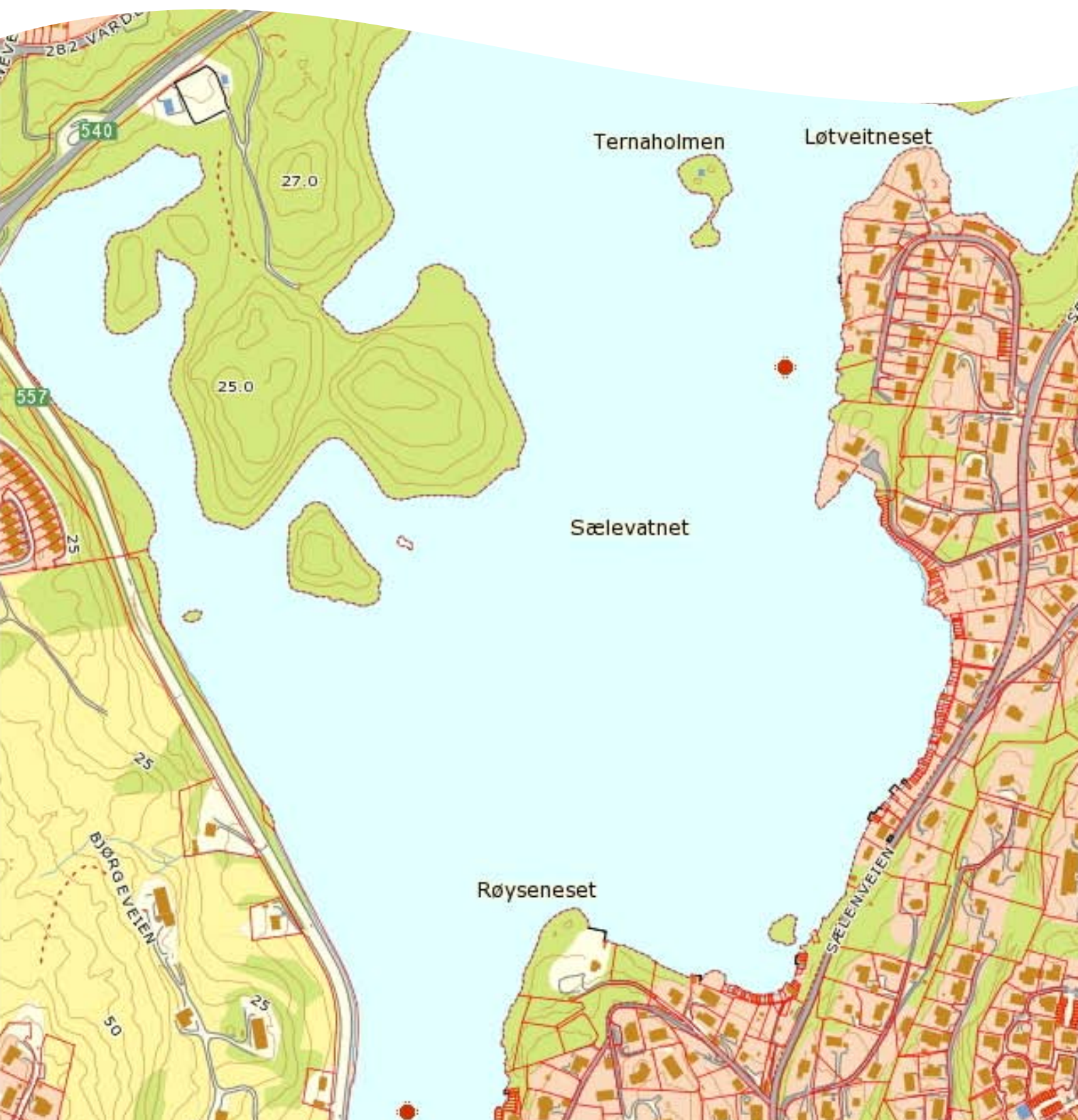


# Overvåking av hydrogensulfid i Sælevatnet, Bergen kommune, 2010



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Overvåking av hydrogensulfid i Sælenvatnet, Bergen kommune, 2010	Løpenr. (for bestilling) 5970-2010	Dato 15.4.2010
	Prosjektnr. Undernr. 10159	Sider Pris 22
Forfatter(e) Torbjørn M. Johnsen, Kjersti Lundmark Daae og Evgeny Yakushev	Fagområde Overvåking	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bergen kommune, Vann- og avløpsetaten, Postboks 7700, 5020 Bergen	Oppdragsreferanse Hogne Hjelle
---	-----------------------------------

**Sammendrag**

Målinger av hydrografiske og kjemiske parametere og gjennomgang av meteorologiske data har i perioden 23. februar til 18. mars 2010 vært utført i Sælenvatnet for å beskrive tilstanden før tiltak iverksettes. Lite nedbør i perioden fra midten av desember til midten av januar ga liten ferskvannstilførsel via Sælenelva og resulterte i fjerning av det øvre brakkvannslaget. Stille og kaldt vær ga isdannelse, og nedkjølt og saltere overflatevann økte dette vannets tetthet og la grunnlaget for en omrøring. Fjerningen av det øvre brakkvannslaget og en sannsynlig omrøring har ført til at vann med høyt hydrogensulfidinnhold har blitt brakt opp til overflaten med avdamping av hydrogensulfid til luften som resultat. Innstrømming av salt og kaldt og dermed tungt vann fra Nordåsvannet har sannsynligvis også ført til at lettere vann med høy konsentrasjon av hydrogensulfid har blitt presset opp mot overflaten og forlenget perioden med lukt av hydrogensulfid rundt Sælenvatnet. Ved første måling 23. februar 2010 ble det målt hydrogensulfid i vannmassene helt opp til overflaten. Etter hvert dannet det seg et stadig tykkere og oksygenholdig brakkvannslag nær overflaten. Økende tetthet nedover i vannmassene i løpet av måleperioden har ført til en stabilisering av vannsøylen og en innestenging av det hydrogensulfidholdige vannet slik at luktproblemene har forsvunnet.

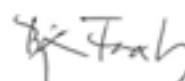
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sælenvatnet	1. Sælenvatnet
2. Overvåking	2. Monitoring
3. Hydrogensulfid	3. Hydrogen sulphide
4. Vannutskiftning	4. Water inflow



Torbjørn M. Johnsen  
Prosjektleder



Mats Walday  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
Seniorrådgiver

# **Overvåking av hydrogensulfid**

**i**

**Sælenvatnet, Bergen kommune, 2010**

## Forord

Denne rapporten er utarbeidet for Vann- og avløpsetaten i Bergen kommune etter at Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Vestlandsavdelingen våren 2010 fikk i oppdrag å overvåke konsentrasjonen av hydrogensulfid i Sælenvatnet over en gitt periode.

Feltarbeidet har vært ledet av Kjersti Lundmark Daae med hjelp av Anders Hobæk, Henny Jokiel Knudsen, Torbjørn M. Johnsen, alle fra NIVAs Vestlandsavdeling. Fra Bergen kommune har Øyvind Hansen deltatt under alle feltinnsamlingene.

Rapporten er utarbeidet av Kjersti Lundmark Daae og Torbjørn M. Johnsen som også har vært prosjektleder.

Bergen kommunes kontaktperson har vært Hogne Hjelle.

Bergen, 15. april 2010

*Torbjørn M. Johnsen*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Områdebeskrivelse	7
1.3 Tilstandsbeskrivelse	7
1.4 Måleparametre	8
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>9</b>
2.1 Innsamling av data	9
2.2 Hydrografiske profiler	9
2.3 Oksygen/hydrogensulfid og totalt svovel.	9
<b>3. Resultater og diskusjon</b>	<b>10</b>
3.1 Meteorologiske forhold	10
3.2 Hydrografi	13
3.3 Konsentrasjon av hydrogensulfid/oksygen og totalt svovel	16
<b>4. Tidligere undersøkelser i Sælenvatnet</b>	<b>18</b>
<b>5. Sluttkommentarer</b>	<b>21</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>22</b>

---

## Sammendrag

I perioden fra 23. februar til 18. mars 2010 har det i Sælenvatnet vært gjennomført 4 målinger av hydrografi og innsamlinger av vannprøver for analyse av oksygen/hydrogensulfid og totalt svovel. Hensikten med undersøkelsene var å beskrive tilstanden i Sælenvatnet før tiltak mot framtidig utlekking av hydrogensulfid iverksettes.

På grunnlag av målingene synes forklaringen på hydrogensulfidproblemene i Sælenvatnet vinteren 2010 å ha sammenheng med flere forhold. Lite nedbør og minusgrader i perioden fra midten av desember til midten av januar førte til svært liten tilførsel av ferskvann via Sælenelva og grunnlaget for opprettholdelsen av det øvre, stabiliserende brakkvannslaget forsvant. Kaldt og stille vær medførte også isdannelse på Sælenvatnet. Nedkjøling og saltere overflatevann øker vannets densitet (tetthet) og danner grunnlag for omrøring. Fjerningen av det øvre brakkvannslaget og en sannsynlig omrøring har ført til at vann med høyt hydrogensulfidinnhold har blitt brakt opp til overflaten og forårsaket avdamping av hydrogensulfid til luften. Innstrømninger fra Nordåsvannet av salt og kaldt, og dermed tungt vann, vil presse lettere vannmasser i Sælenvatnet opp mot overflaten, og slike innstrømminger vil da opprettholde tilførslen av vann med høy konsentrasjon av hydrogensulfid til overflaten og bidra til at problemene med relativt høye konsentrasjoner av hydrogensulfid i luften rundt Sælenvatnet vedvarer.

Målingene fra 23. februar viste hydrogensulfid helt opp til overflaten, men etter hvert dannet det seg et stadig tykkere oksygenholdig brakkvannslag. I samme periode økte vannets densitet under brakkvannslaget og stabiliserte vannsøylen slik at utvekslinger mellom de ulike vannlagene ikke skjer. Dermed stenges det hydrogensulfidholdige vannet nede og luktlagene forsvinner.

## Summary

Title: Monitoring of hydrogen sulphide in Sælenvatnet, Bergen municipality, 2010

Year: 2010

Author: Torbjørn M. Johnsen, Kjersti Lundmark Daae & Evgeny Yakushev

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5705-2

NIVA researchers measured the local hydrography and sampled water from four stations in Sælenvatnet from February 23rd to March 18th, 2010. The water samples were analyzed for oxygen, hydrogen sulfide and total sulfur contents. The purpose of the investigation was to describe the conditions in Sælenvatnet before remediation efforts began to prevent future hydrogen sulfide release.

The poor hydrogen-sulfide release conditions in the winter of 2010 appear to be related to several causes. Unseasonably low rainfall and freezing conditions from the middle of December to the middle of January resulted in limited supply of freshwater from the Sælen River, and this impeded the maintenance of the upper, stabilizing layer of brackish water in the lake. The cold and calm weather also caused an ice cover on Sælenvatnet. Cooling and higher-saline surface water equilized the density of the waters to initiate turnover of the water masses. The removal of the brackish surface layer with the apparent turnover of the water masses resulted in the surfacing of water with high concentrations of hydrogen sulfide and subsequent release of hydrogen sulfide into the air. Inflow of cold salty water from the adjacent Nordåsvatnet, i.e. water with higher density, enhanced the process by forcing the lower density and hydrogen sulfide laden water of Sælenvatnet to the surface. It is our interpretation that this inflow of water from Nordåsvatnet supported the lasting problems with elevated hydrogen sulfide concentrations in the air surrounding Sælenvatnet.

The measurements on the 23<sup>rd</sup> of February showed hydrogen sulfide in the surface water layer, but during the sampling period the brackish surface layer was reestablished. In the study period the density of the lower water masses increased and stabilized the water column, reducing and preventing the exchanges between the water layers in the lake. Thus, the hydrogen sulfide-containing water masses were again separated from the surface layers and the foul smelling hydrogen sulfide in the air disappeared.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Vinteren 2009/2010 var preget av uvanlig kaldt og tørt vær. Lave temperaturer, lite vann i Sælenelva og isdekke på Sælenvatnet som hindret oksygenutveksling mellom luften og overflatevannet, medførte at hydrogensulfidholdig vann kom helt opp til overflaten og avdunsting av hydrogensulfidgass ga store luktplager i området. Luktplagene startet i midten av januar 2010 (jfr. artikkel i Bergens Tidende 20.januar og på Bergen kommunes hjemmeside 21.januar). NIVA ble pga dette kontaktet av Vann- og avløpsetaten i Bergen kommune ved Hogne Hjelle for å gjennomføre en tidsbegrenset overvåking av forholdene i Sælenvatnet. Overvåkingen skulle danne grunnlag for beskrivelse av en førsituasjon før tiltak mot framtidig utlekking av hydrogensulfidgass ble igangsatt i Sælenvatnet.

## 1.2 Områdebeskrivelse

Sælenvatnet (**Figur 1**) ligger i Fyllingsdalen sør for Bergen og er en del av Fyllingsdalsvassdraget. Vannets har en maksimumsdybde på 26 m, beregnet overflateareal på ca 0,6 km<sup>2</sup> og et volum på ca 5,9 mill. m<sup>3</sup> (Golmen m.fl. 1995). I sør står vannet i forbindelse med Nordåsvannet via en smal og grunn kanal (dybde ca. 2 m).

I nordenden av vannet munner Sælenelva ut, og den er en viktig ferskvannskilde som store deler av tiden fører til at et 2-3 meter tykt brakkt overflatelag opprettholdes. Dette øvre brakkvannslaget med salinitet ofte mellom 2 og 10 ligger normalt som et stabilt lokk over de dypere vannmassene som er permanent anoksiske. Også bunnvannet har salinitet lavere enn 25 som gjør at også denne delen av vannet er å betrakte som brakkvann.

## 1.3 Tilstandsbeskrivelse

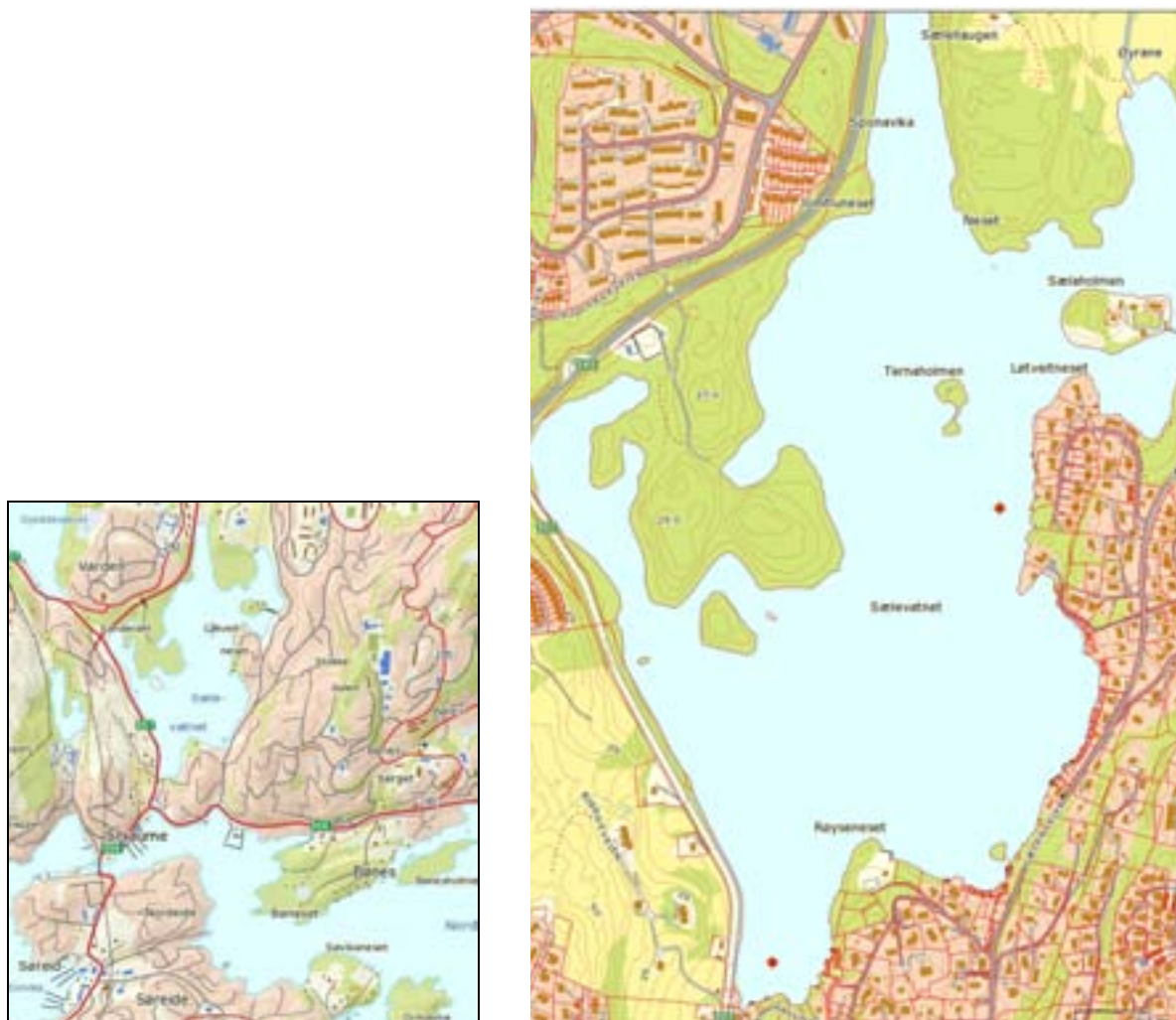
Sælenelva fører med seg betydelige mengder næringssalter som blander seg med næringsrikt sjøvann og gir grunnlag for en betydelig vekst av alger i det øvre brakke overflatevannet gjennom algenes vekstsesong. Elvevannet tilfører også Sælenvatnet mye organisk materiale. Når nedbrytningen av overskuddet av algeproduksjonen og tilført organisk materiale starter, skjer dette under forbruk av oksygen. I den nedre anoksiske delen av vannsøylen er det anaerobe bakterier som driver nedbrytningen. Bakteriene skaffer seg oksygen fra sulfat i sjøvannet (dissimilatorisk sulfatreduksjon) – en prosess som fører til produksjon av hydrogensulfid (Richards, 1965):



I forbindelse med tidligere overvåkinger og undersøkelser i Sælenvatnet (jfr. Johnsen & Lømsland 2000) er det vist at under ca 4-5 m dyp er vannet permanent anoksisk og inneholder høye konsentrasjoner av hydrogensulfid. I perioder med sterk vind fra sør kan det ferske overflatelaget stues opp i nordenden av Sælenvatnet og hydrogensulfidholdig dypvann vil kunne nå overflaten og gi luktproblemer. Andre årsaker til hydrogensulfid i overflaten kan være langvarige kuldeperioder med lite elveavrenning som medfører at tykkelsen på det øvre brakkvannslaget redusere betydelig. Dette kombinert med nedkjøling av vannmassene og isdannelse kan destabilisere den normalt stabile sjiktningen. Dermed kan en omrøring av vannmassene skje slik at vannmassene blandes og hydrogensulfidholdig vann når overflaten. Ved høyvann kan også vann med lav temperatur og høy saltholdighet presses inn gjennom kanalen, og hvis dette vannet er tyngre enn vannet i Sælenvatnet, vil det synke ned og presse hydrogensulfidholdig vann opp mot overflaten. Resultatet vil være at hydrogensulfid begynner å frigjøres fra vannet og beboere i området – særlig de som bor nær kanalen – vil tidvis kunne eksponeres for relativt høye konsentrasjoner av hydrogensulfidgass. Vinteren 2010



var plagene særlig ille med luktplager forårsaket av hydrogensulfidgass helt fra januar og til langt ut i mars.



**Figur 1.** Oversiktskart over Sælenvatnet i Fyllingsdalen, Bergen. I sør ser vi kanalen ut til Nordåsvannet like ved Straume. Sælenelva renner ut i vannet i nord ved Sælehaugen. Måleposisjonene er indikert med røde sirkler.

## 1.4 Måleparametre

I løpet av overvåkingsperioden ble det gjort profilmålinger av hydrografi (temperatur og salinitet). Det ble i tillegg tatt vannprøver på 8 dyp (0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 og 10 m). Disse prøvene ble analysert for oksygen/hydrogensulfid og totalt svovelinhold.

## 2. Materiale og metoder

### 2.1 Innsamling av data

Det ble foretatt ukentlige innsamlinger i 4 uker (23.februar, 2. mars, 12. mars og 18. mars) av hydrografiske data og prøver for kjemiske analyser. De to første prøvetakingene ble utført sørøst for Ternaholmen (**Figur 1**) fra ca 8-10 cm tykk is. Det var to personer ute på isen. En gummibåt ble dratt ut som sikring siden isen ikke var tilstrekkelig tykk til å betegnes som sikker. Den tredje målingen ble gjort fra båt like nord for kanalen mellom Sælenvatnet og Nordåsvannet (jfr. **Figur 1**) fordi utrygg is gjorde det umulig å nå posisjonen ved Ternaholmen. Den siste prøvetakingen kunne imidlertid utføres ved Ternaholmen da all isen var smeltet eller drevet bort.

### 2.2 Hydrografiske profiler

Hydrografiske data (temperatur og salinitet) ble målt ved hjelp av en nedsenkbar sonde av typen SAIV SD204. Spesifikasjonene til instrumentet er gitt i **Tabell 1**. Sonden logger data hvert sekund og ble derfor senket langsomt ned ( $< 0,5$  m/s) for å sikre detaljerte profiler. En oksygensensor ble festet på sonden til den siste prøvetakingen 18. mars, men pga. målefeil ble ikke oksygendataene logget. Det ble derfor tatt ny profil på samme posisjon dagen etter. Sammenlikning av hydrografiprofilene fra disse to dagene viste liten forskjell, og vi kan dermed anta at oksygendataene fra 19. mars er representative for forholdene da vannprøvene ble tatt den 18. mars.

**Tabell 1.** Egenskaper for hydrografiloggeren SAIV SD204.

Parameter	Rekkevidde	Oppløsning	Nøyaktighet	Responstid
Konduktivitet, C	0 - 70 mS/cm	0,01 mS/cm	$\pm 0,02$ mS/cm	
Salinitet (fra C)	0 - 40	0,01	$\pm 0,02$	
Temperatur, T	-2 - +40 °C	0,001 °C	$\pm 0,01$ °C	0,2 s
Trykk, P	500 m	0,01 dbar (m)	$\pm 0,01$ % FS	0,1 s
Oppløst oksygen, O	0 - 20 mg/l	0,01 mg/l	$\pm 0,2$ mg/l	

### 2.3 Oksygen/hydrogensulfid og totalt svovel.

Vannprøver for analyse av og totalt svovel ble tatt fra 8 dyp ved bruk av vannhenter . Prøvene til oksygen/hydrogensulfidanalyse ble tilsatt fikseringsvæsker for binding av gasser og klargjort for analyse etter Winklermetoden. Prøvene for analyse av totalt svovel ble tappet på plastflasker. Alle prøver ble analysert på NIVAs akkrediterte laboratorium i Oslo.

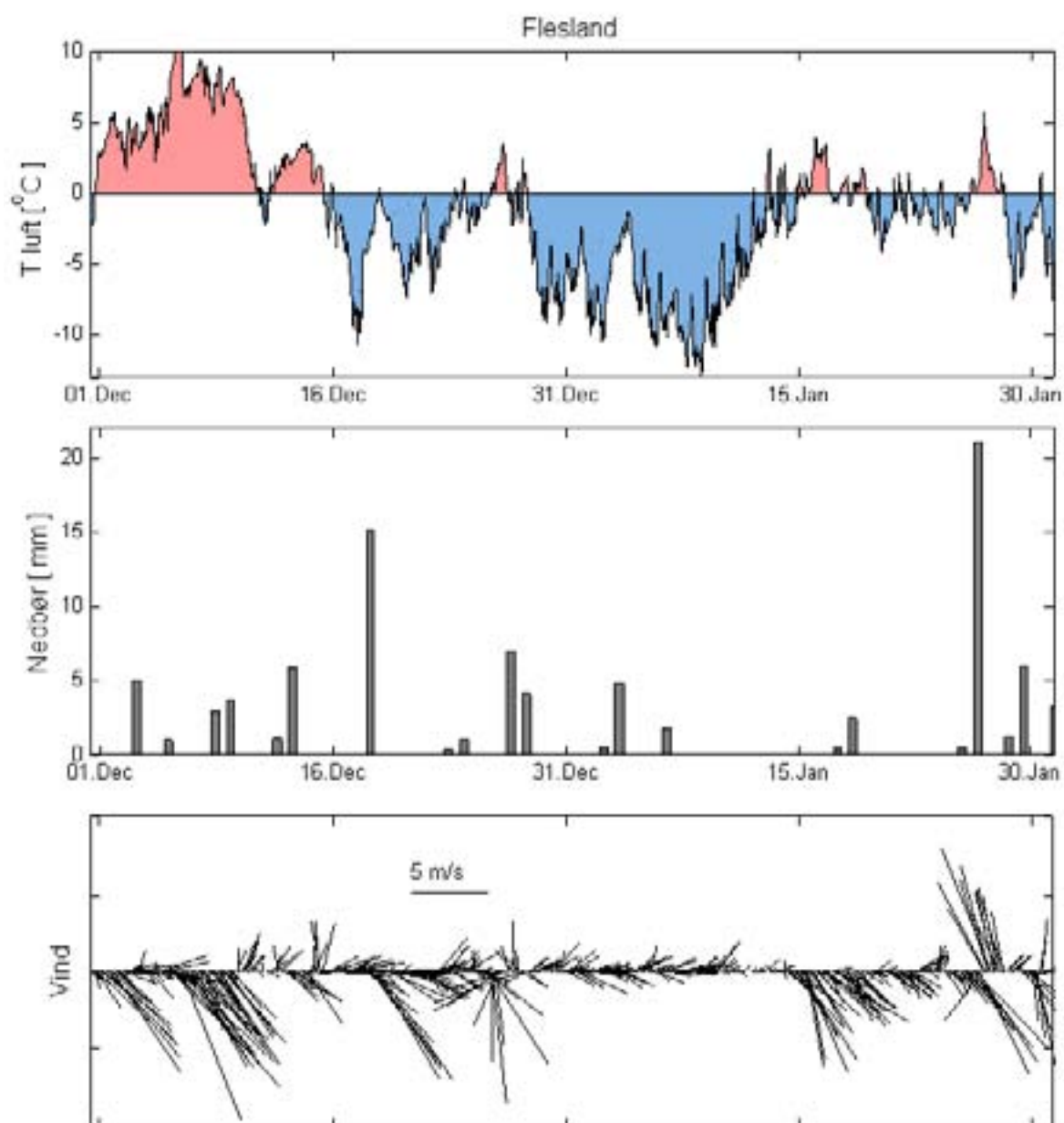
## 3. Resultater og diskusjon

### 3.1 Meteorologiske forhold

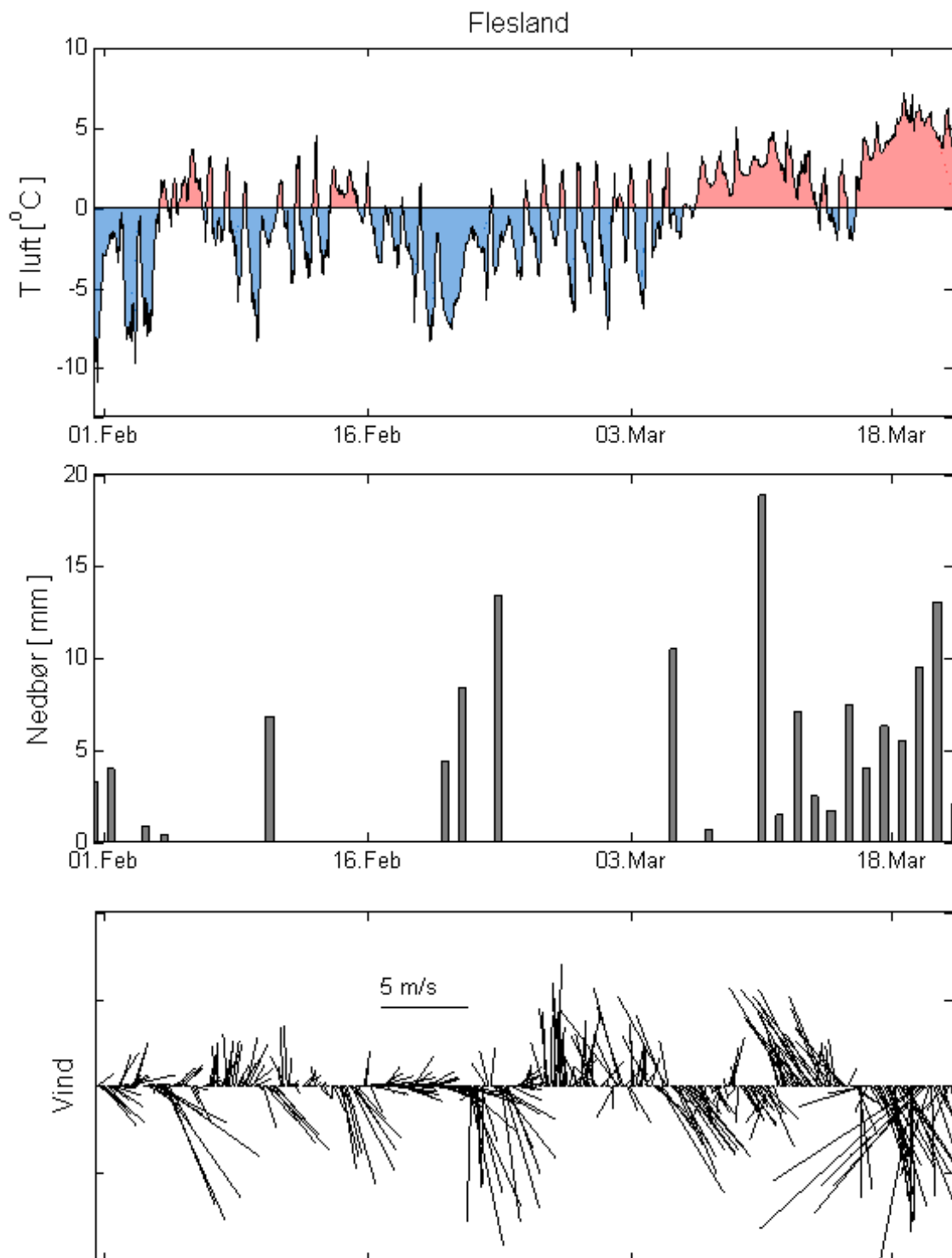
Meteorologiske data fra Meteorologisk Institutt's målestasjon ved Flesland i perioden januar-mars 2010 er hentet fra datatjenesten [eklima.no](http://eklima.no). Nedenfor vises resultatene for lufttemperatur, nedbør og vindstyrke med retning. Siden dataseriene dekker nesten fire måneder, er tidslinja i figurene delt i to slik at det blir lettere å lese resultatene. **Figur 2** dekker perioden desember 2009 til januar 2010, mens **Figur 3** dekker perioden februar-mars 2010.

En ser at tida fra ca 15. desember 2009 til 4. mars 2010 var dominert av kuldegrader. Det var spesielt kaldt i perioden mellom 15. desember og 15. januar (temperaturer ned til  $-13^{\circ}\text{C}$ ). I denne perioden var det generelt ganske svak vind ( $< 4\text{m/s}$  mesteparten av tiden) og lite eller ingen nedbør. Det var i denne perioden luktplagene i Sælenvatnet oppsto.

Fra 5. mars og ut resten av måneden var temperaturen stort sett over  $0^{\circ}\text{C}$ , og nedbøren økte betydelig. De to siste prøveinnsamlingene ble foretatt i denne perioden.



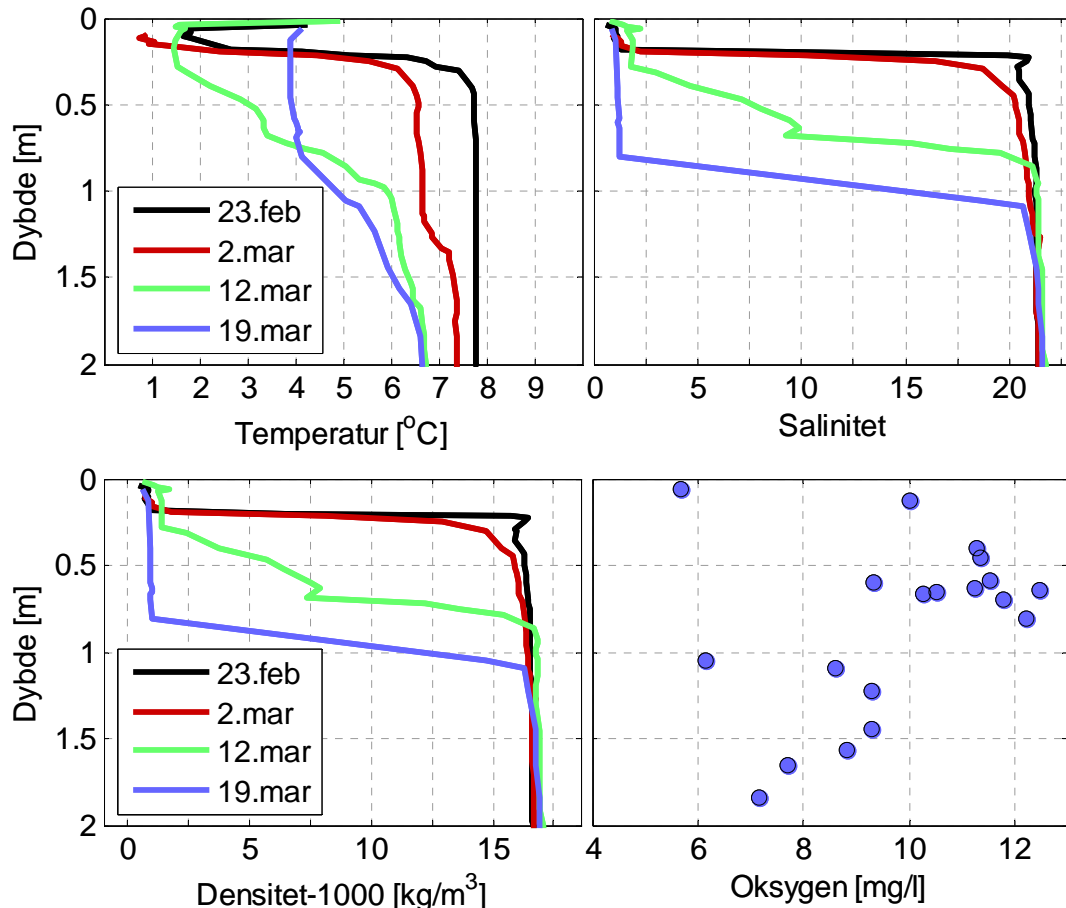
**Figur 2.** Temperatur (øverst) og vindstyrke med retning (nederst) i perioden desember 2009 til 1.februar 2010. Temperaturen over 0°C er angitt med rød farge, mens blått angir kuldegrader. Vinden er indikert med piler (streker) som gir både retning og styrke. Vinden er midlet over 6 timer. Data hentet fra eklimate.no.



**Figur 3.** Samme som over, men for perioden februar til mars 2010. Data hentet fra eklime.no.

### 3.2 Hydrografi

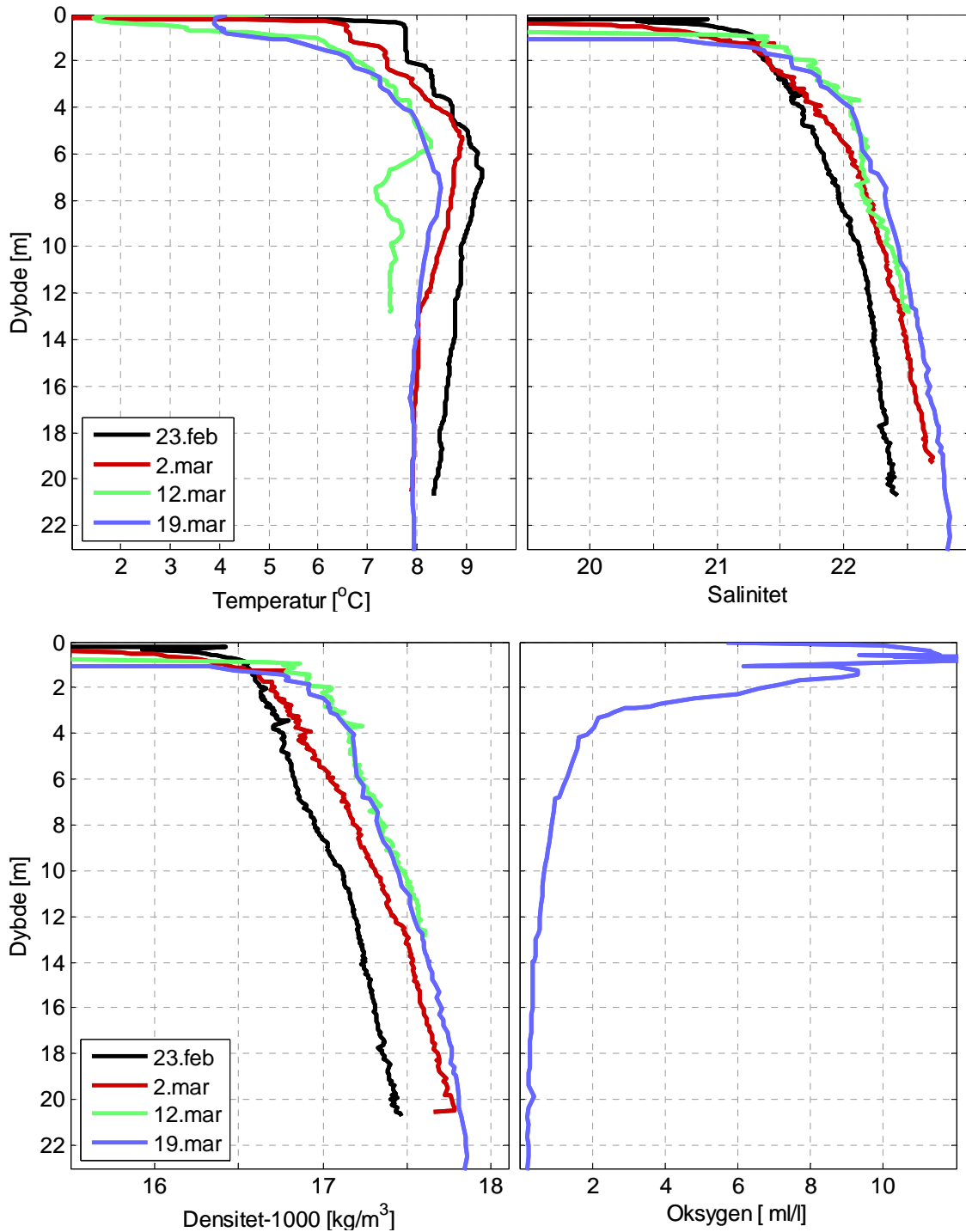
**Figur 4 - Figur 5** viser hydrografiske profiler fra Sælenvatnet i perioden 23. februar til 19. mars målt med SAIV SD204. **Figur 4** er konsentrert om overflatelaget og viser kun data ned til 2 m dyp, mens **Figur 5** viser data for hele vannsøylen. Det ferske overflatelaget er ca 0,2 m dypt de to første prøvedatoene. Den 12. mars var overflatelaget tyknet til ca 0,7 m, mens det var rett i underkant av 1 m ved siste prøvetaking 18. mars. Den gradvise økningen i tykkelsen på overflatelaget vises tydelig i konturplottet i **Figur 6**.



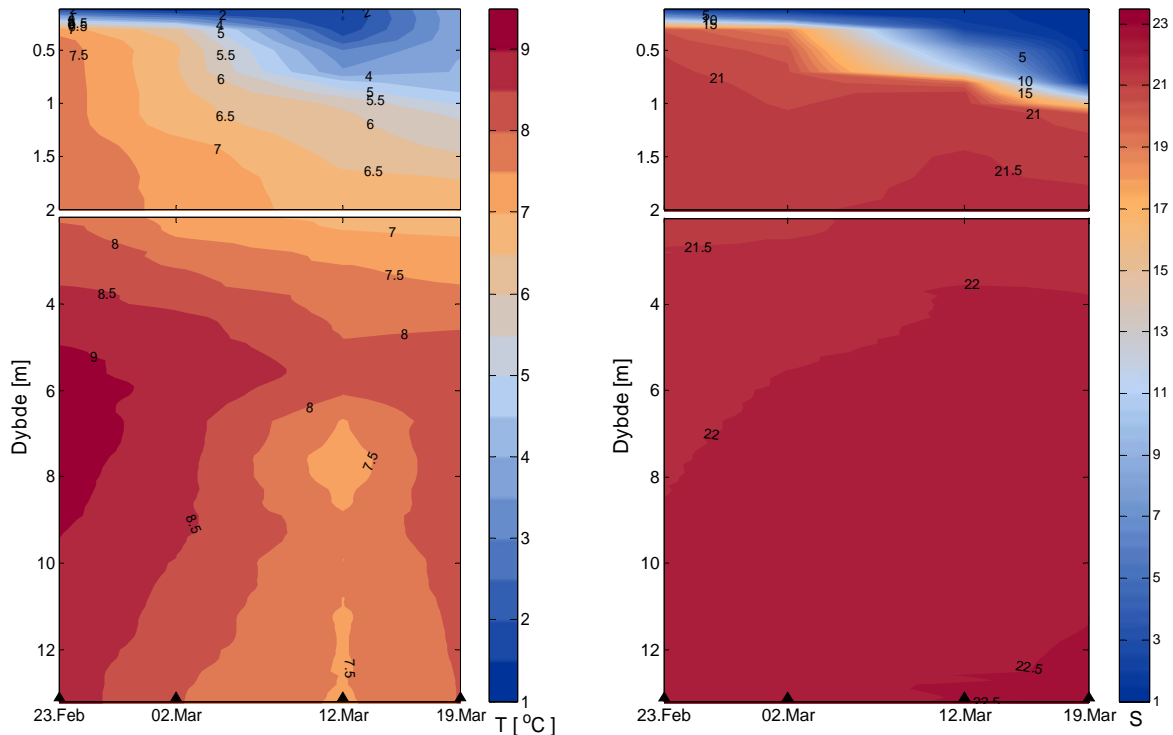
**Figur 4.** Temperatur, salinitet, densitet og oksygenkonsentrasjon i overflatelaget i Sælenvatnet 23. februar (svart), 2. mars (rødt), 12. mars (grønt) og 19. mars (blått). Oksygenverdiene er fra oksygensensor montert på SAIV SD204.

Temperaturprofilen fra 23. februar (svart linje i **Figur 5**) viser en tydelig trappetrinnstruktur i de øvre 6-7 meterne og tyder på en gradvis nedkjøling fra overflaten. Denne nedkjølingen har trolig bidratt til at det har vært en omrøring av vannmassene før målingene startet 23. februar. En annen mulig mekanisme for omrøring/blanding er sterk vind som driver vann inn fra Nordåsvannet. De meteorologiske forholdene viser svak vind i perioden før luktplagene startet. Dette styrker teorien om at det er den sterke nedkjølingen som har bidratt til omrøringen.

Oksygen målt med sensor i det øvre 2 m laget ga verdier som var sammenlignbare med Winkler-målinger (Winkler: 4,5 mg/l, sensor: 6-7 mg/l). Sensormålingene dypere ned i vannmassene var imidlertid feile fordi det ikke skulle vært målt oksygen under 2 m hvor Winkler-målingene gir hydrogensulfid (jfr. **Figur 5**).



**Figur 5.** Temperatur, salinitet, densitet og oksygenkonsentrasjon i Sælenvatnet 23. februar (svart), 2. mars (rødt), 12. mars (grønt) og 19. mars (blått). Oksygenmålingene er fra oksygensensor montert på SAIV SD204.



**Figur 6.** Isopletdiagram av temperatur (til venstre) og salinitet (til høyre). Fargeskalaene angir verdiene. Diagrammene viser bare data ned til 13 m dyp siden målingen tatt 12. mars nær utløpet av Sælenvatnet kun gikk til dette dypet.

Av **Figur 5** og **Figur 6** ser en at temperaturen synker i hele vannsøylen under 1 m fra 23. februar til 12. mars. Fra 12. -18. mars ser vi at temperaturen har sunket litt ned til 6 m, men har økt 0,5 – 1°C under 6 m dyp. Saliniteten viser en motsatt tendens. Den stiger fra 23. februar til 12. mars, men så synker den litt over ca. 6 m og stiger noe mer under 6 m. Den økte temperaturen og saliniteten under 6 m dyp kan tyde på en innstrømming av vann fra Nordåsvannet. Dette støttes av den observerte sterke sønnavinden i perioden (5-10 m/s (jfr. **Figur 3**)). Økt salinitet og økt temperatur har imidlertid ulik (motsatt) effekt på densiteten, og en ser at densiteten er omtrent den samme i hele vannsøylen for 12. og 18. mars. Det innstrømmende vannet vil dermed ikke bidra nevneverdig til endret sjiktning i Sælenvatnet.



### 3.3 Konsentrasjon av hydrogensulfid/oksygen og totalt svovel

I **Tabell 2** er analyseresultatene av konsentrasjoner av hydrogensulfid/oksygen og totalt svovel satt opp. Analysene viser at det 23. februar var hydrogensulfid helt opp til overflaten (jfr. **Figur 7**), dvs. helt opp til under isen som dekket Sælenvatnet på denne tiden. Da det ble boret hull i isen, kjentes det en sterk lukt av hydrogensulfid. 2. mars var det oksygen i vannmassene like under isen, sannsynligvis som et resultat av at primærproduksjonen var kommet i gang i det tynne, svært brakke overflatesjiktet. Likevel kunne svak lukt av hydrogensulfid kjennes av vannet som strømmet opp av hullet da det ble boret hull i isen.

Ved innsamlingene 12. og 18. mars var det lite lukt av hydrogensulfid å kjenne. Målingene disse datoene viste at det øvre brakkvannslaget tykkelse hadde økt (jfr. **Figur 4** og **Figur 6**), og målingen av prøven fra overflatelaget tatt 18. mars viste at vannet inneholdt oksygen. På 1 meters dyp avtok mengden hydrogensulfid gjennom hele måleperioden. Mengden totalt svovel holdet imidlertid relativt lik gjennom hele perioden.

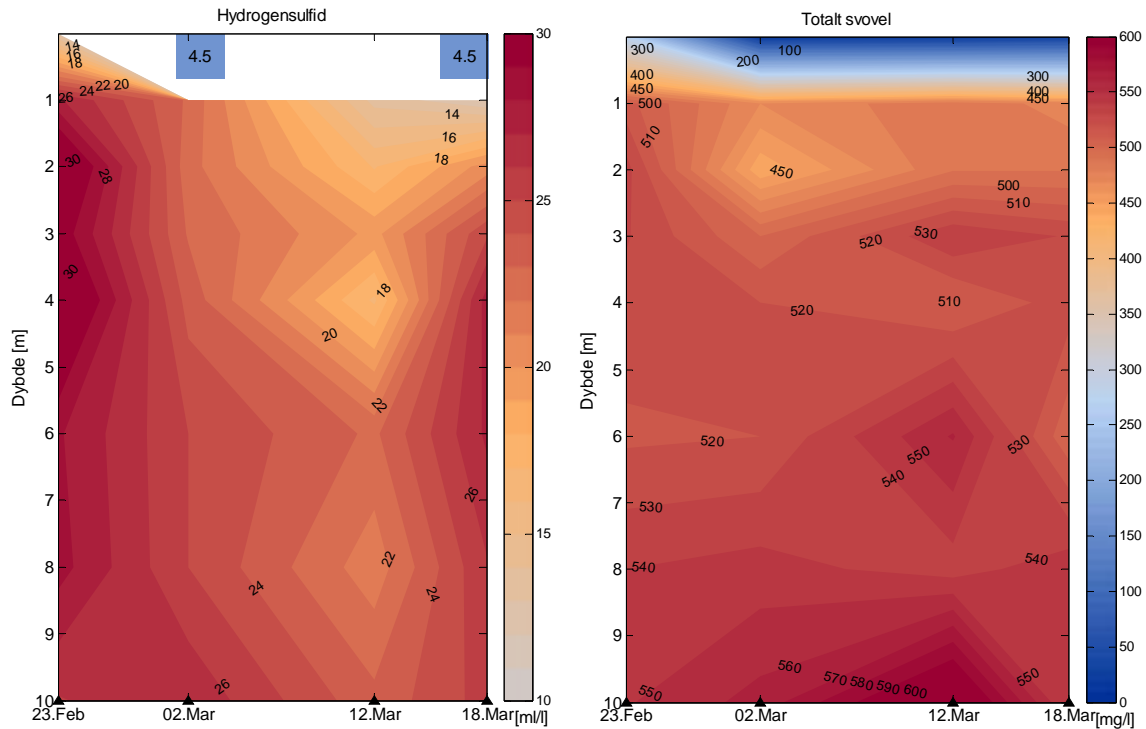
Målingene viser at hele vannsøylen inneholdt hydrogensulfid ved første måling 23. februar, men at det var etablert et tynt oksygenholdig overflatelag ved andre måletidspunkt 2. mars. I perioden fra 2. til 18. mars økte tykkelsen til det øvre brakkvannslaget. Maksimal oksygenkonsentrasjon ble 18. mars funnet på ca. 0,5 m dyp (jfr. **Figur 4**), sannsynligvis som resultat av en pågående algevekst med tilhørende oksygenproduksjon som resultat av en pågående primærproduksjon.

I hele måleperioden ble det målt relativt sett høye og stabile konsentrasjoner av hydrogensulfid i vannsøylen mellom 2 og 10 meter. Konsentrasjonen av totalt svovel var høy og stabil mellom 1 og 10 meter på alle de 4 måletidspunktene.

**Tabell 2.** Analyseresultater for konsentrasjon av hydrogensulfid/oksygen og totalt svovelinnhold. Kolonner med lys beige og lys blå bakgrunnsfarge viser henholdsvis hydrogensulfid- og oksygenkonsentrasjon.

Dyp	Konsentrasjon av H <sub>2</sub> S el. O <sub>2</sub> [ml / l]				Totalt svovel [mg/l]			
	23. februar	2. mars	12. mars	18. mars	23. februar	2. mars	12. mars	18. mars
0 m	12,6	4,5	*	4,5	277	15	18	28
1 m	27,2	22,8	13,6	12,1	514	470	488	475
2 m	31,5	22,4	16,9	20,5	534	443	489	489
3 m	29,8	22,9	19,7	24,8	531	500	539	529
4 m	31,5	23,6	16,8	27,5	526	520	509	525
6 m	28,1	25,0	22,8	27,2	518	520	561	502
8 m	28,4	25,0	21,4	25,9	540	544	535	547
10 m	25,9	26,8	23,3	25,4	549	546	617	539

\* Prøven fra 12. mars ble knust under forsendelse til laboratorium og kunne derfor ikke analyseres. Fargen på bunnfallet i prøven etter fiksering viste imidlertid at vannet inneholdt oksygen.



**Figur 7.** Isopletdiagram for konsentrasjon av hydrogensulfid (til venstre) og totalt svovelinnhold (til høyre). Det hvite feltet øverst i figuren til venstre illustrerer at det ikke er foretatt analyser av hydrogensulfid i denne delen av vannsøylen. I de blå firkantene står oksygenkonsentrasjonen som er målt like under overflaten.

De målte konsentrasjonene av hydrogensulfid er meget høye verdier (mer enn 1.300  $\mu\text{M}$  i 2010 er mer enn 3 ganger høyere enn i Svartehavet). Tilsvarende konsentrasjoner måles imidlertid også i andre fjordsystem slik som for eksempel i Framvaren, en terskelfjord i Farsund kommune. Typisk for slike fjordsystemer er svært klare vertikale gradienter både for hydrogensulfid og oksygen. Det har sammenheng med svak vertikal turbulensutveksling under pyknoklinen (grenseflaten mellom to vannlag med ulik tetthet) og dette vanskeliggjør prøvetakingen. For å få korrekte data for gassene akkurat i dette sjiktet er det nødvendig å benytte pumpesystemer hvor prøver kan tas for hver centimeter nedover i vannsøylen (Zopfi et al. 2001, Yakushev et al. 2009). De observerte konsentrasjonene av oksygen i det øvre vannlaget var lavere enn metningsverdi (ca.32% metning) som viser at oksygen forbruket dominerer over oksygenproduksjonen fra primærproduksjonen og tilførselen av oksygen fra luften.

## 4. Tidligere undersøkelser i Sælenvatnet

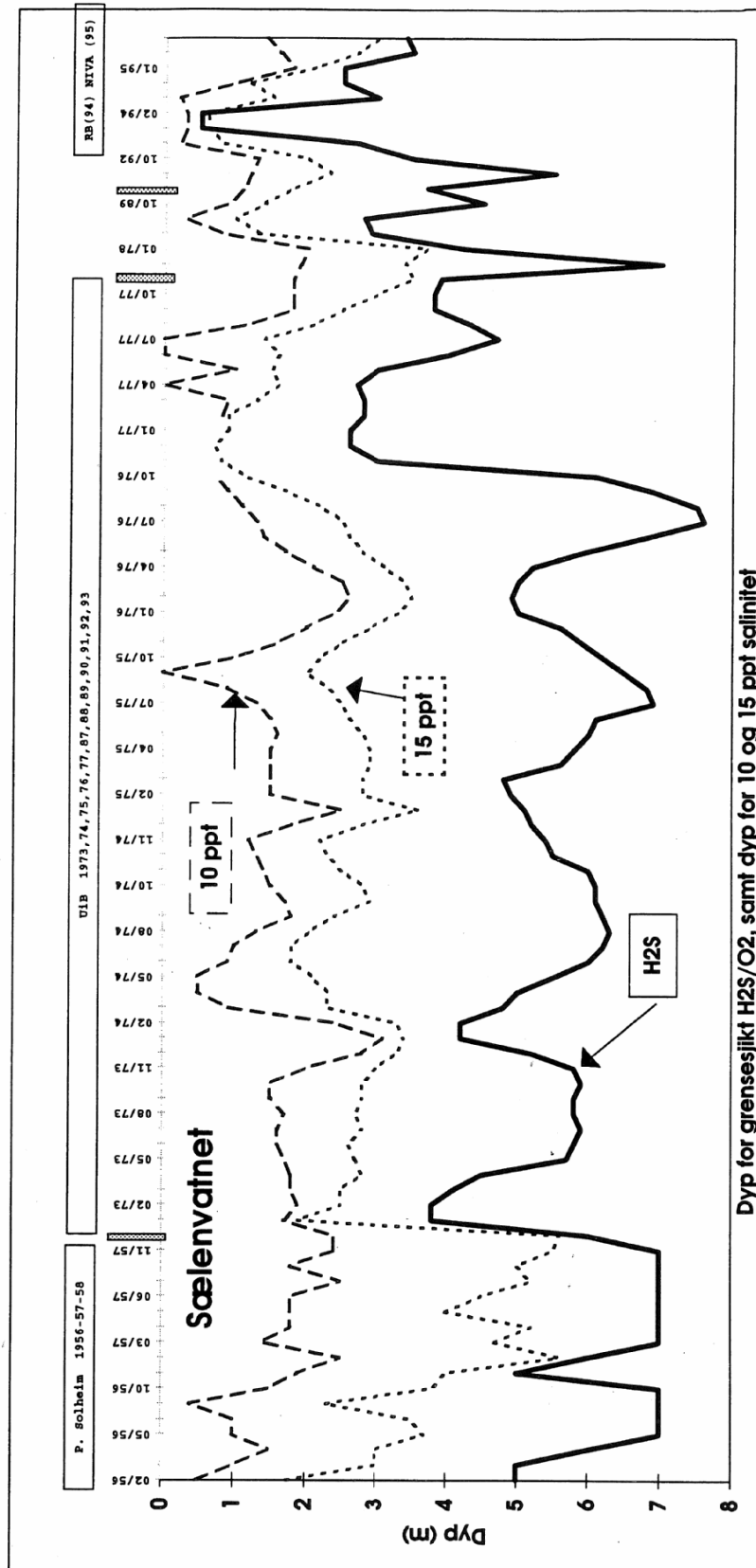
Det er tidligere foretatt målinger av hydrografi og oksygen/hydrogensulfid i Sælenvatnet ved flere anledninger (Indrebø 1976; Kambestad & Johnsen 1994; Johnsen 1994, Golmen m. fl. 1995; Johnsen 1998, 1999; Johnsen og Lømsland 2000). **Figur 8** viser grensesjiktet for overgangen mellom oksygenrikt overflatevann og anoksisk bunnvann mellom 1956 og 1995. Fram til 1976 varierte grensesjiktet mellom 4-7 m dyp. Periodene med grunnest grensesjikt finner en i vinter/vår-sesongen. Etter 1976 ser en en tendens til at grensesjiktet mellom oksygenert og anoksisk vann kommer ennå nærmere overflaten (opp til 1 m dyp). I årets målinger lå grensesjiktet grunnere enn 1 m i hele måleperioden (februar til mars 2010). Ved den første målingen (23. februar) var der hydrogensulfid helt opp til overflaten.

**Figur 8** viser også isohaliner for  $S = 10$  og  $S = 15$ . I likhet med grensesjiktet mellom oksygen og hydrogensulfid ser vi en tendens til at isohalinene ligger noe grunnere etter 1976. Dette kan tyde på et tynnere øvre brakkvannslag. I målingene som ble gjort i år, ligger isohalinen for  $S = 15$  mellom 0,2 og 1,0 m dyp. Dette er betydelig grunnere enn tidligere målinger (med unntak av målingene i februar 1994) og viser at ferskvannstilførselen vinteren 2009/2010 har vært svært liten.

Vinteren 1993-94 var det en del problemer med  $H_2S$ -lukt rundt Sælenvatnet. Den påfølgende vinteren utførte NIVA (Golmen m. fl. 1995) målinger for å studere forholdene og vurdere mulige løsninger på problemet med hydrogensulfid som tidvis kommer helt opp til i overflaten. I denne måleperioden lå imidlertid grensesjiktet mellom oksisk og anoksisk vann på 2,5-3 m. I dypvannet var det en konsentrasjon av hydrogensulfid på 50 – 60 mg/l. Det ble meldt om to kortvarige perioder med luktplager denne vinteren, men disse periodene sammenfalt ikke med måleperiodene.

Fra januar til november 1999 ble det gjort regelmessige målinger i Sælenvatnet (Johnsen og Lømsland 2000). Resultatene av målingene av oksygen/hydrogensulfid er vist i **Tabell 3**. En ser her at grensesjiktet mellom  $O_2/H_2S$  ligger mellom 5 og 6 m eller dypere. Hydrografiske målinger i denne perioden viste at saliniteten varierte fra 0 – 19 i de øverste 2 metrene. Under 10 m dyp ble det registrert salinitet opp til 22. Det ble gjort målinger på tre ulike posisjoner i Sælenvatnet, men resultatene var stort sett de samme på de ulike stasjonene. Johnsen og Lømsland (2000) registrerte at vannsøylen i Sælenvatnet synes å være delt i 3 ulike lag. Øverst lå et ca. 2 meter tykt overflatelag med lav salinitet og med en markert vertikal økning i densitet. Under dette overflatelaget og ned til 8-10 meter lå et mellomlag hvor saliniteten økte til 21-22, mens temperaturen varierte noe. I vannmassene under 10 meter holdt både temperaturen og saliniteten seg stabil hvis det ikke forekom dypvannsutsiftninger.

Målingene av hydrogensulfid fra 1999 (Johnsen og Lømsland 2000) viser betydelig høyere konsentrasjoner i 10 m dyp enn det som ble registrert i 2010. Dette er forventet som følge av omrøringen som har skjedd vinteren 2010. De høye konsentrasjonene av hydrogensulfid vil reduseres når relativt oksygenrikt overflatevann blandes inn. Konsentrasjonen av hydrogensulfid må imidlertid forventes å øke igjen dersom det ikke skjer en inntrengning av tungt, oksygenrikt vann fra Nordåsvatnet.



**Figur 8:** Grensesjikt for H<sub>2</sub>S/O<sub>2</sub> ved tidligere målinger i Sælenvatnet (Solheim, UiB, NIVA). Stiplede linjer viser isohaliner for S = 10 og S = 15.

Tabell 3: Konsentrasjon av hydrogensulfid og oksygen i perioden 26. jan til 11. nov 1999.

Dyp (m)	26.01.99		01.03.99		08.04.99		06.05.99		30.06.99		07.09.99		11.11.99	
	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	O <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)
0,1	11,83		12,53		12,59		10,53		11,98		9,02		10,53	
1	11,10		12,55		12,76		10,54		10,81		9,28		9,90	
2	5,94		8,43		11,49		12,67		11,50		8,92		3,32	
3	0,63		2,14		11,84		9,09		10,42		8,72		2,78	
4			1,67		3,42		6,71		8,95		7,89		1,98	
5	0,21		1,37		1,68		2,46		7,78		6,55		1,34	
6		2,05		1,08	1,71			2,75	4,61		3,97		0,98	
6,5		3,09			0,34									
7		9,14		7,81		7,02		11,57		8,13	0,58			*)
8		20,49		19,09		16,12		27,69		23,89		14,02		*)
10		36,55		41,54		44,52		44,39		45,18		44,45		*)
15				54,70		59,46		49,57		62,98		62,42		*)
20				51,06		64,82		66,16		70,19		68,02		*)

\*) Ingen verdier pga. analysefeil.

## 5. Slutt kommentarer

Generelt øker hydrogensulfidkonsentrasjonen i anoksiske systemer hvis det ikke skjer en fornyelse av vannmassene. Som eksempel kan nevnes Gotlandsdypet i Østersjøen hvor innstrømning av oksygenert vann kun skjer med flere års mellomrom. Etter en innstrømning øker konsentrasjonen av hydrogensulfid og når sitt maksimum rett før en ny innstrømning finner sted. (Kautsky & Kautsky 2000).

Innstrømminger i fjordsystemer skjer i løpet av vinteren og er mer intensive de årene hvor vintrene er kalde. Under slike situasjoner presser det kalde oksygenrike og tunge vannet bort hydrogenholdig og lettere vann opp mot overflaten. Disse prosessene var det som forekom vinteren 2009/2010. Innstrømningen kan ha skjedd allerede i desember, lenge før årets måleprogram ble igangsatt.

Sansynligheten for innstrømminger om vinteren til Sælenvatnet kan forutsies ved bruk av matematiske modeller som er tilgjengelige på NIVA (Yakushev et al. 2007).

## 6. Referanser

- Golmen, L.G., Hobæk, A., og Johnsen, T.M. 1995: Hydrogensulfid I Sælenvatnet I Bergen. Vurdering av foreslåtte tiltak for å eliminere luktplager. NIVA-rapport l.nr. 3322. 50 s.
- Indrebø, G. 1976. Mikrobiell-økologiske undersøkelser i Sælenvatnet, et permanent lagdelt brakkvannsystem. Hovedoppgave, IMP, UiB.
- Johnsen, G.H. 1994. Tilstandsbeskrivelse av Sælenvatnet i Bergen høsten 1994. Rådgivende Biologer, rapport 127. 8 s.
- Johnsen, T.M. 1998. Overvåking av Sælenvatnet. Årsrapport 1997. NIVA-notat 98/05. 10 s.
- Johnsen, T.M. 1999. Overvåking av Sælenvatnet. Årsrapport 1999. Notat. 3 s.
- Johnsen, T.M. og Lømsland, E.R. 2000. Overvåking av Sælenvatnet. Årsrapport 1999. NIVA-rapport l.nr. 4290-2000. 26 s.
- Kambestad, A., & Johnsen, G.H. 1994. Tilstandsbeskrivelse av Sælenvatnet i Bergen vinteren 1994. Rådgivende Biologer, rapport 117, 16 s.
- Kautsky, L. and N. Kautsky, 2000: The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay. In: Sheppard C.R.C. (ed.). Seas at the Millenium: An Environmental Evaluation, Volume 1, Regional Seas: Europe, The Americas and West Africa, Elsevier Science Ltd., Oxford (UK) and Pergamon Press, Amsterdam (Netherlands), 121–133.
- Richards F.A. (1965): Anoxic basins and fjords. - In: Riley J.P. and Skirrow G. (Editors): Chemical Oceanography, 1, Academic Press, NY, 611-645
- Yakushev, E.V., Pollehne, F., Jost, G., Umlauf, L., Kuznetsov, I., Schneider, B., 2007. Analysis of the water column oxic/anoxic interface in the Black and Baltic seas with a Redox-Layer Model. *Marine Chemistry* 107, 388-410.
- Yakushev E., Pakhomova S., Sørensen K., Jens S. 2009. Importance of the different manganese species in the formation of water column redox zones: Observations and modelling. **Marine Chemistry** . 117 (2009) 59–70.
- Zopfi J., Ferdelman T.G., Jorgensen B.B., Teske A. and Thamdrup B. (2001): Influence of water column dynamics on sulfide oxidation and other major biogeochemical processes in the chemocline of Mariager Fjord (Denmark). - *Marine Chemistry*., 74, 29-51.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)