

Virkning av kisgruveforurensninger i vassdrag

Av Magne Grande.

Magne Grande er forsker ved Norsk Institutt for vannforskning.

Innlegg på seminar i Norsk Vannforening 31. oktober 1989.

Tidligere undersøkelser

Selv om forurensningsvirkninger fra kisgruver i vassdrag er et problem i mange land, foreligger det ikke så mange sammenfattende større fremstillinger av dette tema. Av norske publikasjoner kan nevnes artikler fra et temahefte i Vann (Larsen, 1967, Snekvik, 1967, Grande, 1967 og Skulberg, 1967) i forbindelse med et møte holdt i Trondheim i 1967 og i «Proceedings» fra et internasjonalt symposium på Røros i 1988 (Johannesen, in press, Arnesen et al. in press, Aanes, in press og Grande and Arnesen, in press).

Delproblemer, såsom virkninger av metaller, partikler og flotasjonskjemikalier, er undersøkt og publisert i større omfang. Svært mange av undersøkelsene er beskrevet i rapporter som kan være mer eller mindre vanskelig tilgjengelig. Bl.a. kan nevnes at mange av NIVAs rapporter på dette felt er «spærret», dvs. bare kan fås etter godkjenning fra oppdragsgiver.

Forurensningstyper

Forurensningene fra kisgruver er ofte komplekse hvor partikler, flotasjons-

kjemikalier og metaller av forskjellige slag kan være involvert. En har også det forhold at også nedlagte gruver kan forurense i lange tider og problemene herfra er forskjellig fra de gruvene som er i drift. En kan vel trygt si at ingen norske gruveforekomster er helt like når det gjelder forurensninger. Virkningene er i høy grad avhengig av resipientens karakter. Vannkvalitet er f.eks. av stor betydning for effektene. En kan likevel si at gruveforurensningene fra lokalitet til lokalitet har mange felles trekk. I det følgende skal en her av praktiske grunner omtale tre hovedkategorier av forurensning, hver for seg — nemlig partikler eller slam, flotasjonskjemikalier og metaller.

Partikler

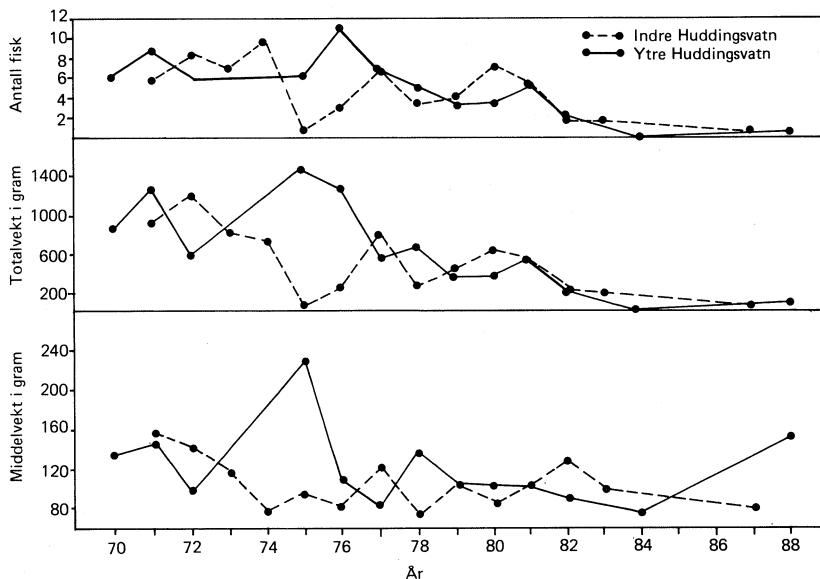
Partikkelforurensninger består vanligvis av flotasjonsavgang som er finknust mineralisk materiale av forskjellig slag — inkludert noe kisminerale og flotasjonskjemikalier, samt metallhydroksyder — spesielt oker (FeOH_3). Partiklene har effekter både i suspendert tilstand og som sedimentert materiale på bunnen av elver og innsjøer. Virkninger av partikler er bl.a. beskrevet av Hessen (1987, 1988), Iversen (1987) og Grande (1987A).

Suspenderte partikler reduserer lysgjennomgangen i vann og dermed fotosyntesen og produksjonen av organisk stoff. Ved høye partikkelkonsentrasjoner kan muligens dyreplanktonet bli negativt påvirket (Hessen, 1987) og det samme gjelder fisken. For fisk har en konstatert såvel akutt dødelighet som kroniske effekter med redusert overlevning, reproduksjon og vekst samt endret adferd og nedsatt motstandsdyktighet mot sykdommer. Videre kan partiklene resultere i redusert næringstilbud og ha negativ virkning på utøvelse av fisket (Alabaster and Lloyd, 1982, Grande, 1987A). EIFAC's (Den europeiske innlandsfiskekommisjon) vannkvalitetskriterier for suspenderte partikler går ut på at konsentrasjoner under 25 mg/l ikke har noen skadelig virkning på fisk (Alabaster and Lloyd, 1982).

Når partiklene sedimenterer vil de kunne overdekke vegetasjonen og

redusere tilveksten. Bunndyrfaunaen kan bli sterkt negativt influert både som følge av direkte effekter og på grunn av redusert næringstilbud i form av planter og mikroorganismer på bunnen. Laksefisk er særlig ømtålelig for tilslamming av gyteområdene, men også for andre fiskearter har en konstatert økt dødelighet av egg og yngel på grunn av tilslamming (Grande, 1987A).

Eksempler på effekter fra partikkelforurensning fra kisgruvenes flotasjonsverk kan trekkes frem bl.a. fra Kvina i Vest-Agder, Folla i Hedmark, Huddingsvassdraget i Nord-Trøndelag, Bleikvatn og Sulitjelma i Nordland. Selv om virkningene er mer eller mindre utpreget, er det enkelte trekk som går igjen. Produksjonen av planter og bunndyr er redusert i større eller mindre grad og dette har også redusert produksjonen av fisk. I fig. 1 er vist utviklingen av fiskefangster i Hud-



Figur 1. Fangst pr. garnnatt i Huddingsvatn 1970—1988.

dingsvatnet i årene 1970—88 (Grande og Iversen, 1989A). Nedgangen her skyldes tilslamming av bunnmaterialet og redusert tilgang av næringsdyr for fisk (Sivertsen, 1982). Det viktige næringsdyret marfloe forsvant praktisk talt i løpet av 1—2 år etter at forurensningene tok til.

I Kvina ble det sluppet ut gruveslam fra Knaben molybdengruber og virkningene her gjorde seg sterkt gjeldende. Ørreten var her borte i de øvre deler og bare helt nederst var det noe ørret og litt laks.

Fra Folla kan nevnes at partikkelmengdene (flotasjonsavgang fra kiskgruve) var så stor at siktedypet kunne være bare få centimeter med en årlig middelværdi for turbiditet på 63.5 JTU i 1966 (før stansen ved graven i Follidal) på en stasjon ca. 10 km nedenfor utslippsstedet (NIVA, 1969). På denne strekningen var det en liten bestand av steinulke og noe lake. Harren vandret opp og gytte her og egg og yngel utviklet seg som normalt i de påvirkede deler. Ørret fantes imidlertid bare sporadisk og bunndyrfaunaen var sterkt redusert selv om enkelte grupper forekom. Effektene gjorde seg visuelt gjeldende helt ned til Glåma — en strekning på nær 4 mil. Liknende effekter, men bare i liten målestokk, har en i dag i øvre del av Folla nedenfor utslipp fra Hjerkin (Aanes, in press).

Okerutfellinger legger seg ofte som et belegg på bunnen og vil således kunne være til skade for bunndyr og fisk. Under flomperioder vil partiklene i suspensjon også kunne forårsake ulemper og skader. Forsøk med okerslam fra Gaula i laboratoriet har imidlertid vist at det utfelte materialet er lite eller ikke

giftig i motsetning til jern som er under felling (Traaen et al. 1988).

Erfaringer fra norske gruveundersøkelser viser således at partikler fra gruvevirksomhet har betydelige effekter på biologiske forhold. Virkningene er imidlertid sterkt avhengig av resipienttype og organsmesamfunnets sammensetning.

Flotasjonskjemikalier

Det er relativt lite kjent om virkningene av flotasjonskjemikalier fra gruvevirksomhet i vann. Noen undersøkelser er imidlertid utført. Det er bl.a. påvist at opptak av bly i fisk øker ved nærvær av xantat og at dette flotasjonsreagenset derfor utgjør en økologisk risikofaktor (Borg et al., 1976). Det foregår for tiden et arbeid i Norge hvor en søker å samle mest mulig opplysninger om anvendelsen av flotasjonskjemikalier og deres effekter.

Metaller

Metaller kommer ut i vassdrag både fra nedlagte og igangværende gruver. Det sure metallholdige gruve- og sigevann er en kilde, men også flotasjonsavgang inneholder metaller. Effektene er imidlertid forskjellige. Metallene som følger flotasjonsavgangen er mindre giftig som følge av binding til mineralpartiklene. Det ser derfor ut til at fersk flotasjonsavgang først og fremst har en partikkeleffekt som omtalt foran. Gruve- og sigevann har toksiske effekter ved sitt innhold av syrer og metaller. Når dette vannet fortynnes, vil det etterhvert nøytraliseres og metaller som jern og aluminium felles ut og danner et mindre toksisk slam (okerbelegg). I våre gruveområder er det

relativt korte strekninger av vassdragene som befinner seg i denne første fase (raubekker). Her er vannet ulevedelig for de aller fleste organismer både på grunn av syrevirkninger og toksiske metaller som aluminium, jern og andre tungmetaller.

Når vannet nøytraliseres vil det ta en viss tid før kjemisk likevekt inntreffer og i denne «utfellingsfasen» vil jern og aluminium fortsatt være toksisk for fisk og andre organismer. I forbindelse med undersøkelsene i Gaula (Traaen et al., 1988) viste det seg at fisk døde raskt i bur utsatt i elven, men når elvevannet ble lagret var det ikke lenger giftig. Metallene var da sannsynligvis utfelt og toksisk inaktivert. I øvre del av Gaula er det en strekning på mange kilometer som befinner seg i denne fase og hvor bare spesielt tolerante arter av levende organismer kan overleve. Liknende forhold har en også i deler av Orkla, Skorvassdraget, Folla m.fl. (Grande og Romstad, 1989, Grande og Iversen 1989B, Aanes, in press).

Endel av metallene vil imidlertid kunne holde seg løst i den toksiske ioneform, selv etter nøytralisasjon. I våre vassdrag og fjorder er det først og fremst kobber, sink, kadmium, bly og nikkel som er aktuelle. Virkningene av disse metallene er beskrevet i en omfangsrik litteratur og her skal bare gis noen kommentarer som har direkte tilknytning til norsk gruvevirksomhet.

Det er utført endel norske laboratorieundersøkelser for å studere toksiske virkninger av tungmetaller og gruvevann på fisk og andre organismer (Schmidt-Nielsen, 1939, Grande, 1967B, 1979, Grande og Andersen, 1983, Arnesen og Grande, 1988). Videre er et utført et betydelig antall undersøkelser i vassdrag og fjorder som er påvirket av

gruveforurensninger, spesielt i forbindelse med overvåking. Det meste av dette foreligger i rapportform og det vil føre for langt å referere til alle her. Nevnes kan oversikter over innhold av metaller i fisk i gruvepåvirkede og andre lokaliteter (Sørstrøm og Rikstad, 1985, Knutzen, 1987, Grande, 1987B).

Gaula kan være et godt eksempel hvor en kan vise effektene av forurensninger fra nedlagte kisgruver. Her har en nemlig klart markerte gradienter av metallkonsentrasjoner nedover vassdraget og de biologiske forholdene er godt studert (Traaen et al., 1988, Lindstrøm and Rørslett, in press).

Det viste seg her at begroings-samfunnene (alger, moser, bakterier, sopp etc.) var nær totalskadet i øvre del av Gaula mellom Storbekken og Reitan (dvs. en strekning på ca. 15 km). Bare enkelte særlig forurensningstolerante arter ble her funnet (f.eks. grønnalgen *Ulothrix subtilis*). Moser utplassert i elva akkumulerte meget store mengder, opptil 270, 14 og 5 ganger bakgrunnsnivå av henholdsvis kobber, sink og kadmium. Bunndyr fantes praktisk talt ikke og fisk utplassert i bur døde i løpet av få timer. Elvebunnen var på visse strekninger dekket av oker. Middelkonsentrasjonene av kobber, sink og kadmium var henholdsvis ca. 160—65, 230—170 og 0,7—0,5 µ/l.

Nedenfor Reitan og til Eggafossen (ca. 15 km) skjer det en gradvis reetablering av bunndyr (spesielt døgnfluen *Baetis rhodani*) og etterhvert også begroing. Fisk utplassert i bur døde imidlertid og fisketellinger viste at her ikke var fisk. På denne strekningen var metallkonsentrasjonene omlag 65—30, 170—80 og 0,5—0,2 µg/l for henholdsvis kobber, sink og kadmium.

Nedenfor Eggafossen var bunndyr-

faunaen på det nærmeste normalisert, mens begroingen først nådde full utvikling omkring Singsås (ca. 60 km nedenfor munningen av Storbekken). I moser var kobberbelastningen fortsatt markert, mens belastningen av sink og kadmium var moderat. Fisk, dvs. ørret og laks, kom etterhvert mer og mer inn fra Eggafossen og nedover.

Undersøkelser, bl.a. med laboratorietester med laks, viste at det sannsynligvis var kobber som var den viktigste toksiske komponenten. For begroing, fisk og bunndyr syntes det som om det var først under 15–20 µg/l (årlig midlerverdi) at forholdene var normalisert.

Undersøkelser fra andre steder i Norge, f.eks. Orklavassdraget, Folla, Rørosområdet, Øvre Namsen, Bleikvassli og Sulitjelma har i store trekk vist liknende forhold. Ved visse nedre konsentrasjonsgrenser for metallene synes de negative effektene å opphøre. Disse grensene kan variere noe — i Ringevatnet i Meldal f.eks. var det en utmerket og tilsynelatende upåvirket fiskebestand, mens de årlige midlere kobber- og sinkverdiene var henholdsvis 43 og 80 µg/l (EIFAC, 1976). Ved nærmere undersøkelse ville en her kanskje finne effekter både på visse bunndyr- og planktonarter, men dette slår altså tilsynelatende ikke negativt ut på fiskeproduksjonen. Årsaken til de variasjoner i toksisitet av metaller en kan finne ligger først og fremst i vannkvaliteten hvor særlig økende innhold av Ca, løste organiske stoffer og partikulært materiale reduserer giftvirkningene. EIFAC har angitt vannkvalitetskriterier for endel metaller som er oppført i tabell 1. Verdiene gjelder løst metall og dette kan være bare en del av den totale mengde som vanligvis måles i norske undersøkelser

som totalkonsentrasjoner (atomabsorpsjon — ufiltrert). Disse verdiene vil ligge vesentlig høyere enn antydnet ovenfor. Det foregår for tiden et forskningsprosjekt hvor en skal sammenligne tidligere resultater og foreta enkelte supplerende feltundersøkelser for å få et bedre grunnlag for å fastsette de aktuelle grenseverdier i norske gruvevassdrag.

Metallforurensningene fra kisgruver kan også komme ut i fjordområder som f.eks. Orkdalsfjorden. Her var det tidligere utslipp av metallholdig gruvevann. Det ble her påvist et sterkt redusert artsmangfold i bunnfaunaen og dette kunne korreleres til kobberinnhold i sedimentene (Rygg, 1984). Undersøkelser som også omfatter andre metallforurensede fjorder viste sterk negativ korrelasjon mellom artsmangfold av bunndyr og kobber i sedimentene. Det ble funnet en moderat negativ korrelasjon for bly og svak for sink (Rygg, 1985).

Det er vist at det kan skje en oppkonsentrasjon av metaller i forskjellige organismer. Dette er også funnet i forbindelse med gruveforurensninger (Sørstrøm og Rikstad, 1985, Grande, 1987B, Grande og Iversen, 1984, Grande et al., 1985A, B og Iversen et al., 1989). Imidlertid er det bare kadmium og bly av disse metallene som kunne tenkes å representere noen helsemessig risiko ved konsum. Både bly og kadmium akkumuleres imidlertid vesentlig i lever og nyrer og ikke i muskulatur. De undersøkelser som er utført i lokaliteter med anriking av disse metallene bekrefter dette og tyder ikke på at metaller fra gruveområder i Norge utgjør noen helsemessig risiko gjennom konsum av fisk. Et annet forhold som kan nevnes er at et husdyr som sau er ømfintlig overfor

Tabell 1. Maksimalt årlige akseptable 50 og 95 prosentiler av konsentrasjoner av løst (passerer gjennom et 45 µm filter) kobber, sink, kadmium og nikkel for laksefisk basert på EIFAC's kriterier. (Alabaster and Lloyd, 1982, EIFAC, 1984). Bly basert på Train (1979) og Grande and Andersen (1983). Verdiene er angitt i µg/l. Hårdhet 10 mg/l som CaCO₃.

<i>Metall</i>	<i>50 prosentil</i>	<i>95 prosentil</i>
Kobber	1	5
Sink	10	30
Kadmium	0.3	0.6
Nikkel	10	30
Bly	7	—

kobberforgiftning. Såvidt vites har en ikke med sikkerhet konstatert forgiftning av sau som følge av kobberforgiftning fra gruveforurenset vann selv om en i noen tilfeller har mistanke om en slik sammenheng.

Omfanget av forurensninger fra kiskruvene

Knutzen et al. (1986) som har utarbeidet en oversikt over forekomst av miljøgifter i norske vassdrag og fjorder peker på at de akutte hovedproblemer i Norge vesentlig er knyttet til bestemte utslipp eller til avrenning fra gruveområder. Flere mil av norske vassdrag har større eller mindre skader som følge av tungmetallforurensning og i tillegg kommer enkelte fjordområder. Partik-

kelforurensning har også forårsaket skader i noen vassdrag og fjorder. I tabell 2 er gitt en oversikt over de viktigste områder som er rammet av forurensninger og en enkel karakteristik av virkningene.

Siden denne undersøkelsen ble foretatt er tiltak satt i verk og enkelte endringer har skjedd som følge av vassdragsreguleringer etc. I hovedtrekkene er imidlertid forholdene i dag som dengang og tabellen kan gi et bilde av gruveforurensningenes omfang. Noen ytterligere kvantifisering av betydningen i antall km (km²) berørte elver, innsjøer og fjorder og ødelagt fiske etc. skal ikke her forsøkes. Slike tall kan lett ble misvisende om de ikke er ledsaget av mer utfyllende kommentarer.

Tabell 2. Oversikt over områder med tungmetaller fra kisgruver i norske vassdrag og fjorder (etter Knutzen et al., 1986).

+ moderat ++ markert +++ stor

() begrenset område påvirket

<> gammel undersøkelse

? antatt, ikke undersøkt tiltrekkelig

Skade kode:

A: økologisk skade

B: akkumulering

C: helserisiko, fiske/rekreasjonskade

Sted (ferskvann)	metaller	andre		Skade- kode
RØROSOMRÅDET				
Glomma ned. til Bellingmo	++ Cu,Zn,Cd,Pb		vann, moser	A,B
Orva	+++ Cu,Zn,Cd,Pb		vann, moser	A,B,C
Hitterelva-Håelva	+++ Cu,Zn,Cd		vann, moser	A,B
FOLLA				
Follshaugmoen	+++ Cu,Zn,Cd		vann, moser	A,B,C
Gjeltten bru	++ Cu,Zn,Cd		vann, moser	A,B
TYRIFJORD				
Skjærdalselva	+++ Ni,Cu		vann, moser	A,B,C
Henoa	++ Ni,Cu		moser	A,B
ØRKLA				
Svorkmo og nedover sideelv Ya	+++ Cu,Zn,Cd		vann	A,B,C
sideelv Skauma	++ Cu,Zn,Cd		vann	A,B
sideelv Vorma	++ Cu,Zn,Cd		vann	A,B
GAULA				
Kjøli-Killingdal	+++ Cu		vann	A,B,C
Killingdal-Reitan.	+++ Cu,Zn,Cd		vann	A,B,C
NAMSEN				
Stallvikelva	+++ Cu,Zn,Cd		vann	A,B,C
Grøndalselva	++ Cu,Zn,Cd		vann, fisk	A,B
Huddingsvassdraget n. for Grøndalselva	++ Cu,Zn,Cd	slam	vann	A,B
	+ Cu,Zn		vann	A
MOLDÅGA/RØSSÅGA				
Moldåga	++ Pb,Cu,Zn,Cd		vann	A,B
Røssåga	+ Pb,Cu,Zn,Cd		vann	B
Bleikvatn	++ Pb,Cu,Zn,Cd	slam	vann, fisk	A,B
SULITJELMAVASSDRAG				
Langvatn	+++ Cu,Zn	slam	vann, sediment	A,B
Sjønståelva	+++ Cu,Zn		vann	A,B
ALTA/KAUTOKEINOVAS.				
Bidjovagge	() ?			
PASVIKELVA				
Bjørnevatn	++ Ni		sediment	B
TRONDHEIMSFJ. (saltvann)				
Orkdalsfj./Gulosen	<+++> ++ Cd,Cu,Zn		<sediment> og biota	A,B,C
SKJERSTADFJORD	+ Cu,Cd		sediment og griset.	B

LITTERATUR

- Alabaster, J.S. and Lloyd, R. 1982 (eds.): Water quality criterias for freshwater fish. 2nd ed. Butterworths, London, 361 s.
- Arnesen, R.T. og Grande, M. 1988: Giftvirkninger av tungmetaller fra gruver på fisk. NIVA-rapport, O-84119: 28 s.
- Arnesen, R.T., Grande, M. and Iversen, E.R. (in press): Tailings disposal from Grong Gruber A/S under water in lake Huddingsvatn. Proc. Int. Conf. Contr. Envir. Probl. Metal Mines, Røros 1988.
- Borg, H., Karlson, A. och Lithner, G., 1976: Inverkan av flotationsreagenset isopropylxantat på blyupptaget hos øring — resultat av laboratorieforsøk. Statens Naturvårdsverk, Solna, rapport SNV PM 754: 41 s.
- EIFAC, 1976: Report on the effect of zinc and copper on the salmonid fisheries in a river and lake system in central Norway. EIFAC (FAO) Tech. Pap. 29: 34 s.
- EIFAC, 1984: Report on nickel and freshwater fish. EIFAC (FAO) Tech. Pap. 45: 20 s.
- Grande, M., 1967A: Kobber og sink — gift for fisken. Vann 2 (2): 46—52.
- Grande, M., 1967B: Effect of copper and zinc on salmonid fishes. Adv. Wat. Pollut. Res. 3(1), 97—111.
- Grande, M., 1979: Virkning av kadmium på laksefisk. s. 21-26 i NIVA årbok 1978, Oslo 1979.
- Grande, M., 1987A: Virkning av partikler på fisk. S. 71—92 i «Partikler i vann». Norsk limnologforening, Oslo 1987.
- Grande, M., 1987B: Bakgrunnsverdier av metaller i ferskvannsfisk. NIVA rapport, O-85167: 34 s.
- Grande, M. and Arnesen, R.T., in press: Effects of heavy metals from mining activities on fish. Proc. Int. Conf. Contr. Envir. Probl. Metal Mines. Røros, 1988.
- Grande, M. og Andersen, S., 1983: Lethal effects of hexavalent chromium, lead and nickel on young stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in soft water. Vatten, 39: 405—416.
- Grande, M. og Iversen, E.R., 1984: Kontrollundersøkelser 1983. ELKEM A/S — Skorovas Gruber. NIVA-Rapport, O-62042: 55 s.
- Grande, M. og Iversen, E.R., 1989A: Grong Gruber A/S. Kontrollundersøkelser i vassdrag 1988. NIVA-rapport O-69120: 45 s.
- Grande, M. og Iversen, E.R., 1989B: Kontrollundersøkelser 1988. ELKEM A/S — Skorovas Gruber. NIVA-Rapport, O-62042: 50 s.
- Grande, M. og Romstad, R., 1989: Tiltaksorientert overvåking i Orkla, 1988. Statlig program for forurensningsovervåking, SFT. Rapport nr. 368/89: 59 s.
- Grande, M., Iversen, E.R. og Bildeng, R., 1985A: Grong Gruber A/S. Kontrollundersøkelser i vassdrag 1984. NIVA-rapport O-69120: 64 s.

- Grande, M., Iversen, E.R. og Bildeng, R., 1985B: Kontrollundersøkelser 1984, Elkem A/S — Skorovas Gruber. NIVA-rapport, O-62042: 53 s.
- Hessen, D., 1987: Zooplanktonets utnyttelse av ulike typer og størrelser av partikler. S. 65—70 i «Partikler i vann», Norsk Limnologforening, Oslo 1987.
- Hessen, D., 1988: Biologiske effekter av partikler i vann. *Limnos*, 1988(3): 1—7.
- Iversen, E.R., 1987: Flotasjonsavgang fra norske kisgruver — deponering i ferskvann. S. 47—54 i «Partikler i vann». Norsk Limnologforening, Oslo 1987.
- Iversen, E.R., Grande, M. og Aanes, K.J., 1989: A/S Bleikvassli Gruber. Kontroll- og overvåkingsundersøkelser 1988. Tiltaksrettede undersøkelser av avrenningen fra gruveområdet til lille Bleikvatn/Moldåga. NIVA-rapport, O-82121: 52 s.
- Johannessen, M., in press: Acid mine drainage in Norway. Proc. Int. Conf. Contr. Envir. Probl. Metal Mines, Røros 1988.
- Knutzen, J., 1987: Bakgrunnsnivåer av metaller i saltvannsfisk. NIVA-rapport, O-85167: 66 s.
- Knutzen, J., Green, N. og Lingsten, L., 1986: Forekomst av miljøgifter i norske vassdrag og fjorder. NIVA-rapport 1: Hovedrapport O-85281: 95 s.
- Larsen, L., 1967: A/S Joma Bergverk, bergverksinteresser og forurensningsproblemer. *Vann* 2(2): 41—42.
- Lindstrøm, E.A. and Rørslett, B., in press: The effects of heavy metal pollution on periphyton in a Norwegian soft-water river. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24 proc, München 1989.
- NIVA, 1969: Undersøkelse av Folla. NIVA-rapport, O-120/64 del 1: 75 s.
- Rygg, B., 1984: Økologiske skadevirkninger av kopperforurensning i det marine miljø. *Vann*, 19(4): 464—474.
- Rygg, B., 1985: Effect of sediment copper on benthic fauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25: 83—89.
- Schmidt-Nielsen, S., 1939: Zur Kenntnis der Giftigkeit Eisen- und Kupferhaltiger Abwässer Fischen gegenüber. *DKNVS. Forh.* 11: 233—236.
- Sivertsen, B., 1982: Fiskeribiologiske undersøkelser i Huddingsvassdraget 1981. Med oversikt over undersøkelsene i 1962—1981. Rapport til Grong Gruber A/S fra B. Sivertsen. 22 s.
- Skulberg, O.M., 1967: Svovelkisgruver- og vassdragspåvirkninger. *Vann* 2(2): 53—59.
- Snekvik, E., 1967: Vassdragene i Trøndelag, gruveforurensningene og fisket, *Vann* 2(2): 43—45.
- Sørstrøm, S.E. og Rikstad, A., 1985: Tungmetaller i fisk i indre Namdalen. Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, Miljøvernavdelingen. Rapport nr. 8, 1985. 34 s.

- Train, R.E., 1979: Quality criteria for water. U.S. EPA, Washington DC, Castle House Publ. LTD: 256 s.
- Traaen, T.S., Arnekleiv, J.V., Bongard, T., Grande, M., Lindstrøm, E.A. og Lingsten, L., 1988: Tiltaksorientert overvåking i Gaula, Sør-Trøndelag, 1986—1987. Statlig program for forurensningsovervåking, SFT. Rapport nr. 337/88: 157 s.
- Aanes, K.J., 1980: A preliminary report from a study of the environmental impact of pyrite mining and dressing in a mountain stream in Norway, p. 419—442 in Flanagan, J.F. and Marshall, K.E. (eds.) «Advances in ephemeroptera biology». Plenum Publishing Corporation, 1980.
- Aanes, K.J., in press: Environmental impact of pyrite mining and dressing on a mountain stream in Norway. Proc. Int. Conf. Contr. Envir. Probl. Metal Mines, Røros, 1988.

CHK utfører oppdrag innenfor områdene:

- **Vann**
- **Avløp**
- **Renovasjon**
- **Prosessteknikk**
- **Energiteknikk**
- **Byggeteknikk**
- **Geoprosjektering**



SIVILINGENIØR

CARL-H KNUDSEN A/S

RÅDGIVENDE INGENIØRER MNIF MRIF

Drammen — Fagernes — Stjørdal — Sundsvall