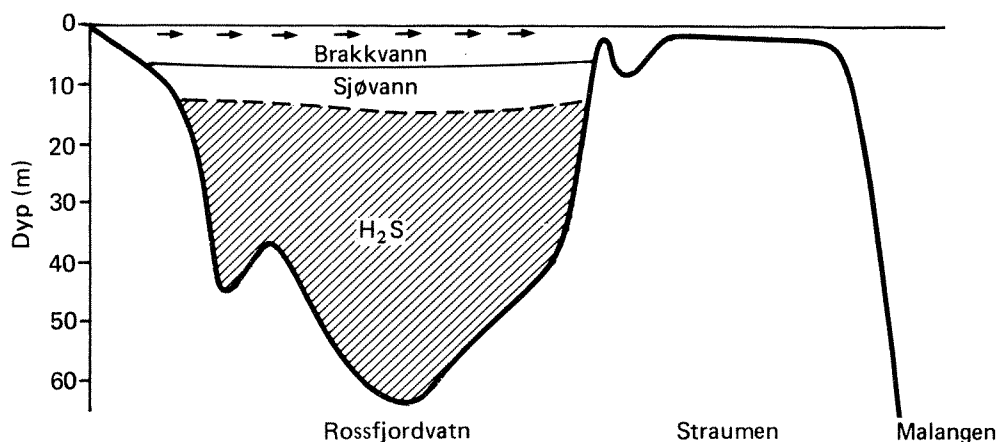


O-  
86202

2021

O~86202

# Vurdering av effekten av lavere ferskvannstilførsel på vannutskiftningen i Rossfjordvatn



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

**Hovedkontor**  
Postboks 333  
0314 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80

**Sørlandsavdelingen**  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033

**Østlandsavdelingen**  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

**Vestlandsavdelingen**  
Breiviken 2  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.: 0-86202
Undernummer:
Løpenummer: 2021
Begrenset distribusjon: Fri

Rapportens tittel: VURDERING AV EFFEKTEN AV LAVERE FERSKVANNSTILFØRSEL PÅ VANNUTSKIFTNINGEN I ROSSFJORDVATN.	Dato: 25.05.87
Forfatter (e):  Jan Magnusson	Prosjektnummer: 0-86202
	Faggruppe: Marinøkologisk
	Geografisk område: Troms
	Antall sider (inkl. bilag): 32

Oppdragsgiver: Lenvik kommune	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.): B. Johannessen
----------------------------------	--

Ekstrakt: Muligheten for at et planlagt ferskvannsutttak fra Rossfjordvatnets nedbørsfelt vil øke hyppigheten av hydrogensulfidholdig vann i overflate- laget er vurdert. Endringen i Rossfjordvatnets totale ferskvannstilførsel vil bli liten, og uttaket vil ikke kunne gi noen påvisbar forandring i forhold til den nåværende situasjon.
--

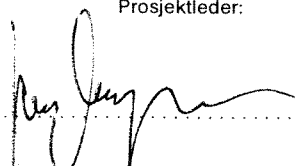
4 emneord, norske:

1. Rossfjordvatn
2. Vannutskiftning
3. Interne bølger
4. Oksygen

4 emneord, engelske:

1. Rossfjordvatn
2. Water exchange
3. Internal waves
4. Oxygen

Prosjektleder:

  
Jan Magnusson

For administrasjonen:



Tor Bokn

ISBN 82-577-1276-0

0-86202

VURDERING AV EFFEKTEN AV LAVERE FERSKVANNSTILFØRSEL PÅ  
VANNUTSKIFTNINGEN I ROSSFJORDVATN.

Oslo, 25.5.1987

Prosjektleder: Jan Magnusson  
Medarbeider: Frank Kjellberg

## FORORD

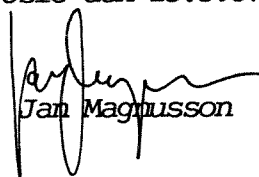
Norsk institutt for vannforskning ble i september 1986 forespurt å vurdere eventuelle effekter av et planlagt vannuttak i Finnfjordvatn på tilstanden i Rossfjordvatn. Oppdragsgiver var Lenvik kommune.

Denne rapport behandler de fysiske problemer knyttet til risikoen for opptrengning av råttent vann til overflatelaget i Rossfjordvatn.

Vi vil takke Lenvik kommune for assistanse i feltarbeidet i Rossfjordvatn, spesielt takk til J.Jansteen for meget godt arbeide under vanskelige forhold. Videre takkes Knut Nergård ved Miljøvernavdelingen, Fylkesmannen i Troms, for hjelp med observasjoner av hydrografi og strøm.

Frank Kjellberg (NIVA) har deltatt i planlegging og gjennomføring av feltarbeide i Rossfjordvatn.

Oslo den 25.5.87.

  
Jan Magnusson

## INNHOLDSFORTEGNELSE

Forord	2
1. Sammendrag og konklusjoner.	6
2. Bakgrunn for prosjektet.	8
3. Ferskvannstilførselen før og etter vannuttak i Finnfjordvatn.	9
4. Hydrografiske forhold i Rossfjordvatn.	11
5. Vannutskiftningen i Rossfjordvatn.	16
6. Effekten av vannuttaket på vannutskiftningen i Rossfjordvatn.	19
7. Interne bølger i Rossfjordvatn.	23
8. Vannuttakets effekt på de interne bølgene.	29
9. Sammenfattende vurderinger.	29
10. Konklusjoner og anbefalinger.	30
11. Behov for observasjoner og mulige andre tiltak for å forbedre oksygenforholdene i Rossfjordvatn.	31
12. Litteratur.	32

## FIGURER

Figur 1. Beregnet ferskvannstilførsel til Rossfjordvatn i 1986 ( etter Hydrologiservice A/S 1986).	11
Figur 2. Rossfjordvatn. Topografi og stasjoner 1986.	12
Figur 3. Saltholdighet (o/oo), temperatur ( $^{\circ}$ C), oksygen (ml/l (+)) og hydrogensulfid (ml/l (-)) i Rossfjordvatn den (stasjon M) 17.10.86.	13
Figur 4. Saltholdighet (o/oo), totalfosfor ( $\mu$ g/l) og totalnitrogen ( $\mu$ g/l) i Rossfjordvatn (stasjon M) den 17.10.86.	13
Figur 5. Saltholdigheten (o/oo) den 17.10.86 og den 23.2.87 i Rossfjordvatn (stasjon M).	14
Figur 6. Observasjoner av vannstand i Malangen og saltholdighet i Straumen 16.10 - 16.11.1986.	17
Figur 7. Observasjoner av strømhastighet (cm/s) inn (+) og ut (-) i Rossfjordstraumen samt vannets saltholdighet (o/oo) 31.10-1.11.1986. (Observasjoner tatt ved brua i Straumen)	18
Figur 8. Observert og beregnet ut (-) og innstrøm (+) i Rossfjordstraumen for perioden 16.10 -31.10.1986. Strømhastighet i m/s.	20
Figur 9. Beregning av nettotransporten ( uttransporten, $m^3/s$ ) fra Rossfjordvatn til Malangen før og etter planlagt vannuttak i Finnfjordvatn med ferskvannstilførsel som i 1980.	21
Figur 10. Prosentvis forandring (reduksjon) av nettotransporten fra Rossfjordvatn til Malangen etter planlagt vannuttak i Finnfjordvatn.	21
Figur 11. Endringen i inntransport ( $m^3/s$ ) til Rossfjordvatn før og etter reguleringen, med ferskvannstilførsel som i 1980.	22
Figur 12. Strømhastighet (cm/s) i Rossfjordvatn på 4, 10 og 15 meters dyp oktober-november 1986.	25

## Figurer (forts).

	side
Figur 13. Vindhastighet ved Gibostad (m/s) oktober - november 1986. (Data fra Meteorologisk institutt, Blindern).	26
Figur 14. Temperaturvariasjoner på enkelte dyp i Rossfjordvatn den 17.10.86.	26
Figur 15. Bevegelser av øvre grenseflaten for hydrogen-sulfidholdig vann i Rossfjordvatn den 19 -20.10.1986.	28

## TABELLER

Tabell 1. Beregnet ferskvannstilførsel ( $m^3/s$ ) fra Finnfjordvatn til Rossfjordvatn i 1980 før og etter vannuttak, samt totaltilførsel til Rossfjordvatn før og etter vannuttak. (Beregningen bygger på resultater fra Hydrologiservice A/S, 1986). Som sammenligning vises også gjennomsnittelig ferskvannstilførsel til Rossfjordvatn ( 25 år) og tilførselen i 1986.	10
Tabell 2. Observasjoner i Rossfjordvatn. Brakkvannslagets tykkelse (H), midlere saltholdighet (S), øvre grense flate for hydrogensulfidholdig vann ( $H_2S$ ), ferskvanns tilførsel (R) og beregnet oppholdstid for ferskvannet (Tf). ( R er midlere ferskvannstilførsel over tiden Tf).	15

## 1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJON.

Et planlagt uttak av ferskvann fra Finnfjordvatn til lokal industri vil redusere ferskvannstilførselen til Rossfjordvatn med ca. 5 % på årsbasis. Tidligere er det blitt registrert nære gjennombrudd av hydrogensulfidholdig dypvann til overflatelaget. Spørsmålet som vurderes i denne rapport er om det planlagte ferskvannsuttaget vil øke frekvensen av slike gjennombrudd.

I oktober-desember 1986 ble det gjennomført observasjoner av sjiktning, vannstand og strøm i Rossfjordvatn og Straumen. Resultatet av disse observasjoner ble:

Rossfjordvatn har en meget spesiell vannutveksling. Periodevis tilføres fjorden sjøvann fra Malangen. I perioder med stor ferskvannstilførsel og lav tidevannsforskjell i Malangen er strømmen gjennom Straumen kun utgående. Saltholdigheten i Rossfjordvatnets overflatelag og sprangsjiktets dyp varierer lite ved ulike ferskvannstilførsler. Dette skyldes resirkuleringen av brakkvann i Straumen, muligens også lav saltholdighet i Malangens overflate.

Den foreslåtte ferskvannsreguleringen vil ha liten innvirkning på Rossfjordvatnets overflatesaltholdighet og sprangsjiktets dyp, forutsatt at vannføringen ikke blir mindre enn beregnet. Svingninger i sprangsjiktet fører råttent vann opp på høyere nivå i perioder med kraftig vind eller ved en stor tilførsel av sjøvann. Den foreslåtte reguleringen vil ikke forandre frekvens eller omfang av slike episoder.

En større reduksjon av ferskvannstilførselen til Rossfjordvatn vil ha store konsekvenser for systemet. Slike tiltak må frarådes med nåværende kjennskap til området.

Imidlertid er oksygenforholdene under sprangsjiktet og over det hydrogensulfidholdige vannet kritiske for organismer på dette nivå. Nå kan det neppe være tvil om at naturgitte forhold i stor grad er bestemmende for oksygenforholdene. Denne vannmassen (< ca. 10m) ligger imidlertid så høyt at det kan være mulig å bedre oksygenforholdene ved å redusere forurensningsbelastningen. Resirkulering av vann i Rossfjordstraumen gir en lang eksponeringstid av avløpsvann som tilføres området. Dessuten belaster de selve Rossfjordvatn. Dette avløpsvannet bør i så fall renses eller føres ut av systemet til en mindre ømfintlig resipient, f.eks. slippes ut på dypt vann i Malangen.



For bedre å kunne avgjøre under hvilke forhold vind eller dypvannsfornyelse fører til opptrengning av råttent vann til overflatelaget, må det utføres observasjoner over en årssyklus. Dermed vil man også ha et vesentlig bedre grunnlag for å bestemme risikoen for slike situasjoner. En bedre kjennskap til fjordens hydrografiske årssyklus er også verdifullt sett ut fra et forurensningsperspektiv.

Ved å slippe ut ferskvann på dypt vann i Rossfjordvatn vil dypvannsfornyelsen øke og oksygenforholdene kan bli bedre. Dette er prøvd på andre fjorder i Norge med godt resultat. Teoretisk er det mulig å få Rossfjordvatn helt fri fra hydrogensulfid, men i praksis bør det være tilstrekkelig å få bedre forhold mellom sprangsjikt og kanskje ca. 40 meters dyp. Dette ville gjøre fjorden mer brukbar til fiske og en ville unngå risiko for opptrengning av råttent vann. Før man prøver en slik løsning i Rossfjordvatn bør det foretas en grundigere vurdering av konsekvensene, spesielt mht. de biologiske og vannkjemiske forhold i 0-10m dyp.

## 2. BAKGRUNN FOR PROSJEKTET.

Det planlegges et vannuttak fra Finnfjordvatn til lokal industri. På årsbasis vil det redusere ferskvannstilførselen til Finnfjordvatn med ca. 11% (Hydrologiservice A/S, 1986). Den lokale ferskvannstilførselen til Rossfjordvatn er vel det dobbelte av ferskvannstilførselen (via Lakselv) fra Finnfjordvatn. På årsbasis vil således den totale ferskvannstilførselen til Rossfjordvatn bli redusert omtrent 5 %.

Effekten av en redusert ferskvannstilførsel er diskutert av Grotnes (brev av 17.3.85 til Miljøvernavdelingen i Troms) og Holtan (1986). Grotnes har observert store interne seicher (bølger). Slike store svingninger i fjordens sprangsjikt kan føre hydrogensulfidholdig dypvann (råttent vann) opp til overflaten. Grotnes observerte en situasjon med nesten gjennombrudd. En redusert ferskvannstilførsel mener Grotnes vil kunne føre til en større risiko for gjennombrudd av hydrogensulfidholdig vann til fjordens overflatelag som følge av økt saltholdighet i overflatelaget.

Hydrogensulfid er giftig for marint liv og en rask opptrengning av hydrogensulfidholdig vann til fjordens øvre vannmasser vil drepe deler av det liv som idag har sitt tilhold i disse vannmasser. Mange fastsittende eller lite bevegelige bunndyr vil imidlertid kunne overleve flere døgn i hydrogensulfidholdig vann (Thede og medarb., 1969), spesielt en del arter som lever på bløtbunn. Hardbunnsarter er ikke så motstandskraftige. Det skal nevnes at hydrogensulfid ikke er et akkumulerende giftstoff.

Episoder med opptrengning av hydrogensulfidholdig vann med etterfølgende fiskedød er tidligere observert i norske fjorder. I Indre Oslofjord inntraff dette i samband med en dypvannsfornyelse (Kirkerud og Magnusson, 1976) og det er også rapportert fra andre steder som f.eks. Iddefjorden (Føyn, 1958) og Framvaren (Skei, 1986). Observasjonene fra disse nevnte fjorder tyder på at opptrengning av hydrogensulfidholdig dypvann fant sted ved dypvannsfornyelser.

En redusert ferskvannstilførsel til Rossfjordvatn vil kunne påvirke sjiktningen i fjorden. Prinsipielt er denne avhengig av størrelsen på ferskvannstilførselen, fjordens topografi, vindforhold og tidevann. Mindre ferskvannstilførsel vil gi mindre egenvektforskjeller mellom dyplag og overflatelag og derved øke vindeffekten på fjordens overflatelag, dvs gjøre det lettere for vinden å arbeide mot vannets egenvekt. Resultatet blir økt saltholdighet i overflatelaget og at overflatelaget også blir noe dypere. Imidlertid skal det mindre energi til

for å tvinge opp dypvann til overflaten. De to prosessene vil således motarbeide hverandre.

*NIVA er bedt om å vurdere en effekt av redusert ferskvannstilførsel sett i forhold til en økt risiko for opptrengning av råttent vann til overflatelaget ved svingninger i sprangsjiktet. Vi vil understreke at andre effekter ikke vurderes nå. Forutsetningen er at hydrogen-sulfidnivået ikke endres fra dagens situasjon, dvs. at forurensningsnivået i fjorden ikke øker.*

Denne rapport behandler interne bølger i Rossfjordvatn og den estuarine sirkulasjonen (vannutskiftningen). Rapporten baserer seg på observasjoner i oktober- november 1986 samt enkelte observasjoner fra andre undersøkelser.

### 3. FERSKVANNSTILFØRSELEN FØR OG ETTER VANNUTTAK I FINNFJORDVATN.

Det planlagte vannuttaket vil være på ca.  $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ . Et krav til minstevannføring i Lakselv er  $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$  og lavere vannføring er ikke tatt hensyn til i denne rapporten.

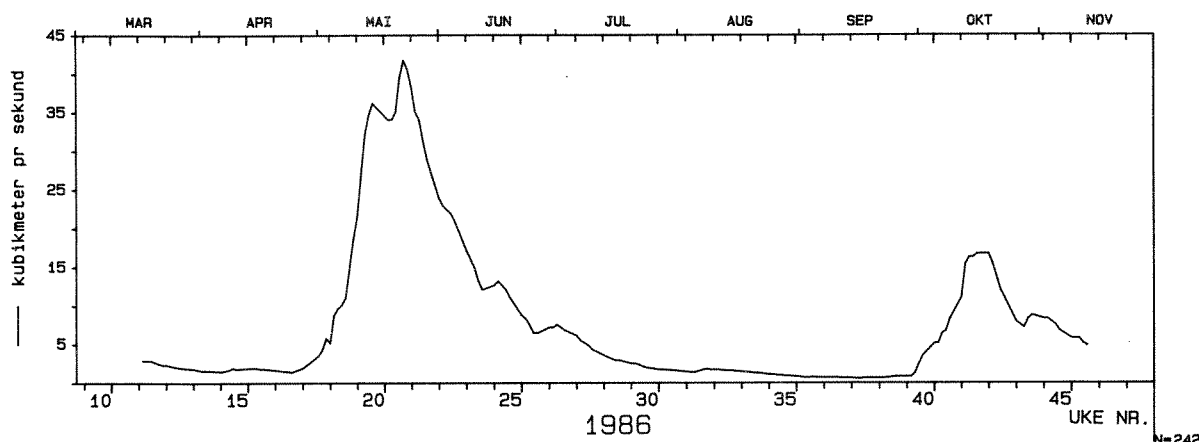
Tabell 1 viser noen data på ferskvannstilførselen. Dels gjøres det rede for tilførselen i et år med lav ferskvannstilførsel, dels beregnet gjennomsnittelig tilførsel (25 år), dels også ferskvannstilførselen i 1986 (se også figur 1). Tallene i tabell 1 er avrundet til nærmeste tiendedel, men i de etterfølgende beregninger er det brukt større nøyaktighet.

Tabell 1 Beregnet ferskvannstilførsel ( $m^3/s$ ) fra Finnfjordvatn til Rossfjordvatn i 1980 før og etter vannuttak, samt totaltilførsel til Rossfjordvatn før og etter vannuttak. (Beregningen bygger på resultater fra Hydrologiservice A/S, 1986). Som sammenligning vises også gjennomsnittelig ferskvannstilførsel til Rossfjordvatn (25 år) og tilførselen i 1986.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Fra Finnfj. før reg. i 1980	1.0	0.7	0.7	0.9	5.1	8.1	1.8	0.5	0.7	0.9	1.2	1.0
Til Rossfj. før reg.	2.3	1.5	1.4	2.0	11.2	17.8	4.1	1.2	1.6	1.9	2.6	2.2
Fra Finnfj. etter reg.	0.7	0.3	0.3	0.6	4.7	7.7	1.5	0.3	0.3	0.5	0.8	0.7
Til Rossfj. etter reg.	2.0	1.1	1.0	1.7	10.8	17.4	3.8	1.0	1.2	1.5	2.2	1.9
Reduksjon	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3
Reduksjon i %	15	22	20	18	3	2	8	16	22	18	13	16
25 års gjennomsn. tilf. til Rossfjord	3.3	2.2	2.3	2.4	12.1	22.1	11.3	5.8	5.4	7.5	6.3	3.3
Til Rossfj. i 1986				1.7	24.9	13.8	3.8	1.4	0.7	9.8		

Som det fremgår av tabell 1 er det et relativt lite vannuttak som planlegges. Det vil få størst prosentvis betydning i måneder med lav vannføring. Det er derfor vi har tatt med et år (1980) med ekstrem lav vannføring. Gjennomsnittelig ferskvannstilførsel er normalt betydelig større enn 1980 og derved vil eventuelle effekter av ferskvannsuttaget være mindre. Imidlertid viser beregninger fra 1986 at ferskvannstilførselen kan være meget lav enkelte måneder mens det for øvrig er høy årstilførsel.

Hvis vi kun tar hensyn til ferskvannstilførselen vil risikoen for å få opp hydrogensulfidholdig dypvann være størst vinterstid, når dessuten en del av ferskvannet blir bundet i is (ca. 1 meter tykk is i 1986). Deretter vil det enkelte år kunne foreligge en økt risiko i juli - oktober, jfr. fig. 1.

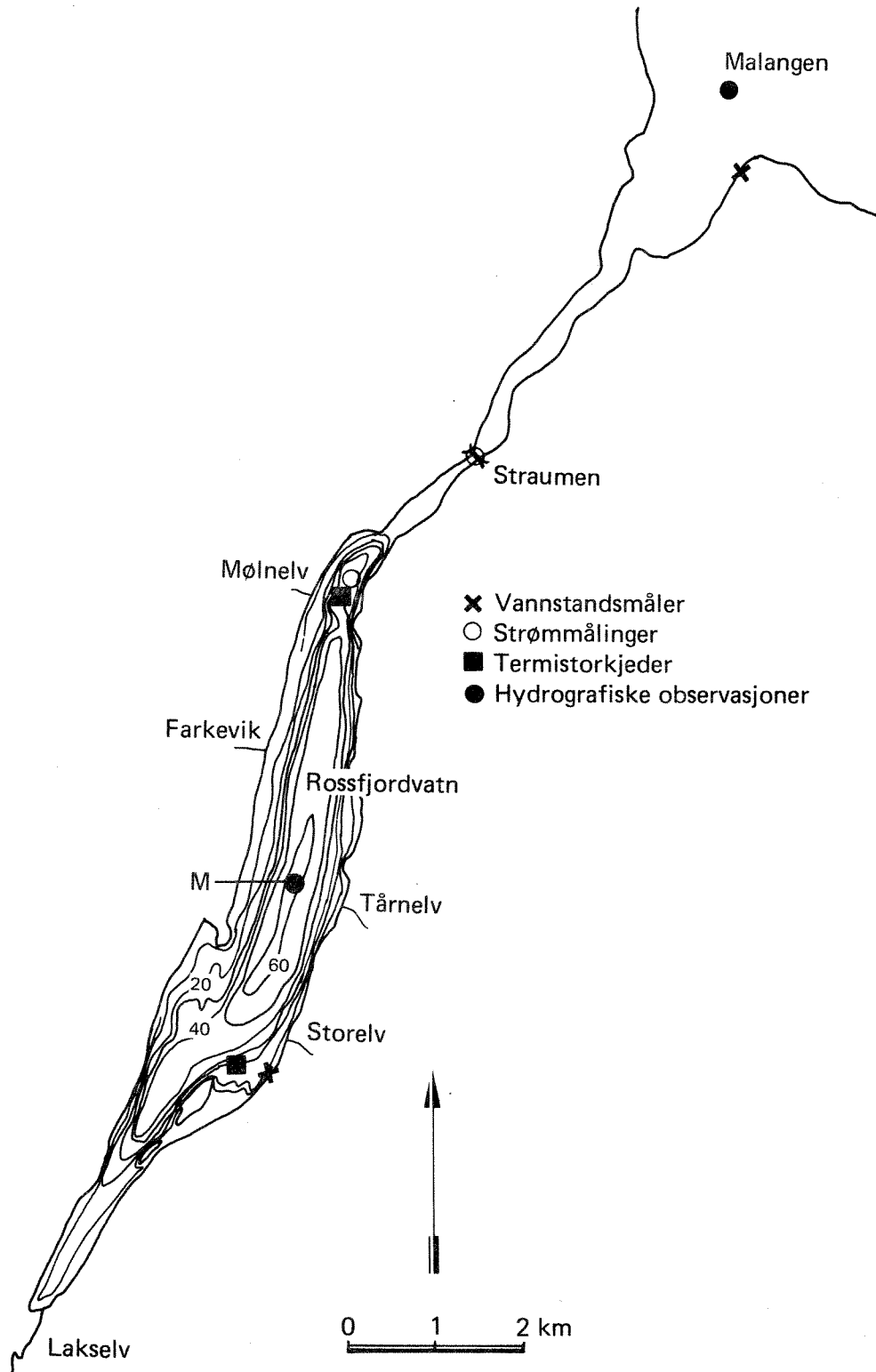


Figur 1. Beregnet ferskvannstilførsel til Rossfjordvatn i 1986 (etter Hydrologiservice A/S, 1986).

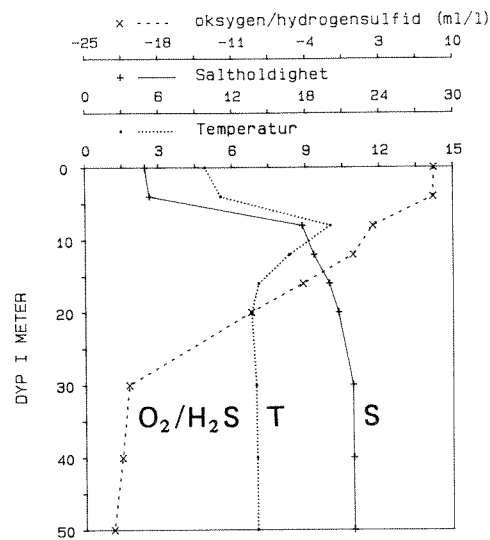
### 3. HYDROGRAFISKE FORHOLD I ROSSFJORDVATN.

Rossfjordens hydrografi er tidligere beskrevet i rapporter av Hognestad (1975), Haugene (198?), Holtan og Knutzen (1977), og Holtan (1986). For en nærmere beskrivelse av topografi og hydrografi henvises til disse rapporter. Topografien, stasjoner og navn som blir brukt i denne rapport er vist i figur 2.

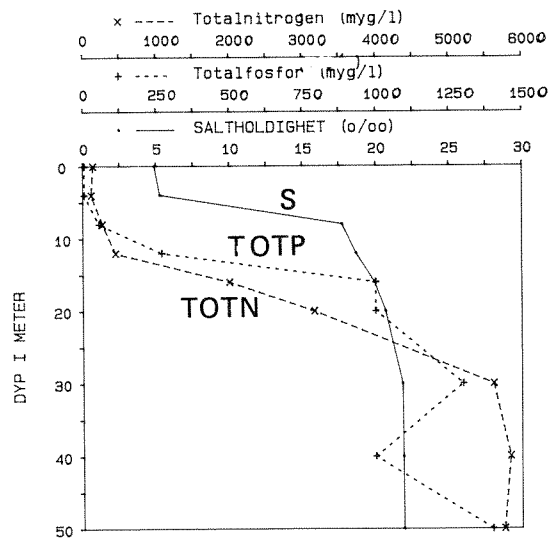
Figur 3 og 4 viser eksempler på vertikalfordelingen av noen parametre i Rossfjordvatn. Saltholdigheten i overflatelaget er lav sommerstid (<5-6 o/oo) og sprangsjiktet ligger på mellom 4-8 meters dyp. Under sprangsjiktet øker saltholdigheten raskt ned til ca. 20-30 meters dyp hvor den er nesten konstant 21-22 o/oo. Oksygenkonsentrasjonen avtar raskt under sprangsjiktet og øvre grenseflaten for hydrogensulfidholdig vann (råttent vann) ligger mellom 10-12 meters dyp. Hydrogensulfidkonsentrasjonen øker gradvis mot ca. 30 meters dyp og er deretter nesten konstant ca. 20 ml/l. I overflatelaget (0-5 meters) dyp er det alltid tilfredstillende oksygenkonsentrasjoner (nær metning).



Figur 2. Rossfjordvatn. Topografi og stasjoner 1986.

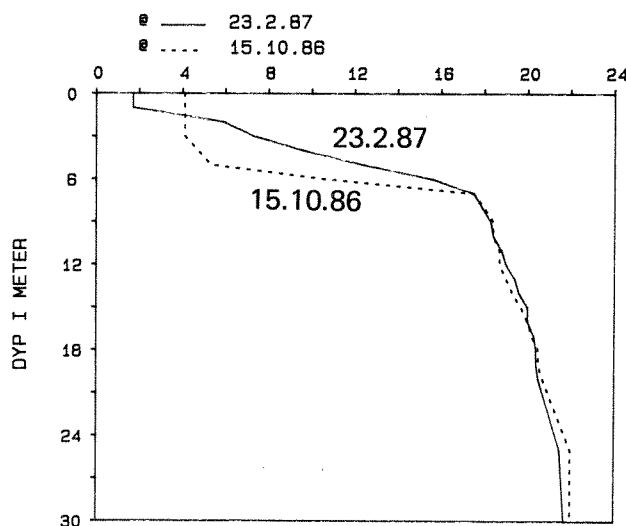


Figur 3. Saltholdighet (o/oo), temperatur (°C), oksygen (ml/l (+)) og hydrogenulfid (ml/l (-)) i Rossfjordvatn den 17.10.86.



Figur 4. Saltholdighet (o/oo), totalfosfor ( $\mu\text{g/l}$ ) og totalnitrogen ( $\mu\text{g/l}$ ) i Rossfjordvatn den 17.10.86.

De observasjoner som er gjort i Rossfjorden viser alle at sprangsjiktets dyp ligger dypere enn fjordens terskel ut mot Malangen. Det er bare gjort en observasjon vinterstid (23.2.87), men denne viser at også når det ligger is på fjorden og ferskvannstilførselen er liten er det et markert sprangsjikt under terskeldyp. Saltholdigheten i overflatelaget er også lav ( 1-10 o/oo).



Figur 5. Saltholdigheten (o/oo) den 15.10.1986 og den 23.2.1987 i Rossfjordvatn.

Tabell 2 viser en sammenstilling av eksisterende observasjoner av overflatelagets tykkelse og gjennomsnittlige saltholdighet. Det er også gjort en beregning av ferskvannets teoretiske oppholdstid  $T_f$  definert som:

$$T_f = V_f / R$$

hvor  $T_f$  = ferskvannets oppholdstid

$V_f$  = ferskvannsvolumet

$R$  = ferskvannstilførselen.



Tabell 2. Observasjoner i Rossfjordvatn. Brakkvannslaget's tykkelse (H), midlere saltholdighet (S), øvre grenseflate for hydrogensulfidholdig vann ( $H_2S$ ), ferskvannstilførsel (R) og beregnet oppholdstid for ferskvannet (Tf).  
(R er midlere ferskvannstilførsel over tiden Tf)

Dato	H (m)	S (o/oo)	$H_2S$ (m)	$R_3$ ( $m^3/s$ )	Obs. av	Tf Døgn
14.10.71	6	1.8	>10	9.6	Hognestad	52
15.6.72	4	1.5	>10	28.5	"	12
13.6.73	5	1.8	>10	37	"	11
10.7.73	4.5	1.0	----	27	"	15
5.10.73	5.0	1.3	>10	8.7	"	52
11.6.74	4	2.7	>10	17.5	"	18
2.6.86	6	2.0	---	33.5	Miljøavd. Troms	13
4.8.86	4	3.1	---	2.9	"	28
21.8.86	4	2.6	>12	2.0	"	39
15.10.86	5	4.4	ca.12	3.3	NIVA	118
17.10.86	5	5.7	----	3.3	"	112
4.11.86	5	4.9	----	8	Lenv.kom	43
23.2.87	5	5.2	ca. 12	(3)*	Miljøavd. Troms	(77)

\* Mangel på data fra perioden. Det er isteden brukt 25 års middelvannføring i perioden (se tabell 1)

Observasjonene viser små variasjoner i overflatelaget's saltholdighet og dyp ved ulike ferskvannstilførsler. Dypet av det hydrogensulfidholdige vannet er ikke like velbestemt, men synes å ligge omkring 12 meter, dvs. klart under sprangsjiktet. Med så store variasjoner i ferskvannstilførselen som i 1986, kan det konstateres at korttids-variasjoner av ferskvannstilførselen sommerstid ikke har noen større innflytelse på overflatelaget's tykkelse, saltholdighet eller stabilitet.

Ferskvannets oppholdstid varierer mellom 118 døgn (3.5 måned) og 11 døgn. Den lange oppholdstiden ved lave ferskvannstilførsler viser at det er en liten nettotransport av ferskvann i disse perioder til

Malangen. Det er meget trolig at også saltholdigheten i Malangen blir lav vår/sommer og at det også kan skje en tilførsel av brakkvann fra Malangen til Rossfjordvatn. Hognestad (in prep.) registrerte en saltholdighet på 9.9 o/oo i Malangen den 21.6.74. Øvrige faktorer av betydning er bl.a. en resirkulering av utstrømmende brakkvann på inngående tidevann. Imidlertid vil lengre perioder (> 1.5 måneder) med konstant lav vannføring gi situasjoner som minner om vintersituasjonen 1987, hvis også saltholdigheten i Malangens overflate er høy.

For å kunne avgjøre innflytelsen av saltholdighetsvariasjoner i Malangen på sjiktningen i Rossfjorden er det nødvendig med observasjoner over en årssyklus av saltholdighet i Malangen, Straumen og Rossfjordvatn. Dette bør gjennomføres om planlagte tiltak gjennomføres eller andre tiltak mot forurensnings situasjonen i fjorden blir aktuelle.

#### 5. VANNUTSKIFTNINGEN I ROSSFJORDVATN.

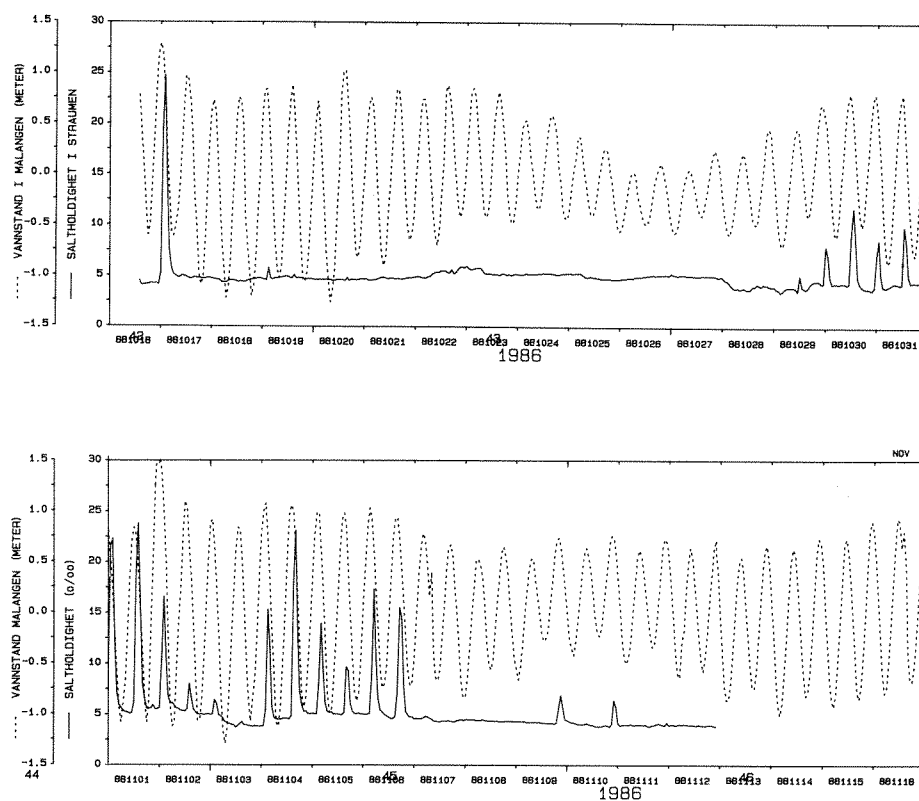
Vannutskiftningen i Rossfjordvatn bestemmes av ferskvannstilførselen, vindforhold og tidevannsvariasjonen samt egenvekten av overflatevannet i Malangen. I oktober 1986 ble det foretatt målinger av vannstand i Rossfjordvatn og utenfor terskelen i Malangen, samt temperatur, saltholdighet og strøm i Rossfjordstraumen. Strømmåleren i Rossfjordstraumen ble utsatt den 16.10.86 og fungerte tilfredstillende til den 11.12.86. Vannstandsobservasjoner ble foretatt fra den 15.10 og til den 10.12.86, men islegging gav kun kortere perioder med gode data i Rossfjordvatn.

Observasjonene viste at strømmen i Rossfjordstraumen var dominert av vannstandsvariasjonen (tidevannet), men at terskelområdet topografi gav en kraftig vannstandsdemping (choking) fra Malangen og til Rossfjordvatn. Forholdet mellom vannstandsforskjellen i Rossfjordvatn og Malangen var ca. 0.03, dvs. en vannstandsforskjell på ca. 1.5 meter i Malangen gav en forskjell på ca. 0.05 meter i Rossfjordvatn.

Vannstandsøkningen i Rossfjordvatn skyldes dels oppstuing av den lokale ferskvannstilførselen, og dels innstrømmende vann gjennom Rossfjordstraumen. Den lokale ferskvannstilførselen og vannstandsdempingen begrenset innstrømmingen i begynnelsen av oktober til ca. 3 timer, mens utstrømmingen varte i ca. 9 timer. Normalt ville utstrøms og innstrømstiden være like stor, ca. 6 timer, dvs. følge det halvdaglige tidevannet i Malangen. I en del av observasjonsperioden var tidevanns-amplituden så liten at strømmen i Rossfjordstraumen var rettet utover

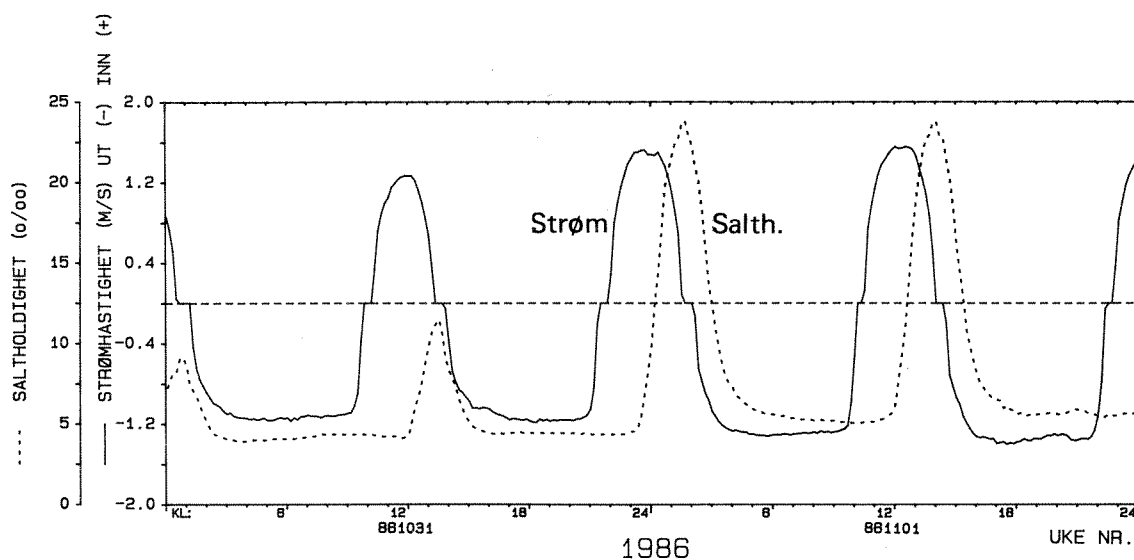
også på stigende vannstand i Malangen (se figur 8).

Figur 6 viser observasjoner av vannstanden i Malangen og saltholdigheten i Rossfjordstraumen oktober-november 1986. Saltholdigheten var omtrent konstant og lav i hele perioden, men med enkelte kortere perioder med høy saltholdighet. Observasjoner av overflatesaltholdigheten i Malangen viste over 20 o/oo i november 1986. Den gjennomgående lave saltholdigheten i Straumen betyr at lite sjøvann fra Malangen trenger inn i Rossfjordvatn og at i lange perioder føres tidligere utstrømmende brakkevann fra Rossfjordvatn på stigende vannstand tilbake inn i fjorden. Kun i enkelte tilfeller ble det tilført vann med høyere saltholdighet til Rossfjordvatn. Disse perioder falt sammen med perioder med stor tidevannsforskjell i Malangen. Imidlertid framgår av figur 6 at høy vannstand i Malangen ikke alene er tilstrekkelig for en høyere saltholdighet i Straumen (se f.eks den 18-20.10.1986).



Figur 6. Observasjoner av vannstand i Malangen og saltholdighet i Straumen 16.10-16.11.1986.

Figur 7 viser to døgn hvor vann med høyere saltholdighet tilføres Rossfjordvatn. Figuren viser tydelig at inntransporten av sjøvann starter omtrent samtidig med at innstrømmen er sterkest. Saltholdigheten øker ca. 1.5 timer etter at tidevannsstrømmen snur til inngående. Variasjonen i innstrømmingstid den 31.10-1.11.86 var mellom 3-4 timer. Med en saltholdighet i Malangen på over 20 o/oo viser observasjonene en resirkulering av brakkvann som i perioden varte ca. 1.5 timer av den totale innstrømmingstiden (dvs. 50 % av tiden). Likeså viser figuren at sjøvannet også deltar i uttransporten. De første 2-3 timene med utstrøm var saltholdigheten høyere enn i Rossfjordvatns sentrale deler (dvs. ca. 30 % av tiden). Således skjer en resirkulering av både brakkvann (ved innstrøm) og sjøvann (ved utstrøm). Dette kan forklares av det lange og grunne terskelområdet på begge sider av terskelen i Straumen.



Figur 7. Observasjoner av strømhastighet (cm/s) inn (+) og ut (-) Rossfjordstraumen samt vannets saltholdighet (o/oo) 31.10-1.11.1986. (Observasjoner tatt ved brua i Straumen).

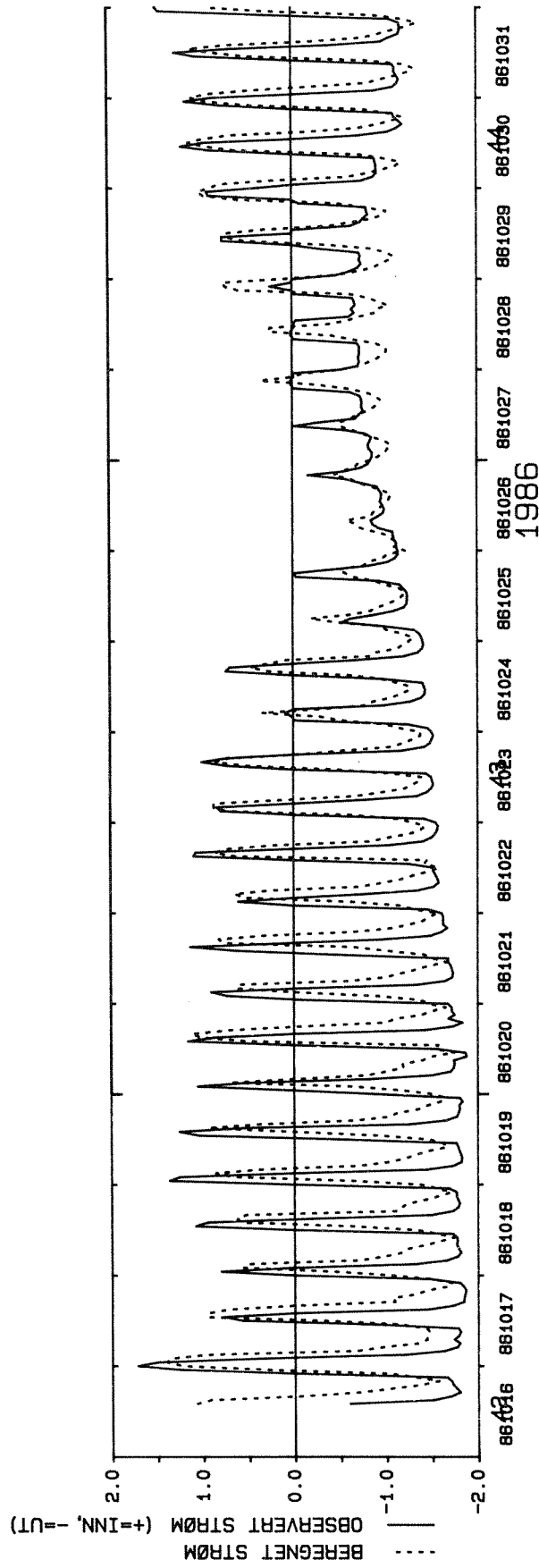
Denne prosessen med tilbaketransport (resirkulering) er av meget stor betydning for sjiktningen og oksygentilførselen til Rossfjordvatn. Dette er også forklaringen på at sprangsjiktets dyp og overflatelagets saltholdighet varierer så lite i Rossfjordvatn ved forskjellige ferskvannstilførsler. En stor resirkulering av utstrømmende brakkvann vil nemlig forlenge overflatelagets oppholdstid i Rossfjordvatn.

#### 6. EFFEKTEN AV VANNUTTAK PÅ VANNUTSKIFTNINGEN I ROSSFJORDVATN.

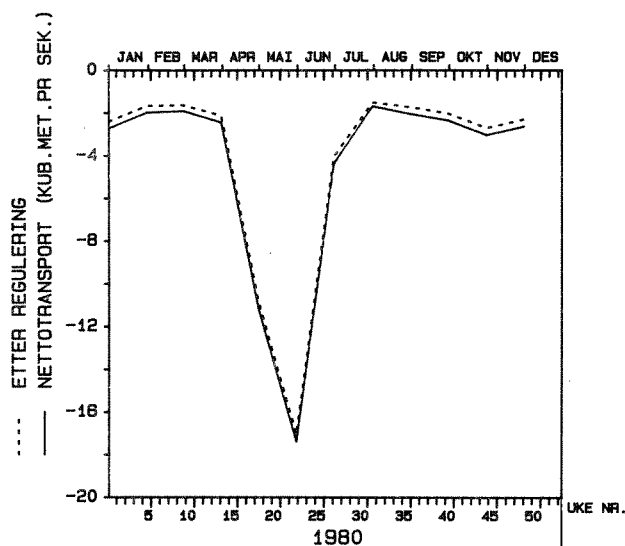
Stigebrandt (1979) har utviklet en modell der tidevannsutveksling i fjorder drives av vannstandsvekslingene utenfor terskelen. Modellen er brukt på Rossfjorden og figur 8 viser resultatene av modellen sammenlignet med strømmålinger i Rossfjordstraumen. Det er god overensstemmelse mellom beregninger og observasjoner. Figur 9 viser reguleringsens effekt på transporten ut/inn av fjorden for hver måned med ferskvannstilførsel som i 1980 (et år med lav ferskvannstilførsel). Figur 10 viser forandringen i prosent av nettotransport før og etter reguleringen.

Nettotransporten ut av systemet vil avta etter reguleringen i Finnfjordvatn og endringen vil være størst ved lav ferskvannstilførsel. Inntransporten av vann til Rossfjordvatn gjennom Straumen vil øke og med den sannsynligheten for en økning av tilførsel av sjøvann fra Malangens overflatelag. Sjøvannet vil blandes med brakkvannet i Rossfjordvatns overflatelag og innlagres under sprangsjiktet. Innlagringsdypet vil avhenge av mengden innstrømmende sjøvann og sjøvannets egenvekt. Stabiliteten i Rossfjordvatn vil øke noe. Etttersom det innstrømmende sjøvannet har bra oksygenforhold, vil Rossfjordvatn få økt tilførsel av oksygen til vannlaget mellom sprangsjiktet og dypvannet.

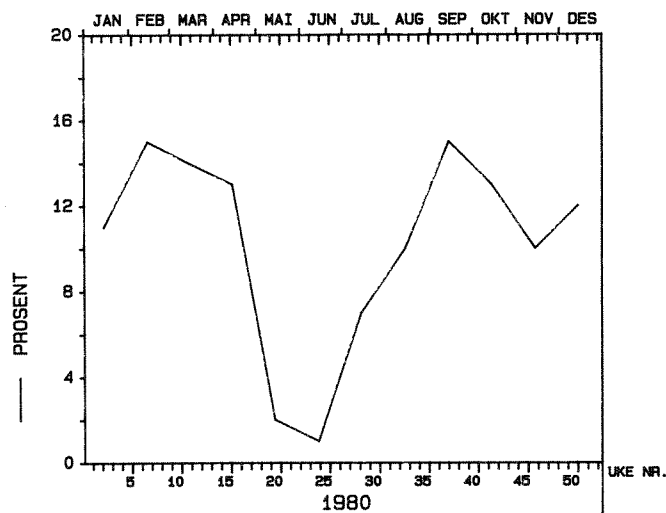
Det er imidlertid klart at økningen i transporten av vann fra Malangen til Rossfjordvatn etter reguleringen, ikke blir stor (figur 11). Inntransporten av sjøvann er også avhengig av saltholdigheten i Malangens overflatelag. Det er derfor mer korrekt å beskrive forandringen som en økt sannsynligheten for noe større inntransport av sjøvann.



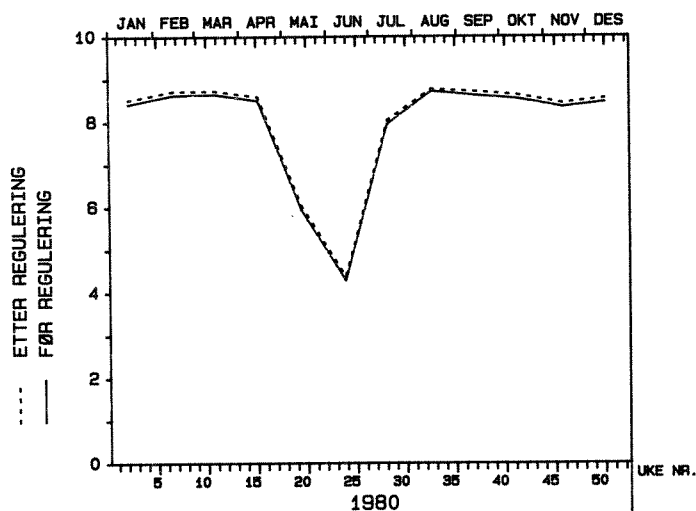
Figur 8. Observert og beregnet ut-(-) og innstrøm (+) i Rossfjordstraumen for perioden 16.10-31.10.1986. Strømhastighet er i m/s.



Figur 9. Beregning av nettotransporten (uttransporten,  $m^3/s$ ) fra Rossfjordvatn til Malangen før og etter planlagt vannuttak i Finnfjordvatn med ferskvannstilførsel som i 1980.



Figur 10. Prosentvis forandring (reduksjonen) av nettotransporten fra Rossfjordvatn til Malangen etter planlagt vannuttak i Finnfjordvatn.



Figur 11. Endringen i inntransport ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) til Rossfjordvatn før og etter reguleringen, med ferskvannstilførsel som i 1980.

Samtidig som en økt inntransport kan ses som positiv ut fra oksygen-situasjonen i Rossfjordvatn, er det mulig at en større tilførsel vil kunne trenge ned i det hydrogensulfidholdige dypvannet og løfte dette vann opp mot overflaten. Denne prosess kan være en av de muligheter som finnes for å få hydrogensulfidholdig vann opp til nivåer hvor det blir skader på marine organismer.

Topografien i terskelområdet vil imidlertid hindre større dypvannsfornyelser. Det er mer sannsynlig at dypvannsfornyelsen skjer gradvis over lengre tid. Herved vil kun mindre mengder av hydrogensulfidholdig vann kunne trenge opp mot overflatelaget. Blandingsprosesser vil fortynde det råtne dypvannet og effekten blir mindre enn ved store massive utskiftninger.

Antar vi at alt vann som tilføres fra Malangen på inngående strøm er sjøvann, vil maksimalt  $280.000 \text{ m}^3$  sjøvann tilføres Rossfjordvatn pr. døgn. For å fornye hele vannvolumet mellom 12 og 16 meters dyp i Rossfjordvatn må utskiftningen foregå i 84 døgn. Her vil da hydrogensulfidholdig vann tvinges opp på et nivå med tidligere oksygenholdige vannmasser. Det er dog ikke sannsynlig at en vannutskiftning av denne



størrelse kan foregå i hele 84 døgn (resirkulering av vann i Straumen). Det er heller ikke realistisk å forutsette at det innstrømmende vannet pent lar seg innlagre på et dypnivå uten blanding med vannmasser mellom overflaten og innlagringsnivå eller med vann på innlagringsnivå. Derimot kan det skje en skråstilling av sprangsjiktet for hvert innstrømmingstilfelle og dette kan føre råttent vann opp til høyere nivåer. Dette ble ikke registrert i observasjonsperioden og det er trolig at det skal større episoder til enn de som inntraff under observasjonstiden for å gi slike effekter.

## 7. INTERNE BØLGER I ROSSFJORDVATN.

Vertikale bevegelser i tetthetsflater i en fjord som Rossfjordvatn kan genereres av forskjellige krefter. Vinden gir en skråstilling av overflaten i fjorden og påvirker derved også sjiktningen i dypere vann (barokline effekter). Tidevannet kan gi svingninger i fjordens vannmasser og kan også gi kraftig resonans hvis fjordens topografi og sjiktning er slik at vannmassenes egensvingning passer de eksterne kreftene. Dypvannsfornyelser kan også gi kraftige vertikale bevegelser i fjordens vannmasser. De sistnevnte har vi behandlet tidligere i denne rapport.

For å kartlegge interne bevegelser i Rossfjordvatn ble det i perioden oktober-desember tatt observasjoner av temperatur, saltholdighet og strøm i ulike dyp i Rossfjordvatn. Strømmålerne var plassert i nordre del av Rossfjorden (figur 2) på 4, 10 og 15 meters dyp. Termistor-kjeder ble plassert i nord- og sydenden av Rossfjordvatn (figur 2). Observasjoner ble tatt hvert 10. minutt. Temperaturen ble målt på 0.9, 4.4, 5.8, 8.4, 10.1, 13.3, 15.7, 18.3, 20.7, 21.9 og 25.5 meters dyp i nord og på 0.9, 4.1, 5.9, 9.0, 10.8, 13.9, 15.9, 18.9, 20.8, 23.8 og 25.7 meters dyp i syd.

Figur 12 viser strømhastigheten på de ulike dypene. På 4 meters dyp var det til dels kraftige strømmer den 16-23.10.86 samt den 30.10 til den 1.11.86. I 10 meters dyp var strømhastigheten gjennomgående lavere og under hele observasjonsperioden ble det kun observert større strømstyrker den 19-20.10.86 samt i enkelte øvrige dager i oktober. I 15 meters dyp ble det ikke registrert strømstyrker over strømmålerens starthastighet (1.5 cm/s) unntatt 17.10.86.

Sterke strømmer i 4 meters dyp sammenfaller i tid med sterk vind den 19-20.10, 23.10 og den 30.10 samt den 1-2.11.86 ( se figur 13). I 10 meters dyp er det samme mønster, men lavere strømhastighet. I 15

meters dyp va det nesten ikke bevegelser.

Fra den 4.11 til den 12.11 ble Rossfjordvatn gradvis isdekket og vindens effekt derved redusert. I den korte tiden fjorden var isfri kan vi således konstatere at vinden kan generere betydelige strømmer (bølger) ned til ca. 10 meters dyp.

Temperaturdata fra termistorkjedene viste bevegelser i sprangsjiktet med omtrent den dobbelte frekvensen av tidevannet. Frekvensen ligger nær den beregnede frekvensen til en intern bølge i Rossfjordvatn. Beregningen er utført med en tolagsmodell, dvs. homogent overflatelag og homogent dypplag. Perioden,  $T_i$ , fåes ved:

$$T_i = 2 * L \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} - \rho_2 * 1/g \left( 1/h_1 + 1/h_2 \right) \right)^{1/2}$$

hvor  $\rho$  = egenvekten

$g$  = gravitasjonen ( $m/s^2$ )

$h_1$  og  $h_2$  = sjikttykkelse i henholdsvis overflatelag og dypvann

$\rho_1$  og  $\rho_2$  = egenvekt i henholdsvis overflatelag og dypvann

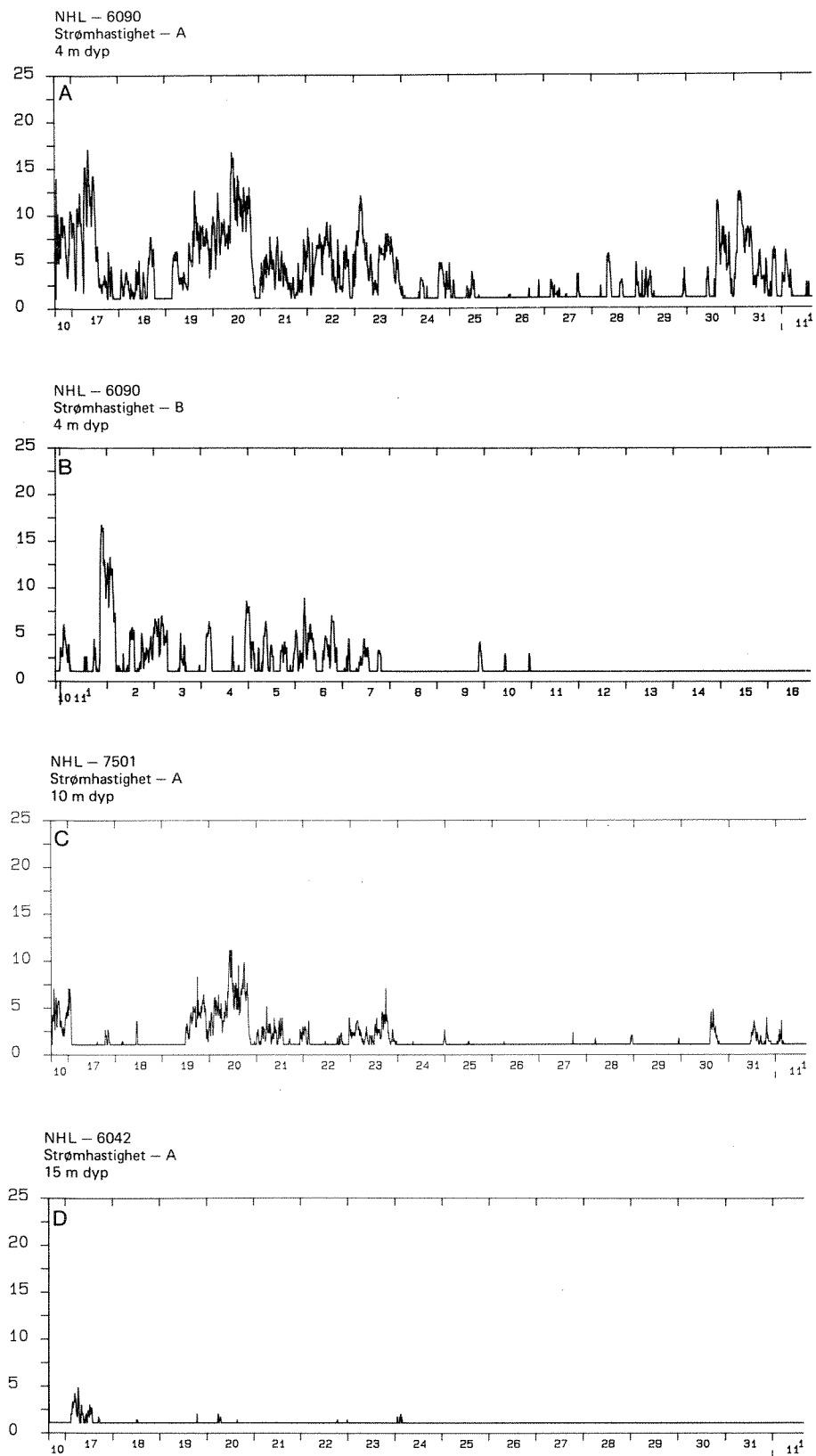
$L$  = Rossfjordvatn lengde i sprangsjiktet

Ut fra observasjoner vil  $\rho_1 = 1.001$ ,  $\rho_2 = 1.015$ ,  $h_1 = 5$  m,  $h_2 = 30$  m

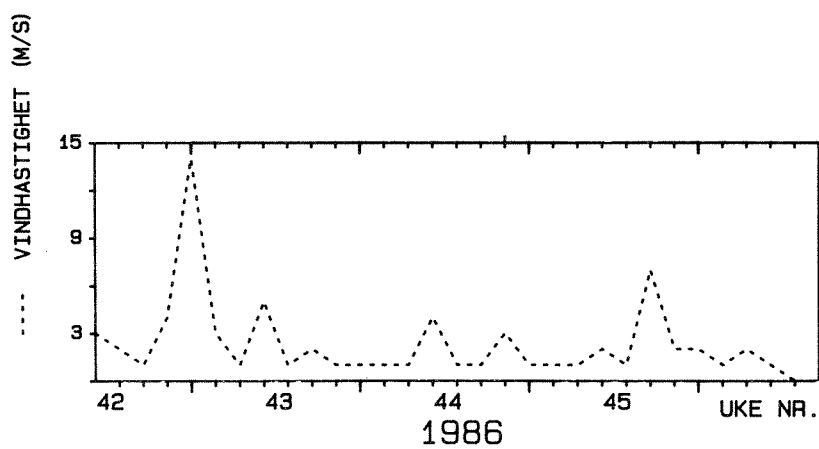
og  $L = 10.000$  m gi  $T_i = 7.3$  timer.

Varies overflatelagets dyp fra 4-9 meter og egenvekten  $\rho_1$  mellom 1.001 og 1.006, varierer  $T_i$  mellom 6.0 og 8.0 timer. De observerte bevegelsene i sprangsjiktet ligger således nær den svingning som denne vannmasse skulle ha hvis den blir satt i bevegelse. Den vertikale bevegelsen er liten.

Større vertikale endringer i temperaturen falt sammen med dager med kraftig vind. Etter isleggingen ble svingningene betydelig dempet. Det er derfor mest sannsynlig at kraftige vinder også gir de største bevegelser i sprangsjiktet og at hydrogensulidholdig vann kan komme opp på høyere nivåer i disse tilfeller. Eksempel på svingninger i temperaturen er vist i figur 14. Temperaturobservasjonene viste ikke gjennombrudd av vann fra under sprangsjiktet til overflatelaget. Det samme gjelder saltholdighetsmålinger på strømmålerdypene. Imidlertid viser temperaturdataene svingninger også et par meter under sprangsjiktet. Disse svingninger er spesielt viktige omkring 12 meters dyp hvor grensen for hydrogensulfidholdig vann ligger.

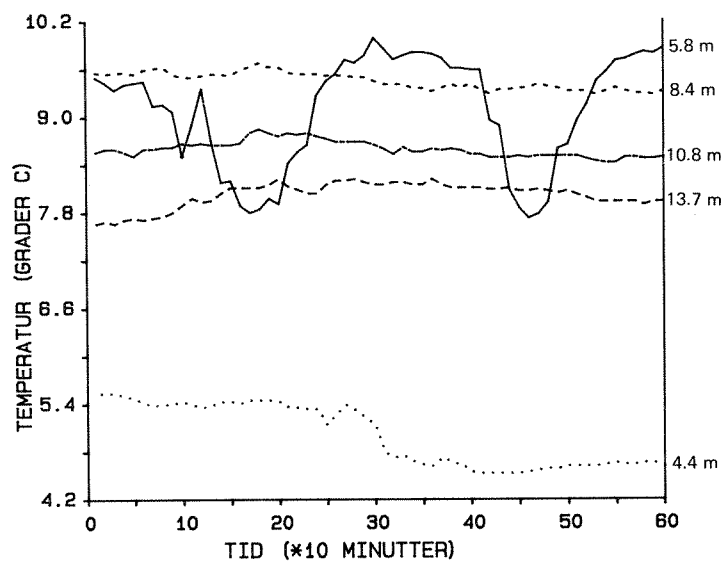


Figur 12. Strømhastighet (cm/s) i Rossfjordvatn på 4, 10 og 15 meters dyp oktober-november 1986.



Figur 13. Vindhastigheten ved Gibostad (m/s) oktober-november 1986 (Data fra Meteorologisk Institutt, Blindern).

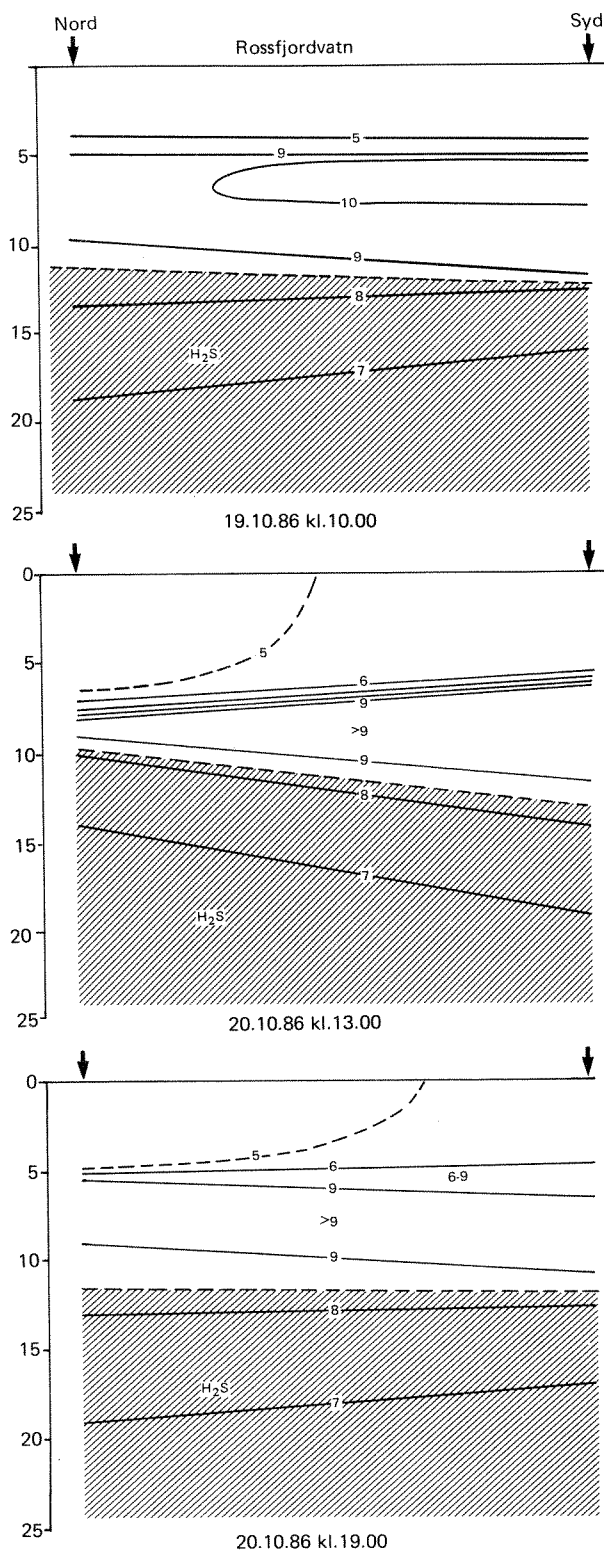
DYP (M): 4.4, 5.8, 8.4, 10.8 OG 13.7.



Figur 14. Temperaturvariasjoner på enkelte dyp i Rossfjordvatn den 17.10.1986.

Figur 15 viser tre situasjoner fra perioden med store svingninger (19.-20.10). På figuren er hydrogensulfidholdig vann inntegnet etter observasjoner den 16.10.86. Den 19.10. kl 1000 begynte vinden å øke fra sør. Overflatevannet ble presset mot nord og mellom 6-8 meters dyp strømmet varmt vann mot sør. Det hydrogensulfidholdige vannet lå på ca 11 meters dyp. Den 20.10 kl 1300 hadde den kraftige sydlige vinden ført vann i Rossfjordvatns overflatelag mot nord og sprangsjiktet var blitt dypere. I syd hadde sprangsjiktet blitt noe grunnere. Kompensasjonsstrømmer hadde ført mer vann mot syd på 6-12 meters dyp og under dette hadde det hydrogensulfidholdige vannet kommet opp på ca. 10 meters dyp. Den 20.10 kl 1900 hadde vannmassene svingt tilbake til omtrent som før vinden økte. Det hydrogensulfidholdige vannet hadde i løpet av et døgn flyttet vertikalt nesten 2 meter og derved eksponert organismer som normalt lever i oksygenholdig vann i nordre del av Rossfjordvatn for råttent vann. På de aktuelle dyp ville kun et fåtall høyere organismer sannsynligvis overleve denne episoden.

Det er trolig at det er svingninger (bølger) av dette slag som Grotnes har observert, men det kan også ha vært en større vannutskiftning. Overlagret på disse svingninger ligger interne svingninger med en frekvens av omtrent det dobbelte av tidevannet. Hvis disse faktorer samvirker, kan det oppstå store svingninger i vannmassene under sprangsjiktet og en teoretisk mulighet foreligger at råttent vann kan trenge høyere opp. Imidlertid er det liten sannsynlighet for at det vil bli større gjennombrudd til overflatelaget.



Figur 15. Bevegelser av øvre grenseflaten for hydrogen-sulfidholdig vann i Rossfjordvatn den 19-20.10.1986.

Den korte observasjonsperioden gir ikke grunnlag for å bedømme hvilke prosesser som er av størst betydning for en opptrengning av råttent vann. For å klarlegge dette må det foretas observasjoner over lengre tid, helst en årssyklus. Slike observasjoner er nødvendige også for å bedømme når risikoen er størst og hvor ofte slike episoder kan forekomme. Det kan være slik at bevegelser av dette slag kun inntreffer ved en kombinasjon av kraftig vind, dypvannsfornyelser og lav ferskvannstilførsel. Dette bør undersøkes hvis en i framtiden ønsker å kunne vurdere problemer i Rossfjordvatn.

#### 8. VANNUTTAKETS EFFEKT PÅ DE INTERNE BØLGENE.

Det er registrert interne bølger i Rossfjordvatn. Store forandringer i sjiktningen i Rossfjordvatn vil kunne ha en effekt på disse bevegelser. Imidlertid vil det planlagte vannuttaket og reduksjonen av ferskvannstilførselen bli så liten at det ikke vil gi påvisbare endringer i fjordens egenskaper som kan påvirke disse bevegelser. Dagens naturlige variasjoner vil gi større forandringer enn det som vil bli påført av den planlagte reduksjonen av ferskvannstilførsler fra Finnfjordvatn. Dessuten har vi sannsynliggjort at det er vindeffekten som er av størst betydning for svingninger med konsekvenser for den vertikale bevegelsen av råttent vann. Således kan en se bort fra at den planlagte endringen vil kunne øke risikoen for opptrengning av råttent vann som følge av endringer i karakteren til de interne bølgene.

#### 9. SAMMENFATTENDE VURDERINGER.

Kritiske faktorer for i hvilken grad det råtne vannet vil påvirke organismer som lever mellom sprangsjikt og grenseflaten for råttent vann er mengden tilført oksygen til dette laget kontra mengden organisk stoff som tilføres, dvs. forskjellen mellom forbruk og tilførsel av oksygen. En økt forurensning av fjorden vil gi økte mengder hydrogensulfid i disse vannlag. Dette vil ha betydelige konsekvenser for organismer som idag lever under sprangsjiktet. Rossfjordvatn er meget følsomt for slike forandringer. Dette har sin forklaring i vannutskiftningen mellom Rossfjordvatn og Malangen med en stor resirkulering og lang oppholdstid av brakkvannet i Rossfjordvatn.

Utslipp i Rossfjordvatn (Finnfjordvatn) og i Straumen vil belaste Rossfjordvatn og bør således begrenses i størst mulig utstrekning

(fjerning av næringssalter og organisk stoff). Med den dårlige vannutskiftningen i Straumen (dårlig til tross for de sterke strømstyrker som er observert) er det nødvendig å begrense utslipp til Straumen også med hensyn til Straumens egen tilstand. Samtlige utslipp mellom Finnlanes og Heggeskogen på begge sider av Straumen vil gi effekter i hele området ved at avløpsvannet føres frem og tilbake og kun gradvis føres ut av Straumen til Rossfjordvatn eller Malangen.

En større reduksjon av ferskvannstilførselen til Rossfjordvatn vil ha store konsekvenser for systemet. Slike tiltak må frarådes med nåværende kjennskap til området. Den planlagte reduksjonen av ferskvannstilførselen vil imidlertid ikke forandre forholdene i Rossfjordvatn i en slik grad at situasjonen vil bli påvisbar forskjellig fra dagens forhold. Sannsynligheten for et gjennombrudd av råttent vann til overflaten vil bli den samme som før vannuttaket blir satt i drift.

Dette kan forklares ved at den planlagte reduksjonen av ferskvannstilførselen vil øke tilførselen av oksygenrikt sjøvann til Rossfjordvatn. Samtidig vil den vertikale saltholdighetsgradienten bli opprettholdt ved en noe høyere saltholdighet i overflatelaget, men også høyere saltholdighet i mellomlagene når det skjer en økt innstrømming av sjøvann fra Malangen. Samtlige forandringer vil være beskjedne når forandringen i ferskvannstilførselen ikke blir større enn her forutsatt.

#### 10. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER.

Rossfjordvatn har en meget spesiell vannutveksling. Periodevis tilføres fjorden sjøvann fra Malangen. I perioder med stor ferskvannstilførsel og lav tidevannsforskjell i Malangen er strømmen gjennom Straumen kun utgående. Saltholdigheten i Rossfjordvatnets overflatelag og sprangsjiktets dyp varierer lite ved ulike ferskvannstilførsler. Dette skyldes resirkuleringen av brakkvann i Straumen, muligens også lav saltholdighet i Malangens overflate.

Den foreslåtte ferskvannsreguleringen vil ha liten innvirkning på Rossfjordvatnets overflatesaltholdighet og sprangsjiktets dyp, forutsatt at vannføringen ikke blir mindre enn beregnet. Svingninger i sprangsjiktet fører råttent vann opp på høyere nivå i perioder med kraftig vind eller ved en stor tilførsel av sjøvann. Den foreslåtte reguleringen vil ikke forandre frekvens eller omfang av slike episoder.



Imidlertid er oksygenforholdene under sprangsjiktet og over det hydrogensulfidholdige vannet kritiske for organismer på dette nivå. Nå kan det neppe være tvil om at naturgitte forhold i stor grad er bestemmende for oksygenforholdene. Denne vannmassen (< ca. 10m) ligger imidlertid så høyt at det kan være mulig å bedre oksygenforholdene ved å redusere forurensningsbelastningen. Resirkulering av vann i Rossfjordstraumen gir en lang eksponeringstid av avløpsvann som tilføres området. Dessuten belaster de selve Rossfjordvatn. Dette avløpsvannet bør i så fall renses eller føres ut av systemet til en mindre ømfintlig resipient, f.eks. slippes ut på dypt vann i Malangen.

#### 11. BEHOV FOR OBSERVASJONER OG MULIGE ANDRE TILTAK FOR Å FORBEDRE OKSYGENFORHOLDENE I ROSSFJORDVATN.

For bedre å kunne avgjøre under hvilke forhold vind eller dypvannsfornyelse fører til opptrengning av råttent vann til overflatelaget, må det utføres observasjoner over en årssyklus. Dermed vil man også ha et vesentlig bedre grunnlag for å bestemme risikoen for slike situasjoner. En bedre kjennskap til fjordens hydrografiske årssyklus er også verdifullt sett ut fra et forurensningsperspektiv. Et slik måleprogram må bestå av en kombinasjon av selvregistrerende instrumenter og tradisjonelle hydrografiske observasjoner. Sjiktingen bør observeres ca. 2 ggr pr. måned i Rossfjordvatn; Straumen og Malangen. Temperaturen bør observeres kontinuerlig i to punkter nord og syd i Rossfjorden, likesom vannstanden i Malangen og strømmen i Straumen. Ferskvannstilførselen må observeres. Samtlige observasjoner bør kunne utføres lokalt.

Ved å slippe ut ferskvann på dypt vann i Rossfjordvatn vil dypvannsfornyelsen øke og oksygenforholdene kan bli bedre. Dette er prøvd på andre fjorder i Norge med godt resultat. Teoretisk er det mulig å få Rossfjordvatn helt fri fra hydrogensulfid, men i praksis bør det være tilstrekkelig å få bedre forhold mellom sprangsjikt og kanskje ca. 40 meters dyp. Dette ville gjøre fjorden mer brukbar til fiske og en ville unngå risiko for opptrengning av råttent vann. Før man prøver en slik løsning i Rossfjordvatn bør det foretas en grundigere vurdering av konsekvensene, spesielt mht. de biologiske og vannkjemiske forhold i 0-10m dyp.

## 12. LITTERATUR.

- Føyn, E. (1958): Sprangsjikt, oksygenminimum og sperreflater for fisk. Fauna, nr 11, pp. 121-131.
- Haugene, E. (198?): Stratigrafiske undersøkelser av kystnære basseng og strandforskyvning i Nord-Troms. Hovedfagsoppgave i eksogen geologi, Universitetet i Tromsø.
- Hognestad, P. (in prep): The Rossfjord lake herring and its environment.
- Holtan, H. (1986): Uttak av vann fra Finnfjordvatn til Finnfjord industriområde. Vurdering av eventuelle forrensningseffekter. O-86036. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Holtan, H. og Knutzen, J. (1977): Orienterende resipientundersøkelser i Troms II. Lenvik kommune. O-40/76. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Holtan, H. og Magnusson, J. (1985): Vurdering av Finnfjordvatn, Rossfjordvatn og Rossfjordstrømmen som resipient. Norsk institutt for vannforskning. O-84146.
- Hydrologiservice A/S, (1986): Vannuttak fra Finnfjordvatn i Lenvik kommune. Beregning av vannstands- og vannføringsforhold. Utredning datert 30.12.1986.
- Kirkerud, L. og Magnusson, J. (1977): Fiskedød i Oslofjorden 1976. Norsk institutt for vannforskning. Årbok 1977.
- Thede, H., Ponat, A., Hiroki, K. and Schlieper, C. (1969): Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen deficiency and hydrogen sulphide. *Marin. Biol.* 2, pp. 325-337.
- Skei, J. (1986): The biogeochemistry of Framvaren. A permanent anoxic fjord near Farsund, South Norway. Datareport 1931-1985. F-80400. Norwegian Institute for Water Research.
- Stigebrandt, A. (1980): Barotropic and baroclinic response of a semi-enclosed basin to barotropic forcing from the sea. In: *Fjord Oceanography*, (ed. by H.J. Freeland, D.M. Farmer and C.D. Levings). Plenum.