



# Hydrogensulfid i Kyllaren i Askvoll

## Vurdering av årsaker og tiltak

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-94035	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3035	

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

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
<b>Hydrogensulfid i Kyllaren i Askvoll</b>	Mars 94	NIVA 1994
<b>Vurdering av årsaker og tiltak</b>	Faggruppe:	Marin Eutrofi
Forfatter(e):	Geografisk område:	Sogn og Fjordane
<b>Lars G. Golmen</b>	Antall sider:	Opplag:
	25	1 <sup>ste</sup>

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
<b>Fylkesmannen i Sogn og Fjordane, 5840 Hermansverk</b>	<b>A. Klyve</b>

## Ekstrakt:

Den vesle terskelfjorden Kyllaren i Askvoll kommune har svært høg konsentrasjon av hydrogensulfid i djupvatnet. Vinteren 1993/1994 har det vore fleire perioder med plagsomt sterk lukt. Dette skuldast sannsynlegvis ein kombinasjon av svakt sprangsjikt og innstrøyming av tyngre vatn over terskelen som har løfta djupvatnet. Innstrøyminga kan ha blitt stimulert av ny kulvert gjennom vegfyllinga på terskelen. Rapporten foreslår ulike tiltak for å forbetre tilhøva, men først etter ei periode med detaljerte miljøregistreringar og tekniske berekningar.

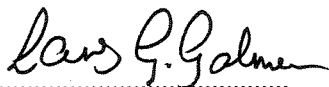
4 emneord, norske

1. Kyllaren
2. Hydrogensulfid
3. Tidevannsdemping
4. Terskel

4 emneord, engelske

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

Prosjektleder



Lars G. Golmen

For administrasjonen



Torgeir Bakke

ISBN-82-577-2493-9

NIVA-prosjekt O-94035

## **Hydrogensulfid i Kyllaren**

**i**

**Askvoll**

**Vurdering av årsaker og tiltak**

**NIVA, Bergen, 20. mars 1994**

**Lars G. Golmen  
prosj. leiar**

## FORORD

*Brakkvassresipienten Kyllaren i Askvoll har dårleg utskifting. Som følgje av dette oppstod det plager med lukt av gass (hydrogensulfid) i desember 1993. Denne lukta er markant (som rotne egg), og er til sjenanse.*

*Fylkesmannens Miljøvernaving i Sogn og Fjordane var involvert i arbeidet med vern av våtmarksområde i Kyllaren. Den dårlege vassutskiftinga og gassplagene blei sett på som eit trugsmål mot lokaliteten. NIVA blei derfor kontakta i januar 1994, med forespurnad om å vurdere tilhøva, samt å foreslå tiltak for å forbetre tilstanden.*

*9. februar 1994 blei det gjennomført synfaring og prøvetaking. Resultat frå denne, saman med data innsamla tidlegare av jakt og fiskelaget v/Roald Nordeide, dannar grunnlaget for denne rapporten.*

*Forskar Jarle Molvær frå NIVA og Svein Østerhus ved UiB las gjennom rapportutkastet og ga kommentarar. Fiskerikonsulent i Askvoll, Eivind Aarset, bistod under synfaringa, og framskaffa eksisterande data. Førstekonsulent Arild Klyve var Miljøvernavingas kontaktperson. Klyve deltok også på synfaringa. Inger Midttun hos NIVA redigerte sluttrapporten.*

NIVA, Bergen 20/3 1994



Lars G. Golmen

## NOKRE FAGLEGE ORD OG UTTRYKK SOM BLIR BRUKT I RAPPORTEN.

Uttrykka kan ha ei anna og vidare tyding i andre samanhengar enn slik dei er nytta i denne rapporten.

**Adveksjon:** Transport eller forflytning av vatn som strømmen forårsakar.

**Brakkvatn:** Vanlegvis definert som fjordvatn med lavare salinitet enn 25. Men nemninga blir ofte nytta i ein vidare forstand om vatn i øvre lag av fjordar som er betydeleg påverka av lokale ferskvasskjelder.

**Eutrofiering:** Prosess med næringssalttilførsel og "overgjødsling" i sjøvatn, og som fører til ekstra stort oksygenforbruk i vannmassen, gjerne også unormal stor algevekst.

**Densitet:** Nemning for sjøvatnets egenvekt, som avheng av temperatur og salinitet, samt trykk. Oppgis ofte i sigma-t einingar, som er egenvekta i  $\text{kg/m}^3$  minus 1000.

**Hydrografi:** Vanligvis brukt som nemning på (læra om) sjøvatnets fysiske/kjemiske tilstand, d.v.s. om dets eigenskapar og tilstand når det gjeld salinitet og temperatur, samt oksygeninnhald.

**Kalibrere:** Omgrep som betegnar ein systematisk prosess for å korrigere måleinstrument eller måledata for feil.

**Salinitet:** Nemning på total mengde av løyste salt i sjøvatn, målt i kg salt pr kg sjøvatn. Merk at næringssalt inngår som del av dei løyste salta, men desse bidrar berre med ein forsvinnande liten del i forhold til andre dominerande salt som f. eks. NaCl. Salinitet blir bestemt ut frå sjøvatnets elektriske leiingsevne (konduktivitet). Oppgis utan nemning, eller med faktoren  $10^{-3}$  ("promille" ppt).

**Sediment:** Nemning på lausmasser på hav- og fjordbotn. Aktuell sammensetning og konsistens er bestemt bl. a. av topografiske forhold, strømforhold og avstand til partikkelkjelder.

**Sprangsjikt:** Nemning på overgangen mellom eit brakkvasslag øvst i fjorden, og saltare vatn under. Overgangen kan vere svært markert (tynt sprangsjikt) eller strekke seg over fleire djupnemeter.

## KONKLUSJON

Kyllaren er ein liten terskelfjord i Askvoll kommune, Sogn og Fjordane. Største djup er 30 m. Terskelen som er 3 km lang og berre ca 1 m djup, medfører kraftig tidevassdemping og sterkt hemma vassutskifting, med daudt og rote djupvatn i Kyllaren som følgje. På terskelen er det lagt ei vegfylling som nok hemmar utskiftinga ytterlegare.

Kyllaren og terskelområdet (Leira og Askvika) er nyleg freda som våtmark. Kulvert gjennom vegfyllinga blei lagt i 1993 for å stoppe den trugande tilslamminga av Leira.

Vinteren 1993/1994 oppstod det store luktplager ved Kyllaren. Dette skuldast hydrogensulfid ( $H_2S$ ) gass som har akkumulert i djupvatnet over lang tid. Målingar av konsentrasjonen syner verdiar over 120 mg/l  $H_2S$ .

Hydrografiske målingar gjennom isen i Kyllaren i februar 1994 synte djupvatn med salinitet rundt 25 ppt og temperatur lik 8.6°C. Målingar i 1993 synte tilsvarende temperatur, men 3-5 ppt lågare salinitet. I øvre lag var saliniteten i februar 1994 ca 15 ppt. Sjøtet med overgang til  $H_2S$  låg i 1993 på 6-7 m djup, men steig til nær overflata ved årsskiftet 1993/1994, med påfølgjande luktplager som resultat.

Det vert konkludert med at luktplagene kan ha samanheng med forutgåande innstrøyming av salt og tungt vatn, kombinert med ugunstige vertilhøve med lite nedbør og sterk kulde som har forårsaka vertikalblanding i øvre lag av vassøyla. Sjølv om dei klimatiske tilhøva var spesielle hausten 1993 og og den påfølgjande vinteren, er det likevel sannsynleg at luktplager vil oppstå også i åra framover, dersom mottiltak ikkje vert sett i verk.

Tidvis innstrøyming av saltare vatn over terskelen fekk sannsynlegvis gunstigare vilkår etter at ny og djupare kulvert vart lagt gjennom fyllinga våren 1993. Dei auka sjøvassmengdene som når fram til Kyllaren er sannsynlegvis framleis så små (ikkje målt) at dei i alle fall på kort sikt neppe bidrar til betre vasskvalitet. I staden kan det bli danna nye sjikt av ekstra tungt vatn ved botn, som vanskeleg lar seg blande vertikalt.

Det er foreslått ei enkel innretning for å oppretthalde brakkvassutstrøyminga, men redusere eller regulere innstrøyminga av tungt sjøvatn (sjølvregulerande klaffe-anordning) gjennom kulverten. På den måten vil ein framleis kunne redusere tilslamminga i Leira, og samstundes forbetre djupvasskvaliteten i Kyllaren.

Fleire løysingar for å auke vertikalblandinga inne i Kyllaren er vurdert som nyttige og realistisk gjennomførbare. Det er tale om effektbehov av storleiksorden 100 W. Men det vert tilrådd å vente med tiltak for å finne ut om sjikttingsforholda i Kyllaren er i ferd med å innta ein ny tilstand muligens med kraftigare sjikting som følgje av at kulverten blei lagt.

Det bør foretakast hydrografiske målingar også i 1994. Desse bør kombinerast med måling av vannstand og faktisk inn/utstrømming over terskelen. Biologisk skadeomfang som følgje av forgiftinga i vassøyla vinteren 1993/1994 bør kartleggast.

## INNHALD

KONKLUSJON. ....	3
1. FORMÅL MED RAPPORTEN .....	5
2. BAKGRUNN .....	5
2.1. Foreliggende gransking .....	8
2.2. Geografi og topografi .....	8
2.3. Eksisterende data .....	10
3. MILJØTILSTANDEN I KYLLAREN .....	11
3.1. Hydrografi og vasskvalitet .....	11
3.2. Sirkulasjon .....	15
3.2.1. Tidevatn .....	16
4. VURDERING AV UTVIKLING OG TILTAK .....	17
4.1. Aktuelle metoder .....	18
4.2. Val av metode .....	20
5. OPPFØLGJING .....	21
REFERANSAR: .....	23
VEDLEGG	

## 1. FORMÅL MED RAPPORTEN

Brakkvassforekomsten Kyllaren i Askvoll har dårleg vassutskifting, og tilhøyrande problem med akkumulering av hydrogensulfid ( $H_2S$ ) gass i djupvatnet og tidvis luktplager av gassen i område nær resipienten. Ved årsskiftet 1993/1994 var det tildels stor plage med lukt, før isen la seg. Nye problem oppstod i månadsskiftet februar-mars 1994.

NIVA er på kort varsel blitt bedt om å vurdere problemomfanget, belyse årsaker og å peike på eventuelle tiltak på kort eller litt lengre sikt som kan forbetre tilstanden. Rapporten er basert på ei kort synfaring, samt på eksisterande data frå Kyllaren og kunnskap/teori om liknande problem andre stader.

## 2. BAKGRUNN

Kyllaren er ein poll eller liten fjord i Askvoll kommune, Sogn og Fjordane. Kyllaren har svært grunt og langt terskelområde (Leira ig Askvika, fig. 1), som hemmar vassutskiftinga. I tillegg er det anlagt to vegfyllingar over dei grunne partia som nok har dempa utskiftinga ytterlegare. Ved årsskiftet 1993/1994 oppstod det plager med lukt frå bassenget, som skuldast gass frå stagnerande djupvatn. Låge oksygenverdiar i brakkvatnet i Kyllaren og på Leira har også hatt negative følgjer for fiskeoppgang (ein aurebekk renn ut i Kyllaren, og ein i Leira).

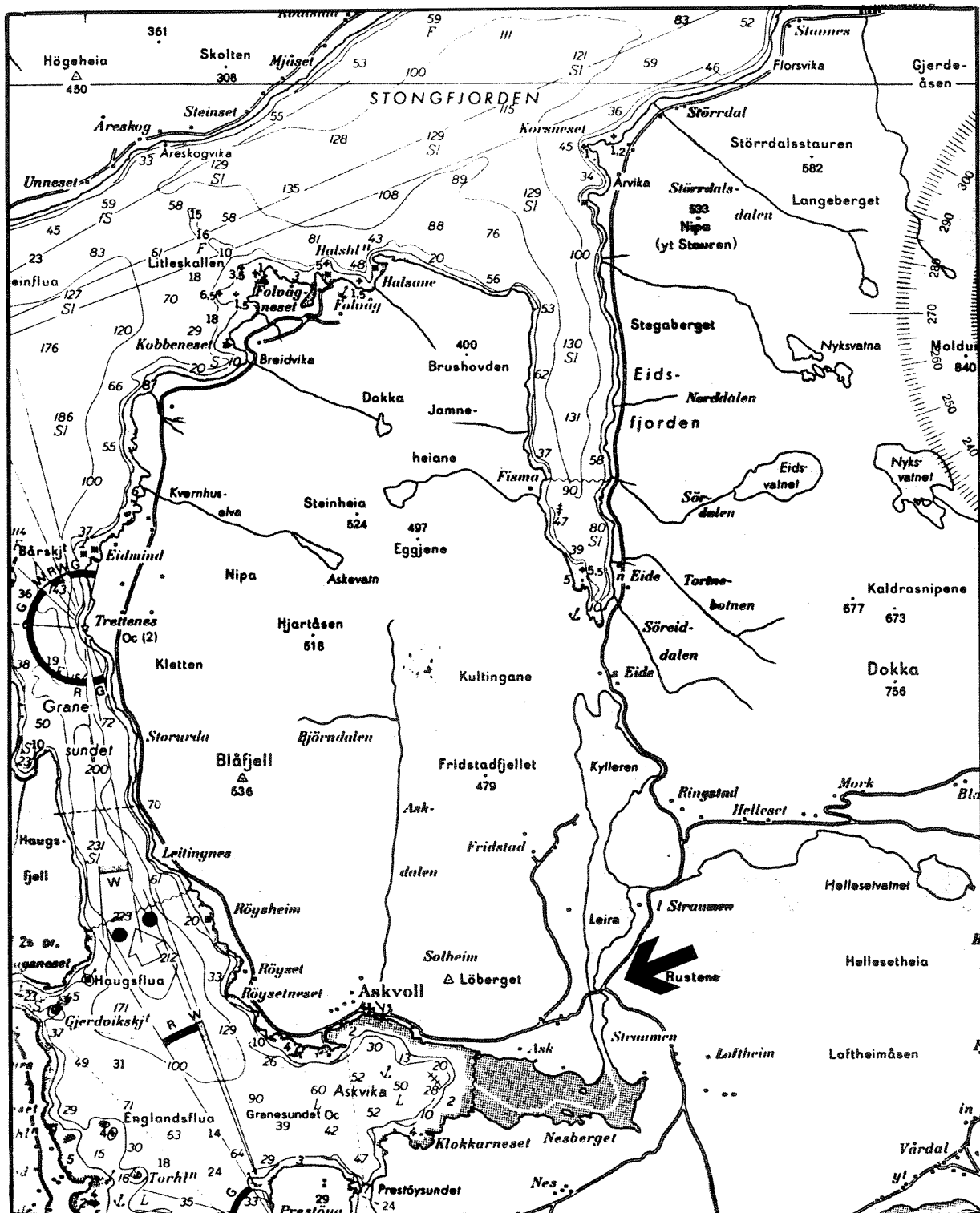
Over terskelområdet mellom Leira og Askvika blei det tidleg lagt veg (før århundreskiftet). Vegfyllinga har blitt utvida og modifisert i fleire etappar. I 1950-åra skjedde det ei utviding der det blei anlagt ei lita bru for å sikre ei viss gjennomstrøyming. Lenger ute i Askvika blei det i 1980 åra anlagt en annan veg, med fylling og bru (i kabeltraséen, fig. 1). Dette prosjektet kan også ha bidratt i negativ retning til utskiftinga av Kyllaren, men er ikkje i fokus for denne rapporten.

Våren 1993 blei det lagt ein ekstra kulvert i den gamle fyllinga på RV 608 i Straumen (fig. 2) for å auke vassgjennomstrøyminga inn til Kyllaren. Bakgrunnen for dette var den aukande tilslamminga av Leira, som også kunne hemme vassutskiftinga i Kyllaren. Det var eit ønske om å bevare naturtilstanden i området, som i 1991 ble verna som naturreservat (våtmarksområde). Det blei imidlertid ikkje foretatt noka miljømessig konsekvensutgreiing (berekningar m.m.) for inngrepet på førehand.

For generell overvaking og som støtte for å vurdere effekten av den nye kulverten blei det satt i gang eit måleprogram for hydrografi og vasskvalitet våren 1993. Programmet går framleis, i regi av miljøvernleiaren med det lokale jakt og fiskelaget, v/Roald Nordeide og Eivind Aarseth som medspelar.

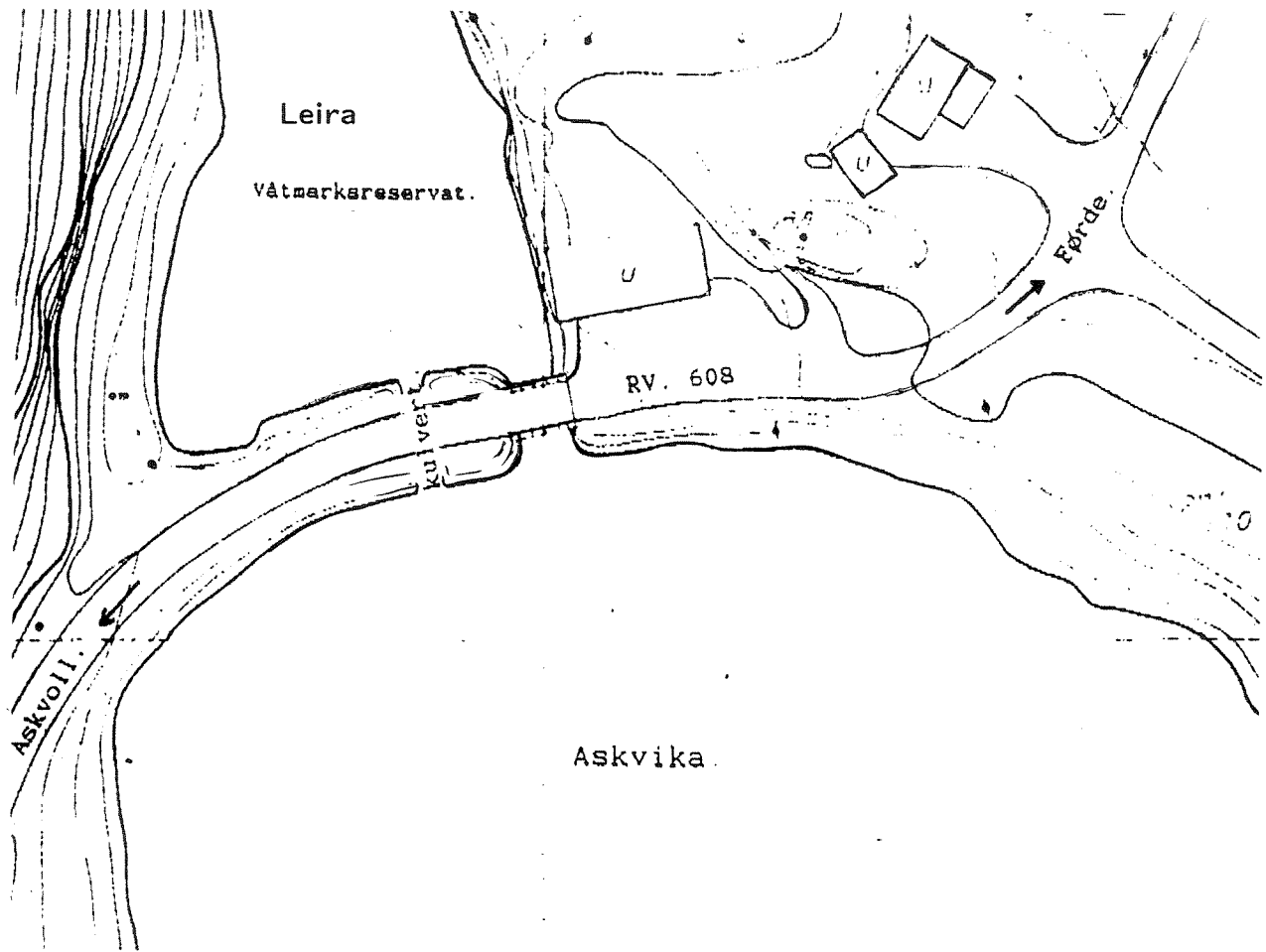
Hausten 1993 oppstod det luktplager rundt Kyllaren, som truleg skuldast hydrogensulfid ( $H_2S$ ) frå djupvatnet. Det blei reist spørsmål til om det kunne vere ei kobling til det siste inngrepet i fyllinga, eller om det skuldast tilførsler frå tilstøytande gardsbruk eller andre forhold. Luktplagene forsvann med islegginga i desember, men oppstod igjen i månadsskiftet februar/mars.



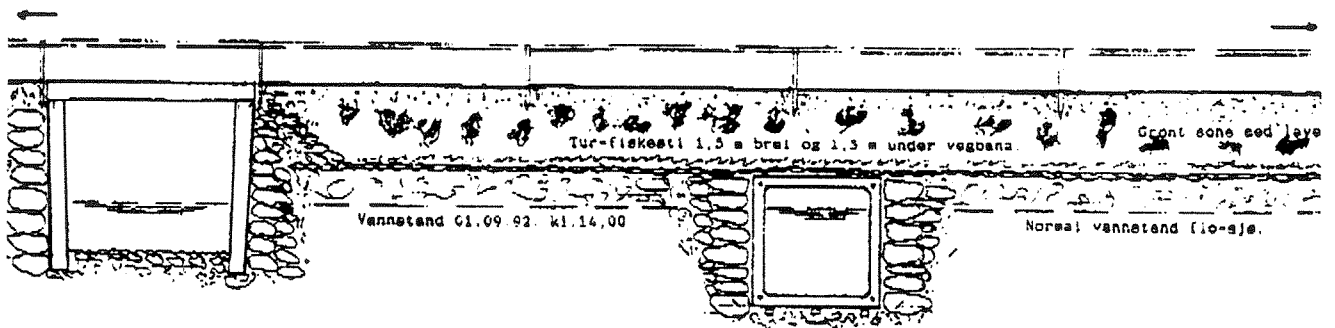


Figur 1.

Kopi av sjøkart nr 27, med Askvika og Kyllaren. Vegfylling og bru i Straumen er markert med pil. Det eksisterer også ei relativt ny fylling m/ bru ved Klokkarneset i Askvika, nær der sjøkabelen er markert. Målestokk: 1:50,000.



LENGDEPROFIL. RV. 608 over Askvika.



**Figur 2.** Øverst: Detaljkart over Straumen med fylling, kulvert og bru i tilknytting til RV 608. Nederst: Tverrsnitt sett frå Kyllaren, med brua til venstre og ny (1993) djupare kulvert til høgre.

## 2.1. Foreliggende gransking

Miljøvernavingdelinga i Sogn og Fjordane som alt hadde vore i inngrep med saka ei stund, kontakta NIVA i månadsskiftet januar/februar 1994, med spørsmål om å få belyst problemet med Kyllaren frå fagleg hald. Dette gjalt utviklinga på kort sikt, med forventa effekter i næraste framtid. Vidare kva den dårlege vasskvaliteten skuldast, og kva avbøtande tiltak som vil kunne iverksetjast.

NIVAs tilbod på gjennomføring av ei utgreiing med kort tidsfrist blei akseptert av Miljøvernavingdelinga 1/2 1994. Like etter blei det gjennomført ei synfaring med prøvetaking på lokaliteten.

## 2.2. Geografi og topografi

Kyllaren (fig. 1) utgjer nordligaste halvdel av ein ca 2.5 km lang resipient, der Leira dannar søre delen. Leira er grunn, med middeldjup ca 1 m, og overflateareal på ca 0.3 km<sup>2</sup> (rekna sør til RV 608, Straumen).

Frå ytre del av Askvika (nær Askvoll sentrum) går det ei grunn renne gjennom våtmarksområdet, som mindre båtar kan forsere oppover til Straumen bru. Tidligare (førre hundreåret) gjekk der jekter heilt inn til Kyllaren for opplag. Dette må ha skjedd på flo sjø, med djupare vatn enn i dag. I dag ville slik ferdsel vore vanskeleg p.g.a. djupnene, noko som kan tyde på at det har skjedd ei gradvis oppgrunning av området.

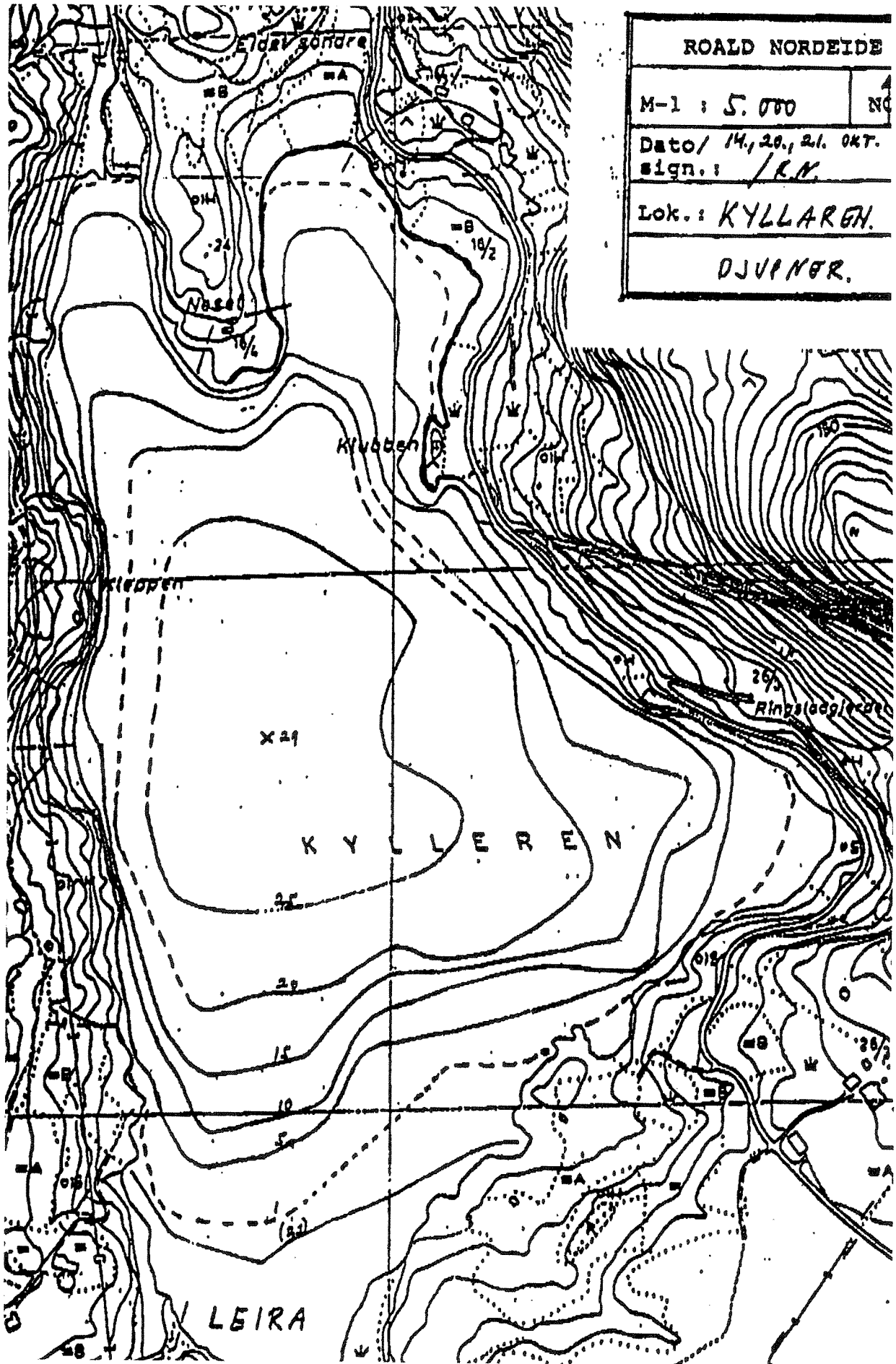
Avstanden frå Askvika til Straumen bru og vegfyllinga er ca 2 km. Derfrå og nordover til Kyllaren er det ytterlegare 1 km. Botntopografien for Kyllaren er synt i fig. 3.

Nokre topografiske data for Kyllaren (omtrentlege verdiar):

Max. djup:	30 m <sup>*)</sup>
Avstand til sjø (Askvika):	3 km
Terskeldjup:	< 1 m
Overflateareal:	0.35 km <sup>2</sup>
Samla vassvolum	4 mill m <sup>3</sup>
Vassvolum, intervall 5-30 m:	2.5 mill m <sup>3</sup>

\*) målt med ekkolodd under synfaringa 9/2 1994.

Det framgår at Kyllarens overflateareal er om lag like stort som Leira sitt, mens vassvolumet er ca 10 gonger større.



Figur 3. Botntopografi for Kyllaren. Djupner i meter.

Nedslagsfeltet for Kyllaren og Leira er berglendt. Arealet er ca 2.3 km<sup>2</sup>. Nedslagsområdet for strekninga Askvika-Leira er berekna til 8 km<sup>2</sup> (Fløene, 1974). Av dette kan vi anslå at ca 1/2 er knytt til Leira. Ringstadelva med Hellsetvatnet (sjå fig. 1) har ca 5.7 km<sup>2</sup> nedslagsfelt. Til saman gir dette ca 12 km<sup>2</sup> nedslagsfelt, med varierende feltretensjon (berg, myr etc).

Samla normalavrenning til Kyllaren og Leira er ca 0.1 m<sup>3</sup>/s, og 1 m<sup>3</sup>/s ved flaum (etter Fløene, 1974).

### 2.3. Eksisterande data

Før NIVAs synfaring med prøvetaking 9/2 1994, foretok det lokale jakt og fiskelaget prøvetaking til følgjande tidspunkt:

Tidspunkt	Parametrar målt
28.10. 1990	Profil av Salt og Temp.
28.03. 1993	T-S profil, sikt, Tot-P, Tot-N
02.05. 1993	T-S profil, sikt, oksygen
30.05. 1993	T-S profil, sikt
20.06. 1993	T-S profil, sikt, turb., TOC, Tot-P, Tot-N
03.08. 1993	T-S profil, sikt
15.08. 1993	Turb., Tot-P, Tot-N
10.10. 1993	T-S profil, sikt
08.11. 1993	T-S profil, sikt
09.01. 1994	T-S profil m/sonde, sediment, vasspr. (NIVA)

Målingane i regi av jakt og fiskelaget er gjort frå båt v.hj. av vannhentar med umiddelbar avlesing/måling av temperatur og salinitet om bord. Saliniteten er målt med refraktometer eller indirekte ved å måle densiteten med pyknometer. Begge desse metodene kan ha relativt stor måleusikkerheit. Vatnet i Kyllaren er brunfarga (muligens p.g.a. jern). Dette fargeavviket vil kunne påverke avlesingane i refraktometeret. NIVAs sondemålingar kan også vere befengt med ein viss feil, som skuldast unormal ionesamansetning i djupvatnet. Særleg viss mykje sulfat er fjerna.

Prøvene av oksygen og næringssalt som jakt og fiskelaget tok, blei analysert hos Næringsmiddeltilsynet for Sogn i Sogndal.

Under NIVAs synfaring 9/2 1994 var Kyllaren islagt. Istjukkeleiken var ca 30 cm. Gjennom hol i isen blei det tatt salt-temp. profil til botn med spesialinstrument (Sensordata SD200 STD sonde). Vidare blei det tatt prøver av vatn og botnsediment.

Det kan også nemnast at det i 1979 blei gjort måling av vannstand oppstrøms og nedstrøms brua i Straumen, i regi av NVE.

### 3. MILJØTILSTANDEN I KYLLAREN

Den dårlege vasskvaliteten i Kyllaren er forårsaka av dårleg sirkulasjon/utskifting i forhold til aktuelle tilførsler av oksygenforbrukande materiale. Sistnemnde faktor vil i hovedsak vere bestemt av tilførsler av organisk stoff (karbon) frå land, samt lokal bioproduksjon (alger) i den "friske" øvre del av vassøyla. Algevekst vil bli stimulert av næringsalt-tilførsler frå land, frå landbruk, skog og utmark.

Inngående strøm gir neppe store bidrag til den organiske belastninga av Kyllaren (relativt reint vatn inn). Men tidvis transport av laust sediment frå Leira vidare nordover til Kyllaren kan vere ein vesentleg faktor for dagens belastning.

Utgangspunktet for hydrogensulfiden er sulfat i sjøvatnet, som ved ein salinitet på 25 ppt i normalt har ca 650 mg/l svovel. Når alt løyst oksygen er oppbrukt til nedbryting av organisk materiale, startar bakteriologisk nedbryting av nitrat (denitrifisering), med danning av nitritt og til slutt nitrogengass. Etter dette byrjar reduksjon av sulfat og danning av H<sub>2</sub>S.

Nytt innstrøymande sjøvatn vil føre med seg oksygen, som bidrar til å redusere hydrogensulfid konsentrasjonen i større eller mindre grad. Fortsatt vil det imidlertid vere sulfat til stades for danning av H<sub>2</sub>S. For å endre tilstanden må ein enten stenge av karbonkjeldene, auke utluftinga eller auke vassutskiftinga.

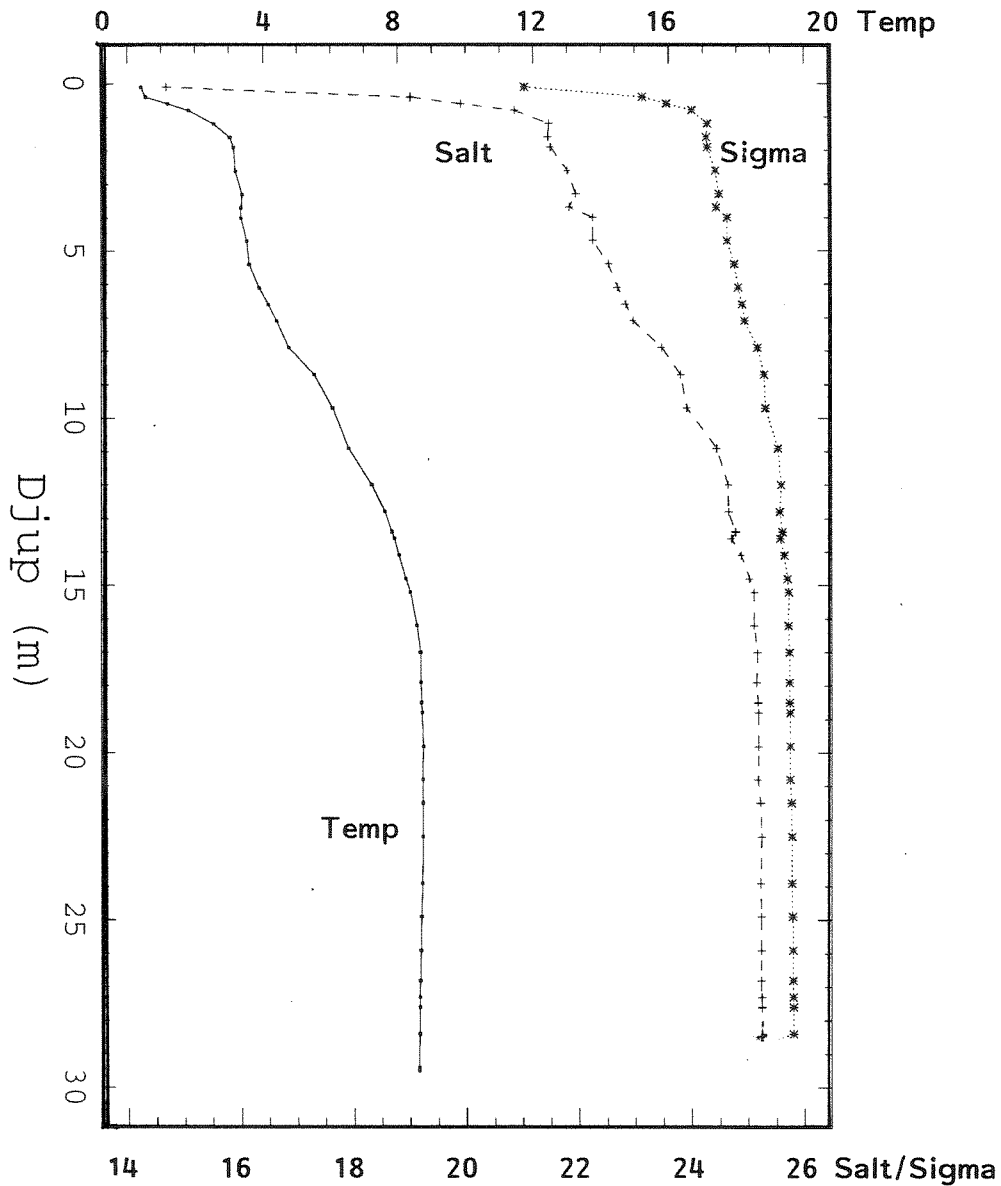
Ei totalvurdering av miljøtilstanden i Kyllaren vil også innebere ei vurdering av den historiske utviklinga. Dette gjeld først og fremst dei menneskelege inngrep som er foretatt i nyare tid. Langsom naturlig endring av topografien i dei grunne områda i Askvika og i Straumen kan ha bidratt til å forverre utskiftingstilhøva. Landheving og endra flomål det siste hundreåret kan også ha bidratt negativt når det gjeld utskiftingstilhøva.

#### 3.1. Hydrografi og vasskvalitet

Fig. 4 syner resultatane av målingane med spesialsonde 9/2 1994. I tillegg til salinitet og temperatur, er også kurve for densitet (kg/m<sup>3</sup>-1000) framstilt. Samtlige måledata er tabellert i vedlegg. På grunn av isen blei ikkje siktedjup målt.

Resultata synte eit tynt øvre sjikt like under isen med temperatur nær frysepunktet og salinitet under 15 ppt (‰). Under dette var det eit markert sprangsjikt, med overgang til varmare og saltare vatn. I 1 m djup var saliniteten 21 ppt, og temperaturen ca 2.0 °C. Derfrå og nedover mot ca 15 m djup auka salinitet og temperatur omlag lineært. Frå 15 m og ned mot botn

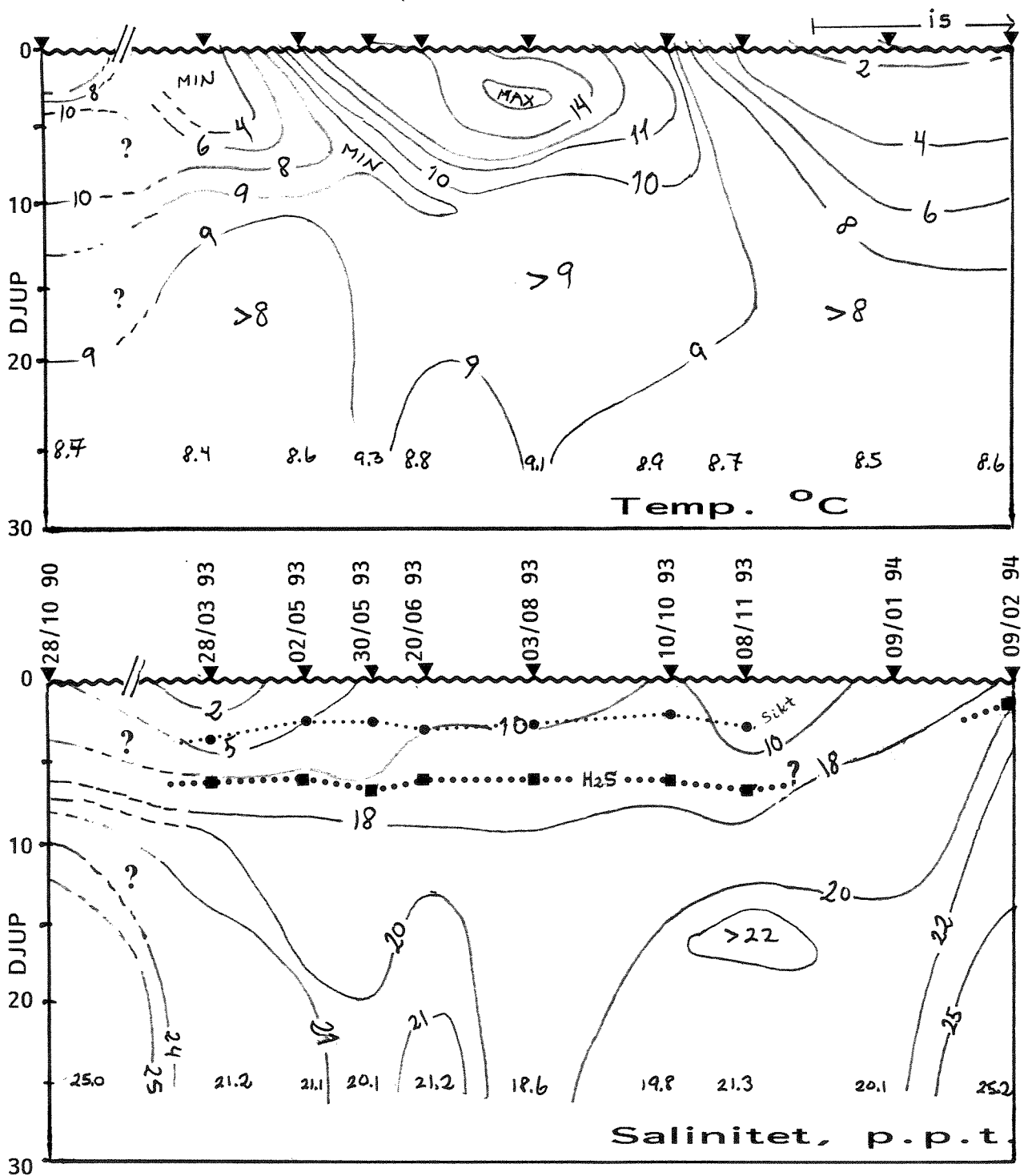
(30m) var verdiane temmeleg konstante, med 25.2 ppt i salinitet og 8.6 °C i temperatur (fig. 4).



**Figur 4.** Vertikalprofil av salinitet (ppt), temperatur (°C) og densitet (sigma-t) målt i Kyllaren 9/2 1994.

#### Tidlegare målingar

Dei tidlegare målingane av temperatur og salinitet (avsnitt 2.2) er framstilt i isolinjeplott i fig. 5. Observasjonane frå oktober 1990 er også tatt med. Men linjene frå desse målingane til datasettet frå 1993-1994 som er trekte med stipla linje, er usikre.



Figur 5. Isolinjeplott av målt temperatur og salinitet i Kyllaren i perioden 1990-1994. Data frå ulike kjelder. Kun ei måling i 1990, og ingen i 1991-1992. siktedjup og øvre grense for H<sub>2</sub>S er også markert.



Det framgår av målingane at temperaturen i djupvatnet låg tilnærma konstant rundt 8.5-9.0 °C i måleperioden. Sommaren 1993 var det innslag av litt varmare vatn. Sjøtaket mellom 10m og botn hadde temperatur mellom 8 og 10 °C det meste av tida. Vinteren 1993/94 sank temperaturen litt i øvre del av dette sjiktet. Denne perioden hadde også dei lågaste temperaturane i det øvre 2-3 m tjukke laget, og islegging.

Saliniteten var tidvis nær null i overflata. Djupvassverdiane i 1993 låg rundt 20-22 ppt. Målingane i oktober 1990 februar 1994 synte salinitet over 25 ppt i djupvatnet. Ei utskifting kan ha funne stad i perioden frå januar til februar 1994, og ført til endra salinitetsverdier. Ei anna forklaring er at målemetodikken i perioden 1993 - jan. 1994 har gitt avvikande resultat i forhold til februar 1994 og oktober 1990. Eit avvik (målefeil) på 3-5 ppt er mykje, men muligens ikkje heilt usannsynleg (kan etterprøvast ved samanlikning av metoder).

Isolinja for 18 ppt definerer sprangsjiktet. Dette heldt seg i 6-8 m djup det meste av tida. Men frå januar 1994 steig det oppover. I februar 1994 låg 18 ppt verdien nær overflata. Det at målingane i januar også synte denne trenden gjer at tendensen synes signifikant uansett evt. systematisk målefeil i tidligare data.

### Siktedjup

Siktedjupsverdiane i måleperioden er markert i fig 5. Verdien varierte mellom 3.5 m og 2.5 m. Dette er lågt, og samtidig uvanleg konstant i høve til det ein måler i fjordar ellers (typisk variasjon mellom 2 m og 15 m over året). Dette indikerer at det permanent er mykje partikulært materiale (humus, alger, o.l.) i øvre del av vassøyla.

### Grensesjikt oksygen/H<sub>2</sub>S

Sjiktet med overgang frå oksisk til anoksisk tilstand låg rundt 1 m djup ved målingane i februar 1994. Ei vassprøve frå ca 1/2 m djup synte oksygenverdi på 4.9 mg/l (3.4 ml/l), tilsvarande om lag 50 % metning. Dette indikerer at det var oksygenforbruk/reduksjon også like under isen.

Vassprøver frå 15 og 28 m djup i februar 1994 synte svært høge H<sub>2</sub>S verdier. I 15 m var verdien ca 91 mg/l. I 28 m var verdien vesentleg høgare enn 120 mg/l (eksakt verdi ikkje påvist).

Sjiktet for overgang mellom oksisk og anoksisk (H<sub>2</sub>S) vatn slik det blei registrert v.hj. av vannhentar i 1993 og 1994 er også markert i fig. 5. Grenseflata låg først i 5-6 m djup. I januar 1994 var den ikkje nøyaktig påvist, men i februar 1994 låg den rundt 1 m djup. *(Kommentar: Oksygenprøven frå 10 m djup 2/5 1993 synte 112% metning, mens H<sub>2</sub>S grensa låg i 6 m djup. Dette må indikere ein feil enten ved prøvetaking eller analyse).*

Forverringa vinteren 1994 kan skuldast omrøring i det øvre laget (jamfør føregående luktplager). Langsomme vertikale svingingar av sprangsjiktet (indre bølger med periode av storleiksorden 0.1-1 time) kan også forklare forverringa i februar 1994, m.a. ved

at prøvetaking har foregått i ulik fase av svingingane. Slike indre bølger har ein tendens til å forsterke seg når densitetsforskjellene blir redusert om vinteren.

Ut frå gjeldande klassifiseringsnormer for fjordar (SFT 1993) når det gjeld oksygenforhold, vil Kyllaren hamne i lågaste klasse "V", d.v.s. "Meget dårlig", og "meget sterkt forurenset". Underforstått her er at tiltak må setjast inn for å forbetre tilhøva, i alle fall dersom tilstanden skuldast menneskelege tilførsler eller inngrep.

## Næringssalt

Næringssaltprøvene som blei tatt i 1993 av jakt og fiskelaget synte følgjande verdiar:

	Tot-P, µg/l (dato)	Tot-N, µg/l (dato)
3 m djup	23 (28/3 1993)	370 (28/3 1993)
	270 (20/6 1993)	20 (20/6 1993)
	31 (15/8 1993)	320 (15/8 1993)
10 m djup	1000 (20/6 1993)	2200 (20/6 1993)
	2500 (15/8 1993)	970 (15/8 1993)

N/P forholdet (vekt) var 10-16 i øvre lag 28/3 og 15/8. Dette er litt i overkant av det normale. Den 20/6 var dette forholdstalet omsnudd (ca 1/14; kan skuldast ombytting av resultat?). I 10 m djup synte målingane svært høge verdiar både for N og P, særleg for P.

Basert på gjeldande klassifiseringsnormer for næringssalt i overflatelag i fjordar (SFT 1993) vil Kyllaren hamne i kategori III- "Nokså dårlig", evt. IV-"Dårlig" (har her antatt at prøvene frå 20/6 er ombytta). Med den dårlege vasskvaliteten i djupvatnet hamnar imidlertid Kyllaren i SFTs dårlegaste klasse, V; "Meget dårlig".

## 3.2. Sirkulasjon

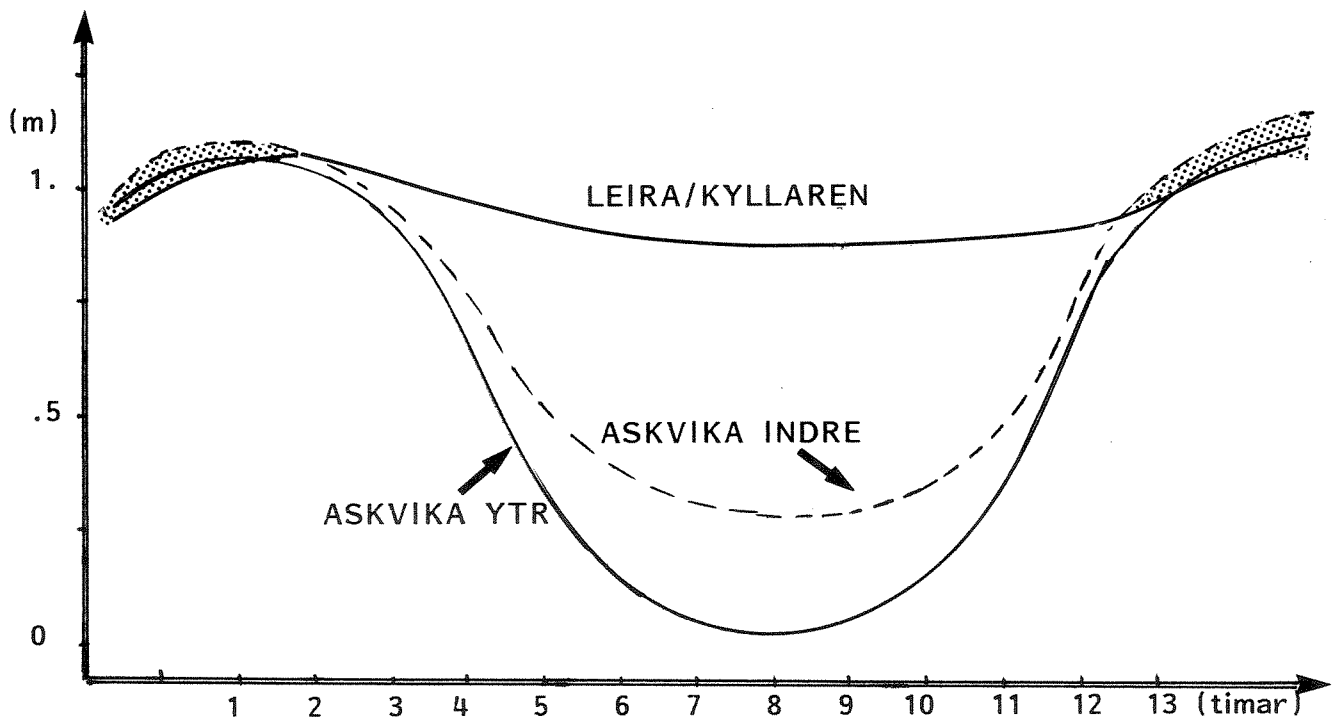
Fleire fysiske faktorar kan bidra til utskifting eller utlufting av vatnet i Kyllaren (Berge m. fl. 1982):

- \* Direkte vassutbyte av sjøvatn med Askvika
- \* Ferskvasstilførsler
- \* Avkjøling i overflata, med vertikal konveksjon
- \* Nedblanding p.g.a. vind
- \* Turbulent blanding som følgje av innstrøymande vatn
- \* Indre bølger.

Det er klart at sjølv med samvirke av gunstige faktorar er utskiftinga i dag for liten til å lufte djupvatnet. Heile vassøyla synes ha dårleg eller forringa vasskvalitet som følgje av dårleg vassutskifting. Det ligg ikkje innafor ramma og målsettinga til denne korte utgreiinga å vurdere sirkulasjonsmønsteret i Kyllaren i detalj.

### 3.2.1. Tidevatn

Vannstanden i Kyllaren står oftast høgare enn utanfor Askvika. Dette gjaldt i alle fall før ekstra kulvert blei lagt våren 1993, og er nok ein kombinert effekt av ferskvasstilrenninga og dårleg tømme kapasitet. Nokre manuelle registreringar av NVE i april-mai 1979 synte at Kyllaren på langt nær tømte seg ned til nivå for fjøre sjø utanfor. Berre i korte perioder (ca 1-2 timar) like før flo sjø utanfor var vannstanden høgare utanfor enn innafor, slik at innstrøyming kunne skje. Fig. 6 syner prinsippskisse for forløpet til vannstandsvariasjonen.



**Figur 6.** Prinsippskisse for vannstandsvariasjon i Askvika og inne i Kyllaren over ein tidevassyklus (ca 12.5 timar). Skraverte felt indikerer dei korte tidsromma då innstrøyming til Leira/Kyllaren kan skje.

Tidevannsforskjell ( $= 2 a_0$ ) inne i Kyllaren er om lag 30 cm, mens tilsvarende forskjell utanfor er 1.1 - 1.2 meter. Dette gir ein dempingskoeffisient ("choking coefficient") på ca 0.25. På sørsida av Straumsbrua var det også ein viss amplitudedemping (ca 0.8-0.9 m min til max) på grunn av det lange (2 km) og grunne (ca 1 m) området i Askvika. Dette tilseier at effektiv dempingskoeffisient p.g.a. vegfyllinga var av storleiksorden 0.4.

Dempingsfaktoren vil avhenge av aktuell ytre amplitude, og kan også variere sesongmessig p.g.a. varierende friksjon (begroing) slik det er observert i Framvaren (Stigebrandt og Molvær 1988). Målingar med sjølvregistrerende instrument vil gi betre svar på amplitudedemping og

faseforskyving i forhold til dei kortvarige manuelle målingane.

Det meste av dempinga skjedde (og skjer) sannsynlegvis i området ved Straumen. Det er ikkje foretatt målingar etter at ny kulvert blei lagt, ut over visuelle observasjonar (v/ E. Aarseth) som synte nivåforskjell av storleiksorden 1/2 meter frå eine side av brua til den andre. Dersom dette er rett, har ny kulvert bidratt til å redusere dempinga med ca 20% i forhold til tidligare.

For å berekne teoretisk effekten på demping av endringar i gjennomstrøymingsareal ved brua må ein foreta ei rad tilnærmingar. Vi kan nytte metoden til Stigebrandt (1980) for å få eit visst begrep om storleikar. Om vi antar dempingskoeffisient på 0.25 (som før siste inngrep), kan vi berekne det "effektive tverrsnittsarealet"

$$A_m' = A_m / (1 + \lambda)^{0.5}$$

som er forskjellig frå det geometriske (minimums) tverrsnittet  $A_m$ .  $\lambda$  er ein dimensjonslaus faktor som uttrykkjer storleik på friksjonseffekt ( $\lambda=0$  tilsv. ingen friksjon). For Kyllaren er  $A_m'$  ca 13 m<sup>2</sup>, som sannsynlegvis er av same storleiksorden som det geometriske gjennomstrøymingsarealet i Straumen. Med større kunnskap om den faktiske dempinga i Kyllaren vil ein kunne berekne  $A_m'$  for innløpet meir eksakt, og derpå vurdere effekt av auka gjennomstrøymingsareal ved Straumsbrua åleine.

Midlare teoretisk volumfluks inn/ut i løpet av ein tidevannsperiode er ca  $2a_0 A_p / 6.25$  time ( $A_h$  er overflatearealet = 0.35 km<sup>2</sup>), tilsvarende 4-5 m<sup>3</sup>/s i middel. Maksimalfluksen i Straumen er nok oppe i det doble eller meir ved max. dagleg tidevassforskjell. Dette vil tilsvare strøm gjennom kulvertane på ca 1-2 m/s, noko som kan stemme omtrentleg med visuelle observasjonar under synfaringa 9/2 1994.

Til samanlikning er ferskvasstilrenninga til Kyllaren/Leira estimert til 0.1-1 m<sup>3</sup>/s, m.a.o. av storleiksorden 1/5 eller mindre i forhold til tidevassfluksen.

#### 4. VURDERING AV UTVIKLING OG TILTAK

Luktplagene som oppstod rundt Kyllaren rundt årsskiftet 93/94 vil sannsynlegvis kome igjen når isen forsvinn (synes stadfesta av innkomne meldingar ved rapportavslutting). H<sub>2</sub>S vil då kome til overflata i mindre doser. H<sub>2</sub>S blir raskt oksydert ved kontakt med luft, men lukt vil kunne vedvare nokre timar etter ein oppstrøymingsepisode.

Luftmålingar sist vinter ved Sælenvatnet i Bergen synte ikkje foruroligande høge verdiar. Men det blei ikkje målt før etter at den verste lukta hadde gitt seg, og folk hadde evakuert (Tveit, Næringsmiddelkontrollen i Hordaland, pers. medd.). I landbruket er ein merksam på H<sub>2</sub>S gass i samband med gjødselskjellarar. I husdyrrom er grensa 0.5 ppm. Inntil 5 ppm kan kan akseptast i korte perioder (ved tømning eller omrøring, Nerland, Fylkeslandbrukskontoret Hordaland, pers. medd.).

Sjølv om konsentrasjon av  $H_2S$  i Kyllaren ikkje er nøyaktig fastslått, er det klart at det er tale om svært høge verdiar, og at miljøet i djupvatnet er svært reaktivt. Samtidig indikerer det at djupvatnet er svært gammalt, kanskje fleire ti-år eller meir. Framvaren på Sørlandet har det høgste målte  $H_2S$  nivå for terskelfjordar (ca 180 mg/l, Millero 1991). Sælenvatnet i Bergen har hatt tilsvarende luktplager som Kyllaren i 1993-94. Der er det nyleg (februar 1994) målt verdiar rundt 50-60 mg/l i djupvatnet (H. Hjelle, Bergen kommune, pers. medd.).

Forverringa i situasjonen utover vinteren 1994 kan ha medført utradering av mest alt akvatisk liv i Kyllaren. Fisk kan muligens ha overlevd heilt oppunder isen, eller ved å rømme ut. Tidspunktet for forgiftinga kan vere gunstig i forhold til tidspunkt for vandring av aure og yngel til/frå elvane, som gjerne skjer vår/haust.

Viktigaste svovelkjelda for danning av  $H_2S$  er sulfat i sjøvatnet. Sannsynlegvis er kun ein liten del av sulfatet oppbrukt. Så lenge vertikalblandinga er dårlig, vil hydrogensulfid dermed framleis bli danna.

Det store magasinet av  $H_2S$  i Kyllaren vil raskt forbruke oksygen i øvre lag ved kraftig omrøring. Slik oksydasjon kan bli stimulert viss mykje redusert jern,  $Fe(II)$ , evt. også  $Mn(II)$  er til stades. Dette er ofte tilfelle for anoksisk djupvatn, særleg like under sprangsjiktet. Oksydasjonen går då i to steg med danning av noko partikulært svovel (Millero 1991).

Utan  $Fe(II)$ , evt.  $Mn(II)$  blir  $H_2S$  fjerna mykje langsommare, og det blir danna sulfat ( $SO_4^{=}$ ). Dette er nok den mest realistiske reaksjonen der vatn frå grunne sjikt er involvert. Ved den reaksjonen kan ein rekne at oksydasjon av 1 mol  $H_2S$  krev 2 mol  $O_2$ , d.v.s. at vatn med f.eks. 10 mg  $O_2/l$  (ca metning) blanda med 5 mg  $H_2S/l$  vil danne omlag "nøytralt" (null oksygen) vatn.

#### 4.1. Aktuelle metoder

Det bør og kan iverksetjast tiltak for å forbetre tilhøva i Kyllaren, og mange metoder finns. Kort kan nemnast:

- ◆ Bobling med komprimert luft eller oksygen
- ◆ Tilføring av ferskvatn frå elv i djupet
- ◆ Mekanisk omrøring
- ◆ Utviding/utdjuping av terskel
- ◆ Avstenging av terskel for saltvassinnstrøyming
- ◆ Mekanisk stimulert vertikalkonveksjon
- ◆ Regelmessig utpumping av djupvatn
- ◆ Tilsetting av kjemisk stoff (oksidantar)

Det ligg ikkje innafør ramma til prosjektet å utføre detaljberekingar av kost/nytte for kvar enkelt metode.

Terskelområdet synes i dag å gi for liten utskiftingskapasitet, sjølv med den nye kulverten. Tilstrekkelig salt (og tungt) overflatevatn til å kunne erstatte deler av djupvatnet med salinitet på ca 25 ppt er nok hyppig til stades utanfor Askvika (jamfør statistiske data frå Sognesjøen (Aure og Østensen 1993)).

Problemet er at med den lange terskelen til Leira/Kyllaren når berre ein liten del av tungt kystvatn fram. Dei mengdene som når heilt inn og innlagrar seg i djupvatnet er for små til å bidra vesentleg til fjerning av hydrogensulfid i djupvatnet. I staden kan ein tidvis få tilførsler av sedimentert organisk materiale frå Leira som seinare kan danne  $H_2S$ . Den djupare kulverten som blei lagt i 1993 tener såleis sannsynlegvis målsettinga med å betre tilhøva i Leira, men bidrar neppe positivt for Kyllarens del.

Effektive inngrep på terskelen ut over det som alt er gjort kan bli kostbare i forhold til nytteverdien. Skal ein oppnå effektiv utskifting den vegen kan det vere behov for mudring av ei djuprenne gjennom heile Askvika og over Leira. Kun ytterlegare utviding av Straumsbrua er neppe tilstrekkeleg. Alternativ med å legge rør frå bassenget til området utanfor Askvika kombinert med oppdemming eller sluse på terskelen (Golmen 1989) ville neppe gå p.g.a. lange rør og stort friksjonstap.

Eit alternativ er å stenge den nye kulverten for innstrømming v.hj. av ein hengeklaff. Det burde vere ein relativt enkel teknisk operasjon å få laga og montert ein slik. Utforminga må vurderast nøyare. Prinsippet ville vere at vatn slepp ut, mens (salt) vatn blir hindra i å strøyme inn. Noko saltvatn ville fortsatt kome inn under brua, men avsperring av kulverten ville redusere den totale saltvasstransporten monaleg.

I prinsippet kan også bruopningen sperrast på same måten. Konsekvensen av dette ville bli at Kyllaren langsamt blei omgjort til ein ferskvassresipient. Kombinert med tekniske inngrep i sjølve Kyllaren ville ein relativt raskt få fjerna hydrogensulfiden.

Ved å gjere vatnet i Kyllaren meir brakt, evt. heilt ferskt, vil livsvilkår for organismer bli endra. Dette er sannsynlegvis ei sak som miljøvernstyresmaktene må vurdere. Men uansett bør alt vere betre enn dagens situasjon, med forgifting av heile vassøyla og store luktplager.

Det finns mange metoder som kan nyttast for å betre på tilhøva i Kyllaren. Dette går mest på ulike former for "lufting" enten ved at luft blir pumpa ned, eller at ferskvatn blir leidd ned i djupet (Berge m. fl. 1982). Ved slik lufting oppnår ein direkte oksygentilførsel som vil oksydere  $H_2S$ . Densiteten til djupvatnet og dermed sjiktinga blir også gradvis redusert, slik at friskt og tyngre sjøvatn som tidvis strøymmer over terskelen kan synke heilt til botn, og såleis forårsake utskifting den vegen. Ei slik metode burde kunne vurderast for Kyllarens vedkomande, ved å legge litt av elvetilførslane i rør til gitt djup.

Energien  $E$  som må tilførast for å blande øvre og nedre del av vassøyla er proposjonal er større dess kraftigare sjiktinga er. Enklaste betraktingsmåte tilseier at dette energibehovet er tilnærma

$$E = 1/2 h_1 V \Delta \sigma g \text{ (joule),}$$

der  $h_1$  og  $V$  er h.h.v. tjukkleik og volum av øvre lag,  $\Delta\sigma$  er densitetsforskjell mellom øvre lag og djupvatn, og  $g$  er tyngdeaksellerasjonen. Aktuelle verdiar for Kyllaren gir eit energibehov av storleiksorden  $10^8$ - $10^9$  J. Jamt fordelt over eit år gir dette eit kontinuerlig effektbehov av storleiksorden 10-100 W. Det bør vere kurant å hente ut slike energimengder enten frå vassøyla sjølv (kunstig konveksjon) eller ved ferskvassutslepp på djupna.

Metoder som involverer mekaniske pumper kan også nyttast, men dette krev relativt store investerings- og vedlikehaldskostnader. I Botnen i Rissa kommune er det investert i kompressoranelegg m.m. for 1/2 mill kr for å luften djupvatn. Driftsutgiftene er vesentlege. I Skjoldafjorden i Nordrogaland har det vore forsøkt med tilførsel av oksygen, utan større suksess (Vea 1994). Denne metoden vil kunne bli meir effektiv i Kyllaren, men den krev bl.a. kontinuerlig strømtilførsel på 5-6 kW, noko som kan medføre relativt store driftsutgifter.

Det er mulig å etablere kunstig vertikalsirkulasjon ved å utnytte potensiell energi i vassøyla (gradientar i salinitet og temperatur). Dette kan gjerast ved å ta omsyn til sjøvatnets termodynamiske eigenskapar, der endringar i salinitet og temperatur har ulik effekt på densiteten. Ein treng her ikkje tilføre ekstra driftsenergi (sjå Golmen og C.-Roisin 1992).

Kyllaren burde eigne seg godt for eit lite flytande anlegg, som vil kunne operere av seg sjølv i vinterhalvåret. Ulike konsept er omtalt av Golmen og C.-Roisin (1992). Installasjonar av moderat storleik (10 m lengde) vil kunne generere "gratis" sirkulasjon (ingen kunstig energitilførsel) av opp til  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (tilsv. ca 1 kW effekt) ved tilhøve som i Kyllaren vinterstid.

Fig. 7 syner ulike sirkulasjons-konfigurasjonar som kan etablerast i Kyllaren for å etablere kunstig sirkulasjon. Versjon "c" er den mest aktuelle. Med den kan ein føre vatn frå øvre lag ned i djupare sjikt, utan å forstyrre fjordoverflata.

## 4.2. Val av metode

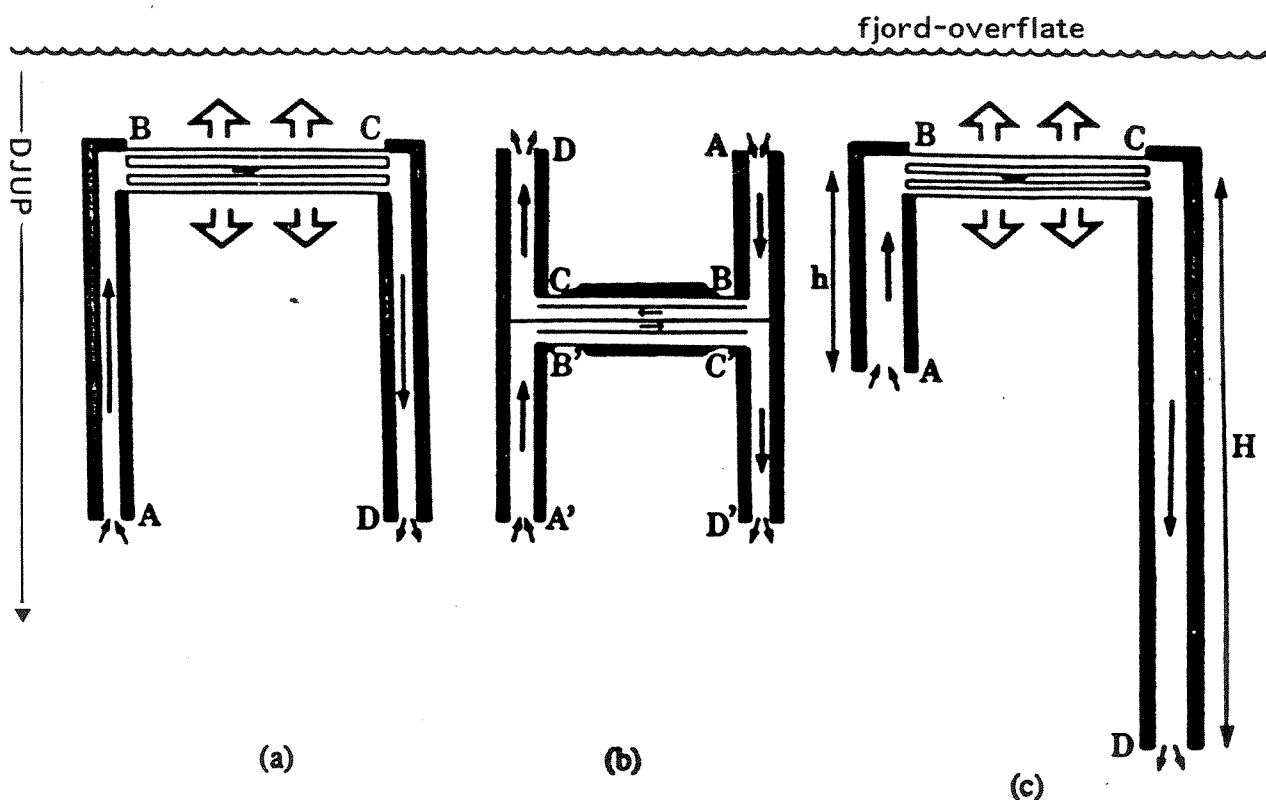
Fleire metoder er her lansert for å forbetre vasskvaliteten i Kyllaren, og hindre framtidig luktplage. Desse dreier seg om inngrep på terskelen, konveksjons-stimulerande tiltak inne i Kyllaren, eller ein kombinasjon av desse. Først må det gjennomførast kvalitativ rangering av metoder *som også inkluderer vurdering av biologiske effekter*.

Som nemnt vil metodeval kunne bestemme om vatnet i Kyllaren skal forbli brakt/salt, eller om det på sikt kan bli heilt ferskt. Begge deler bør vere betre enn dagens situasjon. Før direkte tiltak blir sett i verk, bør imidlertid biologiske konsekvensar av endra salinitet vurderast, sidan det her kan oppstå konflikstar m.a. i forhold til fredingsvilkåra.

Inngrepet med ny kulvert i 1993 kan ha bidratt til å forverre situasjonen i Kyllaren, ved at meir saltvatn enn før blir tilført, og sjiktinga såleis blir meir markert. Dette kan forverre tilhøva i djupvatnet, men ikkje nødvendigvis i heile vassøyla.

Kyllaren kan i dag vere inne i ein ustabil overgangsfase frå gammal til ny tilstand, rekna i forhold til tilspunkt for legging av kulvert. Dei nylege episodene med lukt kan ha samanheng med ein slik overgang, slik at tilhøva kan bli betre komande vintrar.

Som eit minimum bør i alle fall situasjonen overvakast (målast) i 1994 og vinteren 1994/95, for å skaffe dokumentasjon dersom der er ei utvikling på gang. Ved å skaffe seg tilleggsinformasjon omkring hydrofysisk miljø vil ein kunne spare seg relativt store anleggskostnader som kanskje kunne vise seg å vere unødvendige.



**Figur 7.** Ulike konfigurasjonar av horisontale og vertikale rør som kan generere kunstig vertikalkonveksjon og delvis omrøring (frå Golmen og C.-Roisin 1992) over realistiske gradientar av salinitet og temperatur i Kyllaren. Konfigurasjon "c" er mest aktuell.

## 5. OPPFØLGJING

### Teoretiske vurderingar

*Forut for eitkvart inngrep bør det gjerast eit minimum av tekniske berekningar og evaluering av miljøeffekt. Det synes som om dette ikkje blei gjort før kulverten blei lagt.*

Teknisk sett gjennomførbare tiltak på terskelen bør vurderast opp mot andre og enklare tiltak som kan iverksetjast inne i sjølve Kyllaren.



*Ein bør nytte naturens egne prosessar i størst mogleg grad.* Dette kan skape eit system i naturleg balanse, og i tillegg vere kostnadseffektivt eller også gratis når det gjeld drift.

Effektiv tilpassing av utskiftingsrate kan bidra til betre vertikal utlufting i Kyllaren. Dette gjeld **vertikalkonveksjon** p.g.a. avkjøling, som er følsom for sjiktingstilhøva. Ved å dimensjonere utløpet rett, evt. kombinere med eit lite neddykka utslepp av ferskvatn frå elv, vil ein her kunne tilrettelegge for meir effektiv konveksjon vinterstid.

**Indre bølger** på grenseflata mellom brakt og salt vatn vil under visse sjiktingstilhøve kunne bli stimulert og effektivt bidra til utlufting over sprangsjiktet. Slike bølger har tidvis ført til luktplager andre stader (kanskje også i Kyllaren), ved at dei har pressa H<sub>2</sub>S-vatn heilt opp i overflata. Slik verknad bør ein naturlegvis unngå. Kor effektiv denne prosessen er, avheng av sjiktingstilhøva. I prinsippet er det mogleg å endre sjiktinga ved tekniske inngrep slik at naturen sjølv, via indre bølger og vertikalkonveksjon effektivt tar seg av omrøringa i vassøyla.

Tilførsler av organisk materiale og næringssalt frå busetnad/landbruk har neppe avgjerande betydning for dagens tilstand i Kyllaren. Ei kartlegging og kvantifisering av ulike bidrag (inkludert "naturlege" kjelder som nitrogen og svovel via nedbør) bør utførast uansett, særleg sidan tilførsler frå land kan slå annleis ut i ein framtidig "reinare" Kyllar.

Djupvatnet utgjer i dag ei stor kjelde for næringssalt og andre stoff. Miljøeffekt (algevekst m.m.) av å løfte opp og evt. føre dette vatnet ut i terskelområdet og vidare ut i sjøen bør vurderast. Dette gjeld i kor stor grad omgjevande vatn kan belastast, kva midlertidig belastning som kan tolererast, samt berekning av varigheit av evt. periode med risiko for negativ påverknad.

## Målingar

Utviklinga i Kyllaren bør følgjast med målingar og prøvetaking utover vinteren, også før isen forsvinn. Nyttig erfaringsmateriale kan innsamlast for seinare situasjonar, og også for vurdering av tiltak. Målemetodikk og måleresultat må evaluerast.

Det bør gjennomførast ei gransking for å fastslå biologisk skadeomfang og rekoloniseringsrate av fisk/organismer. Lokal biomasseproduksjon (algevekst, algetyper) bør målast, for å vurdere i kor stor grad lokale tilførsler kan vere årsak til den dårlege vasskvaliteten.

For å kunne vurdere betre nytte/effekter av ytterlegare inngrep/tiltak ved terskelen bør der gjennomførast nøyaktige vannstandsmålingar med sjølvregistrerande instrument. Desse kan kombinerast med enkle strømmålingar og registrering av salinitet-temperatur.

## REFERANSAR:

Aure, J. og Ø. Østensen 1993: Hydrografiske normaler og langtidsvariasjoner i norske kystfarvann. Fisken og Havet Nr. 6-1993.

Berge, F.S., J. Molvær, G. Nilsen og A. Thendrup 1982: Fjordforbedring. Tiltak for å forbedre oksygenforholdene i poller og terskelfjorder. Rapp. nr. 81046, NIVA, Oslo, 119 s.

Fløene, H. I. 1974: Inndemming av Leira og Askvika i Askvoll, Sogn og Fjordane Fylke. Semesteroppgåve, Inst. for Kulturteknikk, NLH, Ås.

Golmen, L. G. 1989: Auka vassutskifting i Skjoldafjorden. Om moglege fysiske tiltak, konsekvensar og kostnader. VANN Nr. 3/1989, s. 363-370.

Golmen, L.G. og B. Cushman-Roisin 1992: A self-sustained pump across temperature-salinity gradients in coastal waters. Ocean Engineering Vol 19, Nr 2. s. 57-74.

Millero, F. 1991: The oxidation of H<sub>2</sub>S in Framvaren fjord. Limonl. Oceanogr. Vol 36(5), s. 1007-1014.

SFT 1993: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Kortversjon. SFT rapp. TA-922/1993, 20 s.

Stene, R.O. 1989: Kunstig lufting av dypvann i anoksiske fjorder på Sørlandet. Rapp. nr. 8/1989, Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernavdelinga, 44 s.

Stigebrandt, A. 1980: Some aspects of tidal interaction with fjord constrictions. Est. coastl. mar. science Vol 2, s 151-166.

Stigebrandt, A. og J. Molvær 1988: On the water exchange of Framvaren. Mar. Chemistry 23, s. 219-228.

Vea, J. 1994: Oksygenering av Skjoldafjorden. Rapport RF30/94, Rogalandforskning, 20 s.

# VEDLEGG

STASJON 2, senter av pollen

STASJ: 102 POS: 610000 500 TID: 940209 1330 DYP 29  
 Kyllar, Askvoll, max SD200 datalogger NIVA-L.G.Golmen

#	DJUP	RELTID	TEMP-C	OXY-ml	SALT	SIGMA
6	.1	25.0	.410	-99.000	14.693	11.743
7	.4	30.0	.530	-99.000	19.022	15.225
8	.6	35.0	1.190	-99.000	19.916	15.933
9	.8	40.0	1.810	-99.000	20.865	16.676
10	1.2	45.0	2.550	-99.000	21.478	17.137
11	1.6	50.0	3.020	-99.000	21.461	17.102
12	1.9	55.0	3.130	-99.000	21.507	17.133
13	2.6	60.0	3.180	-99.000	21.804	17.370
14	3.3	65.0	3.370	-99.000	21.945	17.475
15	3.7	70.0	3.340	-99.000	21.831	17.388
16	4.0	75.0	3.340	-99.000	22.249	17.721
17	4.7	80.0	3.510	-99.000	22.246	17.712
18	5.4	85.0	3.580	-99.000	22.521	17.929
19	6.1	90.0	3.870	-99.000	22.687	18.045
20	6.6	95.0	4.140	-99.000	22.839	18.149
21	7.1	100.0	4.390	-99.000	22.958	18.227
22	7.9	105.0	4.750	-99.000	23.471	18.608
23	8.7	110.0	5.500	-99.000	23.800	18.806
24	9.7	115.0	6.050	-99.000	23.911	18.845
25	10.9	120.0	6.520	-99.000	24.439	19.217
26	12.0	125.0	7.200	-99.000	24.643	19.306
27	12.8	130.0	7.600	-99.000	24.649	19.267
28	13.4	135.0	7.800	-99.000	24.774	19.343
29	13.6	140.0	7.880	-99.000	24.704	19.279
30	14.1	145.0	8.010	-99.000	24.871	19.396
31	14.8	150.0	8.210	-99.000	25.025	19.494
32	15.2	155.0	8.350	-99.000	25.098	19.535
33	16.2	160.0	8.540	-99.000	25.105	19.520
34	17.0	165.0	8.640	-99.000	25.161	19.554
35	17.9	170.0	8.650	-99.000	25.150	19.548
36	18.5	175.0	8.670	-99.000	25.169	19.563
37	18.8	180.0	8.680	-99.000	25.183	19.574
38	19.8	185.0	8.720	-99.000	25.183	19.573
39	20.8	190.0	8.700	-99.000	25.175	19.574
40	21.5	195.0	8.700	-99.000	25.215	19.609
41	22.5	200.0	8.710	-99.000	25.236	19.629
42	23.9	205.0	8.690	-99.000	25.216	19.622
43	24.9	210.0	8.660	-99.000	25.229	19.641
44	25.9	215.0	8.640	-99.000	25.229	19.648
45	26.8	220.0	8.620	-99.000	25.225	19.652
46	27.3	225.0	8.610	-99.000	25.235	19.663
47	27.6	230.0	8.610	-99.000	25.243	19.671
48	28.4	235.0	8.600	-99.000	25.234	19.669

---

**NIVA** 

**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

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

ISBN 82-577-2493-9