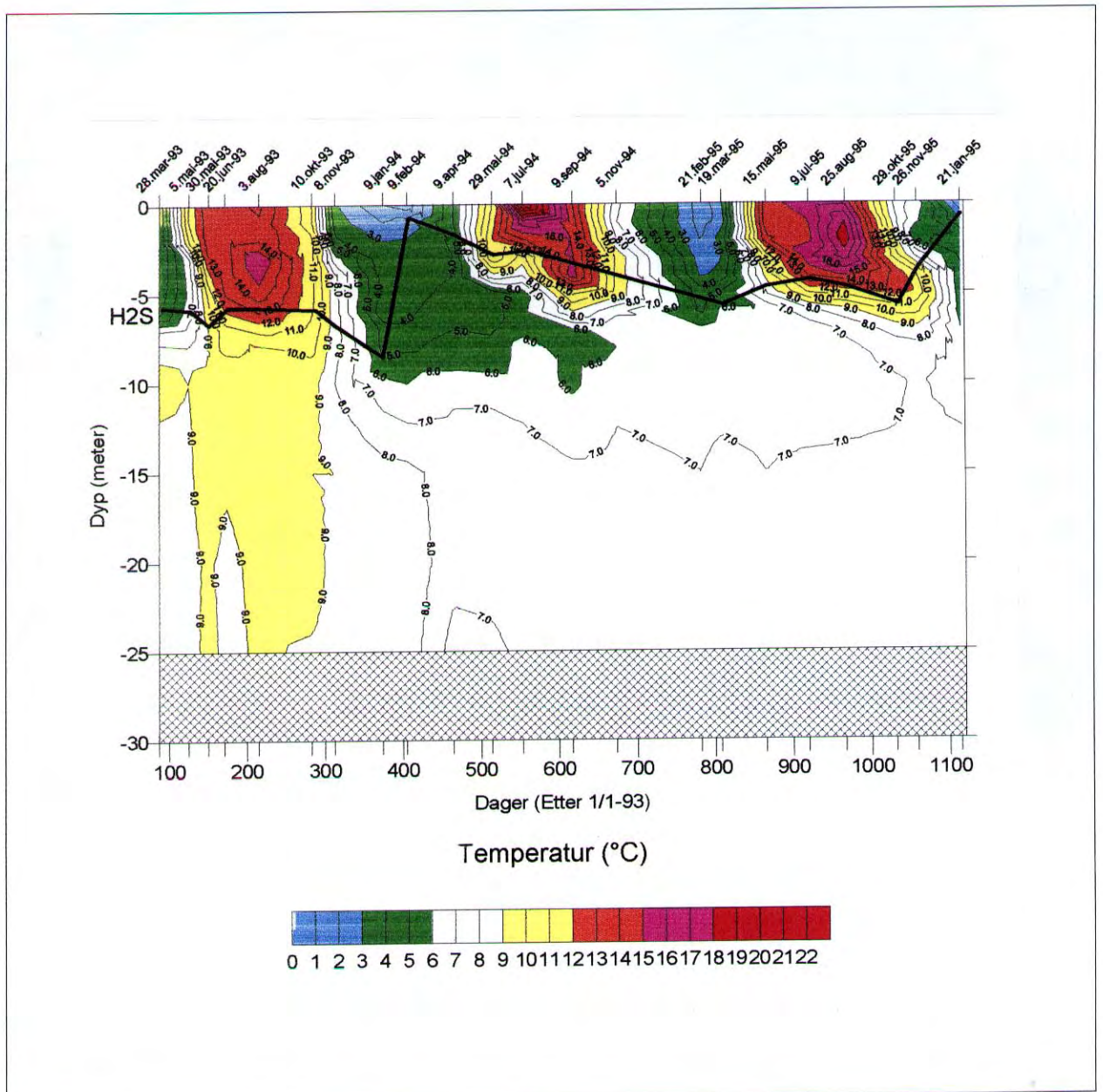


RAPPORT LNR 3406-96

Oppfølgjande gransking i Kyllaren i Askvoll kommune



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.: 95113	Undernr:
Løpenr.: 3406-96.	Begr. distrib.:

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

Rapportens tittel: Oppfølgjande gransking i Kyllaren i Askvoll kommune	Dato: Trykket: Februar 1996 April 1996
	Fagområde 32
Forfatter(e): Lars G. Golmen Einar Nygaard	Geografisk område: Sogn og Fjordane
	Antall sider: Opplag: 30

Oppdragsgiver: Askvoll kommune, Kultur og næringskontoret, Boks 144, 6980 Askvoll	Oppdragsg. ref.: Kjersti Sande/E. Aarseth
--	--

Ekstrakt:

Vannforekomsten Kyllaren i Askvoll har tidvis innstrømming av sjøvatn over den grunne terskelen. Sjøvatnet blandar seg lite med brakkvatn og ferskvatn, og det er derfor permanent oksygenvinn i djupvatnet, med hydrogensulfidkonsentrasjon på 180 mg/l. Den giftige sulfidgassen medfører plager for nabobefolkninga, og er også ein trussel mot marine livsformer i det verna våtmarksområdet. Tilstanden i Kyllaren har blitt forverra i løpet av dei siste åra. Årsaken til dette kan ligge i negative effekter av vegfylling over Askvika i 1980-åra og ny kulvert ved Straumsbrua nedlagt i 1993. Rapporten skisserer fleire metoder for å forbetre vasskvaliteten, med spesiell analyse av metode med neddykka ferskvassutslepp, som vil ha gunstig effekt.

4 emneord, norske

1. Kyllaren
2. Oksygenvinn
3. Fjordforbedring
4. Hydrogensulfid

4 emneord, engelske

1. Kyllaren
2. Oxygen depletion
3. Fjord rehabilitation
4. Hydrogen Sulphide

Prosjektleder

Lars G. Golmen

For administrasjonen

Bjørn Braaten

ISBN 82-577-2938-8

NIVA oppdragsnr. O-95113

**Oppfølgjande gransking
i Kyllaren
i Askvoll kommune**

NIVA Vestlandsavdelingen

26. februar/18. april 1996

Lars G. Golmen
Einar Nygård
Inger Midttun

Prosjektleder
Medarbeidar
Medarbeidar

FORORD

Resipienten Kyllaren ligg i Askvoll kommune i ytre del av Sogn og Fjordane. Resipienten har grunt og smalt innløp til Askvika like utanfor. Sjøvatn strømmar tidvis inn i Kyllaren, og legg seg under det ferske eller brakke overflatelaget. Stagnasjon og dårleg utlufting av djupvatnet medfører permanent oksygenvinn og stor opphoping av giftig hydrogensulfidgass. Ved ugunstige vêrsituasjonar har denne gassen kome til overflata og medført store luktplager for lokalbefolkninga.

Tilstanden i resipienten har tidlegare vore kartlagt, og dokumentert gjennom fleire rapportar, seinast av NIVA i 1993/1994. Kommunen ønska å gå vidare i saka, og engasjerte NIVA til å gjennomføre ei granskning for å vurdere kva aktuelle tiltak som kan setjast inn for å dempe eller fjerne luktplagene. NIVAs utgreiing har hatt eit arbeidsmessig omfang tilsvarande om lag 40 timar.

Utkastet til foreliggende rapport blei sendt på høyring til Askvoll kommune, Miljøvernavdelinga i Sogn og Fjordane og internt på NIVA i februar 1996. Det kom ikkje særskilte merknader til utkastet.

Den løpande prøvetakinga og målinga i regi av kommunen og det lokale Jakt og Fiskelaget har halde fram, og resultat er rapportert her. Vidare har NIVA supplert med ein del andre målingar for å få kartlagt vassutskiftinga.

Hos kommunen har fiskerikonsulent Eivind Aarseth vore lokal kontakt og koordinator, saman med miljøvernleiar Liv Marit Nystad. Hos NIVA har forskingsassistent Einar Nygaard bistått under feltarbeid og med databehandling og rapportering. Sekretær Inger Midttun har bistått med EDB og rapportredigering.

Notasjon: Talstorleikar er i rapporten oppgitt etter norsk standard (dvs. 1.000,00).

Lars G. Golmen

INNHALD

NOKRE FAGLEGE ORD OG UTTRYKK SOM BLIR BRUKT I RAPPORTEN.....	4
SAMANDRAG.....	5
1. INNLEIING	6
1.1. BAKGRUNN OG PROBLEMSTILLING	6
1.2. GRANSKINGAS FORMÅL OG OMFANG	8
1.3. TIDLEGARE GRANSKINGAR	8
1.4. GEOGRAFI OG TOPOGRAFI.....	8
1.5. AKTUELLE METODAR FOR FORBETRING AV VASSKVALITETEN	9
1.5.1. Neddykka utslepp av ferskvatn (frå bekk).....	9
1.5.2. Reduksjon i forureiningstilførslar	9
1.5.3. Oppdemming eller sluse (klaff) i fyllingsopningane for å hindre innstrømming	10
1.5.4. Utdjuping av utløpet og kanalen til Askvika for å gjera vassutskiftinga tilstrekkeleg stor.....	10
1.5.5. Mekanisk blanding (turbulensgenerering) i vatnet, evt. med luftinnblanding.....	10
1.5.6. Utpumping av djupvatn, evt. kombinert med kjemisk behandling	10
1.5.7. Tilsetjing av oksydasjonsmiddel.....	10
1.5.8. Innpumping av sjøvatn.....	10
1.5.9. Kunstig oksygenering og lufting.....	10
1.5.10. Nedpumping av overflatevatn til djupareliggande sjikt	10
1.5.11. Tilførslar av komprimert luft.....	11
2. MÅLEPROGRAMMET I 1995.....	12
2.1. VASSPRØVER OG HYDROGRAFI.....	12
2.2. VANNSTANDSMÅLINGAR	12
2.3. STRØMMÅLING I INNLØPET	12
2.4. METEOROLOGISKE MÅLINGAR	12
3. MÅLERESULTAT	14
3.1. VASSPRØVER OG HYDROGRAFI.....	14
3.2. VANNSTANDSMÅLINGAR	17
3.3. STRØMMÅLINGAR I INNLØPET	19
3.4. METEOROLOGISKE DATA	19
4. VURDERINGAR OG TILRÅDING	21
4.1. VURDERING AV VASSUTSKIFTINGA	21
4.1.1. Effekt av den nye kulverten.....	22
4.1.2. Effektar av den nye fyllinga over Askvika	22
4.2. METODE MED NEDDYKKA UTSLEPP AV FERSKVATN	23
4.2.1. Teori.....	23
4.2.2. Dimensjonerande vassføring.....	23
4.2.3. Verdiar til modellen.....	24
4.2.4. Resultat	24
4.3. ANDRE METODAR.....	24
4.4. KOSTNADER	25
4.5. OPPFØLGING.....	25
LITTERATUR.....	29

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 forflytting av vatn som strømmen forårsakar.

Brakkvatn: Vanlegvis definert som fjordvatn med lavere 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 kg/m^3 minus 1000.

Hydrografi: Vanlegvis 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 som 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, som PSU eller med faktoren 10^{-3} ("promille", ppt).

Sediment: Nemning på lausmasser på hav- og fjordbotn. Aktuell samansetning 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 djupemeter.

SAMANDRAG

Vannforekomsten Kyllaren i Askvoll kommune, Sogn og Fjordane har hatt permanent oksygenvinn i djupvatnet gjennom fleire år. Grensesjiktet mellom oksisk og anoksisk vatn ligg oftast rundt 3-5 m, men kan til tider med svekka sjikting og/eller innstrøymande sjøvatn nå til overflata og medføre luktproblem over store område på grunn av hydrogensulfid-gass.

Giftgassen medfører også sterkt innskrenka livsvilkår for fisk og andre organismar i Kyllaren. Utstrøymande djupvatn utgjer sannsynlegvis også ein stressfaktor for livsformer i tilstøytande gruntområde i Askvika. Både Kyllaren og Askvika er del av eit verna våtmarksområde. Plagene med giftgassen utgjer ein trussel mot verneområdet. Samtidig er det restriksjonar på bruk av området, og på kva inngrep som kan iverksetjast for å redusere skadeverknadene.

Rapporten presenterer nye måledata for vassutskifting og vasskvalitet. Djupvatnet har svært høg konsentrasjon av hydrogensulfid, med 180 mg/l nær botn, og 85 mg/l i 10 m djup. Sulfatkonsentrasjonen ligg rundt 1.300 mg/l, slik at det er potensiale for ytterlegare reduksjon og auka sulfidkonsentrasjon.

Kulverten som blei lagt ved sida av Straumsbrua i 1993 for å betre vassutskiftinga, har sannsynlegvis bidratt til det motsette. Vegfyllinga i Askvika som blei lagt i 1980-åra, bidrar også til dårlegare vassutskifting.

Tiltak for å forbetre vasskvaliteten og for å verne våtmarksområdet bør iverksetjast snarast. Fleire aktuelle metodar er skissert for å betre vasskvaliteten. Neddykka ferskvassutslepp framstår som eit gjennomførbart tiltak, med nødvendig effekt. Sidan det er tale om eit verna område, må det samhandlast med verneinteressene og med lokale interesser slik at desse blir ivaretatt ved evt. iverksetjing av tiltak. Dette gjeld ikkje minst val av metode, kva økonomiske rammer som må setjast, og kva mål ein skal setje for tiltaka.

1. INNLEIING

1.1. Bakgrunn og problemstilling

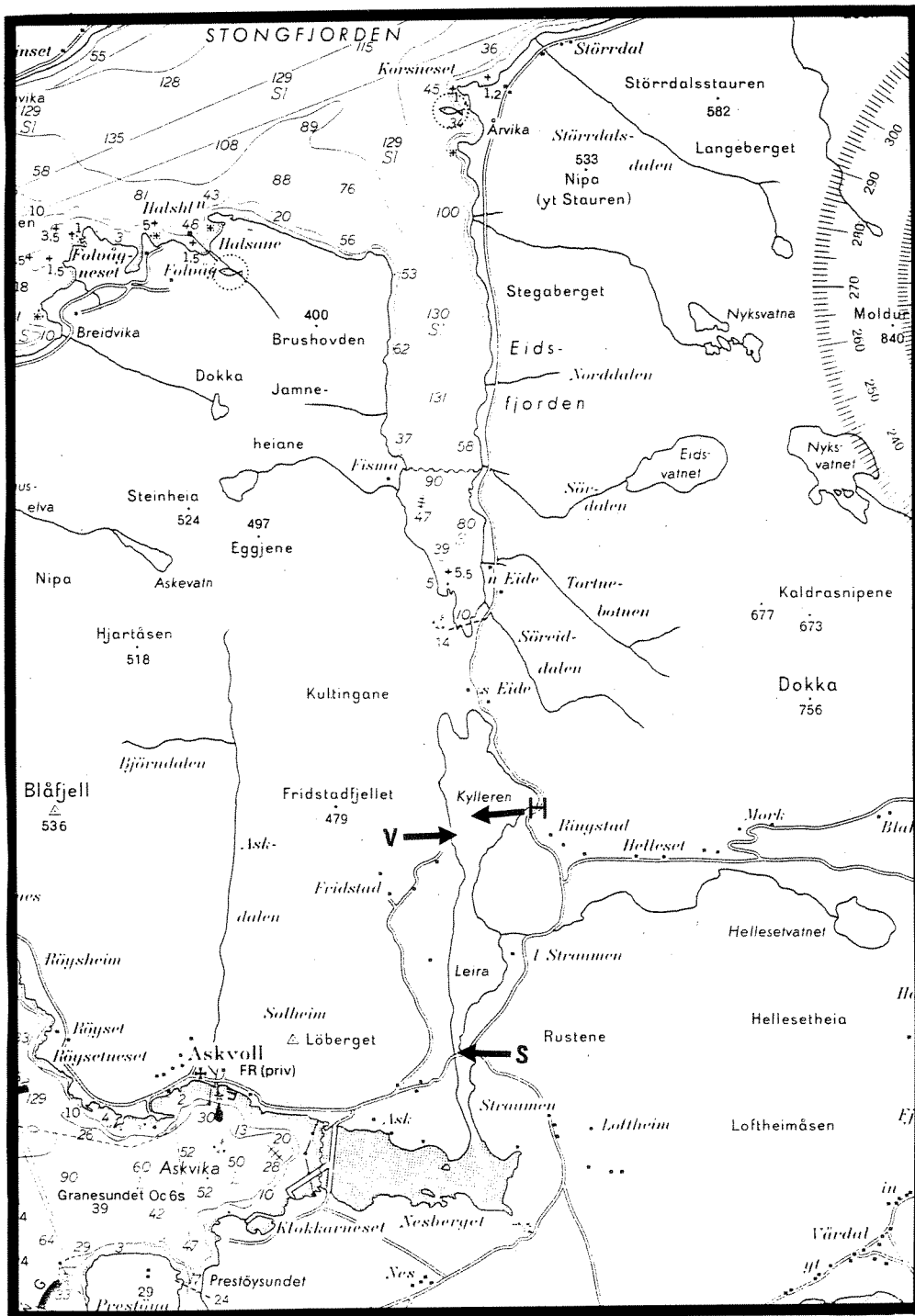
Kyllaren er ein liten poll eller innsjøliknande fjordarm med eit langt, grunt og til dels smalt innløp frå Askvika utanfor. Sjå fig. 1.1 for lokalisering. Lett brakkvatn i overflatelaget i Kyllaren dannar eit løk over det saltare og relativt tunge djupvatnet, og hemmar difor utluftinga. Likeins gjer det grunne innløpet at djupvatnet sjeldan blir utskifta. Kjemiske og mikrobiologiske prosessar i vatn og sediment har fjerna alt oksygen, og det har danna seg store mengder løyst hydrogensulfidgass i djupvatnet.

Den giftige hydrogensulfid gassen medfører ein meir eller mindre konstant trussel mot livsformer i grunnare sjikt av Kyllaren, som m.a. inkluderer ymse fiskeslag. Noka systematisk biologisk gransking av Kyllaren er ikkje gjennomført, men det er rimeleg å anta at mange av dei artane som er til stades, lever under marginale vilkår, og sannsynlegvis blir utrydda når gass trengjer heilt til overflata. Rekolonialisering må skje frå Askvika og muligens også frå tilstøytande elvar. Miljøvernavingdelinga har stilt spørsmål ved påverknaden av det biologiske livet i øvre del av vassøyla, og har freista å initiere eit forskingsprosjekt kring dette.

I tillegg til den biologiske trusselen, har gasslekkasjar medført stor sjenanse og plage for lokalbefolkninga. Under kraftige lekkasjeperioder (som vinteren 1993-94) kunne lukta merkast fleire kilometer frå Kyllaren. Gassplagen kan medføre kvalme, oppkast og svimmelheit. Sylvtv i husa kan bli misfarga på kort tid. Det var også luktplager vinteren 1995/96.

Hydrogensulfid kan luktast ved svært små konsentrasjonar, ned til 1 ppm (volumdel). Internasjonalt blir det operert med grenseverdier for 8 timars yrkeshygienisk eksponering (8h-TWA verdi) på 10 ppm (14 mg/m^3), eller 15 ppm (21 mg/m^3) for korttids (10 minutt) eksponering (James og Lord 1992). I norsk landbruk (fjøs, siloar) er det operert med grenseverdier på 5 ppm for korttidseksponering. Ein kan anta at verdiane ved Kyllaren var langt over desse verdiane mens forholda var på det verste for eit par år sidan. Miljømessige luftkvalitetsnormer tilseier max. $20 \mu\text{g/m}^3$ (ca 0,015 ppm) for H_2S , m.a.o. langt lågare verdier enn dei yrkeshygieniske krava.

Gassplagene har ført til at Askvoll kommune vil vurdere praktiske tiltak for å bli kvitt lukta, og har i den samanheng engasjert NIVA for å vurdere ulike løysingar, og evt. kome med anbefaling. Kyllaren er ein del av eit freda naturreservat (våtmarksområde) som inkluderer den grunne Askvika. Av denne grunn er det restriksjonar på bruk av området, og begrensing i kva inngrep som kan gjerast. Med formål å betre vassutskiftinga la vegstellet inn ein ekstra og djupare kulvert gjennom vegfyllinga våren 1993. Arbeidet blei utført i samråd med kommunen og Fylkesmannens miljøvernavingdeling. Dei foreliggende målingane av hydrografi og vasskvalitet synes å indikere at tilhøva har forverra seg etter dette, og at dette tiltaket muligens burde ha vore nærare vurdert på førehand.



Figur 1.1. Kopi av sjøkart nr 27, med Askvika og Kyllaren. Posisjon for strømmåling (S), vannstandsmåling (V) og hydrografi (H) er indikert.

1.2. Granskingas formål og omfang

Frå NIVAs tilbod til kommunen frå mai 1994 som har danna grunnlag for oppdraget, kan følgjande element nemnast:

Supplerande målingar

- Kartlegging av utskiftingsdynamikk over terskelen, gjennom følgjande aktivitetar:
- Utplassering av kontinuerleg registrerande vannstandsmålar inne i Kyllaren, for å måle vannstandsvariasjonane og faktisk tidevassdemping. Måleperiode: 4-5 veker.

Plassering av ein automatisk registrerande straummålar under/ved brua eller i kulverten. Målaren vil samtidig registrere temperatur på inn/utstrøymande vatn. Måleperiode: som for vannstand.

- Analysere nyare hydrografiske data innsamla lokalt.
- Måle konsentrasjon av hydrogensulfid og sulfat i djupvatnet i Kyllaren.

Berekningar og vurderingar

- Berekning av fysisk vassutskifting i djupvatn og øvre lag.
- Berekningar i tilknytning til moglege tekniske tiltak for å forbetre vasskvaliteten.

1.3. Tidlegare granskingar

Det lokale Jakt og Fiskelaget har foretatt målingar i Kyllaren til ulike tider sidan 1990. Resultata til og med 1993 blei vurderte og rapporterte av NIVA (Golmen, 1994). Denne rapporten dokumenterte tilstand og utvikling i resipienten. Hydrogensulfidkonsentrasjonen i djupvatnet var høgare enn 120 mg/l vinteren 1994, sjølv etter ei kraftig utluftingsperiode.

Rapporten omtalte den nye vegfyllinga og kulverten i munningen, og kva følgjer den kan ha hatt for vassutskiftinga. Det blei konkludert med at episodiske luktplager kan forventast i åra framover, om ikkje avbøtande tiltak blir sett i verk. Eit tiltak som gjekk ut på ei enkel klaffe-anordning i opningane i fyllinga for å hindre innstrøyming blei vurdert. Også løysingar for å stimulere vertikalblandinga inne i Kyllaren blei vurdert. Konkrete tiltak blei imidlertid ikkje iverksatt.

Det har også vore gjort utgreiingar omkring utfylling i Kyllaren for å auke jordbruksarealet (Fløene, 1974). Den utgreiinga (rapporten) har ein del nyttige data for m.a. avrenning.

1.4. Geografi og topografi

Kyllaren utgjer nordlegaste halvdel av ein ca 2,5 km lang resipient, der Leira dannar søre delen. Tabell 1.1 syner nokre talstorleikar for vassvolum m.m. for Kyllaren. Leira er grunn, med middeldjup ca 1 m, og overflateareal på ca 0,3 km² (rekna sør til RV 608, Straumen). Største djup er kring 30 m.

Frå ytre del av Askvika (nær Askvoll sentrum) går det ei grunn renne gjennom våtmarksområdet, som mindre båtar kan forsere oppover til Straumen bru. Tidlegare (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 ytre del av Askvika til Straumen bru og vegfyllinga der er ca 2 km. Derfrå og nordover til Kyllaren er det ytterlegare 1 km.

Tabell 1.1. Nokre topografiske data for Kyllaren (omtrentlege verdiar).

Max. djup:	30 m ^{*)}
Avstand til sjø (Askvika):	3 km
Terskeldjup:	< 1 m
Overflateareal:	0,35 km ²
Samla vassvolum	4 mill m ³
Vassvolum, intervall 5-30 m:	2,5 mill m ³

*) målt med ekkolodd under synfaringa 9/2 1994 (Golmen, 1994).

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

1.5. Aktuelle metodar for forbetring av vasskvaliteten

Det finns mange metodar som vil kunne bidra til å betre vasskvaliteten i Kyllaren, eller i alle fall til å fjerne deler av hydrogensulfidet, og dermed luktproblema. Nokre metodar har vore utprøvd andre stader i Norge. Metodar som vil bidra til auka vassutskifting og betre oksygentilhøve, kan ved enkelte situasjonar teoretisk medføre ugunstige biologiske effektar. Dette gjeld m.a. ved kjemikaliebruk. Nedanfor er nokre aktuelle metodar kortfatta nemnt.

1.5.1. Neddykka utslepp av ferskvatn (frå bekk)

Metoden går ut på å føre ferskvatn gjennom slange eller rør frå demning eller inntak oppe i ein bekk til djupare sjikt av saltvass-resipienten. Det lettare ferskvatnet vil blande seg med omgjevande vatn og dermed gradvis tynne ut djupvatnet og redusere skilje mellom overflatelag og djupvatn, slik at utskifting over terskel også kan skje lettare/hyppigare (Berge et al. 1982). I tillegg fører ferskvatnet med seg løyst oksygen som vil bidra til å redusere (oksydere) hydrogensulfid. Metoden er nytta i fleire resipientar i Norge.

1.5.2. Reduksjon i forureiningstilførsler

I tilfelle der tilførsler av næringssalt og organisk materiale frå kloakk eller land-avrenning kan ha medført oksygenvinn, vil reduksjon i slike tilførsler kunne slå gunstig ut. Naturleg å vurdere dette før andre tiltak i tilfelle der forureining er openberr årsak til tilstanden.

1.5.3. Oppdemming eller sluse (klaff) i fyllingsopningane for å hindre innstrømming

Innstrømmande tungt sjøvatn inneheld sulfat og i tillegg organisk materiale, som begge deler inngår i prosessen som genererer hydrogensulfid. Ved å hindre slik innstrømming vil desse kjeldene bli eliminert. I tillegg kan sprangsjiktet etter kvart nå djupare, og ved permanent oppdemming kan saltvatnet i resipienten til slutt bli fullstendig uttynna og erstatta med ferskvatn, med mykje svakare sjiktning enn for brakkvatn/sjøvatn.

1.5.4. Utdjuping av utløpet og kanalen til Askvika for å gjera vassutskiftinga tilstrekkeleg stor.

Dette er den andre ytterlegheita i forhold til forrige punkt. Djupare terskel og større gjennomstrøymingsareal vil gjere resipienten meir lik ein vanleg fjord, med regelmessig utskifting, m.a. generert av tidvatnet.

1.5.5. Mekanisk blanding (turbulensgenerering) i vatnet, evt. med luftinnblanding

Ulike utgåver av denne metoden tilfører vatnet turbulent energi som ved rett tilpassing til problemstillinga kan bidra til auka blanding mellom overflatelag og djupare sjikt, og dermed fjerning av hydrogensulfid. Metoden kan kombinerast med luftinnsuging i overflata og tilførsel av luft (bobler) til djupare sjikt. Metoden skal i følgje planen bli testa ut i Sælenvatnet i Bergen i 1996.

1.5.6. Utpumping av djupvatn, evt. kombinert med kjemisk behandling.

Der det er kort avstand frå den forureina resipienten ut til djupare sjøområde med god utskifting kan utpumping av djupvatnet vere ei rimeleg løysing for å bli kvitt problemet, i alle fall for ei lang stund framover. Metoden kan kombinerast med behandling av det utpumpa vatnet (felling, oksydering) før det blir ført vidare til sjø. Metoden har vore nytta med tilfredsstillande resultat i ein innsjø i Boston, USA (T. Raphael, MRW Association, pers. medd.).

1.5.7. Tilsetjing av oksydasjonsmiddel

Tilsetning av oksydasjonsmiddel som jernklorid eller sulfat til resipienten kan bidra til betra tilhøve, men kan også medføre ugunstige biologiske konsekvensar spesielt i sedimentet.

1.5.8. Innpumping av sjøvatn

Der tilhøva elles ligg til rette, vil mekanisk innpumping av friskt og oksygenrikt sjøvatn verke gunstig på djupvasskvaliteten inne i resipienten.

1.5.9. Kunstig oksygenering og lufting

Mange variantar av denne metoden har vore lansert gjennom åra, spesielt med tanke på bruk i innsjøar. Det har vore gjort testar i Skjoldafjorden i Rogaland (Vea, 1994).

1.5.10. Nedpumping av overflatevatn til djupareliggande sjikt

Dette liknar metoden med neddykka utslepp av ferskvatn (avsnitt 1.5.1). I staden for slange frå land kan ein plassere ein pumpe på ein flåte, og pumpe overflatevatn til ønska djup. Effekten vil avhenge av m.a. saliniteten i overflatevatnet.

1.5.11. Tilførsler av komprimert luft

Denne metoden krev kompressor på land eller evt. på ein flåte, og slange (diffusor) til ønska djup. Metoden har vore nytta m.a. i Botnen i Rissa kommune, så langt med tilfredsstillande resultat.

2. MÅLEPROGRAMMET I 1995

2.1. Vassprøver og hydrografi

Hydrografiske målingar i Kyllaren er gjort frå båt, blant anna i regi av jakt og fiskelaget. Dei har nytta 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 metodane kan ha relativt stor måleusikkerheit. NIVA's målingar er gjort med ein Sensordata STD-sonde. Dei nyare målingane har ansatte i Askvoll kommune gjort med ein av NIVA's salinotermar.

Vatnet i Kyllaren er brunfarga (muligens på grunn av jern). Dette fargeavviket vil kunne påverke avlesingane i refraktometeret. Også målingane gjort med STD-sonde og salinoterm kan vere befengt med ein viss feil, som skuldast unormal ionesamansetning i djupvatnet. Interkalibrering mellom salinotermen og STD-sonden viste imidlertid bra samsvar. Instrumenta viste maksimalt et par tideler i skilnad for både temperatur og salinitet i same djup. Tabell 2.1 gir ein oversikt over dei hydrografiske målingane.

2.2. Vannstandsmålingar

Det blei målt vannstand sentralt i Kyllaren (sjå fig. 1.1.) kvart tiande minutt i perioden 25. august til 25. oktober 1995. Målingane blei gjort med ein Aanderaa Instruments sjølvregistrerande vannstandsmålar (VR22). Instrumentet måler det hydrostatiske trykket med ein absolutt nøyaktigheit på 0.02 Dbar (omlag 2 cm). Endring i nivåforskjell måles endå betre. Instrumentet har barometer for automatisk kompensasjon for lufttrykksendringar.

2.3. Strømmåling i innløpet

Det blei målt strøm på innsida av det "gamle" innløpet (brua) i perioden 25. august til 27. september 1995. Det vart brukt ein sjølvregistrerande Sensordata straummålar. Målaren var forankra like over botnen, med tau til overflata som var festa i land, slik at stømmålaren stod vertikalt og fritt kunne dreie med strømmen. Registreringsintervallet var 32 minuttar. Forutan å måle strømfart og retning, måler instrumentet sjøtemperaturen. Tidsserien er ikkje fullstendig, da rotoren periodevis har vore blokkert (tang, etc.). Strømmålaren blei til tider inspisert og gjort rein av folk frå Askvoll kommune.

2.4. Meteorologiske målingar

Daglege nedbørsdata frå stasjon 5711 (Osland) er gjort tilgjengelege frå Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI). Dei data som vi har nytta, er frå perioden 25. august til 25. oktober 1995.

Tabell 2.1. Oversikt over hydrografiske målinger og vassprøver i Kyllaren. Siktedjup er registrert med ei kvitmalt skive (secci-skive) som blir firt ned i sjøen inntil ein misser den av syne. Oksygen er målt dels med ei YSI oksygen-sonde og dels med Winkler titrering av vassprøvar.

Tidspunkt	Parametrar målt (TS profil)	Ansvarleg for målingane
28/10 -90	TS pofil	Jakt og fiskelaget
28/3 -93	TS profil (1), sikt, Tot-P og Tot-N	"
5/5-93	TS profil (2), sikt og oksygen	"
30/5 -93	TS profil (3), sikt	"
20/6 -93	TS profil (4), sikt, turb., TOC, Tot-P, Tot-N	"
3/8 -93	TS profil (4), sikt	"
15/8 -93	Turb., Tot-P, Tot-N	"
10/10 -93	TS profil (5), sikt	"
8/11 -93	TS profil (6), sikt	"
9/1- 94	TS profil (7), sediment, vasspr.	NIVA
9/2 -94	TS-profil (8), sikt	Askvoll kommune
9/4 -94	TS-profil (9), sikt	"
29/5 -94	TS-profil (10), sikt	"
7/7 -94	TS-profil (11), sikt	"
9/9 -94	TS-profil (12), sikt	"
5/11 -94	TS-profil (13), sikt	"
12/11-94	TS-profil, sikt	"
21/2 -95	TS-profil (14), sikt, oksygen	"
19/3- 95	TS-profil (15), sikt	"
15/5 -95	TS-profil (16), sikt, oksygen	"
9/7 -95	TS-profil (17), sikt, oksygen	"
25/8- 95	TS-profil (18), sikt, vasspr.	NIVA
29/10 -95	TS-profil (19), sikt, oksygen	Askvoll kommune
26/11 -95	TS-profil (20), sikt, oksygen	"
21/1 -96	TS-profil (21), sikt, oksygen	"

3. MÅLERESULTAT

3.1. Vassprøver og hydrografi

Alle målingane av temperatur frå mars 1993 til januar 1995 er framstilt i isopletdiagram på rapportens forside. Salinitet samt sigma-t isopletplokk er framstilt i figur 3.1. Observasjonane frå oktober 1990 er ikkje tatt med på grunn av det lange tidsintervallet til neste måling i mars 1993.

Det kan sjå ut som om dei djupe vannmassane har vore skifta ut i perioden oktober 1993 til april 1994. Før utskiftinga var temperaturen omlag 8-9°C, etterpå var den omlag 7-8°C. Denne utskiftinga kan ein sjå på saliniteten også, som var omlag 20 før mens den ligg stabilt på 24-25 etterpå. Sannsynlegvis er salinitetsmålingane den 7. juli 94 feil. Om dei ikkje er det, så er i tilfelle heile vannkolonna skifta ut med ferskare vatn, noko som er svært usannsynleg. Utviklinga av sigma-t syner same tendensen som temperatur- og salinitetsmålingane.

Den nye kulverten blei laga våren 1993. Det kan sjå ut til at djupvatnet i Kyllaren blei skifta ut av saltare, kaldare og difor tyngre vatn ei tid etter dette, og at tilstanden dermed blei endra frå årsskiftet 1993-94.

Dei øvre vannmassane syner klare sesongvariasjonar, som venta. Grunna den sterke sjiktinga når sesongvariasjonane berre ned til 10-15 meter. Djupvatnet har altså ikkje blitt påverka av den årlege syklusen siste 1½ år.

Sigma-t plottet syner at sprangsjiktet vart mykje skarpere og ligg eit par meter grunnare etter utskiftinga av botnvatnet vinteren 1993/94. Det same kan tydeleg sjåast i figur 3.2, som viser samtlege profil av sigma-t frå Kyllaren. Figuren syner også at botnvatnet var mykje meir homogent etter utskiftinga. H₂S nivålinja er inneikna i diagrammet på rapportforsida, og om ein samanliknar med sigma-t isolinjene ser ein at nivålinja følgjer sprangsjiktet.

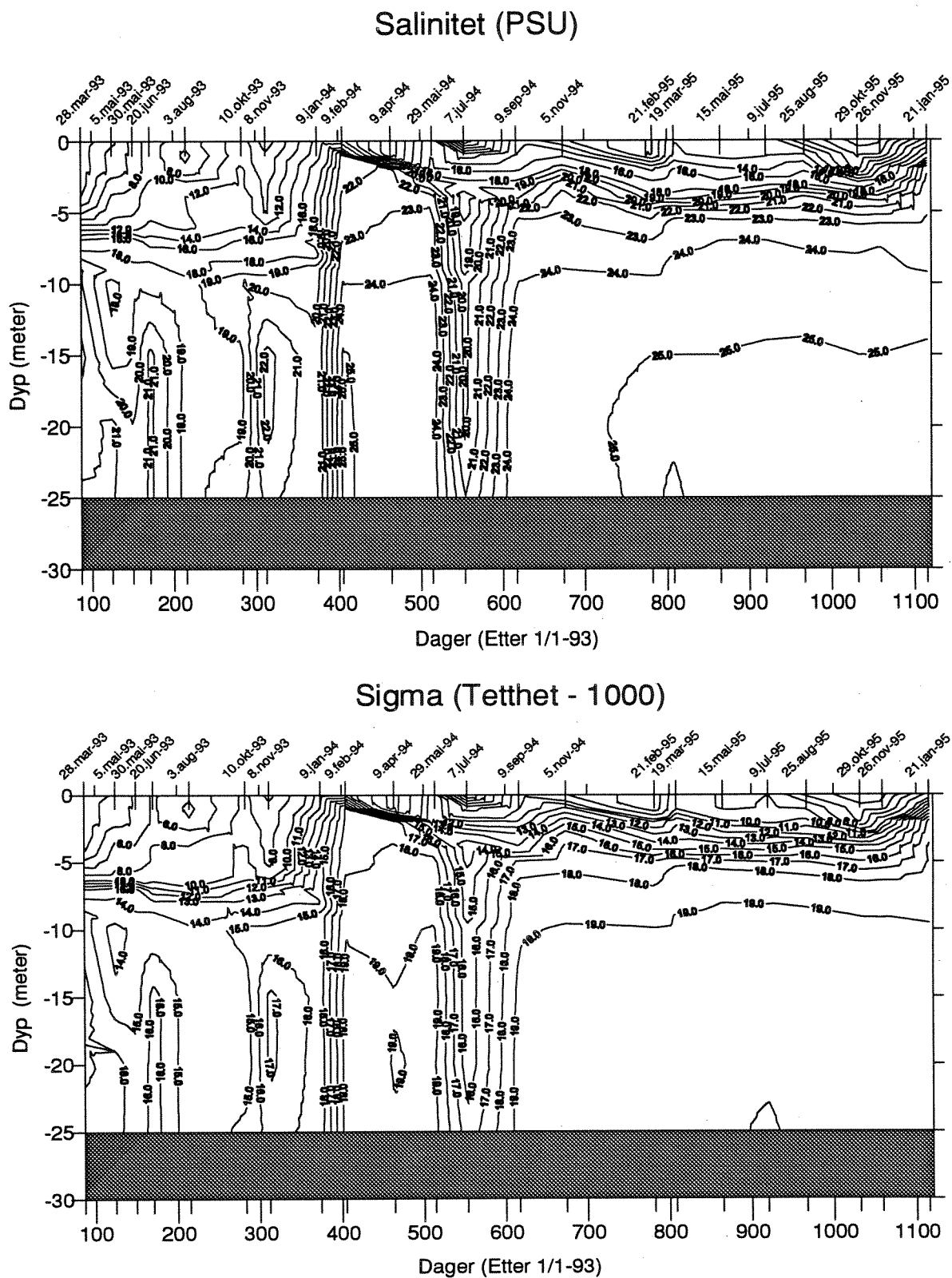
Luktplagene vinteren/våren 1994 skuldast sannsynlegvis at sprangsjiktet kom heilt til overflata. Jamfør figuren på rapportens forside. Det er her verd å merke seg at målingane frå januar 1996 syner stor likskap med målingane frå årsskiftet 1993-94, då det oppstod luktplager. Risiko for nye luktplager vinteren 1996 var dermed til stades, noko som seinare blei stadfesta.

Hydrogensulfid-konsentrasjonen i august 1995 blei målt (analysert) til 85 mg/l i 10 m djup, og 180 mg/l i 27 m djup (tabell 3.1). Tilsvarende målingar frå februar 1994 synte 91 og "større enn" 120 mg/l (tabell 3.1). Sistnemnde verdi representerer eit minimumsestimat p.g.a. under-titrering. Faktisk verdi ligg sannsynlegvis rundt verdien frå august 1995.

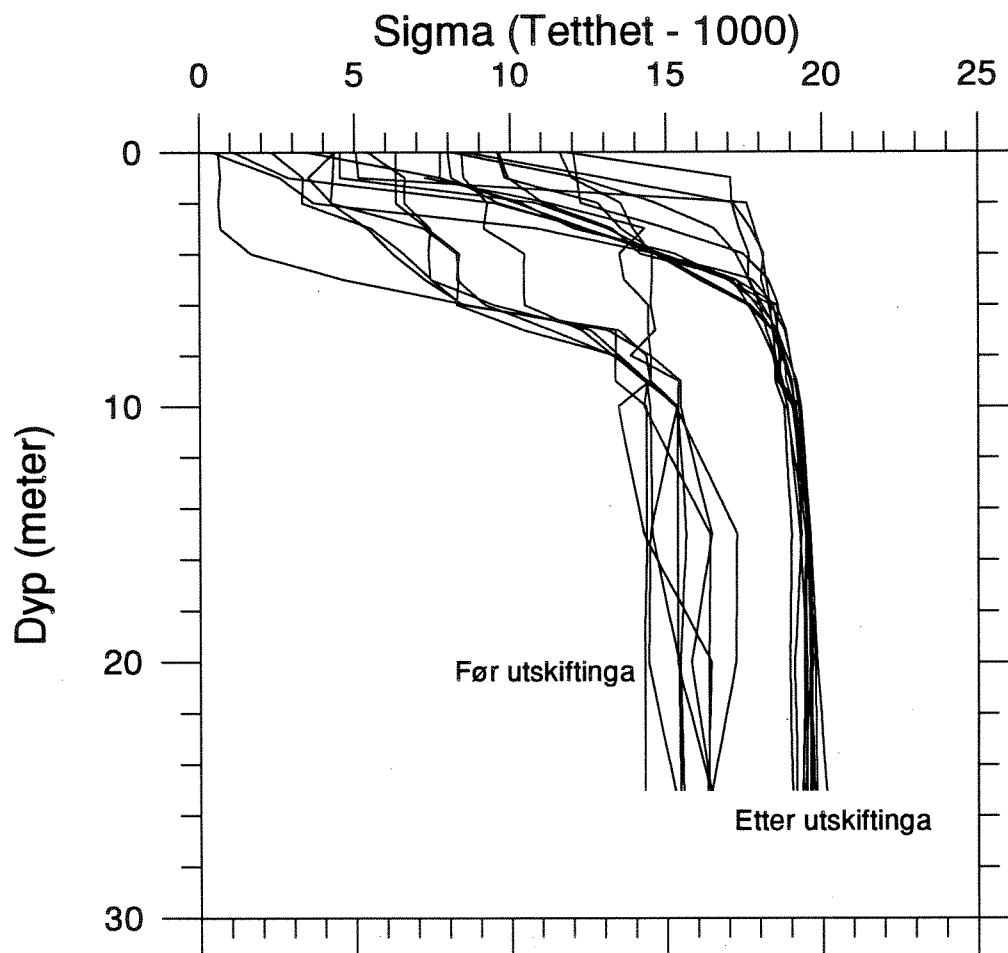
I august 1995 blei det også tatt prøver for analyse av sulfat (SO₄²⁻) i 27 m djup. Analysene synte ein verdi på om lag 1.300 mg/l. Friskt sjøvatn med salinitet på 25 (-som i djupvatnet i Kyllaren) har teoretisk sulfatinnhald på om lag 1.900 mg/l. Dette kan teoretisk sett omdannast (reduserast) til 670 mg/l H₂S. Av desse tala kan tydst at om lag 600 mg/l var omdanna (redusert) og at om lag 1/3 av sulfatet var brukt opp. Forbruket tilsvarar teoretisk hydrogensulfidkonsentrasjon på om lag 220 mg/l, noko som harmonerer rimeleg bra med den målte konsentrasjonen på 180 mg/l (noko av svovelet kan ha blitt felt ut).

Tabell 3.1. Oversikt over tidlegare og nye kjemiske målingar i Kyllaren. NIVA har stått for måling av H₂S, Næringsmiddeltilsynet for dei andre analysene.

Dato	Djup (m)	Turb (FTU)	Tot-P (µg/l)	Tot-N (µg/l)	O ₂	H ₂ S (mg/l)
28/3 - 93	?		27	370		
29/3 -93	elv		19			
5/5 -93	0 3				98,9% metn. 112,5% metn.	
20/6 -93	3 10	0,92 6,5	270 1.000	20 2.200		
17/8 -93	3 10	0,87 220	31 2.500	320 970		
4/10 -93	3 10	1,1 150	42 2.200	420 8.100		
9/2 -94	1 10 28				4,94 mg/l	91 >120
20/6 -94	3 10	6,6 56	430 2.000	2.900 14.000		
15/8 - 94	3 10	1,7 17	160 1.900	760 14.000		
29/8 -95	1 10 27				9,98 mg/l	85 180



Figur 3.1. Salinitet- og Sigma-t isoplethplott frå Kyllaren. Målingane frå 7. juli 1994 forårsakar eit karakteristisk brudd i isolinjene. Desse målingane er truleg feil, men er likevel tatt med i framstillinga grunna manglande prov på dette.

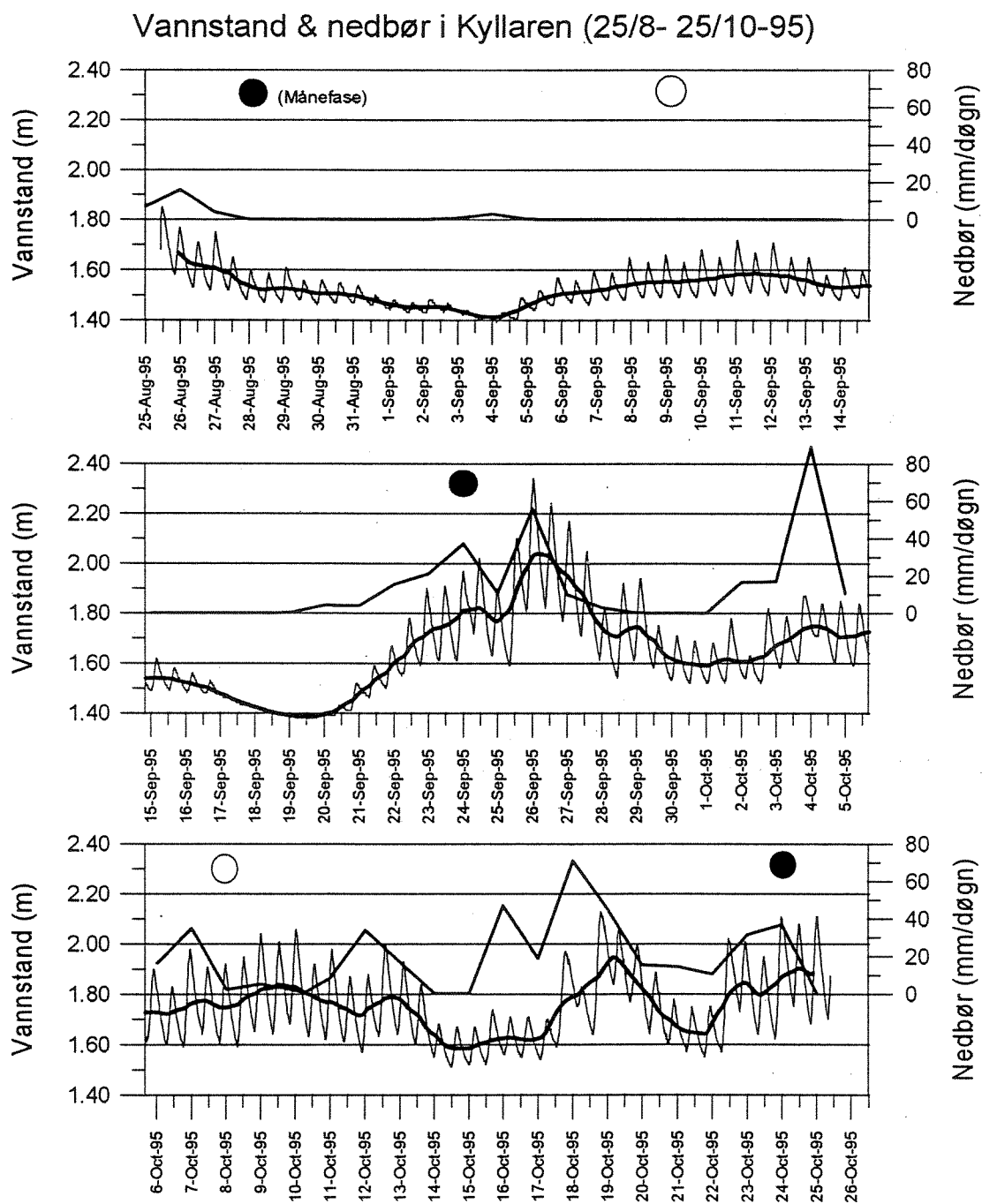


Figur 3.2 Sigma-t profil i Kyllaren frå mars 1993 til januar 1996. Tilstandsendinga for sprangsjikt og djupvatn i løpet av vinteren 1993-94 framtrer tydeleg.

3.2. Vannstandsmålingar

Figur 3.3 viser vannstandsvariasjonane målt i Kyllaren hausten 1995. Amplitudane i vannstandsvariasjonane følgjer månefasane. Ved ny og fullmåne (spring) er det stor skilnad mellom flo og fjære (20 -50 cm), mens variasjonane er små (2-20 cm) når månen er halv (nipp). Målingane synar også at den gjennomsnittlege vannstanden er høgare nær spring enn nær nipp (minst 20 cm skilnad). Månens halvdaglege komponent (M2) synar seg å vere den dominerande. Harmonisk analyse stadfestar dette. Variasjonane i M2 er meir enn dobbelt så store som variasjonane i S2, som også er ein halvdaglege komponent. Det heildaglege bidraget er lite.

Målingane synar at vannstanden aukar mykje fortare enn den avtar. I løpet av ein 12 timars periode flør det i 3-4 timar, medan det fjærer 8-9 timar. Dette må skuldast at topografien i gruntvassområdet i Askvika og netto utstrøyming p.g.a. ferskvasstilrenning seinkar den inngåande tidevassbølja.



Figur 3.3. Vannstandsmålinger i Kyllaren i perioden 25. august - 25 oktober 1995, samt nedbørsdata (dagl. nedbør) for stasjon Osland (5711) ved Stongfjorden.

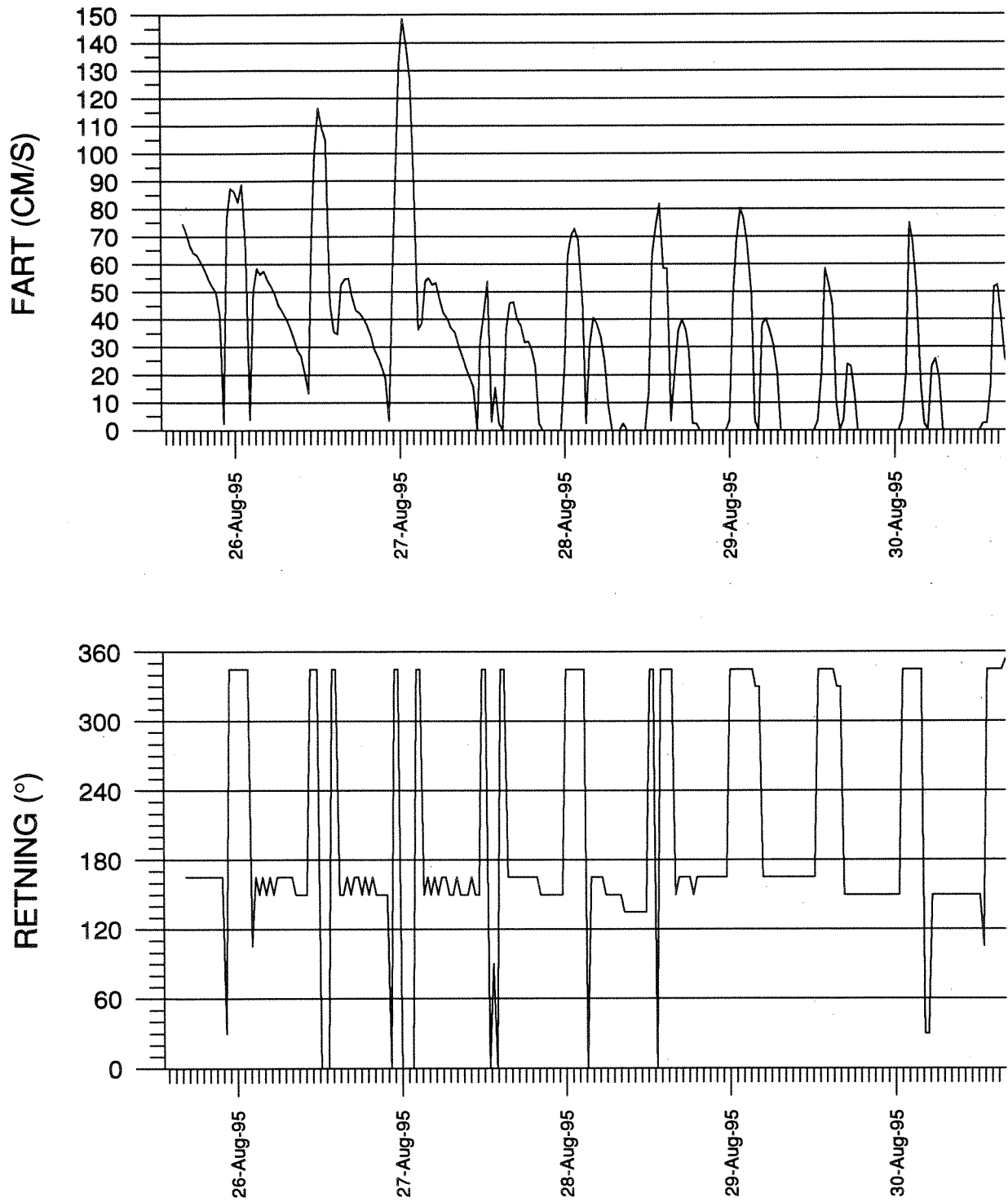
3.3. Strømmålingar i innløpet

Figur 3.4 viser eit utval av strømmålingane i den "gamle" kulverten ved innløpet til Kyllaren. Ein retning på omlag 360° representerer strøm inn i Kyllaren, medan ein retning på omlag 180° representerer strøm ut av Kyllaren. Som vannstandsmålingane indikerte, kan ein sjå at strømmen er sterkast når det flør (strømstyrke rundt 1,5 m/s). Ein ser av målingane at vatnet strømmar inn i Kyllaren i berre 3-4 timar, medan det strømmar ut i 8-9 timar. Dette harmonerer bra med det biletet som vannstandsmålingane ga.

3.4. Meteorologiske data

Figur 3.3 viser også nedbørsdata frå same periode som vannstandsmålingane blei gjort. Om ein samanliknar vannstandsmålingane med nedbørsmålingane ser ein at dei er sterkt korrelerte. Frå den 25. august til den 20. september falt det nesten ikkje nedbør. Dette gjenspeglar seg i jamne og sykliske variasjonar i vannstanden (spring-nipp). Resten av vannstandsmålingane er "forstyrre" av tilrenning frå dei omliggande områda, der den gjennomsnittlege vannstanden vert bestemt av tilrenning frå land framfor månefasane. I periodar med mykje nedbør kan vannstanden i Kyllaren stige med fleire titals centimeter over det normale nivået.

"Gammel" kulvert ved innløpet av Kyllaren



Figur 3.4 Strømmålinger i det "gamle" innløpet til Kyllaren. Strømretning lik 160- 180° tilsvarar strøm ut av Kyllaren, og retning rundt 360° (0°) strøm inn.

4. VURDERINGAR OG TILRÅDING

4.1. Vurdering av vassutskiftinga

Vasskvaliteten

Dei hydrografiske målingane viser at djupvatnet i Kyllaren er stagnerande. I perioden etter at kulverten blei lagt i april 1993 foregjekk det tilsynelatande ein viss utskifting av djupvatnet, ettersom det blei målt signifikante variasjonar i temperatur og salinitet. Etter vinteren 1993-94 har imidlertid denne varierende stansa, og ein har ikkje hatt noka sesongmessig utskifting. Sprangsjiktet har tilsynelatande etablert seg meir eller mindre permanent i 3-5 m djup, og er meir markert enn før.

Vannstand

Vannstandsmålingane gjort av NIVA i 1995 indikerer at i periodar med lite nedbør er flo-fjære variasjonen ca 20 cm ved ny/fullmåne, og knapt nok registrerbar (kun nokre få cm) rundt halv måne. Dette indikerer at floa berre så vidt når opp til Straumsbrua ved halv måne ved normalt luttrykk. Nedbør medfører ein viss endring i dette mønsteret (fig. 3.3). Perioden rundt halv måne 14-18 oktober hadde likevel stor halvdagleg vannstandsvariasjon i Kyllaren. Dette må henge saman med at det då var atmosfærisk lågtrykk, med høg vannstand på kysten.

Det flør i Kyllaren i løpet av ca 3 timar, og fell i løpet av 9 timar (fig. 3.3). NIVAs målingar frå 1995 syner at lågvatn i Kyllaren opptre 4,5 - 5 timar etter lågvatn utanfor. Flo i Kyllaren opptre knapt 2,5 time etter (tabell 4.1). Faseendringa for fjøre sjø et delvis avhengig av nedbør. Ved lite nedbør/avrenning fell vannstanden i Kyllaren tilsynelatande over eit lenger tidsrom enn ved mykje nedbør. Dette kan skuldast at stor tilrenning skaper generelt høgare vannstand i Kyllaren, med større horisontalt, utoverretta trykk enn ellers. Det dynamiske samspelet med grunntområdet i Askvika og området ut til vegfyllinga er sannsynlegvis også viktig her.

Tabell 4.1. Eksempel på berekna tidsforseinking for høg- og lågvatn mellom Kyllaren og Askvika, samt nokre berekna dempingsfaktorar for ulike nedbørssituasjonar, basert på NIVAs vannstandsmålingar i 1995 og tidevannstabellen.

Lågv./høgv.	Moderat nedbør (typisk)		Lite nedbør		Mykje nedbør	
	ΔT_{A-K}	$\Delta H_K / \Delta H_A$	ΔT_{A-K}	$\Delta H_K / \Delta H_A$	ΔT_{A-K}	$\Delta H_K / \Delta H_A$
lågv.	-4t 51m	-	-5t 22m	-	-4t 24m	-
lågv.	-4t 46m	0,18	-5t 4m	0,10	-4t 30m	0,33
lågv.	-4t 50m	0,15	-5t 6m	0,11	-4t 25m	0,32
lågv.	-4t 52m	0,16	-5t 5m	0,09	-	-
Middel lågv	-4t 50m	0,16	-5t 12m	0,10	-4t 26m	0,33
høgv.	-2t 12m	0,16	-2t 29m	0,10	-4t 25m	0,34
høgv.	-2t 32m	0,14	-2t 15m	0,12	-4t 21m	0,27
høgv.	-2t 24m	0,17	-2t 23m	0,09	-4t 26m	0,27
høgv.	-	-	-2t 32m	0,13	-	-
Middel høgv	-2t 23m	0,16	-2t 25m	0,11	-4t 24m	0,29

Dempingsfaktoren, d.v.s. forholdstalet mellom vannstandsamplitude inni Kyllaren og utanfor, varierer også med nedbør (tabell 4.1). Ved lite nedbør ligg faktoren på rundt 0,1 (stor demping), og ved mykje nedbør rundt 0,3 (mindre demping). Dette harmonerer med føregåande resonnement angåande faseforskjellen, ved at Kyllaren faktisk tømmer seg meir effektivt ved kraftig enn ved lite nedbør, p.g.a. sterkare drivkraft (trykk).

Ved stor vannstandsvariasjon i Kyllaren (0,5 m) vil anslagsvis 0,3 mill m³ vatn strøyme inn/ut under straumsbrua når sjøen flør eller fell. Det vil vere eit ekstra bidrag til utstrømming frå avrenning frå elvane. Ved mykje nedbør med 1 m³/s avrenning til Kyllaren og Leira, vil utstrømminga auke med 10%. Ved vannstandsvariasjon på 0,25 m, vil tilsvarende volum vere 0,15 mill m³, og det relative bidraget frå ferskvassavrenning vil auke tilsvarende. Sistnemnde variasjon vil tilsvare ein teoretisk strømsstyrke ved Straumsbrua på rundt 0,75 m/s i snitt, noko som harmonerer godt med det som faktisk blei målt (fig. 3.4).

Utstrømmende vatn frå Kyllaren og Leira vil hamne i Askvika. Vassvolumet av sjøen innafør vegfyllinga er grovt anslått til 1 mill m³ ved middelvannstand. Av berekningane ovanfor ser ein dermed at bidraget frå Kyllaren/Leira er av storleiksorden 30 %. Sjølv om ein reknar med god innblanding med eksisterande vatn i Askvika, ville altså det vatnet som strømmar inn att på fløande sjø ha behalde ein del av karakteristikken og kvaliteten det hadde. Vatn som strømmar inn att, består kanskje av 30-50 % "gammalt" vatn. Denne prosenten kan ha blitt auka etter at vegfyllinga over Askvika blei lagt (sjå avsnitt 4.1.2).

4.1.1. Effekt av den nye kulverten

Eit spørsmål som er blitt reist, er i kor stor grad den nye kulverten har medført endra vassutskifting, og om tilhøva kan ha blitt forverra. Det finns lite eldre målingar av hydrografi/vasskvalitet, som kan indikere naturleg tilstand. Straumsbrua blei fornya i midten av 1950-åra. Dette medførte redusert gjennomstrømming, med gradvis reduksjon av fauna utover på 1960- og 1970 talet, og påvising av oksygensvikt (ref: brev frå styret i Askvoll og Holmedal Jakt og Fiskelag, datert 28/6 1992). Sannsynlegvis har Kyllaren også i tidlegare tider hatt oksygenvinn, men begrensa til eit tynnare botnlag.

Kulverten blei lagt i byrjinga av april 1993 (E. Aarseth, pers. medd.). Ein profil frå oktober 1990 syner at det var eit visst innslag av tungt (salt) djupvatn i Kyllaren, men ikkje i så store mengder som i 1994 og 1995. Desse første målingane er imidlertid usikre, med dårleg samsvar mellom avleste eller berekna verdiar for salinitet, temperatur og densitet. Målingane frå 28 mars 1993, som er tatt med i denne rapporten, blei tatt like før kulverten blei lagt. Desse og dei påfølgjande målingane syner at det skjedde ein markert tilstandsending i Kyllarens djupvatn utover i 1993, i retning mot kaldare og vesentleg saltare (-og dermed tyngre) djupvatn enn før.

Kulverten representerte ein tilnærma dobling av gjennomstrøymingskapasiteten i høve til tidlegare. Dette medførte at sjøvatn som tidlegare i stor grad blei blokkert frå å strøyme inn, etter april 1993 kunne strøyme inn i større grad. Vannstandsmålingar gjort i 1979 indikerte ein flo-fjære variasjon inne i Kyllaren på ca 30 cm. Lågaste fjære i Kyllaren opptrådde 4,5-5 timar etter fjære utanfor.

4.1.2. Effektar av den nye fyllinga over Askvika

Den om lag 500 m lange vegfyllinga over ytre del av Askvika som blei lagt i byrjinga av 1980-åra, har ei 15 m brei bruopning midt på. I følge NVE skulle dette sikre tilstrekkeleg gjennomstrøyming i forhold til tidvatnet, og det blei kalkulert med at kun ein liten forseinking (faseforskyving) av tidvatnet i forhold til tidlegare, kunne oppstå.

Vegfyllinga har nok likevel bidratt negativt i forhold til blanding og utskifting av vatnet innfor fyllinga. Den faktiske effekten for vassutskifting er ikkje blitt vurdert i form av konsekvensutgreiing eller kontroll, etter det vi kjenner til. Blandingseffekt på grunn av vind og spesielt bølger må ha blitt redusert, og det kan ha blitt større omfang av stagnerande soner (bakevjer). Dette kan så i sin tur også ha bidratt negativt til på vasskvaliteten i Kyllaren.

4.2. Metode med neddykka utslepp av ferskvatn

I tidlegare diskusjonar med kommunen og Miljøvernavingdelinga har neddykka utslepp av ferskvatn i Kyllaren vore vurdert som ein realistisk metode for gjennomføring. Derfor tar vi utgangspunkt i dette, men diskuterer også andre løysingar. Vi har ikkje vurdert konkret kvar vatnet skal takast frå. Det mest realistiske kan vere å ta ein del av vatnet frå Ringstadelva, som bør har den nødvendige kapasitet.

Prinsipielt sett kan neddykka ferskvassutslepp vere gunstig, og kan ha fleire fordelar framfor andre løysingar:

- Djupvatnet blir gradvis uttynna (mindre salt) og lettare, og gir dermed gunstigare vilkår for periodevis utskifting av nytt sjøvatn utanfrå.
- Utsleppsvatnet kan antakast å vere 100 % metta med oksygen, som umiddelbart er tilgjengeleg for nedbryting av hydrogensulfiden.
- Ingen overflate"lekkasje" av gass viss rett dimensjonert.
- Enkelt anlegg utan mekaniske eller elektriske installasjonar.
- Utsleppsmengdene kan lett regulast og evt. avstengast i periodar.
- Utsleppsdjupet kan lett vint regulast.
- Rimelege etableringskostnader dersom vasskjelda ligg nær resipienten og har fallhøgde nok.
- Få eller ingen løpande driftsutgifter (kun tilsyn og evt. oppreinsking av inntaket).

4.2.1. Teori

Sidan ferskvatn er lettare enn sjøvatn, vil utsleppsvatnet stige mot overflata, før det blir spreidd vidare i resipienten. Utsleppsvatnet kan enten stige heilt opp til overflata, eller bli "innlagra" i sjikt under overflata, avhengig av utsleppsdjup og sjikting i Kyllaren.

Den faktiske banen til utsleppsvatnet vil vere bestemt av fleire faktorar, m.a. dei til ei kvar tid rådande sjiktingstilhøva, utsleppsfluks og djup for utsleppet. Visse sjiktingstilhøve kan favorisere grunn innlagring, og andre djup innlagring. For å verifisere kva innlagringsdjup som er aktuelle, har vi benytta NIVAs EDB modell "JETMIX" (Bjerkeng og Lesjø 1973). Den numeriske formuleringa i modellen baserer seg på eit sett av første ordens differensial-likningar for konservering av masse og momentum (rørslemengde) under oppstiginga av utløpsvatnet (primærfortynningsfasen).

Berekningane baserer seg på gjevne data for sjikting (hydrografi), og for utleppskonfigurasjon (djup, rørdiameter, vassfluks m.m.). Sjiktingsdata har vi tilgang til gjennom dei målingane som er foretatt i perioden 1993 til januar 1996, d.v.s. perioden etter at kulverten blei lagt.

4.2.2. Dimensjonerande vassføring

Det ligg ikkje føre eksakte berekningar for forventa vassføring. Det vil truleg vere tale om relativt små vassmengder i gjennomsnitt, men med store tidsvariasjonar. Ringstadelva representerer sannsynlegvis den største einskild-kjelda, med nedslagsfelt på om lag 6 km². Dette tilsvarar om lag 50 l/s i middel avrenning. Ein kan rekne med langt høgare toppar i samband med nedbørsperioder og snøsmelting.

4.2.3. Verdiar til modellen

Ved modellberekningane krevst opplysning om rørdiameter. Denne har vi satt til 20 cm. Nødvendig og tilstrekkeleg diameter kan bereknast nærare når ein kjenner nødvendig lengd på røret og fallhøgda. Vassfluksen er satt til ca 50 l/s og 250 l/s som tilsvarar h.h.v. omtrentleg middel avrenning og sannsynleg verdi ved middels til stor avrenning i Ringstadelva. Dette gir tilsvarande **strålefart** på ca 1,6 og 8 m/s ut av røyropningen. Oksygentilførselen til djupvatnet som desse fluksane vil tilsvare, er 0,5 g og 2,5 g per sekund (ca 2 kg og 10 kg O₂ h.h.v. pr time).

Vidare krev modellen opplysning om **utsleppsdybde**. Vi har modellert for 5m, 10m, 15m, 20m og 25m, som dekkjer realistiske djupneverdiar i Kyllaren. Grunnare utslepp enn 5m gjev risiko for overflatepåverknad og gasslekkasje. Basisdata er 20 ulike hydrografiske profilar, som presentert i kapittel 3. Desse profilane dekkjer fleire år, og bør fange opp sesongsvingingar, sjølv om kortvarige ekstremisituasjonar ikkje nødvendigvis er fanga opp av målingane.

4.2.4. Resultat

Resultata for modellberekningane er synt i vedlegg. Viktigaste parameter i tabellane der er DEPTH, som angir innlagringsdjupet. Det framgår at dess djupare utsleppsdybde, dess djupare blir innlagringa. I typiske tilfelle stig strålen 10-15 m oppover i vassøyla før den innstiller seg i nøytral likevekt. Dette framgår av figurane 4.1 og 4.2 som syner innlagringsdybde og fortynningsfaktor (utblanding) for 50 l/s og 250 l/s utsleppsfluks.

Det framgår at sjølv ved så grunt utslepp som i 5 m vil senter av det innlagra utsleppsvatnet ligge 2-3 m under overflata. Ved enkelte høve med svak sjikting (profil nr 7, 8 og 9) er det imidlertid risiko for overflatepåverknad, når ein også tar omsyn til at utsleppsvatnet ("skya") når litt grunnare enn senter-innlagringsdjupet som er synt i figurane. Utslepp frå 10 m og djupare gjev aldri overflatepåverknad.

Fortynningsfaktoren ved innlagring aukar med aukande utsleppsdybde, og ligg i intervallet 10-50 for utslepp i 10 m og djupare. Dette gjeld senterfortynninga. Middel-fortynninga ved innlagring er om lag 1,7 gongar større enn senterfortynninga.

For å bedømme verknad på hydrogensulfiden, kan vi ta utgangspunkt i eksempel med utslepp i 15 m djup, som ved 50 l/s vassfluks gjev innlagring i 8-10 m djup, med senterfortynning på rundt 20. Konsentrasjonen av hydrogensulfid i 10 m djup blei målt til 85 mg/l i august 1995. for ein første ordens tilnærming kan ein rekne med jamn reduksjon i sulfidkonsentrasjon mot grenseflata i 3-5 m djup. Ved første oksydasjonstrinn av H₂S kan ein rekne at 1/2 mol O₂ oksyderer 1 mol H₂S. For å fjerne all hydrogensulfid ned til 10 m djup, vil dermed måtte fjerne om lag 30 tonn sulfid. Dette medfører eit oksygenbehov på 15 tonn. Med tilførsel på 2 kg/time, vil det ta anslagsvis 300 dagar å få fjerna (oksydert) sulfiden.

Dette rekneeksempelet syner at ein kan forbetre tilhøva, og halde problemet i sjakk i Kyllaren ved eit dykka ferskvassutslepp med moderat vassfluks. I realiteten vil ein kunne ha større vassfluks i periodar, og dermed auke både oksydasjonsrate og effektivitet.

4.3. Andre metodar

Neddykka ferskvassutslepp framstår som eit gjennomførbart og tiltak, med nødvendig effekt. Andre metodar, som dei som er omtalt i kapittel 1, kan også gje tilsvarande eller større effekt. Fleire slike

metodar blei også omtalt og vurdert i forrige gransking (Golmen, 1994). Sidan det er tale om eit verna område, må det sannsynlegvis samhandlast med verneinteressene slik at desse blir ivaretatt ved evt. iverksetjing av tiltak. Dette gjeld ikkje minst val av metode, og kva mål ein skal setje for tiltaka.

4.4. Kostnader

Det ligg utanfor oppgåva i dette prosjektet å finrekne på kostnader av ulike alternativ. Uansett tiltak vil det påløpe kostnader, dels som investeringar og dels i form av driftsutgifter. Samanlikning med berekningar frå andre stader kan imidlertid vere relevant.

For Sælenvatnet i Bergen er det nyleg gjennomført vurderingar med siktemål å iverksetje snarlege tiltak. Sælenvatnet har beslektta problem med Kyllaren, og har same storleik (vassvolum på 6 mill m^3 , mot 4 mill m^3 for Kyllaren, og tilnærma same max. djup). Avdeling teknisk utbygging i Bergen kommune tilrådde å etablere eit dykka ferskvassutslepp i Sælenvatnet, ved å ta noko vatn frå Sælenelva. Kostnadene til dette var berekna til 0,5 mill kr som inkluderte legging av 400 m røyr. Nødvendig røyrlengde er her ein viktig parameter. Driftsutgiftene ville vere små.

Tilsvarande blei kostnadene med å etablere ein flåte i vatnet med ei pumpe som pumpa overflatevatn ned i djupare sjikt anslått til 100.000 kr i etablering og 55.000 kr/år i drift.

Kommunens politiske hovedutvalg gjekk imidlertid inn for ei løysing som innebar mekanisk blanding/lufting ved hjelp av ein kraftig pumpe ("Aerator") som kan ta inn luft via slange frå overflata for å auke utluftinga. Til denne løysninga har kommunen løyvd 1,6 mill kr, som skal dekke ein prøveperiode fram til dei øverste 6 m er fri for hydrogensulfid. Årlege driftsutgifter deretter er anslått til 100.000 kr (elektrisitet m.m.).

I Botnen i Rissa kommune blei det etablert kompressor på land, med luftslange ut i resipienten. Etableringskostnadene (1992) var av storleiksorden 400.000 kr, og driftsutgiftene er 60-70.000 kr/år. Resultata etter tilnærma kontinuerleg drift er gode. Heile resipienten er nå fri for hydrogensulfid, med 25 % oksygenmetning i djupvatnet (Rissa kommune v/Fallmyr, pers. medd.).

Av tiltak i utlandet med same bakgrunn, kan nemnast Mystic Lake i Boston, USA, der ein valgte å gå inn for langsam utpumping av salt og hydrogensulfid-haldig djupvatn som blei behandla med jernklorid før det blei sleppt vidare. Etter fleire år med forseinkingar og tekniske problem, blei full operasjon satt i verk i 1987. Mellom anna syntet det seg at behovet for jernklorid var langt større, og den kjemiske reaksjonstida var lengre enn det dei teoretiske berekningane ga. Prosjektet blei avslutta i 1990. Då var 240.000 m^3 djupvatn, tilsvarande ca 2/3 av det planlagte, fjerna, og sprangsjiktet (haloklinen) var flytta ca 20 m djupare. Kostnadene blei om lag US\$ 1,1 mill (ca 7 mill NOK), tilsvarande ca 4,2\$/ m^3 vatn behandla (T. Raphael, MRW Association, pers. medd.).

4.5. Oppfølging

Ein har gjennom dette og føregåande prosjekt fått danna seg eit rimeleg godt bilete av tilstand og endringar i Kyllaren, og vassutskiftinga mot Askvika. Etablering av kulverten i 1993 har sannsynlegvis bidratt negativt til tilstandsutviklinga. Utan avbøtande tiltak, vil ein kunne oppleve luktplager og negative effektar på biologien kvar vinter framover. Systemet har ikkje kapasitet til å fjerne sulfiden på naturleg måte, utanom gjennom tidvis lekkasje til luft og større mengder giftig utstrøymande vatn.

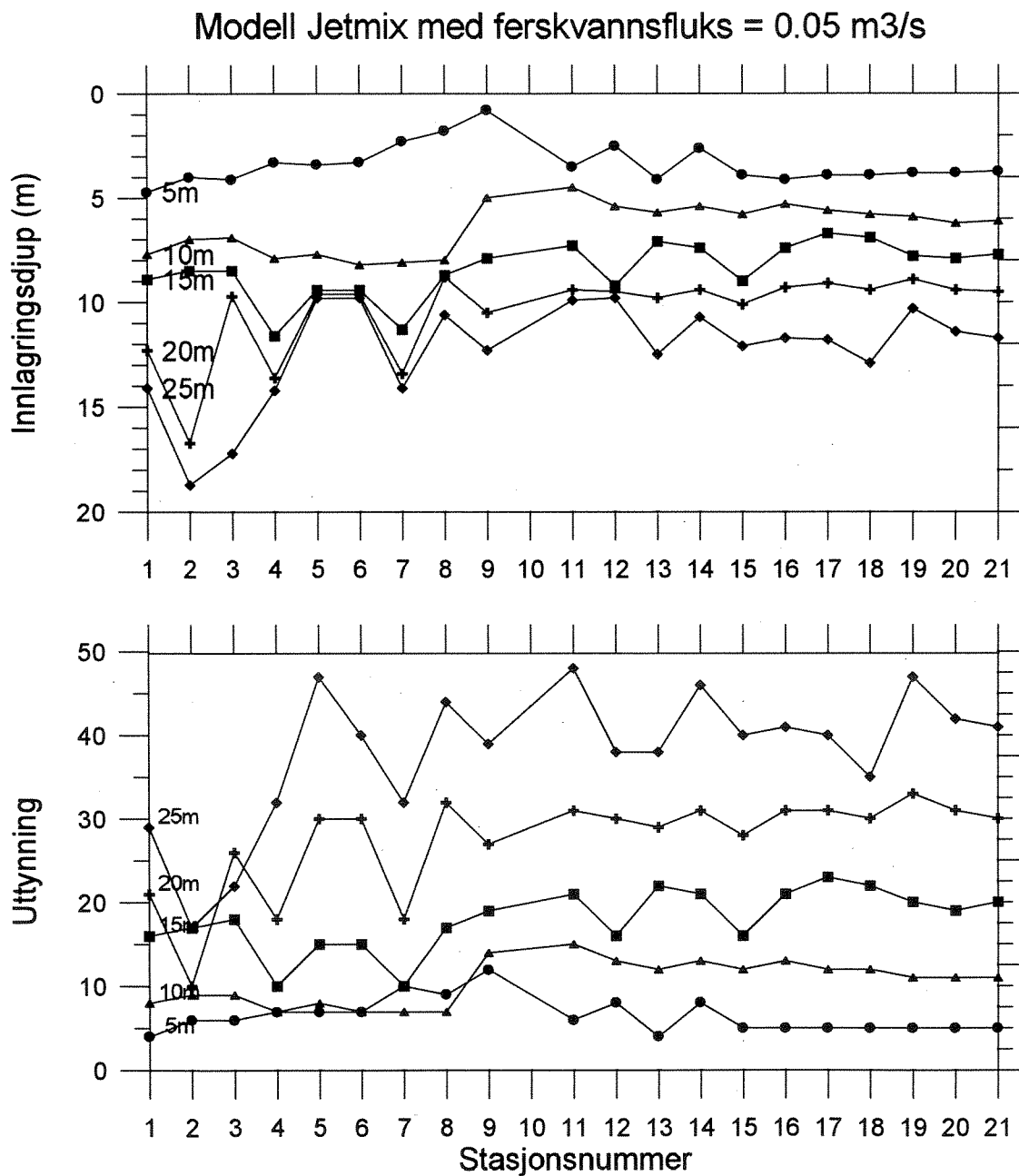
Den dynamiske koplinga mellom Kyllaren og ytre deler av Askvika er ikke fullgodt avdekket. Den nye vegfyllinga der kan ha bidratt merkbart til den negative utviklinga i Kyllaren frå midten/slutten av 1980-åra. Konsekvensutgreiing har ikkje blitt utarbeidd etter det vi veit. Berekningar med eigna numerisk modell for gruntvassområder (F.eks. NIVAs RMA2D hydrodynamiske modell) vil kunne gje verdfull kunnskap om dette området. Måling av vannstandsvariasjon ute i Askvika vil avklare spørsmål om fyllingas verknad på tidvatnet.

Biologisk kartlegging av Kyllaren bør foretakast, for å finne ut meir om kva livsformer som kan tilpasse seg eit permanent liv der, og kva arter som dør ut og reinvaderer Kyllaren under/etter giftgass-episoder.

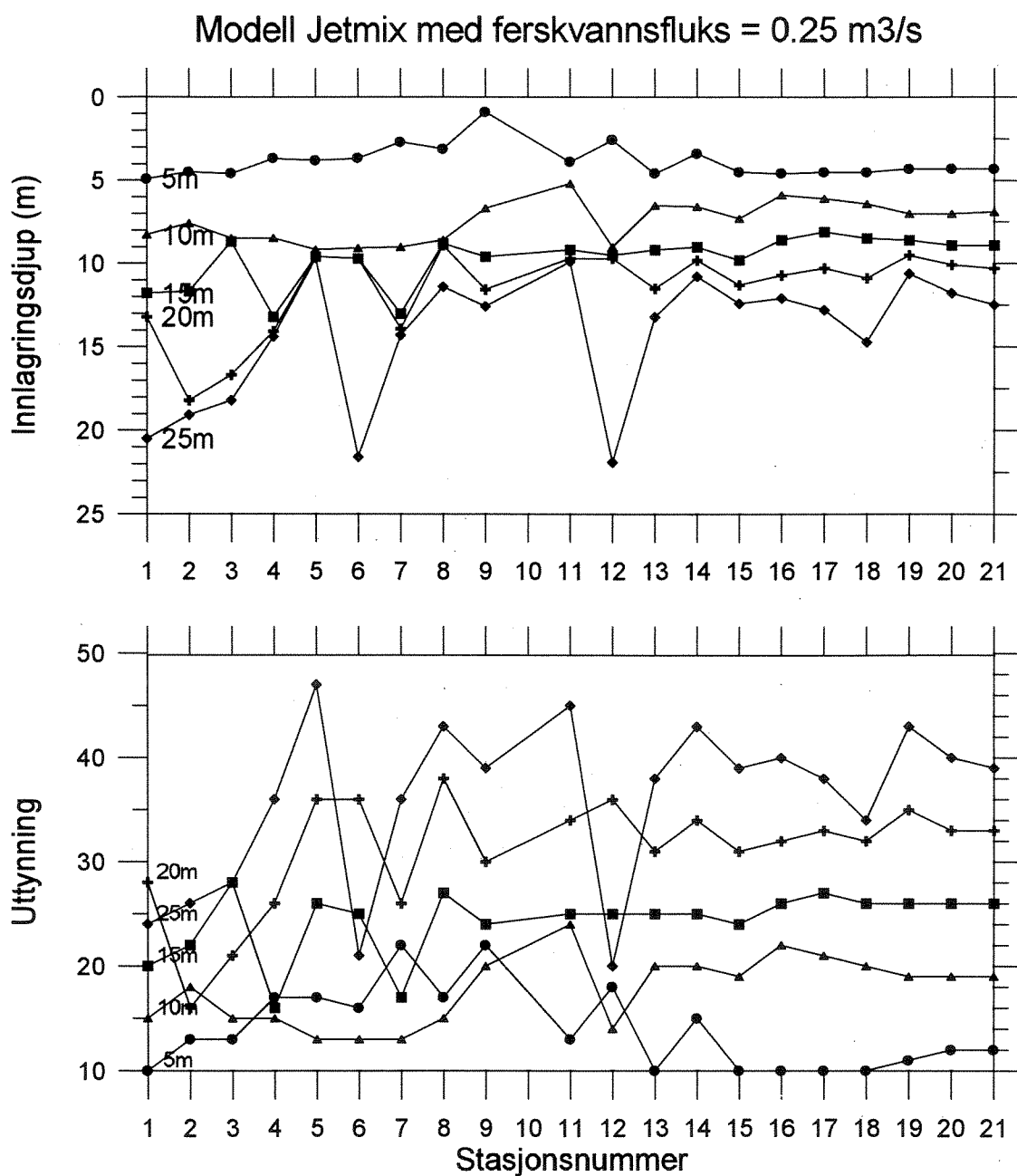
Effekt av tidvis utstrøymande sulfidhaldig vatn frå Kyllaren og ut i gruntvassområda utanfor bør utgreiast nærare. Sannsynlegvis er det tale om ein negativ påverknad på botn- og sandlevande organismar, som m.a. fugl er avhengig av.

Verknad av næringssalt-tilførsler frå land til Kyllaren er ikkje berørt i denne rapporten. Dette kan vere medverkande årsak til den dårlege vasskvaliteten, men neppe åleine årsak. Kommunen eller landbruksorganisasjonane sjølve bør framskaffe tal for tilførslene, før ein evt. går vidare for å vurdere bidraget frå desse, og effekt av realistisk sett gjennomførbare tiltak mot slik forureining.

Tiltak for å fjerne plagene frå giftgassen bør iverksetjast snarast. Tekniske løysningar finns, og er gjennomførbare. Det verkar unødvendig at luktplager skal oppstå kanskje kvar einaste vinter framover, utan at noko blir gjort. Her må vermeinteressene gå i dialog med kommunen og aktuelle faginstansar slik som Fylkeslegen for å finne raskaste farbare veg. SFT si rolle i denne og liknande saker bør avklarast. Giftgassens verknad på menneske burde kanskje også avklarast?



Figur 4.1. Resultat av innlagrsberekningane for ulike utsleppsdyb (5m, 10m, 25m) for 50 l/s utsleppsfluks. Uttynninga (fortynninga) er blandingsforholdet mellom djupvatn og utsleppsvatn ved innlagring. Profilnummera viser til ulike måletidspunkt i perioden 1993-januar 1996 (tabell 2.1. i kapittel 2).



Figur 4.2. Resultat av innlagingsberegningane for ulike utsleppsdjup (5m,10m,,25m) for 250 l/s utsleppsfluks. Utblandinga (fortynninga) er blandingsforholdet mellom djupvatn og utsleppsvatn ved innlagring. Profilnummera viser til ulike måletidspunkt i perioden 1993-januar 1996 (tabell 2.1 i kapittel 2).

LITTERATUR

Berge, F., J. Molvær, G. Nilsen og A. Thendrup 1982: Fjordforbedring. Tiltak for å bedre oksygenforholdene i poller og terskelfjorder. Rapp. nr. 1406, NIVA, Oslo, 119 s.

Bjerkeng, B. og A. Lesjø 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. Rapp. nr. O-126/2, NIVA-Oslo.

Golmen, L.G. 1994: Hydrogensulfid i Kyllaren i Askvoll. Vurdering av årsaker og tiltak. Rapp. nr. 3035, NIVA Bergen/Oslo, 25 s.

James, A. M. og M. P. Lord 1992: Macmillan's Chemical and Physical Data. Macmillan Press LTD, London, 565 s.

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

Vea, J. 1994: Oksygenering av Skjoldafjorden. Rapport nr. RF-30/94, Rogalandsforskning, Stavanger, 20 s.

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3406-96.

ISBN 82-577-2938-8