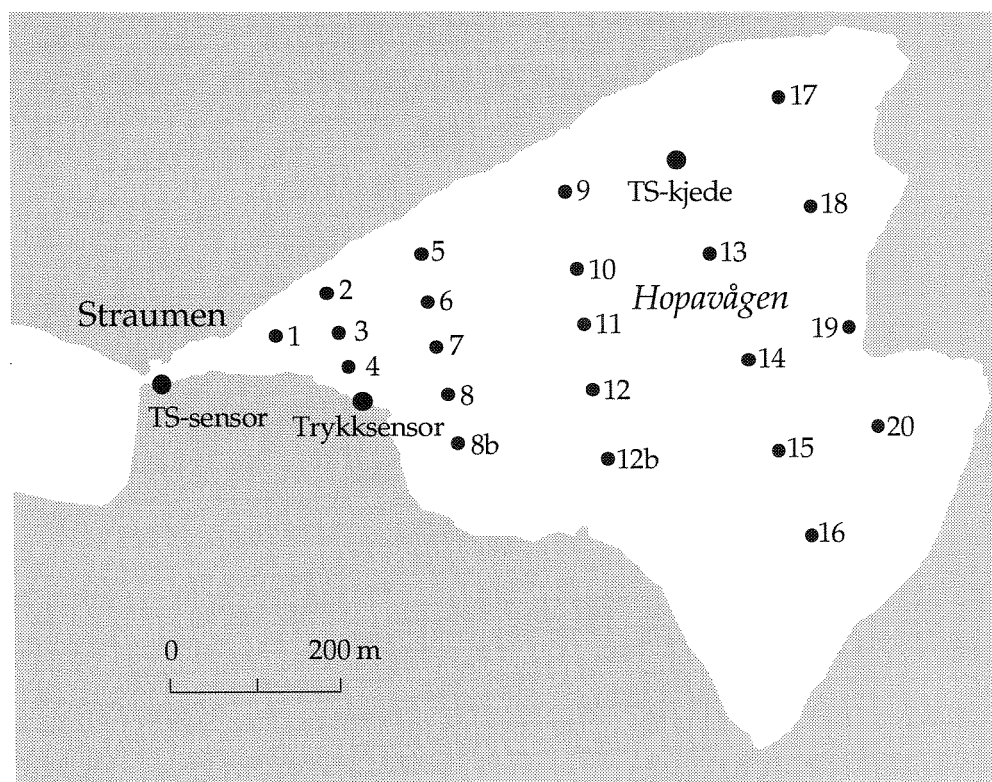


Undersøkelser av vann- utskifting i Hopavågen



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Undersøkelser av vannutskifting i Hopavågen.	Løpenr. (for bestilling) 3861-98	Dato 28/5-1998
	Prosjektnr. Undernr. O-97252	Sider Pris 40
Forfatter(e) Einar Nygaard	Fagområde 32	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) COMWEB v/ Norsk Hydro ASA, Forskningscenteret, Postboks 2560, N-3901 Porsgrunn	Oppdragsreferanse Jostein Toft
--	--


Sammendrag

COMWEB planlegger et forsøk med kunstig gjødsling av overflatelaget i Hopavågen i Sør-Trøndelag. NIVA ble kontaktet i november 1997 med ønsker om å kartlegge strømforhold og vannutskifting i vågen. Undersøkelsen måtte gjøres i februar 1998 mens gjødslingsforsøket er planlagt til sommeren 1998. Under undersøkelsen var det dypvannsfornyelse i Hopavågen, der det innstrømmende tidevannet sank til bunns og helt eller delvis fortrenget det "gamle" bunnvannet i Hopavågen. Det innstrømmende vannet spredde seg langs bunnen over hele vågen for så å stige mot overflaten i den innerste delen. Det hele foregikk i løpet av 3-4 timer. Man fikk således ikke beskrevet en slik hydrografisk situasjon som COMWEB tar sikte på. For om mulig å beskrive en slik situasjon ble en 2-dimensjonal sirkulasjonsmodell anvendt for å simulere oppholdstider for et 10 meters tykt sjikt med tidevannsutskifting. Oppholdstidene er sannsynligvis et øvre estimat og ga 1,5-2 døgn i vestlige deler, 2-7,5 døgn i sentrale deler og 7,5-17 døgn i østlige deler. Vind og ferskvannsavrenning vil bidra til å jevne ut og forkorte oppholdstidene, særlig i østlige deler. Ved planlegging av gjødslingsforsøket må man være oppmerksom på at det også sommerstid kan forekomme nedsynking av innstrømmende vann i Hopavågen. For å vurdere risikoen for at dette vil skje bør man som minimum registrere tettheten i vannsøylen både i Hopavågen og i området utenfor før næringsstoffene slippes ut.

Fire norske emneord 1. Hopavågen 2. Vannutskifting 3. Rhodamin 4. Sirkulasjonsmodell	Fire engelske emneord 1. Hopavågen 2. Water exchange 3. Rhodamin 4. Circulation model
---	--


Einar Nygaard
Prosjektleder

ISBN 82-577-3443-8


Bjørn Braaten
Forskningssjef

O- 97252

Undersøkelser av vannutskifting i Hopavågen

Bergen, 28. mai 1998

Prosjektleder:	Einar Nygaard
Medarbeider :	Kai Sørensen

Forord

Som del av et eksperiment innen MARICULT-programmet planlegger COMWEB (Comparative Analysis of Food Webs Based on Flow Networks) å gjennomføre en kunstig gjødsling av Hopavågen for å øke den biologiske produksjonen.

NIVA ble kontaktet av COMWEB i oktober 1997 med spørsmål om å beregne vannutskiftingen i Hopavågen. Dette skulle gjøres ved bruk av sporstoffet Rhodamin-B. NIVA foreslo i tillegg å logge vannstand, temperatur og salinitet i en måned for å få et bedre bilde av dynamikken i Hopavågen.

Feltarbeidet ble gjennomført i februar-mars 1998.

Kontaktperson for COMWEB var Jostein Toft (Norsk Hydro ASA). Sverre-Ove Linde tok opp automatiske loggere og sendte dem til Bergen. Kai Sørensen var behjelpelig med instrumentering. Alle takkes for god hjelp. Einar Nygaard har vært prosjektleder og ansvarlig for rapportering.

Bergen, 28. mai 1997

Einar Nygaard

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
1.1 Bakgrunn og formål med undersøkelsen	9
1.2 Områdebeskrivelse	9
2. Måleprogrammet vinteren 1998	11
2.1 Generelt	11
2.2 Instrumenter	11
2.2.1 Måling av vannstand	11
2.2.2 Måling av Rhodamininnhold i vannmassene	11
2.2.3 Måling av sjiktning (hydrografi)	13
2.3 Plassering av faste målestasjoner	13
2.4 Måleperioder	13
3. Resultater fra målingene	14
3.1 Vannstand i Hopavågen	14
3.2 Temperatur- og salinitetsmålinger i munningen til Hopavågen	15
3.3 Sjiktning i Hopavågen	17
3.4 Rhodaminforsøket	23
4. Simulert utslipp til Hopavågen	31
4.1 Modellen	31
4.1.1 SMS/RMA-2	31
4.1.2 RMA-2	31
4.1.3 Input til modellen	32
4.1.4 RMA-4 modellen	33
4.2 Modellresultater	33
4.2.1 Resultater for vannstand	33
4.2.2 Fortynning av innstrømmende vann	33
5. Diskusjon og konklusjoner	36
5.1 Generelt	36
5.2 Målingenes representativitet	36
5.3 Oppholdstider for forskjellige regioner og sjikt	36
5.4 Sluttcommentar	37
6. Litteratur	38
Vedlegg A. Rådata fra rhodaminmålingene	39

Sammendrag

COMWEB (Comparative Analysis of Food Webs Based on Flow Networks) planlegger å gjennomføre en kunstig gjødsling av Hopavågen i Sør-Trøndelag sommeren 1998. Man tar sikte på å gjødsle det innstrømmende tidevannet fra det starter å flø og i 1,5 time framover. Planen er at det næringsrike vannet skal fordele seg i overflatelaget og bidra til økt primærproduksjon. Prosjektet inngår i MARICULT som går ut på å øke innhøsting og bruk av marine ressurser. NIVA ble kontaktet av COMWEB i november 1997 med ønske om å få kartlagt strømforhold og vannutskifting i Hopavågen. Resultater fra undersøkelsen skal brukes til å beregne hvor mye næringsstoffer som skal tilføres under gjødslingsforsøket.

Undersøkelsen hadde to hovedmål:

1. Kartlegge sirkulasjonsmønsteret i Hopavågen.
2. Beregne oppholdstid for de forskjellige regionene og vannsjiktene i Hopavågen.

Disse målene skulle nås ved å dosere sporstoffet rhodamin-B på samme måte som gjødslingsforsøket er tenkt gjennomført. Det ble i tillegg registrert temperatur og salinitet i fem dyp inne i vågen og i ett dyp i munningen. Det ble også registrert vannstand. Disse målingene ble startet noen timer før forsøket og gikk i over en måned framover.

Undersøkelsen måtte gjennomføres vinteren 1998 for å ha data klar til gjødslingsforsøket. En hadde fått et mer representativt datasett om strømningsundersøkelsene også hadde blitt gjort i sommerhalvåret.

I perioder med stabile vannmasser utenfor Hopavågen og liten ferskvannsavrenning til selve vågen forventer en at innstrømmende vann ofte vil fordele seg i vågens overflatelag. En vet imidlertid at det tidvis vinterstid kan forekomme dypvannsfornyelse i poller og fjorder. Så var tilfelle under forsøket hvor det strømmet inn relativt tyngre vann inn i Hopavågen enn det som fantes i overflatelaget fra før. Dette innstrømmende vannet fortrenget helt eller delvis det "gamle" bunnvannet i Hopavågen. Det spredde seg langs bunn over hele vågen for så å bli presset til overflaten i andre enden. Vannet har hatt en strømfart på minst 10 cm/s langs bunn. Vannet fordelte/fortynnet seg videre over hele pollen. Det hele foregikk i løpet av 3-4 timer.

Rhodaminforsøket ble dermed gjort i en periode der det innstrømmende vannet ikke fordelte seg i overflatelaget, og med sterk vertikal sirkulasjon. Mangel på andre hydrografiske data fra vågen gjør at man ikke kan bedømme hvor representative resultatene er for hva som skjer sommerstid.

For å belyse en mulig sommersituasjon ble 2-dimensjonal modellering benyttet til å simulere fortynning av innstrømmende vann i et 10 meter tykt sjikt. Det ble sluppet ut sjøvann med en gitt konsentrasjon i munningen ved start av den fløende fasen og en time framover, som planlagt under gjødslingsforsøket. Fortynningen ble ca. 50-100 ganger i sentrale deler av vågen etter at sjøen har flødd ferdig første gang etter forsøket. I de østlige og vestlige delene ble fortynningen fra 100 ganger og oppover. Fortynningen ble 100-200 ganger i sentrale deler etter at sjøen har fjæret ferdig første gang etter forsøket. I vestlige deler ble fortynningen 50-100 ganger mens den ble 200-400 i østlige deler.

Ved hjelp av den samme modellen ble det beregnet oppholdstider for et 10 meters tykt sjikt på grunn av tidevannsutskifting. Oppholdstidene er sannsynligvis et øvre estimat og ga 1,5-2 døgn i vestlige

deler, 2-7,5 døgn i sentrale deler og 7,5-17 døgn i østlige deler. Vind og ferskvannsavrenning vil bidra til å jevne ut oppholdstidene særlig i østlige deler.

En må være forberedt på at det også sommerstid oppstår situasjoner med nedsynkning av det innstrømmende vannet til i Hopavågen, spesielt i perioder med relativt mye brakkvann i overflatelaget. Dette vil si at en forut og under forsøket bør registrere tettheten i vannsøylen både i Hopavågen og i området utenfor, for å kunne bedømme om næringsstoffene vil bli spredt i overflatelaget eller om de vil bli blandet ned i vågens dypere vannlag.

Summary

Title: Water exchange in Hopavågen
Year: 1998
Author: Einar Nygaard
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3443-8

The company COMWEB (Comparative Analysis of Food Webs Based on Flow Networks) is planning an experiment to artificially fertilize Hopavågen in Sør-Trøndelag in Norway. The plan is to mix nutrients into the inflowing water from the start of rising tide and the next 1,5 hours. This nutrient rich water is expected to spread in the surface layer and increase the primary production. This experiment is part of MARICULT, which primary goal is to increase harvest and use of marine resources. NIVA was contracted in November 1997 to investigate the circulation and water exchange in Hopavågen.

The investigation had two main goals:

1. Survey the circulation pattern in Hopavågen
2. Calculate residence times for different regions and water levels in Hopavågen.

The tracer rhodamine-B was used to investigate the circulation pattern. The rhodamine-B was discharged after the same procedure as planned for the fertilizing experiment. In addition water level, seawater temperature and salinity were measured at five depths in Hopavågen and at one depth in the outlet. These measurements started 2 hours before the rhodamine-B experiment and had a duration of about one month.

During the rhodamine-B investigation the inflowing seawater at rising tide had higher density than the surface water in Hopavågen. The density was less than for the bottom water, but nevertheless the incoming water flowed – or through turbulence was mixed - all the way to the bottom and partially replaced the “old” bottom water. The water spread along bottom and then was forced to the surface in the innermost part. The water flowed along bottom with a speed of minimum 10 cm/s. The water spread horizontally to cover the whole bay in 3-4 hours.

2-dimensional numerical modeling was used to simulate dilution of incoming fertilized water spreading in a 10 m thick surface layer. The modeling was following the same procedure as planned for the fertilizing experiment. The dilution of the fertilized water, after first rising tide, was 50-100 times in the central parts of the bay, and 100 times and more in the eastern and western parts of the bay. After first low tide the dilution was 100-200 times in central parts of the bay, 50-100 times in the western parts and 200-400 in eastern parts.

The same model was used to estimate residence times for a 10 meters thick surface layer due to tidal exchange. The simulated residence times are high. 1.5-2 days in the western part of Hopavågen, 2-7.5 days in the central parts of the bay and 7.5-17 days in the eastern parts. Wind and fresh water run-off will contribute to decrease these residence times especially in the eastern parts of Hopavågen, so the results are probably too conservative.

The investigation had to be done in the winter, because the results were needed for the fertilizing experiment in the following summer. The rhodamine-B investigation has been performed in a period with strong vertical circulation, which might not be representative for a summer situation. It would

have been better if also the circulation pattern investigation were made in summertime, due to seasonal variation.

One should be aware of that the circulation which this study describes may also occur in the summertime, especially during periods with much brackish water in the bay. It is therefore important to monitor the stratification and water density both inside and outside Hopavågen both before and during the period for the fertilizing experiment, to ensure that incoming water is distributed in the surface layer in Hopavågen.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og formål med undersøkelsen

COMWEB (Comparative Analysis of Food Webs Based on Flow Networks) skal gjennomføre kunstig gjødsling av Hopavågen i Sør-Trøndelag til sommeren 1998. Hopavågen er en innelukket våg med utløpet mot Trondheimsleien (se **Figur 1**). Det er planlagt å gjødsle det innstrømmende tidevannet fra det starter å flø og i 1,5 time framover. Planen er at det næringsrike vannet skal fordele seg i overflatelaget og øke primærproduksjonen. Prosjektet er en del av Maricult-prosjektet som har tittel "Research programme on possibilities and constraints for increased sustainable harvest and use of marine resources". Programmet er satt i gang av COMWEB og mange fagmiljøer er trukket inn, deriblant Norsk Hydro ASA.

COMWEB kontaktet NIVA i november 1997 med ønske om å få gjennomført forsøk med sporstoff i Hopavågen for å kartlegge strømforhold og vannutskifting. Forsøket var planlagt å ha varighet 2-3 dager. Sporstoffet Rhodamin-B skulle benyttes og dette er registrerbart ned til konsentrasjon 10^{-9} . NIVA foreslo i tillegg å registrere temperatur og salinitet i munningen og i 5 dyp inne i vågen under forsøket og 4 uker framover. Det ble også foreslått å sette ut en vannstandsmåler i samme periode. Dette for å ha full kontroll over de fysiske forholdene under forsøket og for å kunne si noe om hva som skjer på lengre tidsskala.

Formålet med undersøkelsen var å :

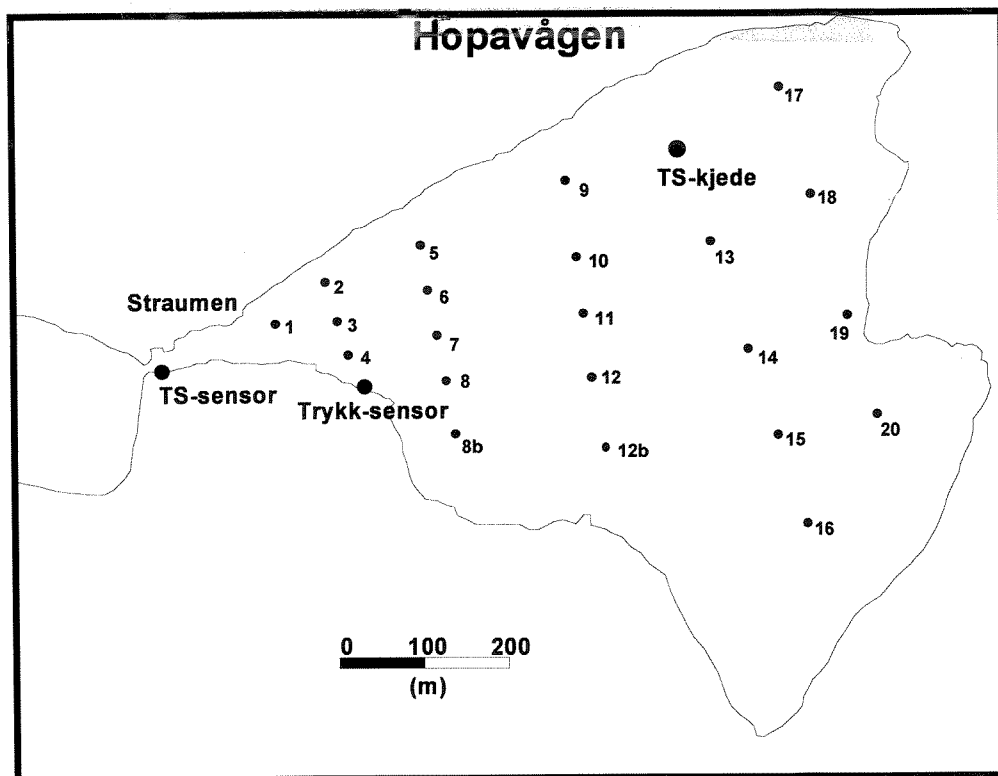
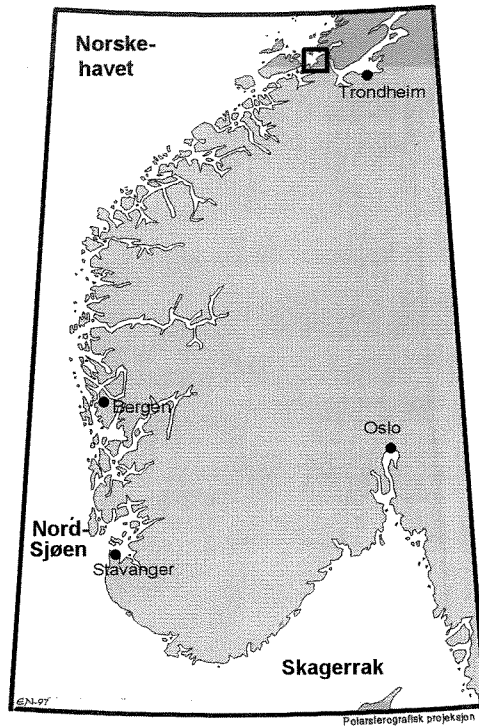
1. Kartlegge sirkulasjonsmønsteret i Hopavågen.
2. Beregne oppholdstid for de forskjellige regionene og vannsjiktene i Hopavågen.

Disse målene skulle nås ved å slippe ut sporstoffet rhodamin-B på samme måte som gjødslingsforsøket er tenkt gjennomført. Resultatene fra undersøkelsen skal brukes til å beregne hvor mye næringsstoffer som skal tilføres Hopavågen under gjødslingsforsøket sommeren 1998.

Strømningsundersøkelsen skulle gjennomføres vinteren 1998. For vurderingene og bruken av resultatene hadde det åpenbart vært en fordel om undersøkelsen hadde blitt gjennomført til samme årstid som gjødslingsforsøket. Dette var imidlertid ikke mulig.

1.2 Områdebeskrivelse

Hopavågen har et overflateareal på ca. 275.000 m² (personlig meddelelse Jostein Toft, Norsk Hydro ASA). Den har et smalt og grunt utløp (Straumen, 1 meter dypt ved lavvann) og maksimaldypet i vågen er oppgitt til 31 m. De hydrofysiske forholdene i vågen er lite kjent, men tidligere målinger har vist at vannstandsvariasjonen i vågen er både dempet og ute av fase sammenlignet med variasjonene utenfor. Dypvannet i Hopavågen er av dårlig kvalitet, trolig periodevis med oksygensvikt og dannelse av hydrogensulfid (Marion 1995). Dette tyder på dårlig vannutskifting i dypvannet, særlig fordi den naturlige belastningen av næringssalt/organisk stoff sannsynligvis er liten.



Figur 1. Kart over Hopavågen med inntegnede posisjoner for rhodaminmålinger (stasjon 1-20), trykksensor og TS-målinger i to posisjoner, en i munningen og en i vågens indre del.

2. Måleprogrammet vinteren 1998

2.1 Generelt

Måleprogrammet ble i store trekk gjennomført slik det var skissert i tilbudet til COMWEB.

Strategien var å benytte automatisert måleutstyr med minimalt behov for tilsyn. Det var lagt opp til to turer i felt: ved utplassering av utstyr og gjennomføring av forsøk med Rhodamin og en avsluttende ekspedisjon med innhenting av utstyr. Denne avsluttende ekspedisjonen med opphenting av utstyr ble gjennomført av Svenn-Ove Linde ved NTNU i Trondheim.

2.2 Instrumenter

Målingene av rhodaminkonsentrasjon i sjøvannet ble gjort med et VARIOSENS-II undervannsfluorometer. Det ble også tatt tre vannprøver for måling av Rhodaminkonsentrasjon i utstrømmende vann.

Vannstanden ble målt automatisk i en posisjon inne i Hopavågen (merket som "Trykksensor" i **Figur 1**). Det ble også utplassert en bøye med en såkalt T-S kjede for automatisk måling av salinitet og temperatur i 5 ulike dyp. Dette for å registrere tilstand og eventuelle forandringer i de hydrografiske forholdene fra overflaten og ned til 15 meters dyp.

I munningen til Hopavågen ble det i tillegg målt temperatur og salinitet i innstrømmende og utstrømmende vann.

2.2.1 Måling av vannstand

Det ble brukt en automatisk, batteridrevet Aanderaa Instruments vannstandsmåler til registrering av vannstand inne i Hopavågen (**Figur 1**). Selve målesensoren (trykksensoren) var plassert på bunn et lite stykke ut fra land, med kabelforbindelse inn til en instrumentkasse med logge-enhet, batterier etc på land. Måleren har et måleområde fra 0-10 meter, med en målenøyaktighet på 2 cm, og enda bedre relativ nøyaktighet og dataoppløsning. Måleintervallet var satt til 10 minutter, med lagring av måledata på en egen databrikke som senere kunne avleses.

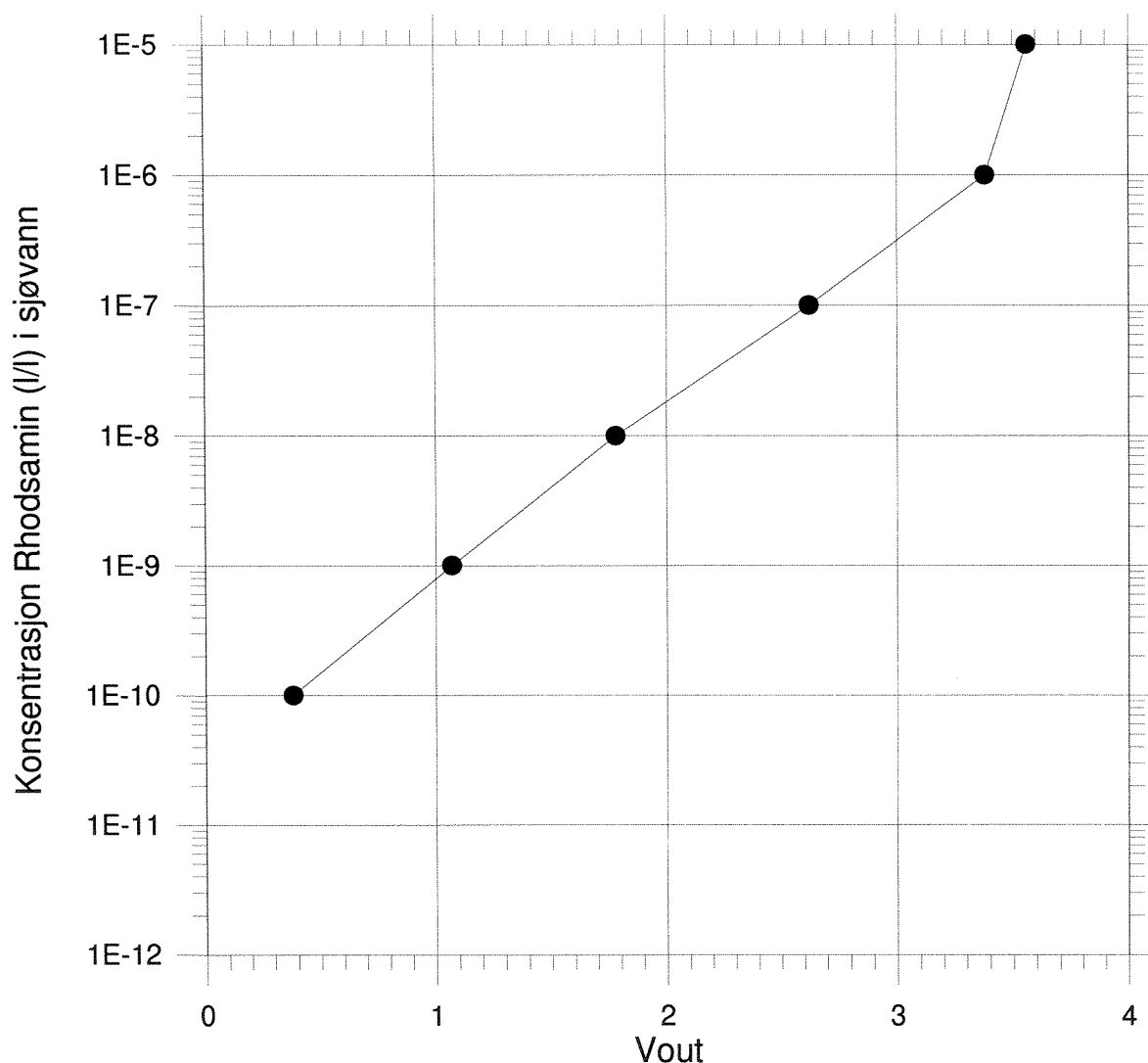
Dette instrumentet fungerte tilfredsstillende i hele måleperioden.

2.2.2 Måling av Rhodamininnhold i vannmassene

Rhodaminmålingene ble utført med et VARIOSENS-II in situ undervannsfluorometer (Impulphysic GmbH, Hamburg). Fluorometeret er av 3. generasjons modell, hvor det i forhold til tidligere versjoner er blitt foretatt forbedringer mot interferenser fra dagslys og turbiditet (Frunzel & Koch, 1976).

Instrumentets undervannsenhet består av en sender og en mottaker som er koplet til en dekkseenhet via en kabel. I senderen benyttes en Xenon utladningslampe som eksiterer "prøvevolumet" (ca. 1 cm³) i vannmassene og i mottakeren sitter en rød-følsom fotodiode som registrerer fluorescensen fra Rhodaminet. Det er et filtersett i hver av disse og eksitasjons-filteret isolerer lyset fra Xenon-lampen ved ca. 400-500 nm og emisjonsfilteret slipper gjennom det emitterte lyset (fluorescensen) ved ca 590 nm. For Rhodamin-B dekker instrumentet et konsentrasjonsområde fra ca 0.1 til 500 µg/l. Instrumentet har også en dybdesensor for profilering i vannmassene.

Figur 2 viser avleste voltverdier på instrumentet (VARIOSENS-II) som funksjon av konsentrasjonen av rhodamin i sjøvann. Kalibreringskurven viser at konsentrasjoner over 1^{-5} (g Rhodamin/g sjøvann), tilsvarende voltverdier over ca. 3.3, ligger i ytterkant av måleområdet.



Figur 2. Kalibreringskurve for målt voltsignal med VARIOSENS-II in situ undervannsfluorometer og rhodaminkonsentrasjon i sjøvann. Kalibreringen av oppløst rhodamin i sjøvann er utført ved NIVAs laboratorium i Bergen.

For å lette posisjoneringen under rhodaminmålingene ble det lagt ut 20 overflatemarkører inne Hopavågen. De faste målestasjonene kan sees i **Figur 1**.

På grunn av vannlekkasje i instrumentet måtte målingene avbrytes noe tidligere enn planlagt.

2.2.3 Måling av sjiktning (hydrografi)

En Aanderaa TS-kjede stod forankret i Hopavågen i ca. 1 måned (se **Figur 1** for posisjon). TS-kjeden består av en automatisk, batteridrevet logger og 5 temperatur/salinitetsensorer montert serielt på en kabel (kjede) med inngang til logge-enheten. Temperatursensorene har en målenøyaktighet på $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$. Saliniteten blir beregnet ut i fra målt temperatur og konduktivitet (vannets ledningsevne). Konduktiviteten måles med en nøyaktighet på $\pm 0,1$ mmho/cm. Anslått nøyaktighet for salinitet er $\pm 0,1$ eller bedre, mens oppløsningen er større enn 0,01.

Kjeden m/loggeren var opphengt i en overflatebøye, slik at hver sensor hang i konstant avstand (dyp) fra overflaten. Prosjektideen bak gjødslingsforsøket bygger bl.a. på en forventning om at det innstrømmende tidevannet i hovedsak skal fordele seg i overflatelaget. Det ble derfor valgt å ha god oppløsning i overflaten på bekostning av målinger fra bunnvannet. Det ble målt i 1, 3, 5, 10 og 15 meters dyp. Sensorene i 10 og 15 meters dyp sviktet etter 4-5 døgn, uvisst av hvilken årsak. De øvrige 3 sensorene fungerte tilfredsstillende hele måleperioden.

Ved bunn i munningen av Hopavågen ble det satt ut en Aanderaa Instruments strømmåler med samme spesifikasjoner for temperatur og salinitet som TS-kjeden.

2.3 Plassering av faste målestasjoner

Figur 1 viser kart over Hopavågen med inntegnede posisjoner for rhodaminmålinger (stasjon 1-20), vannstandsmåling og TS-målinger i to posisjoner, en i munningen og en sentralt i vågen.

2.4 Måleperioder

Tabell 1 gir noen opplysninger om målingene NIVA gjennomførte i Hopavågen vinteren 1998.

Tabell 1. Oversikt over målingene gjennomført av NIVA i Hopavågen i februar og mars 1998.

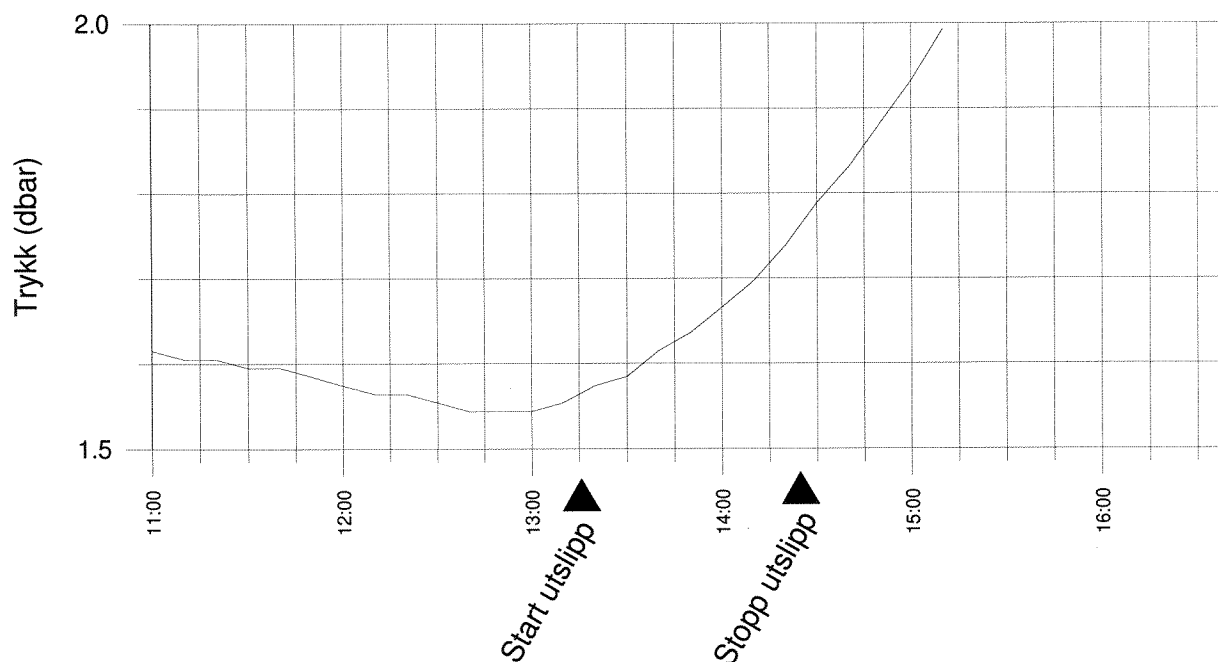
Sted	Type måling	Måleperiode	Måleintervall
Hopavågen	Rhodamin	020298	-
Hopavågens midtre del	TS i 1, 3, 5, 10 og 15 m	020298-120398	10 min
“	Vannstand	“	“
I munning til Hopavågen	TS (strømmåler)	“	“

3. Resultater fra målingene

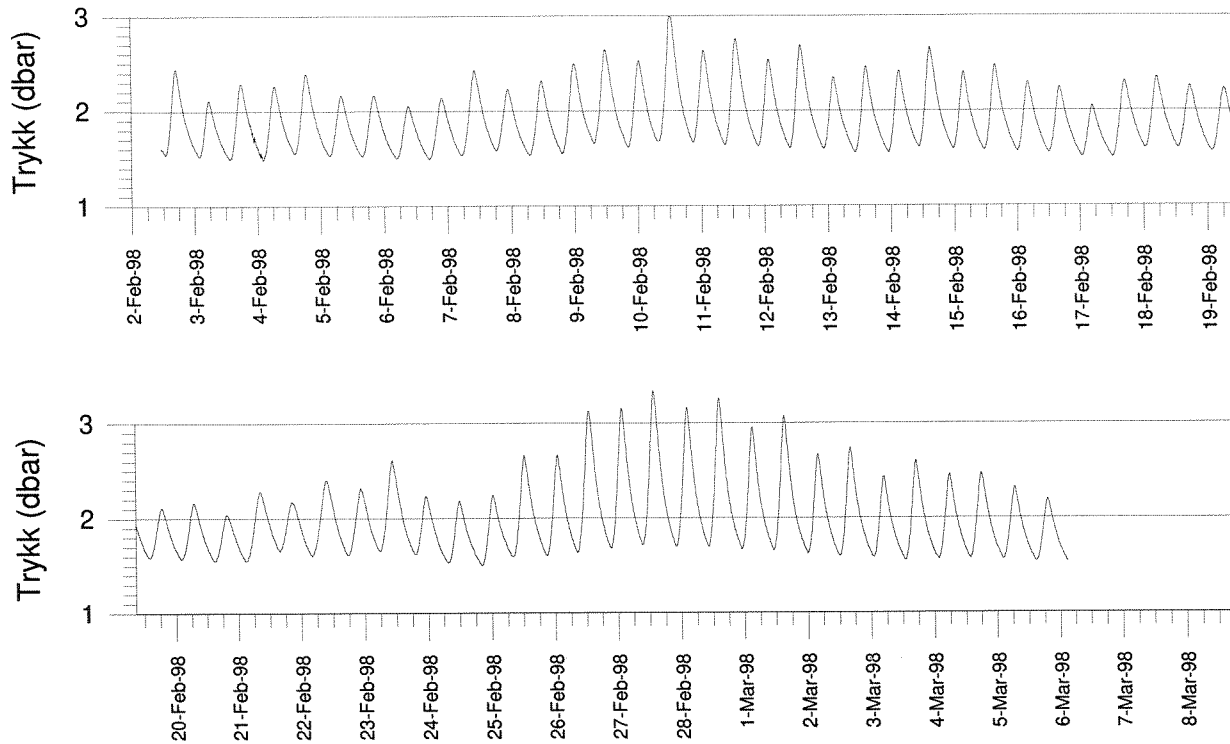
3.1 Vannstand i Hopavågen

Figur 3 viser utsnitt fra vannstandsmålingene i forsøksperioden. Vannstanden steg med omtrent 20 cm i perioden det ble sluppet ut rhodamin, dvs. en innstrømning av 50-55.000 m³ sjøvann. Ved dosering av 10 liter rhodamin skulle den teoretiske gjennomsnittlige initialkonsentrasjonen bli 1.8E-7, dvs. midt i måleområdet (en kan imidlertid ikke forvente at rhodaminutslippet har fordelt seg helt jevnt hele tiden). **Figur 4** viser vannstandsmålingene fra hele perioden. Figurene viste at forsøket ble gjort i en periode med moderat forskjell på høy- og lavvann (ca. 1 meter). Vannstandsforskjellen mellom flo og fjære var ca. 0,5 meter ved nipp og 1,5 meter ved spring. Fløende perioder hadde varighet fra 3,5 til 4,5 timer, mens periodene med synkende vannstand hadde varighet 7,5-9 timer. Om en sammenligner med opplysninger fra tidevannstabellen (Statens Kartverk Sjøkartverket 1998), ser en at høyvannet i Hopavågen var mellom 1-2 timer forsinket og at lavvannet var mellom 3-4 timer forsinket sammenlignet med forventet tidspunkt i Trondheim. Vannstandsvariasjonene var mellom 2-4 ganger mindre enn forventet i Trondheim.

Målingene viser at innløpet til Hopavågen har for dårlig “transportkapasitet” til at vannstanden innenfor kan følge vannstanden utenfor. Spesielt har Hopavågen problemer med å kvitte seg med vannet på grunn av avtakende gjennomstrømningsareal på avtakende sjø. Dette er analogt med hva NIVA har sett i blant annet Kyllaren i Askvoll kommune (Golmen og Nygaard 1995) og Vågsbøpollen i Bergen kommune (Nygaard og Golmen 1996 og Golmen og Nygaard 1997).



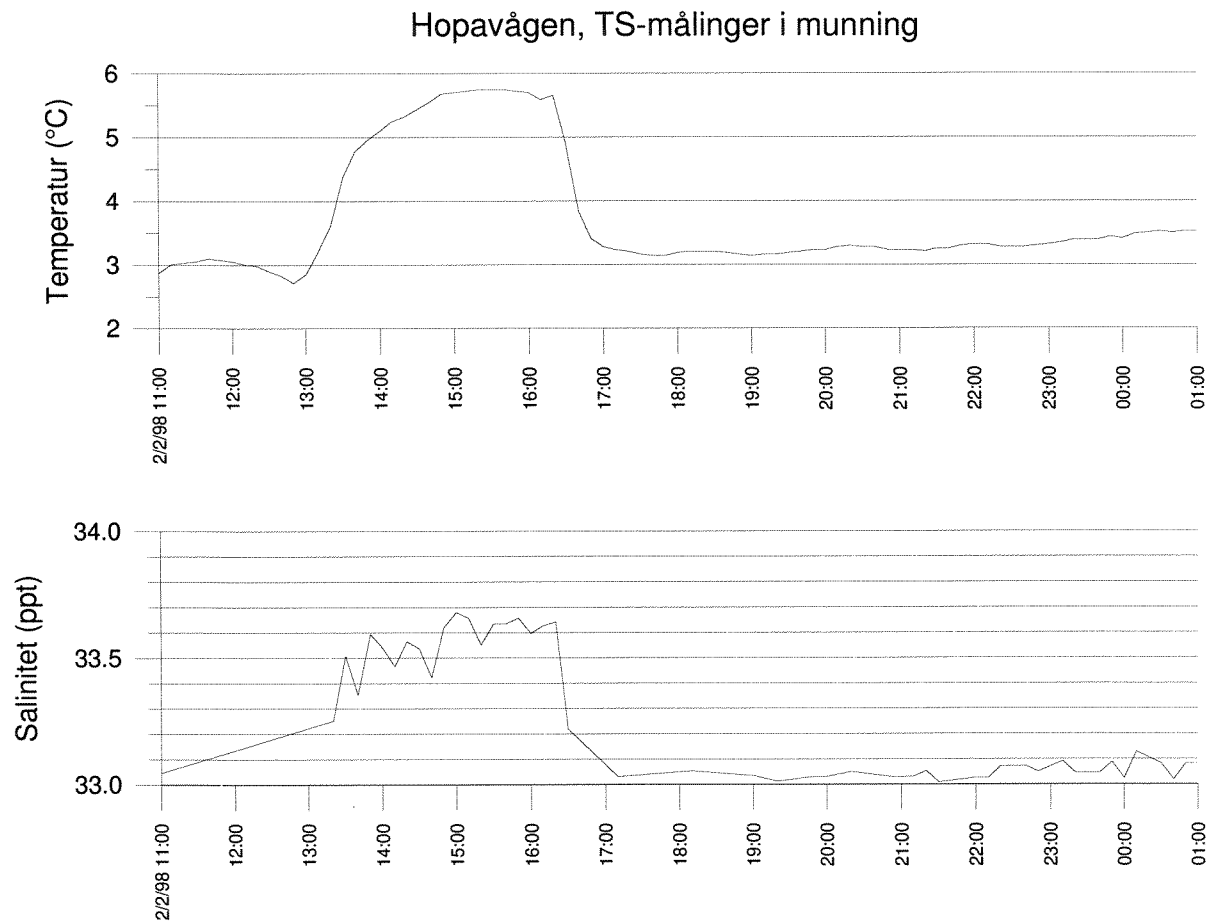
Figur 3. Målt vannstandsvariasjon i Hopavågen under forsøket den 2. februar 1998. En dbar tilsvarer omtrent en meter.



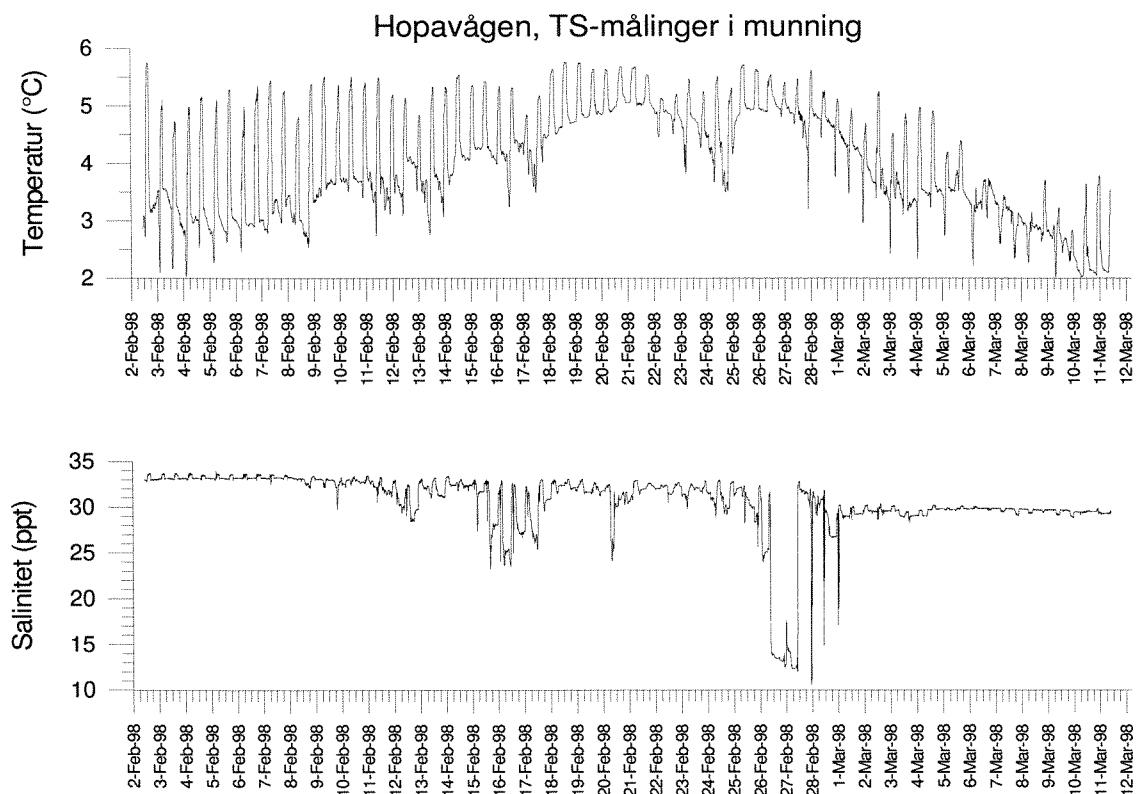
Figur 4. Målt vannstandsvariasjon i Hopavågen i februar og deler av mars 1998. En dbar tilsvarer omtrent en meter.

3.2 Temperatur- og salinitetsmålinger i munningen til Hopavågen

Figur 5 viser TS-målinger i munningen under forsøket. Figuren viser at det strømmet inn varmt og salt vann ($\rho = 1026,5$) under den fløende perioden, mens vannet som strømmet ut ved synkende vannstand var kaldere, ferskere og med litt lavere egenvekt ($\rho = 1026,25$). Dette viser at det innstrømmende vannet var tyngre enn overflatevannet i Hopavågen og at det derfor sank enten til bunn eller ble innlagret intermediært i Hopavågen under forsøket. **Figur 6** viser resultatene fra hele perioden. Overflatevannet ble gradvis ferskere og kaldere og resultatene tyder dermed på at det har vært nedsynkning av innstrømmende vann i Hopavågen store deler av perioden.



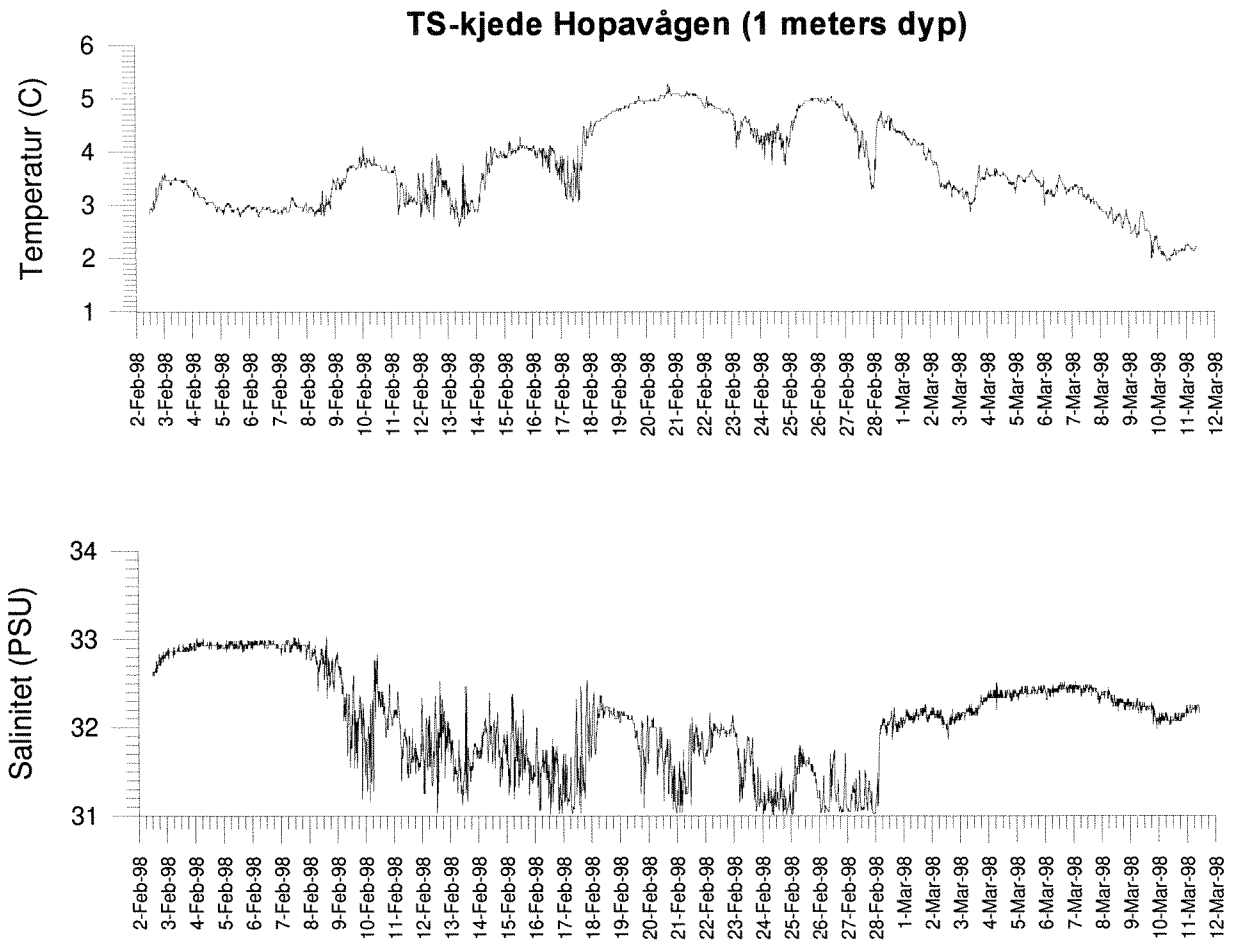
Figur 5. TS-målinger i 2 m dyp i munningen til Hopavågen. Under den fløende perioden (fra ca. klokken 1300) strømmet det inn relativt varmt og salt vann, mens det senere strømmet ut kaldere og ferskere vann.



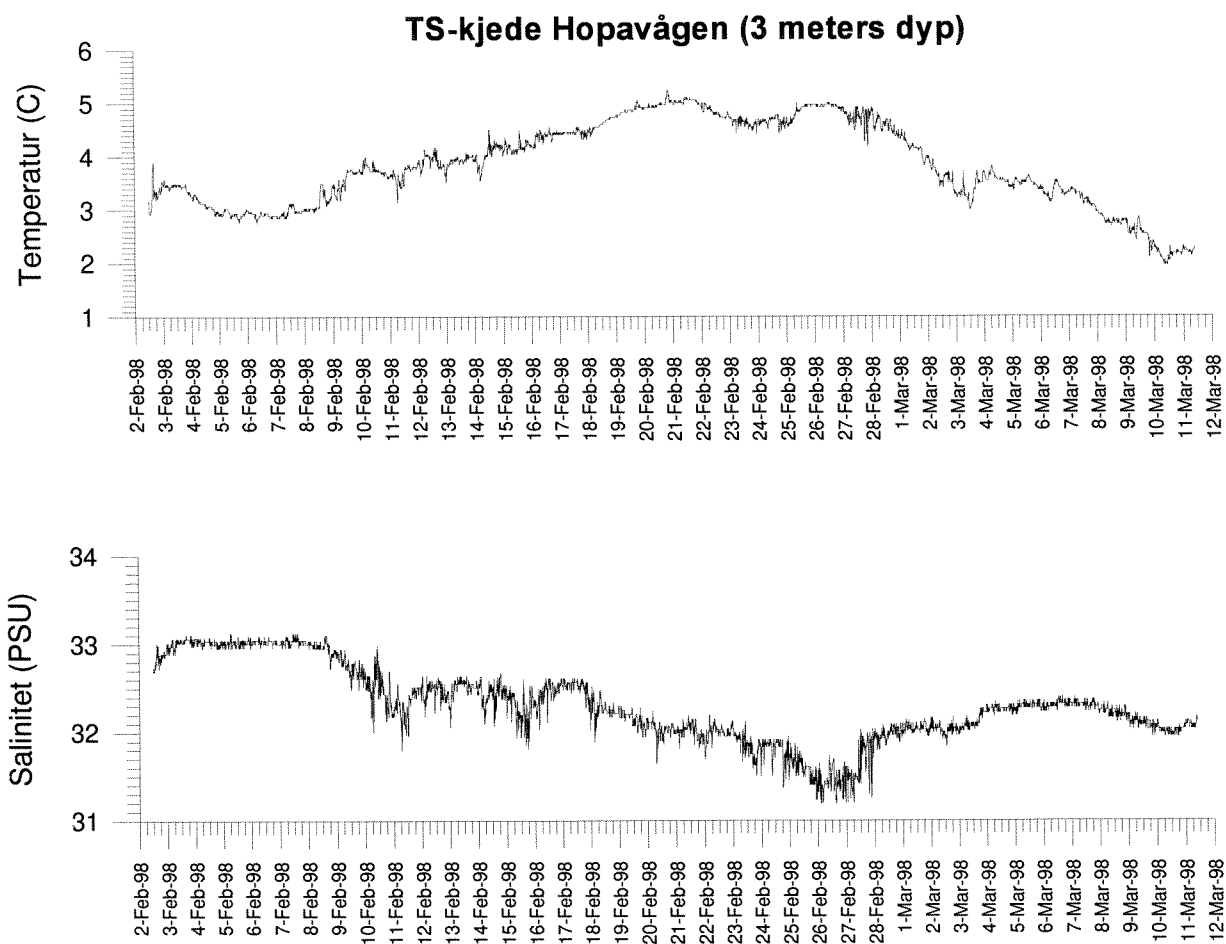
Figur 6. TS-målinger i 2 m dyp i munningen til Hopavågen i februar og mars 1998.

3.3 Sjøktning i Hopavågen

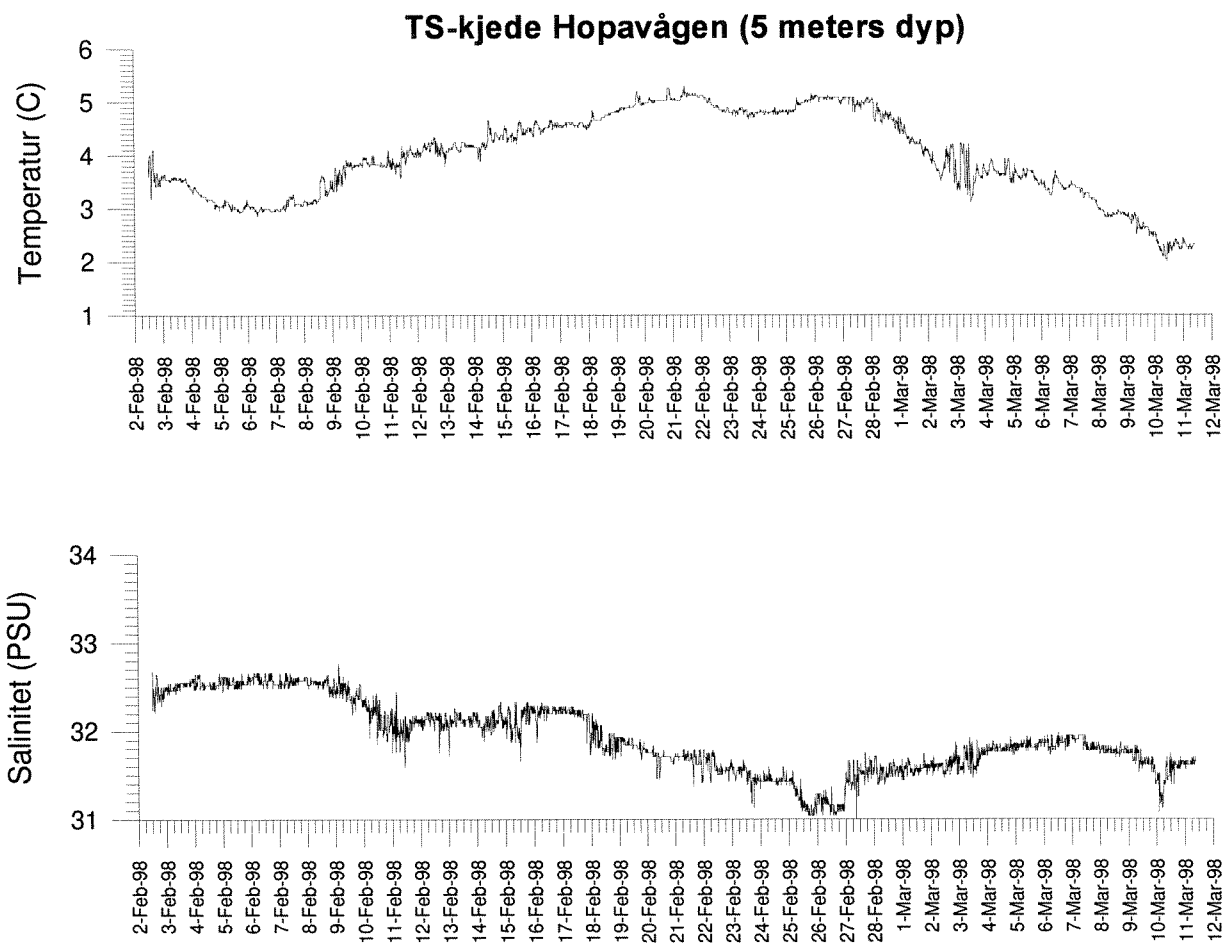
Figur 7-11 viser temperatur- og salinitetsmålinger (TS-målinger) Hopavågen for hele perioden. Posisjonen for TS-kjeden er vist i **Figur 1**. Målingene i 10 og 15 meter falt ut etter 4-5 dager. I 1 meters dyp varierte temperaturen mellom 2°C og 5°C, og saliniteten mellom 31 og 33. I tidsrommet 8.-28. februar var det en sammenhengende periode med relativt lav salinitet og varmt vann. Dette skyldtes nok at februar var nedbørsrik og at en dermed har hatt et brakkvannslag i hele denne perioden. Brakkvannet forsvant raskt i slutten av februar. I 3 og 5 meters dyp var variasjonene omtrent som i en meters dyp, bare med noe mindre utslag. Salinitetssensoren i 5 meters dyp var sannsynligvis feilkalibrert fordi den viste konsekvent lavere salinitet enn sensoren i 3 m dyp. Den korte perioden med målinger fra 10 og 15 meters dyp viser at vannet var dynamisk aktivt også der. Under selve rhodaminforsøket økte saliniteten mens temperaturen avtok i 15 meters dyp. **Figur 12** viser at det innstrømmende vannet hadde samme tetthet som vannet i 5-10 meters dyp sentral i Hopavågen. Det vil si at TS-målingene tyder på at det innstrømmende vannet hovedsaklig ble innlagret i intermediært dyp i vågen.



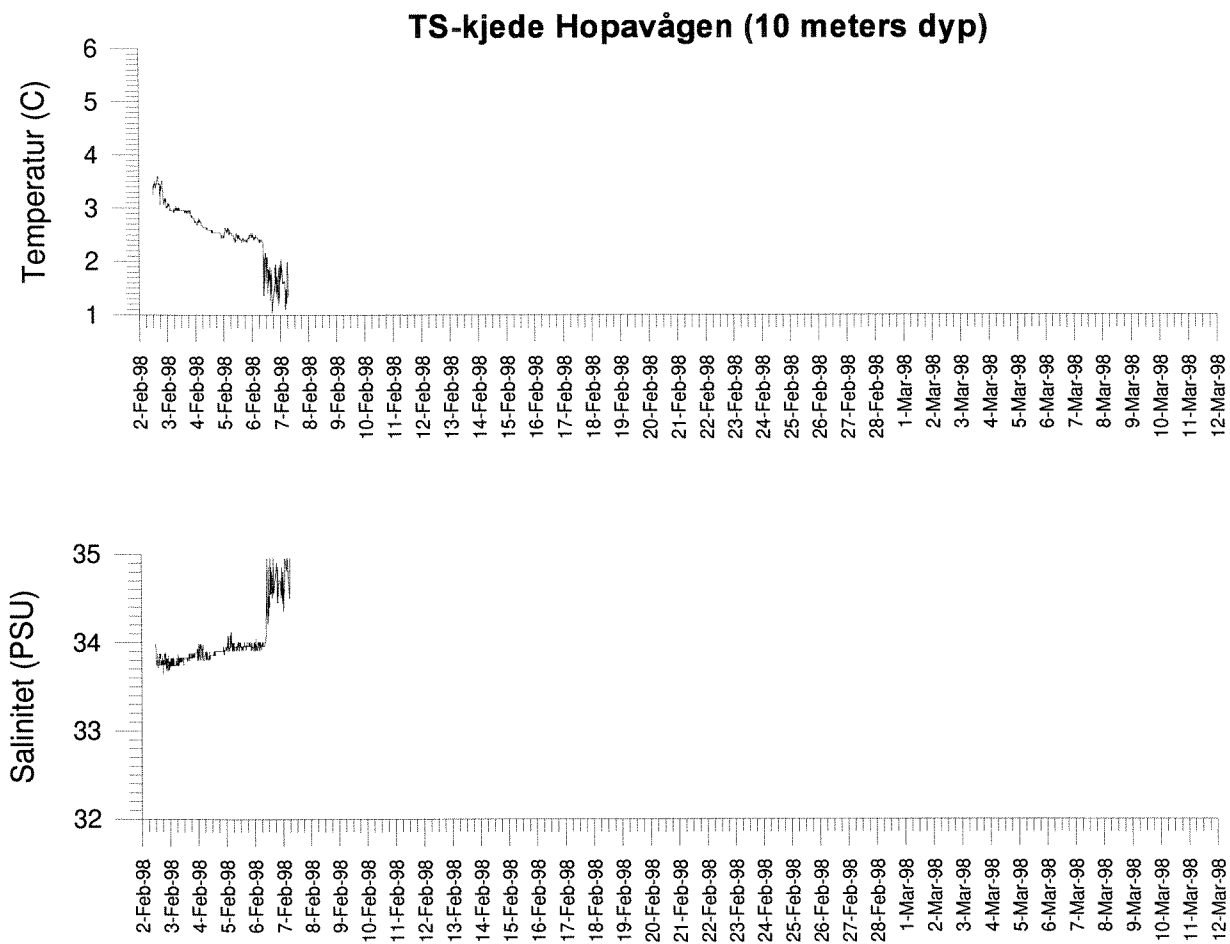
Figur 7. TS-målinger i 1 m dyp i Hopavågen



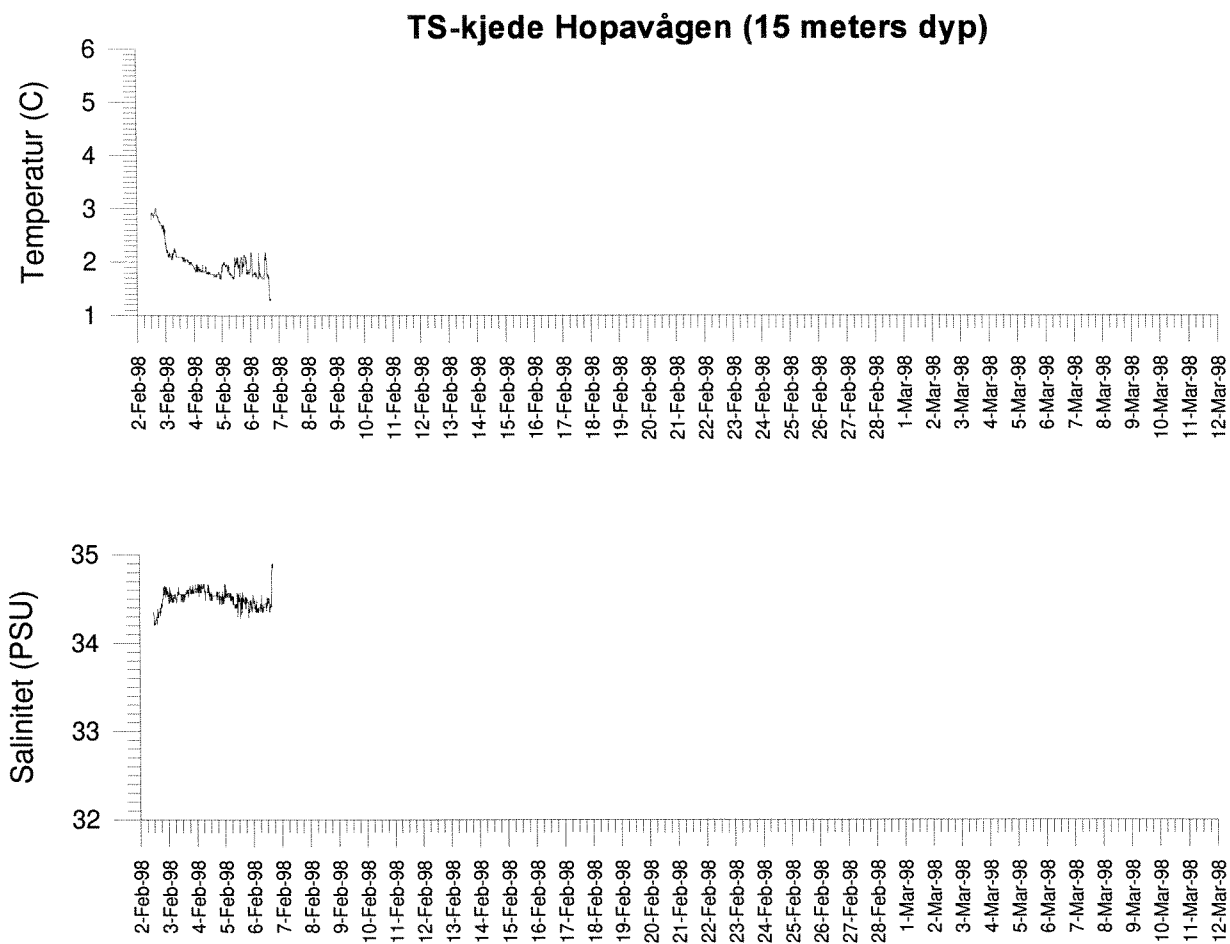
Figur 8. TS-målinger i 3 m dyp i Hopavågen.



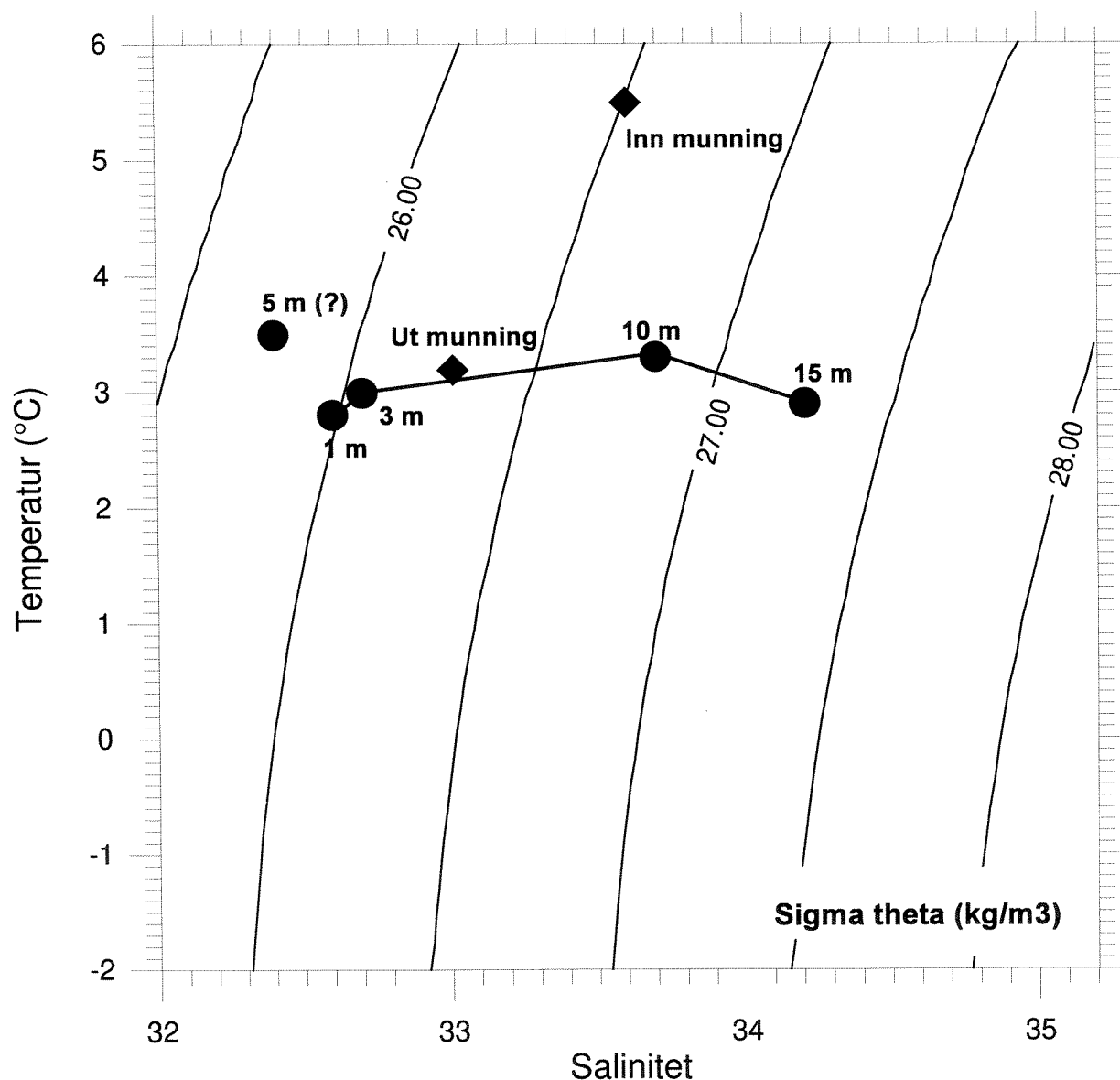
Figur 9. TS-målinger i 5 m dyp i Hopavågen



Figur 10. TS-målinger i 10 dyp i Hopavågen.



Figur 11. TS-målinger i 15 dyp i Hopavågen.



Figur 12. Temperatur- og salinitetsdata fra TS-kjeden sentralt i Hopavågen og TS-data fra munningen til Hopavågen tegnet inn i et TS-plott. Sjøvannets tetthet er gitt som Sigma Theta ($\rho - 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$). Den tilsynelatende instabiliteten i 5 m dyp skyldtes sannsynligvis en feilkalibrert sensor og var neppe en realitet.

3.4 Rhodaminforsøket

Som tidligere nevnt forventet man at det innstrømmende tidevann i hovedsak ville fordele seg i overflatelaget i Hopavågen. En vet imidlertid at det i vinterhalvåret vil forekomme dypvannsfornyelse i poller og fjorder. Også til andre årstider kan det forekomme konveksjon særlig hvis en har et brakkvannslag tilstede. Så var tilfelle under forsøket hvor det strømmet inn relativt tyngre vann inn i Hopavågen enn det som fantes i overflatelaget fra før.

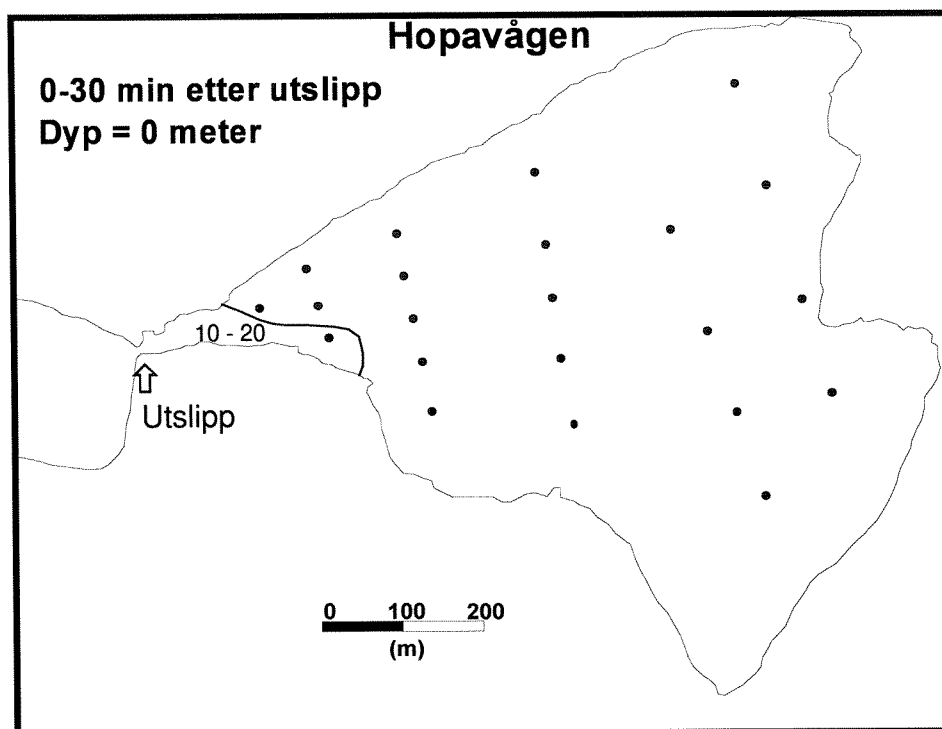
Dosering av Rhodamin i innløpet til Hopavågen begynte ca. klokken 1315 (lokal tid) den 2/2 1998, det vil si ca. 15 minutter etter at det begynte å flø i Hopavågen 15 liter konsentrert rhodamin ble

fortynnet med sjøvann til totalt 90 liter. Det ble igjen en tyktflytende rest igjen i tønna (ca. 20 liter) etter forsøket. Denne ble målt til en konsentrasjon på 0,042. Dette tilsvarer ca. 5 liter ren rhodamin. Det vil si at den reelle doserte mengden med rhodamin var 10 liter som ble fortynnet med 60 liter vann. Dette gir en teoretisk rhodaminkonsentrasjon på 0,143. Rhodaminen ble dosert ved hjelp av pumpe, med dosering 1 l/s. Det vil si at doseringen tok ca. 70 minutter.

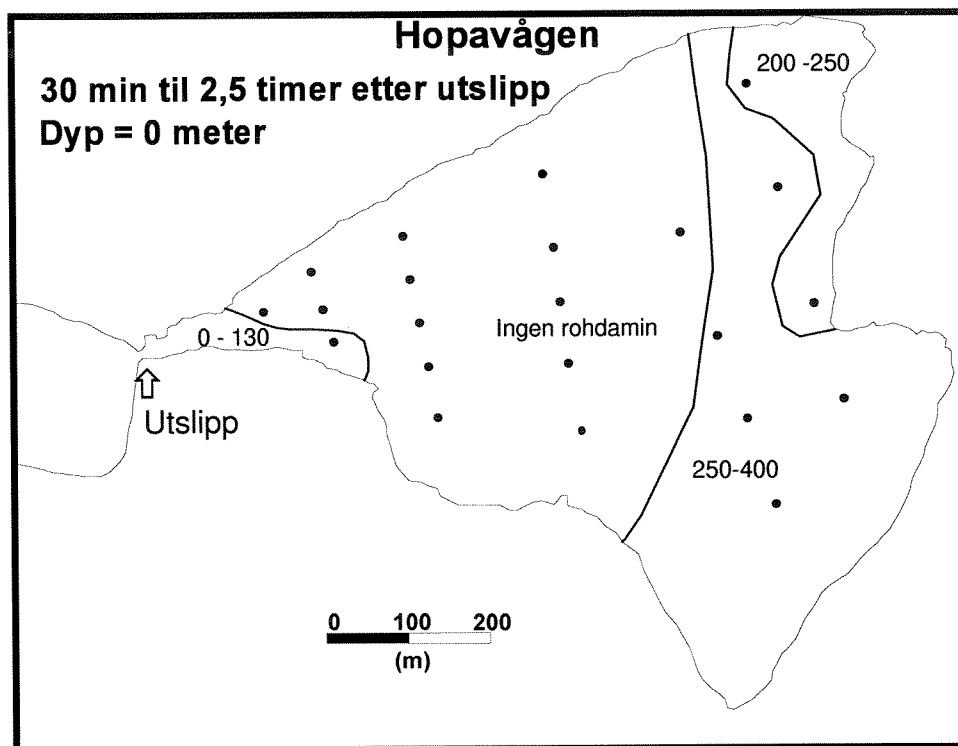
Startkonsentrasjonen kan beregnes ut fra vannstandsmålingene. Vannstanden i Hopavågen steg med omtrent 20 cm, tilnærmet lineært, i perioden det ble sluppet ut rhodamin (**Figur 3**). Hvis overflatearealet til Hopavågen er 275.000 m² og det ble sluppet ut 10 liter rhodamin skulle den gjennomsnittlige initialkonsentrasjonen være 1,81E-7, dvs. tilsvarende et voltsignal på ca. 2,8. Sterk strøm med mye turbulens i innløpet til Hopavågen bidro til god blanding. En må likevel gjøre regning med noe variasjon i initialkonsentrasjonen. Det ble målt voltsignaler opp til 3,8 under forsøket. Dette viser at utslippet av rhodamin ikke var helt konstant, eller at det ikke fordelte seg jevnt. Et voltsignal på 3,8 er utenfor måleområdet (se **Figur 2**) til instrumentet.

Figur 13-23 viser fortynningen og spredningen av det innstrømmende vannet beregnet på grunnlag av rhodaminmålingene. Figurene viser at det innstrømmende vannet sank til bunns og strømmet langs bunn over hele vågen. I motsatt ende ble det presset opp mot overflaten og spredd videre horisontal. Vannet nær bunn ble nær fullstendig fortrent av det innstrømmende vannet. Første måling i den østlige delen av vågen ble gjort ca. 2,5 timer etter at utslippet startet. Det innstrømmende vannet må ha hatt en strømfart på minst 10 cm/s for å rekke fram i løpet av denne tida. Selv om det innstrømmende vannet hadde litt mindre tetthet enn det "gamle" bunnvannet (jfr. TS-målingene i kap. 3.3) trengte det innstrømmende vannet helt til bunn (**Figur 12**). Årsaken til dette er ikke helt klar, men trolig skjedde dette ved en kombinasjon av adveksjon og vertikal blanding.

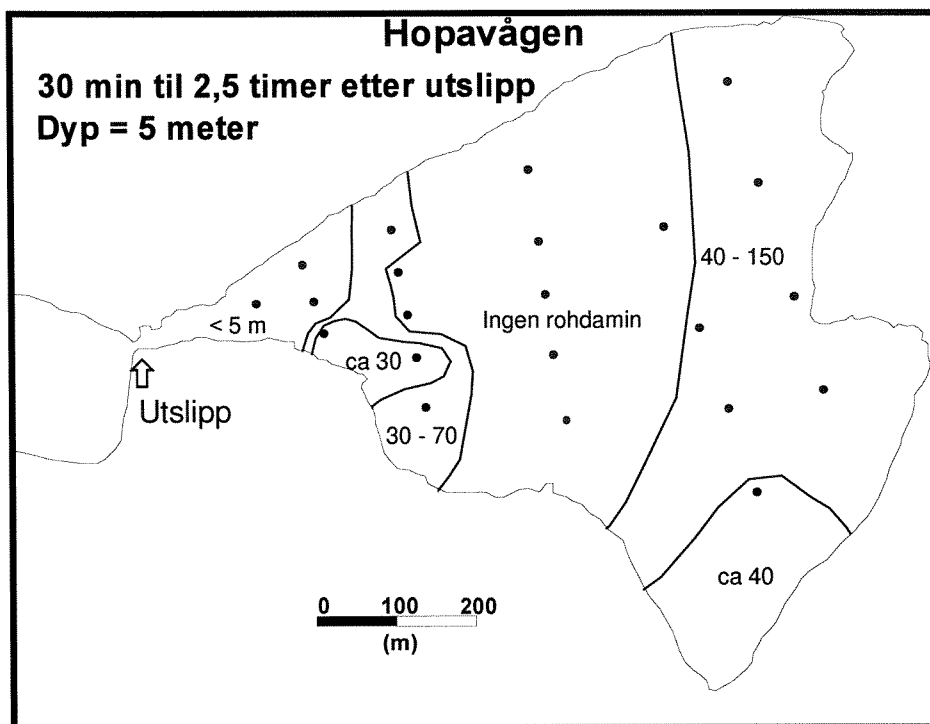
Tabell 2 (Appendiks) gir voltverdiene lest av instrumentet.



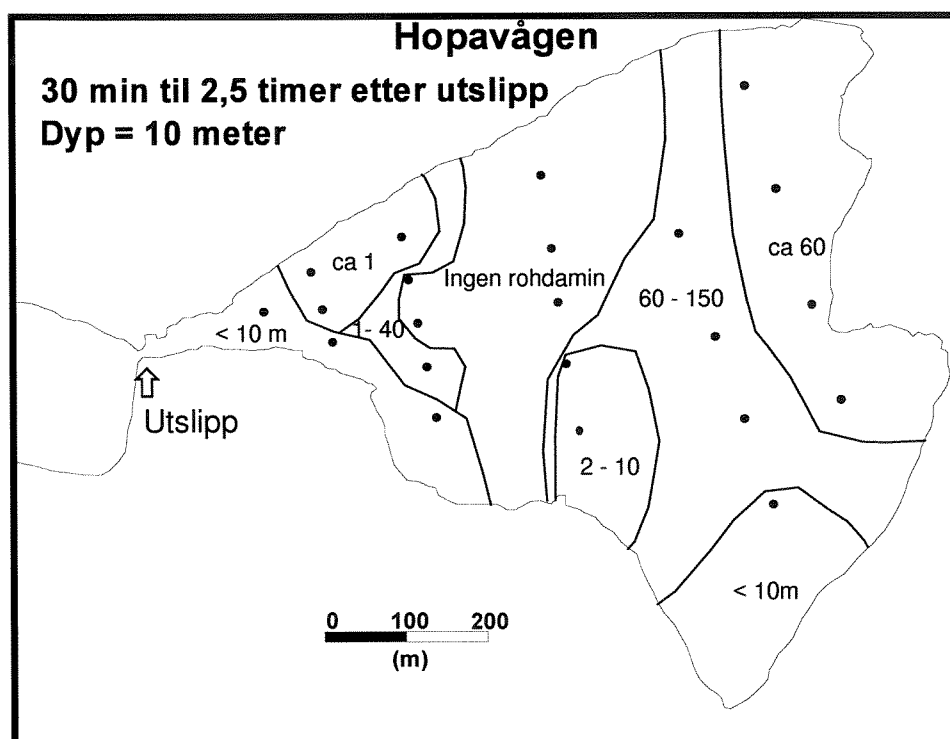
Figur 13. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 0 meters dyp 0-30 minutter etter utslippet.



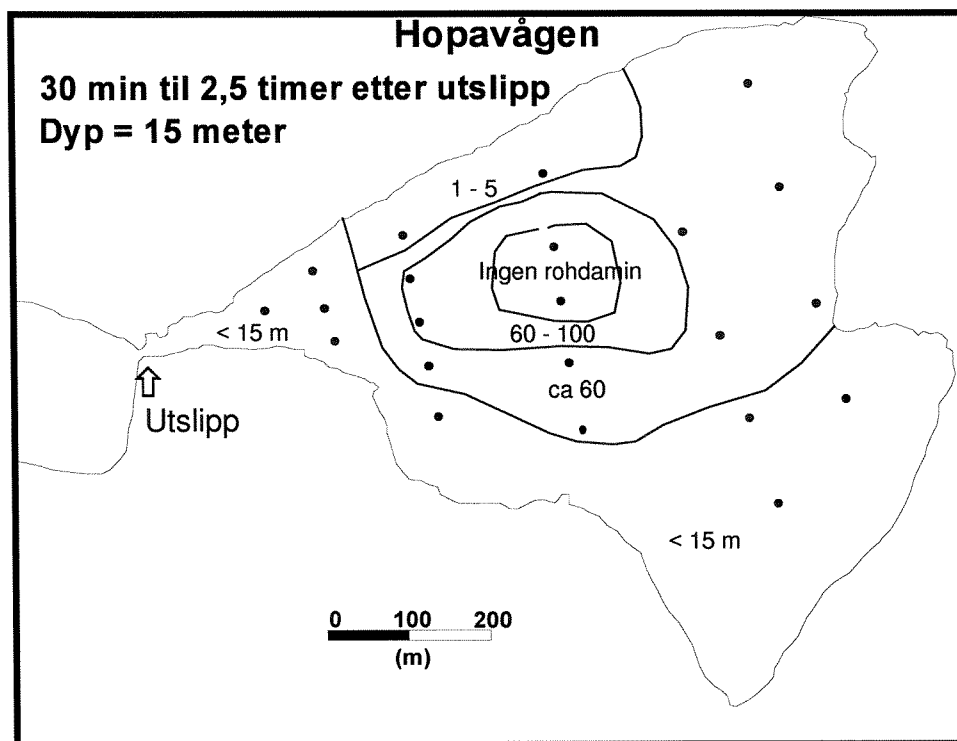
Figur 14. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 0 meters dyp 30 minutter til 2.5 timer etter utslippet.



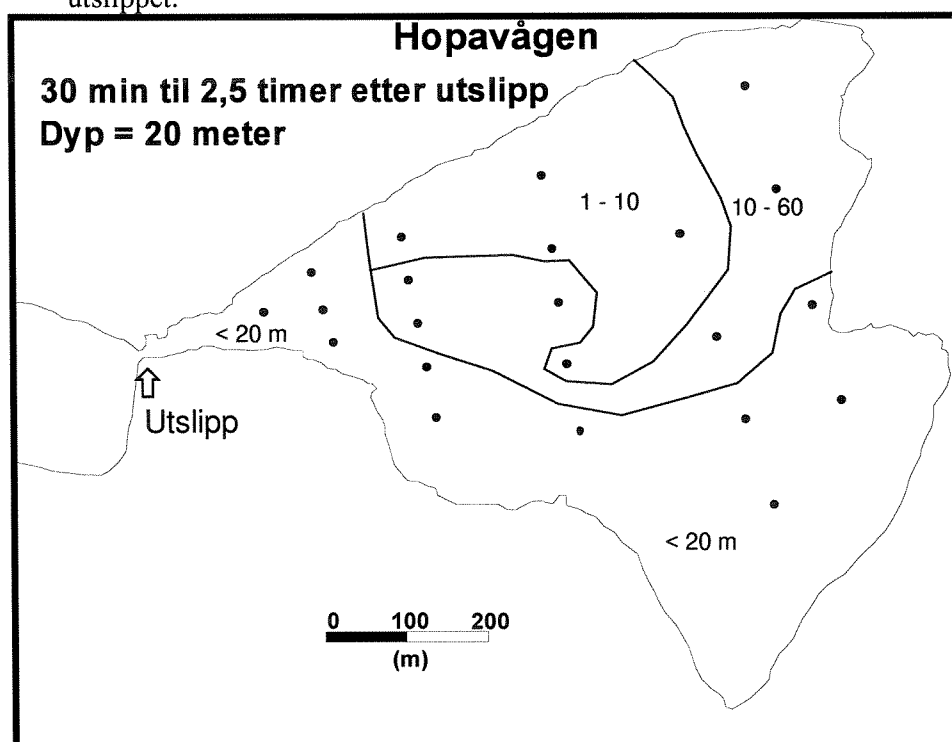
Figur 15. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 5 meters dyp 30 minutter til 2.5 timer etter utslippet



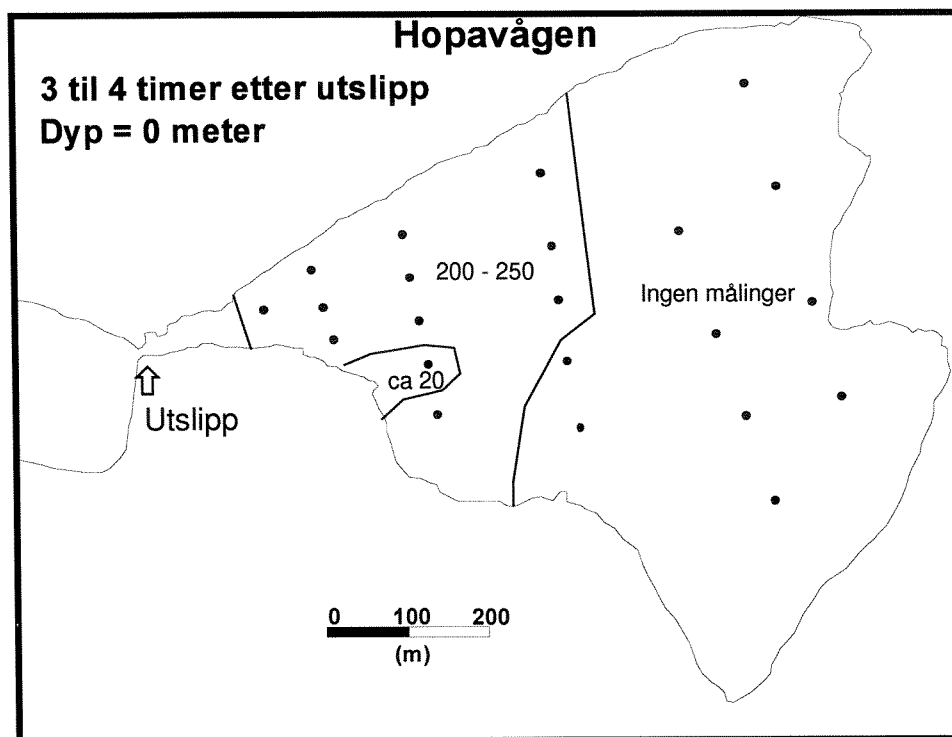
Figur 16. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 10 meters dyp 30 minutter til 2.5 timer etter utslippet.



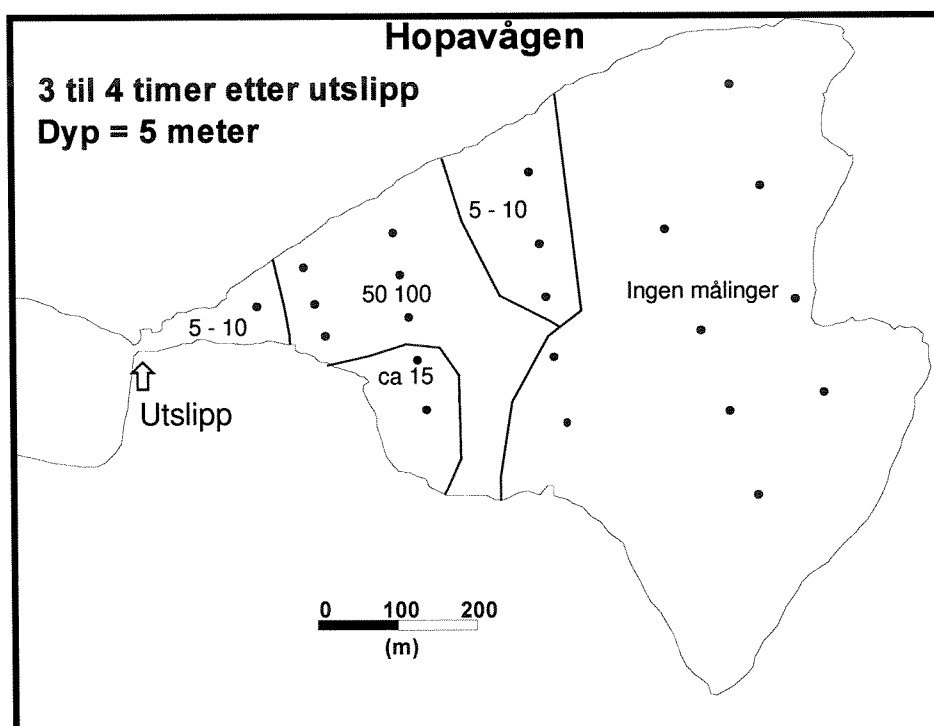
Figur 17. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 15 meters dyp 30 minutter til 2.5 timer etter utslippet.



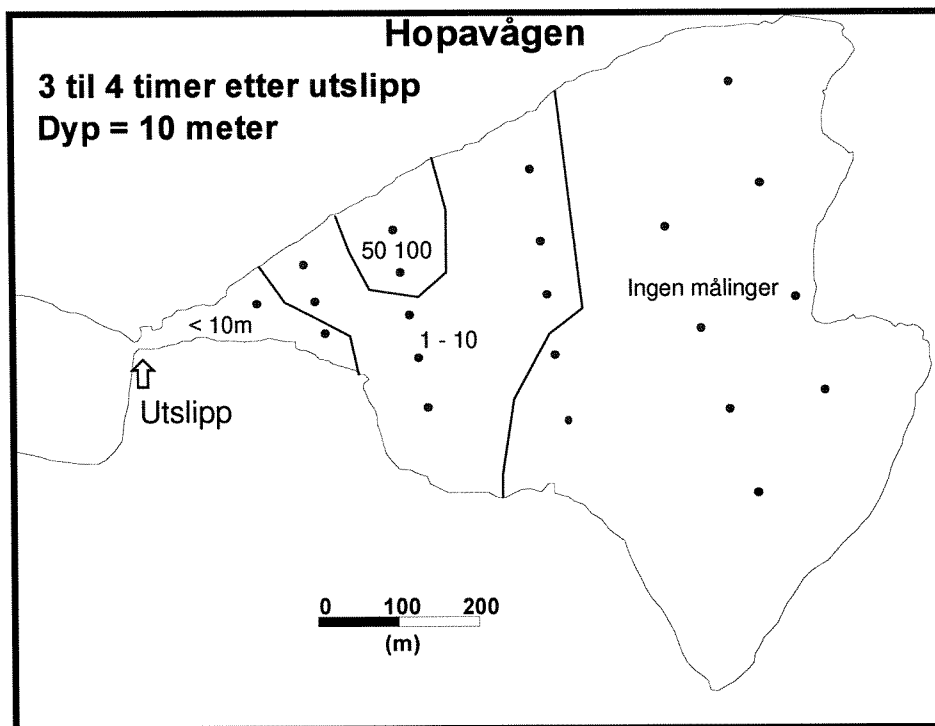
Figur 18. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 20 m dyp 30 minutter til 2.5 timer etter utslippet.



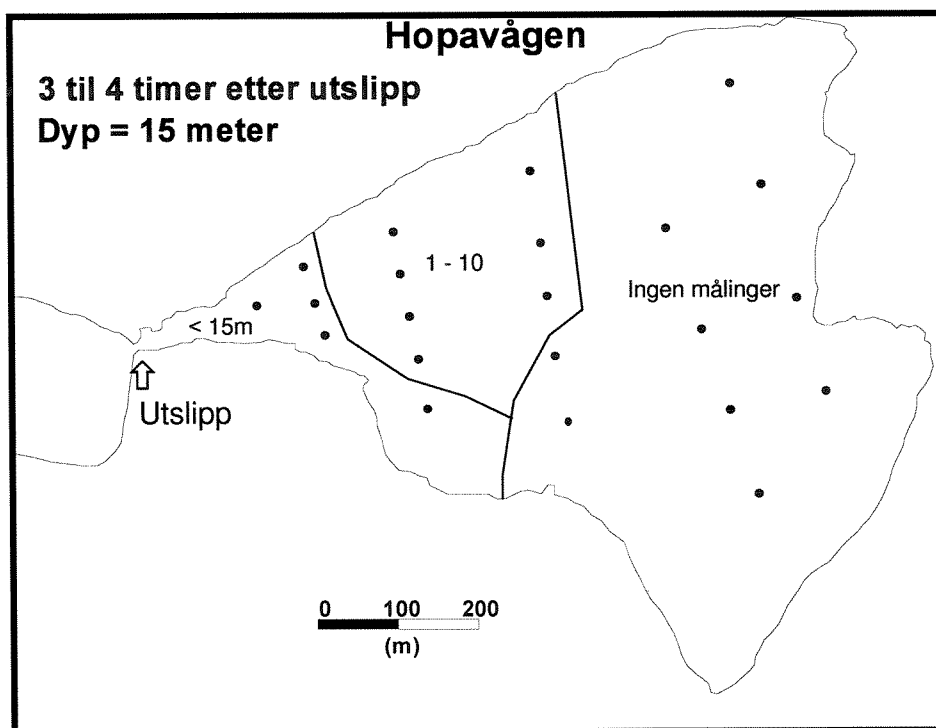
Figur 19. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 0 meters dyp 3 - 4 timer etter utslippet.



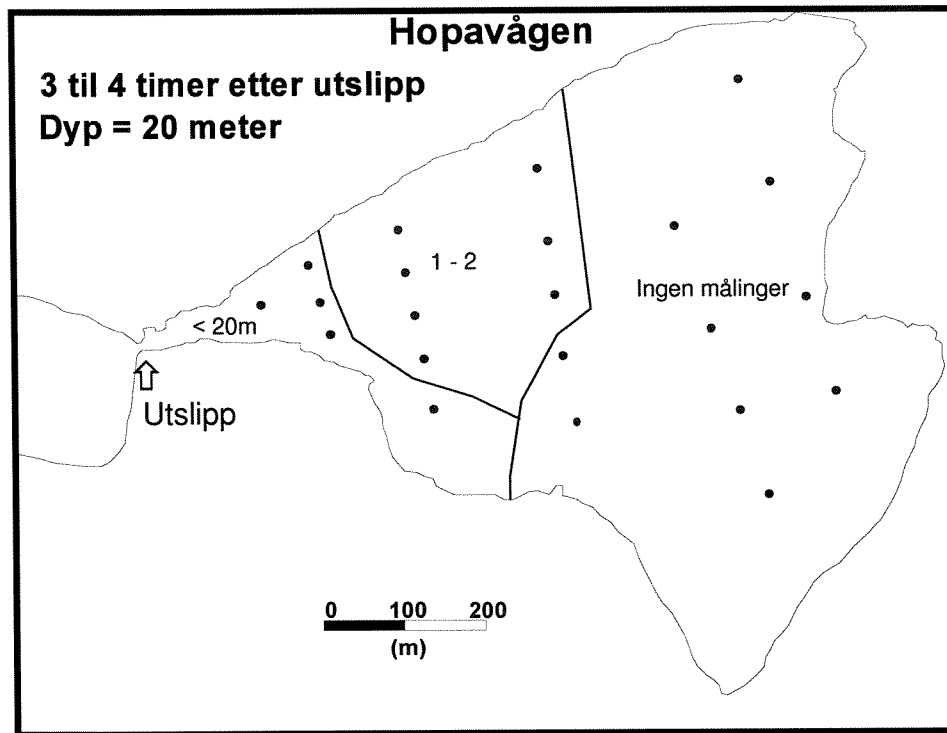
Figur 20. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 5 meters dyp 3 til 4 timer etter utslippet.



Figur 21. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 10 meters dyp 3 - 4 timer etter utslippet.



Figur 22. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 15 meters dyp 3 - 4 timer etter utslippet.



Figur 23. Fortynning (antall ganger) av innstrømmende vann beregnet ut fra rhodaminmålingene. Målingene er gjort i 20 meters dyp 3 - 4 timer etter utslippet.

4. Simulert utslipp til Hopavågen

Målingene ble gjort i en periode da det innstrømmende vann sank ned, og man fikk dermed ikke beskrevet en situasjon der det innstrømmende vannet i hovedsak fordeler seg i overflatelaget. Man kan imidlertid forsøke å simulere en slik situasjon ved hjelp av 2-dimensjonal numerisk modellering. Til gjengjeld må en da gjøre antagelser om hvor tykt overflatelaget er. Sommerstid er Hopavågen stabilt sjiktet, men overflatelaget synes å variere noe i tykkelse (Marion 1995). Ifølge Jostein Toft (personlig meddelelse) synes Hopavågen å være dynamisk aktivt ned til ca. 10 meter i denne perioden. I denne simuleringen ble laget derfor satt lik 10 meter. En må være oppmerksom på at en i perioder med relativ lav tetthet i vågens overflatelag, vil innstrømmende vann kunne innlagres intermediært, også sommerstid.

4.1 Modellen

4.1.1 SMS/RMA-2

Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modeling System", og er et interfaceprogram til blant annet den numeriske modellen RMA-2 (ECGL, 1995).

4.1.2 RMA-2

RMA-2 er en dynamisk, to-dimensjonal, dybde integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen egner seg best i områder uten lagdeling. Modellen beregner løsninger ved hjelp av endelig-element (finite element) metoden.

Gruntvannsligningene i RMA-2 er Navier-Stokes ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

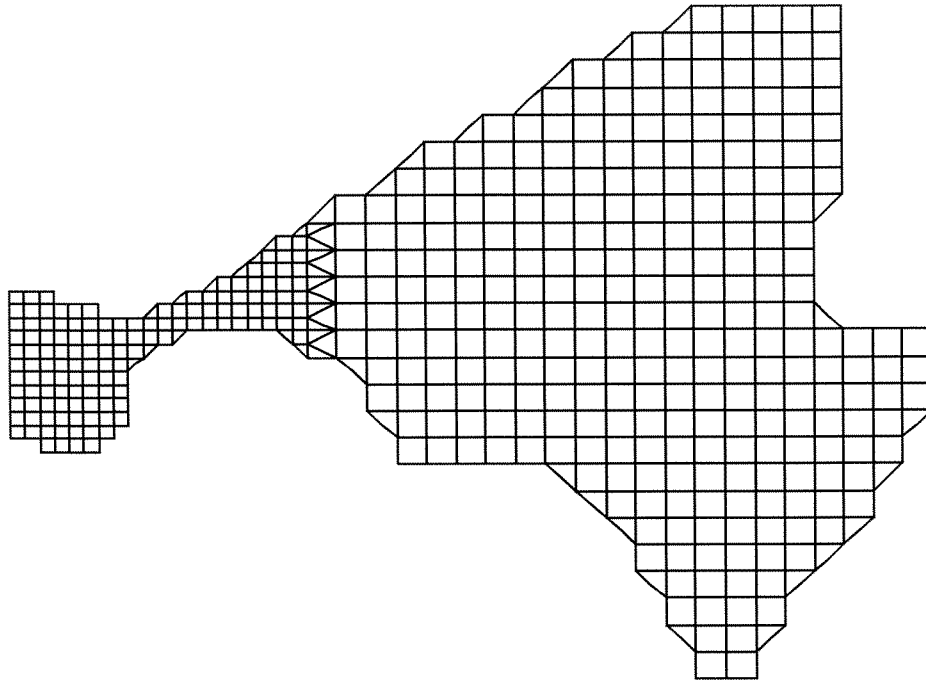
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\varepsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\varepsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

- x = Distanse i x-retning (positiv mot øst)
- y = Distanse i y-retning (positiv mot nord)
- u = Horisontal strømningshastighet i x-retning
- v = Horisontal strømningshastighet i y-retning
- t = Tid
- g = Tyngdens akselerasjon
- h = Vandyp
- A₀ = Helling av bunnen
- ρ = Væskens tetthet
- ε_{xx} = Normal turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning

- ε_{xy} = Tangensiell turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
 ε_{yx} = Tangensiell turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
 ε_{yy} = Normal turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
 C = Chezy ruhetskoeffisient (Beregnet ut fra Mannings n)
 f = Coriolis parameter



Figur 24. Numerisk nettverk som ble brukt til modelleringene.

4.1.3 Input til modellen

Modellen trenger flere typer data. Først må man konstruere et nettverk (grid) med diskrete punkter (dvs. data over posisjon og dyp, som interpoleres til et nettverk i SMS). Om det ikke finnes et digitalt kartgrunnlag, må punktene legges manuelt inn. **Figur 24** viser et nettverk over Hopavågen.

Modellen må videre gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene, og for friksjonskoeffisienten Manning's n . Disse kan gis forskjellige verdier i forskjellige deler av gridet. Koeffisientene varierer med bunnforholdene, og er samtidig en egenskap ved selve bevegelsen. De er følgelig svært vanskelige å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser på koeffisientene varierer med flere størrelsesordener (ECGL, 1995), uten at løsningene endres tilsvarende.

Modellen må også gis grensebetingelser. Dette kan være tidevannssvariasjonen ytterst i en fjord, eller (tidsvariable) elvetilførsler.

Man må også tilegne nettverket en initialtilstand. Dette gjøres ved å legge en flat overflate over hele nettverket i starten (alt er i ro). Det vil si at systemet trenger en del tid ("spin up") på å finne representative løsninger.

Ved hjelp av de topografiske dataene, grenseflatebetingelsene og initialbetingelsene beregner RMA-2 løsninger for hvert tidssteg. Modellen beregner verdier for fart, retning og vannstand i hvert av punktene i nettverket der det er lagt inn posisjon og dyp.

4.1.4 RMA-4 modellen

RMA-4 modulen er spredningsdelen av modellen. Her brukes de hydrodynamiske løsningene fra RMA-2 til å definere et tidsvariabelt hastighetsfelt for et gitt nettverk. Modellen må også gis opplysninger om hvor mye og hvor et stoff tilføres nettverket. Modellen beregner spredning av stoffet for hvert tidssteg.

$$h\left(\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} + v\frac{\partial c}{\partial y} - D_x\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y\frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc\right) = 0$$

hvor:

x	= Distanse i x-retning (positiv mot øst)
y	= Distanse i y-retning (positiv mot nord)
u	= Horisontal strømningshastighet i x-retning
v	= Horisontal strømningshastighet i y-retning
t	= Tid
h	= Vannndyp
c	= Konsentrasjon av stoff; c(x, y, t)
D _x	= Turbulent diffusjonskoef. i x-retning
D _y	= Turbulent diffusjonskoef. i y-retning
σ	= Lokal tilførsel eller sluk av stoff
k	= Halveringsrate for stoff ("decay").

4.2 Modellresultater

4.2.1 Resultater for vannstand

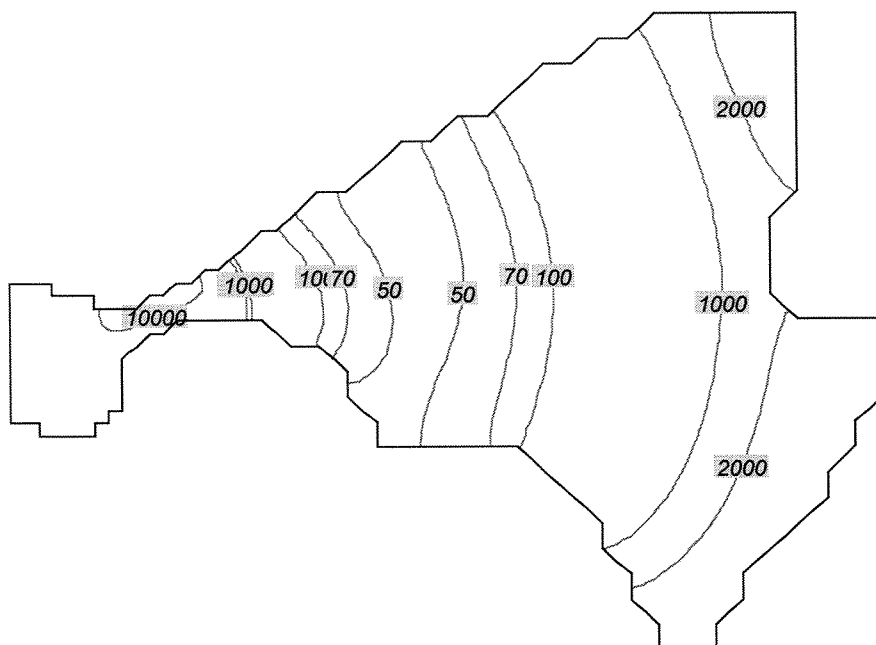
Dypet i sentrale deler av Hopavågen ble satt til 10 meter. Dette ble gjort for å simulere spredning i et 10 meters tykt øvre lag. Modellen ble kjørt med en vannstandsvariasjon på 1,2 meter inne i Hopavågen, det vil si ca 20 cm større utslag enn det som ble målt under forsøket. Modellen ga ca. 7 timers fjærende og 5 timers fløende perioder, og ligger innenfor observerte verdier. Disse periodene kan justeres ved å endre friksjonskoeffisientene etc..

4.2.2 Fortynning av innstrømmende vann

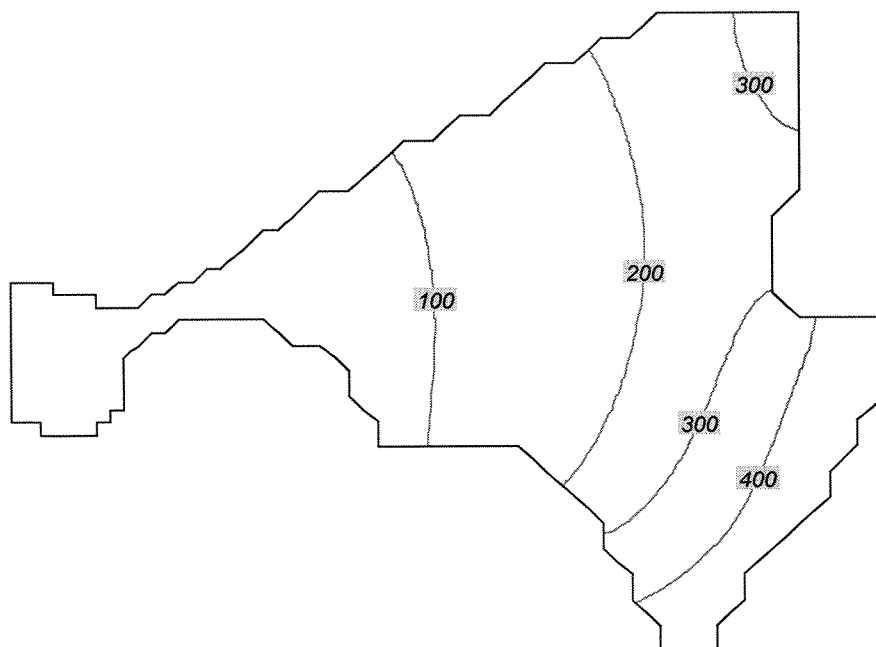
Vann med en gitt konsentrasjon (100) ble sendt inn i Hopavågen fra det startet å flø og i 1,5 timer framover. Senere ble alltid innstrømmende vann gitt konsentrasjonen 1, mens utstrømmende konsentrasjon ble bestemt av modellen. Det vil si at en ser bort i fra resirkulering utenfor, denne er sannsynligvis liten da vannvolumet på utsiden av Hopavågen er stort.

Figur 25-28 viser antall ganger det innstrømmende vannet er fortynnet med 1 konsentrasjon vann ved 4 tidspunkt (etter 1. fløende periode og videre etter 1., 2. og 3. gang med fallende vannstand). Det vil si fra 6 til 36 timer etter start av modellen.

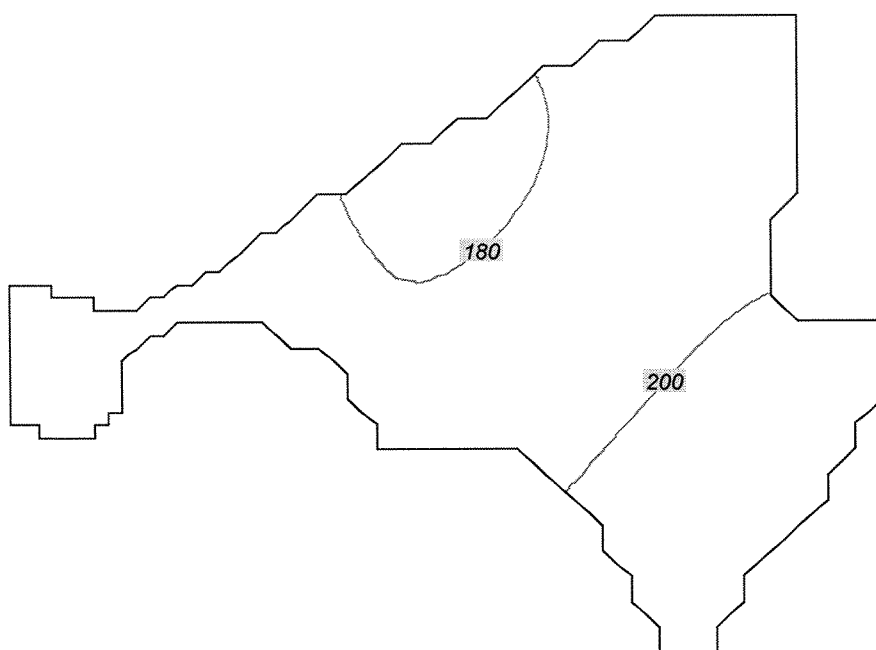
Figur 25 viser at fortynningen er fra 50 ganger og oppover etter 6 timer, eller etter at sjøen har flødd ferdig etter utslippet. Den minste fortynningen er midt i vågen, og mesteparten av vågen er influert av det innstrømmende vannet. Etter at sjøen har fjæret ferdig første gang etter utslippet varierer fortynningen mellom 100 - 400 ganger (**Figur 26**). Etter at sjøen har fjæret ferdig 3. gang etter utslippet (**Figur 28**) varierer fortynningen mellom 200 - 250 ganger.



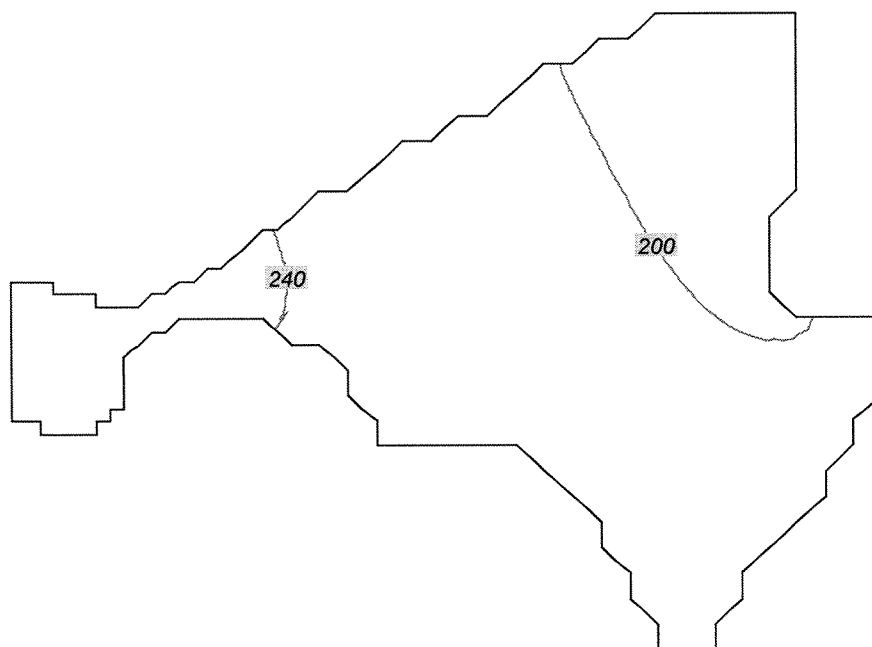
Figur 25. Fortynningen (antall ganger vann sluppet ut med en gitt konsentrasjon er fortynnet av 1 konsentrasjon vann) etter at sjøen har flødd ferdig etter utslippet (5 timer). Dyp 0 - 10 meter



Figur 26. Fortynningen (antall ganger vann sluppet ut med en gitt konsentrasjon er fortynnet av 1 konsentrasjon vann) etter at sjøen har fjæret ferdig første gang etter utslippet (12 timer). Dyp 0 - 10 meter.



Figur 27. Fortynningen (antall ganger vann sluppet ut med en gitt konsentrasjon er fortynnet av 1 konsentrasjon vann) etter at sjøen har fjæret ferdig andre gang etter utslippet (24 timer). Dyp 0 - 10 meter.



Figur 28. Fortynningen (antall ganger vann sluppet ut med en gitt konsentrasjon er fortynnet av 1 konsentrasjon vann) etter at sjøen har fjæret ferdig tredje gang etter utslippet (36 timer). Dyp 0 - 10 meter.

5. Diskusjon og konklusjoner

5.1 Generelt

Målingene med utslipp av Rhodamin viste en episode med fornyelse av det intermediære vannlaget og trolig sterk vertikal blanding i Hopavågens dypvann. Dette skjedde i en periode med mye nedbør, slik at overflatevannet i Hopavågen hadde relativ lav tetthet. Vannet utenfor kan karakteriseres som kystvann og var lite påvirket av avrenning fra land. Dette vannet som strømmet inn i Hopavågen på fløende sjø hadde dermed høyere tetthet enn overflatevannet som var i Hopavågen fra før. Tettheten var imidlertid mindre enn i 15 meters dyp i Hopavågen. Forsøket med Rhodamin viste likevel at vannet helt eller delvis fortrenget det “gamle” bunnvannet. Temperatur- og salinitetsmålingene viste også dette (forskjellig karakteristikk (T og S) på innstrømmende og utstrømmende vann). Disse målingene bekrefter at det må ha vært nedsynkning av innstrømmende vann i hele måleperioden, men fortalte ingenting om utskiftingen gikk helt til bunn.

5.2 Målingenes representativitet

En av målsettingene med undersøkelsen var å finne hvor tykt dynamisk aktivt vannlag tidevannet skaper i en situasjon der det innstrømmende vannet i hovedsak fordeler seg i vågens overflatelag. Dette kan ikke undersøkelsen gi svar på. For å finne ut av dette må en tilsvarende undersøkelse gjøres i en periode med høyere tetthet i Hopavågens overflatelag og/eller lavere tetthet i vannmassen utenfor vågen. Det finnes ikke hydrografiske data fra området som kan gi grunnlag for å bedømme hvor ofte dette skjer – og til hvilke årstider.

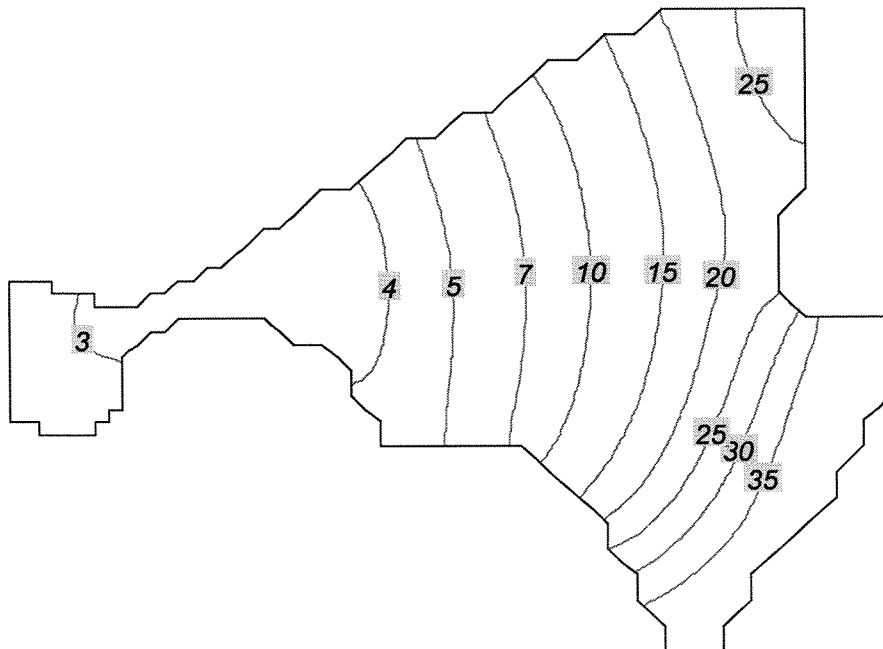
Vi vil imidlertid understreke at også i sommerhalvåret må man regne med situasjoner der det innstrømmende vann blir innlagret eller innblandet i vågens intermediære eller dypere vannlag. For slike situasjoner kan denne undersøkelsen gi viktig og nyttig informasjon.

5.3 Oppholdstider for forskjellige regioner og sjikt

Målingene alene gir dårlig grunnlag for å beregne oppholdstider for forskjellige regioner og sjikt i en normalsituasjon. Dette kan imidlertid gjøres ved hjelp av modellering. Ved hjelp av SMS-modellen kan en beregne oppholdstider i øvre lag. Øvre lag ble satt 10 meter tykt. Det vil si at det antas at tidevannet blander seg inn i et 10 meters tykt vannlag på lénsiden av terskelen. I regioner hvor dypet er mindre er dette dypet benyttet. Beregningene er gjort ved å fylle på vann med en kjent konsentrasjon i den fløende fasen. Bassenget fjærer deretter ferdig og ut i fra konsentrasjonene kan en beregne andel nytt vann tilført i de forskjellige regionene. På denne måten tas det hensyn til at en del av det innstrømmende vannet blir med ut i første syklus. Det vil si at estimatet er konservativt. I tillegg vil ferskvannsavrenning og vind være med på å homogenisere vannet inne i vågen. Dette kan lett regnes om til hvor mange tidevannssykluser som skal til for at alt vannet i de forskjellige regionene skal bli skiftet ut. **Figur 29** viser resultater fra disse beregningene. Modellen gir fra 4-15 tidevannssykluser (tilsvarer 2-7,5 dager) i sentrale deler. Innerst i Hopavågen får en opptil 17 dagers oppholdstid. Spesielt for disse innerste regionene vil andre effekter (vind og avrenning) hjelpe til å redusere oppholdstiden.

Dette sier imidlertid ingenting om oppholdstid i dypere sjikt. Modellen Fjordmiljø kan benyttes til dette. Denne modellen er spesielt utviklet med grunnlag i data fra fjorder i Møre og Romsdal (Aure og

Stigebrandt 1989). Modellen trenger input om topografi, tidevann, ferskvannstilførsler, tilført tot-P og tot-N. Ferskvannstilførsel ble satt lik $1 \text{ m}^3/\text{s}$ mens tot-P og tot-N ble satt lik henholdsvis 10 og 290 kg/år. Usikkerhetsmomentet ligger i beskrivelsen av terskelens topografi, denne er lite kjent. Beregningene gir en gjennomsnittlig oppholdstid for vann over terskeldyp på 14 timer. Modellen beregner den gjennomsnittlige oppholdstiden for bassengvannet til 0,4 måned. Maksimal gjennomsnittlig oksygenreduksjon i bunnvannet ble beregnet til 0,4 ml/l. Observasjoner viser imidlertid dannelse av hydrogensulfid for dyp større enn 25 meter (Marion 1995), noe som viser at modellen beregner for kort oppholdstid eller for lavt oksygenforbruk for bassengvannet.



Figur 29. Beregnet oppholdstid for et 5 meters tykt lag i Hopavågen. Oppholdstiden er gitt i antall tidevannssykluser og kan således omregnes til antall døgn ved å dele på to. Oppholdstiden er kun beregnet på grunnlag av tidevann, det vil si at det er sett bort i fra vind og ferskvannsavrenning etc.. Hadde dette vært tatt hensyn til ville oppholdstidene særlig i østlige deler blitt kortere.

5.4 Sluttkommentar

Undersøkelsen ga nye og trolig viktige opplysninger om vannutskifting og sirkulasjon i Hopavågen. En dypvannsfornyelse ble observert, men spørsmålet om hvor tykt vannlag inne i Hopavågen som i sommerhalvåret er dynamisk aktivt på grunn av tidevann kunne ikke besvares. TS-kjede målingene indikerte at det var stor aktivitet ned til minimum 5 meter. En tilsvarende undersøkelse sommerstid vil kunne gi bedre svar på problemstillinger knyttet til oppholdstider for forskjellige regioner og sjikt. Den ville også gitt svar på hvor hyppig nedsynking av innstrømmende vann forekommer i sommerhalvåret. Til gjengjeld har vi fått besvart at storstilt bunnvannsdannelse tidvis forekommer og at nedsynking av innstrømmende vann forekom det meste av vinteren.

6. Litteratur

Aure, J. og Stigebrandt, A. 1989: Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastning for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havforskningsinstituttet, Bergen. Rapport nr. FO-8803.

ECGL 1995. Surface water modeling system. Reference manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah, USA. 170 pp.

Frungel, F. and Koch, C. 1976: Practical Experience with Variosens Equipment in Measuring Chlorophyll Concentrations and Fluorescent Tracer Substances, Like Rhodamine, Fluorescein, and Some New Substances. Journal of Oceanic Engineering. Vol. OE-1.NO.1.

Golmen, L.G. og Nygaard, E. 1995: Oppfølgjande gransking i Kyllaren i Askvoll kommune. NIVA. Oslo. LNR 3406-96. 30 pp.

Golmen, L.G. og Nygaard, E. 1997: Kanal mellom Vågsbøpollen og Vestrepollen i Fana. Oppfølgende målinger i samband med kanalåpning. NIVA. Oslo. LNR 3627-97. 29 pp.

Marion, P.V. 1995: Ecological studies in Hopavågen, a landlocked bay at the Norwegian Westcoast. Upublisert. 33 pp.

Nygaard, E. og Golmen, L.G. 1996: Kanal mellom Vågsbøpollen og Vestrepollen i Fana. Vurdering av konsekvenser for vannutskifting og islegging. NIVA. Oslo. LNR 3496-96. 32 pp.

Statens kartverk, Sjøkartverket 1998: Tidevannstabeller. for den norske kyst med Svalbard samt Dover, England. 61. årgang. Statens kartverk, Sjøkartverket. 84 pp.

Vedlegg A. Rådata fra rhodaminmålingene

Tabell 2. Resultater fra forsøket med rhodamin i Hopavågen. Verdiene er gitt i avlest voltssignal på Variosens spektrofluorimeteret..

Runde 1	ST kl.	ST kl.								
Dyp	1, 13.25	2, 13.30	3, 13.29	4, 13.27	5, 13.33	6, 13.34	7, 13.35	8, 13.42	8b, 13.43	
0	0	0	0	1.85	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	1.6	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	
3	0	0	0		0	0	0	0	0	
4						0	0	0	0	
5						0	0	0	0	
6										

Runde 2	st kl	1, 13.44	2, 13.52	3, 13.56	4, 13.5	5, 14.1	6, 14.2	7, 14.3	8, 14.3	8b, 14.4	9, 14.5	10, 14.5	11, 15.0	12, 15.2	12b, 15.2	13, 15.3	14, 15.4	15, 15.4	16, 15.5	17, 16.0	18, 16.0	19, 16.0	20, 15.5
0		0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.87	0.75	0	1	0.92	1	0.9
1		0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.93	0.86	0			1.12	0.96
2		0	0	0	1.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.93	0	1.13	1.05	1.2	1.07
3		0	0	0	1.2	0	0	0	0	1.25	0	0	0	0	0	0	1.07	1	0				1.1
4		0	0	0.8	1.5	1.5	0	0	0	1.45	0	0	0	0	0	0	1.14	1.04	0	1.22	1.24	1.28	1.17
5		0	0	0.79	1.64	1.4	0	0	1.65	1.53	0	0	0	0	0	0	1.2		1.6				
6			0	0.86	1.84	1.7	0	0	1.65	1.6	0	0	0	0	1.3	0	1.25	1.12	1.94	1.33	1.33	1.35	1.25
7			3.9	2.6	3.6	1.5	0	0	1.68	1.64	0	0	0	0	1.8	0	1.27		2.4				
8			4	2.65	4.11	3.34	0	0	1.67	1.52	0	0	0	0	2.3	0	1.28	1.18		1.38	1.36	1.38	1.42
9			4.12	3.8	4.39	3.65	0	0	1.55	1.22	0	0	0	1.3	2.33	2.05	1.3						
10			4.16	3.8		3.4	0	0	1.6		0	0	0	2.05	2.4	2.3	1.36	1.28		1.44	1.42	1.4	1.43
11				3.76		3.5	1.15	1.4	1.52		0	0	0	2.12	3.2	2.33	1.37						
12						3.15	1.35	1.43	1.54		0.04	0	0	2.14	3.31	2.4	1.41			1.5	1.46	1.46	
13						3.4	1.4	1.4	1.54		2.4	0	0	2.2	3.4	2.44	1.46						
14						3.49	1.57	1.38	1.57		2.5	0	0	2.2	3.5	2.45	1.48			1.55	1.5	1.48	
15						2.74	1.3	1.38	1.46		2.64	0	0	2.24	3.6	2.47							
16						2.77	1.31	1.35	1.3		2.64	1.4	0	3.01	3.68	2.5	1.54			1.6	1.6	1.55	
17						2.8	1.46	1.3			2.66	2.26	0	3.01	3.72	2.51							
18						2.9	1.5	1.32			2.7	2.35	0	3.01	3.75	2.54	1.58			1.7	1.64		
19						3	1.1	1.34			2.71	2.4	0	3.17		3.5							
20						3.07	1.45	1.32			2.8	2.4	0.01	3.46		3.6	1.6			1.8	1.74		
21						2.89	1.33	1.22			3	2.45	2	3.45		3.6							
22						3	1.24	1.3				2.5	2.44	3.42		3.7	1.7				1.84		
23						3	1.4	1.3				2.51	2.34	3.5		3.8							
24							1.3	1.3				2.56	2.4	3.5							1.94		
25							1.28	1.3				2.56	2.45										
26							1.29	1.31				2.65	2.45										
27							1.3	1.31				2.68	2.5										
28							1.3	1.1						2.5									

Runde 3

Dyp	1, 16.1 6	2, 16.1 8	3, 16.2 0	4, 16.2 4	5, 16.2 9	6, 16.3 3	8, 16.4 0	8b, 16.4 4	9, 16.5 0	11, 16.5 4
0	0.98	1	1	1	1.05	1.08	1.8	1	0.95	1.05
1										
2	1.15	1.13	1.15	1.2	1.18	1.2	1.84	1.42	1.15	1.37
3										
4	2.1	1.22	1.22	1.28	1.26	1.25	1.92	1.2	1.6	1.94
5										
6	2.06	1.31	1.32	1.33	1.32	1.32	2	2	2.12	2.18
7										
8	2.01	2.02	2.24	1.8	1.4	1.39	2.08	2.01	2.3	2.19
9										
10		2.47	2.36		1.5	1.44	2.16	2	2.46	2.2
11										
12			2.4		1.6	2.37	2.18	1.96	2.5	2.25
13										
14			2.51		1.95	2.4	2.22		2.6	2.29
15										
16					2.5	2.45	2.28		2.65	2.33
17										
18					2.6	2.54	2.36		2.75	2.38
19										
20					2.75	2.62	2.4			2.4
21										
22					2.8	2.7	2.5			2.42
23										
24						2.72	2.54			2.46
25										
26										2.5

Prøver fra munning:

klokken 1725: 0,72

klokken 1925: 0,67

klokken 2120: 0,96

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 3861-98

ISBN 82-577-3443-8