



# Rådgivende Biologer AS

**RAPPORTENS TITTEL:**

Utslipp fra behandlingsanlegg for drikkevann. Teoretisk vurdering av vannkjemiske og økologiske effekter i Jordalsvatnet og Svartediket i Bergen.

**FORFATTERE:**

Cand. scient. Annie E. Bjørklund

Dr. philos. Geir Helge Johnsen

**OPPDRAKSGIVER:**

Bergen kommune ved Arne Halvorsen og Sandra McCarley

**OPPDRAGET GITT:**

August 2001

**ARBEIDET UTFØRT:**

August-november 2001

**RAPPORT DATO:**

29. november 2001

**RAPPORT NR:**

508

**ANTALL SIDER:**

21

**ISBN NR:**

ISBN 82-7658-347-4

**EMNEORD:**

- Drikkevann  
- Vannbehandlig  
- Akrylamid

**SUBJECT ITEMS:**

- Jern  
- Surhet  
- Organisk stoff

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS  
Bredsgården, Bryggen, N-5003 Bergen  
Foretaksnummer 843667082  
[www.radgivende-biologer.no](http://www.radgivende-biologer.no)

Telefon: 55 31 02 78

Telefax: 55 31 62 75

E-post: [post@radgivende-biologer.no](mailto:post@radgivende-biologer.no)

## FORORD

Rådgivende Biologer as. har, på oppdrag fra Bergen kommune, foretatt en teoretisk vurdering av mulige effekter ved eventuelle utslipp av dekant- og modningsvann i forbindelse med humusfelling i råvannet i drikkevannskildene Jordalsvatnet og Svartediket.

Høyt humusinnhold i råvannet er et stort problem for mange drikkevannsanlegg i kystkommunene på Vestlandet. Aluminium har vært mest benyttet til felling av humus, men de siste årene har flere anlegg tatt i bruk treverdige jern som fellingsmiddel i stedet. Jern har i flere år vært i bruk som fellingsmiddel for fosfat i kloakkrensingsanlegg, da tilsatt som  $\text{FeClSO}_4$ . Bergen kommune er i ferd med å oppgradere vannbehandlingsanleggene i Jordalsvatnet og Svartediket, og en vurderer i den forbindelse å benytte jern til felling av humus. Både ved Svartediket og Jordalsvatnet er det aktuelt å lede både dekant- og modningsvannet tilbake til råvannskilden. Vannkvaliteten på dette vannet vil være sterkt preget både av kjemikaliene som brukes til humusfelling og av kjemikaliene i polymeren som brukes for å øke sedimenteringen. Bergen kommune ønsket en nærmere gjennomgang av enkelte av disse stoffene, for å få en vurdering av betydningen for vannkvalitet og miljøforhold for vannlevende organismer i de to resipientene.

Rapporten har som målsetting å sammenstille foreliggende kunnskap og erfaringer fra andre vannverk med hensyn på tilførsler av jern, kalsium, alkalitet, TOC og akrylamid til vannkilder. Det er ikke gjort vannkjemiske undersøkelser i forbindelse med denne rapporten.

Rådgivende Biologer AS takker Jon Brandt (Asplan Viak), Bjørn Eikebrok (SINTEF), Helge Olsen (KEMIRA), Tor Håkonsen (Vann-, tunnell- og miljøteknikk), Einar Mathiesen (Gopledalen vannverk) samt personale ved Valleråsen-, Lille Erte- og Nedre Romerike vannverk for fruktbare og opplysende samtaler. Bergen kommune ved Arne Halvorsen og Sandy McCarley takkes for oppdraget.

Bergen, 29. november 2001

## INNHold

Forord	2
Innhold	2
Sammendrag	3
Renseprosessen	4
De vurderte parametrene	6
Jern	6
Kalsium, alkalitet og pH	8
Innhold av organisk stoff (TOC)	9
Akrylamid	11
Mulige økologiske effekter	13
De surhetsrelaterte parametrene	13
De oksygenrelaterte parametrene	14
De potensielt direkte skadelige parametrene	14
Andre potensielle effekter	16
Konklusjon	18
Saksgang ved søknad om utslipp	19
Litteraturhenvisninger	20

## SAMMENDRAG

*BJØRKLUND, A.E. & G.H. JOHNSEN, 2001. Utslipp fra behandlingsanlegg for drikkevann. Teoretisk vurdering av vannkjemiske og økologiske effekter i Jordalsvatnet og Svartediket i Bergen. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 508, 21 sider. ISBN 82-7658-347-4.*

Høvt humusinnhold i råvannskilder for drikkevann er et stort problem for mange vannbehandlingsanlegg. Bergen kommune er i ferd med å oppgradere vannbehandlingsanleggene for Jordalsvatnet og Svartediket, og vurderer i den forbindelse å benytte jern som fellingsmiddel for å fjerne humus. Denne prosessen medfører at det produseres så store mengder forurenset vann ved rengjøring av filterne, at kloakkledningsnettene ikke kan motta det. Det forurensete vannet samles derfor i egne sedimenteringskar for å skille ut mest mulig av faste stoffer. For å øke mengde og hastighet på denne sedimenteringen, vurderes det å tilsette polyakrylamid som fellingsmiddel. Etter sedimentering sendes den fortykkede slamfasen til kloakkledningsnettene, men vannfasen (dekantvannet), samt modningsvannet fra filterne, vurderes tilbakeført til enten råvannsinntaket eller vannkilden. Både dekant- og modningsvannet vil imidlertid fremdeles være noe forurenset, og kommunen ønsket derfor å få belyst eventuelle skadelige effekter på miljø og vannlevende organismer i de to resipientene av et sett utvalgte stoffer. Vurderte parametere er jern, akrylamid, kalsium, alkalitet, pH og organisk stoff (TOC).

De økologiske effektene kan grovt sett deles i tre virkningsmåter: de surhetsrelaterte (kalsium, pH, alkalitet), de oksygenrelaterte (hovedsakelig TOC) og de potensielt direkte skadelige (akrylamid og jern). De fleste av disse stoffene vil imidlertid påvirke/påvirkes av de andre stoffene, og denne inndelingen er derfor ikke absolutt.

Ut fra foreliggende litteratur og erfaringer fra andre vannverk, er det ingen ting som skulle tilsi store negative effekter av utslipp av de omtalte stoffene til verken Jordalsvatnet eller Svartediket slik forholdene er i dag. Dette forutsetter imidlertid at en relativt god vannkvalitet og gode oksygenforhold opprettholdes. Størst mulighet for endringen vil sannsynligvis være i Svartediket der en vil kunne få en liten kalkingseffekt med svak pH-forhøvelse. Estetisk vil en imidlertid måtte regne med en negativ effekt da erfaringer viser at utslippene vil kunne sees i form av brunt vann i perioden som utslippet pågår.

Dersom en tar i bruk polyakrylamid som fellingsmiddel ved vannbehandlingen, vil tilførselen til innsjøene reduseres for samtlige parametere, men en vil i stedet få tilførsler av akrylamid. Akrylamid vil imidlertid tilføres i så små mengder, at det sannsynligvis ikke vil kunne føre til verken kortsiktige eller langsiktige negative virkninger for dyre- og plantelivet. Med tanke på at effektene i resipientene skal bli så små som mulig, bør en derfor vurdere å benytte dette ved begge behandlingsanleggene.

Utslippet bør i størst mulig grad skje til overflatevannet i resipientene. Der vil det være størst fortynningspotensiale, og oksygenforholdene der vil alltid være gode. Nedbrytningen av akrylamid vil også gå raskere der på grunn av høyere temperatur. I tillegg vil det også være overløp fra innsjøene slik at noe av stoffene føres videre ut av resipienten. Både fra Jordalsvatnet og Svartediket er det bare korte utløpselver til sjøen, og utslippene vil derfor i liten grad ha betydning for vassdraget. Det er imidlertid en del spørsmål det ikke finnes svar på med dagens kunnskap og kortvarige erfaringer, og eventuelle utslipp bør derfor følges opp med undersøkelser i ettertid for å vurdere de reelle effektene.

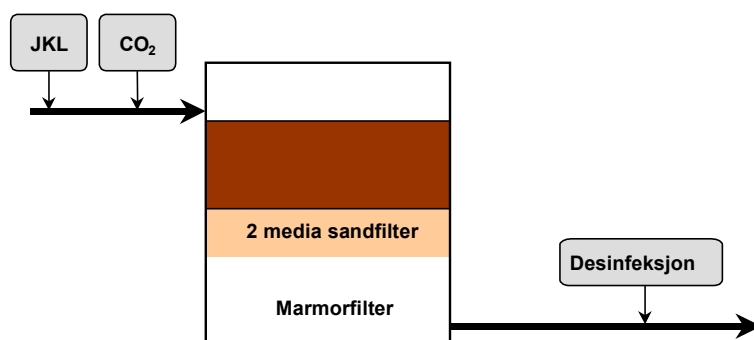
Det er opp til Fylkesmannens Miljøvernaveining om å vurdere om en må søke tillatelse for å foreta utslipp av denne type. I slike tilfeller vil det være naturlig at det stilles strengere krav til både sikkerhet ved konsekvensvurderinger og til håndtering av selve utslippene. Konfliktpotensialet ved alle typer utslippssaker vil alltid være stor når resipienten for utslippet også tjener som drikkevannskilde.

## RENSEPROSESSEN

Høyt humusinnhold i råvannet er et stort problem for mange drikkevannsanlegg i kystkommunene på Vestlandet. Aluminium har vært mest benyttet til felling av humus, men de siste årene har flere anlegg tatt i bruk treverdig jern som fellingsmiddel i stedet. Jern har vært i bruk i mange år som fellingsmiddel for fosfat i kloakkrensaneanlegg, da tilsatt som  $\text{FeClSO}_4$ . Bergen kommune er i ferd med å oppgradere vannbehandlingsanleggene i Jordalsvatnet og Svartediket, og en vurderer i den forbindelse å benytte jern til felling av humus.

Ved humusfelling blir råvannet tilsatt jern(III)klorid,  $\text{FeClSO}_4$ , i en sur løsning der pH ligger rundt 4,0 - 4,3. Ved denne pH vil treverdig jern foreligge hovedsakelig som reaktivt ikke bundet jern. Kort oppsummert vil jern forårsake en binding av organiske stoffer i vannet som for det meste vil kunne filtreres fra gjennom sandfiltre. Jern vil imidlertid være tilsatt i overskudd, og etter sandfiltreringen vil vannet fremdeles inneholde en del reaktivt jern. Dette vannet vil deretter filtreres gjennom et marmorfilter, der vannet alkaliseres og pH øker opp til i overkant av pH 8. Det reaktive jernet vil da felles ut som ikke reaktivt jernhydroksyd  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , og forekomme som kolloider med positiv ladning. Disse vil kompleksbindes til resterende humus-syrer og holdes tilbake i marmorfilteret.

Det er flere mulige praktiske gjennomføringer av dette, og i forhold til vannrensingen av Jordalsvatnet og Svartediket var det i utgangspunktet to aktuelle alternativer: Aureprosessen og Moldeprosessen. I løpet av prosjektet er det bestemt at Moldeprosessen skal brukes ved begge anlegg, og den videre omtale er derfor basert på Moldeprosessen (**figur 1**).



**Figur 1.** Skjematisk framstilling av forløpet ved humusfelling med Moldeprosessen.

Ved slik behandling vil filtrene måtte rengjøres relativt ofte. Dette skjer ved å tilbake-spyle filtrene med vann; vannstrømmen går da motsatt vei i forhold til ved renseprosessen. Ved Jordalsvatnet vil tilbakesylingen skje med rentvann, mens det ved Svartediket vil bli brukt råvann. Dette spylevannet samles så opp, og lagres slik at det organiske materialet sedimenterer. For å øke sedimenteringen kan det eventuelt tilsettes et hjelpestoff (polymer) som binder seg til det organiske materialet og som både øker sedimenteringshastigheten og andelen stoff som sedimenterer. Etter sedimenteringen vil spylevannet bestå av to deler, det sedimenterte slammet og en vannfase (dekantvannet). Slammet sendes til offentlig avløpsnett, mens dekantvannet, som utgjør omtrent 90 % av det totale spylevannet, enten må føres tilbake til råvannsinntaket eller tilbake til råvannskilden. Ved bruk av Moldeprosessen vil, i tillegg til dekantvannet, også modningsvannet måtte føres tilbake til råvannsinntak/råvannskilde. Modningsvann er vann som produseres i filteret den første tiden etter tilbakespyling. Det tar en viss tid etter oppstart (modningstid) før filteret produserer vann i henhold til gjeldende kvalitetskrav. Mengden dekantvann og modningsvann en forventer ved bruk av Moldeprosessen er oppgitt i tabellen under (**tabell 1**).

**Tabell 1.** Anslått mengde dekant- og modningsvann ved Jordalsvatnet og Svartediket ved midlere- og maks produksjon av rentvann. Mengdene er beregnet av Asplan Viak.

	Dekantvann (m <sup>3</sup> /døgn)		Modningsvann (m <sup>3</sup> /døgn)	
	Midlere vannprod.	Maks vannprod.	Midlere vannprod.	Maks vannprod.
Jordalsvatnet	1215	3240	2025	5400
Svartediket	1970	4925	2432	6080

Det er derfor relativt store vannmengder det er snakk om og ved midlere vannproduksjon fra de to vannkildene vil det totalt bli rundt 1,2 mill.m<sup>3</sup> vann fra behandlingsprosessene som tilbakeføres til Jordalsvatnet og rundt 1,6 mill.m<sup>3</sup> til Svartediket. Dette utgjør imidlertid bare 5-7 % av den naturlige årlige tilrenningen som er på hhv. 21,2 og 21,9 mill.m<sup>3</sup>. Maksimal vannproduksjon vil være lite aktuelt unntatt i spesielle situasjoner i forbindelse med lekkasjer og lignende (Ottar Gjengedal, Bergen kommune).

## DE VURDERTE PARAMETRENE

Både ved Svartediket og Jordalsvatnet er det aktuelt å lede både dekant- og modningsvannet tilbake til råvannskilden. Vannkvaliteten på dette vannet vil være sterkt preget både av kjemikaliene som brukes til humusfelling, av kjemikaliene i polymeren som brukes for å øke sedimenteringen og av typen vann som brukes ved tilbakespylingen. Bergen kommune ønsket en nærmere gjennomgang av enkelte av disse stoffene, for å få en nærmere vurdering av betydningen for vannkvalitet og miljøforhold for vannlevende organismer i de to resipientene.

For humusfelling er jernklorid aktuelt fellingsmiddel, men stoffet inneholder også en del andre stoffer (Kemira Chemicals, faktablad). Kommunen ønsket en vurdering av effekten av tilførsler i forhold til jern, kalsium, alkalitet, pH og TOC. I forbindelse med en eventuell polymertilsetningen skulle effekten av akrylamid vurderes. Antatte konsentrasjoner i de forskjellige vannfasene står i tabell 2 under, - tallene er basert på at det brukes rentvann ved tilbakespyling i Jordalsvatnet og råvann i Svartediket (**tabell 2**). Ved beregningene av tilførsler fra renseprosessen for de omtalte stoffene seinere i rapporten, har vi bruk konsentrasjonene i tabellen under og trukket fra den naturlige konsentrasjonen (**tabell 3**) for det enkelte stoffet.

**Tabell 2.** Konsentrasjon av utvalgte stoffer i dekant- og modningsvann ved bruk av Moldeprosessen til humusfelling ved Jordalsvatnet og Svartediket vannbehandlingsanlegg (data fra Asplan Viak). Ved Jordalsvatnet skal rentvann brukes i tilbakespylingen, ved Svartediket skal råvann brukes. For Jordalsvatnet viser tallene i parentes konsentrasjonene dersom polymer tilsettes.

Parameter	Enhet	Dekantvann Jordalsvatnet uten (med) polymer	Dekantvann Svartediket med polymer	Modningsvann (begge anlegg)
Fe	mg/l	6 (2,5)	2,5	0,5
Kalsium	mg/l	17	4	17
Alkalitet	mmol/l	0,7	0,1	0,75
Surhet	pH	8,1	6	8,1
TOC	mg C/l	11,2 (7,5)	7,5	2,2
Akrylamid	mg/m <sup>3</sup>	0 (0,0004)	0,0004	0

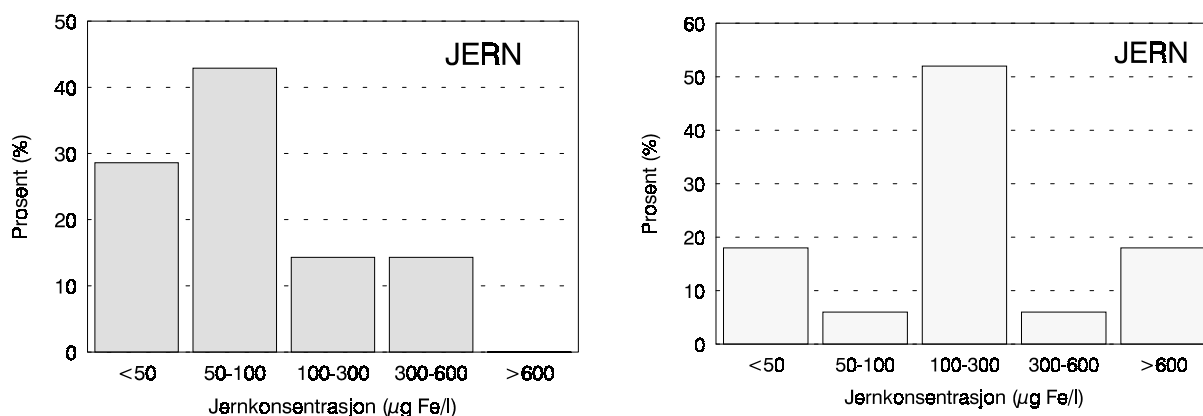
**Tabell 3.** Gjennomsnitt av samtlige målte konsentrasjoner av de utvalgte stoffene i råvann fra Jordalsvatnet og Svartediket. Data fra Bergen kommune og Rådgivende Biologer. Antall målinger og tidspunkter for målingene er meget varierende.

Parameter	Enhet	Jordalsvatnet	Svartediket
Fe	mg/l	0,073	0,055
Kalsium	mg/l	1,4	0,6
Alkalitet	mmol/l	0,06	0,031
Surhet	pH	6,0	5,3
TOC	mg C/l	4,4	2,6

### JERN

Etter aluminium er jern det vanligste metallet på jorden, og det forekommer også i forskjellige former i vann. Forekomst av jern i overflatevann langs kysten i Hordaland er regionalt omtalt for Sotra (Johnsen & Bjørklund 1993) og for Bergen (Bjørklund mfl. 1994). Konsentrasjonene er til dels meget høye (**figur 2**), og er klassifisert som "ikke god" vannkvalitet i henhold til SFTs vannkvalitetskriterier for ferskvann (SFT 1997). I Jordalsvatnet og Svartediket er jernkonsentrasjonene imidlertid relativt lave, og målte mengder jern i råvannet lå på 73 : g/l i Jordalsvatnet og 55 : g/l i Svartediket.

Jernkonsentrasjonene i dekant- og modningsvannet etter vannbehandlingen, vil imidlertid være adskillig høyere enn i den naturlige avrenningen. Utslipp av dekant-/modningsvann vil føre til at de totale jerntilførslene mangedobles til begge innsjøene (**tabell 4**). Til Jordalsvatnet vil jerntilførslene fordobles dersom en bruker polymer i forbindelse med rensingen, uten polymer vil de tredobles. Til Svartediket vil økningen i jerntilførslene bli enda større, med en tredobling med bruk av polymer. Beregningene bygger på en naturlig tilrenning på 21,2 mill m<sup>3</sup>/år til Jordalsvatnet og 21,85 mill. m<sup>3</sup>/år til Svartediket.



**Figur 2:** Fordeling av jern i vannprøver i måleserier fra 14 drikkevannskilder i Bergen (til venstre) og 16 drikkevannskilder på Sotra (til høyre). Resultatene er hentet fra henholdsvis Bjørklund mfl (1994) og Johnsen & Bjørklund (1993).

Det er imidlertid ekstra jerntilførsler til Jordalsvatnet også med dagens behandlingsanlegg, beregnet til nesten 0,5 tonn pr. år (Asplan Viak). I beregningene i tabell 4 er disse inkludert i tilførslene fra nedbørfeltet fordi beregningene bygger en råvannsmåling fra Bergen kommune i 1998. Med det planlagte behandlingsanlegget vil tilførslene fra anlegget øke til nesten 1,5 tonn pr. år (Asplan Viak).

**Tabell 4.** Mengder jern (kg) som tilføres Jordalsvatnet og Svartediket hvert år på grunn av tilførsler fra nedbørfeltene og på grunn av tilførsler i forbindelse med renseprosessen. Tilførsler fra renseprosessen er beregnet på grunnlag av differansen mellom konsentrasjonen i råvannet (tabell 3 side 6) og utslippsvannet (tabell 2 side 6), midlere vannproduksjon og spylevann bestående av rentvann i Jordalsvatnet og råvann i Svartediket.

Innsjø	Fra nedbørfeltet	Fra renseprosessen	
		uten polymer	med polymer
Jordalsvatnet	1 550 kg	2 940 kg	1 390 kg
Svartediket	1 200 kg	---	2 150 kg

I overflatevannet i vanlige innsjøer foreligger jern for det meste som jern(III)hydroksyd (Fe(OH)<sub>3</sub>) (Wetzel 1983, Manahan, 1983). Ved likevekt i hele pH-området mellom 5 og 8 er dette et fast stoff med svært liten løselighet. Vanligvis vil Fe(OH)<sub>3</sub> foreligge i partikulære og kolloidale former, og som komplekser bundet til organiske syrer, hovedsakelig humussyrer. Den kraftige gul-brune fargen av myrvann, skyldes blant annet slike komplekser. Alle andre jern(III) salter er av liten betydning i dette bildet.

Skader på vannlevende organismer forårsaket av jernforbindelser, er kun rapportert under helst spesielle forhold. Slike episoder kan forekomme dersom en innsjø får oksygenfritt bunnvann. Ved oksygenfritt miljø vil treverdige jern reduseres til toverdige jern som kan frigjøres fra sedimentene, men da må det være oksygenfrie forhold over tid (redokspotensialet må nærme seg 200mV). Det er imidlertid liten sannsynlighet for at dette toverdige jern vil komme opp i de frie vannmassene fordi det med stor sannsynlighet raskt vil bindes til andre stoffer i vannet og felles igjen som tungtløselige forbindelser.

I kalkrikt vann (med høy konsentrasjon av  $\text{CaCO}_3$ ) vil  $\text{Fe}^{2+}$  bindes til  $\text{CO}_3^{2-}$  og danne  $\text{FeCO}_3$  som er meget tungtløselig og felles ut. I innsjøer med lavere konsentrasjon av  $\text{CO}_3^{2-}$ , vil vanligvis vannet ha en noe høyere konsentrasjon av  $\text{Fe}^{2+}$  fordi løseligheten av de andre aktuelle jernforbindelsene er noe høyere. Dersom det kommer oksygen til vil imidlertid  $\text{Fe}^{2+}$  raskt oksyderes til  $\text{Fe}^{3+}$  som felles som tungtløselig  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Dersom  $\text{Fe}^{2+}$  løses ut i innsjøer med lavt kalkinnhold og det samtidig er sulfid til stede vil jern og sulfid reagere og danne jernsulfid ( $\text{FeS}$ ) som er tungtløselig og felles umiddelbart. Dersom  $\text{Fe}^{2+}$  løses under litt mindre reduserende forhold og det samtidig er en næringsrik innsjø, vil jernet felles ut med fosfat som  $\text{FePO}_4$ . Dette er også tungtløselig og vil felles umiddelbart. Og dersom  $\text{Fe}^{2+}$  løses i innsjøer med høyt humusinnhold vil det toverdige jernet felles igjen som komplekser med humusen.

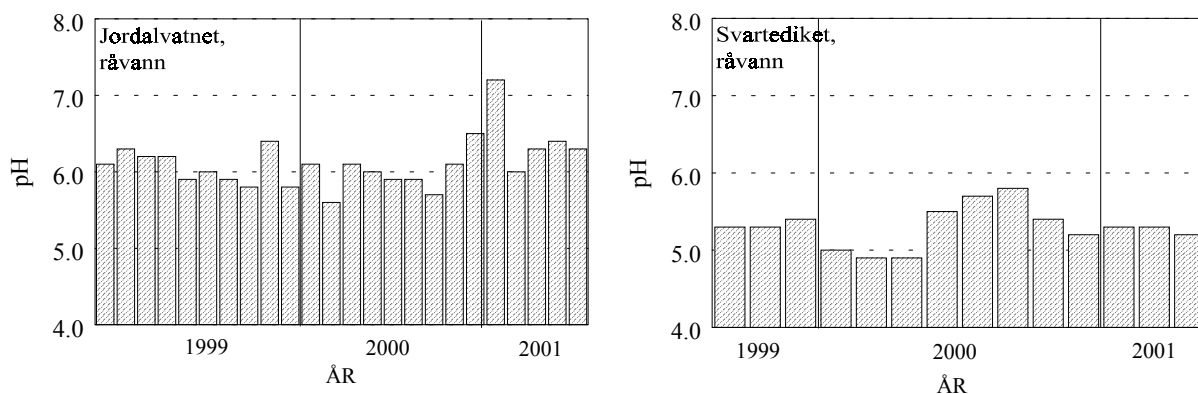
Det er derfor, teoretisk sett, kun ved begynnende oksygenfrie forhold i en næringsfattig og sur innsjø at løst toverdige jern fra sedimentene kan komme ut i vannmassene. Hvis disse forbindelsene kommer i kontakt med oksygenholdige vannmasser, vil det toverdige jernet oksyderes til treverdige jern med påfølgende utfelling til jern(III)-hydroksyd. Så vidt vi kjenner til i dag er det kun under slike forhold at jerninnholdet i en innsjø kan forårsake skader på enkelte vannlevende organismer.

I dekant- og modningsvannet antar man imidlertid at jernet, under vanlige forhold, i hovedsak foreligger som jern(III)hydroksyd ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), samt at noe vil være kompleksbundet til organiske stoffer. Dette er tungtløselige forbindelser som, når disse føres ut i resipienten, vil sedimentere og bli liggende på innsjøbunnen eller elvebunnen.

## KALSIUM, ALKALITET OG pH

Alle disse er surhetsrelaterte parametere, og i vann vil de være knyttet til hverandre ved at endring i mengder av den ene til en viss grad vil føre til endring av de to andre på grunn av stoffenes likevekter i vann (se f. eks. Wetzel 1983). Kort oppsummert kan en si at kalsium og alkalitet påvirker vannets surhetsgrad, og resultatet avleses som pH. Økte tilførsler av kalsium gjør vannet i stand til å nøytralisere mer av de sure tilførslerne som kommer med nedbøren, og høyere alkalitet vil dempe effekten av tilførsler slik at pH forblir relativt stabil selv om vannet mottar sure tilførsler.

**pH** er et mål på surhet, som igjen er et resultat av konsentrasjonen av  $\text{H}^+$  ioner i vannet. I Jordalsvatnet ligger pH vanligvis rundt 6, med laveste målte pH på 5,6 (**figur 3**). Svartediket derimot er noe surere, og vanligvis ligger pH der rundt 5,3. Laveste målte pH i denne innsjøen var på 4,9. I spylevannet etter vannbehandlingen vil pH være høy, og ved Jordalsvatnet med rentvannsspyling og ingen polymerbruk vil pH ligge i overkant av 8. Ved Svartediket, men spyling av råvann og bruk av polymer, vil den være noe lavere og ligge rundt 6. I modningsvannet vil pH ligge rundt 8 ved begge anlegg. Den høye pH-en skyldes marmorfilteret og  $\text{CO}_2$ -tilsetningen som inngår i humusfellingsprosessen.



**Figur 3.** Surhet i råvannet fra Jordalsvatnet (til venstre) og Svartediket (til høyre) i målinger i perioden 1999-2001. Data er hentet fra Bergen kommune sine egne målinger.



**Alkalitet** er et uttrykk for konsentrasjonen av svake syrers anioner, hovedsakelig bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Bikarbonatet kommer fra oppløst  $\text{CO}_2$  i vannet, som enten kommer fra luften, fra  $\text{CO}_2$  produsert av algene eller med avrenningsvannet. I spylevannet fra filtrene vil alkaliteten være høy fordi råvannet tilsettes  $\text{CO}_2$  før fellingen med jernklorid.

Alkaliteten regulerer vannets kapasitet til å nøytralisere en sterk syre, og en høy alkalitet hindrer dermed store svingninger i vannets pH-verdi. Per definisjon er alkaliteten lik 0 når  $\text{pH} < 4,5$ . I norsk overflatevann er alkaliteten primært en funksjon av vannets innhold av karbonat, hydrogenkarbonat og hydroksid og brukes derfor som en indikator på konsentrasjonen av disse. Alkaliteten i de fleste likte påvirkede vassdrag på Vestlandet er relativt lav, og Svartediket er ikke noe unntak. Der ligger alkaliteten rundt 0,031 mmol/l, som tilsvarer klasse III ("Mindre god") i SFT sitt klassifikasjonssystem (SFT 1997). I Jordalsvatnet er alkaliteten noe høyere, rundt 0,06 mmol/l, hvilket tilsvarer tilstandsklasse II ("God"). I drikkevannsforskriften (Sosial- og helsedep. 1995) er det ikke fastsatt krav til alkalitet i råvannskilder, men i rentvannssammenheng er det ønskelig med en alkalitet på  $> 0,6$  mmol/l for å hindre korrosjon på ledningsnett.

**Kalsiuminnholdet** i norske næringsfattige og forholdsvis upåvirkede vassdrag kommer i hovedsak fra berggrunn og løsmasser. I spylevannet fra filtrene blir kalsium innholdet høyt fordi kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) løses ut fra marmorfilteret. Kalsium er et stoff som øker vannets evne til å nøytralisere sure tilførsler, og parameteren inngår i beregningene av et vassdrags tålegrense for sure tilførsler (ANC = acid neutralising capacity).

I strøk på Vestlandet med hard og kalkfattig berggrunn vil kalsiuminnholdet være meget lavt, og det er vanlig med kalsiumkonsentrasjoner under 0,5 mg Ca/l i vassdrag i disse områdene (Farstad 1995, Hellen mfl. 1996, Kålås mfl. 1996). I Svartediket som er et slikt upåvirket vassdrag med hard og kalkfattig berggrunn i nedbørfeltet, ligger kalsiuminnholdet rundt 0,6 mg/l. I Jordalsvatnet som er påvirket av tilførsler fra landbruk, er kalsiuminnholdet høyere og ligger rundt 1,4 mg/l.

Kalsiumtilførslene til Jordalsvatnet vil øke med over 60 % fra 30 til 50 tonn pr. år dersom behandlingsvannet tilbakeføres til innsjøen (**tabell 5**). Til Svartediket vil 17 tonn tilføres fra vannbehandlingen, slik at de totale tilførslene blir på rundt 30 tonn. Økningen bli der på hele 130 %. Beregningene for begge innsjøene er gjort på grunnlag av midlere vannproduksjon. Ut fra pilotforsøk antar man at polymer vil ha liten effekt på kalsiuminnholdet i modnings- og dekantvannet (Asplan Viak).

**Tabell 5.** Mengder kalsium (kg) som tilføres Jordalsvatnet og Svartediket hvert år på grunn av tilførsler fra nedbørfeltene og på grunn av tilførsler i forbindelse med renseprosessene. Tilførsler fra renseprosessen er beregnet på grunnlag av differansen mellom konsentrasjonen i råvannet (tabell 3 side 6) og utslippsvannet (tabell 2 side 6), midlere vannproduksjon og spylevann bestående av rentvann i Jordalsvatnet og råvann i Svartediket.

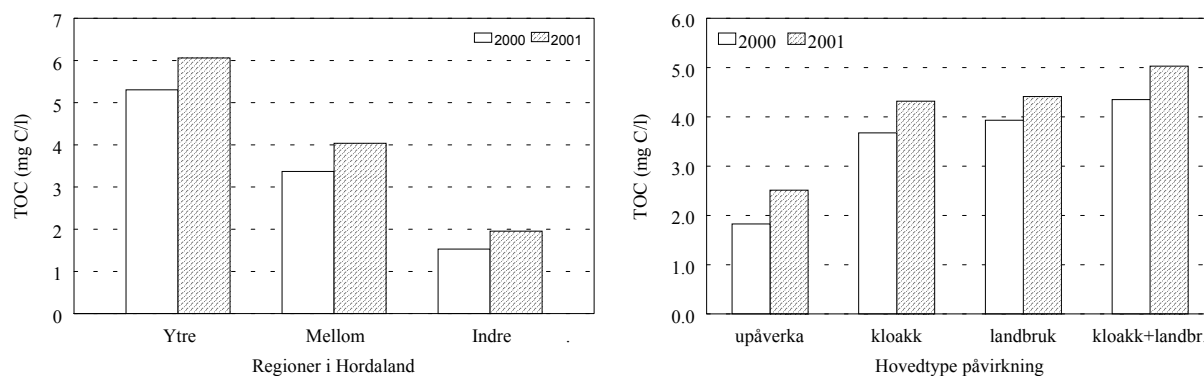
Innsjø	Med avrenning fra nedbørfeltet	Fra renseprosessen	
		uten polymer	med polymer
Jordalsvatnet	29 700 kg	18 500 kg	----
Svartediket	13 300 kg	----	17 000 kg

## INNHold AV ORGANISK STOFF (TOC)

Organisk stoff tilføres vassdrag fra både naturlige og menneskeskapte eksterne kilder i nedbørfeltet, eller fra innsjøens egen biologiske produksjon av planter, alger og dyr (Holtan & Åstebøl 1990). Slike tilførsler deles i to hovedgrupper, humus-stoffer og andre. Humusstoffene er tungt nedbrytbare i vann og stammer hovedsakelig fra skog og myrområder. De andre er lettere nedbrytbare, og har en rask biologisk omsetting. I forbindelse med den planlagte vannbehandlingen, vil spylevannet som tilbakeføres, inneholde rester av organisk stoff som opprinnelig kommer fra råvannet. Dette vil selvfølgelig være en blanding av både

tungt- og lettere nedbrytbart organisk materiale, slik en finner i råvannskilden. Det tilføres ikke noe nytt organisk stoff fra vannbehandlingskemikaliene.

Innholdet av organisk stoff i vassdrag i Hordaland er klart høyere i de ytre enn i de indre strøk av fylket (**figur 4** til venstre), og det meste av dette skyldes ulikt naturgrunnlag. Tilsig fra myr og større tilførsler fra egen planteproduksjon er viktigste årsak til disse forskjellene. Svartediket er lite påvirket av menneskelige tilførsler og ligger i de ytre områdene av fylket. TOC-verdiene der ligger rundt 2,6 mg/l, og de årlige naturlige tilførslene er på nesten 57 tonn C/l. I resirkuleringsvannet fra den planlagte vannbehandlingen vil konsentrasjonen av TOC være litt høyere enn i råvannet. Dersom en ser på forskjellen mellom råvann og resirkuleringsvann vil det bli en økning av tilført organisk karbon (TOC) på 6 % ved tilbakespyling med råvann og polymertilsetning (**tabell 6**).



**Figur 4.** Gjennomsnittlig innhold av organisk stoff (TOC) i målinger på 20 steder i 10 vassdrag i Hordaland i periodene mai til oktober i 2000 (fem prøvetakinger) og i perioden mai til september 2001 (fire prøvetakinger). Prøvetakingsstedene er delt inne etter hvilken region i fylket de ligger (til venstre) og etter hvilken hovedtype påvirkningskilde de har (til høyre). Data fra 2000 er hentet fra Johnsen og Bjørklund 2001, data fra 2001 er hentet fra Bjørklund og Johnsen 2002.

Innholdet av organisk stoff er imidlertid også klart høyere i vassdrag som er påvirket av menneskelige aktiviteter, og både kloakktilførsler og tilsig fra landbruk er viktige kilder (**figur 4** til høyre). Til Jordalsvatnet er det også resirkulering av organisk stoff fra dagens behandlingsanlegg. Det foreligger imidlertid ingen målinger på størrelsen på disse alene.

**Tabell 6.** Mengder organisk stoff (TOC) (kg) som tilføres Jordalsvatnet og Svartediket hvert år på grunn av tilførsler fra nedbørfeltene og på grunn av resirkulering av tilførslene fra nedbørfeltet i forbindelse med renseprosessen. Tilførsler via renseprosessen er beregnet på grunnlag av differansen mellom konsentrasjonen i råvannet (tabell 3 side 6) og utslippsvannet (tabell 2 side 6), midlere vannproduksjon og spylevann bestående av rentvann i Jordalsvatnet og råvann i Svartediket.

Innsjø	Fra nedbørfeltet	Resirkulert via renseprosessen	
		uten polymer	med polymer
Jordalsvatnet	93 300 kg	1 370 kg	- 180 kg
Svartediket	56 800 kg	---	3 260 kg

I Jordalsvatnet ligger TOC-verdiene rundt 4,4 mg C/l og tilførslene dit er på omtrent 93 tonn C/l årlig. Resirkuleringsvannet fra den planlagte nye vannbehandlingen (blanding av dekant- og modningsvann) vil samlet sett ha en noe høyere konsentrasjon av TOC dersom det ikke tilsettes polymer (**tabell 6**), men forskjellen er meget liten og økningen i tilførsler av organisk stoff vil være marginal (1%). Dersom polymer tilsettes vil imidlertid behandlingsvannet ha lavere konsentrasjon enn det en finner i tilrenningen fra nedbørfeltet, og utslipp av behandlingsvannet vil derfor føre til en fortykning av innholdet av organisk stoff i Jordalsvatnet. Også her er endringene små (- 0,2 %), og totalt sett kan en derfor gå ut fra at

resirkuleringen ikke vil ha vesentlig betydning for innholdet av organisk stoff i Jordalsvatnet uansett behandlingstype, forutsatt midlere vannproduksjon.

Innholdet av organisk stoff har stor betydning for vannkvalitet og miljø i en resipient. Virkningene av store tilførsler av organisk stoff vil ha mest betydning for forholdene i dypvannet i sjuktede innsjøer. Organisk stoff synker mot bunnen der det vil brytes ned. Slik nedbryting er oksygenkrevende og oksygeninnholdet i dypvannet vil gradvis avta. Innsjøer med et lite dypvannsvolum vil ha begrensede mengder oksygen tilgjengelig, og dersom tilførslene er større enn mengden tilgjengelig oksygen vil det resultere i helt oksygenfritt dypvann (Johnsen mfl. 1985). Disse delene av innsjøen vil da bli ubrukelig for de fleste vannlevende organismer.

Det største problemet knyttet til oksygenfritt dypvann i innsjøer er “indre gjødsling”. Når det har vært oksygenfritt vann over sedimentene en tid, vil stoffer som tidligere har vært bundet til sedimentene kunne løses ut igjen. For eksempel vil forholdet mellom toverdigg og treverdigg jern endres, og dermed vil bindingen av fosfor i sedimentet opphører (Wetzel 1983). Da vil betydelige mengder av det tidligere sedimenterte fosforet bli frigitt til vannmassene som biotilgjengelig fosfat, og konsentrasjonene av fosfor i dypvannet kan være både 10 og 100 ganger høyere enn i overflatevannet (Johnsen mfl. 1985). I slike innsjøer vil “indre gjødsling” kunne utgjøre en vesentlig del av de samlede tilførslene (Bjørklund og Johnsen 1995), og en kan komme inn i en ond sirkel med stadig økende næringsinnhold og algemengder.

## AKRYLAMID

Akrylamid er et syntetisk stoff som ikke forekommer naturlig. I forbindelse med vannbehandlingen i Jordalsvatnet og Svartediket, vil akrylamid kun være et aktuelt stoff dersom en velger å bruke polyakrylamid for å øke sedimenteringen av organisk stoff i tilbakespylingsvannet fra filterne. Polyakrylamid lages ved polymerisering av akrylamid, men en klarer ikke å få alt til å polymerisere, og derfor vil det alltid finnes rester av monomeren akrylamid. Aktuell polymer i Jordalsvatnet og Svartediket er Superfloc A120 PWG, en polymer som er godkjent for bruk ved drikkevannsanlegg. Innholdet av akrylamid i denne er < 0,1 % (Kemira Chemicals, datablad).

Ved begge behandlingsanleggene forutsettes en tilsats av polymer på 0,4 g/m<sup>3</sup> spylevann (Asplan Viak). Dersom innholdet av akrylamid er 0,1 % av polymeren, vil de årlige tilførslene av akrylamid til Jordalsvatnet i gjennomsnitt bli på 0,2 kg midlere produksjon eller 0,5 kg maks vannproduksjon (**tabell 7**). Tilsvarende for Svartediket vil bli 0,3 kg ved midlere produksjon eller 0,7 kg ved maks produksjon. Dette forutsetter at alt dekantvannet returneres til resipientene, men i praksis vil omtrent 10 % av spylevannet bli med i sedimentfasen. Det vil ikke være noe polymer i modningsvannet.

***Tabell 7.** Mengder akrylamid (g) som tilføres Jordalsvatnet og Svartediket i løpet av et år på grunn av tilførsler i forbindelse med renseprosessene. Tilførsler fra renseprosessen er beregnet på grunnlag av tall fra Asplan Viak.*

Innsjø	Ved midlere vannproduksjon	Ved maks vannproduksjon
Jordalsvatnet	0,2 kg	0,5 kg
Svartediket	0,3 kg	0,7 kg

Akrylamid er et kjemisk stoff som kan ha alvorlige helse- og miljøskadelige egenskaper, og stoffet er mistenkt for å være reproduksjonsskadelig. Opptak av akrylamid hos mennesket kan skje både via hud, luftveier og mage/tarmkanal. Dette tilsier at risikoen for skader er stor dersom mennesker og miljø eksponeres for akrylamid, spesielt ved lengre tids eksponering (Huuse mfl. 1999).

Akrylamid er også svært skadelig for vannlevende organismer. Det kan være akutt giftig, og det er utført en rekke toksisitetstester for fisk som viser LC<sub>50</sub>-verdier mellom 85 mg/l og 460 mg/l, for vannlopper

(*Daphnia magna*) er LC<sub>50</sub>-verdien 98 mg/l og for ferskvannsalger er EC<sub>50</sub>-verdien 34 mg/l (for nærmere oppsummering se Sverdrup mfl. 1999). Stoffet kan også gi kroniske skader, og lavest toleranse er funnet for vannloppen *Daphnia magna*. Der måtte konsentrasjonen av akrylamid helt ned på 1,8 mg/l før man ikke kunne påvise noen negativ kronisk effekt. Beregnet terskelverdi for at det ikke skal oppstå noen biologiske skader (PNEC<sub>kronisk</sub>) er derfor satt til 180 : g akrylamid/l i ferskvann.

Akrylamid har meget høy vannløselighet og liten evne til bioakkumulering. Stoffet er biologisk nedbrytbart i aerobt miljø, men nedbrytningen krever som regel adaptasjon av mikroorganismer. Ved 20/ C trenger kjemikaliet en akklimatiseringsperiode på 1,5 - 2 døgn i ellevann og blir deretter nesten fullstendig nedbrutt etter 5 - 10 dager avhengig av temperatur og miljøforhold. Lavere temperatur eller liten tetthet av mikroorganismer gir lenger nedbrytningstid, og under typiske norske forhold må man derfor regne med at nedbrytningen skjer saktere (Käällqvist mfl. 1997, Sverdrup mfl. 1999). I anaerobt (oksygenfritt) miljø vil ikke akrylamid brytes ned.

## MULIGE ØKOLOGISKE EFFEKTER

Ved humusfelling i forbindelse med drikkevannsbehandling, vil det produseres store mengder forurenset vann når filtrene som brukes i fellingsprosessen skal renses. Disse vannmengdene er så store at de ikke kan sendes på kloakkledningsnettet, og etter sedimentering, er en derfor avhengig av å enten føre det overskytende dekantvannet til en resipient eller ta vannet inn igjen på råvannsledningen. Ved Jordalsvatnet og Svartediket vannbehandlingsanlegg er det vurdert å føre dekantvannet tilbake til råvannskilden. Modningsvannet fra filtrene vurderes også tilbakeført til råvannskilden. I denne rapporten er mulige skadelige effekter i de potensielle resipientene Jordalsvatnet og Svartediket vurdert med hensyn på økte tilførsler av jern, akrylamid, TOC, kalsium og alkalitet.

Effektene av de vurderte parametrene kan stort sett settes i tre hovedgrupper; de surhetsrelaterte parametrene (pH, kalsium, alkalitet), de oksygenrelaterte parametrene (TOC og delvis jern) og de direkte skadelige parametrene (akrylamid og jern). De fleste av disse stoffene vil imidlertid påvirke/påvirkes av de andre stoffene, og denne inndelingen er derfor ikke absolutt. Både surhet og oksygen har for eksempel betydning for jernforekomstene i innsjøen, og oksygen har stor betydning for nedbrytningen av akrylamid. Det er derfor et samspill av mange parametere, noe som gjør at sikre forutsigelser ikke er mulig i forhold til den enkelte innsjø. En må derfor bruke erfaringer fra andre innsjøer, og resultater fra laboratorieforsøk som bakgrunn og forsøke å antyde eventuelle effekter ut fra dette. Til slutt er det tatt med et lite avsnitt om andre effekter som f. eks. sedimentering.

### DE SURHETSRELATERTE PARAMETRENE

**Kalsium, pH og alkalitet.** Disse tre parametrene henger i stor grad sammen, og endring av den ene vil, som nevnt tidligere, i stor grad kunne føre til endringer i de andre. Den totale effekten av disse tilførslene vil imidlertid være et noe høyere kalkinnhold, en svakt høyere pH og et mer stabilt surhetsregime i innsjøene. Trolig vil dette bli mest merkbart i Svartediket som i dag er den sureste av de to innsjøene.

Alle vannlevende organismer er i større eller mindre grad avhengige av kalsium. Dyr med kalkskall vil for eksempel kreve et høyere kalkinnhold enn dyr som ikke bruker kalk i vesentlig grad til strukturell oppbygning av kroppen. Kalsium har også betydning for surhetstilstanden og alkaliteten i vannet, og i den grad tilførslene vil endre surhetsforholdene i en resipient, vil mengden kalk kunne ha stor betydning for tilstedeværelse av mange dyre- og plantearter. I Norge har en i flere år brukt store ressurser på kalking for å minske effekten av sur nedbør. Erfaringene fra kalkingsvirksomheten hittil er at kalking påvirker artssamfunnet, og i de fleste vassdragene har det biologiske mangfoldet økt, uten at det er registrert skader på noen arter (Forseth mfl. 1997). Jordalsvatnet og Svartediket mottar hhv. 30 og 13 tonn kalsium naturlig. Til Jordalsvatnet vil kalktilførslene øke til 50 tonn ved tilbakespyling med rentvann uten polymertilsetning. Til Svartediket vil tilførslene øke til 30 tonn ved tilbakespyling med råvann og polymertilsetning.

Virkingen av utslipp av kalsium fra drikkevannsproduksjonen antas å bli relativt lokale hvis utslippet legges til overflatevannet nær utløpet. Det vil da i mindre grad spre seg i vannkilden. Det er derfor lite trolig at forekomst og mengde plankton (planter og dyr) endres vesentlig. En mulig effekt er at mengde og arter plankton i Svartediket kan øke noe fordi dette i utgangspunktet er en noe sur innsjø med et relativt lavt innhold av kalsium (0,6 mg Ca/l). I Jordalsvatnet kan en tenke seg at effekten blir mindre fordi pH i utgangspunktet er relativt bra, og innholdet av kalsium er noe høyere rundt 1,4 mg Ca/l. I Jordalsvatnet er også både planteplankton-, dyreplankton- og fiskesamfunnet mer artsrikt enn i Svartediket (Bjørklund og Johnsen 1995, Bjørklund 1999, Johnsen mfl. 2001). For fisk vil imidlertid kalsiuminnholdet i disse innsjøene ikke ha betydning utover at det evt. kan endre fiskens mattilbud. Med hensyn på plantesamfunnet er det påvist tilgroing av krypsiv på grunne områder i kalka innsjøer, men dette antas å ha sammenheng med sedimentering av kalk på bunnen (Roelofs mfl. 1994), og dette vil ikke være tilfelle med denne måten å "kalke" på.

Alkaliteten vil også øke noe i disse innsjøene. Alkaliteten var i utgangspunktet relativt lav i Svartediket og relativt bra i Jordalsvatnet. Det er derfor i Svartediket dette vil gi kunne gi mest utslag. Høy alkalitet hindrer store pH-svingninger i en innsjø, noe som medfører mer stabilt vannkjemisk miljø,- som igjen kan fremme artsrikheten.

Samlet sett antas det derfor at økte tilførsler av disse surhetsrelaterede parametrene, ikke vil føre til store endringer i forholdene i Jordalsvatnet. I Svartediket kan en få en svak pH-økning, men med utslipp i overflatevannet nær overløpet antar en at dette ikke vil ha vesentlig betydning for verken plante- eller dyreplanktonsamfunnet.

**Jern** kan også til en viss grad påvirke surhetsnivået i en innsjø, men dette skjer kun lokalt og kun i meget spesielle tilfeller. Dette vil høyst sannsynlig ikke forekomme verken i Jordalsvatnet eller Svartediket. Forhold som eventuelt kunne utløst en slik reaksjon er de samme som omtalt under de oksygenrelaterede parametrene under.

## DE OKSYGENRELATERTE PARAMETRENE

**Tilførsler av organiske stoffer** (TOC) har stor betydning for oksygeninnholdet i innsjøenes dypvann. Store tilførsler av organisk stoff vil føre til et økt oksygenforbruk i dypvannet, og vil i værste fall kunne føre til et oksygenfritt miljø der. Uten oksygen vil livsbetingelsene for de fleste dyr og planter reduseres sterkt. Innhold av organisk stoff kan også ha direkte effekt på både dyr, planter, bakterier og sopp, da disse lever av organisk materiale.

Verken i Svartediket eller i Jordalsvatnet vil en forvente noen vesentlig endring i verken det vannkjemiske miljøet eller forholdene for vannlevende organismer ved tilbakeføring av behandlingsvannet. I Svartediket vil innholdet av organisk karbon øke svært lite ved midlere årsproduksjon, i Jordalsvatnet vil konsentrasjonen forbli omtrent uendret uansett bruk eller ikke bruk av polymer. Totalt sett vil dette derfor være uten vesentlig betydning i begge innsjøene, ettersom begge har et stort dypvannsvolum og gode oksygenforhold i utgangspunktet.

**Jern** kan også i enkelte tilfeller påvirke oksygeninnholdet i en innsjø fordi jern ved overgang mellom ulike faser kan forbruke store mengder oksygen. Det er imidlertid lite sannsynlig at dette vil skje i denne sammenhengen da det antas at jernet slippes ut som stabilt jern(III)hydroksyd, som, under de vannkjemiske forholdene en i dag har i både Jordalsvatnet og Indrevatnet, vil sedimentere og forbli i sedimentet som jern(III)hydroksyd.

Skulle en derimot få oksygenvinn over tid i disse innsjøene, vil jernet kunne endre struktur til toverdige jern, som ved kontakt med oksygenrikt vann vil omdannes til treverdige jernhydroksyd. Dette krever oksygen, og kan dermed føre til lokalt oksygenvinn. Skjer dette på steder med fiskerogn vil det kunne føre til såkalt "okerkvelning" av rogn (se nærmere omtale under), men det er trolig ikke aktuelt i disse innsjøene.

## DE POTENSIELT DIREKTE SKADELIGE PARAMETRENE

**Jern** forekommer naturlig i relativt høye konsentrasjoner i vann, og alt liv er avhengige av en viss mengde jern. Alle organismer som puster er avhengige av et visst opptak av jern til dannelse av hemoglobinet i blodet, og jern er også et viktig stoff for planter og alger i et vassdrag.

I dekant- og modningsvannet, som er alkalisk, antar man at jernet under vanlige forhold foreligger som  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  og som komplekser bundet til organiske stoffer. Disse forbindelsene er relativt stabile og de vil etter hvert sedimentere når de kommer ut i resipienten. Deler av dette vil imidlertid sedimentere relativt sakte, og sedimenteringsforsøk på slikt filtervann viste at det etter 90 minutter var 6,0 mg Fe/l i overflatevannet i sedimenteringskolonnen uten bruk av polymer (Jon Brandt, Asplan Viak). Ved bruk av polymer var tilsvarende tall på 2,5 mg Fe/l. Jernkonsentrasjonene i vannet som slippes til resipientene er

grovt anslått til det samme. Til Svartediket vil jerntilførslene tredobles til over tre tonn årlig ved tilbakeføringen av behandlingsvannet, forutsatt tilbakespyling med råvann og bruk av polymer til felling. Til Jordalsvatnet vil tilførslene fordobles til omtrent tre tonn ved tilbakespyling med rentvann og polymertilsetning. Dersom en ikke tilsetter polymer, vil tilførslene til Jordalsvatnet tredobles og bli på nesten 4,5 tonn årlig. En antar imidlertid at mesteparten etter hvert sedimenterer, slik at jernkonsentrasjonene i vannet ikke øker tilsvarende. En svak økning bør man trolig likevel regne med.

Det er ikke gjort konkrete undersøkelser av effekter av økte jernmengder på alge- og plantelivet. Når det gjelder fisk har man imidlertid en del erfaringer fra fiskeoppdrettsanlegg. Dessuten har jern vært brukt i flere år som fellingsmiddel for fosfat i kloakkrensaneanlegg. For eksempel benyttes 46 tonn jernforbindelser årlig ved Gjernesmoen kloakkrensaneanlegg på Voss, og overskuddet av jern slippes direkte til Vangsvatnet (Johnsen 1993). Det er ikke rapportert om skadelige effekter i dette vassdraget, men der er det snakk om meget store vannmengder. Vanligvis antas derfor at tilsetning av jern(III)-ioner til ferskvann ikke vil skape vesentlige problemer for fisk (Johnsen 1997).

Jern, i andre former, kan imidlertid være skadelig for fiskesamfunnet, og det er rapportert om to typer skader. Den ene skyldes at jern forbruker oksygen ved oksydering fra toverdig til treverdig jern, noe som kan føre til lokal oksygenmangel. Dersom dette skjer på steder der det ligger fiskerogn kan denne dø på grunn av for lite oksygen ("okerkvelning"). Toverdig jern kan en enten få ved at treverdig jern reduseres under oksygenfrie forhold, eller at toverdig jern tilføres resipienten direkte. Dette vil imidlertid trolig ikke være noe problem i forbindelse med utslipp av restene etter vanlig humusfelling fordi jernet da tilføres som stabile tungtløselige former av jern(III)hydroksyd. Det vil heller ikke være tilførsler av toverdig jern-ioner i forbindelse med spylevannsutslippet.

Den andre typen skade som er rapportert er at  $\text{Fe(OH)}_3$  kan felles ut på fiskens gjeller under polymeriseringsprosessen. Når en slik felling skjer, dannes det kolloidale partikler som vanligvis er positivt ladet. Denne ladningen fører til at det brune slammet kan felles ut på fiskegjeller som har en svak negativ ladning. Dette vil trolig også kunne skje på samtlige dyregrupper som puster med gjeller. Det skjer imidlertid ikke ved langt framskredent utfelling fordi kolloidene da er for store til å kunne festes på gjellene til fisk. Den største faren for fisk er derfor til stede dersom utfellingen og polymeriseringen av  $\text{Fe(OH)}_3$  skjer akkurat der og da. Det er imidlertid hovedsakelig ved tilførsel av enten jern(II)-ioner til oksygenert vann eller ved ren tilførsel av jern(III)-ioner at en kan få problemer med dannelse av kolloider av  $\text{Fe(OH)}_3$  som resultat. Og heller ikke dette er sannsynlig i forbindelse med humusfellingen og utslippet av spylevannet, fordi en antar at utfellingen har gått så langt at de ikke lenger kan skade fisken. Virkningene av slike skader på fisk i ferskvann har blant annet vært omtalt i forbindelse med smoltproduksjon nedstrøms grøfting av myrer (Johnsen 1992).

Forutsatt at ingen spesielle episoder med surt vann eller oksygenfrie forhold skulle forekomme i disse innsjøene, kan en derfor med dagens kunnskap ikke se at dette tilbakeførte jernholdige slammet kan skade fisk eller organismer som lever i vannfasen i verken i Jordalsvatnet eller Svartediket.

Det kan imidlertid være en del ukjente faktorer inne i bildet når det gjelder hvordan dette slammet er sammensatt, og i så høye konsentrasjoner vil komplekser mellom humus og jern kunne ha likevekter og prosesser som ligger utenom det en vanligvis finner i naturen. Dette er forhold man kjenner lite til, og det er heller ikke gjort undersøkelser der man har sett på hvordan disse forbindelsene reagerer når de tilbakeføres fra pH rundt 8 i marmorfilteret til vann med lavere pH ned mot pH 5-6.

Bunndyrsamfunnet vil imidlertid kunne påvirkes lokalt dersom det etter hvert blir store lokale avsetninger av sterkt jernholdig slam. Dette bunnslammet vil være adskillig mer jernrikt enn det normale bunnfallet. Både mengder og artssammensetning av bunndyrene kan derfor tenkes endret på det lokale området. Det er imidlertid ingen behandlingsanlegg som har brukt denne fellingsmetoden i lang nok tid til at en kan vurdere endringer i artssamfunnet.

**Akrylamid** finnes ikke naturlig, men er påvist både i drikkevann og elvevann i områder hvor polyakrylamider benyttes for behandling av drikkevann (Statens Arbeidsmiljøinstitutt 1995). Konsentrasjonene var imidlertid lave og lå under 5 : g akrylamid/l.

Akrylamid er meget vannløselig, og en antar derfor at all akrylamid vil ende opp i vannfasen ved sedimenteringsprosessen. Mengden akrylamid i spylevannet kan imidlertid ikke overstige mengdene som finnes i polymeren fordi polyakrylamid ikke vil spaltes og gå tilbake til akrylamid igjen (Dag Hognved, Folkehelse). Med tilsats av 0,4 gram polymer pr. m<sup>3</sup> spylevann, der polymeren inneholder 0,1 % akrylamid, vil konsentrasjonen av akrylamid i spylevannet bli på 0,0004 g/m<sup>3</sup>. Dette er adskillig lavere enn terskelverdien for biologisk skade (PNEC<sub>kronisk</sub>) som er på 180 : g/l eller 180 g/m<sup>3</sup>. Ettersom det ikke dannes mer akrylamid i prosessen, er det dermed ingen sannsynlighet for at konsentrasjonen i utslippsvannet gang kan komme over denne grensen.

Ettersom akrylamid er så vannløselig vil det etter utslipp også foreligge i vannfasen i resipienten. Det vil ikke binde seg til partikler der, og sedimentene i en resipient vil derfor ikke påvirkes av slike tilførsler. Akrylamid har også et lavt bioakkumulasjonspotensiale, og man regner derfor med at det ikke vil akkumuleres i vannlevende organismer

Akrylamid vil heller ikke hope seg opp vannfasen i en resipient. Stoffet er biologisk nedbrytbart, og under miljøforhold der det er oksygen og en naturlig bakteriefloa til stede, kan vi anta at akrylamid er fullstendig nedbrutt etter omtrent 10 dager ved 20 °C, etter noe lengre tid ved lavere temperatur. I Jordalsvatnet og Svartediket kan en for sikkerhets skyld anta en nedbrytningstid på 20 dager, kortere om sommeren og muligens noe lengre om vinteren. I løpet av 20 dager vil Jordalsvatnet, ved midlere vannproduksjon, i gjennomsnitt få tilført 10 g akrylamid, mens Svartediket ville få tilført 16 g akrylamid. For at konsentrasjonen av akrylamid skulle komme opp mot terskelen for biologisk skade på 180 g/m<sup>3</sup>, måtte utslippene komme til en begrenset vannmengde. Selv om akrylamidmengder oppsamlet for 20 dager ble sluppet ut i de to resipientene ville fortyningen i innsjøene være meget stor. Det er derfor ingen ting som skulle tyde på at tilbakeføring av dekantvannet, under de gitte forutsetningene, skulle tilsi noen problemer for noen type ferskvannsorganismer; verken alger eller dyr.

## **ANDRE POTENSIELLE EFFEKTER**

Foreløpige erfaringer fra vannverk som bruker jernklorid til felling, og som fører noe jernholdig vann tilbake til råvannet, viser at det er lite negative effekter å spore (Gopledalen vv., Nedre Romerike vv., Lille Erte vv, Valleråsen vv.). Det er imidlertid kun et fåtall som fører jernholdig vann tilbake til en innsjø, og ingen steder har dette pågått i mer enn et par år. Det finnes dermed ingen erfaringer med slike utslipp over lang tid, og vurderingene av eventuelle skadelige effekter vil derfor hovedsakelig være teoretiske.

De eneste negative effekten vi har hørt om er fra Gopledalen vannverk som har utslipp til Farrisvatnet ved Larvik (ref. Einar Mathiesen, driftsleder ved Gopledalen vannverk). Der benyttes Aureprosessen, og med separate sandfilter og marmorfiltre som spyles hver for seg. Under tilbakespyling av marmorfiltrene samles den første delen i oppsamlingsbasseng for videre behandling, mens den siste delen av spylevannet ledes tilbake til kilden. Utslipet ligger på omtrent 10 meters dyp. Ved begynnelsen av tilbakespylingen registrerer de en brunfarging av vannet lokalt, men det er borte etter et kvarters tid. De jobber imidlertid for å redusere utslippene til Farris. I enkelte andre vannverk sier de at de i utgangspunktet har så mye organisk stoff i vannet at det ikke ville vært mulig å registrere en eventuell misfarging på grunn av tilbakeført jernholdig slam.

Bortsett fra misfarging, vil videre omtalte effekter basere seg på hva som teoretisk kan kunne finne sted. Store lokale tilførsler vil kunne gi en nedslamming av sedimentene. Erfaringer fra Askøy, viser at det blir brunfarging og nedslamming av elvesedimentene nedstrøms et utslipp med jernholdig fellingrester. Det er imidlertid lite erfaringer med denne problemstillingen i forhold til utslipp i innsjøer, og det er for tidlig å vurdere eventuelle sedimenteringseffekter ettersom denne type felling kun har pågått



i 1-2 år. Ved Gopledalen vannverk har de hatt dykkere nede for å kikke på bunnsedimentene like ved utslippsstedet, men det er ingen ting å se der etter 1,5 års drift.

En slik nedslammings effekt kan tenkes å skje på forskjellige steder; lokalt ved utslippspunktet, fordelt over store områder av sedimentene eller at de vil samles opp ved innsjøens dypeste punkt. Dersom forbindelsene sedimenterer raskt vil en lokal effekt være tenkelig. Imidlertid er utslippene i væskeform, og de vil derfor i utgangspunktet ha potensiale for en viss spredning. Ved undersøkelser av tungmetallforurensning i sedimenter innsjøer er det vanligvis ved innsjøenes dypeste punkt at en finner de høyeste konsentrasjonene. I det tidligere omtalte sedimenteringsforsøket på tilbakespylingsvannet, var der fremdeles en jernkonsentrasjon på 6 mg Fe/l i overflatevannet etter 90 minutter, og forsøket tyder på at mye av produktene fra tilbakespylingen vil holde seg flytende over lang tid. Det er derfor en stor sannsynlighet for at dette (som er noe tyngre enn vann) etter hvert vil "sige" nedover mot innsjøens dypeste punkt, og at slammet derfor i stor grad vil gjenfinnes ved det dypeste punktet i innsjøen. Volummessig vil imidlertid dette bety lite for vannkilden. Jern har en høy egenvekt og selv tilførsler uten bruk av polymer vil det trolig ikke utgjøre mer enn noen svært få kubikkmeter fyllmasse hvert år.

En annen teoretisk effekt kan være økt innhold av jern i vannfasen innsjøer med et høyt humusinnhold. Trolig vil ikke dette være aktuelt i verken i Jordalsvatnet eller i Svartediket fordi humusinnholdet i disse innsjøene er relativt lavt. Det kan imidlertid endre seg dersom store mengder humus tilbakeføres hvert år, men ved bruk av polymer vil også disse tilførselene være relativt små.

## KONKLUSJON

Ut fra foreliggende litteratur og erfaringer fra andre vannverk, er det ingen ting som skulle tilsi store negative effekter av utslipp av de omtalte stoffene til verken Jordalsvatnet eller Svartediket slik forholdene er i dag. Dette forutsetter imidlertid at en relativt god vannkvalitet og gode oksygenforhold opprettholdes. Den største endringen vil sannsynligvis komme i Svartediket der en trolig vil kunne få en liten kalkingseffekt. Estetisk vil en imidlertid måtte regne med en negativ effekt da erfaringer viser at utslippene vil kunne sees i form av brunt vann i perioden som utslippet pågår.

Dersom en tar i bruk polyakrylamid som fellingsmiddel ved vannbehandlingen, vil tilførselene til innsjøene av de øvrige stoffene reduseres. Akrylamid vil imidlertid tilføres i så små mengder, at det sansynligvis verken vil føre til kortsiktige eller langsiktige negative virkninger for dyre- og plantelivet. Med tanke på at effektene i resipientene skal bli så små som mulig, bør en derfor vurdere å benytte dette ved begge behandlingsanleggene.

Utslippet bør i størst mulig grad skje til overflatevannet i resipientene. Der vil det være størst fortynningspotensiale, og oksygenforholdene der vil alltid være gode. Nedbrytningen av akrylamid vil også gå raskere der på grunn av høyere temperatur. I tillegg vil det også være overløp slik at noe av stoffene føres videre ut av resipienten. Både fra Jordalsvatnet og Svartediket er det bare en meget kort utløpselv til sjøen, og utslippene vil derfor i liten grad ha betydning for vassdraget.

Det er imidlertid en del spørsmål det ikke finnes svar på med dagens kunnskap og kortvarige erfaringer, og det pågår undersøkelser som tar for seg enkelte problemstillinger i forbindelse med utslipp av dekantvann (Bjarne Paulsrud, Aquateam). Noen åpenbare kunnskapsmangler vi så i forbindelse med denne gjennomgangen var:

- 1) Effekten på bunndyrsamfunnet der jernslammet samles opp.
- 2) Hvorvidt slammet i seg selv vil medføre problemer for fisk, og ved hvilke konsentrasjoner dette eventuelt vil skje ved er heller ikke helt klarlagt. Det er innsjøgytende røye i begge innsjøene, men aktuelle områder er svært avgrenset.

- 3) Det er heller ikke kjent hvilke vannkjemiske jernforbindelser som finnes i tilbakespylingsvannet spesielt hvis pH er særlig høyere enn 8, og hvilke kjemiske reaksjoner som skjer når jern fra slike behandlingsanlegg tilbakeføres til naturlig vann med pH mellom 5 og 6. Det vil da være en del likevekter og forbindelser som vil kunne avvike fra det en vanligvis finner i vann og vassdrag.
- 4) I tillegg er det også en del andre stoffer i jernkloridløsningen, og hvor mye som finnes i prosessvannet av disse tilsetningsstoffene (Co, Cr, Ni, Zn) er ikke undersøkt (Oddbjørn Pedersen KEMIRA). Det er i det hele tatt lite som er dokumentert vedrørende mengde og type kjemiske forbindelser i slikt avløpsvann (Storhaug og Paulsrud, 1998). Hvor mye av disse som eventuelt vil foreligge i tilbakespylingsvannet og dermed kunne tilbakeføres til råvannskilden er derfor uvisst, men ligger utenfor rammene for denne rapporten.

Ved tilbakeføring av prosessvann og utslipp til selve drikkevannskilden, vil det også være naturlig at det foretas en helsemessig konsekvensvurdering av de planlagte utslippene. Konfliktpotensialet ved utslippsaker vil alltid være stor når resipienten for utslippet også tjener som drikkevannskilde. I slike tilfeller vil det være naturlig at det stilles strengere krav til både sikkerhet ved konsekvensvurderinger og til håndtering av selve utslippene.

## SAKSGANG VED SØKNAD OM UTSLIPP

Ved etablering av behandlingsanlegg for drikkevann vil det i mange tilfelle være behov for utslipp av ulike slag. Vannverkseier må henvende seg til Fylkesmannens miljøvernnavdeling, som vil vurdere om det må søkes om utslippsløyve for de aktuelle utslippene. Det vil der bli foretatt en samlet vurdering av utslippene og resipienten slik at alle hensyn ivaretas.

Som del i Fylkesmannens gjennomgang av saken, er det ikke uvanlig at det blir stilt krav om at det utføres en konsekvensvurdering av de planlagte utslippene. Denne kan være enkel og basert på en teoretisk gjennomgang av mulige konsekvenser, slik som den herværende rapport. Ved mulighet for større konflikter eller dersom allmennhetens interesser kan bli betydelig berørt, vil det kunne stilles krav om gjennomføring av mer utfyllende biologiske og vannkjemiske undersøkelser. I slike tilfeller kan det også settes krav til oppfølgende undersøkelser i ettertid for å vurdere de reelle effektene.

Konfliktpotensialet ved alle typer utslipps-saker er alltid størst når resipienten for utslippet også tjener som drikkevannskilde. I slike tilfeller vil det stilles strengere krav til både sikkerhet ved de foretatte konsekvensvurderinger og til håndtering av selve utslippene.

Avhengig av resipientens kapasitet og eventuelle andre brukerinteresser til denne resipienten, vil det så kunne stilles krav til håndtering av utslippene. For enkelte anlegg er det således stilt krav om at de mest risikobetonte utslippene føres til tett tank og fraktes bort, de mindre "betente" utslippene kan gå til offentlig avløpsnett, mens de mer "naturlige" stoffene kan slippes til egnet resipient. Elver og bekker er vanligvis dårligere resipienter enn innsjøer, slik at kravene da vil være strengere. Det vil vanligvis være minst problemfylt dersom det er mulig å føre avløpet til egnet sjøresipient.

## LITTERATURHENVISNINGER

- BJØRKLUND, A.E. 1999  
Undersøkelse av Jordalsvassdraget i 1998  
Rådgivende Biologer as. Rapport nr 384, 48 sider, ISBN 82-7658-244-3.
- BJØRKLUND, A., G.H.JOHNSEN & A.KAMBESTAD 1994  
Miljøkvalitet i vassdragene i Bergen, status 1993.  
Rådgivende Biologer, rapport 110, 156 sider. ISBN 82-7658-024-6
- BJØRKLUND, A.E. & G.H. JOHNSEN 1995  
Undersøkelse av Indrevatnet og Jordalsvatnet sommeren 1995.  
Rådgivende Biologer, rapport 208, 54 sider.
- BJØRKLUND, A.E. & G.H. JOHNSEN 2002  
Overvaking av eutrofieringsvasskvalitet i Hordaland 2001  
Rådgivende Biologer AS. Under utarbeidelse.
- FARSTAD, M. 1995  
Forsuring i Bergen kommune.  
Miljøvernavdelinga, Fylkesmanen i Hordaland, rapport nr. 8-1995. 40 sider + vedlegg.
- FORSETH, B., HALVORSEN, G.A., UGEDAL, O., FLEMING, I., SCHARTAU, A.K.L., NØST, T.,  
HARTVIGSEN, R., RADDUM, G., MOOIJ, W. & KLEIVEN, I. 1997  
Biologisk status i kalka innsjøer.  
NINA Oppdragsmelding 508: 1-52, 52 sider. ISBN 82-426-0871-7.
- HELLEN, B.A, G.H.JOHNSEN & S.KÅLÅS 1996  
Vannkjemisk undersøkelse av vassdrag i Hordaland våren/sommeren 1996  
Rådgivende Biologer as. rapport 240, 17 sider. ISBN 82-7658-114-5
- HOLTAN, H. & S.O. ÅSTEBØL 1990.  
Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til vassdrag og fjorder. Revidert utgave.  
NIVA-JORDFORSK rapp nr 2510, 53 sider. ISBN 82-577-1818-1.
- HUUSE, A. mfl. 1999.  
Kjemikaliebruk i utbygging og drift av samferdselsanlegg.  
SFT rapport 99:22, TA 1687, 42 sider. ISBN-nummer 82-7655-189-0
- JOHNSEN, G.H. 1992  
Beskrivelse av hendelsesforløp og årsaksforhold ved akutt høy dødelighet på fisken hos Kvernsmolt  
as. i september 1992.  
Rådgivende Biologer, rapport nr. 74, 22 sider
- JOHNSEN, G.H. 1993.  
Betydningen av Gjernesmoen kloakkrenseanleggets for resipientforholdene i Vangsvatnet, Voss  
kommune.  
Rådgivende Biologer, rapport 98, 22 sider. ISBN 82-7658-017-3
- JOHNSEN, G.H. 1997  
Teoretisk vurdering av effektene på fisk ved tilførsler av jern(III) til vassdrag.  
Rådgivende Biologer, rapport 257, 8 sider. ISBN 82-7658-128-5

- JOHNSEN, G.H., S.ANDERSEN & P.J.JAKOBSEN 1985.  
Indre gjødsling i ferskvann, et problem for mæroppdrett.  
Norsk Fiskeoppdrett nr 4-1985, side 26
- JOHNSEN, G.H. & A.BJØRKLUND 1993  
Naturressurskartlegging i kommunene Sund, Fjell og Øygarden: Miljøkvalitet i vassdrag.  
Rådgivende Biologer, rapport 93, 75 sider. ISBN 82-7658-013-0
- JOHNSEN, G.H. & A.BJØRKLUND 2001  
Overvaking av eutrofieringsvasskvalitet i Hordaland 2000  
Rådgivende Biologer AS. Rapport nr 490, 40 sider, ISBN 82-7658-336-9.
- JOHNSEN, G.H., A. E. BJØRKLUND, O. SOLDAL (ICG), V. VALEN (ICG) & E. BREKKE 2001  
Vassdragsundersøkelser i nedbørfeltene til vannverkene på Byfjellene i Bergen sommeren 2000  
Rådgivende Biologer AS Rapport nr 482, 87 sider.
- KÅLÅS, S., G.H.JOHNSEN, H. SÆGROV & B.A.HELLEN 1996  
Fisk og vasskvalitet i ti Hordalandselvar med bestandar av anadrom laksefisk.  
Rådgivende Biologer as. rapport 243, 152 sider. ISBN 82-7658-119-6
- KÅLLQVIST, T., VIK, E.A., WEIDEBORG, M. og MOLVÆR, J. 1997:  
Miljørisikovurdering ved bruk av Rhoca-Gil som injeksjonskjemikalie i Romeriksporten. Aquateam  
rapport 97-151, 22 s.
- MANNAHAN, S.E. 1983  
Environmental chemistry, fourth edition.  
Lewis publishers, 605 sider +.
- ROSSELAND, B.O., P.JACOBSEN & M.GRANDE 1992  
Miljørelaterte tilstander.  
Side 279-287 i: T.T.Poppe (red.): Fiskehelse, Sykdommer, Behandling, forebygging.  
John Grieg Forlag, 422 sider
- SFT 1997  
Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann.  
Statens forurensningstilsyn - veiledning nr. 97:04. ISBN 82-7655-368-0, 31 sider.
- STATENS ARBEIDSMILJØINSTITUTT, 1995  
Kriteriedokument for akrylamid, CAS No 79-06-1  
SFTs og Ats faggruppe for identifisering av kreftfremkallende stoffer.
- SOSIAL- OG HELSEDAPARTEMENTET 1995.  
Forskrift om vannforsyning og drikkevann m.m. fastsatt 1. januar 1995.  
Ref. 92/03384KjT/KA.
- STORHAUG, R. & B. PAULSRUD, 1998  
Behandling og disponering av vannverksslam - forprosjekt.  
NORVAR-rapport 86/98, 26 sider.
- SVERDRUP, L., E.A.VIK, M.WEIDEBORG, A.KELLEY, C.FÜRST, T.KÅLLQUIST, J.MOLDVÆR,  
K.ØDEGÅRD, 1999  
SLUTTRAPPORT. Utslipp knyttet til bruk av kjemiske injeksjonsmidler i Romeriksporten.  
Aquateam AS, rapport nr. 99-010, 57 sider.
- WETZEL, R.G. 1983.  
Limnology, second edition.  
CBS College Publishing. N.Y. 765 sider +.