
	MILJØTEKNOLOGI	
	Geografisk område:	
	Sør-Trøndelag	
	Antall sider:	Opplag:
	33	25

Oppdragsgiver: Bergvesenet	Oppdragsg. ref.:
-------------------------------	------------------

Ekstrakt:

Det er foretatt kjemiske undersøkelser i Orvsjøen og Orva ved Røros for å vurdere eventuelle effekter av å overføre gruvevann fra Arvedalen gruve til Orvsjøen. Resultatene tyder på at tungmetalltransporten i Orva kan bli redusert med opptil 10 % for kopper og 25 % for jern ved en slik overføring. Det er ikke fare for at metaller som allerede er utfelt i Orvsjøen løses i nevneverdig grad ved en overføring av gruvevann i det omfang som er aktuelt.

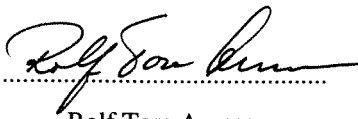
4 emneord, norske

1. Surt gruvevann
2. Tungmetaller
3. Utfelling
4. Innsjø

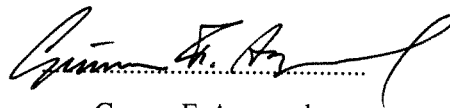
4 emneord, engelske

1. Acid Mine Drainage (AMD)
2. Heavy Metals
3. Precipitation
4. Lake

Prosjektleder


Rolf Tore Arnesen

For administrasjonen


Gunnar F. Aasgaard

ISBN82-577-2602-8

Norsk institutt for vannforskning

O-94017/O-93126/O-92123

**Virkninger av øket tilførsel av gruvevann til
Orvsjøen**

Nordgruvefeltet, Røros

Oslo

September 1994

Prosjektleder:

Rolf Tore Arnesen

Medarbeider:

Eigil Rune Iversen

Innhold

1. Sammendrag	4
2. Bakgrunn	5
2.1. Forurensningssituasjon - tidligere arbeid	5
2.2. Prosjektet	7
3. Hydrologiske forhold	8
3.1. Generelt	8
3.2. Gruvevann fra Kongens gruve	8
3.3. Avrenning fra velter ved Arvedalen gruve	9
3.4. Orva ved utløp fra Orvsjøen	9
3.5. Vurdering av blandingsforhold	11
4. Kjemiske analysedata	13
4.1. Konsentrasjoner	13
4.1.1. Generelt	13
4.1.2. Utløp Orvsjøen	13
4.1.3. Orva ved veibru	14
4.1.4. Gruvevann fra Kongens/Arvedalen gruve	15
4.2. Transportberegninger	15
5. Orvsjøen	17
5.1. Vann	17
5.2. Sedimenter	18
5.2.1. Kjemiske analyser	18
5.2.2. Utvekslingsforsøk	20
6. Laboratorieforsøk	23
6.1. Forsøk med "Long-tubes"	24
6.2. Diskusjon av laboratorieforsøkene	27
7. Sammenfattende diskusjon	29
8. Konklusjoner	32
9. Referanser	33

1. Sammendrag

Avrenningen fra Kongens-/Arvedals-området utgjør en betydelig del av tungmetallbelastningen på Glomma ved Røros. Nøytralisasjon av gruvevann fører til utfelling av metallhydroksider som derved kan fjernes ved sedimentasjon f.eks. i innsjøer. En overføring av avrenningen fra Arvedals-området til Orvsjøen vil føre til at blandingen får en pH som er tilstrekkelig høy til at jern og mulingens kopper felles ut.

I det foreliggende arbeidet er det foretatt undersøkelser i Orvsjøen og Orva som viser at vannkvaliteten er stabil og at bufferkapasiteten er tilstrekkelig til å opprettholde pH i Orvsjøen slik at tungmetaller felles ut selv ved en overføring av alt gruvevannet fra Kongens gruve. Fordi det fortsatt er usikkerhet med hensyn til hvor effektivt utfellingen skjer, bør en eventuell gjennomføring av et slikt tiltak skje gradvis.

Forsøk som er utført i forbindelse med prosjektet tyder på at det er liten fare for at pH skal bli så lav i Orvsjøen at tungmetaller skal bli utløst fra sedimentene, som i dag er sterkt forurensset av jern, kopper og sink fra avrenningen fra Christianus Sextus gruve.

Laboratorieforsøk som er utført med blandinger av gruvevann og vann fra Orvsjøen viser at effekten av en slik blanding er svært avhengig av de fysiske forhold umiddelbart etter at blandingen har foregått (flokkulering). Teoretiske beregninger av utfelling av jern og kopper fra de aktuelle vannkvalitetene er i god overensstemmelse med resultatene som er oppnådd i forsøkene.

For å oppnå maksimal effekt bør det skje en god omrøring i blandingen. Dette tilsier et utslipp i overflaten av innsjøen. På den annen side kan stagnerende vannmasser og lav temperatur i overflaten føre til lokalt høye konsentrasjoner av tungmetaller i overflatesjiktet. Ved en rask utvasking av slikt vann kan det oppstå skadevirkninger. Utledning av mere gruvevann i Orvsjøen bør derfor foregå et stykke under overflaten og helst på dypt vann.

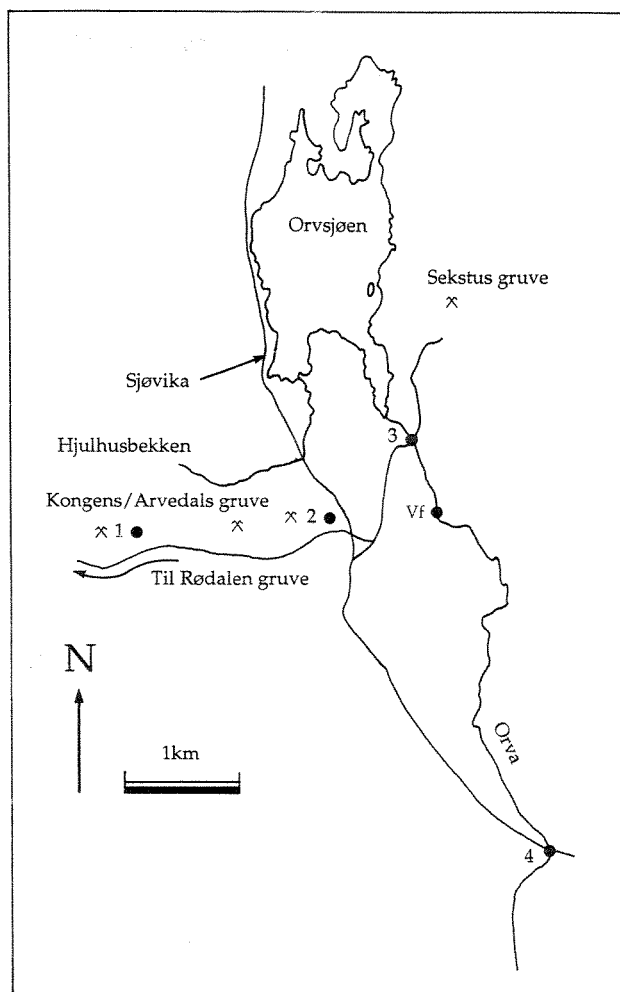
Effekten av en overføring av avrenningen fra veltene ved Arvedalen gruve til Orvsjøen er anslått til å kunne gi en reduksjon i transport av jern og kopper på opptil henholdsvis 25 og 10 %.

På grunnlag av de foreliggende resultatene er det også beregnet nye verdier for transport av tungmetaller i ulike vassdrags-avsnitt i Nordgruvefeltet. Alle disse verdiene er høyere enn de som tidligere er funnet.

2. Bakgrunn

2.1. Forurensningssituasjon - tidligere arbeid

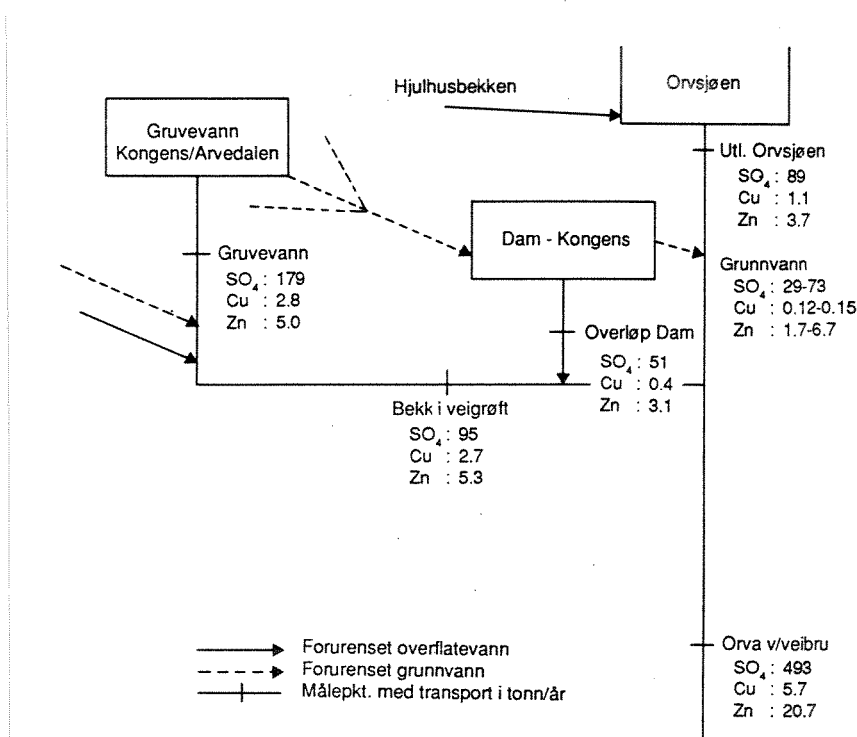
Avrenningen fra Nordgruvefeltet ved Røros er blant de store tungmetallbelastningene i Glomma-vassdragets øvere del (Holtan 1991). Av dette utgjør det samlede gruvevannet fra Kongens-/Arvedalens gruve det største bidrag til belastningen. Spesielt gjelder dette kopper, som i denne sammenheng ansees for å være det giftigste metallet for vannlevende organismer. NIVA har drevet undersøkelser i dette området i flere år, og forurensningssituasjonen er beskrevet i flere rapporter (Arnesen 1989, 1991, Arnesen *et al.* 1980 og 1991). Figur 1 viser en kartskisse over området der gruvene og NIVAs målepunkter i vassdraget er avmerket.



Figur 1 Kartskisse med prøvesteder i området rundt Orvsjøen - Nordgruvefeltet, Røros.

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. Drensvann, Arvedalen | 2. Gruvevann, Kongens |
| 3. Utløp Orvsjøen | 4. Orva v/veibru |
| Vf. Målepkt. for vannføring | |

Figur 2 viser en skjematisk fremstilling av materialtransporten for kopper, sink og sulfat, som er viktige parametre for kvantifisering av forurensning fra gruveområder. Figuren er hentet fra en NIVA-rapport (Arnesen 1991) og etter at rapporten ble skrevet er det gjort tiltak mot forurensningene fra avgangsdammen. NIVA har ikke gjort spesielle undersøkelser for å vurdere effekter av disse tiltakene nærmere.



Figur 2 Skjematisk fremstilling av forurensningstransport i Nordgruvefeltet, 1990
Alle mengdeangivelser i tonn/år. Etter (Arnesen 1991)

Forurensningssituasjonen i Orvsjøen er også beskrevet tidligere (Arnesen og Grande 1973, Arnesen 1989). Forurensningstransporten som er registrert ved utløpet av Orvsjøen (figur 2) skyldes først og fremst avrenningen fra Christianus Sextus gruve på østsiden av Orvsjøen, men en mindre andel skyldes dessuten avrenning fra området ved Arvedalen gruve, som drenerer gjennom Hjulhusbekken til Orvsjøen.

Bortsett fra variasjonene fra år til år på grunn av meteorologiske forhold og endringer som i de senere år har skjedd på grunn av tiltak ved avgangsdammen ved Kongens gruve, er forurensningstransporten i gruveområdene rundt Orvsjøen relativt godt beskrevet.

Når surt gruvevann blandes med renere vann med høyere pH, vil det ofte skje en utfelling av metaller bl. a. på grunn av pH-økningen. Vannmassene i Orvsjøen inneholder allerede høye metallkonsentrasjoner, men pH er likevel relativt høy (> 6,5), og innblanding av noe mer surt gruvevann fører til en utfelling av metaller fordi pH heves i forhold til utgangsverdien i gruvevannet.

Dette reaksjonsforløpet er tidligere undersøkt i noen enkle laboratorieforsøk (Arnesen 1991) der gruvevann fra Kongens gruve ble blandet med vann fra Orva. Disse forsøkene viste at det skjedde

utfelling av metaller ved blanding av de to vanntypene, og det ble diskutert om en overføring av gruvevann til Orvsjøen kunne redusere tungmetallbelastningen på Glomma.

2.2. Prosjektet

Ut fra de undersøkelsene som var gjort, utarbeidet NIVA i samarbeid med Bergvesenet et program for undersøkelser av Orva, Orvsjøen og gruvevann fra området, der hensikten var å vurdere virkningen av en overføring av gruvevann til Orvsjøen. Følgende spørsmål ble spesielt nevnt i programmet:

Hvilke variasjoner er det i bufferkapasiteten i Orvsjøen?

Hvordan vil varierende vannkvalitet i Orvsjøen påvirke gruvevannet og føre til utfellinger ved de ulike situasjoner man har i en årssyklus i Orvsjøen?

Hvilket omfang og hvilke egenskaper får det slammet som dannes ved innblanding av gruvevannet i Orvsjøen?

Hvilke egenskaper har de eksisterende sedimenter i Orvsjøen?

Ved siden av å besvare disse spørsmålene skulle arbeidet belyse de ulike konsekvenser av en slik overføring av gruvevannet mer generelt, både ved praktiske undersøkelser og ved teoretiske betraktninger.

Da prosjektet ble etablert, gjaldt vurderingen det samlede gruvevannet fra Kongens gruve, men etterhvert ble det klart at det kunne være mer aktuelt med en delvis overføring av vann fra området, f.eks. bare drens vannet fra velten fra Arvedalen gruve. I det følgende er begge alternativene vurdert og kommentert.

Det er i arbeidet lagt hovedvekt på å beskrive kjemiske og vannforurensningsmessige sider ved en slik overføring. De tekniske og økonomiske sider av arbeidet er ikke vurdert. Det samme gjelder forhold vedrørende kultur- og landskapsvern i området.

Dersom et slikt tiltak blir gjennomført, vil utfelling av jernhydroksid til tider prege utseendet av Orvsjøen. Omfanget av slike virkninger er ikke vurdert i detalj.

Rutinemessig prøvetaking og overføring av vannføringsdata er utført av Miljølaboratoriet, Røros.

3. Hydrologiske forhold

3.1. Generelt

Fordi tilgjengelige data om vannføring i de ulike deler av Orva-vassdraget stort sett er enkeltverdier som er spredt over lange tidsrom, er det behov for generell informasjon for å kunne anslå vannføringer ved de forskjellige målepunktene. I tabell 1 er areal av nedbørfelt og beregnede middelvannføringer for noen punkter i Orva-vassdraget listet.

Tabell 1 Areal av nedbørfelt for målepunkter i Nordgruvefeltet.
Alle punkter ligger i Orvas nedbørfelt

Målepunkt	Areal (km ²)
Drensvann, Arvedalen	0.2
Gruvevann, Kongens	0.32
Utløp Orvsjøen	16.7
Orva ved veibru	25.3
Orva v/utl. i Glomma	32

Avrenningskoeffisienten for området er satt til 15 l/s·km⁻²

3.2. Gruvevann fra Kongens gruve

Mengden av gruvevann fra Kongens gruve er målt over relativt lang tid dels ved spredt prøvetaking og dels med mer systematisk prøvetaking i avgrensede tidsrom (Arnesen 1989, 1991, Arnesen *et al.* 1990 og 1991). Midlere vannføring for gruvevannet ved utløp av Arvedalens/Kongens gruve kan derfor anslås med relativt stor sikkerhet. Maksimums, minimums og middelverdier for ulike perioder er samlet i tabell 2.

Tabell 2 Vannføringsdata for gruvevann fra Kongens gruve

Måleperiode	Middelverdi l/s	Max.verdi l/s
Alle data	11.1	104
1989/1990	12.0	104
1992/1993	12.8	68

Ut fra nedbørfeltets areal og avrenningskoeffisienten for området (tabell 1) er teoretisk middelverdi for gruvevannsmengden beregnet til 7,8 l/s.

I de videre beregningene er følgende verdier benyttet for gruvevannet fra Kongens gruve:

Midlere vannføring 11 l/s
Maksimal vannføring 100 l/s

3.3. Avrenning fra velter ved Arvedalen gruve

For dette vannet finnes bare måledata for en periode i oktober 1991, slik at informasjonen både om sammensetning og mengde er dårligere enn for gruvevannet. Anslag for de ulike parametere som beskriver datamaterialet er derfor beheftet med betydelig usikkerhet.

Det er imidlertid tatt en del prøver av gruvevann og avrenning fra veltene i samme periode, slik at et visst grunnlag for vurdering av variasjonsmønstre i mengde og sammensetning er tilstede. Variasjonene i gruvevannet er imidlertid betydelig langsommere enn i vannet fra veltene, slik at en direkte sammenlikning blir ufullstendig.

Målte verdier for vannføring i en periode i oktober 1991 var:

Middel	1.7 l/s
Maksimum	7 "
Antall obs.(n)	8

Teoretisk midelverdi beregnet ut fra arealet av nedbørfeltet (tabell 1): 3 l/s.

I samme periode ble total gruvevannsmengde i gjennomsnitt målt til: 4.1 l/s og høyeste målte vannføring var 6,7 l/s. Hvis vi antar at forholdet mellom midelverdier for perioden ved de to målepunktene omtrent svarer til forholdene mellom tilsvarende årlige midelverdier, kan midlere avrenning fra veltene anslås til:

$$Q = \frac{1.7}{4.1} = 4.5 \text{ l/s}$$

Maksimumsverdier kan ikke anslås ut fra tilsvarende verdier for gruvevannet, på grunn av gruvas regulerende virkning på vannføringen. Som et enkelt anslag for bruk i det videre arbeidet er 45 l/s valgt.

3.4. Orva ved utløp fra Orvsjøen

27. november 1993 ble det montert en trykkcelle ved en dam knapt en kilometer nedenfor utløpet fra Orvsjøen. Overløpshøyden ble derved registrert hver time på en datalogger. Trykkcellen var utplassert til 5. februar 1994.

Overløpet fra dammen var skarpt, rektangulært og luftet, slik at vannføringen kunne beregnes på grunnlag av vannhøyden (Otnes og Ræstad 1971), ved hjelp av formelen:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h \sqrt{g \cdot h} \quad (1)$$

der Q er vannføring i m³/s, b er overløpets bredde i m, h er vannhøyden over terskelen, og μ er en friksjonskoeffisient som bestemmes av høyden h etter følgende formel:

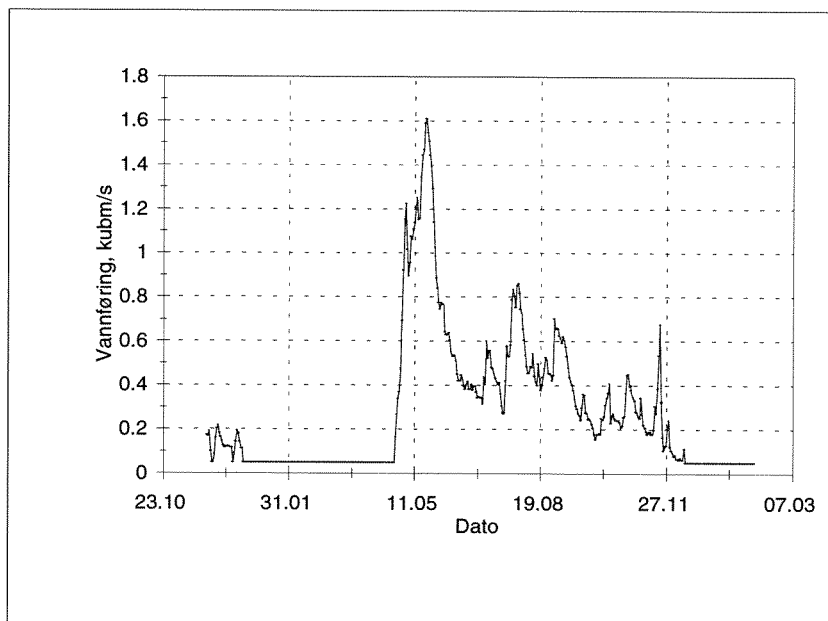
$$\mu = 0.6035 + 0.0813 \cdot \frac{h}{H} \quad (2)$$

H er her vertikal høyde fra bunnen av dammen til overløpet. I formel (1) er g tyngdens akselerasjon i m/s^2 .

De beregnede verdiene ble kontrollert noen ganger i måleperioden. Vannhøyden over overløpet ble da målt manuelt og verdien stemte fra gang til gang innenfor 0,5 cm med verdien som var registrert av dataloggeren ved samme tidspunkt. I tillegg ble vannhastigheten målt på flere steder i overløpet med flygel. Vannføringen bestemt på denne måten stemte innenfor ca. 5 % overens med beregnet verdi for samme tidspunkt.

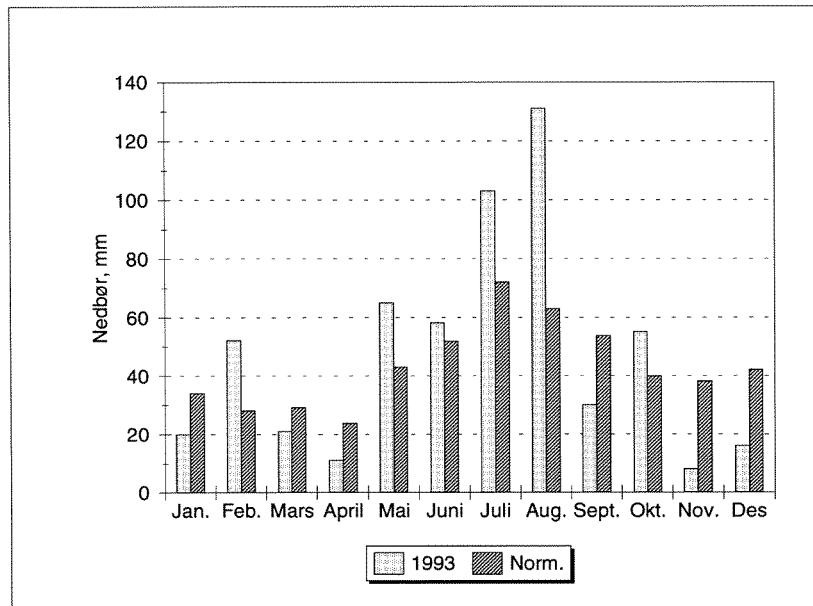
Om vinteren blir en slik måte å måle vannføringen på sterkt influert av isforholdene. Ved målestasjonen ble det isproblemer, og trykkcellen frøs inn i isen til tider. Dette har forholdsvis liten betydning for de formål vannføringen skal brukes for. Vannføring er gjennomgående lav og variasjonen er liten om vinteren. Ved en anledning ble vannføringen målt manuelt til 50 l/s. Denne verdien er benyttet i datamaterialet for alle dager om vinteren der datamaterialet viser urimelig høye eller lave verdier.

Figur 3 viser de målte vannføringene ved utløp av Orvsjøen.



Figur 3 Daglige vannføringer i Orva ved utløp av Orvsjøen, 1993

Årsmiddel for vannføring i 1993 ble ut fra disse data beregnet til 330 l/s. NIVA har tidligere beregnet årlig vannføring ut fra nedbørfeltets areal til 250 l/s. Dette er i rimelig overensstemmelse med den målte verdien. Nedbørhøyden for Røros i 1993 var i sum ca. 16 % mer enn normalen (figur 4).



Figur 4 Månedlige nedbørhøyder ved Røros, 1993 og normaler

Etableringen av et målepunkt der vannføringen i Orva er registert kontinuerlig har gitt meget god informasjon om vannføringen i elva i måleperioden. Det er imidlertid et forholdsvis beskjedent datamateriale fra de andre aktuelle målepunktene i samme periode.

En bearbeiding av datamaterialet fra de kontinuerlige målingene i 1992/93 ga følgende resultater:

Middel	330	l/s
Maksimum	1610	"
Antall obs.(n)	365	"

Teoretisk midelverdi (fra nedb.felt): 250 "

Minimumsverdier kunne ikke tas direkte fra de kontinuerlige registreringene fordi trykkcellen frøs inn i isen ved de laveste vintervannføringene. Ut fra visuelle observasjoner og laveste målte vannføringer i tilsynelatende normale perioder er laveste vannføring anslått til 50 l/s.

Verdier for Orva som er brukt i det videre arbeidet er:

Middel	300	l/s
Maksimum	1600	"

3.5. Vurdering av blandingsforhold

Fremtidig blandingsforhold mellom gruveforurenset vann og Orvsjø-vann er en viktig parameter for vurdering av effekten av å overføre vann fra området ved Kongens gruve til Orvsjøen. Det er imidlertid vanskelig å angi et bestemt forhold mellom de ulike vannstrømmene i området, fordi dette endrer seg i takt med årstidene og de meteorologiske forhold. Med tilstrekkelig lange dataserier fra alle målepunktene kunne denne variasjonen beskrives mer kvantitativt. I tabell 3 er middel og maksimumsverdier for de aktuelle målepunktene listet.

De eneste parallelle dataseriene som foreligger for vannføring fra de aktuelle punktene er den som tidligere er nevnt for gruvevann og avrenning fra velten ved Arvedalen gruve fra oktober 1991 og målingene i Orva der det finnes parallelle verdier for gruvevannet i 1993 (tabell 5 og 6). I tabellen er forholdet mellom vannføringen i Orva og den som er anslått på de ulike målepunktene angitt.

Tabell 3 Hydrologiske parametre for målesteder i Kongens-området.

Målested	Parameter	Vannf. (l/s)
Avrenning velter	Middel	4.5
	Maksimum	45
Gruvevann (tot.)	Middel	11
	Maksimum	100
Orva v/utl.	Middel	300
	Maksimum	1600

Tabell 4 Parallelle målinger i Orva og i gruvevann fra Kongens gruve. Teoretisk blandingsforhold for de to vanntypene og for drens vann fra Arvedalen gruve er beregnet på grunnlag av data i tabellen. Vannføring i drens vannet er anslått til halvparten av vannføringen fra gruva.

Dato	Vannf. Orva l/s	Vannf. Kongens l/s	Forhold Gruvev. (1:x)	Forhold Arved. (1:x)
14.01.93	50	0.8	63	125
30.04.93	476	67.7	7	14
28.05.93	885	6.95	127	255
25.06.93	401	11.1	36	72
08.07.93	524	14.6	36	72
23.07.93	577	34.2	17	34
05.08.93	656	7.39	89	178
23.08.93	529	16	33	66
01.09.93	657	8.45	78	156
17.09.93	291	2.39	122	244
02.10.93	156	2.17	72	144
09.11.93	219	2.96	74	148

Av tabell 4 fremgår det at forholdet mellom mengde gruvevann/drens vann og vannføring i Orva kan variere i et område fra omkring 1:10 til 1:250. For middelveidene er disse forholdene ca. 1:65 og 1:30 for henholdsvis gruvevann og drens vann fra veltene ved Arvedalen gruve.

Det brede variasjonsområdet som må forventes for tilgang på fortynningsvann ved overføring av vann til Orvsjøen, gjør det vanskelig å gi eksakte tall for hvilken effekt et slikt tiltak vil ha. Eksperimentelt har vi imidlertid valgt å dekke et meget bredt spekter av blandingsforhold i forsøkene som er utført.

4. Kjemiske analysedata

4.1. Konsentrasjoner

4.1.1. Generelt

Alle vannprøver er konservert ved tilsetning av fortynnet salpetersyre så snart som mulig etter prøvetaking. Eventuelt utfelte hydroksider løses ved en slik behandling opp, og alle analyse-resultater representerer derfor tilnærmet totalkonsentrasjoner. Analyse av tungmetaller er dessuten utført ved NIVAs laboratorium med ICP- eller atomabsorpsjons-instrument. Disse analyse-metodene vil i stor grad bestemme totalinnholdet i prøvene. Bestemmelse av sulfat er for høye konsentrasjoner gjort ved å bestemme totalt svovelinnhold med ICP. For lavere konsentrasjoner er analysen utført med ionekromatograf.

4.1.2. Utløp Orvsjøen

Det er tatt vannprøver for kjemiske analyser mer eller mindre regelmessig siden juni 1966. I forbindelse med dette prosjektet ble det startet regelmessig prøvetaking ved utløpet av Orvsjøen i november 1992. Ved veibrua nedenfor praktisk talt alle forurensningstilførsler fra området ble tilsvarende prøvetaking startet i april 1993.

Tabellene 5 viser alle relevante analysedata fra stasjonen ved utløp av Orvsjøen for den tiden prøvetakingen for dette prosjektet foregikk.

Tabell 5 Analyseresultater fra Orva ved utløp fra Orvsjøen for prøver tatt i 1992/93

Dato	Vann- føring l/s	pH	Sulfat mg/l	Kalsiu m mg/l	Mag- nesium mg/l	Alu- minium µg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Kad- mium µg/l
27.11.92	171	6.52	8.8	3.68	0.81		214	93.7	360	0.73
06.12.92	215	6.36	11.5	4.05	0.96		162	100	630	
14.01.93	50	6.30	15	4.06	0.93		220	82.1	521	0.98
23.02.93	50	6.30	12	4.49	1.05		300	90	670	
02.04.93	50	6.53	9.5	3.95	0.86	100	79	80	400	
30.04.93	476	6.73	2	3.55	0.52		149	82.1	286	0.65
15.05.93	1155	6.28	11.4	3.48	0.91	300	170	150	570	0.25
28.05.93	885	6.10	11.2	3.34	0.89	210	60	160	810	0.25
12.06.93	534	6.36	9.5	3.46	0.79	260	126	120	500	0.25
25.06.93	401	6.56	7.8	3.13	0.69	165	62	110	340	
08.07.93	524	6.51	8.6	3.22	0.75	245	97	120	380	
23.07.93	577	4.95	17.2	3.83	1.24	820	490	240	1210	
05.08.93	656	6.60	9.8	3.24	0.76	245	102	120	430	
23.08.93	529	4.77	21.2	4.17	1.39	1000	600	320	1730	
01.09.93	657	6.30	10.8	3.34	0.84	396	108	153.1	560	1.13
17.09.93	291	6.40	10.3	3.51	0.84	265	124	130	520	
02.10.93	156	6.53	9.3	3.4	0.78	204	97	120	460	
09.11.93	219	6.81	8.5	3.62		212	50	121.5	412	0.62

Vannkvaliteten i Orva er diskutert i tidligere NIVA-rapporter (Arnesen 1989, 1990, 1991). Ved utløpet av Orvsjøen har variasjonene gjennom årene vært store. Fordi tidligere prøvetakinger stort sett har foregått spredt, har de ikke fanget opp høye verdier som kan forekomme i kortere perioder. Særlig for sink har det vært store utslag, og det er vanskelig å avgjøre om det har vært noen systematisk trend i utviklingen i den tiden NIVA har tatt prøver i Orva. Til det er datamaterialet for spredt.

En tidsserieanalyse kunne avgjøre om det har vært noen utviklingstrend i datamaterialet. For å kunne gjøre en slik analyse kreves imidlertid ekvidistant prøvetaking i tid, f.eks. månedlig i flere år. Med det spredte materialet som foreligger nå, må konklusjonen bli at det ikke kan påvises endringer over de nesten 28 årene vi har data fra.

Forholdet mellom sink og kopperkonsentrasjon har også variert betydelig i det tidsrommet det er data fra. Her er det heller ikke mulig å se noen klar tidstrend, men det kan være en liten tendens til økning i sinkkonsentrasjonen i forhold til kopper. Sinkkonsentrasjonen er da gjennomgående 2 - 4 ganger høyere enn kopperinnholdet.

For pH har vi samme situasjonen ved at det har vært noen prøver med særlig lave pH-verdier i det siste, uten at det med sikkerhet kan sies at ikke samme situasjon har forekommet tidligere.

4.1.3. Orva ved veibru

Dette målepunktet fanger opp praktisk talt all gruveforurensning som drenerer til Glomma fra Nordgruvefeltet. Tabell 6 viser analyseresultatene fra 1992/93 for dette prøvestedet.

Tabell 6 Analyseresultater fra Orva ved veibru for prøver tatt i 1992/93

Dato	Vann- føring l/s	pH	Sulfat mg/l	Alu- minium µg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Kadmium µg/l
01.07.92		4.84	28.3	640	1680	340	1190	
02.04.93	50	5.36	27.7	590	2730	140	940	< 50
30.04.93	476	3.73	82.3	3700	12100	1545	4608	10.5
15.05.93	1155	4.38	24.9	900	1890	460	1390	< 50
28.05.93	885	4.76	16.6	450	890	280	820	< 50
12.06.93	534	4.59	23.1	670	1740	410	990	< 50
25.06.93	401	4.47	28.4	870	1940	430	1240	< 50
08.07.93	524	4.33	31.1	980	2210	460	1530	< 50
23.07.93	577	3.94	46.4	1720	3790	870	2760	< 50
05.08.93	656	4.39	28.4	1060	2010	460	1470	< 50
23.08.93	529	3.93	47.6	1930	3710	790	2880	< 50
01.09.93	657	4.16	38.3	1430	2940	596	2160	3.22
17.09.93	291	4.17	35.6	980	2950	520	1730	< 50
02.10.93	156	4.4	34.7	1390	2740	500	1540	< 50
09.11.93	219	6.09	18.9	340	860	230	760	0.82

Som for målepunktet ved utløpet av Orvsjøen er tidligere prøvetakinger for spredt til å fastslå noen tidstrend i datamaterialet. pH-verdiene kan muligens ha gått noe opp i de senere år, men i tiden fra 1977 - 85 ble det tatt noen prøver som hadde svært høye pH-verdier i forhold til de som er målt i de senere år.

Heller ikke for kopper og sink kan det påvises noen klar tidstrend i hele perioden. Når det gjelder forholdet mellom kopper og sink, kan det se ut til at dette har avtatt noe etter 1985. (D.v.s. at sinkmengden har avtatt i forhold til koppermengden). Dette forholdet varierer imidlertid sterkt med årstiden, og det bør ikke legges for stor vekt på et fåtall spredte prøver.

4.1.4. Gruvevann fra Kongens/Arvedalen gruve

Analyseresultatene for gruvevannet fra Kongens/Arvedalens gruve finnes i tabell 7. Det er ikke gjort statistisk sammenlikning mellom resultatene fra denne måleperioden og tidligere prøvetakinger.

Tabell 7 Analyseresultater fra gruvevann fra Arvedalens/Kongens gruve for prøver tatt i 1992/93

Dato	Vannføring l/s	pH	Sulfat mg/l	Aluminium mg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Kadmium µg/l
01.07.92	3.8	2.81	548	18.7	84400	11400	22500	40
06.11.92	1.26	2.74	910	35.6	130000	12200	32800	60
14.01.93	0.8	2.73	1072		163000	9460	35900	55
30.04.93	67.7	2.96	392	12.4	64600	9740	16800	< 50
28.05.93	6.95	2.7	560	19.2	89100	14700	23600	50
12.06.93		2.8	551	18.3	89200	14400	22700	50
25.06.93	11.1	2.79	572	19.4	87200	13700	22800	50
08.07.93	14.6	2.83	413	13.9	51700	9180	16900	< 50
23.07.93	34.2	2.78	461	16.3	62700	11300	18900	< 50
05.08.93	7.39	2.71	680	28.4	95400	16600	26100	50
23.08.93	16	2.76	754	30.4	109000	17900	30900	60
01.09.93	8.45	2.77	743	30.8	102000	17900	27800	60
17.09.93	2.39	2.74	886	37.2	125000	19700	31700	60
02.10.93	2.17	2.73	883	37.8	130000	19000	33800	70
09.11.93	2.96	2.83	871	37.9	127000	17100	31300	60

4.2. Transportberegninger

Datamaterialet som er samlet i forbindelse med dette prosjektet gjør det mulig å beregne materialtransporten i Orva-vassdraget mer nøyaktig enn tidligere (figur 2). Spesielt gjelder dette den samlede tungmetall-transporten i Orva.

Tabell 8 viser tidsveiede middelveidier for transport av sulfat, jern, kopper og sink i Orva og i gruvevannet fra Kongens gruve. I beregningene er det brukt samme verdier for vannføring ved utløpet av Orvsjøen som ved veibrua.

Tabell 8 Årlig transport av sulfat og tungmetaller i Orva og gruvevann. Beregningene er basert på tidsveiede middelveidier i undersøkelsesperioden 1992/93

Målepunkt	Sulfat tonn/år	Jern tonn/år	Kopper tonn/år	Sink tonn/år
Utløp Orvsjøen	111	1.8	1.5	6.5
Gruvevann Kongens	192	30.0	4.5	7.9
Ved veibru	493	44.1	8.3	26.1

En sammenlikning av disse verdiene med dem i figur 2 viser at de nye transportverdiene er gjennomgående høyere enn de som er beregnet eller anslått tidligere.

For Orva er dette ikke uventet, fordi de tidligere verdiene var anslått ut fra et fåtall måleverdier. Verdiene for gruvevannet er ca. 40 % høyere for kopper og sink nå enn det som ble funnet i 1990. Differansen mellom tilførslen fra gruvevannet og det som er tilført Orva på strekningen ned til veibrua er også høyere enn det som ble beregnet i 1990.

Differansene i middelveidierne er relativt store, og det er ingen åpenbar forskjell i mønsteret for vannføringer eller konsentrasjoner. Differansen må derfor bero på mer tilfeldige variasjoner der valg av prøvetakingstidspunkt kan ha stor betydning. Når det gjelder Orva er verdiene for 1993 mer pålitelige enn verdiene som er angitt i figur 2. Dette kan tyde på at også verdiene for gruvevannet er mest pålitelige i 1993. Differansen mellom verdien for Orva ved utløp fra Orvsjøen og ved veibrua vil ellers bli urimelig stor.

5. Orvsjøen

5.1. Vann

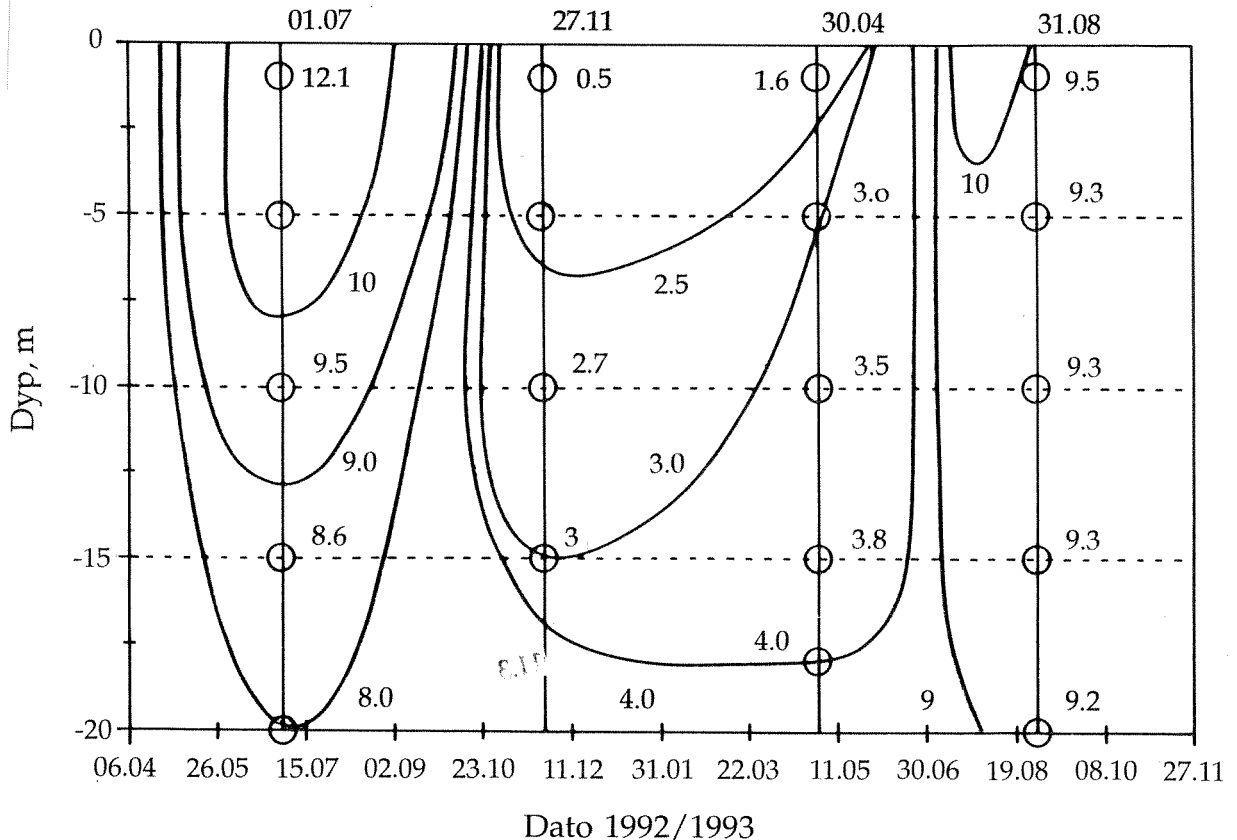
Vannmassene i Orvsjøen er undersøkt ved flere anledninger tidligere, men det er ikke gjort systematiske undersøkelser over et helt år med prøvetakinger i de viktigste perioder av innsjøens mønster for årstidsvariasjoner.

Det er foretatt fire prøvetakinger i Orvsjøen på det dypeste punkt (ca. 20 m) i undersøkelsesperioden 1992/93. De viktigste analysedata fra disse toktene er samlet i tabell 9.

Tabell 9 Analyseresultater for vannprøver tatt i Orvsjøen i undersøkelsesperioden 1992/93.

Dato/ Dyp m	Temp gr. C	pH	Konduk- tivitet mS/m	Sulfat mg/l	Kal- sium mg/l	Mag- nesium mg/l	Jern µg/l	Kopper µg/l	Sink µg/l	Kad- mium µg/l
01.07.92										
1	12.1	6.52	3.34	6.0	2.95	0.63	75.4	112	332	0.68
5	11.3	6.56	3.46	7.0	2.98	0.63	74.7	113	332	0.7
10	9.5	6.55	3.43	7.0	2.97	0.64	65.9	113.4	331	0.68
15	8.6	6.55	3.56	7.0	3.02	0.66	73.3	130	369	0.75
20	8	6.48	3.68	8.0	3.18	0.69	73	139.2	387	0.8
27.11.92										
1	0.5	6.74	3.48	8.0	3.45	0.74	241	68	328	0.84
5	2.3	6.7	3.7	8.4	3.56	0.76	159	92.8	343	0.68
10	2.7	6.67	3.75	9.2	3.75	0.81	201	102.4	357	0.81
15	3	6.58	4.06	8.8	3.68	0.81	230	131.4	406	0.85
30.04.93										
1	1.6	6.51	3.49	5.6	3.46	0.66	28	37.7	192	0.54
5	3	6.63	3.72	7.2	3.58	0.77	40	77.6	310	0.77
10	3.5	6.45	3.9	8.0	3.94	0.82	51	88.8	327	0.7
15	3.8	6.28	4.81	8.8	4.83	1	146	134.1	369	0.73
18	4	6.23	6.75	13.2	6.92	1.5	400	216.3	623	1.22
31.08.93										
1	9.5	6.6	3.66	7.6	3.11	0.67	45	109.9	354	0.63
5	9.3	6.65	3.42	7.5	3.1	0.67	45	103.5	336	0.64
10	9.3	6.69	3.09	7.6	3.13	0.68	44	105.3	339	0.73
15	9.3	6.73	3.32	7.4	3.1	0.67	44	104.8	344	0.78
20	9.2	6.73	3.23	7.7	3.08	0.67	46	101.4	328	0.57

Figur 5 viser temperaturforholdene i innsjøen over året, og illustrerer stabilitetsforholdene i vannmassene. Av figuren fremgår det at Orvsjøen hadde lite utpreget temperatursjiktning om sommeren. Det skyldtes at innsjøen er sterkt vindpåvirket og ligger i et område med lave månedlige middeltemperaturer. Forholdene vil selvfølgelig variere noe fra år til år, men hovedtrekkene vil gjennomgående være de samme. På vinteren legger isen seg tidlig og det blir en lang vintersesong med liten omrøring i vannet. Det er likevel små temperaturforskjeller i vannmassene,



Figur 5 Isopletdiagram som viser endringer i temperaturforholdene i Orvsjøen i perioden juli 1992 - august 1993.

bortsett fra i sjiktet nær opp mot isen. Dette kan skyldes at tilrenningen er forholdsvis liten om vinteren.

Området i Orvsjøen som er mest aktuelt for et utslipp av drens vann fra Arvedalsgruva, er området ved Hjulhusbekkens utløp i Sjøvika. Vi har ikke tatt nærmere standpunkt til valg av utslippssted. Av et dybdekart som ble utarbeidet i 1974 i forbindelse med utslippsledning fra oppredningsverket ved Kongens gruve, fremgår det imidlertid at Sjøvika er grunn, ingen steder dypere enn 5 - 6 m. Avstanden ut til det dypeste området i innsjøen (15 - 20 m) er ca. 1 km.

5.2. Sedimenter

5.2.1. Kjemiske analyser

1. juli 1992 ble det tatt sedimentprøver fra 4 punkter i bunnen av Orvsjøen. Prøvene ble tatt med en "corer", et pleksiplastrør som presses ned i sedimentet av en vekt som er festet til toppen av røret. Prøvene ble snittet i skiver med 2 cm tykkelse og analysert på totalt metallinnhold. De ble dessuten benyttet til utvekslingsforsøk med vann fra Orvsjøen som gradvis ble gjort surere med fortennet svovelsyre (se neste kap.).

Før analysen ble prøvene tørket ved frysetørring og finknust. En del av materialet ble veiet inn og

behandlet med Lunges væske, som er en blanding av konsentrert salpetersyre og saltsyre i forhold 3:1. Ved en slik behandling løses hydroksider, enkelte silikatbergarter og sulfidmineraler som f.eks. pyritt.

Etter denne oppslutningen av prøvene ble de analysert på aluminium, jern, kopper og sink. I tabell 10 er disse analyseresultatene vist sammen med den andel av jernet som teoretisk kan være bundet til svovelmengden som er påvist i prøvene. Denne andelen er beregnet ved å anta at alt svovel i prøven er bundet til jern i det støkiometriske forholdet som svarer til pyritt (FeS_2). En slik antakelse er neppe riktig, dels fordi en del svovel antakelig foreligger som sulfat i sedimentets porevann og dels fordi jern kan være bundet i andre svovelforbindelser. Sulfat i porevannet vil føre til for høye verdier for svovelforbundet jern, mens andre jern-svovelforbindelser vil føre til at anslaget blir for lavt. For den praktiske vurdering av resultatene har dette liten betydning.

Tabell 10 viser at sedimentene inneholder meget høye konsentrasjoner av metallene jern, kopper, sink og aluminium og at det bare ved de dypeste partier i Orvsjøen er særlige mengder svovel som kan være tegn på at det finnes noe avgang i sedimentet. Den tid Røros Kobberverk deponerte avgang i Orvsjøen var utslippsstedet nettopp innsjøens dypeste parti. Dessuten vil det på grunn av vannbevegelser og partiklenes tetthet, skje en gradvis flytting av avgang fra grunne til dypere områder i en slik innsjø. Det er derfor umulig å angi noen sedimentasjonshastighet på grunnlag av prøvenes kjemiske sammensetning.

De to andre prøvestedene ligger henholdsvis nær land ved Sextus-området og i Sjøvika der Hjulhusbekken renner ut i Orvsjøen. Prøven fra Sjøvika hadde relativt sett noe høyere svovelinhold mot dypet, noe som antyder rester av avgang fra utslippene som opphørte ved årsskiftet 1977/78.

Generelt viser sedimentanalysen sammen med visuelle observasjoner at bunnen av Orvsjøen stort sett er dekket av et tykt lag med slam med meget høyt innhold av aluminium og tungmetaller. Hovedmengden av disse metallene er antakelig bundet som hydroksider. Bare i grunne områder vil bølgeslag i noen grad vaske vekk dette slamm.

Tabell 10 Analyseresultater for sedimentprøver fra Orvsjøen

Prøvested (Prøvenr.)	Dyp m	"Skive" cm	Alu- minium %	Kopper mg/kg	Sink mg/kg	Jern %	FeS_2 %	Svovel %
Dypeste omr. (1.1)	15	0 - 2	2.55	1030	8145	8.4	2.9	3.31
Dypeste omr. (1.2)	15	2 - 4	3.96	4704	7413	7.8	2.5	2.86
Dypeste omr. (2.1)	19	0 - 2	2.30	619	6732	8.1	3.28	3.76
Dypeste omr. (2.2)	19	2 - 4	2.11	432	5868	8.0	3.16	3.62
Sjøvika (3.1)	6	0 - 2	4.41	2664	1295	12.7	0.73	0.84
Sjøvika (3.2)	6	2 - 4	3.80	6112	8011	9.2	1.22	1.40
Sextus (4.1)	6	0 - 2	3.79	2588	1748	21.6	0.57	0.65
Sextus (4.2)	6	2 - 4	2.69	4889	4889	10.6	0.69	0.79

I 1992 ble det satt ut sedimentfeller som skulle fange opp materialet som sedimenterer i Orvsjøen for kvantifisering og kjemisk analyse. På grunn av dårlig sikt i vannet var det umulig å finne disse sedimentfellene da de skulle tas inn i 1993. Det vil bli gjort nye forsøk på å finne dem i 1994.

5.2.2. Utvekslingsforsøk

Sedimentprøvene som er beskrevet i det foregående ble også benyttet i et forsøk for å studere utlekking av tungmetaller fra sedimenter når pH senkes.

Forsøkene foregikk i pleksiplastrørene som var brukt ved prøvetakingen. Rørene ble oppbevart vertikalt i et vannbad som holdt 5 °C og pH ble gradvis senket ved å tilsette 25 ml "naturlig" vann og 1 ml 0.05 M svovelsyre med ca. 1 ukes intervaller. Under forsøket foregikk det en forsiktig innblåsning av luft for å sikre fullstendig omrøring og høyt oksygeninnhold hele tiden. Prøvevolumet som ble tatt ut for analyse var 25 ml. Tabell 11 viser resultater av disse forsøkene.

Metallkonsentrasjonen i vannfasen er ikke korrigert for fortynningen ved tilsetning av syre, fordi det er antatt at den målte konsentrasjonen representerer metningskonsentrasjon for aktuelt metall ved angitt pH. Hvorvidt dette er korrekt, er ikke undersøkt nærmere, men reaksjonstiden kan ha vært for kort til å oppnå likevekt.

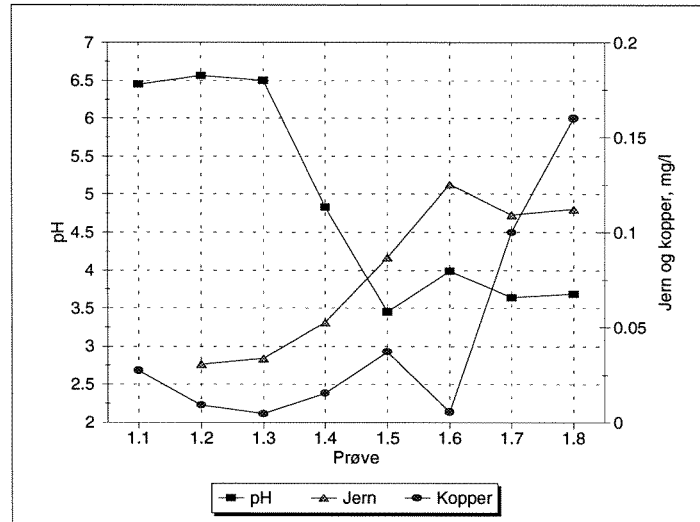
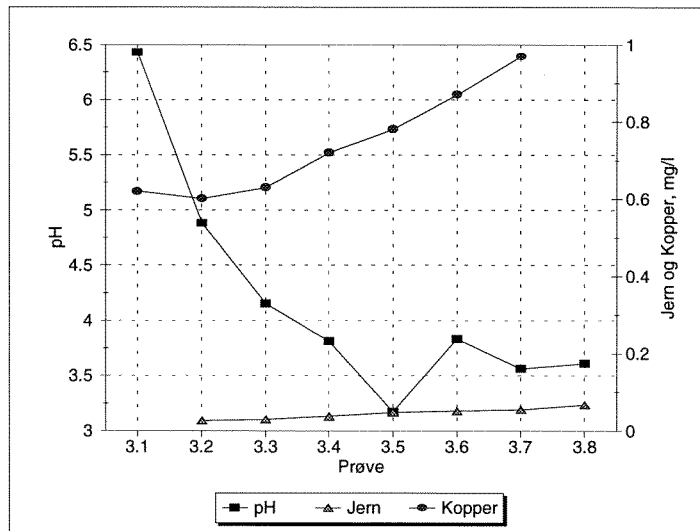
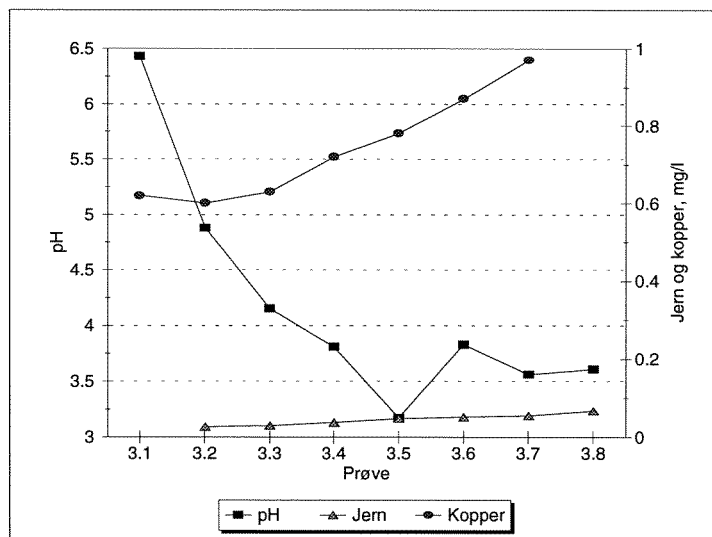
Resultatene viser at det var betydelig forskjell i pH-utvikling i rør nr. 2 i forhold til de tre andre rørene. Hva dette kan skyldes kan ikke uten videre fastslås, men det fremgår av tabellen at jerninnholdet i vannfasen i rør nr. 2 var høyt ved forsøkets start. Det kan ha bidratt til å gi vannet en noe høyere bufferkapasitet ved at suspendert jernhydroksid løste seg ved tilsetning av de første porsjoner med syre. Vannmengden og dermed fortynningen var størst i dette røret. Prøven inneholdt dessuten en del avgang og kan ha hatt overskudd av kalk ved deponeringen.

I de tre andre rørene var utviklingen relativt lik, og figurene 6 A - C viser endring i pH, jern og kopper i løpet av forsøket. Selv om det er variasjon i resultatene, fremgår det av figurene at kopperkonsentrasjonen stiger noe når pH synker under 4,0. Det samme gjelder jern i rør 1, mens utløsningen av jern ellers er betydelig lavere enn for kopper i rørene 3 og 4. Sinkkonsentrasjonen er høy i vannfasen i alle de tre aktuelle rørene, og relativt endrer den seg lite med pH.

Ved pH-verdier over 4 løses tungmetaller fra sedimentene i meget liten grad.

Tabell 11 Analyseresultater for utvekslingsforsøk med sedimenter fra Orvsjøen.
Prøvebetegnelse angir prøvested og rekkefølge av uttak fra plastsylinder.

Prøvebet.	pH	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l
1.1	6.45	< 0.1	0.0273	2.2
1.2	6.56	0.0306	0.009	2.19
1.3	6.50	0.0336	0.0045	2.03
1.4	4.83	0.0525	0.0154	2.08
1.5	3.45	0.0866	0.037	2.21
1.6	3.99	0.125	0.0055	2.49
1.7	3.64	0.109	0.1	2.45
1.8	3.69	0.112	0.16	2.51
Prøvebet.	pH	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l
2.1	6.9	3.11	0.0064	0.13
2.2	7.3	2.59	0.0047	0.03
2.3	7.15	1.92	0.0025	0.03
2.4	6.3	1.64	0.003	1.49
2.5	6.28	1.49	0.0037	0.03
2.6	6.9	1.49	0.0059	0.04
2.7	6.92	1.1	0.0051	0.005
2.8	6.81	1	0.00704	0.06
Prøvebet.	pH	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l
3.1	6.43	<0.10	0.62	0.84
3.2	4.88	0.0261	0.6	0.83
3.3	4.15	0.0295	0.63	0.8
3.4	3.81	0.0367	0.72	0.81
3.5	3.17	0.0472	0.78	0.79
3.6	3.83	0.0509	0.87	0.77
3.7	3.56	0.0541	0.97	0.77
3.8	3.61	0.0665	-	0.78
Prøvebet.	pH	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l
4.1	6.22	<0.1	0.21	3.47
4.2	4.82	0.0315	0.2	3.9
4.3	4.02	0.0324	0.2	3.38
4.4	3.77	0.0384	0.2	3.38
4.5	3.25	0.0405	0.2	3.37
4.6	3.76	0.0456	0.24	3.69
4.7	3.60	0.0477	0.26	3.7
4.8	3.55	0.0584	0.29	3.76

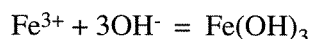
A**B****C**

Figur 6 A - C Resultater av forsøk som viser utløsning av tungmetaller fra sedimenter fra Orvsjøen som funksjon av pH.
A: Prøvenr. 1, **B:** Prøvenr. 3, **C:** Prøvenr. 4

6. Laboratorieforsøk

6.1. Bakgrunn

Når pH i gruvevann endres fra ca. 2 - 3 mot høyere verdier, felles flere metaller ut, avhengig av pH-verdien. Det metallet som først felles ut er treverdige jernioner (Fe^{III}) som danner jernhydroksid etter følgende reaksjonslikning:



Denne prosessen starter når pH kommer over ca. 3,0 og utfellingen øker gradvis etter hvert som pH stiger ytterligere.

Teoretisk skal metaller som sink og kopper ikke felles ut som hydroksider fra det aktuelle gruvevannet ved pH-verdier under ca. 7,5. Det er imidlertid grunn til å regne med at en del kopperioner kan "medfelles" i jernhydroksidet ved noe lavere pH. Det er også tenkelig at andre tungtløselige forbindelser, bl.a. karbonater kan dannes, uten at det er lett å gi noen kvantitativ beskrivelse av dette. I det følgende er de reduksjoner i metallkonsentrasjon som er observert, betraktet som mål for utfelling.

I løpet av prosjektets gjennomføring kom spørsmålet om en delvis overføring av vannet fra Kongens-området, f.eks. drensvannet fra Arvedalen, opp. Det var da vanskelig å skaffe vann fra dette området til forsøk, og det ble nødvendig å vurdere om forsøk med gruvevannet kunne betraktes som representative. I så fall ville det bare bli et spørsmål om blandingsforhold ved fortynningen.

Ved en subjektiv sammenlikning av analyseresultatene for gruvevann fra Kongens gruve og sigevann fra veltene ved Arvedalen, er det ikke uten videre klart om disse vanntypene er vesentlig forskjellige. Resultatet av en statistisk test (t-test) som benyttes for å avgjøre om middelerverdier for dataserier er signifikant forskjellig er vist i tabell 12.

Tabell 12 Sammenlikning av middeldifferanser for analysedata fra Kongens-området
Grunnlagsdata og resultater av t-tester. n=10 og $t_{0,05} = 2.101$

Vanntype/ parameter	pH	Konduk- tivitet	Jern	Kopper	Sink
Gruvevann	2.67	174	113.3	17.7	32.7
Avrenning	2.80	128	61.8	14.2	19.2
Middel differens	0.13	46	51.5	3.5	13.5
t-verdi	0.6	11.2	1.8	2.0	5

For antallet av observasjoner (n = 19, d.f. = 18) viser tabellen at differansen mellom middelerverdiene for konduktivitet og sink er signifikant på 95 % konfidensnivå. For pH, jern og kopper er differansen imidlertid ikke signifikant.

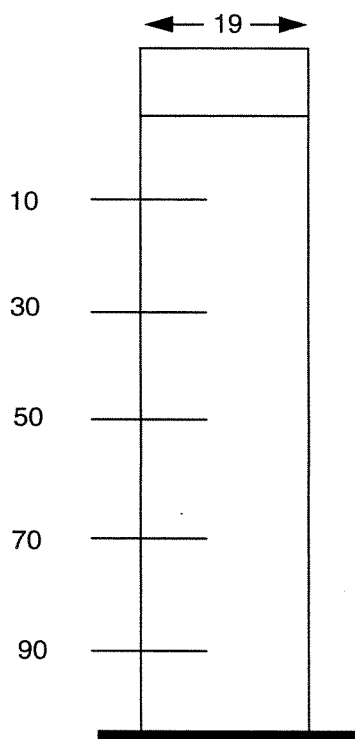
Ut fra dette resultatet ble det funnet at alle forsøk kunne gjøres med gruvevann fra Kongens gruve, og differensieringen er kun gjort på vannmengder/blandingsforhold.

6.1. Forsøk med "Long-tubes"

NIVA har tidligere gjennomført laboratorieforsøk med blandinger av gruvevann og vann fra Orva for å vurdere utfelling av tungmetaller (Arnesen 1992).

Med utgangspunkt i disse forsøkene fant vi derfor at nye forsøk i "long-tubes" skulle omfatte blandingsforholdene fra 1:100 og opp til 1:250.

I forbindelse med dette prosjektet er det gjort forsøk i større skala og med større vekt på å vurdere sedimenteringsegenskapene for de partiklene som dannes ved blandingen. Disse forsøkene er gjort ved å blande gruvevann fra Kongens gruve med vann fra Orva nær utløpet av Orvsjøen. Slike forsøk er utført ved to anledninger, med vann av litt ulik kvalitet. Vannet til forsøkene ble tatt ut henholdsvis 6. november 1992 og 1. september 1993. Analyseresultater for vanntypene som ble brukt ved forsøkene er vist i tabell 13 der resultater av forsøkene også er samlet.



Figur 7 Skjematisk oversikt over "Long-tube"-sylinder brukt i laboratorieforsøkene. Total høyde var ca 120 cm. Alle mål i cm.

Forsøkene ble gjennomført i pleksiplast sylindere med diameter ca. 19 cm. Vannhøyden var 1 m, og volumet ble derved noe over 28 l. I sylindrene var det boret huller med tynne rør for uttak av prøver på 10, 30, 50, 70 og 90 cm. Sylindrenes utforming er vist skjematisk i figur 7. Forsøkene ble gjennomført ved at gruvevann og vann fra utløpet av Orva ble blandet i sylindren. Blandingene foregikk med et elektrisk røreverk med variabel rotasjonshastighet. I forsøket med blandingsforhold 1:95 (1), ble det benyttet en langsom flokkulering i 5 - 10 minutter. I forsøkene 2 A - C ble det bare benyttet en kort flokkuleringstid. I forsøk 1 var temperaturen i den første tiden ca 10 °C, forsøk

2A-C foregikk ved ca. 5 °C, mens forsøkene som ble gjort i 1991 foregikk ved værelsetemperatur.

Etter kort tid ble det tatt ut prøver for kjemisk analyse fra alle dyp hvor det var satt inn rør. Dette ble gjentatt med lengre og lengre tidsintervall opp til ca. 3 døgn. Analysedata fra forsøkene ble så bearbeidet ved at de ble fremstilt grafisk som funksjoner av forholdet mellom tid etter prøvestart og dyp hvor prøven var tatt ut.

Hensikten med slike long-tube forsøk, er å beskrive sedimenteringsforløpet for partikler som finnes i vannet. I disse forsøkene er reduksjon i metallkonsentrasjon antatt å være et mål på partikkeldannelse og sedimentering.

Denne metoden for undersøkelse av partiklers sedimenterings-egenskaper er beskrevet i en artikkel av McLaughlin (1959). Den kan brukes til å bestemme fordelingen av partiklenes sedimenteringshastighet og deres midlere sedimenteringshastighet.

Figur 8 viser et utvalg av diagrammer som illustrerer dette forløpet for metallene jern, kopper og sink.

I de fleste undersøkte prøvene skjedde partikkeldannelsen i så liten grad at det har mindre interesse å gjennomføre en fullstendig analyse av datamaterialet. Grafene i figur 8 viser imidlertid relativt tydelig hvordan blanding av gruvevann og vann fra Orva fører til utfelling av metaller.

En meget viktig side av utfelling av jernhydroksid er at den er sterkt avhengig av mekaniske forhold under pH-endringen. En langsom og langvarig omrøring ved gunstige blandingsforhold vil føre til en flokkulering som i høy grad bedrer sedimenteringsegenskapene for partiklene. Lavere jernkonsentrasjoner og kort omrøringstid kan føre til at partiklene blir små og sedimenterer dårlig. Dette fremgår klart bl.a. av figur 8, der forsøket med blandingsforholdet 1:95 fikk en bedre flokkulering enn forsøket 1:250. Av figuren fremgår det klart at fjerning av jern skjer mest effektivt i forsøk 1:95.

Diagrammene i figur 8 viser %-vis fjerning av metallene som funksjon av forholdet mellom dyp (z) og tiden (t). Dette forholdet z/t avtar når tiden øker, slik at punktene lengst mot venstre i diagrammene representerer situasjonen etter lang tid.

Av figurene fremgår det at utviklingen for alle metallene er slik at den går mot en relativt vel definert grense når tiden blir tilstrekkelig lang.

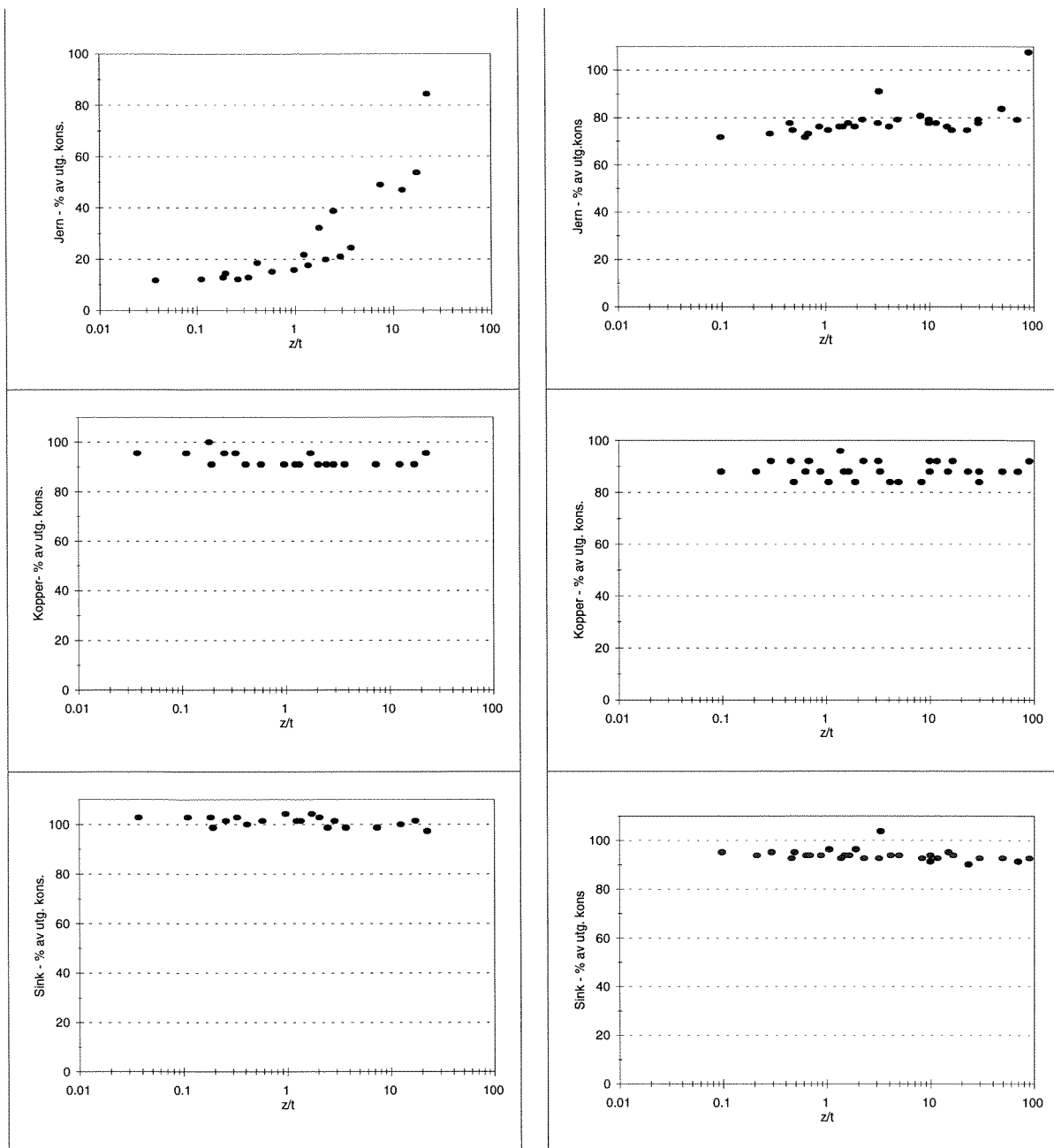
I forsøk 1 med blandingsforhold 1:95 fjernes 80 - 90 % jern, ca. 10 % kopper og 0 % sink. I forsøk 2C med blandingsforhold 1:250 fjernes ca. 30 % jern, 10 - 20 % kopper og ca 5 % sink. Den klare forskjellen i resultatet for jern ved de to forsøkene skyldes antakelig fnokkdannelsen som dels er en funksjon av blandingsforholdet og dels av mekaniske forhold i sylindere etter blandingen.

Resultatene som ble oppnådd ved disse forsøkene var i god overenstemmelse med resultatene fra de tidligere utførte blandingsforsøkene (Arnesen 1991).

Det finnes flere modeller for beregning av vandige løsnings sammensetning ut fra totalinnhold av ulike komponenter. I forbindelse med blandingsforsøkene ble modellen MINTEQA2 V-3.10 (1991) benyttet for beregning av sluttkonsentrasjoner for tre blandingsforhold: 1:100, 1:142 og 1:150. Forsøket med blandingsforhold 1:142 er beskrevet i NIVA-rapporten fra 1991 (Arnesen 1991). For alle blandingsforhold ga modellen som resultat at 100 % av jernet felles som hydroksid, mens det teoretisk ikke skulle skje noen utfelling av kopper. Dette bekrefter at fysiske forhold ved blandingen av de to vanntypene er av avgjørende betydning for effekten.

Tabell 13 "Long-tube"-forsøk med gruvevann fra Kongens gruve
 Felling av tungmetaller ved å blande gruvevann med vann fra Orva.
 Data i tabellen viser startbetingelser og hovedresultater av de enkelte forsøkene.

Forsøk 1				
Blandingsforhold 1:95				
	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	pH
Vann fra Orva	0.174	0.085	0.38	6.53
Gruvevann	130	12.2	32.8	2.74
Start, teoretisk	1.54	0.21	0.73	
Start, målt	1.47	0.22	0.72	5.22
Slutt	0.17	0.21	0.74	
Forsøk 2A				
Blandingsforhold 1:150				
	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	pH
Vann fra Orva	0.15	0.11	0.56	6.3
Gruvevann	102	17.9	27.8	2.8
Start, teoretisk	0.83	0.23	0.74	
Start, målt	0.98	0.32	0.9	
Slutt	0.7	0.28	0.87	
Forsøk 2B				
Blandingsforhold 1:200				
	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	pH
Vann fra Orva	0.15	0.11	0.56	6.3
Gruvevann	102	17.9	27.8	2.8
Start, teoretisk	0.66	0.197	0.70	
Start, målt	0.75	0.27	0.92	
Slutt	0.6	0.25	0.91	
Forsøk 2C				
Blandingsforhold 1:250				
	Jern mg/l	Kopper mg/l	Sink mg/l	pH
Vann fra Orva	0.15	0.11	0.56	6.3
Gruvevann	102	17.9	27.8	2.8
Start, teoretisk	0.56	0.18	0.67	
Start, målt	0.67	0.25	0.81	
Slutt	0.48	0.22	0.77	



Figur 8 Grafisk fremstilling av restkonsentrasjon av metaller som funksjon av tid og dyp i sylindren. Figurene viser resultatene for jern, kopper og sink for de to forsøkene 1:95 (venstre kolonne) og 1:250 (til høyre).

6.2. Diskusjon av laborieforsøkene

Resultatene av laborieforsøkene, både de som er gjort i denne forbindelse og de som ble rapportert i 1991 viser at sluttkonsentrasjonen av metaller i forhold til startkonsentrasjoner kan variere sterkt. Stort sett varierer dette med blandingsforhold og ikke minst med fysiske betingelser like etter at de to vanntypene er blandet.

Forsøk 3A-C gir f.eks. betydelig høyere jernkonsentrasjoner enn det som er funnet i de andre forsøkene. Den mest nærliggende forklaringen på dette er graden av fnokkdannelse i prøvene. I forsøk nr. 1 ble alle prøver gitt en langsom omrøring i et lite begerglass i 15 minutter, noe som gir en meget effektiv dannelse av fnokker med gode sedimenteringsegenskaper. De øvrige forsøkene ble utført i betydelig større beholdere med mindre effektiv og kortere tids omrøring etter at de to vanntypene var blandet sammen.

Beregning av teoretiske sluttkonsentrasjoner i blandingsforsøkene er i god overensstemmelse med de oppnådde resultatene. At utfellingen av jern bare ble 80 - 90 % og ikke nær 100 % slik modellberegninger viste skyldes manglende flokkulering. Reduksjon i kopper-konsentrasjonen på 10 - 20 % skyldes antakelig adsorpsjon på utfelte jernforbindelser. Dette ble det ikke tatt hensyn til i de teoretiske beregningene. Temperaturen kan også ha betydning for hvor fort utfelling jern skjer. Det er ikke gjort undersøkelser som gir informasjon om dette separat.

Forsøkene illustrerer derfor hva som kan ventes ved ulike situasjoner i Orvsjøen når mere gruveavrenning tilføres. Initialfortynning, mekanisk omrøring og totalfortynning vil influere på utfellingen, som derfor til en hver tid vil varierer med de hydrologiske og meteorologiske forholdene. Spesielt vil dette gjelde innholdet av jern, men det er umulig å angi noen eksakt faktor for forventet fjerning av dette metallet.

Den samme effekten finner vi i noen grad for kopper og sink også, men sluttkonsentrasjonen etter sedimentering varierer mye mindre, både ved samme blandingsforhold og mellom høyeste og laveste forhold.

På den ene side tyder resultatene på at det bør gjøres flere fellingsforsøk. På den annen side vil forholdene i Orvsjøen variere så mye og være så lite forutsibare, at nye forsøk ikke gir avgjørende ny informasjon. Lengre oppholdstid og omrøring på grunn av vind og strøm vil ganske sikkert gi en mer effektiv utfelling enn den vi hadde i forsøksserie 3A-C, men antakelig mindre effektiv enn i serie 1.

7. Sammenfattende diskusjon

De utførte undersøkelsene viser at en øket tilførsel av gruvevann til vann fra Orva fører til en utfelling av metaller. Utfellingen av jern vil skje i alle de aktuelle blandingsforhold. Det er sannsynlig at det også vil skje en utfelling av kopper, med dette er mindre sikkert. Transporten av sink i Orva vil neppe endres ved en overføring av gruvevann til Orvsjøen.

Ved innblanding av gruvevann vil blandingen få lavere pH jo høyere innholdet av gruvevann blir. Det er imidlertid ikke fare for at pH skal bli lavere enn 5 selv ved de høyeste innblandinger av gruvevann som er aktuelle. På grunnlag av forsøkene som ble utført med Orvsjø-sedimenter betyr dette at øket tilførsel av gruvevann til Orvsjøen ikke vil føre til nevneverdig utløsning av metaller fra sedimentene.

Det er imidlertid viktig at innblandingen av gruvevann skjer effektivt, slik at det ikke oppstår lokale områder med svært surt vann.

Behovet for god omrøring i vannmassene etter at gruvevannet er innblandet i Orvsjøen tilsier at tilførselen av gruvevann skjer i overflaten. Det foreligger imidlertid en fare for at det da bygger seg opp områder med høye gruvevannskonsentrasjoner i overflaten, særlig om vinteren. Faren for "kortslutning" mellom utslipp og utløpet av Orvsjøen kan også være større ved et overflate-utslipp. Best vil innblandingen fungerer et stykke over bunnen på dypt vann.

Det vil skje en utfelling av jernhydroksid ved denne tilførselen av gruvevann. Dette kan føre til en endring i fargen på Orvsjøen. Sannsynligvis vil dette variere noe med årstiden og kan skifte mellom grønnaktig til en tydelig brunfarge. En utledning av gruvevann på grunt vann vil føre til en tydelig brunfarging av bunnen i utledningsområdet.

Undersøkelsene har vist at vannkvaliteten i Orvsjøen er svært stabil. Det vil si at vannmassenes evne til å nøytralisere gruvevann endrer seg lite med f.eks. årstidene.

Ut fra dette kan vi anta at en sluttkonsentrasjon i Orvsjøen ved en overføring av mere gruvevann vil føre til kopperkonsentrasjoner omkring 200 µg/l og sinkkonsentrasjoner rundt 700 µg/l. Jernkonsentrasjonen blir mer usikker, men sannsynligvis omkring 100 µg/l. Dette gjelder dersom blandingsforholdet mellom gruveavrenningen og Orvavann varierer i området 1:50 - 1:250, noe som omtrent svarer til avrenningen fra veltene ved Arvedalen innblandet i Orvsjøens hovedvannmasser. Sluttkonsentrasjonene synes å være forholdsvis uavhengige av mengden av gruvevann som overføres. I det følgende er det imidlertid antatt at bare gruvevannet fra Arvedalen overføres til Orvsjøen.

At midlere kopper-konsentrasjon i Orvsjøen og dermed i Orva ved utløpet øker fra ca. 130 µg/l til ca. 200 µg/l svarer til at transporten i Orva på den aktuelle strekningen øker med ca. 930 kg/år. Samtidig fjernes en transport på 0.9 - 1.6 tonn kopper fra gruvevannet fra Kongens gruve (Arnesen *et al.* 1991), som renner inn i Orva mellom Orvsjøen og veibrua. Dersom det høyeste anslaget legges til grunn, svarer dette til en samlet reduksjon på ca. 700 kg/år eller 10 % av den nåværende kopper-belastningen.

For sink gir tilsvarende beregning en økning i sinkkonsentrasjonen fra 590 til 700 µg/l d.v.s. 110 µg/l som tilsvarende en øket transport i Orva på ca 2.5 tonn/år. Samtidig fjernes mellom 0.9 og 2 tonn sink fra gruvevannet fra Kongens gruve, slik at netto resultat med de usikkerheter som ligger i beregningene svarer til uforandret transport.

Det er vanskelig å angi noe tall for endringen i transport av jern, men den vil anslagsvis avta med 5 - 10 tonn/år hvis drenevannet fra veltene overføres til Orvsjøen. Reduksjonen vil ut fra de samme betingelser som for kopper og sink bli opptil 25 %.

I planene for prosjektet ble det stilt en del spørsmål som er besvart i det følgende:

Hvilke variasjoner er det i bufferkapasiteten i Orvsjøen?

Ved de fire prøvetakingene i Orvsjøen i 1992/93 var det små variasjoner i den generelle vannkvaliteten fra gang til gang. Det samme er tilfelle med forholdene i Orva ved utløpet av Orvsjøen. Her er f.eks. pH over 6, ved alle prøvetakinger unntatt to. Disse to prøvene avviker for noen parametre sterkt fra den generelle vannkvaliteten i Orvsjøen og kan være vann som transporteres i et forholdsvis tynt sjikt på overflaten av innsjøen.

Hvordan vil varierende vannkvalitet i Orvsjøen påvirke gruvevannet og føre til utfellinger ved de ulike situasjoner man har i en årssyklus i Orvsjøen?

Den forholdsvis stabile vannkvaliteten i Orvsjøen vil føre til at jern felles ut når gruvevannet blandes med hovedvannmassene i Orvsjøen. Som følge av denne utfellingen vil det samtidig bli fjernet noe kopper. Ved en øket tilførsel av forurenset vann, kan det forekomme situasjoner der det lokalt bygges opp sjikt som er mer forurenset enn hovedvannmassene. Dette må man ta hensyn til ved utledning av et eventuelt øket utslipp av gruvevann til innsjøen. Den mest kritiske tiden for en slik situasjon er vinteren med den mest utpregede temperatursjiktningen.

Hvilket omfang og hvilke egenskaper får det slammet som dannes ved innblanding av gruvevannet i Orvsjøen?

Hvor mye kopperholdig jernslam som sedimenterer i Orvsjøen etter en overføring av gruvevannet til Orvsjøen vil avhenge av en del rent fysiske forhold. Innblandings- og flokkuleringsbetingelsene vil få stor betydning. Dersom vi antar en overføring av ca. 4.5 l gruvevann pr. sekund og et blandingsforhold på ca. 1:100 vil dette svare til en fjerning av 0,2 mg Fe/l eller 90 mg/sek. Dette svarer til knapt 8 kg/døgn eller 2,8 tonn/år. Som jernhydroksid svarer dette til ca. 5.4 tonn $\text{Fe}(\text{OH})_3$ pr. år.

Som sedimentert slam svarer dette til et volum på mer enn 60 m³ pr. år. Fordelt over hele innsjøen (Areal:1.72 km²) vil dette utgjøre $3,5 \cdot 10^{-2}$ mm eller 0,03 - 0,4 mm/år eller mindre.

I Sjøvika som har et anslått areal på 126.000 m² ville dette slammet årlig bety et lag på mindre enn 0.5 mm på grunn av den økede jermengden. I forhold til den nåværende sedimentasjonen i Orvsjøen er dette forholdsvis ubetydelig.

Hvilke egenskaper har nåværende sedimenter?

Praktisk talt hele bunnen av Orvsjøen er dekket med et flere cm tykt lag med sterkt tungmetallholdig slam. I det dypeste området er dette en blanding av deponert flotasjonsavgang og utfelte hydroksider. I innsjøen forøvrig foreligger metallene bare som utfelte hydroksider. Innholdet av f.eks. jern er så høyt som 10 - 20 % av tørrstoffet i det øvre laget av sediment. Så lenge pH er over ca. 4 i Orvsjøen, synes ikke faren for vesentlig utløsning av metaller fra sedimentene å være særlig stor.

8. Konklusjoner

1. Undersøkelsene som er gjort i det foreliggende arbeidet bekrefter tidligere antakelser om at en overføring av gruvevann fra Kongens/Arvedalen-området kan føre til utfelling av metaller, slik at den totale metalltransporten reduseres. Dette gjelder i første rekke jern, men også noe kopper kan bli felt ut.
2. Hvor effektiv utfellingen av jern og kopper blir, avhenger bl.a. av blandingens slutt-pH, og dermed mengden av gruvevann som overføres til Orvsjøen. Dette synes imidlertid ikke å bli noe problem om bare avrenningen fra veltene fra Arvedalen gruve overføres. Det er mulig at selv en overføring av alt gruvevannet fra Kongens-området ikke vil overskride bufferkapasiteten i Orvsjøen. En gradvis overføring vil eventuelt være gunstig, slik at eventuelle problemer kan oppdages før det oppstår skader.
3. Utfelling av kopperholdig jernslam vil være så avhengig av de fysiske forholdene ved innblanding av gruvevannet at det er vanskelig å angi bestemte tall for effekten av dette. Modellberegninger viser at jern teoretisk felles ut 100 % mens kopper blir i løsning i de aktuelle blandingsforhold. Dette er i god overensstemmelse med resultatene av blandingsforsøkene. I beste fall kan koppertransporten i Orva avta med ca. 10 %. Prosentvis vil reduksjonen i jerntransport bli større, kanskje opp til 25 % av totaltransporten i Orva ved veibrua.
4. pH i Orvsjøen vil neppe bli så lav at det er fare for nevneverdig utløsning av tungmetaller fra sedimentene, som allerede er sterkt forurenset av jern, kopper og sink, selv ved en overføring av samlet gruvevann fra Kongens gruve.
5. Utfelling av jernhydroksid i Orvsjøen kan skape lokale effekter i Sjøvika med sterk brunfarging av bunnen. Utfellingen kan også påvirke hele Orvsjøen og gi vannmassene et grønt til brunt preg, avhengig av fortynning og utfellingshastighet.
6. Det er flere usikkerhetsmomenter i en slik overføring av mere gruveforurenset vann til Orvsjøen. Det vil være gunstig å foreta overføringen gradvis, slik at eventuelle uheldige effekter kan registreres før det oppstår skader.

9. Referanser

Arnesen, R.T. og Tjomsland, T. 1980

Røros Kobberverk A.S. - Vannforurensning fra gruver, NIVA-rapport O-78050, L.nr.: 1206

Arnesen, R.T. 1989

Vannforurensning i Nordgruvefeltet, Røros. NIVA-rapport O-87043, L.nr: 2207

Arnesen, R.T. Iversen, E.R. Hals, B. og Lundgren, T. 1990

Vannforurensning i Nordgruvefeltet - Røros. Undersøkelser i 1989

NIVA-rapport O-87043, L.nr.: 2413

Arnesen, R. T. 1991

Vannforurensning i Nordgruvefeltet - Røros, Arbeidet 1990

NIVA-rapport O-87043 L.nr.: 2602

Arnesen, R.T. 1991

Laboratorieforsøk med gruvevann, Kongens gruve, Nordgruvefeltet, Røros.

NIVA-rapport O-91155, L.nr.: 2714

Holtan, H. 1991

Forurensningene i Glomma i 1989 - 1990, Forurensningsbudsjett, forurensningsgrad, vurderinger og prognoser. NIVA-rapport O-90083/O-90156, L.nr.: 2546

MINTEQA2 1991

Metal Speciation Equilibrium Model for Surface and Ground Water.

Center for Exposure Assessment Modeling, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, USA.



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2602-8