

Tilstandsbeskrivelse  
av Sælenvatnet  
i Bergen  
vinteren 1994

R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

**Rådgivende Biologer AS**

**117**



Tilstandsbeskrivelse  
av Sælenvatnet  
i Bergen  
vinteren 1994



Atle Kambestad  
og  
Geir Helge Johnsen

Rådgivende Biologer AS  
INSTITUTT FOR MILJØFORSKNING

Rapport nr. 117, mai 1994.



# Rådgivende Biologer AS

INSTITUTT FOR MILJØFORSKNING

## RAPPORTENS TITTEL:

Tilstandsbeskrivelse av Sælenvatnet i Bergen vinteren 1994.

## FORFATTERE:

Cand.scient. Atle Kambestad

og

Dr.philos. Geir Helge Johnsen

## OPPDRAKSGIVER:

Bergen kommune, Kommunalavdeling teknisk utbygging, VVA-prosjektering,  
Postboks 805, 5002 Bergen.

## OPPDRAGET GITT:

Desember 1993

## ARBEIDET UTFØRT:

Vinteren 1994

## RAPPORT DATO:

20.mai 1994

## RAPPORT NR:

117

## ANTALL SIDER:

16

## ISBN NR:

ISBN 82-7658-026-2

## SAMMENDRAG:

Tilstanden i Sælenvatnet ble undersøkt 7.januar og 16.februar 1994. Innsjøen var islagt i en lang periode denne vinteren, og hele vannsøylen under isen var oksygenfri. Mesteparten av volumet inneholdt mellom 45 og 50 mg sulfid pr. liter, eller nærmere 200 tonn totalt.

Den viktigste faktoren som styrer faren for utlufting av sulfid fra Sælenvatnet, er tykkelsen på ferskvannslaget. Det er usikkert om det har vært en negativ utvikling i tykkelsen av ferskvannslaget de senere tiår, men kloakksaneringen i Fyllingsdalen kan ha forårsaket vesentlig redusert ferskvannstilrenning til Sælenvatnet.

De mest aktuelle tiltakene for å redusere faren for utlufting av hydrogensulfid fra Sælenvatnet, er å øke ferskvannstilrenningen generelt, blande inn ferskvann i den øverste delen av det råtne bunnvannet, eller å tilføre oksygen i form av luftbobler. De to sistnevnte tiltak må gjennomføres med forsiktighet og nøye overvåking for å unngå at man fremprovoserer store utluftinger av hydrogensulfid.

## EMNEORD:

- Innsjørestaurering  
- Hydrogensulfid

## SUBJECT ITEMS:

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS  
Bredsgården, Bryggen, N-5003 Bergen  
Foretaksnummer 843667082  
Telefon: 55 31 02 78 Telefax: 55 31 62 75



## FORORD

Rådgivende Biologer har på oppdrag fra Bergen kommune undersøkt tilstanden i Sælenvatnet i Bergen ved to tidspunkt vinteren 1994. Bakgrunnen for undersøkelsen er at Sælenvatnet har et råttent bunnvann som i perioder avgir hydrogensulfidgass til omgivelsene. Dette var særlig plagsomt for beboerne i området høsten 1993. Bergen kommune planlegger å iverksette tiltak i Sælenvatnet for å bedre disse forholdene og hadde i den forbindelse behov for en nøyere beskrivelse av vannkvaliteten og lagdelingen i innsjøen. Det var også av interesse å få vurdert om forholdene endret seg vesentlig under den uvanlig lange perioden med islegging vinteren 1994.

Årsaken til at forholdene var ekstra ille i Sælenvatnet høsten 1993, og om det er grunnlag for å hevde at det har vært en forverring de senere år, er vurdert. På bakgrunn av dette er all relevant informasjon om forhold som styrer vannutskiftingen i Sælenvatnet samlet inn, bearbeidet og presentert. Det har vært et mål å øke forståelsen av både årsaken og variasjonsmønsteret til den dårlige vannkvaliteten i Sælenvatnet, slik at en får et bedre grunnlag for å vurdere best egnede tiltak for å bedre forholdene.

Måleresultatene ble rapportert umiddelbart til Bergen kommune etter hver av de to undersøkelsestidspunktene.

Elisabeth Smith Jørgensen deltok ved den første av de to prøvetakingene, og de kjemiske analysene av sulfid er utført av Chemlab Services as. Vi vil få takke Helge Botnen ved IFM, Universitetet i Bergen, for velvillig tilrettelegging av data fra deres undersøkelser i Nordåsvatnet i forbindelse med Byfjordundersøkelsene i Bergen, som utføres på oppdrag fra Bergen kommune. Vi vil også få takke Pål Pettersen i Løtveitneset Vel for verdifulle opplysninger og ismeldinger fra Sælenvatnet.

Rådgivende Biologer takker Bergen kommune, ved Magnar Sekse og Hogne Hjelle, for oppdraget.

Bergen, 20.mai 1994.



## INNHALDSFORTEGNELSE

---

FORORD .....	3
INNHALDSFORTEGNELSE .....	4
Liste over figurer .....	4
Liste over tabeller .....	4
SAMMENDRAG .....	5
SÆLENVATNET .....	6
TILSTAND I SÆLENVATNET VINTEREN 1994 .....	7
SKIKTNINGSFORHOLD OG VANNUTSKIFTINGSMØNSTER .....	10
Tykkelse av ferskvannslaget .....	10
Utskifting av dypvannet .....	11
VURDERING .....	13
MULIGE TILTAK .....	14
Omdanne Sælenvatnet til en ferskvannsinnsjø .....	14
Innblanding av ferskvann .....	14
Tilførsel av luft .....	15
Øke ferskvannstilrenningen .....	15
LITTERATURHENVISNINGER .....	16

---

## LISTE OVER FIGURER

---

1: Kart over Sælenvatnet. ....	6
2: Profiler målt i det innerste bassenget av Sælenvatnet 7.januar 1994. ....	7
3: Profiler målt i det ytterste bassenget av Sælenvatnet 7.januar 1994. ....	8
4: Profiler målt i det innerste bassenget av Sælenvatnet 16.februar 1994. ....	8
5: Profiler målt i det ytterste bassenget av Sælenvatnet 16.februar 1994. ....	8
6: Dybde av grensen mellom dypvann og overflatevann .....	10
7: Saltholdigheten i overflaten i Nordåsvatnet utenfor Sælenvatnet i 1992 og 1993 .....	12
8: Månedsnedbør i Bergen ved Florida i perioden fra 1991 til 1993 .....	12

---

## LISTE OVER TABELLER

---

1: Målinger av hydrogensulfid i Sælenvatnet 7.januar 1994. ....	7
2: Målinger av hydrogensulfid i Sælenvatnet 16.februar 1994. ....	9
3: Mengde sulfid og teoretisk oksygenbehov. ....	9

---



## SAMMENDRAG

Fysiske og kjemiske forhold i Sælenvatnet ble undersøkt 7.januar og 16.februar 1994, med formål å gi Bergen kommune et bedre grunnlag for å utrede egnete tiltak for å redusere faren for store utluftinger av hydrogensulfid. Sælenvatnet var islagt vinteren 1994, og hele vannsøylen under isen var oksygenfri og inneholdt mellom 45 og 50 mg sulfid pr. liter i mesteparten av volumet, eller nærmere 200 tonn totalt. Innsjøen hadde da et brakkevannslag på kun omtrent to meters tykkelse oppå det salte dypvannslaget, som hadde en saltholdighet på rundt 21 promille og en temperatur på mellom 11 og 12 grader. Det var ikke betydelige forskjeller mellom de indre og ytre deler av innsjøen.

Sælenvatnet har et stabilt dypvann med liten utskifting og et meget høyt oksygenforbruk. I disse vannmassene er det høye konsentrasjoner av hydrogensulfid, og denne gassen luftes til omgivelsene periodevis. Utlufting av hydrogensulfid fra Sælenvatnet skjer i perioder med tynt ferskvannslag og ved vindpåvirkning. Høsten 1993 var det en kraftig utlufting med ekstreme forhold for beboerne i området, og særlig langs utløpskanalen. Bortimot tilsvarende forhold har imidlertid vært observert en rekke ganger tidligere, og det har vært kraftige utluftinger av hydrogensulfid fra Sælenvatnet minst så langt tilbake som for 80 år siden.

Dypvannet i Sælenvatnet skiftes aldri fullstendig ut, slik at det alltid vil være oksygenfritt og rikt på hydrogensulfid. Årsaken er utløpskanalens lave kapasitet til å slippe inn vann ved flo sjø. Det forekommer sannsynligvis bortimot årlig betydelige tilførsler av saltere vann til dypvannet om vinteren. Unntaket er år med særlig mye nedbør om vinteren.

Det er vanskelig ut fra de foreliggende data å trekke konklusjoner om det har vært en generell forverring av tilstanden i Sælenvatnet, men grensen mellom oksygenholdig og oksygenfritt vann lå ved målingene i 1950- og 1970-årene stort sett et par meter dypere enn ved observasjonene i 1980- og 1990-årene. Tykkelsen på det oksygenholdige ferskvannslaget vil variere med nedbørsmønsteret, og være tynt i tørre år. Imidlertid kan det ha forekommet en generell forverring i forbindelse med fraføring av en del av avrenningen fra nedbørfeltet i forbindelse med utbygging av området og ved kloakksanering.

Fjerning av sulfiden i bunnvannet ved tilførsel av luft og ved kunstig omrøring av vannmassene er under vurdering hos Bergen kommune. Dette kan være et effektivt strakstiltak, men må gjennomføres med forsiktighet for å unngå at en fremprovoserer en stor utlufting av hydrogensulfid. Dette tiltaket må gå nærmest kontinuerlig eller ihvertfall bli foretatt hyppig for å unngå at det dannes en ny sulfidlomme. Det trengs omtrent 400 tonn oksygen for å oksygenere all sulfiden og skape et oksygennivå som er vanlig for innsjøer.

Et annet aktuelt tiltak for å bedre forholdene i Sælenvatnet på lengre sikt er å foreta en senking av skiktet mellom overflatevannet og det oksygenfattige, sulfidholdige dypvannet, slik at hyppigheten og omfanget av utlufting av hydrogensulfid til omgivelsene reduseres. Dette kan gjøres ved enten å øke ferskvannstilrenningen generelt, eller ved å blande inn ferskvann et stykke nede i bunnvannet.

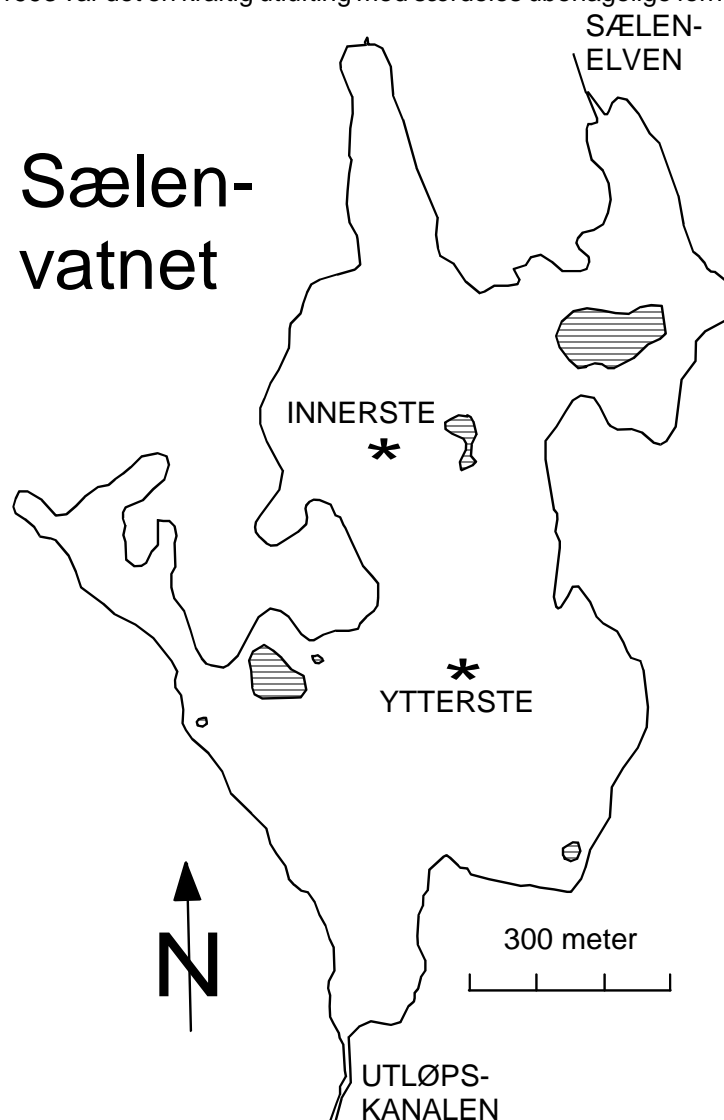
Dersom en klarer å senke skiftningsdypet til 10 - 15 meter, vil det sannsynligvis være tilstrekkelig til å forhindre større utluftinger. Ved å blande ferskvann ned i den øvre delen av bunnvannet, vil en i noen grad tilføre oksygen direkte, men den viktigste virkningen er at en sørger for at vannmassene over tilførselsdypet blir homogen og derfor kontinuerlig oksygenert ved vindomrøring. I tillegg vil det innstrømmende saltvannet lettere kunne skifte ut deler av bunnvannet når det har fått redusert tetthet. På grunn av begrenset tilgang på ferskvann og liten innstrømming av saltvann gjennom kanalen, er det neppe mulig å oksygenere hele vannsøylen i Sælenvatnet på denne måten. En må sannsynligvis begrense seg til å øke tykkelsen på det øvre vannlaget og derved forhindre store og hyppige utluftinger av hydrogensulfid.



## SÆLENVATNET

Sælenvatnet ligger i enden av Fyllingsdalsvassdraget og har sitt utløp i en kanal til den nord-vestre enden av Nordåsvatnet (figur 1). Tidevannet bringer daglig tilførsler av sjøvann eller brakkvann fra Nordåsvannet. Dette medfører at innsjøen er meromiktisk, - hvilket betyr at den har et saltholdig dypvann og et varierende tykt ferskvannslag oppå.

På grunn av at den daglige saltvannstilførselen vanligvis har lavere saltholdighet enn dypvannet, har dypvannet lav utskiftingsrate. I disse vannmassene er oksygenet brukt opp, og der er høye konsentrasjoner av hydrogensulfid. Denne gassen luftes til omgivelsene i perioder med mye vind fra sør (Kambestad 1989). Høsten 1993 var det en kraftig utlufting med særdeles ubehagelige forhold for beboerne i området.



FIGUR

1. Kart over Sælenvatnet. Prøvetakingspunktene for innerste og ytterste basseng er avmerket.





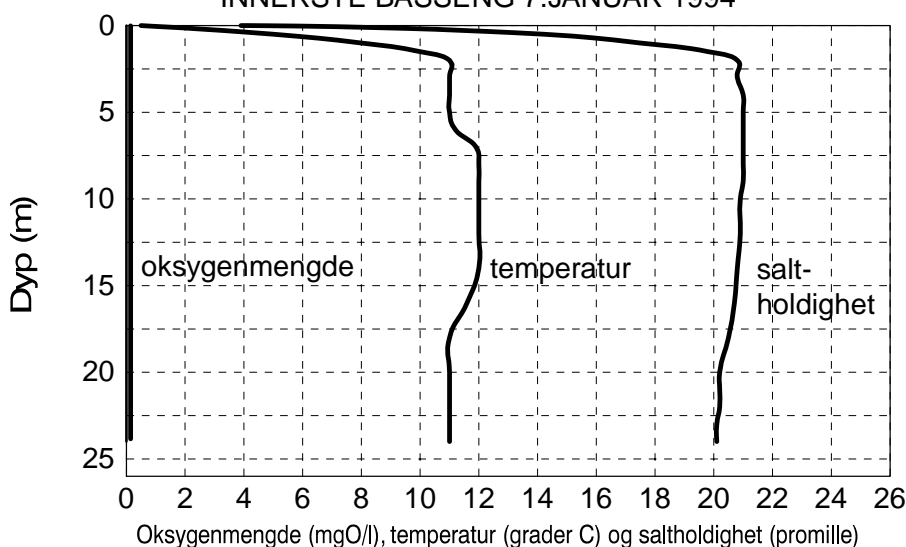
## TILSTAND I SÆLENVATNET VINTEREN 1994

Vinteren 1994 var Sælenvatnet islagt fra før jul 1993 til ut i slutten av mars 1994. Ved to anledninger ble det i denne perioden foretatt målinger i innsjøen, der tilstanden i vannsøylene ved det dypeste punktet i de to bassengene ble undersøkt (figur 1).

I det innerste bassenget var det 7.januar 1994 et meget tynt lag med ferskvann under isen. Allerede på 0,5 meters dyp var det hele 14,8 promille salt, og fra to meters dyp og ned var det over 20 promille. Temperaturprofilen fulgte samme mønster, med kaldt vann helt øverst under isen, og over 10 graders vann fra 2 meters dyp og ned. Det ble ikke påvist oksygen i vannsøylen i det innerste bassenget (figur 2).

INNERSTE BASSENG 7.JANUAR 1994

*FIGUR 2: Oksygen-, temperatur- og salt-holdighetsprofiler ved det dypeste punktet i det innerste bassenget av Sælenvatnet (figur 1), målt 7.januar 1994. Målingene er utført med YSI-instrumenter med nedsenkbare sonder.*



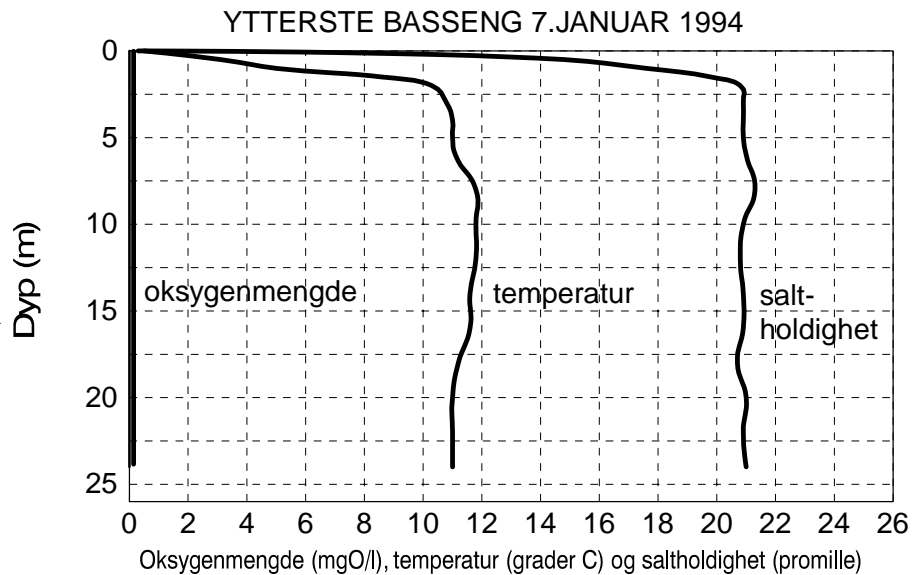
I det ytterste bassenget var skiktningsforholdene den 7.januar helt tilsvarende som i det innerste bassenget (figur 3). Ferskvannslaget var meget tynt, og under 2 meters dyp var det over 20 promille. Det var imidlertid mindre hydrogensulfid øverst i vannsøylen i dette bassenget (tabell 1). Konsentrasjonene av hydrogensulfid var jevnt høye med over 40 mg sulfid pr. liter både på 10 og 20 meters dyp i begge de undersøkte bassengene, mens det på en meters dyp var noe lavere i det innerste og vesentlig lavere i det ytterste bassenget. Dette må i stor grad tilskrives virkningen av det innstrømmende tidevannet.

*TABELL 1: Målinger av hydrogensulfid i Sælenvatnet 7.januar 1994. Prøvene er tatt ved det dypeste punktet i det innerste og det ytterste bassenget, og analysene er utført av Chemlab Services as.*

PRØVETAKINGSDYP	INDRE BASSENG	YTRE BASSENG
1 meter	33,7 mg/l	8,38 mg/l
10 meter	46,8 mg/l	58,2 mg/l
20 meter	49,1 mg/l	48,8 mg/l

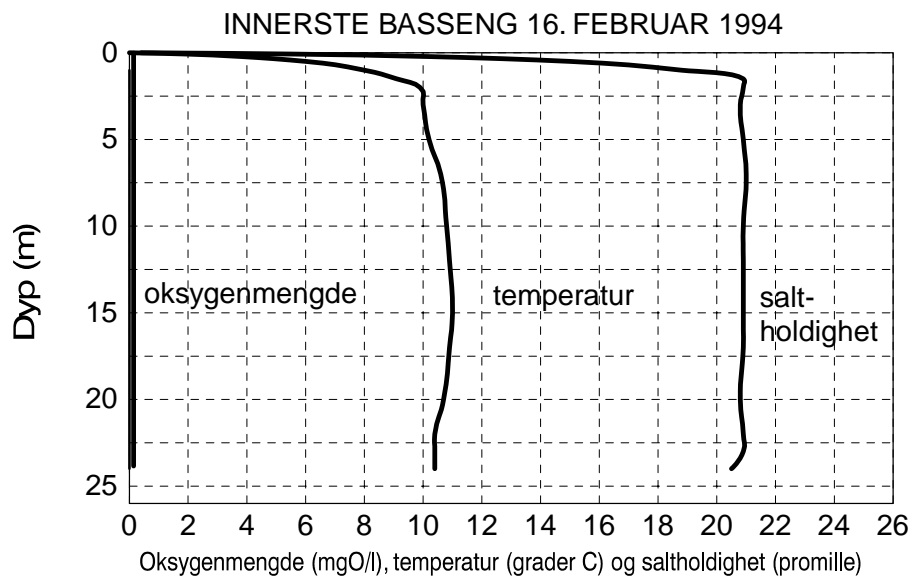


FIGUR 3: Oksygen-, temperatur- og salt-holdighetsprofiler ved det dypeste punktet i det ytterste bassenget av Sælenvatnet, (figur 1), målt 7.januar 1994. Målingene er utført med YSI-instrumenter med nedsenkbare sonder.



Ved befaringen 16.februar 1994 var ikke forholdene i Sælenvatnet vesentlig endret fra forrige måleserie. Ferskvannslaget var enda tynnere enn i januar, med 15 promille salt på 0,5 meters dyp og nesten 20 promille på en meters dyp i begge bassengene (figur 4 og 5). Temperaturprofilene var brattere enn ved befaringen i januar, - 16.februar var de hele 8 grader på en meters dyp. Konsentrasjonene av hydrogensulfid i dypvannet var omtrent som i januar, men konsentrasjonen på en meters dyp i det innerste bassenget var lavere og tilsvarende som i det ytterste bassenget (tabell 1). Dette tyder på at det innstrømmende tidevannet har kunnet nå lenger inn i Sælenvatnet i denne perioden, antagelig på grunn av meget lav ferskvannstilrenning.

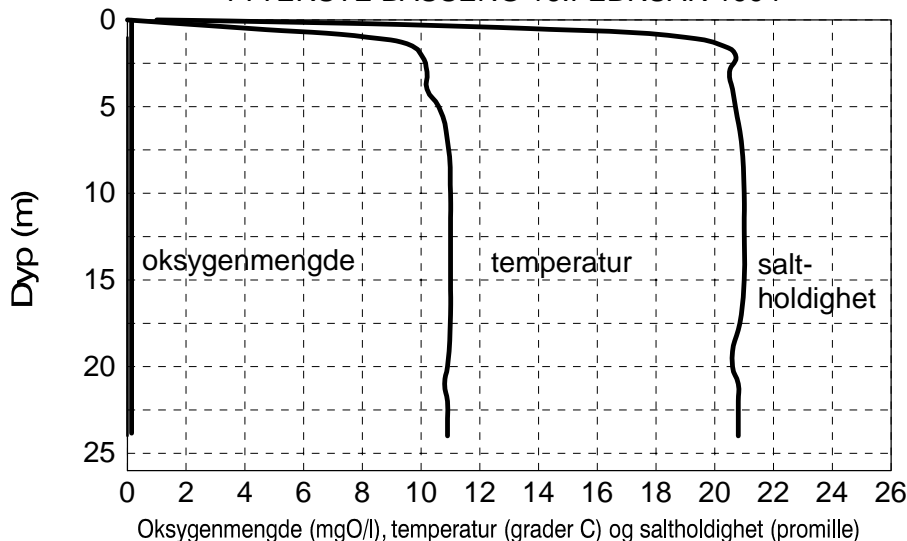
FIGUR 4: Oksygen-, temperatur- og salt-holdighetsprofiler ved det dypeste punktet i det innerste bassenget av Sælenvatnet (figur 1), målt 16.februar 1994. Målingene er utført med YSI-instrumenter med nedsenkbare sonder.





YTTERSTE BASSENG 16.FEBRUAR 1994

FIGUR 5: Oksygen-, temperatur- og salt-holdighetsprofiler ved det dypeste punktet i det ytterste bassenget av Sælenvatnet (figur 1), målt 16.februar 1994. Målingene er utført med YSI-instrumenter med nedsenkbare sonder.



TABELL 2: Målinger av hydrogensulfid (mg/liter) i Sælenvatnet 16.februar 1994. Prøvene er tatt ved det dypeste punktet i det innerste og det ytterste bassenget (figur 1), og analysene er utført av Chemlab Services as.

PRØVETAKINGSDYP	INDRE BASSENG	YTRE BASSENG
1 meter	11,8 mg/l	8,04 mg/l
10 meter	47,7 mg/l	49,4 mg/l
20 meter	44,2 mg/l	49,3 mg/l

Den 7. januar 1994 var det tilsammen nærmere 200 tonn sulfid i Sælenvatnet, men 16.februar var dette redusert med omlag 15%, til 170 tonn (tabell 3). Dette skyldes i hovedsak utskifting av noe av det mellomliggende vannet i forbindelse med innstrømming av sjøvann fra Nordåsvatnet. Det var i den perioden registrert middels til svak sulfidlukt fra utløpskanalen. Ut fra situasjonen 16.februar 1994 vil det medgå ca. 400 tonn oksygen for å oksydere sulfiden og bringe oksygenkonsentrasjonen i hele Sælenvatnet opp til 10 mg/l (tabell 3).

TABELL 3: Mengde hydrogensulfid og teoretisk oksygenbehov for forskjellige deler av Sælenvatnets volum vinteren 1994. Oksygenbehovet er delt opp etter hvor mye som trengs for å oksydere  $H_2S$  til  $SO_4$  i februar, og hvor mye som må tilføres de samme oksygenfrie vannmassene for å få et oksygeninnhold på 10 mg O/l. Det samlede behovet er summen av sistnevnte og februarbehovene for hydrogensulfid.

VANN-VOLUM	VOLUM (mill m <sup>3</sup> )	MENGDEN $H_2S$ (tonn)		OKSYGENBEHOV I FEBRUAR 1994 (tonn)		
		JANUAR-94	FEBRUAR-94	$H_2S$ FEB.	->10 mg O/l	SAMLET
OVER 5 m	2,7	60,65	72,93	85,9	26,5	112,4
OVER 10 m	4,1	119,61	97,66	195,3	40,2	235,5
OVER 15 m	5,0	165,47	140,82	281,6	49,2	330,8
OVER 20 m	5,5	189,32	163,65	372,3	53,9	426,2
HELE	5,7	196,92	171,10	342,2	55,5	397,7



## SKIKTNINGSFORHOLD OG VANNUTSKIFTINGSMØNSTER

Tilrenningsrate av ferskvann og saltvann er nøkkelfaktorer som styrer dynamikken i tilstanden i Sælenvatnet. Dersom det har vært en økning i omfang og hyppighet av utluftinger av hydrogensulfid fra innsjøen, må årsakene ligge i endret tilrenningsmønster. Kloakktilførslene er betydelig redusert de senere år, men dette har neppe vært en vesentlig årsak til produksjon av sulfid i Sælenvatnet tidligere heller.

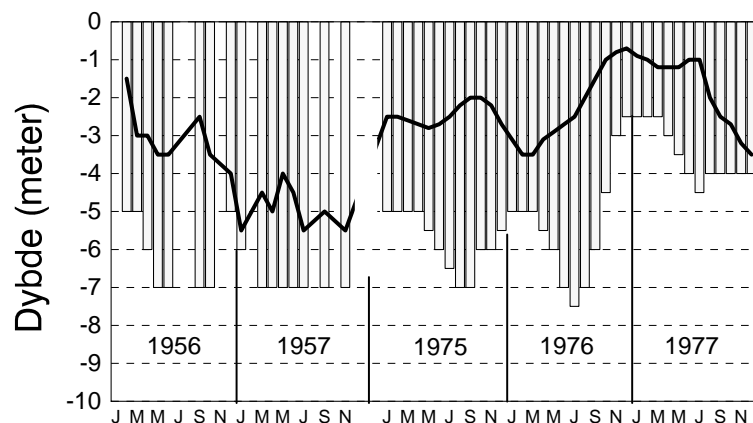
Mengden av og saltholdigheten i det innstrømmende sjøvannet ved flo sjø er avgjørende for hvor god utskifting en får av det råtne bunnvannet, og ferskvannstilrenningen er avgjørende for hvor tykt ferskvannslaget er. Faren for store utluftinger av hydrogensulfid øker med minkende tykkelse på ferskvannslaget, fordi det da trengs mindre vindkrefter til å bringe det råtne bunnvannet opp til overflaten.

Skiktningforholdene i innsjøen er målt omtrent månedlig i 1956-1957 (Soleim 1958), 1973-1977 (Indrebø 1976; Børsheim 1979) og sommeren 1993 (Hobæk mfl. 1994). I tillegg er det målt årlig om høsten i perioden 1987-1993 (Bratbakk & Thingstad 1994), samt to ganger vinteren 1994 (denne rapporten).

### TYKKELSE AV FERSKVANNSLAGET

Ut fra måleserier fra både 50-årene, 70-årene og de siste årene er det tydelig at tykkelsen på ferskvannslaget i Sælenvatnet varierer mye, både gjennom året og mellom år. Det er vanligvis tynnere i vinterhalvåret (Indrebø 1976; Børsheim 1979). I 1993 var ferskvannslaget ekstremt tynt i forhold til tidligere, både sommerstid og utover høsten (Hobæk mfl. 1994) og den påfølgende vinteren (figur 2 -5). Dette året var usedvanlig nedbørsfattig, og ferskvannslaget i Sælenvatnet var bare omtrent en meter tykt. Imidlertid har det vært observert meget tynt ferskvannslag i Sælenvatnet en rekke ganger tidligere også, som vintrene 1955-56 og 1976-77 (figur 6) og om høsten i årene 1987 og 1988 (Bratbakk & Thingstad 1994). De fleste av de mellomliggende år foreligger det ikke målinger fra, men det er sannsynlig at dette er et fenomen som gjentar seg med ujevne mellomrom.

*FIGUR 6: Dybde for grensen mellom sulfidholdig dypvann og overflate-vann (søyler) og grensen for vann med 15 promille salt (linje) gjennom årene 1956-1957 (Soleim 1958) og 1975-1977 (Indrebø 1976; Børsheim 1979).*



Ferskvannslaget i Sælenvatnet kan ha blitt generelt tynnere de senere år, men det er vanskelig å trekke bastante konklusjoner om dette ut fra de foreliggende data. I 1957 var grensen for 15 promille sjøvann nede på hele 5 meters dyp store deler av året (figur 6). Så dypt har denne grensen ikke vært observert senere, men om høsten både i 1991 og 1992 var den nede på rundt 4 meter (Bratbakk & Thingstad 1994).

Skillet mellom oksygenholdig overflatevann og dypvann lå helt nede på 5 - 7 meters dyp i periodene 1956-57 og 1975-76 (figur 6). Senere har den ikke vært observert dypere enn ca. 4 meter.

Skillet mellom oksygenholdig overflatevann og dypvann lå helt nede på 5 - 7 meters dyp i periodene 1956-57 og 1975-76 (figur 6). Senere har den ikke vært observert dypere enn ca. 4 meter.

Tykkelsen av ferskvannslaget vil avhenge av flere forhold,- og særlig betydning har selvsagt omfanget av



ferskvannstilrenningen til Sælenvatnet og muligheten vannet har for å renne videre til Nordåsvannet. I perioder med stor tilrenning vil ikke utløpet kunne svelge unna, slik at vannet stuves opp i innsjøen. I perioder med liten eller ingen tilrenning, vil saltholdigheten nær overflaten kunne komme opp i over 10 promille, og laget vil være svært tynt.

Tilrenningen til Sælenvatn er blitt redusert de siste 30 årene, først ved utbygging av Fyllingsdalen på 60-tallet da deler av overflateavrenningen ble lagt i rør og ledet vekk fra vassdraget. Dette ble forsterket ved gjennomføring av kloakksaneringsarbeidet på 80-tallet, da kloakken og deler av overflateavrenningen ble ledet til Knappen kloakkrenseanlegg. De siste kloakktilførslene til Sælenvatnet ble sanert i 1989.

I denne tidsperioden er det ikke foretatt noen endringer av utløpskanalen som skulle tilsi at forutsetningene for vannutskiftingen i Sælenvatnet er endret. Begrensningen i kanalens kapasitet synes å ligge ved selve utløpet fra Sælenvatnet, der kanalen er på det grunneste og smaleste. Lenger ute i kanalen er det på 80-tallet gjennomført en del endringer i forbindelse med framføringen av kloakktunnelen fra Bønes til Knappen renseanlegg, men dette anses ikke for å ha gitt vesentlig endring av vannutskiftingsmønsteret i Sælenvatnet.

## **UTSKIFTING AV DYPVANNET**

Dypvannet i Sælenvatnet skiftes aldri fullstendig ut, men det forekommer sannsynligvis bortimot årlige betydelige tilførsler av saltere vann til dypvannet om vinteren. Grunnen til at en aldri vil oppnå en fullstendig utskifting av dypvannet er rett og slett utløpskanalens manglende kapasitet til å bringe inn store nok vannmengder i de perioder saltholdigheten i overflaten av Nordåsvatnet er tilstrekkelig høy.

Det er kun foretatt enkle observasjoner av vannføring i utløpskanalen. Pål Pettersen i Løvteitneset Vel observerte at det i mai måned et par år tilbake flødde inn sjøvann omtrent to timer hver gang,- altså fire timer i døgnet, mens det strømmet ut vann i kanalen 16 timer i døgnet. De resterende fire timer var det liten netto transport av vann noen av veiene. Strømhastigheten varierte også, slik at det samlet ble tilført rundt 2.000 m<sup>3</sup> til vannet, mens det rant ut omtrent 40.000 m<sup>3</sup> hvert døgn i denne perioden. Disse forholdene vil variere mye med graden av ferskvannstilrenning til Sælenvatnet, og i særlig nedbørrike perioder vil det neppe renne inn vann fra Nordåsvatnet i det hele tatt.

I perioden 1973 - 1977 var det hele tiden rundt 20 promille saltvann under 6 meters dyp. Vinteren 1977 kom det også inn en del enda saltere vann med 21 promille. Dette medførte en reduksjon av sulfidkonsentrasjonene i dypvannet i perioden etter innstrømmingen (Bratbakk & Thingstad 1994). Tilførsler av salt dypvann forkom også sannsynligvis i moderate mengder hver av vintrene 1973, 1975 og 1976, fordi det ved alle disse tidspunktene ble observert svake reduksjoner i sulfidkonsentrasjonene i dypvannet. Tilførslene av salt vann skjedde i denne perioden altså i løpet av årets tre første måneder.

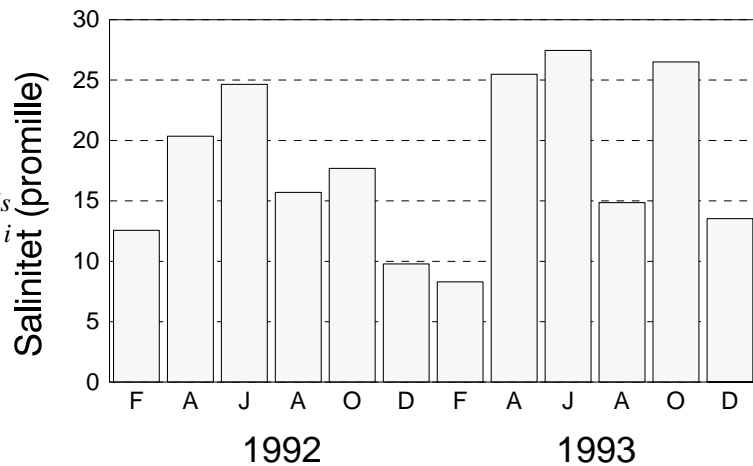
Basert kun på de årlige høstmålingene fra perioden 1987 - 1993 er det,- naturlig nok, ikke mulig å observere kortvarige perioder med lavere sulfidkonsentrasjoner vinterstid. Saltholdigheten i dypvannet var fram til og med høsten 1989 rundt og over 20 promille,- slik som i perioden 1973-1977. I perioden fra 1990 og fram til og med høsten 1992 ble saltholdigheten i dypvannet imidlertid redusert til rundt 16 promille. Denne reduksjonen tyder på at det i disse tre årene ikke forekom særlig store tilførsler av saltvann til dypvannet. Saltholdigheten i dypvannet vil i perioder uten fornyende tilførsler gradvis avta fordi salt diffunderer opp i brakkvannslaget og skylles ut av innsjøen.

Høsten 1993 var saltholdigheten i dypvannet imidlertid kommet opp i 18 promille igjen, noe som kan tyde på at en har hatt noe tilførsler i løpet av 1993,- sannsynligvis om høsten fordi ferskvannslaget da var ekstremt tynt (Hobæk mfl. 1994). Når saltholdigheten i dypvannet er blitt såpass lav, vil innstrømming av saltvann til dypvannet lettere kunne skje, og vinteren 1993/94 forekom det en ny stor tilførsel av saltvann til dypvannet. Også vintrene 1976/77 og 1988/89 var det slike store tilførsler av saltvann, og saltholdigheten kom opp i over 22 promille.



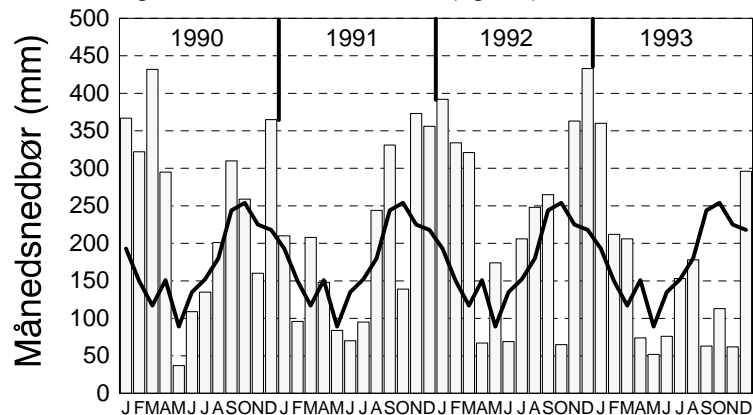
Tilførsler av friskt sjøvann til dypvannet skjer altså ikke årlig i Sælenvatnet. Dette henger sammen med flere forhold, der saltholdighet i det innstrømmende vannet er særlig viktig. Dersom dette ikke har en tetthet som er større eller lik det eksisterende dypvannet, vil det ikke kunne blandes ned dit. Målinger av saltholdighet i Nordåsvatnets ytre basseng er foretatt hver annen måned de siste årene (figur 7), og viser at saltholdigheten i overflaten de to siste årene var høyest i perioden april til juni. Høsten 1993 var spesiell, med lite nedbør og dermed liten ferskvannstilrenning og høy saltholdighet i overflaten av Nordåsvatnet.

*FIGUR 7: Saltholdigheten i overflaten i Nordåsvatnet utenfor Sælenvatnet i 1992 og 1993. Målingene er fra Byfjordundersøkelsene i Bergen, og dels hentet fra Johannessen mfl. (1993) og dels stilt til rådighet av IFM ved Universitetet i Bergen.*



På den annen side vil mengden av innstrømmende vann fra Nordåsvannet være avhengig av vannstand utenfor og vannstanden inne i selve Sælenvatnet. I perioder med stor ferskvannstilrenning til Sælenvatnet, vil vannstanden kortvarig kunne heves noe fordi utløpskanalen ikke greier å svelge unna. Da vil en få mindre eller ikke tilførsel av saltvann inn når det flør. Den manglende tilførselen av saltvann til Sælenvatnets dypvann i årene 1990-1993 skyldes etter all sannsynlighet at en disse vintrene hadde vesentlig mer nedbør enn normalt (figur 8).

*FIGUR 8: Månedsnedbør i Bergen ved Florida i perioden fra 1991 til 1993 (søyler) sammenlignet med nedbørnormalen (strek). Kilde: Norsk meteorologisk institutt.*





## VURDERING

Sælenvatnet har et tynnere ferskvannslag oppå det råtne saltvannslaget enn de fleste lignende poller og saltvannspåvirkete innsjøer på Vestlandet. Dette gjør at det er større fare for utlufting av sulfidgass. Problemene med sulfidlukkt fra Sælenvatnet skjer nesten utelukkende under perioder med sterk vind, og dette skyldes både at ferskvannslaget skyves delvis til side og at vinden rører om vannet slik at noe av det sulfidholdige bunnvannet virvles opp til overflaten (Kambestad 1989).

Mengden gass som slippes ut fra innsjøen synes å være avhengig av tykkelsen på ferskvannslaget. Kun i perioder når dette laget har vært særlig tynt har det forekommet klager om betydelig ubehag blant beboerne i nærheten. Tykkelsen på ferskvannslaget vil i hovedsak være styrt av mengden ferskvannstilrenning. Etter perioder med lite nedbør vil det derfor være større fare for problemer med utlufting av hydrogensulfid.

Det er vanskelig å bedømme om situasjonen er blitt generelt verre i Sælenvatnet de senere år, dvs. at ferskvannslaget er blitt tynnere. Overgangen mellom sulfidholdig og oksygenrikt vann var gjennomgående minst et par meter dypere i 1950- og i 1970-årene enn de var ved målinger utført de siste to tiår. Perioder med tynt ferskvannslag og store utluftinger av sulfid har imidlertid forekommet fra tid til annen i hele dette århundret, og det er lite sannsynlig at omfanget eller hyppigheten av disse har særlig sammenheng med bruk av innsjøen som kloakkresipient. Det er imidlertid mulig at ferskvannslaget er blitt redusert noe på grunn av fraføring av en del av tilrenningen til Sælenvatnet i forbindelse med utbygging og kloakksaneringen i området. Bruk av en del av den naturlige tilrenningen til drikkevannsformål kan også ha hatt en slik innvirkning, men dette er nå opphørt. Det foreligger imidlertid ikke data som gjør det mulig å beregne omfanget av disse faktorene.

Tilstanden i Sælenvatnet sommeren og høsten 1993 var uvanlig, med et svært tynt ferskvannslag på under en meters tykkelse (Hobæk mfl. 1994). Tilsvarende forhold har en imidlertid også observert tidligere, både vinteren 1976/77 og 1988/89 (Bratbakk & Thingstad 1994). Under begge de periodene opplevde man utlufting av hydrogensulfid til omgivelsene. Eldre beboere i området kan også huske en slik utlufting for nærmere 80 år siden. Fenomenet er således ikke av ny dato.

Under perioder med utlufting av hydrogensulfid fra Sælenvatnet de senere år har ferskvannslaget alltid vært ekstra tynt, og det har samtidig vært en innstrømming av salt vann til dypvannet. Dette skjer vanligvis seint på høsten og utover nyåret, da det ofte er mye vind og perioder med springflo.

Bratbakk & Thingstad (1994) hevder at ferskvannslaget er tynnere i perioder med stor innstrømming av saltvann til dypvannet, fordi dette innstrømmende vannet da presser ut ferskvannet. Forklaringen kan imidlertid vel så sannsynlig være at saltvannet strømmer inn i Sælenvatnet i perioder *fordi* ferskvannslaget er tynt og høydeforskjellen mellom sjø og innsjø da er liten. I år med mye vinternedbør, og derfor tykkere "ferskvannslag", har det således ikke forekommet omfattende tilførsler av sjøvann til dypvannet i Sælenvatnet. Det gjelder årene 1990 -1992 (Bratbakk & Thingstad 1994).

Uansett årsak til tynt ferskvannslag er faren for utlufting av hydrogensulfid nært knyttet til tilrenningen av ferskvann og tykkelsen på dette laget. Den umiddelbare faren for ubehagelige eller helsefarlige forhold for beboerne i området vil derfor langt på vei kunne forutsies ved enkel overvåking. Dersom ferskvannslaget er særlig tynt bør en være forberedt på hydrogensulfidgass i omgivelsene til Sælenvatnet under og etter perioder med sterk vind.



## MULIGE TILTAK

Det er i utgangspunktet fire hovedtyper av tiltak som kan settes inn for å redusere eller forhindre utlufting av hydrogensulfid fra Sælenvatnet:

- Sperre tilførsel av saltvann og omdanne Sælenvatnet til et rent ferskvann.
- Øke utskiftingsraten av bunnvann ved å blande inn ferskvann.
- Fjerne sulfid ved tilførsel av luft.
- Øke ferskvannstilrenningen.

Valg av løsning vil i hovedsak bero på økonomiske forhold som blant annet vil være en avveining mellom engangskostnader og vedlikeholdskostnader, hvilke begrensninger som vil gjøre seg gjeldende for inngrep i utløpskanalen, samt hvor mye ferskvann en har mulighet for å tilføre Sælenvatnet.

### OMDANNE SÆLENVATNET TIL EN FERSKVANNSSINNSJØ

Dette har vært utredet tidligere (Kambestad 1989). Ved å hindre saltvannsinnstrømning og fjerne det eksisterende bunnvannet via uttappingssslange fra bunnen av, vil en oppnå å omgjøre Sælenvatnet til en vanlig ferskvannssinnsjø uten sulfidproblemer. Dette vil utvilsomt være den mest effektive og beste løsningen på lang sikt. Det er imidlertid foreløpig en rekke uavklarte problemer med en slik løsning:

- store engangskostnader
- fare for økt vannstand i flomperioder
- praktiske og juridiske problemer vedrørende stenging av kanalen
- miljømessige konsekvenser ved utslipp av det eksisterende, sulfidholdige bunnvannet til annen resipient

Ingen av de nevnte problemene synes uløselige, men denne tiltakstypen har ikke vært nærmere utredet de senere år. Løsningen med å tappe ut bunnvannet via Knappen kloakkrensaneanlegg (Kambestad 1989) synes imidlertid å være uaktuell.

### INNBLANDING AV FERSKVANN

Dersom en kan sørge for at det alltid er oksygen i bunnvannet, vil en unngå sulfidproduksjon. En måte å gjøre dette på er å sørge for at bunnvannet skiftes ut hyppig nok. Ved å redusere tettheten av bunnvannet med innblanding av ferskvann, vil det saltvannet som strømmer inn ved flo sjø lettere kunne bytte plass med bunnvannet i Sælenvatnet.

Imidlertid har utløpskanalen i Sælenvatnet så liten kapasitet for innstrømmende saltvann at det er sannsynlig at bunnvannet ikke vil bli skiftet ut hyppig nok til å unngå sulfiddannelse. Dersom det ikke samtidig gjennomføres en senkning av bunnen i kanalen, må en nøye seg med å skifte ut deler av bunnvannet. Ved å blande inn ferskvann i laget ned til 10 - 15 meters dyp, er det håp om at en klarer å holde vannvolumet over dette dypet oksygenrikt. Da må en leve med at bunnvannet forblir sulfidholdig, men dette vil ikke utgjøre noe vesentlig problem for beboerne i området. Ved en avstand ned til det råtne vannlaget på rundt 15 meter vil det ikke eller ihvertfall svært sjelden forekomme kontakt mellom sulfidholdig vann og overflaten av Sælenvatnet. I Movatnet i Norheimsund er det en tilsvarende avstand ned til bunnvannet (Kambestad og Johnsen 1989), og der er det ikke eller svært lite problemer med utlufting av hydrogensulfid.

Ved tilførsel av ferskvann vil en kunne risikere betydelig omrøring av vannmassene og utlufting av hydrogensulfid når bunnvannet blir skiftet ut med innstrømmende sjøvann. Det er derfor viktig å blande inn ferskvann gradvis, ved å begynne i den øverste delen av det sulfidholdige laget og senke tilførselslangen for ferskvann ettersom vannet i det aktuelle laget blir oksygenholdig. På denne måten vil en også over lengre tid få erfaring med hvor dypt en kan holde det sulfidholdige laget med denne metoden.





Faren for en stor, ukontrollert utlufting av hydrogensulfid i startfasen av et slikt tiltak med ferskvannstilførsel kan elimineres dersom man på forhånd fjerner den sulfiden som er i det aktuelle vannvolumet. Dette kan gjøres ved for eksempel kjemisk felling eller tilførsel av luft.

Tilførsler av ferskvann til bunnvannet vil føre til at en del næringsrikt vann bringes opp til overflatelaget. På den annen side vil avstanden ned til det ekstremt næringsrike bunnvannet i Sælenvatnet øke ved dette tiltaket. En må likevel regne med økt algevekst i perioder ved gjennomføring av dette tiltaket.

### **TILFØRSEL AV LUFT**

Den sulfiden som er i Sælenvatnet nå kan fjernes ved tilførsler av oksygen. Det finnes en rekke metoder å tilføre dette på, men hovedprinsippet er at vannmassene tilføres små luftbobler, og at dette fører til at sulfiden felles ut eller omdannes til sulfat. Ved den situasjon som var i Sælenvatnet 16. februar 1994, trengs det teoretisk å tilføres 400 tonn oksygen for å oksygenere all sulfid og bringe oksygenkonsentrasjonen opp til 10 mg/l. Den viktigste tilførselen av oksygen ved en slik metode er imidlertid vanligvis at bunnvannet bringes med luftstrømmen opp til overflaten og får opptak av oksygen derfra og at en del sulfid samtidig blir luftet ut.

Effektive lufttilførselssystemer vil nok kunne fjerne sulfiden i Sælenvatnet, men en må være svært oppmerksom på faren for en massiv, ukontrollert utlufting av sulfid som resultat av at bunnvannet bringes opp til overflaten. Det er viktig å være klar over at de sulfidmengdene som har sluppet ut fra Sælenvatnet i de periodene når lokalbefolkningen har vært plaget som verst, kun utgjør en liten del av den totale mengde i Sælenvatnet, og at en omfattende kunstig utlufting kan få katastrofale følger.

Dessuten kan en slik kunstig frembrakt omrøring av vannmassene forårsake betydelig fiskedød. Sælensbekken, som renner inn i Sælenvatnet fra nordøst (figur 1), er sannsynligvis den viktigste gytebekken til sjørretene som oppholder seg i Nordåsvatnet om sommeren (Per Jakobsen, Universitetet i Bergen, pers.med.). Dette er en bestand som er svært attraktiv for sportsfiske.

Ved et slikt tiltak basert på lufttilførsler er det derfor svært viktig å overvåke forholdene kontinuerlig den første tiden, og ha mulighet til å kunne slå av luftingen på kort varsel om nødvendig. Det kan vise seg nødvendig å gjennomføre en slik lufttilførsel gradvis, ved å kun behandle det øverste laget av dypvannet først og så gradvis senke lufttilførselen. Kjemisk felling av sulfiden med jernsalt på forhånd eller i forbindelse med lufttilførselen kan også redusere faren for store utslipp av sulfidgasser.

Den viktigste forskjellen mellom lufttilførsel og de to forannevnte tiltak er at lufttilførsel må fortsette hyppig eller kontinuerlig med påfølgende driftskostnader og oppfølging dersom det skal ha varig virkning. Det vil i alle tilfelle kunne være et godt strakstiltak dersom forholdene i Sælenvatnet tilsier at det er umiddelbar fare for omfattende sulfidutlufting. Det kan også egne seg som forberedende tiltak til begge de to første tiltakstypene som er skissert. En må imidlertid regne med omtrent samme virkning på algeveksten ved dette tiltaket som det som ble skissert ved det forrige, om innblanding av ferskvann.

### **ØKE FERSKVANNSTILRENNINGEN**

Faren for sulfidutlufting fra Sælenvatnet er nært knyttet til ferskvannstilrenningen. Ethvert tiltak som sørger for at mer ferskvann renner til vil derfor ha positiv virkning i så måte. Dersom det for eksempel er rom for å separere mer av arealavrenningen fra det fraførte kloakkvannet i området, bør dette vurderes gjennomført.



## LITTERATURHENVISNINGER

BRATBAKK, G. & T.F. THINGSTAD 1994.

Fysisk-kjemiske målinger i Sælenvatnet.

En oppsummering av data fra undersøkelser utført ved Institutt for mikrobiologi, Universitetet i Bergen.

Unummerert rapport, 15 sider.

BØRSHEIM, K.Y. 1979.

Karbonsyklus og svovelsyklus i Sælenvatnet.

Hovedfagsoppgave ved Institutt for mikrobiologi og plantefysiologi ved Universitetet i Bergen.

HOBÆK, A., E.A. LINDSTRØM & K.J. AANES 1994.

Overvåking av ferskvannsresipienter i Bergen kommune i 1993.

Gravdals-, Fyllingsdals-, Hauglandsdals- og Kalandsvassdragene.

NIVA-rapport nr, 3026, 119 sider.

INDREBØ, G. 1976.

Mikrobiell-økologiske undersøkelser i Sælenvatnet, et permanent lagdelt brakkvannssystem.

Hovedfagsoppgave ved Institutt for mikrobiologi og plantefysiologi ved Universitetet i Bergen.

KAMBESTAD, A. 1989.

Prosjektbeskrivelse: Prøveutpumping av bunnvann fra Sælenvannet.

Rådgivende Biologer, rapport nr. 8, 16 sider.

KAMBESTAD, A. & G.H.JOHNSEN 1989.

Tilstandsvurdering av Steinsdalsvassdraget i Kvam.

Rådgivende Biologer, rapport nr. 18, 28 sider.

SOLEIM, P.A. 1958.

Salt- og temperaturmålinger i Sælenvatnet 1956 - 1958, utført av konservator Peder A. Soleim, Selskapet for de norske Fiskeriers Fremme.

Urapporterte tabeller over fire sider.