

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O-77061

VANNFORURENSNING FRA GRUVER

KILLINGDAL

20. februar 1979

Saksbehandler : Torulv Tjomsland
Medarbeidere : Rolf Tore Arnesen
Magne Grande

Instituttssjef : Kjell Baalsrud

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: O-77061
Undernummer:
Løpenummer: 1107
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Vannforurensning fra gruver - Killingdal	Dato: 20. feb. 1979
	Prosjektnummer: O-77061
Forfatter(e): Arnesen, Rolf Tore Grande, Magne Tjomsland, Torulv	Faggruppe:
	Geografisk område: Sør-Trøndelag
	Antall sider (inkl. bilag): 38

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:

Rapporten omhandler vannforurensning fra gruveområdet på Killingdal. De ulike tilførselskildenes bidrag samt deres betydning for vannkvaliteten i Gaula blir vurdert. Mulige forurensningsbegrensende tiltak blir kommentert.

4 emneord, norske:
1. Killingdal Gruber
2. gruveforurensning
3. tungmetaller
4. tiltak

4 emneord, engelske:
1.
2.
3.
4.

Torulv Tjomsland
Prosjektleders sign.:

Rolf E. Arnesen
Seksjonsleders sign.:

Kjell Baalsrud
Instituttssjefs sign.:

ISBN 82-577-0149-1



Bergvelter på Killingdal.

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING	5
1.1 Generelt om undersøkelsen	5
1.2 Vannforurensninger fra kisgruver	5
2. VANNKJEMI - MASSETRANSPORT	7
2.1 Undersøkelsesopplegg	7
2.2 Resultater	7
2.2.1 Gruvevann (naturlig drenering)	7
2.2.2 Vann fra velter + gruvevann (naturlig drenering)	9
2.2.3 Pumpet gruvevann	10
2.3 Diskusjon	11
2.3.1 Årlig transportmengde - sammenlikninger mellom kildene	11
2.3.2 Usikkerhet	12
3. EFFEKTER AV TILFØRSLENE FRA KJØLI OG KILLINGDAL PÅ GAULA	14
3.1 Årlig massetransport	14
3.2 Tilførslenes betydning for stoffkonsentrasjoner i Gaula	16
3.3 Vurdering av tungmetallenes virkning på laksefisk i Gaula	20
3.4 Usikkerhet	23
4. TILTAK	25
4.1 Generelt	25
4.2 Mulige tiltak ved Killingdal gruver	26
5. SAMMENDRAG	28
5.1 Innledning	28
5.2 Resultater	28
5.3 Tiltak	29
6. REFERANSER	30
VEDLEGG - Tabeller over vannkjemi, vannføring og massetransport	31

FIGURFORTEGNELSE

	Side:
Fig. 1. Oversiktskart - Killingdal	8
Fig. 2. Gaula ved Reitan. Sannsynlighet for underskridelse av kobber- og sink-konsentrasjoner	17
Fig. 3. Gaula ved Reitan. Tilførselskildenes bidrag til kobber- og sink-konsentrasjonen som funksjon av vannføring	19
Fig. 4. Gaula ved vannmerke 1055 Eggafoss, varighetskurver	21

TABELLFORTEGNELSE

Tabell I	Årlig transportmengde fra Killingdal	11
Tabell II	Årlig massetransport fra Killingdal og Kjøli	15
Tabell III	EIFAC's maksimale årlige akseptable 50 og 95 prosentiler av målte metallkonsentrasjoner	22
Tabell IV	Forhold mellom observerte konsentrasjoner (50- og 95-prosentilene) og maksimalt akseptable verdier i Gaula ved Reitan	23

1. INNLEDNING

1.1 Generelt om undersøkelsen

Undersøkelsen er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT).

Tungmetallforurensningen i den øvre del av Gaula skyldes i første rekke de to gruvene Killingdal og Kjøli. Parallelt med undersøkelsen ved Killingdal er det gjort tilsvarende undersøkelser ved Kjøli. Hensikten var å skaffe grunnlag for å vurdere den kvantitative betydning av de enkelte forurensningskilder i de to områdene. Resultatene skulle danne grunnlag for prioritering av eventuelle tiltak. Det er tidligere gjort observasjoner i Gaula som har vist at fisket i den øvre del av elven er påvirket av gruveforurensning (Snekvik 1966). Det er derfor ikke gjort undersøkelser i selve Gaula i denne anledning.

Denne rapporten omhandler forurensningstilførslene fra A/S Killingdal Grubeselskaps gruve. Resultatene blir vurdert i sammenheng med tilførslene fra Kjøli.

I juni 1977 ble det foretatt en befaringsreise med deltagere fra SFT og NIVA. Jevnlig innsamling av vannprøver har foregått i ett år, frem til sommeren 1978. Prøvetaker har vært bonde Jon Bjørgård. Prøver av pumpet grunnvann ble samlet inn ved hjelp av A/S Killingdal Grubeselskap. Analysene er utført ved NIVA. Resultater av undersøkelsen er presentert i form av EDB-utskrifter (Vedlegg), og for enkelthets skyld er alle tall angitt med to desimaler. Dette er ikke uttrykk for datamaterialets pålitelighet.

1.2 Vannforurensninger fra kisgruver

De viktigste forurensningsvirkninger fra kisgruver som A/S Killingdal Grubeselskaps gruve skyldes surt gruvevann og surt drens vann fra bergveltene. Slikt vann er karakterisert ved at pH ofte er under 3,0 og at innholdet av jern, kobber og sink er svært høyt. I tillegg kan vannet inneholde andre tungmetaller som f.eks. bly, kadmium og kvikksølv i høyere konsentrasjoner enn det som vanligvis finnes i norsk overflatevann.

Oftest er det avløpsvannets innhold av kobber og sink som medfører de mest utpregede forurensningsvirkningene. Dette skyldes at de forekommer i så høye konsentrasjoner at de er akutt giftige for fisk og næringsdyr for fisk, selv etter fortynning i store resipienter.

Bly, kadmium og kvikksølv forekommer i betydelig lavere konsentrasjoner, men er likevel forurensningsmessig av stor betydning. Disse metallene antas å kunne akkumuleres i organismer, og på lang sikt kan selv lave konsentrasjoner ha biologiske konsekvenser.

Jerninnholdet i avløpsvannet har liten giftvirkning, men konsentrasjonene er oftest høye, og jernhydroksyd vil felles ut etter hvert som pH heves ved fortynning med annet vann. Vannet blir turbid og får en rødbrun farge. Slike utfellinger kan ødelegge gyteplasser for fisk, og dyr og planter skades ved at det dannes et belegg på dem.

Mengde sulfat i avløpsvannet fra et gruveområde kan gi informasjon om hvor store mengder kismineraler som oksyderes. Denne analyseparameteren kan derfor ha betydning som beregningsgrunnlag når tiltak skal vurderes. Forurensningsmessig har imidlertid sulfat liten betydning.

2. VANNKJEMI - MASSETRANSPORT

2.1 Undersøkelsesopplegg

Figur 1 viser en kartskisse over området.

Forurenset vann fra det nedlagte gruveområdet på Killingdal føres samlet via Gruvbekken til Gaula.

Forurensningstilførslene i området kan deles i tre hovedgrupper (fig. 1):

1. Vann som drenerer bergveltene.
2. Grunnvann som drenerer naturlig ut gjennom gruveåpningen.
3. Gruvevann som blir pumpet ut gjennom ovenfornevnte gruveåpning.

Målestasjonen Ki 1 representerte avløp gjennom gruveåpningen (fig. 1).

Stasjon Ki 2 omfattet samlet avløp fra området, dvs. summen av bidragene fra gruvevann og fra bergvelter.

Vannet som ble tilført Gaula, ble observert ved stasjon Ki 3 (fig. 1). Om vinteren var det ikke mulig å hente prøver fra Ki 1 og Ki 2 på grunn av snø. I denne perioden ble Ki 3 benyttet som grunnlag for å anslå tilførslene fra kildeområdene.

De innsamlede vannprøvene representerer en årssyklus med vekt på den snøfrie perioden.

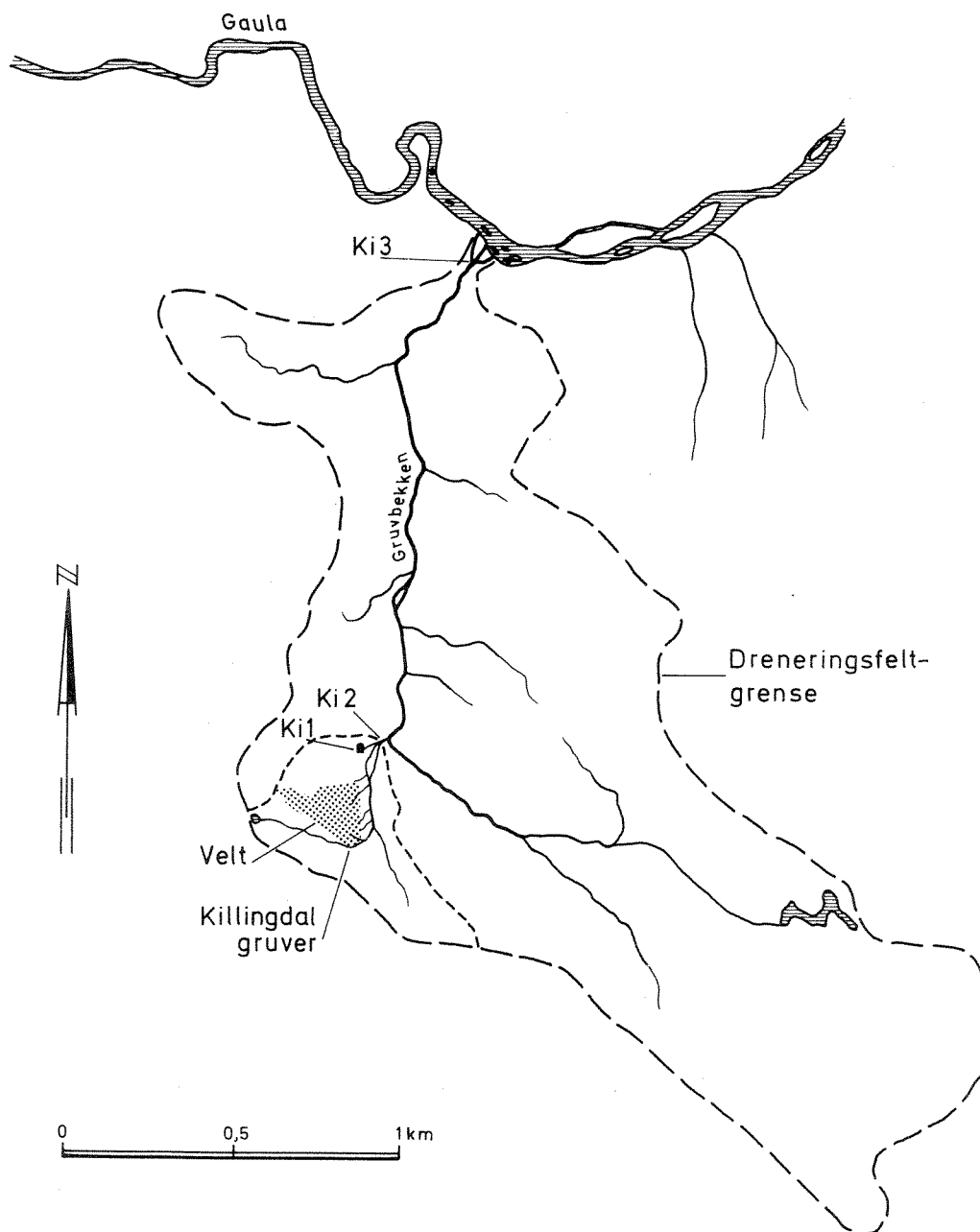
På stasjonene Ki 1 og Ki 2 var det installert måledammer for vannføringsobservasjoner.

2.2 Resultater

2.2.1 Gruvevann (naturlig drenering)

Med gruvevann (naturlig drenering) menes grunnvann som naturlig drenerer ut gjennom gruveåpningen (Ki 1).

Fig. 1 Oversiktskart - Killingdal



Resultatene fra de kjemiske analysene samt vannføringsdata på observasjonsdagene er vist i tabell 1 (se vedlegg).

Vannføringene på alle observasjonsdager var mindre eller lik 0,2 l/s. Verdiene ble i liten grad påvirket av nedbør eller årstidsvariasjoner.

Vannkvaliteten var typisk for surt gruvevann fra kisgruver med pH-verdier mellom 2,4 og 2,9 og høye tungmetall-konsentrasjoner.

Median ¹⁾ konsentrasjon til noen viktige stoffer var:

Kobber	80	mg/l
Sink	385	"
Jern	1175	"
Sulfat	4650	"

Det var ikke noen systematiske årstidsvariasjoner.

Momentane transportverdier på observasjonsdagene er vist i tabell 2. Det var en del variasjon i konsentrasjonsverdiene, men variasjonen i transportverdiene skyldes mest endringer i vannføringene.

Årlig massetransport ble beregnet ved å multiplisere midlere døgnlign transport med antall dager i året. De vektmessig største bidrag var:

Kobber	0,2	tonn/år
Sink	1	"
Jern	3	"
Sulfat	12	"

2.2.2 Vann fra velter + gruvevann (naturlig drenering)

Stasjonen Ki 2 (fig. 1) representerte det samlede naturlige avløp fra området. Prøvene ble samlet inn på dager hvor det ikke ble foretatt pumping.

Resultatene fra de kjemiske analysene samt vannføringsobservasjoner på prøvetakingsdagene er vist i tabell 3.

1) Dersom verdiene rengeres etter størrelsen, er medianverdier den midterste i denne rekken.

Vannføringene varierte mellom 0,8 l/s og 10 l/s. De høyeste verdiene skyldtes regn eller snøsmelting.

pH-verdiene varierte lite (2,6 - 2,9). Median konsentrasjon av noen viktige stoffer var:

Kobber	40 mg/l
Sink	175 "
Jern	484 "
Sulfat	2300 "

Konsentrasjonene viste ikke noen utpregede sesongmessige variasjoner. Høye vannføringer hadde imidlertid en viss fortynnende effekt og medførte lavere konsentrasjoner.

Ved tre anledninger er det også analysert på bly og kadmium. Særlig for kadmium må analyseresultatene betegnes som høye.

På grunn av snø og is ble det ikke tatt prøver ved Killingdal (Ki 1 og Ki 2) i perioden fra desember til midt i juni. Observasjoner av vintersituasjonen ble lagt til Grubebekkens utløp i Gaula (Ki 3). Verdiene på de ulike kjemiske parametrene viste her ingen typiske sesongvariasjoner (tabell 5). Konsentrasjonene var i samme størrelsesorden om vinteren som resten av året.

Årlige transportverdier (Ki 2) ble beregnet til:

Kobber	2,5	tonn
Sink	12	"
Jern	63	"
Sulfat	163	"

De momentane transportverdiene på observasjonsdagene viste tildels store forskjeller (tabell 4). Høye transporttall var særlig knyttet til høye vannføringer. Vinteren er en lavvannsperiode og den årlige transport må derfor antas i hovedsak å være knyttet til den frostfrie del av året.

2.2.3 Pumpet gruvevann

Vann fra gruven blir pumpet ut gjennom gruveåpningen. Ifølge muntlig uttalelse fra A/S Killingdal grubeselskap ble det pumpet ut 150-200 m³ vann ca. 10 ganger i året. Etter at prøveinnsamlingen ble avsluttet er pumperutinen endret slik at det nå pumpes et tilsvarende mindre volum daglig.

Det ble samlet inn prøver på ulike tidspunkter under pumpingen. Midlere verdier av de kjemisk/fysiske komponentene på de ulike prøvetakingsdagene er vist i tabell 6.

pH-verdiene varierte innen intervallet 2,3 - 2,5.

Midlere konsentrasjon for noen viktige stoffer var:

Kobber	625 mg/l
Sink	7550 "
Jern	6150 "
Sulfat	43000 "

Årlig transportmengde ble beregnet på grunnlag av 10 pumpinger á 175 m³ vann. Midlere konsentrasjon for observasjonsdagene ble benyttet.

Årlig massetransport ble:

Kobber	1,2 tonn
Sink	13 "
Jern	11 "
Sulfat	75 "

2.3 Diskusjon

2.3.1 Årlig transportmengde - sammenlikninger mellom kildene

Det årlige bidrag av de vektmessig største forurensningskomponentene fordelt på kildene er vist i tabell I.

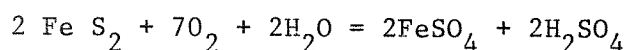
Tabell I. Årlig transportmengde fra Killingdal

	Velter		Gruvevann (Nat.dren.)		Pumpet gruvevann		Sum	
	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%
Kobber	2,3	63	0,2	5	1,2	33	3,9	100
Sink	11	43	1,1	4	13	33	25	100
Jern	60	81	3,2	5	10	15	74	100
Sulfat	151	63	12	5	75	32	238	100

Mellom 43% og 81% av området's totale årstransport av de ulike komponentene kom fra bergveltene. Pumpet gruvevann fulgte dernest - med andeler mellom 15% og 53%. Bidraget fra grunnvannssig gjennom gruveåpningen utenom pumpeperiodene var nærmest ubetydelig.

Bergveltene bidro med en spesielt stor andel av jern-tilførslen (81%). Forøvrig var sinktilførslen fra det pumpede gruvevannet stort (53%).

Når det dannes surt vann i gruveområder, foregår dette ved at kismineraler oksyderes og danner svovelsyre og tungmetallsulfater. Hvis pyritt tas som eksempel, foregår prosessen bl.a. etter følgende reaksjonslikning:



Kvantitativt betyr denne likningen at det av 1 tonn pyritt dannes ca. 1,2 tonn jernsulfat og 0,8 tonn svovelsyre.

I analyseprogrammet inngår sulfat som parameter. Sulfatverdien vil være et mål for den oksydasjon av kis som foregår. 1 tonn pyritt vil etter samme betraktningmåte gi ca. 1,6 tonn sulfat.

Årlig transport av sulfat fra veltene var ca 150 tonn, tilsvarende ca 90 tonn kismineraler. Hvis vi som et regneeksempel antar at veltenes masse er 100 000 tonn hvorav 10% består av pyritt, betyr det forurensningstilførslene vil fortsette med tilsvarende intensitet i størrelsesorden 100 år før kismineralene i veltene er transportert vekk.

2.3.2 Usikkerhet

Proseduren ved prøvetaking og analyse av vannprøvene medfører en viss usikkerhet og muligheter for feil. Disse faktorene har formodentlig relativt liten innvirkning på de endelige verdiene for årlig transportmengde.

Den årlige transportmengden (Ki 1 og Ki 2) ble beregnet ved å multiplisere midlere momentane transportverdier på observasjonsdagene med årets lengde. Metoden er avhengig av at observasjonsresultatene er representative for en årssyklus.

Det er få observasjoner om vinteren. Denne perioden hadde imidlertid lave vannføringer og dermed lavere transportverdier enn i sommerhalvåret. Dette medvirker til at de beregnede årstransportverdiene blir for store.

Transportverdiene økte i en viss utstrekning med økt vannføring. Korte flomperioder som følge av regn har i for liten grad blitt representert. Dette medvirker til at de beregnede årstransportverdiene blir for små.

På bakgrunn av den nevnte usikkerhet bør de endelige resultatene kun betraktes som retningsgivende. Den relative fordeling av bidragene fra de ulike kildene bør imidlertid være sikrere enn selve transportverdiene.

3. EFFEKTER AV TILFØRSLENE FRA KJØLI OG KILLINGDAL PÅ GAULA

Tungmetallforurensningene i øvre deler av Gaula skyldes tilførselene fra gruveområdene ved Kjøli og Killingdal. Tilløpet fra Kjøli munner ut i Gaula ca. 7 km oppstrøms tilløpet fra Killingdal. Som nevnt innledningsvis ble det foretatt ensartede undersøkelser for begge gruveområdene.

Som bakgrunn for prioritering av eventuelle forurensningsbegrensende tiltak ble tilførslenes betydning for Gaula både fra Kjøli og Killingdal vurdert samlet.

3.1 Årlig massetransport

Årlig massetransport til Gaula fordelt på de ulike kildene er vist i tabell II.

Årlige tilførsler for noen viktige komponenter ble beregnet til:

Kobber	6,4	tonn
Sink	25	"
Jern	101	"
Sulfat	376	"

58% av kobbertilførselene til Gaula kom fra Killingdal og 42% fra Kjøli. Veltene fra både Kjøli og Killingdal bidro med 36% og pumpet gruvevann fra Killingdal med 19%. Naturlig drenert gruvevann på Kjøli og Killingdal bidro med henholdsvis 6% og 3%.

Hele 99% av sinktilførselene kom fra Killingdal. Bidragene fra pumpet gruvevann, veltene og naturlig drenert gruvevann var henholdsvis 52%, 43% og 4%.

73% av jerntilførselene kom fra Killingdal og 27% fra Kjøli. Veltene på Killingdal og Kjøli bidro med henholdsvis 59% og 22% og pumpet gruvevann på Killingdal med 11%. Naturlig drenert gruvevann fra Kjøli og Killingdal var henholdsvis 5% og 3%.

63% av sulfattilførselene kom fra Killingdal og 37% fra Kjøli. Veltene på Killingdal og Kjøli bidro med henholdsvis 40% og 27% og pumpet gruvevann på Killingdal med 20%. Naturlig drenert gruvevann fra Kjøli og Killingdal var henholdsvis 10% og 3%.

Tabell II. Årlig massetransport fra Killingdal og Kjølvi.

	K I L L I N G D A L						K J Ø L L I						S U M			
	Gruvevann (naturlig drenering)		Velt		Gruvevann (pumpet)		Gruvevann		Veit		S U M					
	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%		tonn	%	
Kobber	0,2	3	2,3	36	1,2	19	3,7	58	0,4	6	2,3	36	2,7	42	6,4	100
Sink	1,1	4	11	43	13	52	25	99	0,05	0,2	0,1	0,4	0,1	0,6	25	100
Jern	3,2	3	60	59	11	11	79	73	5,3	5	22	22	27	27	101	100
Sulfat	12	3	151	40	75	20	238	63	36	10	102	27	138	37	376	100

3.2 Tilførslenes betydning for stoffkonsentrasjoner i Gaula

Kobber og sink antas å være de stoffer som har størst skadelig virkning (fiskedød m.m.). Det er derfor viktig å ha kjennskap til i hvilken grad de ulike kildene bidrar til kobber- og sinkinnholdet i Gaula.

Beregningene er gjort på grunnlag av de tilførsler som er målt på de enkelte prøvetakingsdagene. Stoffene er antatt å være konservative, dvs. at totalmengden i Gaula er lik summen av målte verdier fra Kjølilg og Killingdal.

Beregningene ble relatert til Gaula ved Reitan jernbanestasjon, ca. 6 km nedstrøms tilløpet fra Killingdal. Dreneringsarealet er ca 200 km².

Vannføringene der ble funnet ved å redusere observerte verdier ved det nedenforliggende NVE-vannmerket (VM 1055, areal: 653 km²) tilsvarende forskjellene mellom dreneringsarealene. De ulike kildenes innvirkning på vannkvaliteten i Gaula avhenger av forholdet mellom tilførslene og de samtidig eksisterende vannføringene i Gaula. For eksempel vil kortvarige høye konsentrasjoner kunne føre til fiskedød m.m. For å ta hensyn til slike effekter ble konsentrasjonsbidragene fra de ulike kildene regnet ut for samtlige prøvetakingsdager og presentert i et sannsynlighetsdiagram (fig. 2).

Figuren angir sannsynligheten for at den beregnede konsentrasjon av et metall i Gaula er lavere enn en gitt verdi. En verdi med sannsynlighet tilsvarende 80% betyr at 80 prosent av de beregnede konsentrasjonene var lavere enn denne verdien. Når det antas at beregnede konsentrasjonsverdiene er representative for en årssyklus, er dette ensbetydende med at verdien underskrides i 80% av året.

Karakteristiske belastningsverdier av kobber fra de ulike kildene var:

	50 %	95 %
	<u>µg/l</u>	<u>µg/l</u>
Kjøli, gruvevann + velt	20	85
Killingdal, nat. gruvevann + velt	25	125
Killingdal, pumpet gruvevann	15	75
Totalt	75	225

Bidragene til kobberkonsentrasjonene i Gaula var i samme størrelsesorden for de tre nevnte enkeltkildene. Tilskuddet fra Killingdal (velt + nat. gruvevann) ga høyere maksimalverdier enn Kjøli tiltross for samme årlig masse-transport.

Karakteristiske belastningsverdier av sink fra de ulike kildene var:

	50 % µg/l	95 % µg/l
Kjøli, gruvevann + velt	5	10
Killingdal, nat. gruvevann + velt	130	300
Killingdal, pumpet gruvevann	150	over 800
Totalt	300	over 800

Bidragene til sinkkonsentrasjonene i Gaula fra Kjøli var neglisjerbare. Tiltross for at den årlige massetransport av sink fra pumpet gruvevann og tilførselene fra Killingdal forøvrig var i samme størrelsesorden, ville bidraget fra det pumpede gruvevannet klart har ført til de høyeste konsentrasjonene i Gaula. Dette skyldes at de største tilførselene fra spesielt veltene kom i tilknytning til snøsmelting eller regnevær. I slike situasjoner hadde også Gaula høy vannføring og dermed stor fortyningseffekt.

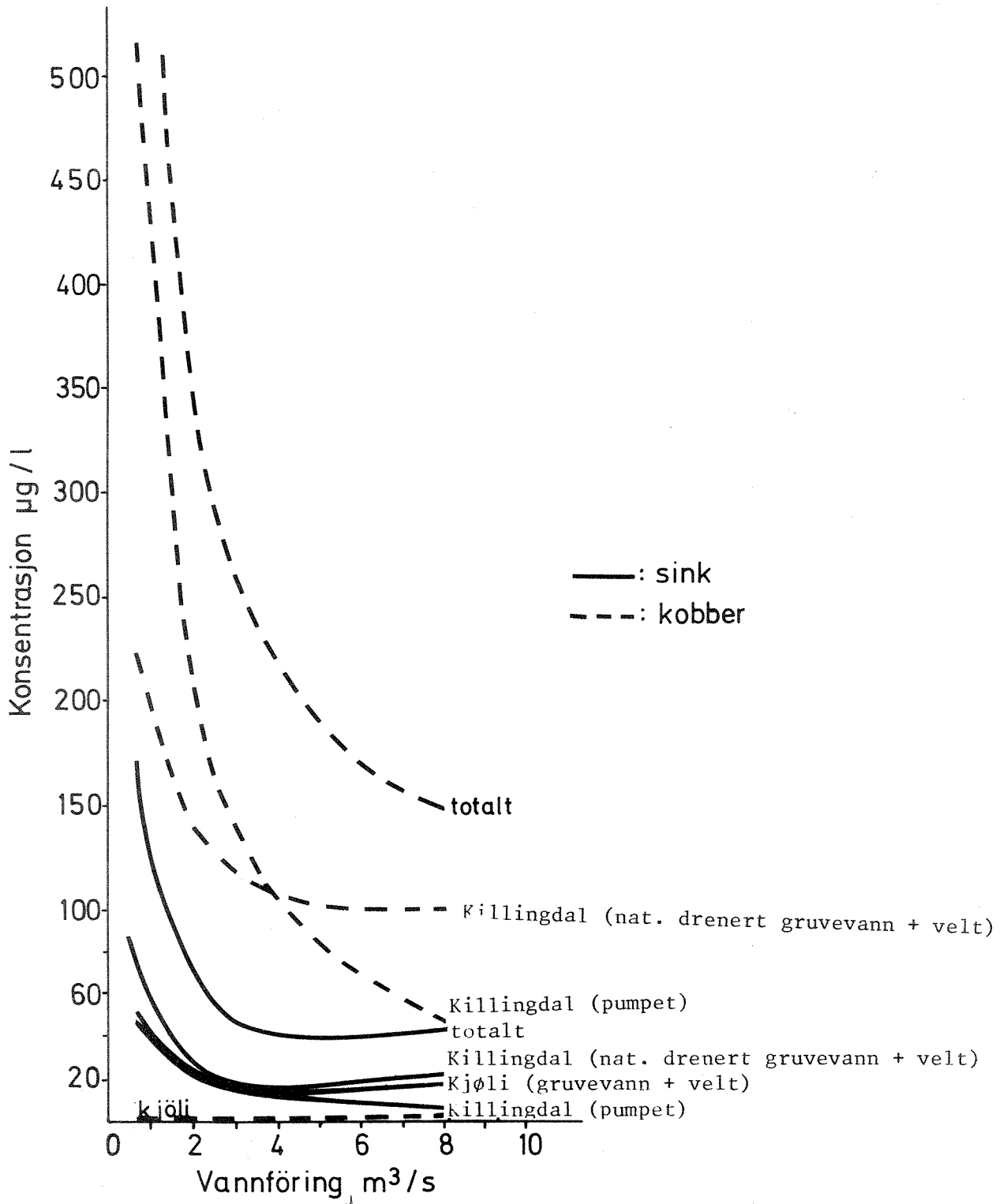
Fig. 3 viser de ulike kildenes bidrag til kobber- og sinkkonsentrasjonene i Gaula ved Reitan jernbanestasjon som funksjon av vannføring på prøvetakingsdagene. Til tross for at enkelte verdier viste store avvik fra den trukne kurven ga resultatene uttrykk for en meget klar tendens.

Det ble antatt at gruvevannet pumpes med konstant mengde hver dag. Konsentrasjonstilskuddet blir i så fall omvendt proporsjonalt med vannføringen i Gaula. Dette fører til særlig høye sinkverdier ved lave vannføringer.

Pumpes gruvevannet ut med lengre tidsintervaller, vil det føre til tilsvarende høyere konsentrasjoner; dette har spesielt stor betydning i perioder med lav vannføringen. Dersom f.eks. den tidligere pumperutinen (10 ganger pr. år) ble benyttet, ville konsentrasjonene de gangene pumpingen foregikk bli i størrelsesorden 35 ganger større enn ved daglig pumping.

Fig. 3. Gaula ved Reitan.

Tilførselskildenes bidrag til kobber- og sink-konsentrasjonen som funksjon av vannføring.



I perioder med liten vannføring i Gaula er det grunn til å tro at også vanntilførselen til gruven er mindre enn årsgjennomsnittet. Dette vil føre til lavere konsentrasjonsbidrag enn beregningene foran gir uttrykk for. En kvantitativ vurdering av denne effekten lar seg neppe gjennomføre uten feltundersøkelse.

Tilskuddene til konsentrasjonene i Gaula fra Kjølvi og Killingdal (velt + naturlig drenert gruvevann) avtok raskt med økende vannføring i intervallet $0,5 \text{ m}^3/\text{s} - 4 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig. 3). Det vil si at vannføringen i Gaula da økte mer enn økte tilførsler av sink og kobber fra kildeområdene. Kurvene flater ut ved vannføringer over ca $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette kan tolkes som at regn eller smeltevann da førte til en tilsvarende sterk økt utvasking av veltene.

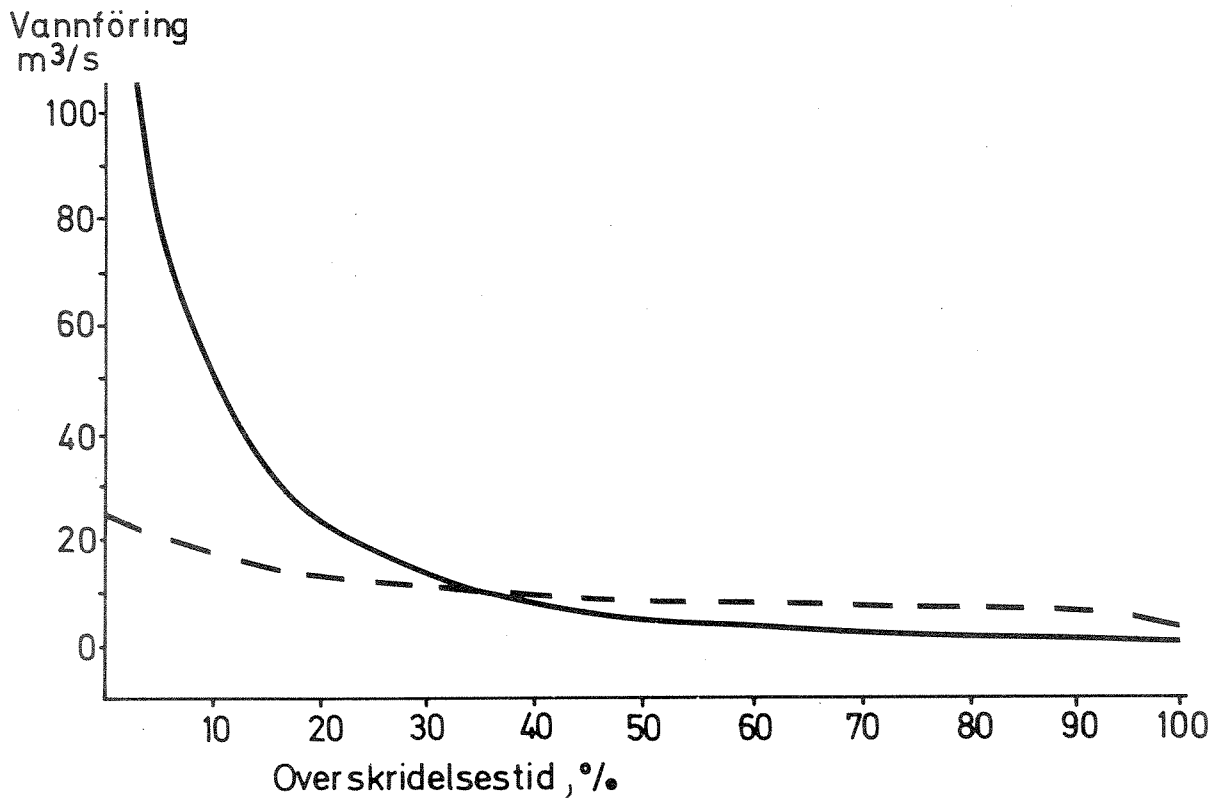
Det er av interesse å ha kjennskap til i hvilken grad de forannevnte konsentrasjonsberegningene representerte en årssyklus. Belastningene var avhengig av vannføringene (fig. 3). Følgelig var det viktig at vannføringene på observasjonsdagene representerte en årssyklus. Fig. 4 viser varighetskurvene for vannføringene ved det anvendte vannmerket (VM 1055 Eggafoss) for perioden 1942 - 1976 og for observasjonsdagene. Kurven viser hvor stor del av tiden i prosent en gitt vannføring overskrides. Høye vannføringer med overskridelsestid på under 20% av året var i liten utstrekning representert på prøvetakingsdagene. Forøvrig var overensstemmelsen god. Da tungmetallinnholdet var størst ved lave vannføringer (fig. 3), synes det som om perioder med høye konsentrasjoner i Gaula var godt representert.

3.3 Vurdering av tungmetallenes virkning på laksefisk i Gaula

Tungmetallenes virkninger på ferskvannsfisk er bl.a. avhengig av vannets hardhet. På grunnlag av to målinger (i august og juni) ved Eggafossen er hardheten beregnet til $11 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$ i middel. EIFAC (European inland fisheries advisory commission) har foreslått vannkvalitetskriterier for kobber, sink og kadmium. Disse er angitt som maksimalt akseptable årlige 50 og 95 prosentiler av målte metallkonsentrasjoner i vannet. Det dreier seg da om "løselig" metall, dvs. den andel som passerer gjennom et filter med poreåpning $0,45 \mu\text{m}$.

Fig. 4. Gaula ved vanmerke 1055 Eggafoss.

Varighetskurver for perioden 1942-1976 ———
og for prøvetakingsdagene - - -



I tabell III er oppført EIFAC's normer for kobber og sink ved en hardhet på ca. 10 mg CaCO₃/l.

Tabell III. EIFAC's maksimale årlige akseptable 50 og 95 prosentiler av målte metallkonsentrasjoner.

Metall	EIFAC		Gaula		Andel av EIFAC's normer (Gaula/EIFAC 50 pros. 95 pros.)	
	50-pros. µg/l	95-pros. µg/l	50-pros. µg/l	95 pros. µg/l	50 pros.	95 pros.
Kobber	3	15	75	220	25	15
Sink	15	60	300	800	20	13
Sum					45	28

Som en ser av tabellen ligger de beregnede verdiene for den samlede belastning i Gaula langt over EIFAC's normer. Ser en på 50 prosentilene ligger de for kobber hele 25 ganger høyere enn EIFAC's verdi. Dersom en grovt sett regner en additiv effekt av metallene, blir summen hele 45 ganger høyere enn EIFAC's 50% verdier. Disse verdiene skulle være 1 eller lavere for at en skulle være sikret mot skadevirkninger overfor laksefisk.

Sammenligning av EIFAC's normer og konsentrasjoner av sink og kobber i andre norske vassdrag forurenset fra gruver har vist at EIFAC's normer kan virke noe lave. Det vil si at det er funnet fisk ved høyere konsentrasjoner enn de som er satt som grenseverdi av EIFAC. Spesielt må her nevnes Orkla og et sidevassdrag, hvor konsentrasjonene var henholdsvis 6,2 og 3,1 ganger høyere enn EIFAC's normer for kobber og sink sammenlagt. På begge lokaliteter finnes idag laksefisk. Dersom en antar at Gaula og Orkla er relativt like, burde en i gunstigste fall kunne opprettholde en fiskebestand ved ca 6 ganger EIFAC's normer. Dvs. at de beregnede Gaulaverdier 45 og 28 kan divideres med 6. En får da at Gaula's beregnede 50- og 95-prosentil verdier er henholdsvis 7,3 og 4,7 ganger for høye for kobber og sink totalt ved Reitan. De ulike kildenes andeler er vist i tabell IV. Toleransekravene er da satt til det 6-dobbelte av EIFAC-normene i overensstemmelse med bl.a. observasjonene i Orkla. (Grande 976).

Tabell IV. Forhold mellom observerte konsentrasjoner (50- og 95-prosentilene) og maksimalt akseptable verdier i Gaula ved Reitan.

	Killingdal		Killingdal		Kjøli		Totalt	
	velt + naturlig gruvevann		pumpet gruvevann		velt + gruvevann			
	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95%
Kobber	1,3	1,4	0,8	0,8	1,1	0,9	4,1	2,5
Sink	1,4	0,8	1,6	1,6	0,05	0,02	3,2	2,2
Sum	2,7	2,2	2,4	2,4	1,1	0,9	7,3	4,7

I følge tabell IV vil bidragene av kobber fra Killingdal (velt + nat. drenert gruvevann), sink via pumpet gruvevann på Killingdal og den resterende sinktilførslen fra Killingdal hver for seg være tilstrekkelig til å medføre fiskedød.

Det er målt relativt høye kadmiumkonsentrasjoner i bekken fra Killingdal. Kadmium er likevel ikke vurdert i denne sammenheng idet betydningen av kobber og sink synes å være størst når det gjelder akutt giftighet.

3.4 Usikkerhet

De forannevnte beregninger og vurderinger er basert på en rekke usikre antagelser.

Det ble antatt at verdiene på observasjonsdagene var representative for en årssyklus. Ideelt sett burde prøvetakingen vært foretatt langt oftere for å tilfredsstille dette kravet. Ukentlige eller helst daglige observasjoner hadde vært ønskelig. Imidlertid synes den forannevnte sammenheng mellom vannføring og konsentrasjon i Gaula samt vannføringenes varighetskraver på observasjonsdagene og for et middelår, å tyde på at perioder med stor belastning i Gaula var tilfredsstillende representert.

Vannføringene i Gaula ved Reitan ble antatt å være ca. 1/3 av vannføringene ved Eggafoss. Ulikt tidspunkt for snøsmelting eller nedbør for Gaula oppstrøms henholdsvis Reitan og Eggafoss vil medføre feil. Usikkerheten kan påvirke konsentrasjonsberegningene i både positiv og negativ retning.

Det ble antatt at både kobber og sink var konservativt på strekningen mellom kildeområdene og Gaula ved Reitan. Det er grunn til å tro at disse metallene vil felles ut og lagres i sedimentene i perioder med lav vannføring.

Ved høye vannføringer kan dette igjen tilføres vannet i Gaula. I så fall reduseres de høyeste konsentrasjonsverdiene, som var knyttet til lave vannføringer.

Observasjoner i en rekke vassdrag viser at kritiske tungmetallkonsentrasjoner for laksefisk kan variere. Vi har imidlertid benyttet resultater fra undersøkelser i Orkla for valg av verdier. Vassdragene er trolig sammenlignbare.

På grunn av den eksisterende usikkerhet bør resultatene kun betraktes som retningsgivende. Forholdene mellom effekter som skyldes bidrag fra de ulike kildene, er trolig sikrere enn de tilsvarende absolutte verdiene.

4. TILTAK

4.1 Generelt

Tiltak mot forurensninger fra gruver kan deles i to hovedgrupper:

- Tiltak som forhindrer at forurensninger skapes og spres.
- Rensing av dreinsvann fra gruver og velter.

Innen begge grupper kan det være en rekke alternativer å velge mellom, avhengig av vannets sammensetning og mengde, samt naturforholdene på stedet.

For å redusere forurensningsmengden som skapes og spres i dreinsvannet, må de prosesser som frigjør svovelsyre og tungmetaller hindres. Dette kan skje enten ved å begrense lufttilgangen til kismineralene eller ved at det skapes et ugunstig miljø for bakteriene som spiller en viktig rolle ved oksidasjonsprosessen. I praksis kan dette enten skje ved å dekke avgangshaugen med tette materialer, fylle graven helt eller delvis med vann, eller f.eks. ved at pH i vann som kommer i kontakt med kismineraler heves ved kalking.

Rensing av avløpsvann fra gruver kan gjøres etter de prinsipper som gjelder for alle tungmetallholdige avløpsvann. Det er imidlertid ofte meget høye konsentrasjoner av jern i vannet, noe som kan skape problemer ved de fleste kjente rensemeter.

En vanlig fremgangsmåte ved rensing av slikt vann er å felle ut tungmetallene som hydroksyder med kalk, kalkstein e.l. Dette medfører store slammengder som må deponeres. Andre muligheter kan være å opparbeide vannet på verdifulle, men giftige metaller. Først og fremst gjelder dette kobber, men også sink er aktuelt. Det kan brukes spesielle separasjonsmetoder, f.eks. ionebytting eller væske-ekstraksjon hvoretter konsentratet kan viderebearbeides ved elektrolyse e.l.

4.2 Mulige tiltak ved Killingdal gruver

Det største forurensningsproblem i den øvre del av Gaula i den tiden disse undersøkelser pågikk, var åpenbart pumping av gruvevann fordi den foregikk sjelden og derfor resulterte i periodevis meget høye konsentrasjoner. Etter at pumpingen nå skal være mer jevnt fordelt, er tilførsler fra gruvevann og velter mer likt fordelt.

Det er foreløpig vanskelig å foreslå noen endelig løsning av forurensningsproblemene som skyldes Killingdal gruve. Den nye rutine for pumping av gruvevann vil ganske sikkert ha en forbedret virkning på Gaula. Tilførslene av tungmetaller fra Killingdal vil imidlertid fortsatt utgjøre en meget betydelig del av belastningen på Gaula (jfr. kap. 3). F.eks. kommer tilførslene av sink praktisk talt utelukkende fra Killingdal, hvorav en betydelig andel kommer fra gruvevannet. For å redusere forurensningsbelastningen synes det å være mest aktuelt å redusere gruvevannets innhold av sink og kobber. Den samlede gruvevannsmengde fra Killingdal er ca. 2000 m³ pr. år, noe som i en slik sammenheng er et beskjedent volum. Samtidig er innhold av tungmetaller, særlig sink, uvanlig høyt.

Nøytralisering og utfelling av metallene fra avløpsvannet ved hjelp av kalktilsetning er en mulighet. For å redusere behovet for deponeringsplass og for å hindre utvasking bør vanninnholdet i slammet gjøres så lite som mulig. Dette krever et opplegg for avvanning, transport og deponering av slam, som medfører relativt store investeringer og driftutgifter.

Det er av interesse å anslå kalkbehovet ved en nøytralisering av avløpet fra Killingdal. Datamaterialet gir ingen mulighet for eksakt beregning av hvor meget kalk som kreves, men et anslag kan gjøres på grunnlag av sulfatmengden. Mesteparten av tilsatt base går med til utfelling av metallhydroksyder, bl.a. jern. Med utgangspunkt i at slike metaller utgjør hovedmengden av kationer, og at det dominerende anion er sulfat, kan kalkforbruket settes ekvivalent med sulfatmengden. Dette tilsvarer 580 kg kalk (CaO) pr. tonn sulfat.

Teoretisk skulle denne doseringen bli noe for høy i forhold til behovet. Kalkkvalitet, effektivitet i utnyttelse av kalken etc. kan imidlertid føre til at det praktiske forbruket er betydelig høyere. Anslag på dette grunnlaget gir likevel et inntrykk av størrelsesordenen.

Med en samlet sulfattransport på ca. 240 tonn/år fra området ved Killingdal utgjør dette et årlig kalkforbruk på 140 tonn pr. år. Tilsvarende behandling bare av vannet fra veltene utgjør knapt 90 tonn.

Nøytralisering av avløpsvannet med kalk kan føre til betydelig utfelling av kalsiumsulfat ved siden av metallhydroksydene. Håndtering og deponering av de relativt store slammengdene vil derfor bidra betydelig til driftsutgiftene ved en slik løsning. For å hindre kalsiumsulfatutfelling kan avløpsvannet fortynnes, men dette vil kreve at renseanleggets dimensjoner økes.

Det foregående sammen med opplysningene om relativt små årlige gruvevannmengder gjør det derfor nærliggende å foreslå at det arbeides med løsninger der spesielt sink som foreligger i meget høy konsentrasjon tas ut selektivt. Metoder for fjerning av sink fra gruvevann er lite beskrevet i litteraturen. Det faller også utenfor rammen for denne rapporten å utrede dette nærmere, men vi foreslår at problemet undersøkes videre i liten skala. Det bør i så fall også gjøres noen orienterende kalkingsforsøk.

Behandling av bare gruvevannet fra Killingdal vil stort sett redusere sinkkonsentrasjonene i Gaula til det halve, mens kobbermengdene reduseres med omtrent en tredjedel. Konsentrasjonene vil fortsatt være over det som antas å være skadelig for fisk.

Tiltak ved Kjøli kan bringe konsentrasjonene ytterligere ned, men de teoretiske beregningene antyder at først etter at vann fra veltene ved Killingdal også blir underkastet behandling, kan det ventes at forholdene i Gaula blir tilfredsstillende for fisk.

Det anbefales at tiltakene gjennomføres trinnvis, med en oppfølging av forholdene i Gaula, slik at en videreføring av tiltak sees i forhold til behov og nytteverdi.

5. SAMMENDRAG

5.1 Innledning

Undersøkelsen er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT).

Tungmetallforurensningen i øvre del av Gaula skyldes i første rekke de to gruvene Killingdal og Kjøli. Hensikten var å skaffe grunnlag for å vurdere den kvantitative betydning av de enkelte forurensningskildene. Resultatene skulle danne grunnlag for prioritering av eventuelle tiltak. Denne rapporten omhandler forurensningstilførslene fra A/S Killingdal Grubeselskaps gruve. Resultatene ble vurdert i sammenheng med tilførslene fra Kjøli. (Forholdene ved Kjøli er beskrevet i NIVA 1979).

Forurensningstilførslene kom fra tre hovedkilder:

1. Vann som drenerte bergveltene.
2. Gruvevann som drenerte naturlig ut gjennom gruveåpningen.
3. Gruvevann som ble pumpet ut gjennom gruveåpningen.

De innsamlede vannprøvene representerte en årssyklus.

5.2 Resultater

Kobber og sink hadde forurensningsmessig sett størst betydning. Konsentrasjonene var av en slik størrelsesorden at de kunne være akutt giftige for fisk i Gaula. I dette sammendraget blir derfor hovedvekten lagt på disse stoffene. Også forekomst av kvikksølv og kadmium er undersøkt. For kvikksølv var konsentrasjonene lave, mens det for kadmium er klart høyere verdier enn i upåvirkede vassdrag.

Årlig transport av kobber fra Killingdal ble beregnet til 3,7 tonn. Av dette kom 63% fra veltene, 33% via pumpet gruvevann og 5% via naturlig drenert gruvevann. Samlet sinktilførsel ble beregnet til 25 tonn. 43% av dette kom fra veltene, 53% via pumpet gruvevann og 4% via naturlig drenert gruvevann. Årlig tilførsel av kobber fra Killingdal var ca. 1,4 ganger større enn bidraget fra Kjøli. Årlig sinktilførsel fra Killingdal var ca. 200 ganger større enn bidraget fra Kjøli.

Det ble antatt at gruvevannet pumpes daglig med like store mengder hver gang. Dette er en rutine som ble innført etter at undersøkelsen ble avsluttet. Tilførslene fra veltene og fra naturlig drenert gruvevann hadde de høyeste verdiene i tilknytning til snøsmelting og regnvær. På grunn av økt tilsig til Gaula i slike situasjoner fant man imidlertid de høyeste konsentrasjonene der ved lave vannføringer. Spesielt høye konsentrasjoner vil man få dersom gruvevannet fra Killingdal pumpes når det er lave vannføringer i Gaula.

Konsentrasjonene av kobber og sink i Gaula ved Reitan som følge av gruveforurensningen, overskrider de normer som antas å gjelde for at laksefisk kan overleve. Bidragene fra Killingdal (velt + nat.drenert gruvevann) både av kobber og sink, samt sinktilførslene via pumpevannet kunne hver for seg føre til fiskedød.

5.3 Tiltak

Tiltakene for å hindre forurensning fra Killingdal kan settes inn enten mot gruvevann og sigevann fra velter hver for seg eller mot de to kilder samlet. Vi antar at det praktisk og økonomisk vil være best å benytte forskjellige prosesser på de to typer av tilførsler. Den lave vannmengden og de høye konsentrasjoner av spesielt sink i gruvevannet gjør det naturlig å foreslå at dette vannet renses ved at sink og kobber taes ut selektivt. Arbeidet som rapporteres her har ikke hatt som mål å velge ut rensemetoder. Det foreslås at det først gjøres forberedende forsøk med å rense vannet i liten målestokk.

For å redusere tilførsler fra veltene foreslås kalking. Årlig behov for nøytralisering av sigevann fra velter er anslått til ca. 90 tonn CaO. Tilsvarende tall for alt vann fra Killingdal er ca. 140 tonn.

Tiltakene ved Kjølvi og Killingdal bør gjennomføres trinnvis og med en oppfølging av forholdene i Gaula. Første trinn ved Killingdal bør være å redusere tungmetallinnholdet i gruvevannet. Tiltak ved Killingdal bør koordineres med tiltak ved Kjølvi, og det bør foregå en overvåking av vassdraget for å vurdere tiltakenes effekter.

6. REFERANSER

Grande, M. 1977. Vannkvalitetskrav for ferskvannsfisk. En orientering om det arbeid som utføres av den europeiske innlandsfiskekommission (EIFAC). Norsk institutt for vannforsknings årbok 1976.

Norsk institutt for vannforskning 1979. Vannforurensninger fra gruver - Røstvangen og Kjøli. Norsk institutt for vannforskning, O-7706 101.

Snekvik, E. 1966. Killingdal gruber - slipping av grubevann til Gaula, Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk.

VEDLEGG

Tabeller over vannkjemi, vannføring og massetransport.

Symbolforklaring:

KOND	konduktivitet, ledningsevne
CA	kalsium
MG	magnesium
ASID	asiditet
SO4	sulfat
PB	bly
FE	jern
CD	kadmium
CU	kobber
ZN	sink
VANNF	vannføring

TABELL NR.: 1

KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.

STASJON: KILLINGDAL: 1 GRUVEVANN

DATE	PH	KOND MIS/CM	CA MG/L	MG MG/L	AS10 ML/L	S04 MG/L	PB MIK/L	FE MG/L	CD MIK/L	CU MG/L	ZN MG/L	VANNF L/S
770621	2.51	3880.00			3300.00			1000.00	730.00	70.00	370.00	0.10
770808	2.55	3923.00			800.00	4600.00		1100.00		71.00	450.00	0.10
770810	2.54	4963.00			1129.00	6400.00		1400.00		118.00	870.00	0.10
770827	2.58	3900.00			904.00	5700.00		1350.00		95.00	315.00	0.10
770917	2.82	3452.00			612.00	4600.00		965.00			400.00	0.10
771009	2.55	3870.00			782.00	5000.00	178.00	1300.00	1200.00	87.00	150.00	0.10
771023	2.60	4962.00			1282.00	6240.00	160.00	950.00	1500.00	80.00	200.00	0.01
771114	2.53	3700.00			710.00	4700.00		950.00		77.00	445.00	0.01
780616	2.47	3850.00	6.06	66.25	811.00	3760.00		1375.00		67.74	350.00	0.20
780702	2.47	4505.00	6.25	97.56	953.00	4032.00		1250.00		90.33	500.00	0.10
ANFALL:	10	10			9	10		10	3	9	10	9
MIN.:	2.47	3452.00			612.00	3300.00		950.00	730.00	67.74	150.00	0.01
MAX.:	2.82	4963.00			1282.00	6400.00		1400.00	1500.00	118.00	870.00	0.20
BREIDDE:	0.35	1511.00			670.00	3100.00		450.00	770.00	50.26	720.00	0.19
MEJIAN:	2.55	3890.00			811.00	4650.00		1175.00	1200.00	80.00	385.00	0.10
MIJDEL:	2.56	4100.50			887.00	4833.20		1164.00	1143.33	84.01	405.00	0.08
STJ. AVVIK:	0.10	923.54			209.33	1026.54		189.41	388.12	15.09	196.72	0.06

TABELL NR.: 2

MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.

STASJON: KILLINGDAL: 1 GRUVEVANN

DATO	CA KG/D	MG KG/D	S04 KG/D	HG G/D	PB G/D	FE KG/D	CD G/D	CU KG/D	ZN KG/D
77 8 8			39.74			9.50		0.61	3.89
77 810			55.30			12.10		1.02	7.52
77 827			4.92			1.17		0.08	0.27
77 917			39.74			8.34			3.46
7710 9			43.20		1.54	11.23	10.37	0.75	1.30
771023			5.39	0.00	0.14	0.82	1.30	0.07	0.17
771114			4.06			0.82		0.07	0.38
78 616	0.10	1.14	64.97			23.76		1.17	6.05
78 7 2	0.05	0.84	34.84			10.80		0.78	4.32

TABELL NR.: 3

KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.

STASJON: KILLINGDAL: 2 GRUVEVANN + VANN FRA VELLER

DATO	PH	KOND MIS/CM	CA MG/L	MG	ASIJ ML/L	S04 MG/L	PB MIK/L	FE MG/L	CJ MIK/L	CU MG/L	ZN MG/L	VANNF L/S
770621	2.66	2200.00			1200.00			300.00	340.00	26.00	108.00	0.80
770808	2.57	3720.00			702.00	4000.00		760.00		61.00	380.00	1.40
770827	2.70	2640.00			430.00	3100.00		455.00		41.00	190.00	4.00
770917	2.90	2197.00			279.80	1800.00		370.00			152.00	4.00
771009	2.65	2711.00			421.00	2300.00	8.00	520.00	450.00	43.50	175.00	4.40
771023	2.68	2911.00			490.00	2520.00	11.00	600.00	400.00	39.00	195.00	1.40
771114	2.60	3350.00			546.00	2850.00		555.00		64.00	192.00	0.80
780616	2.63	1880.00	3.62	21.25	215.00	944.00		484.00		18.07	85.00	10.00
780702	2.73	2257.00	5.63	40.24	291.00	1448.00		352.50		26.12	133.33	0.80
ANTALL:	9	9			8	9		9	3	8	9	8
MIN.:	2.57	1880.00			215.00	944.00		300.00	340.00	18.07	85.00	0.80
MAX.:	2.90	3720.00			702.00	4000.00		760.00	450.00	64.00	380.00	10.00
BREIÐE:	0.33	1840.00			487.00	3056.00		460.00	110.00	45.94	295.00	9.20
MEDIAN:	2.66	2640.00			425.50	2300.00		464.00	400.00	40.00	175.00	1.40
MIÐJEL:	2.68	2651.78			421.85	2240.22		488.50	396.67	39.64	178.93	2.95
STJ. AVVIK:	0.10	593.11			159.77	992.05		141.75	55.08	16.48	84.89	3.20

TABELL NR.: 4

MOMENTANE MATERIALTRANSPORTVERDIER.

STASJON: KILLINGDAL: 2 GRUVEVANN + VANN FRA VELTER

DATO	CA KG/D	MG KG/D	S04 KG/D	HG G/D	PB G/D	FE KG/D	CD G/D	CU KG/D	ZN KG/D
77 8 8			276.48			52.53		4.22	26.27
77 827			374.98			55.04		4.96	22.98
77 917			622.08			127.87			52.53
7710 9			874.37		3.04	197.68	171.07	16.54	66.53
771023			304.82	0.01	1.33	72.58	48.38	4.72	23.59
771114			196.99			38.36		4.42	13.27
78 616	3.13	18.36	815.62			418.18		15.61	73.44
78 7 2	0.39	2.78	100.09			24.36		1.81	9.22

TABELL NR.: 5

KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.

STASJON: KILLINGDAL: 3 BEKK FRA KILLINGDAL FØR SAML. GAUL

DATO	PH	KOND MIS/CM	CA MG/L	MG MG/L	ASID ML/L	S04 MG/L	HG MIK/L	PB MIK/L	FE MG/L	CU MIK/L	CU MG/L	ZN MG/L
770808	2.80	1310.00			111.00	600.00			110.00		12.00	70.00
770827	2.99	817.00			54.50	350.00			46.00		6.30	36.50
770917	3.28	591.00			28.48	170.00			21.00			15.30
771009	2.98	795.00			47.00	270.00		7.00	39.00	70.00	4.80	17.50
771023	3.02	716.00			37.90	236.00	0.01	1.00	30.00	60.00	3.90	19.50
771114	3.03	685.00			32.40	194.00			29.00		3.60	18.00
771126	3.02	731.00			44.00	292.00			40.00		4.90	18.80
780211	3.06	891.00			52.20	345.00			21.50		4.70	17.00
780605	3.05	509.00	2.92		19.20	106.00			25.50	28.00	1.70	7.00
780616	3.07	521.00	3.73	3.63	23.40	750.00			34.40		2.23	10.20
780702	3.34	436.00	5.63	3.54	19.30	101.00			13.50		2.07	10.48
ANFALL:	11	11	3		11	11			11	3	10	11
MIN.:	2.80	436.00	2.92		19.20	101.00			13.50	28.00	1.70	7.00
MAX.:	3.34	1310.00	5.63		111.00	750.00			110.00	70.00	12.00	70.00
BREKKE:	0.54	874.00	2.71		91.80	649.00			96.50	42.00	10.80	63.00
MEJIAN:	3.03	716.00	3.73		37.90	270.00			30.00	60.00	4.30	17.50
MIJDEL:	3.06	727.45	4.09		42.67	310.64			37.26	52.67	4.69	21.84
STJ. AVVIK:	0.14	239.70	1.39		25.92	201.62			25.93	21.94	3.14	17.70

TABELL NR.: 6

KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.

STASJON: KILLINGDAL: 4 PUMPET GRUVEVANN

DATO	PH	KOND MIS/CM	CA MG/L	MG	ASID ML/L	S04 MG/L	FE MG/L	CU MG/L	ZN MG/L
770809	2.43	18140.00			6236.00	59400.00	5900.00	942.00	7820.00
780202	2.51	21700.00			7135.00	37600.00	6100.00	670.00	620.00
780314	2.37	22506.00			8220.00	40000.00	7700.00	1030.00	16000.00
780428	2.37	20405.00	2.50		7180.00	34720.00	3800.00	94.00	8800.00
780609	2.39	21430.00	3.57	2187.50	7211.00	43400.00	7250.00	548.38	4500.00
ANFALL:	5	5	2	1	5	5	5	5	5
MIN.:	2.37	18140.00			6236.00	34720.00	3800.00	94.00	620.00
MAX.:	2.51	22506.00			8220.00	59400.00	7700.00	1030.00	16000.00
BREDDE:	0.14	4366.00			1984.00	24680.00	3900.00	936.00	15380.00
MEJIAN:	2.39	21430.00			7180.00	40000.00	6100.00	670.00	7820.00
MIDDEL:	2.41	20836.20			7196.40	43024.00	6150.00	656.88	7548.00
STD. AVVIK:	0.06	1683.92			702.56	9693.24	1516.58	370.57	5708.88

TABELL NR.: 7

KJEMISK/FYSISKE ANALYSEDATA.

STASJON: KILLINGDAL: 4 PUMPET GRUVEVANN

DATE	KLOKKEN	PH	KOND MIS/CM	ASID ML/L	S04 MG/L	FE MG/L	CU MG/L	ZN MG/L
770809	0910	2.40	12238.00	4115.00	38000.00	4500.00	560.00	4800.00
770809	1030	2.46	24058.00	8647.00	87000.00	7800.00	1360.00	11200.00
770809	1130	2.43	18305.00	6263.00	53000.00	5700.00	950.00	7600.00
770809	1230	2.42	18095.00	6147.00	59000.00	5700.00	930.00	8000.00
770809	1330	2.42	18005.00	6011.00	60000.00	5800.00	910.00	7500.00
ANTALL:		5	5	5	5	5	5	5
MIN.:		2.40	12238.00	4115.00	38000.00	4500.00	560.00	4800.00
MAX.:		2.46	24058.00	8647.00	87000.00	7800.00	1360.00	11200.00
BREIDDE:		0.06	11820.00	4532.00	49000.00	3300.00	800.00	6400.00
MEDIAN:		2.42	18095.00	6147.00	59000.00	5700.00	930.00	7600.00
MIDDEL:		2.43	18140.20	6236.60	59400.00	5900.00	942.00	7820.00
STD. AVVIK:		0.02	4180.42	1610.19	17756.69	1189.54	283.67	2276.40