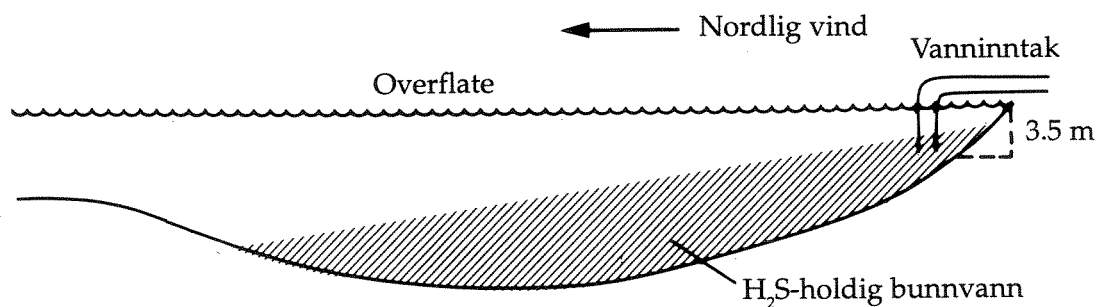


0-94007

# Lovravatnets vannkvalitet

Vurdering av Lovravatnets vannkvalitet,  
tiltak for å gjøre vannkvaliteten bedre egnet  
som råvannskilde for settefiskproduksjon  
og forslag til overvåkning



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.: O-94007	Undernr.:
Løpenr.: 3083	Begr. distrib.:

<b>Hovedkontor</b> Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	<b>Vestlandsavdelingen</b> Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Rapportens tittel: <b>LOVRAVATNETS KVALITET</b> Vurdering av Lovrvatnets kvalitet, tiltak for å gjøre vannkvaliteten bedre egnet som råvannskilde for settefiskproduksjon og forslag til overvåkning.	Dato: Trykket: 2. juni 1994 NIVA 1994
Forfatter(e): Torbjørn M. Johnsen Jarle Molvær	Faggruppe: Akvakultur
	Geografisk område: Rogaland
	Antall sider: Opplag: 26

Oppdragsgiver: Rygja Smolt A/S, 4190 Jelsa	Oppdragsg. ref.: J.K. Fyljesvoll
-----------------------------------------------	-------------------------------------

## Ekstrakt:

Mulige årsaker til fiskedød høsten 1993 ved Rygja Smolt A/S som ligger innerst i Lovrafjorden i Sandsfjordsystemet i Ryfylke, er vurdert. Settefiskanlegget tar sitt råvann fra Lovrvatnet som har forbindelse med Lovrafjorden og dermed brakkvann i bunnen. Vannet har H<sub>2</sub>S i den nedre delen av vannsøylen, og fiskedøden settes i sammenheng med opp-pressing av H<sub>2</sub>S-holdig vann under kraftig nordavind. For å redusere sannsynligheten for tilsvarende episoder anbefales det å flytte råvannsinntaket lenger inn i vannet.

H<sub>2</sub>S-holdig bunnvann representerer en potensiell fare for fisken i settefiskanlegget. For å redusere stabiliteten i vannsøylen og tilføre vannet oksygen foreslås det å føre ferskvann ned i bunnvannet. For å gjøre Lovrvatnet om til en stabil råvannskilde, anbefales det å avstenge forbindelsen mellom Lovrvatnet og Lovrafjorden og dermed gjøre Lovrvatnet om til et rent ferskvannssystem. For å fjerne det brakke bunnvannet må avstengningen kombineres med nedføring av ferskvann til dypvannet. En slik restaurering av Lovrvatnet ansees også å være positiv for den lokale fiskestammens utviklingsmuligheter.

Rapporten inneholder også et forslag til overvåkningsprogram for Lovrvatnet.

4 emneord, norske

1. Settefiskanlegg
2. Fiskedød
3. Vannkvalitet
4. Restaurering

4 emneord, engelske

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder

Torbjørn M. Johnsen

For administrasjonen

ISBN82-577-2547-1

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

**O-94007**

## **LOVRAVATNETS VANNKVALITET**

**Vurdering av Lovravatnets vannkvalitet,**

**tiltak for å gjøre vannkvaliteten bedre egnet som råvannskilde for  
settefiskproduksjon**

**og**

**forslag til overvåkning**

Bergen, 2. juni 1994  
Torbjørn M. Johnsen og Jarle Molvær

## **FORORD**

*Denne rapporten er utarbeidet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på oppdrag for Rygja Smolt A/S.*

*Torbjørn M. Johnsen, NIVA Vestlandsavdelingen, har vært prosjektleder. Beregningene og kommentarene vedrørende tiltak for å øke vannutskiftningen i Lovravatnets bunnvann er skrevet av Jarle Molvær, Oslo. Inger Midttun, NIVA Vestlandsavdelingen, har vært behjelpelig med figurer, tabeller og redigering.*

## INNHold

SAMMENDRAG .....	3
1. INNLEDNING .....	4
2. OMRÅDEBESKRIVELSE .....	5
3. MULIG FORKLARINGSMODELL FOR SAMMENHENG MELLOM FISKEDØD OG VANNKVALITET .....	9
4. RÅVANNINNTAKETS PLASSERING .....	12
5. VURDERING AV TILTAK FOR Å BEDRE VANNUTSKIFTNINGEN I LOVRAVATNETS DYPERE VANNLAG. ....	14
5.1 Metodikk .....	14
5.2 Datamaterialet .....	15
5.3 Beregningsresultat .....	15
5.4 Foreløpig konklusjoner og anbefalinger .....	16
6. ANDRE NØDVENDIGE TILTAK .....	18
7. GENERELLE EFFEKTER AV VANNKVALITETS-FORBEDRINGER I LOVRAVATN .....	20
8. OVERVÅKNINGSPROGRAM .....	21
9. LITTERATUR .....	22
10. VEDLEGG VERTIKALPROFILER AV TEMPERATUR OG SALTHOLDIGHET BEREGNINGSRESULTATER FRA NIVA*JET.MIX RESULTATER ALGEINNSAMLING 30.05.94	

## SAMMENDRAG

Høsten 1993 ble Rygja Smolt A/S rammet av plutselig fisekdød i sitt settefiskanlegg på Lovræidet som tar sitt råvann fra Lovrvatnet. Dette vannet har forbindelse med Lovrafjorden og har derfor brakkvann i bunnen. På grunn av stor stabilitet i vannmassene dannes det lett hydrogensulfid ( $H_2S$ ) i bunnvannet. Sterk vind fra nord antas å ha forårsaket at  $H_2S$ -holdig bunnvann har blitt presset opp mot råvannsinntaket og dermed dratt inn i settefiskanlegget. Fiskedøden settes i sammenheng med dette.

For å redusere sannsynligheten for tilsvarende episoder, anbefales det å flytte råvannsinntaket ca. 150 meter lenger inn i vannet. Inntakssilene bør ha en fleksibel montering slik at råvannsinntaket blir liggende der hvor det til enhver tid er mest hensiktsmessig.

$H_2S$ -holdig bunnvann vil representere en potensiell fare for fisken i settefiskanlegget. Det foreslås derfor å føre ferskvann gjennom rør ned i bunnvannet både for å redusere stabiliteten i vannmassene og for å øke vannets oksygeninnhold.

For å omgjøre Lovrvatnet til en råvannskilde med relativt stabil vannkvalitet, synes utestengning av fjordvannet å være den eneste løsning. For å få fjernet det brakke bunnvannet, må dette kombineres med nedføring av ferskvann til bunnen. En restaurering av Lovrvatnet som innebærer at vannet gjøres om til et rent ferskvannssystem, vil også være positiv for den lokale fiskestammens utviklingsmuligheter.

## 1. INNLEDNING

Settefiskanlegget Rygja Smolt A/S som tar sitt produksjonsvann fra Lovrvatnet, har konsesjon på produksjon av 500.000 settefisk pr. år. Anlegget som har vært i drift siden 1987, opplevde i høsten 1993 uvanlig stor dødelighet ved flere anledninger i anlegget. Tidlig ble det stilt spørsmål om årsaken til disse episodene kunne tilskrives problemer med råvannskilden. Fiskehelsetenesta i Suldal gjorde derfor undersøkelser i Lovrvatnet hvor vannet delvis ble loddet opp og saltholdighet, ledningsevne og oksygenforhold ble målt i vannets nordlige del (Lyngøy 1993b).

For å få en større faglig vurdering av råvannskilden og hvilke tiltak som kunne iverksettes for å bedre og stabilisere råvannets kvalitet, ble Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Vestlandsavdelingen, kontaktet.

***Formålet med denne rapporten er å vurdere hvilke sammenhenger det kan være mellom dødeligheten av settefisk hos Rygja Smolt A/S og vannkvaliteten i Lovrvatnet. Dessuten å utarbeide forslag til tiltak som kan forbedre vannkvaliteten i vannet og gjøre vannkilden til en stabil råvannskilde for settefiskanlegget.***

## 2. OMRÅDEBESKRIVELSE

Lovrvatnet som ligger i Suldal kommune, er et vann på ca. 920.000 m<sup>2</sup> med et totalt vannvolum på ca. 6,6 millioner m<sup>3</sup> (tabell 2.1). Nedslagsfeltet til Lovrvatnet som av Statkraft er beregnet til 15,1 km<sup>2</sup>, er preget av bratte fjellskråninger. I sør står vannet i forbindelse med Fyljesvollvatnet via en elv, mens vanntilførslele ellers består av flere mindre elver hvor vannføringen er sterkt påvirket av nedbørsmengden (figur 2.1). Den gjennomsnittlige nedbøren over året er beregnet til 950 liter pr. sekund.

Tabell 2.1. Beregnet totalt vannvolum og volum under 9 meter i Lovrvatnet.

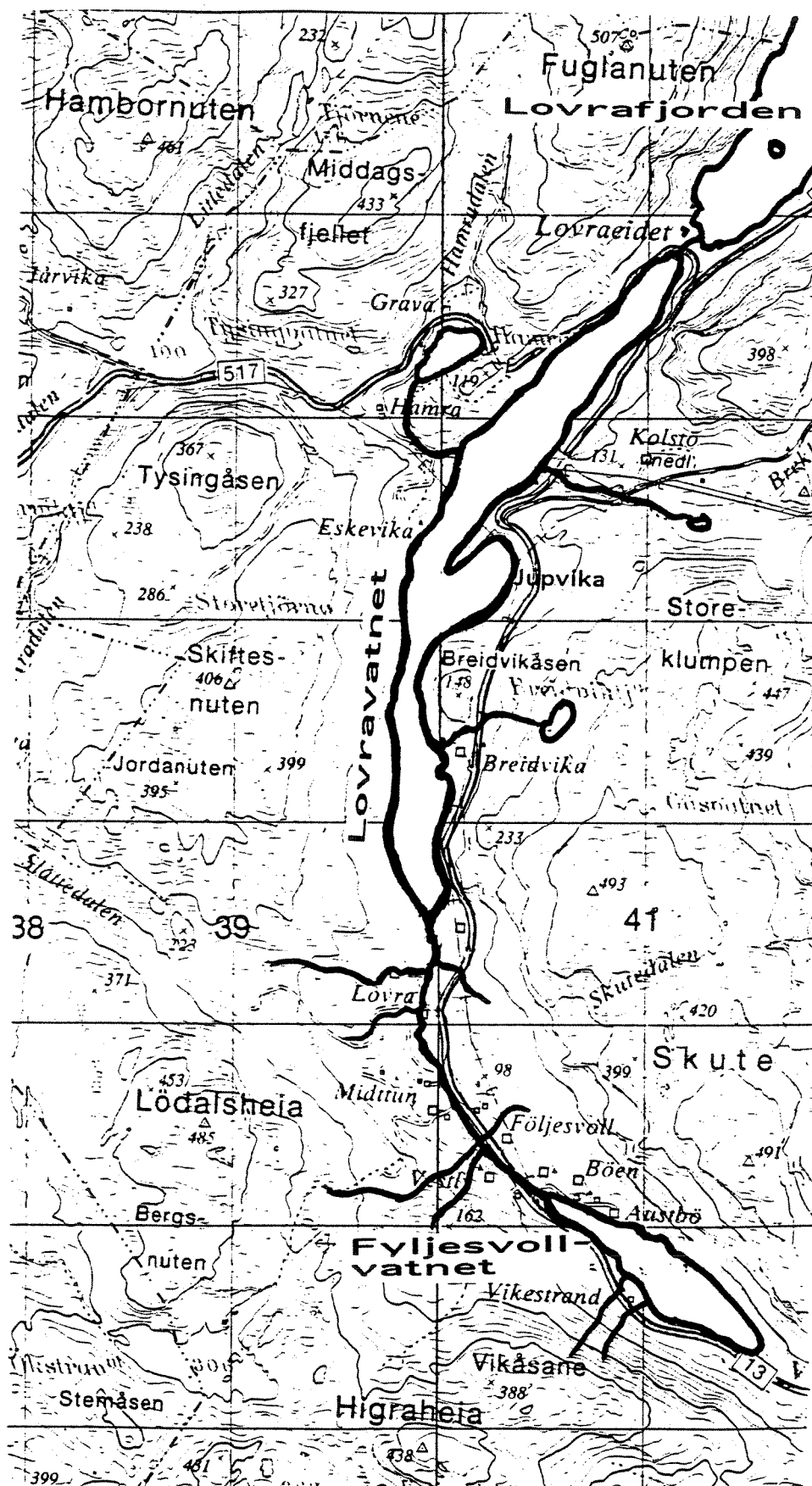
	Volum (m <sup>3</sup> )	% av tot. volum
Lovrvatnets totale volum	6.609.000	
Volum under 9 m i Lovrvatnets nordlige basseng	384.500	5,8
Lovrvatnets totale volum under 9 m	775.700	11,7

Vannet er delt i to hovedbasseng med en terskel på ca. 7 meter mellom de to bassengene (figur 2.2). I vannets nordlige del er det et større dypbasseng med maksimaldybde på ca. 14 meter, men vannets sørlige del er grunnere med et unntak av et mindre dypområde hvor dybden er ca. 21 meter. Ved normal vannstand ligger vannet omtrent i samme høyde som Lovrafjorden, dvs. 0 meter over havet.

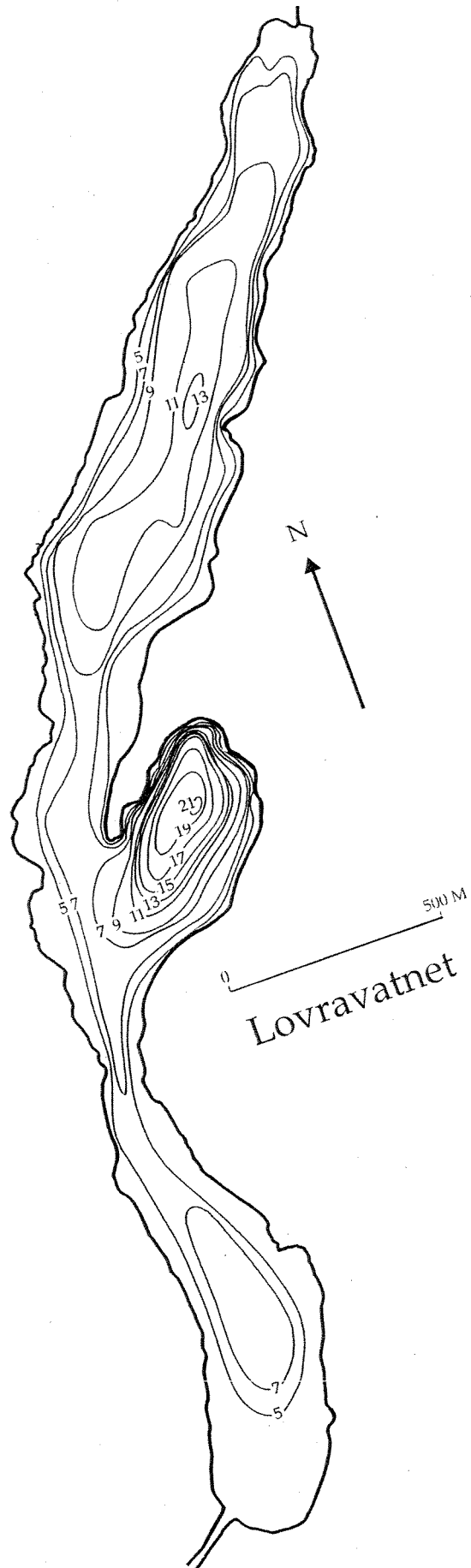
I bunnen av Lovrvatnet er det brakkvann (fig. 2.2). Mellom Lovrvatnet og Lovrafjorden er det et smalt eide som består av relativt grov stein, og dette fører til at ved flo sjø trenger brakt vann fra Lovrafjorden inn i vannet. Lovrafjorden tilhører Sandsfjordsystemet som er et permanent brakkvannssystem hvor saltholdigheten i det øvre laget (2-5 meter) kan variere mellom 4 og 19‰ med de laveste verdiene under snøsmeltingen og de høyeste om vinteren (Lie et al. 1992). Målingene gjort høsten 1993 (Lyngøy 1993b) hvor bunnvannets saltholdighet ble målt til 9‰, viser at brakkvannet fra Lovrafjorden blir innlagret i de dypere partiene av Lovrvatnet. Dette skaper en vannmasse med store tetthetsgradienter som medfører at de ulike vannlagene kommer i liten kontakt med hverandre. Disse store tetthetsforskjellene forhindrer også den vanlige omrøringen som vanligvis skjer vår og høst i ferskvann.

Målinger av oksygenkonsentrasjonene i Lovrvatnets nordlige basseng høsten 1993 viste at vannmassene under 9 meter var tomme for oksygen (anoksiske) (Lyngøy 1993b) og inneholdt oppløst hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S). Dette er en giftig gass som lukter råtne egg. H<sub>2</sub>S dannes i vannmasser hvor forbruket av oksygen er større enn tilførselen og finnes bare i vann uten eller med svært lite oksygen. Det oksygenforbrukende materialet vil være organiske forbindelser som tilføres fra land og lokal bioproduksjon som sedimenterer fra den oksygenholdige og dermed produktive delen av vannsøylen. Nedbrytningen av det organiske materialet skjer under forbruk av oksygen. Hvis alt oksygenet forbrukes, begynner en bakteriell nedbrytning som resulterer i at nitrat brytes ned (denitrifisering) under dannelse først av nitritt og til slutt nitrogengass. Etter at nitrat er brukt opp, starter nedbrytning av sulfat som gir H<sub>2</sub>S.





Figur 2.1. Kart over Lovravatnet med nedslagsfelt.



Figur 2.2. Lovrvatnet med innregnede dybdekoter.

Målingene fra Lovrafjorden viser at bunnvannet er stagnant og skiftes kun ut hver gang tyngre vann kommer inn fra Lovrafjorden. Det nye vannet vil presse det gamle bunnvannet opp og dermed presses oksygenfritt vann høyere opp i vannsøylen, men samtidig tilføres bunnvannet oksygenrikt vann. Når hydrogensulfid blir tilført oksygenholdig vann, oksyderes gassen til sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) og thiosulfat ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) og resultatet blir en reduksjon i hydrogensulfidkonsentrasjonen. Hvor stor denne reduksjonen vil være, avhenger av mengden friskt vann som trenger inn fra Lovrafjorden.

Spørsmål er blitt reist om hvorfor det høsten 1993 og videre utover vinteren ble dannet så mye  $\text{H}_2\text{S}$  i Lovravatnet. Forklaringene kan være mange, men mest sannsynlig har dette sammenheng med den uvanlige tørre ettersommeren og høsten dette året. I perioder med liten avrenning fra nedslagsfeltet vil risikoen for at mer fjordvann enn normalt skal trenge inn i vannet, være større. Det medfører økt tilførsel av sulfat og dermed et økt sulfidpotensiale, og dette sulfidpotensialet er blitt realisert i løpet av høsten og vinteren.

Slik Lovravatnet er i dag, er det en vannkilde med store sjiktninger i vannmassene hvor ferskvannet som tilføres, stort sett "sklir" oppå de tyngre underliggende vannmassene og hvor bunnvannet sannsynligvis er oksygenfritt gjennom store deler av året.

### 3. MULIG FORKLARINGSMODELL FOR SAMMENHENG MELLOM FISKEDØD OG VANNKVALITET

Målingene av oksygenforholdene i Lovrvatnet fra høsten 1993 viste relativt gode oksygenkonsentrasjoner ned til 8,5 meter, men med et brått fall i oksygenmengden under dette dypet (figur 3.1). Vannmassene under 9 meter kan ved denne målingen betraktes som oksygenfrie.

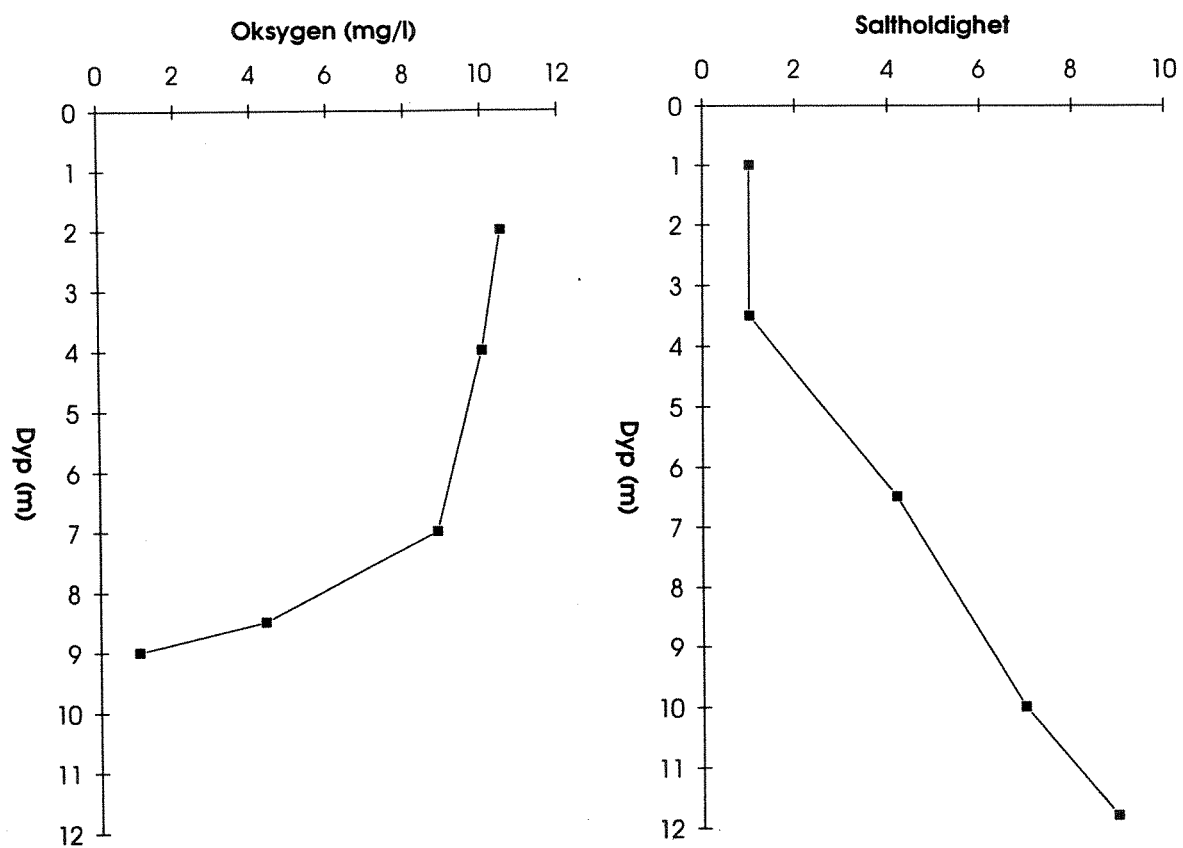
Lovrvatnet er et langstrakt vann som ligger i nord-sør retning med høye fjell både mot øst og vest. Dette gjør at ved sterk nordlig vind vil det lette overflatevannet presses mot sør og stues opp i den øvre delen av vannet. Dette fører til at underliggende vannlag presses mot nord (mot utløpet) (figur 3.2).

Vanninntaket til Rygja Smolt A/S ligger ca. 50 meter fra utløpet av Lovrvatnet med inntaksdyp på 4 meter. Vannets dybde på inntaksstedet er ca. 3,5 meter. Ved sterk nordavind kan det ikke utelukkes at bunnvann med  $H_2S$  er blitt presset tilstrekkelig langt nord og opp slik at det har blitt dratt inn i settefiskanleggets vanninntak. Det en skal være oppmerksom på er at hvis vinden slutter brått, kan det oppstå oscillerende bevegelser i vannet. Amplituden kan være stor nok til at episoder med inntak av  $H_2S$ -holdig vann kan forekomme også en tid etter at vinden har gitt seg.

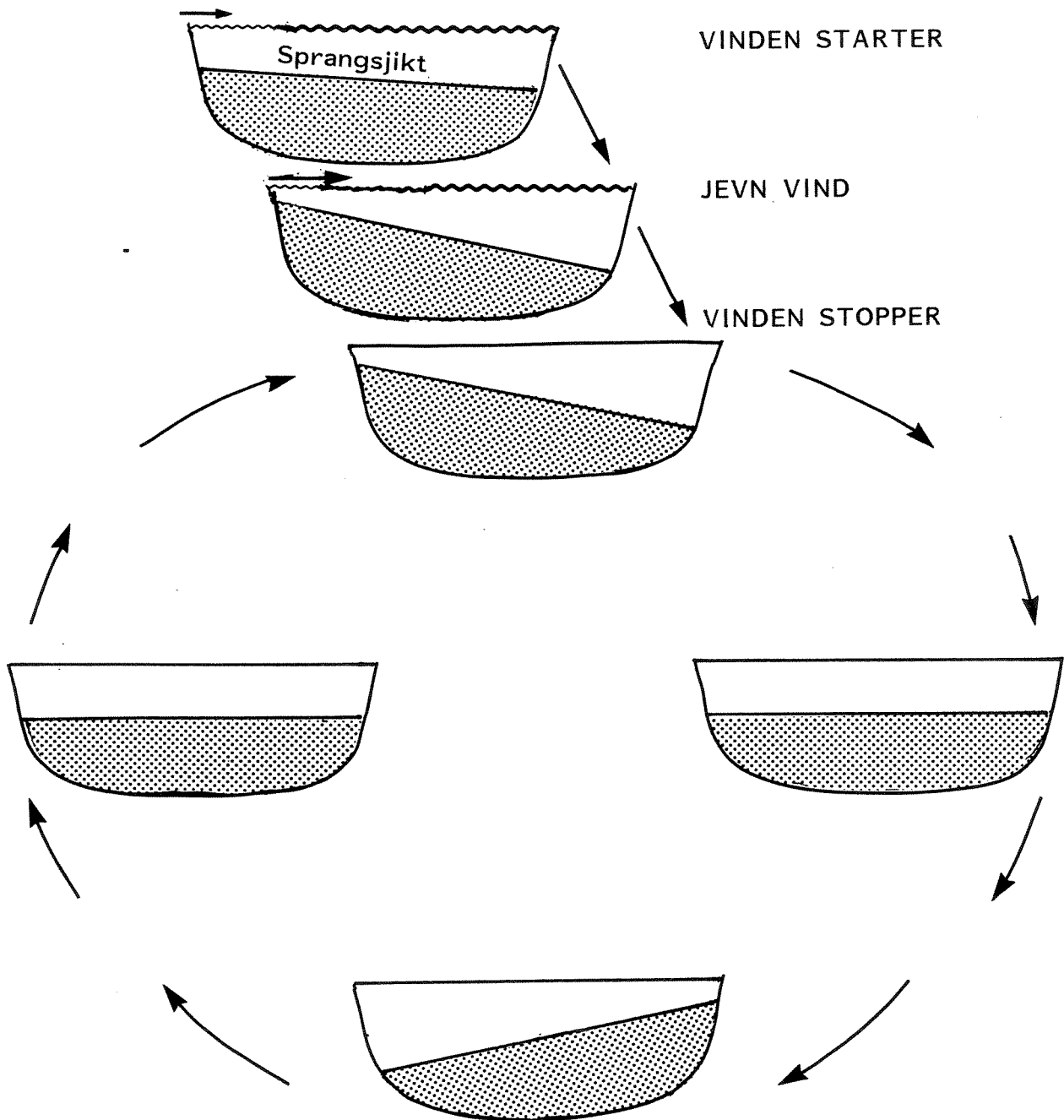
$H_2S$  er ekstremt giftig. United States Environmental Protection Agency (EPA) har foreslått at skadegrensen for langtidspåvirkning for udisosiert gass bør settes på 2  $\mu g/l$  (Rosseland et al. 1990). I surt vann (lav pH) vil virkningen av  $H_2S$  være større enn i nøytralt vann.

Når  $H_2S$ -holdig vann blandes med oksygenrikt vann, starter oksyderingen av  $H_2S$ . Dette er imidlertid en prosess som tar noe tid, slik at ved blanding av slike vannmasser vil det i en del minutter finnes både oksygen og  $H_2S$  i vannet (Millero 1991). Det vil si at selv om det ved måling noen titalls minutter etter blanding finnes oksygen i vannet, utelukker ikke dette at vannet inneholder  $H_2S$ . Som tidligere nevnt er hydrogensulfid ekstremt giftig, og eksponering ved tilstrekkelige konsentrasjoner av denne gassen, medfører akutt dødelighet hos fisk. Ved kontroll av fisk som har dødd av  $H_2S$ -forgiftning, har en ikke funnet spesifikke diagnostegnetegn. I følge veterinærrapport etter dødeligheten ved settefiskanlegget kunne det ved undersøkelse av fisken ikke stilles noen sikker diagnose med hensyn på årsaken til dødeligheten (Lyngøy 1993a).

Konklusjonen av dette er at dødeligheten ved settefiskanlegget med en stor grad av sannsynlighet kan kobles til inntak av råvann som inneholdt  $H_2S$ -konsentrasjoner store nok til at en del av yngelen gikk tapt.



Figur 3.1. Oksygen- og saltholdighetsprofiler målt 20. september 1993 i Lovrvatnets nordlige basseng.



Figur 3.2. Skjematisk tegning som viser hvordan vindstress kan skape indre bølger i et vann som består av to vannlag (modifisert fra Mortimer 1952).

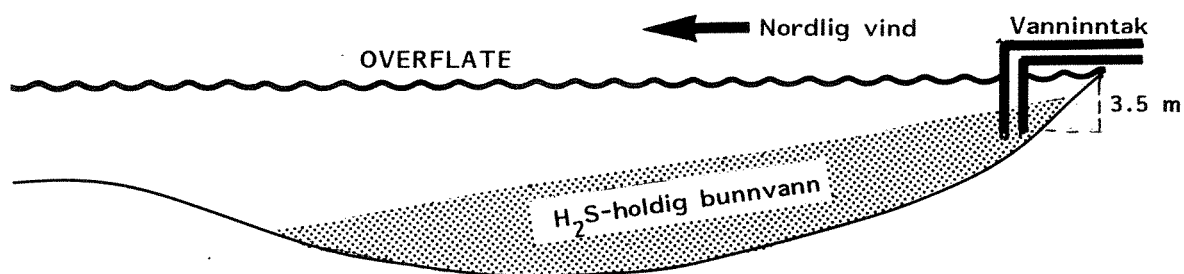
#### 4. RÅVANNINNTAKETS PLASSERING

Plasseringen av vanninntaket til settefiskanlegget var ved episoden med dødelighet høsten 1993 uheldig fordi inntaket lå både for dypt og for nært enden av Lovrvatnet. Årsaken er at vann med dårlig vannkvalitet vil under sterk nordavind bli presset nordover og oppover langs bunnen i vannets nordlige ende og slik føres mot inntakssilene (figur 4.1).

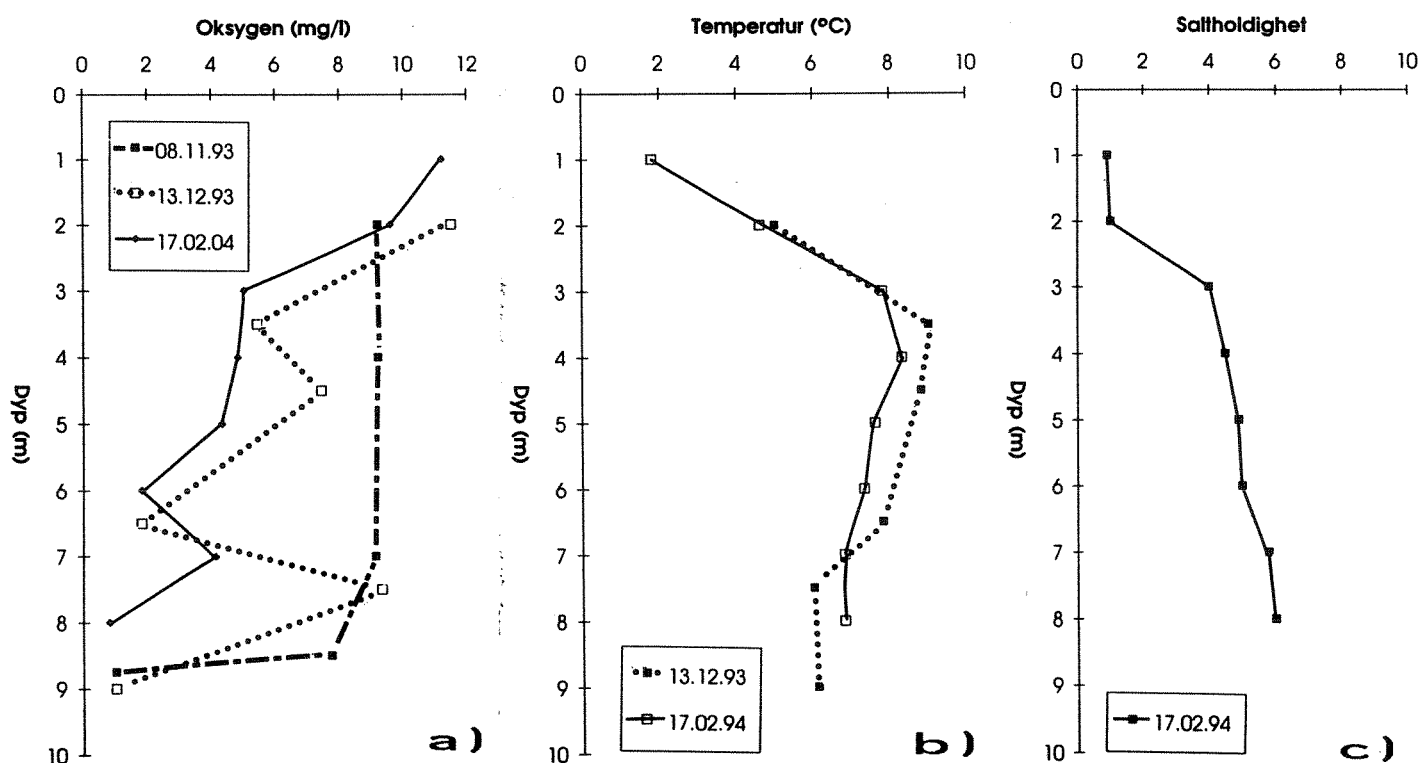
For å redusere risikoen for at tilsvarende skal kunne skje, er det for det første nødvendig å flytte vanninntaket lenger sørover i vannet. For å unngå episoder tilsvarende høsten 1993 vurderer vi det som fornuftig å flytte vanninntaket slik at dette blir liggende ved dybdekote 8 meter, dvs. en forlengelse av vannledningene på ca. 150 meter.

De senere målinger av oksygenforholdene i Lovrvatnet har imidlertid vist lave oksygenkonsentrasjoner relativt høyt i vannsøylen (figur 4.2). De øvre 3 metre inneholder vannmasser med et relativt stabilt, høyt oksygennivå. På bakgrunn av disse målingene er det også nødvendig å tilrå at inntakssilene legges så høyt som mulig for å sikre at råvannet holder et tilstrekkelig høyt oksygeninnhold.

Senere utover i sesongen må en forvente at algers og andre planters primærproduksjon vil føre til økte oksygenkonsentrasjoner lenger ned i vannsøylen. Nær overflaten vil vannets temperatur stige under perioder med høy lufttemperatur og god lysinnstråling. En temperaturøkning vil føre til at mindre oksygen er løselig i vannet. Under slike forhold vil det være ønskelig at vanninntaket ligger dypere hvor temperaturen er lavere. En løsning med fleksibilitet for silenes plassering synes derfor å være gunstig.



Figur 4.1. Illustrasjon som viser hvordan nordlig vindstress kan tenkes å ha påvirket det H<sub>2</sub>S-holdige bunnvannet.



Figur 4.2. Profiler for a) oksygen, b) temperatur og c) saltholdighet fra Lovrvatnet vinteren 1993-94.

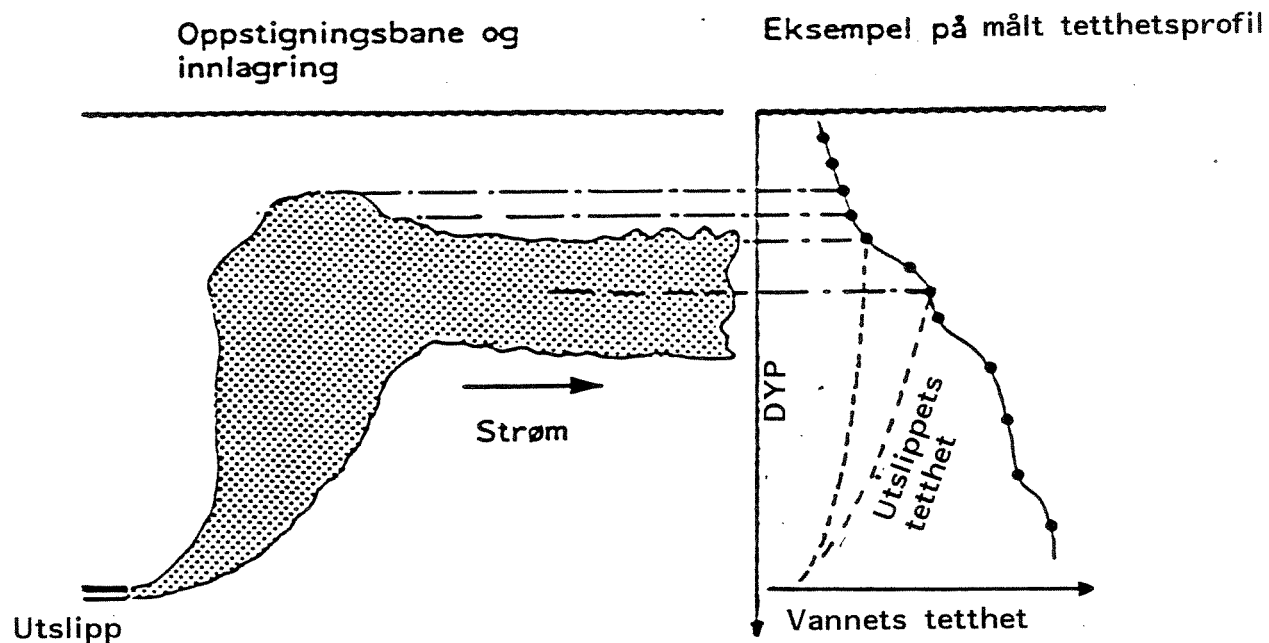


## 5. VURDERING AV TILTAK FOR Å BEDRE VANNUTSKIFTNINGEN I LOVRAVATNETS DYPERE VANNLAG.

### 5.1 Metodikk

Ferskvann som føres til bunnen av Lovrvatnet gjennom en ledning er lettere enn bunnvannet som består av en blanding av sjøvann og ferskvann. Ferskvannet vil derfor straks stige opp mot overflaten mens det raskt blander seg med det omkringliggende vannet. Dermed øker både volumet og egenvekten av denne "blandingsvannmassen" mens den stiger oppover i vannsøylen.

Vi kan anta at vannet i Lovrvatnet til vanlig er lagdelt, dvs. det er tyngre vann under lettere vann pga. av inntrengning av sjøvann gjennom demningen. Ferskvann som slippes ut ved bunnen vil derfor vanligvis ikke nå opp til overflaten. Grunnen er at egenvekten til blandingsvannmassen (ferskvann+dypvann) etterhvert blir lik egenvekten til det omkringliggende dypvannet. Da stopper den vertikale bevegelsen og skyen av blandingsvann begynner å bre seg horisontalt utover, mens den fortynnes videre. Vi sier at vannet som slippes ut blir **innlagret**. Dette er illustrert i figur 5.1. Fortynningen etter innlagring kalles **primærfortynning**.



Figur 5.1. Skisse av hvordan ferskvann innlagres i en lagdelt vannmasse.

Beregning av innlagringdyp og primærfortynning er utført med et EDB-program, NIVA\*JET.MIX som er et standard verktøy ved NIVA. Programmet beregner fortynning og innlagringdyp for en enkelt stråle avløpsvann i en sjiktet resipient, på basis av tetthetsprofiler i resipienten og data om strålen i utløpet (for fullstendig utskrift fra modellkjøringen, se eget vedlegg).

## 5.2 Datamaterialet

### Utslippsdyp:

Vi har valgt alternativene 6, 8, 10 og 12 m.

### Vannmengde:

For beregningene har vi valgt 100 l/s.

### Diameter av rørledning:

Beregningene er utført for indre diametre 100 mm og 200 mm. Enden av ledningen er lagt 10 grader oppover i forhold til horisontalen.

### Vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet (tetthet):

Her er en vesentlig mangel på data. Vi har hatt tilgjengelig to vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet fra henholdsvis 5.6.1993 og 17.2 1994 (Vedlegg 1). Det er usikkert om profilene gir et representativt bilde av sjiktningen i Lovrvatnet, og dette må tas i betraktning når resultatene vurderes.

### Arealer og vannvolumer:

Vi har brukt beregninger/opplysninger fra NIVAs Vestlandsavdeling.

## 5.3 Beregningsresultat

Nedenforstående tabell 5.1 viser resultatet av beregningene. Resultatene er presentert i tre hoveddeler:

### **a. Utslippsdata :**

- DYP (M): Utslippsdyp
- DIAM. (M): Kontrahert strålediameter

### **b. Angivelse av hvilken tetthetsprofil beregningen gjelder (PROFIL NR.):**

Vi har brukt to profiler, så tallene veksler mellom 1 og 2.

### **c. Resultater:**

Disse angis i en hovedgruppe: for innlagringdypet.

- FORTYNNING.: Fortynning i strålens senter
- DYP (M): Likevektsdyp

Tabell 5.1. Resultater for fortytning og innlagingsdyp fra modellberegninger.

UTSLIPPSDATA		PROFIL NR.	RESULTATER	
DYP	STRÅLE- DIAMETER		FORTYNNING	DYP
(M)	(M)			(M)
6.0	.10	1	26	5.9
		2	42	5.2
6.0	.20	1	5	5.1
		2	9	4.3
8.0	.10	1	10	7.3
		2	16	6.9
8.0	.20	1	6	7.0
		2	8	6.5
10.0	.10	1	12	9.1
		2	28	7.9
10.0	.10	1	7	8.7
		2	12	7.2
12.0	.10	1	12	11.1
		2	34	9.3
12.0	.20	1	7	10.7
		2	15	7.9

#### 5.4 Foreløpig konklusjoner og anbefalinger.

Innledningsvis vil vi påpeke at man mangler opplysninger om den naturlige vannfornyelsen i Lovrvatnet, og at representativiteten av beregningene er usikre pga. de omfatter bare to vertikalprofiler.

- Det bør ikke være vanskelig å oppnå en fortytning på 10-30 ganger. Her skal tilføyes at beregningene ovenfor gjelder for sentrum av skyen med fortytnet ferskvann. Gjennomsnittlig fortytning vil være 1.5-2x større.
- Ved utslipp av 0.1 m<sup>3</sup>/s og f.eks. 30 gangers gjennomsnittlig fortytning, blir 4.5 m<sup>3</sup>/s dypvann brukt som fortytningsvann pr. sekund. Det gir ca. 390.000 m<sup>3</sup>/døgn. Til sammenligning er vannvolumet mellom 5 m og 11 m dyp i Lovrvatnet ca. 2.299.000 m<sup>3</sup>. Tallene illustrerer at utslippet lokalt vil generere en betydelig vertikal transport av vann og påvirke vannfornyelsen i bunnvannet i positiv retning. På den annen side er det er usikkert hvor langt unna utslippspunktet effekten vil rekke.

Ved de to situasjonene som vertikalprofilene beskriver hadde bunnvannet i Lovrvatnet en egenvekt på ca. 1005.5 kg/m<sup>3</sup>. Ved ca. 30 gangers fortytning med ferskvann har blandingsvannmassen en egenvekt på ca. 1005.3 tonn/m<sup>3</sup>. I situasjoner med til eksempel 10 gangers fortytning blir egenvekten 1005.0 kg/m<sup>3</sup>. Lav egenvekt i bunnvannet øker sannsynligheten for at når relativt tungt sjøvann strømmer inn og blander seg med vann i selve Lovrvatnet, får blandingsvannmassen en egenvekt tilstrekkelig stor til at det synker ned og fornyer bunnvannet. Den teoretiske

reduksjonen av egenvekten som ble beregnet ovenfor er forholdsvis liten. På samme måte som i beregningen i foregående avsnitt tyder resultatet imidlertid på en positiv effekt av et ferskvannsutslipp.

- c. For den ene (profil nr. 1, jfr. fig. 3.1) av de vertikale tetthetsprofilene som vi benyttet økte saltholdigheten (og dermed tettheten) raskt mot dypet. Det medførte at avstanden mellom utslippsdyp og innlagringsdyp ble meget liten - størrelsesorden 0.5-1 m. Det betyr også at fortynningsvannet i utgangspunktet hentes fra et relativt tynt sjikt - som er ugunstig når man ønsker å øke vannfornyelsen i en større del av dypvannet. Etter noen døgn er det imidlertid sannsynlig at utslippet begynner å "bryte ned" denne sterke sjiktningen, slik at ferskvannet kan stige høyere opp i vannmassen - og med større fortynning som resultat.

For profil nr. 2 (jfr. fig. 4.2, c) var lagdelingen gunstigere, med inntil 3 m mellom utslippsdyp og innlagringsdyp.

- d. Ved den vannmengde som vi anvendte ( $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), er ledningsdiameteren 200 mm å foretrekke. Mindre diameter gir større hastighet på strålen ut av røret, noe som både krever mer energi (trykkhøyde) og dypere innlagring.
- e. Man bør vurdere å øke effekten av ferskvannsutslippet ved å fordele det på flere hull over en strekning på 30-40 m (såkalt diffusor). Er det ønskelig, kan dimensjonering av ledninger og beregning av nødvendig trykkhøyde gjøres i neste fase av prosjektet.
- f. Vurderingene ovenfor er delvis spekulative uten bedre datagrunnlag fra Lovrvatnet. Man bør derfor legge vekt på måling av flere profiler av temperatur og saltholdighet.

På grunn av manglende kunnskap om mengden og variasjonene i konsentrasjonene av hydrogensulfid gjennom året, bør et eventuelt tiltak for å forbedre vannkvaliteten i Lovrvatnet starte på et tidspunkt hvor det er lite eller ingen fisk i smoltanlegget. Dette vil redusere muligheten for uhell i forbindelse med at vannledning(er) til dypvannet gjøres vannførende.

## 6. ANDRE NØDVENDIGE TILTAK

Lovrvatnet er adskilt fra Lovrafjorden med en steinrøys som består av relativt grov stein. Fjorden og vannet ligger på samme høydenivå, og dette medfører at sjøvann/brakkvann kan trenge inn i Lovrvatnet ved flo sjø. Dessuten er det under bygging av vei forbi Lovra laget en kanal fra vannet til fjorden for å hindre oppdemming av Lovrvatnet ved stor avrenning fra nedslagsfeltet. Under springflo kan fjordvann i følge opplysninger fra Ryggja Smolt A/S trenge inn i vannet gjennom flomkanalen.

Fjordvannet som trenger inn i Lovrvatnet, har en tetthet som gjør at det som oftest innlagres ved eller like over bunnen. Sjøvann inneholder adskillig mer sulfat enn ferskvann. Hvis oksygentilførslene i en vannmasse er lavere enn forbruket av oksygen, vil etter hver svovelbakterier bryte sulfat ned til sulfid. På grunn av det høyere sulfatinnholdet i sjøvann vil derfor sulfidmengdene i anoksisk sjøvann bli høyere enn i anoksisk ferskvann. For Lovrvatnet betyr dette at brakkvanninntrengningen fører til et høyere  $H_2S$ -potensiale enn om vannet bare hadde inneholdt ferskvann. Gammelt bunnvann kan derfor til tider inneholde betydelige mengder  $H_2S$ .

De ulike vannlagenes stabilitet i Lovrvatnet er store som følge av at vannet har en økende saltholdighetsgradient fra overflaten og til bunnen. Dette medfører også at utvekslingen mellom de ulike vannlagene er liten. Stabiliteten i dette vannet er også så stor at vår- og høstomrøringen som skjer i vanlig ferskvann, forhindres. Resultatet er at bunnvannet blir svært stagnant og vannutvekslingen sparsom slik at når det først er dannet  $H_2S$  i bunnvannet, er det hovedsaklig gjennom tilførsel av fjordvann at  $H_2S$ -laget kan reduseres eller fjernes.

Innstrømming av fjordvann til Lovrvatnet har totalt sett en ugunstig virkning på vannkvaliteten og vekstforholdene for fiske- og dyreb Bestandene i vannet. Slik stabiliteten er i vannet i dag, er det svært følsomt ovenfor økninger i den organiske belastningen. Økt tilførsel av nedbrytbart organisk materiale vil føre til et økt forbruk av oksygen, og den  $H_2S$ -holdige andelen av vannmassene vil øke.

For å skape et vann med en relativt stabil vannkvalitet og gode vekstforhold for dyrelivet, synes utestengning av fjordvannet å være den eneste løsning som gir permanent gode forhold i Lovrvatnet. Forutsetningen for en positiv utvikling er selvfølgelig at vannet ikke har en høyere belastningsgrad enn det kan tåle.

Utestengning av fjordvannet kan tenkes gjennomført på flere ulike måter, men den mest effektive metoden synes å være bygning av demning i vannets nordlige ende. Demningen må være 10-15 cm over høyeste vannstand i fjorden og ligge innenfor steinura slik at fjordvann ikke kan renne inn i Lovrvatnet. Likeledes må det i flomkanalen mellom vannet og fjorden bygges innretninger som kun tillater utstrømming fra vannet. En nøyaktig beskrivelse av utforming og plassering av demning krever befaring på stedet sammen med ingeniører med bygningsteknisk kompetanse.

Selv om bygning av demning gjennomføres, må dette gjøres i kombinasjon med nedføring av ferskvann til bunnen av Lovrvatnet. Årsaken er at det vil være nødvendig å fortynne det tunge bunnvannet som ellers vil bli liggende og forhindre omrøring av vannmassene. Selv med

nedføring av ferskvann synes det sannsynlig at det vil ta minst ett år før tetthetsgradientene i vannet er nedbrutt slik at de naturlige omrøringer vår og høst vil finne sted.

Nedføring av ferskvann til bunnen av Lovravatnet vil alene ikke kunne løse de problemer som innstrømming av fjordvann representerer, men må likevel betraktes som et tiltak som helt klart vil forbedre vannkvaliteten og redusere risikoen for H<sub>2</sub>S-dannelse i bunnvannet. Men hvis Lovravatnet skal kunne tjene som en framtidig stabil og god råvannskilde for Rygja Smolt A/S, anser vi det imidlertid for nødvendig å omgjøre Lovravatnet til et rent ferskvannssystem. Dette kan kanskje betraktes som et inngrep i et naturlig brakkvannspåvirket vann og må derfor skje i samråd med miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Rogaland.

## 7. GENERELLE EFFEKTER AV VANNKVALITETS- FORBEDRINGER I LOVRAVATN

Det lave oksygenivået og tilstedeværelsen av  $H_2S$  i Lovravatnets bunnvann har mange uønskede følger for dyre- og plantelivet i vannet. En del organismer tåler å bli utsatt for relativt lave oksygenkonsentrasjoner i kortere periode, men hvis dette skjer over lengre tid, vil mange organismer dø. Som tidligere nevnt er  $H_2S$  svært giftig slik at i de vannmassene og bunnområdene som eksponeres for denne gassen, vil både planter og dyr utryddes. Resultatet vil være at bare den delen av vannsøylen og de bunnområdene som har tilstrekkelige tilgang på oksygen, inneholder normale dyre- og plantesamfunn. I det  $H_2S$ -holdige vannet vil det kun være en del bakterier som overlever.

For fisken i vannet medfører tilstedeværelse av  $H_2S$  flere ulemper. For det første kan fisken komme i kontakt med  $H_2S$ -holdig vann som i svært mange tilfeller vil være dødelig for fisken. Tilstedeværelsen av  $H_2S$  vil dessuten redusere det vannvolumet som fisken kan oppholde seg i. At bare en del av vannvolumet kan delta i produksjonen, medfører også en reduksjon i mattilgangen for fisken. I de bunnområdene hvor det er  $H_2S$ , vil dyrelivet i og på sedimentet bli utryddet. Fisken som også finner mye av sin føde på bunnen, får dermed en redusert flate å søke etter mat på.

En restaurering av Lovravatnet som innebærer at vannet gjøres om til et rent ferskvannssystem, vil være svært positiv for den lokale fiskestammens utviklingsmuligheter. I brakkvann finner en ofte et artsminimum sammenliknet med rent ferskvann eller rent sjøvann. Å gjøre vannet om til et rent ferskvann, vil dermed med stor sikkerhet medføre et økt artsmang og dermed et større byttedyrspektrum for fisken i vannet. Ofte reduseres også dyrs størrelse når de kommer fra marint eller ferskvanns miljø og til brakkvann. Dessuten vil hele vannets volum og bunnareal kunne delta aktivt i produksjonen av byttedyr hvis det  $H_2S$ -holdige bunnvannet fjernes. Totalt sett skulle dette gi økt fiskeproduksjon i vannet som det burde være mulig å høste av i framtiden.

Å få vannet til å fungere som et naturlig ferskvannsøkosystem, vil også øke vannets rekreasjonsverdi spesielt ved at mulighetene for å drive vanlig sportsfiske i vannet blir bedre. En fornuftig forvaltning av Lovravatnet etter restaurering vil kunne gjøre dette til et attraktivt fiskevann i framtiden.

## 8. OVERVÅKNINGSPROGRAM

Episodene med fiskedød hos Rygja Smolt A/S og de avdekkede miljøforholdene i Lovrvatnet gjør det nødvendig å overvåke vannkvaliteten. En overvåkning vil medføre at miljøforholdene i vannet til en hver tid er kjente og ved en eventuell ugunstig utvikling kan tiltak planlegges og settes i verk før det er for sent. Dessuten vil en slik overvåkning gi kunnskap om miljøforholdenes utvikling og variasjon over tid.

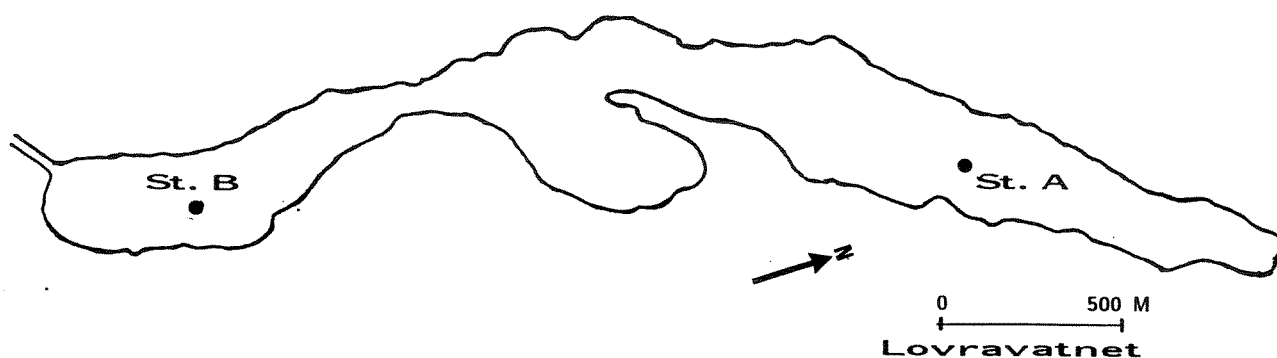
Vi foreslår at følgende parametere måles hver tredje uke:

1. Oksygen/Hydrogensulfid
2. Temperatur
3. Saltholdighet

Målingene foretas hver meter nedover i vannsøylen på stasjon A og B i henholdsvis vannets nordlige og sørlige basseng (figur 8.1). Oksygen kan måles med oksygen-sonde som imidlertid bør kalibreres mot Winkler-målte prøver med jevne mellomrom. Prøver for måling av oksygen etter Winklermetoden og prøver for måling av hydrogensulfid må tas etter foreskrevet standardmetoder med vannhenter og analyseres på laboratorium. Saltholdighet og temperatur måles med nedsenkbare sonder.

Hvis noen av de tiltak som er anbefalt i denne rapporten iverksettes, er det viktig at tiltakenes effekt overvåkes. Ved eventuell nedføring av rent ferskvann til Lovrvatnets nordlige basseng anbefales en hyppigere overvåkning rundt det tidspunkt tiltaket iverksettes. Da bør oksygen/hydrogensulfid, temperatur og saltholdighet måles like før ledningen gjøres vannførende og deretter ukentlig i en 4-6 ukers periode for deretter å gå over til målinger hver tredje uke. En slik målestrategi bør følges enten nedføring av ferskvann kombineres med utestenging av sjøvann eller ikke.

Alle data fra overvåkingen bør sendes fortløpende til NIVA-Vestlandsavdelingen slik at effektene kan vurderes og eventuelle nødvendige justeringer foreslås.



Figur 8.1. Lovrvatnet med stasjonsangivelse for overvåkningsprogrammet.



## 9. LITTERATUR

- Lie, U., H. Svendsen, S. Kaartvedt, S.R. Mikki, T.M. Johnsen, D.L. Aksnes, R.P. Asvall og L.G. Golmen. 1992. Vannkraft og fjorder; fysiske og biologiske konsekvenser av Ulla-Førre utbyggingen. *Senter for Miljø- og Ressursstudier, Universitetet i Bergen*. SMR 4/92. 89 sider.
- Lyngøy, C. 1993, a. Rapport etter sjukebesøk. Rygja Smolt A.S. Intern rapport.
- Lyngøy, C. 1993, b. Undersøking av Lovravatnet. Intern rapport.
- Millero, F. 1991. The oxidation of H<sub>2</sub>S in Framvaren fjord. *Limnol. Oceanogr.*, 36:1007-1014.
- Mortimer, C.H. 1952. Water movements in lakes during summer stratification; Evidence from the distribution of temperature in Windermere. *Proc. Roy. Soc. London (Ser. B)*, 236:355-404.
- Rosseland, B.O., P. Jacobsen og M. Grande. 1990. Miljørelaterte tilstander. Side 279-287 i Poppe, T.T. (red.): *Fiskehelse. Sykdommer, behandling, forebygging*. J.Grieg forlag. 422 sider.

## 10. VEDLEGG VERTIKALPROFILER AV TEMPERATUR OG SALTHOLDIGHET

Profil 1:

Stasjon: E1 Dato: 93.09.20

DYP	TEMP	SALT
1	4	1
2	5	1.1
3.5	9	1.3
4.5	8.8	2.5
6.5	7.8	4
7.5	6	5
9	6.1	6.2
10	6.1	7
12	6.1	9

Profil 2:

Stasjon: E1 Dato: 94.02.17

DYP	TEMP	SALT
1	1.8	0.9
2	4.6	1.0
3	7.8	4.0
4	8.3	4.5
5	7.6	4.9
6	7.3	5.0
7	6.8	5.8
8	6.8	6.1
9	6.7	6.2
10	6.6	6.3
12	6.5	6.4

## 11. VEDLEGG BEREGNINGSRESULTATER FRA NIVA\*JET.MIX

### 11.1 Beregningsresultat

Nedenforstående tabell viser fullstendige beregningsresultater. Resultatene er presentert i tre hoveddeler:

#### a. Utslippsdata (JET DATA AFTER CONTRACTION):

- HOLE NR: Nummer for det alternativet som beregnes (i alt 8 stk.)
- DEPTH (M): Utslippsdyp
- DIAM. (M): Kontrahert strålediameter
- VEL. (M/S). Vannhastighet i strålen
- ANGLE DEG. Strålens vinkel med horisontalplanet

#### b. Angivelse av hvilken tetthetsprofil beregningen gjelder (PROFILE NR.):

To profiler er benyttet og angis som henholdsvis "PROFILE NR." 1 og 2.

#### c. Resultater (RESULTS):

Disse angis i to hovedgrupper: for innlagingsdypet (NEUTRAL POINT) og høyeste opptrengning (EXTREMAL DEPTHS).

- WIDTH (M): Strålens bredde
- ANGLE DEG.: Vinkel i forhold til horisontalplanet
- CENT. DILUT.: Fortynning i strålens senter
- DEPTH (M): Likevektsdyp
- EQS. (M): Høyeste opptrengning etter fortynningsligningene
- GRAV. (M): Høyeste opptrengning uten blanding og friksjon etter likevektsdypet.

## ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1

## OUTFALL SITE: RYGJA

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS					
						NETURAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS	
HOLE	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE		WIDTH	ANGLE	CENT. DILUT.	DEPTH	EQS.	GRAV.
NR.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.		(M)	DEG.		(M)	(M)	(M)
1	6.0	.10	12.70	0	1	3.3	1	26	5.9	5.8	5.7
					2	5.3	6	42	5.2	4.8	4.5
2	6.0	.20	3.20	10	1	1.5	11	5	5.1	4.5	3.6
					2	2.3	18	9	4.3	3.4	2.5
3	8.0	.10	12.70	10	1	1.2	10	10	7.3	6.5	4.3
					2	2.0	10	16	6.9	6.1	4.2
4	8.0	.20	3.20	10	1	1.5	13	6	7.0	6.5	5.4
					2	2.0	18	8	6.5	5.8	4.1
5	10.0	.10	12.70	10	1	1.5	10	12	9.1	8.3	6.4
					2	3.5	12	28	7.9	7.0	5.9
6	10.0	.10	3.20	10	1	1.8	16	7	8.7	8.0	6.9
					2	2.9	27	12	7.2	6.2	4.9
7	12.0	.10	12.70	10	1	1.5	10	12	11.1	10.4	8.6
					2	4.2	14	34	9.3	7.9	6.4
8	12.0	.20	3.20	10	1	1.8	17	7	10.7	10.0	8.8
					2	3.5	35	15	7.9	6.6	5.2

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT  
 - GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2547-1