

0-110/74

RESIPIENTUNDERSØKELSE I KORSVIKSFJORDEN,

KRISTIANSAND

Saksbehandler: fil.kand. Jan Magnusson

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

## FORORD

Etter oppdrag fra Kristiansands Ingeniørvesen har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) utført en undersøkelse i henhold til instituttets programforslag av den 28.5.1975 med noen mindre forandringer. Undersøkelsen har omfattet hydrografiske og hydrokjemiske feltmålinger i Korsviksfjorden for å bedømme fjordens kapasitet som resipient for utslipp av avløpsvann fra et planlagt renseanlegg.

De hydrokjemiske målingene er utført av Agder Distriktshøgskole (ADH) i Kristiansand. Vi vil hermed takke cand.real A.T. Andersen ved ADH (amanuensis ved institutt for marinbiologi, Avd. for marin kjemi Universitetet i Oslo) som har hatt ansvaret for opplæring og igangsetting av felt- og laboratoriearbeid ved ADH. Vi vil videre takke cand.real. Sofus Klausen, cand.real Helge Solheim og høgskolekandidat Tom Einar Pedersen ved ADH som har gjennomført og presentert resultatene fra det hydrokjemiske programmet (Resipientundersøkelse for kloakkutslipp i Korsviksfjorden, KRISTIANSAND ADH 1976).

Ved NIVA har cand.real. Lars Kirkerud deltatt i utarbeidelsen av denne rapportes hydrokjemiske-biologiske del. Siv.ing. Birger Bjerkgeng har utført beregninger for kloakkvannets innlagring og primærfortynning. Begge de sistnevnte har dessuten deltatt i diskusjonene og arbeidet med øvrige deler av rapporten.

Skipsfører Einar Andersen og forskningsassistentene Norman Green og Frank Kjellberg har deltatt i feltarbeide og primærdatabehandling.

Til slutt en spesiell takk til ing. Jørgensen i Kristiansands Ingeniørvesen som har vært koordinator for feltarbeid og framdrift.

Brekke, den 1. desember 1976

Jan Magnusson

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	5
INNLEDNING	6
2. TOPOGRAFI	7
3. OBSERVASJONER OG METODIKK	7
4. HYDROGRAFI	10
A. Vannutskiftning	10
B. Strømmålinger	19
C. Hydrokjemi	31
5. UTSLIPPSMENGDER	36
6. UTSLIPPETS VIRKNINGER I RESIPIENTEN	39
A. Oksygenforholdene	39
B. Fosfor	40
C. Nitrogen	43
D. Planteplankton og organisk karbon	44
7. SAMMENFATTENDE VURDERING	47
A. Generelt	47
B. Dyputslipp	49
C. Utslippssted	51
8. ANBEFALINGER	52
A. Rensegrad og utslippstype	52
B. Utslippssted	53
VEDLEGG A. Primærfortynning og innlagring av avløpsvann i Korsviksfjorden	55
VEDLEGG B. Overvåking av Korsviksfjorden	74
REFERANSER	76

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
1. Arealer og volumer i Korsviksfjorden	7
2. Tokter i Korsviksfjorden 1975	11
3. Beregnende totaltransporter inn og ut av Korsviksfjorden, 27.6.1975-13.1.1976 (V, m <sup>3</sup> /s)	14
4. Ortofosfat (µg P/l) ved stasjon 5 juli-desember 1975	31
5. Nitrat+ammonium ( µg N/l) ved stasjon 5 juli-desember 1975	33
6. Vektforhold nitrat+ammonium/ortofosfat ved stasjon 5 juli-desember 1975	33
7. Oksygenmetning (%) på stasjon 5 juli-desember 1975	33
8. Utslippsmengder (kg/døgn) til Korsviksfjorden ved forskjellige rensealternativer (avrundede tall)	37
9. Antatte konsentrasjoner i utslippsvann etter forskjellige rensetiltak (1990)	38
10. Oksygeninnhold i Korsviksfjorden (tonn)	39
11. Innhold av fosfor i form av ortofosfat (kg) i Korsviksfjorden	41
12. Innhold av fosfor i form av total-fosfor (kg) i Korsviksfjorden	41
13. Innhold av nitrogen (kg) som summen av nitrat, nitritt og ammonium i Korsviksfjorden	43
14. Teoretisk beregnet planteplanktonproduksjon pr. måned basert på fosfor og nitrogen ved forskjellige rensemeter. Utslipps- mengde som prognostisert for år 2015	45
15. Som tabell 14, men med beregnet maksimale naturlige vannttransporter	45
16. Prognose for potensiell konsentrasjon av organisk karbon (mg org. C/l) som resultat av direkte belastning og plante- planktonproduksjon år 2015.	45

## FIGURFORTEGNELSE

Side:

1. Stasjonsplassering	8
2. Detaljkart	9
3. Saltholdighetsvariasjoner juni 1975-januar 1976 i Korsviksfjorden og Kristiansandsfjorden	12
4. Temperaturvariasjon ved stasjon 5 Korsviksfjorden juni 1975-januar 1976	13
5. Beregnet vannutskiftning ( $V \text{ m}^3/\text{s}$ ) som funksjon av observasjonsfrekvensen (døgn)	16
6. Døgnsmiddel av vindens styrke og retning ved Oksøy fyr høsten 1975	17
7. Strømmåling i Korsviksfjorden 20 m dyp	20
8. Frekvensspektra, Korsviksfjorden, Kristiansand 20 m dyp	21
9. Dekomponert strøm	23-30
10. Vertikalfordeling av ortofosfat, nitrat (nitritt og ammonium), oksygenmetning, saltholdighet samt siktedyp ved stasjon 5 i Korsviksfjorden 5.8.1975	32
11. Spredning av kloakkvann fra dyputslipp	50
12. Utslippsområde	54

## INNLEDNING

Kristiansand kommune planlegger å samle avløpet fra bolig- og industriområder øst for Topdalsfjorden til et sentralt renseanlegg med utslipp i Korsvikfjorden. Utslippsmengdene er antatt å bli opp til ca. 10 000 m<sup>3</sup> pr. døgn om 10-15 år (se videre kap. 5).

Denne rapport behandler Korsvikfjorden som resipient for det kommende renseanlegget og gir anbefalinger vedrørende utslippssted og rensegrad under den forutsetning at Korsvikfjordens økosystem og bruksverdi skal være omtrent den samme som idag, da fjorden er relativt lite belastet med forurensninger.

## 2. T O P O G R A F I

Korsvikfjorden har et største dyp på vel 70 meter. I nord er terskeldypet mellom Lyngøy og land ca. 7 meter. Hovedforbindelsen mellom Korsvikfjorden og Kristiansandsfjordener terskelfri mellom Tueboen og Dvergsnes. Det er foretatt en enkel beregning av volumet på området. Planimetrering har blitt utført etter figur 1, hvor en del grunnområder innenfor Valvigen ikke er tatt med. Dette påvirker dog ikke nevneverdige volumberegninger som er utført.

Tabell 1.

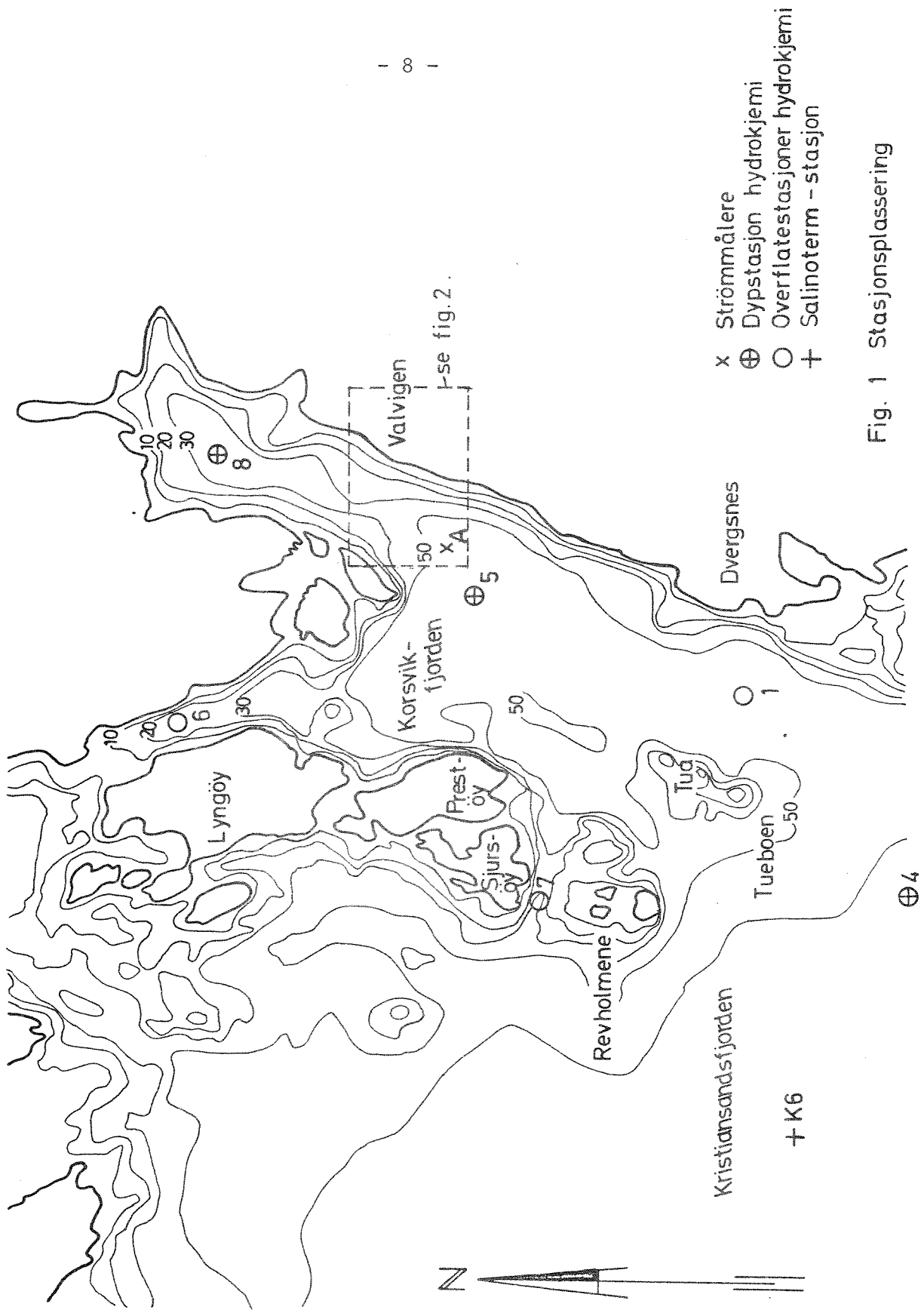
Dyp (m)	Areal, $10^4 m^2$
0	193
20	145
40	98
60	44
80	3

Dyp (m)	Volum, $10^4 m^3$
0-10	1810
0-20	3402
0-30	4732
0-40	5832
0-50	6677
Bunn	7697

Figur 2, som er blitt utarbeidet av Kristiansands Ingeniørvesen, viser en mer detaljert topografi på området utenfor Valsvik. Kartet viser et grunnområde på under 15 meters dyp utenfor Valsvik, som ikke er avmerket på sjøkart.

## 3. O B S E R V A S J O N E R og M E T O D I K K

Kristiansands Ingeniørvesen har utført målinger av temperatur og saltinnhold på 4 stasjoner i området (stasjon 4, 5, K6 og 8 på fig. 1). Målingene er utført med salinoterm. Hydrokjemiske observasjoner er gjort av Agder Distrikshøyskole (ADH) på stasjonene 1, 4, 5, 6, 7 og 8, hvor det på stasjonene 1, 6 og 7 kun ble innsamlet overflateprøver.



- x Strømmålere
- ⊕ Dypstasjon hydrokjemi
- Overflatesstasjoner hydrokjemi
- + Salinoterm - stasjon

Fig. 1 Stasjonsplassering



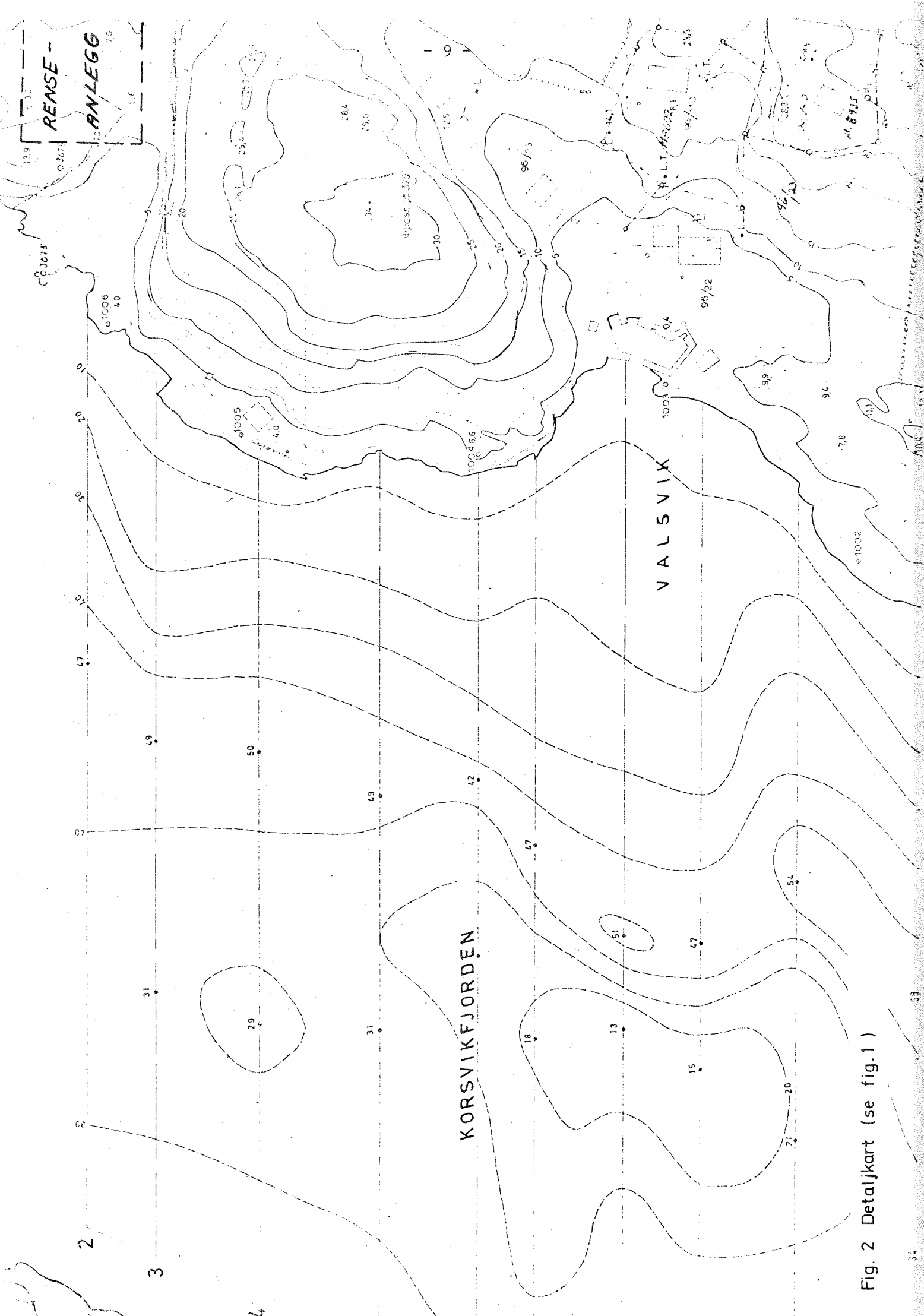


Fig. 2 Detaljkart (se fig.1)

Prøvedypene var 0 - 4 - 8 - 12 - 16 og 20 meter, og deretter hver tiende meter til bunn. Det ble brukt Nansen-vannhentere med vendetermometre. Analyser av salinitet, nitrat, ammonium, total-nitrogen, orto-fosfat, total-fosfor og oksygen ble utført av ADH. Analysemetodene er beskrevet i rapport fra ADH (1976).

Fra 8.10 - 28.11.1975 var en selvregistrerende strømmåler utsatt på 20 meters dyp i pkt. A (se fig. 1). Strømmens retning og styrke ble registrert. Strømdataene er lagret på bånd og statistisk behandlet av Vassdrags- og Havnelaboratoriet ved SINTEF i Trondheim.

Den hydrografiske observasjonsfrekvensen fremgår av tabell 2 nedenfor.

#### 4. H Y D R O G R A F I

##### A. Vannutskiftning

Figurene 3 og 4 viser salt- og temperaturvariasjoner høsten 1975 på tre stasjoner (K6, 5 og 8). Figurene er sammenstilt av data innsamlet av Agder Distriktshøgskole (ADH) og Kristiansands Ingeniørvesen (KI). Stasjon K6 ligger ute i Kristiansandsfjorden. De øvrige stasjoner ligger i Korsviksfjorden.

Som det fremgår av figurene, er det relativt liten forskjell i sjiktningen mellom stasjonene. De store hydrografiske variasjonene går igjen på samtlige stasjoner. Sesongvariasjonene fremtrer også med vann med høyt saltinnhold i november - desember og betydelig lavere saltinnhold om sommeren og utover høsten.

De store svingninger i saltinnholdet viser at det er stor vanntransport i området. Totale transporter ut og inn i området fra Kristiansandsfjorden er blitt beregnet ut fra sjiktningens variasjoner - d.v.s. volumet av et bestemt saltinnholdslag er beregnet mellom to observasjoner der:



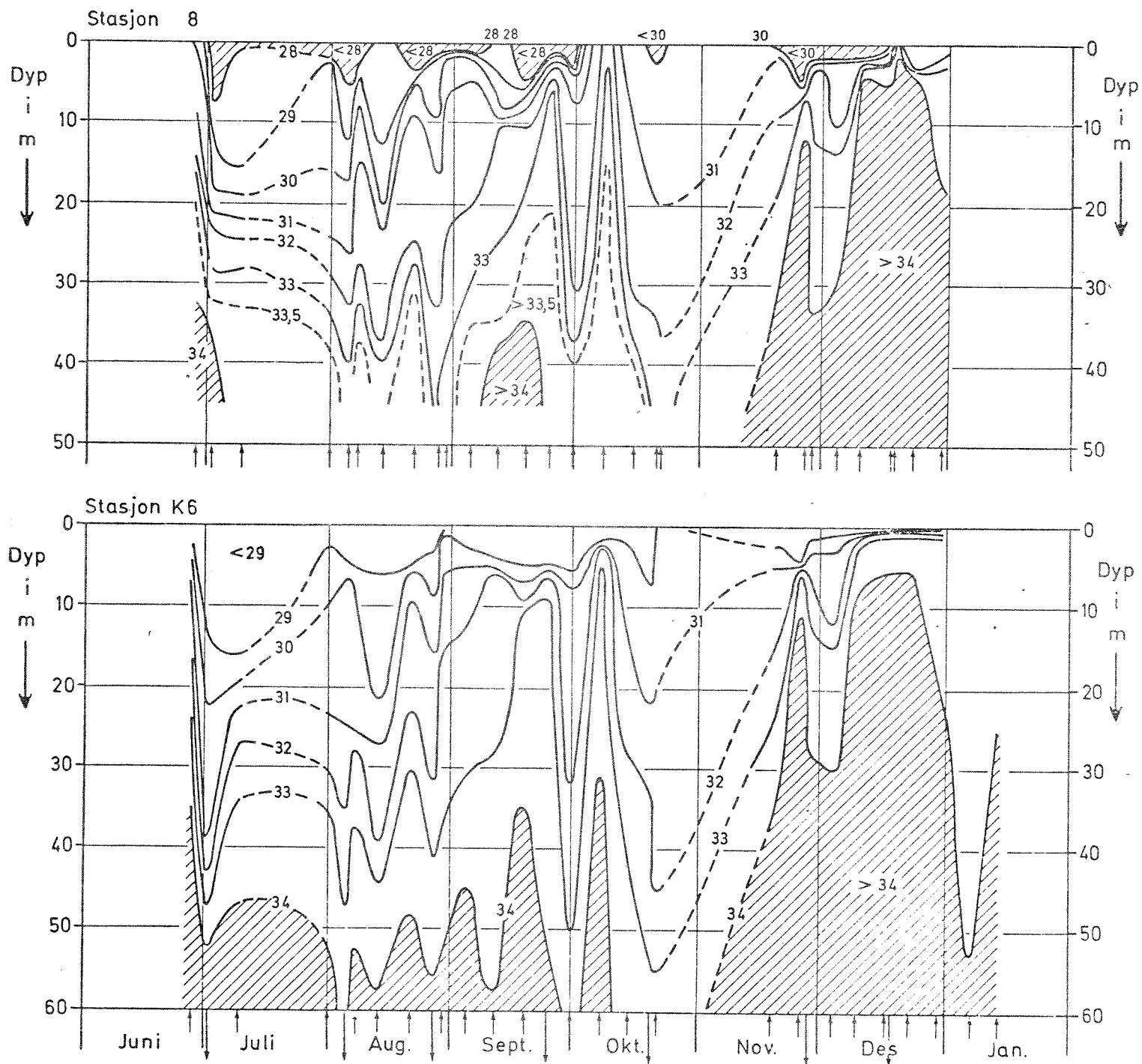


Fig.3 Saltholdighetsvariasjoner juni 1975 - januar 1976 i Korsviksfjorden (stasjon 8) og Kristiansandsfjorden (stasjon K6) († = observasjon)

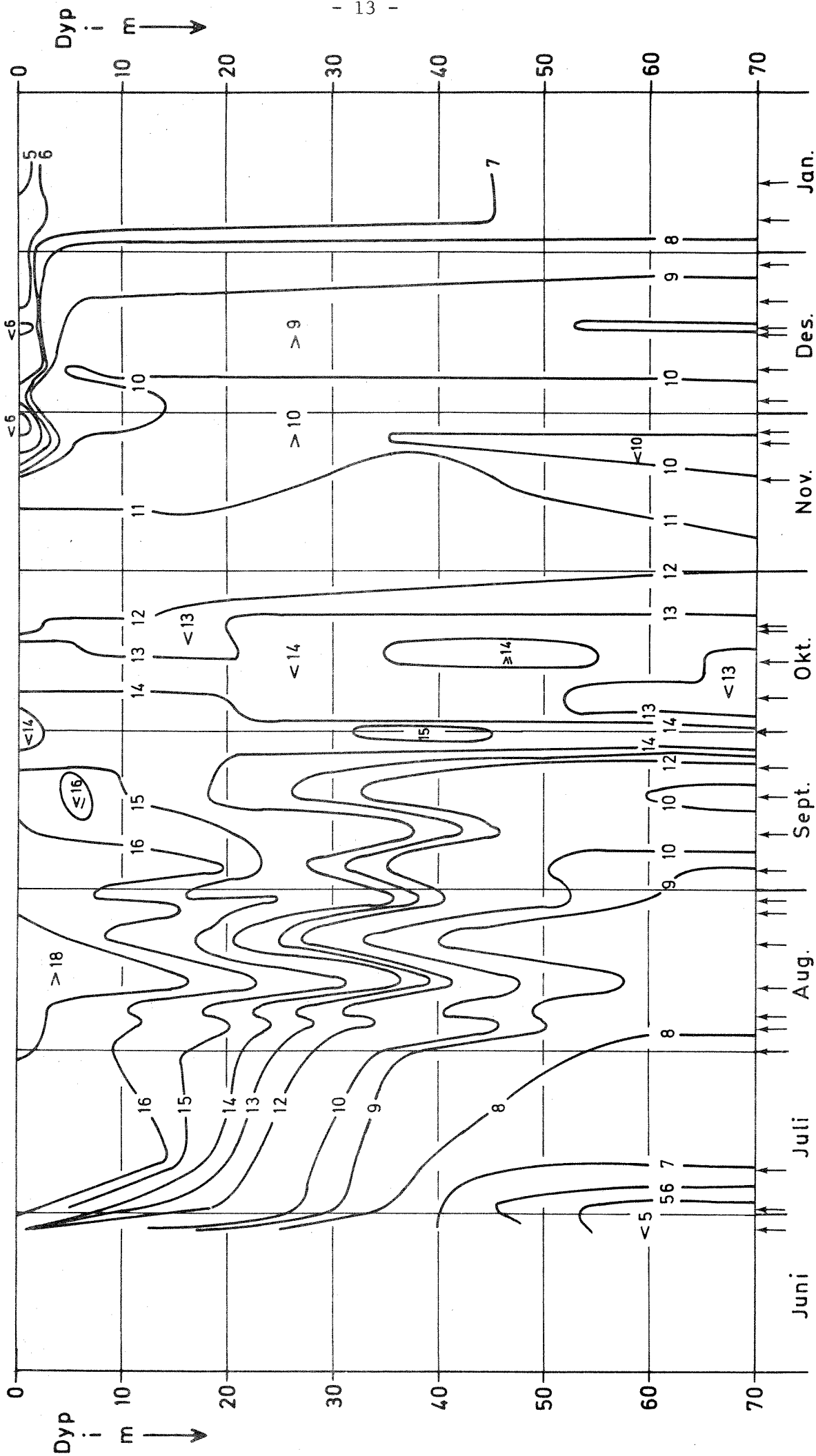


Fig.4 Temperaturvariasjon ved stasjon 5 Korsvikfjorden juni 1975 - januar 1976

$$V_{(t)} = \frac{d}{dt} \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} A dz$$

hvor  $V_{(t)}$  = volumforandring

A = areal

z = dyp

$Z_i$  = dyp med salth.  $S_i$  (‰)

$Z_{i+1}$  = " " " "  $S_{i+1}$  (‰)

S = saltholdighet

t = tid

Beregningen er en forenkling av en metode som er blitt brukt av Wallin (1975) i Østersjøen og Rydberg(1975) i en vestsvensk fjord. Beregninger av vanntransport på denne måten gir minimale transporter i dette tilfellet. Integreringen er utført i hele promille opp mot 34 ‰. Blandingseffekter er utelatt, likeså diffusjonen, som er betraktet som ubetydelig i forhold til advective bevegelser i området.

Det forutsettes også at det er nytt vann som tilløper området, d.v.s. at vann som forlater fjorden ikke kommer tilbake. Den sistnevnte forutsetningen kan gi for store transporter, men fjorden er liten, og temperatur- og saltobservasjoner samt hydrokjemiske observasjoner viser at eventuelle feil i antagelsen ikke kan være store. Den relativt lave observasjonsfrekvens bør i stedet være mer betydningsfull for beregningenes utfall (se nedenfor).

Tabell 3. Beregnete totaltransporter inn og ut av Korsvikfjorden, 27.6.1975 - 13.1.1976 (V, m<sup>3</sup>/s)

Periode 1975	V (m <sup>3</sup> /s)	Periode 1975/1976	V (m <sup>3</sup> /s)
27.6- 1.7	180	30.9 - 7.10	190
1.7- 9.7	88	7.10-14.10	194
31.7- 5.8	86	14.10-20.10	60
5.8- 7.8	256	20.10-21.10	264
7.8-13.8	104	18.11-25.11	136
(13.8-27.8	34) <sup>x</sup>	25.11-27.11	496
27.8-29.8	136	27.11- 3.12	64
29.8- 4.9	50	3.12- 9.12	154
4.9-11.9	38	9.12-15.12	94
11.9-18.9	76	16.12-17.12	506
18.9-24.9	98	17.12-22.12	206
24.9-30.9	194	22.12-24.12	172
		- 1976	
		29.12- 5.1	58
		6.1 -13.1	66

<sup>x</sup>14 dager mellom observasjonene (se videre nedenfor)

Figur 5 viser observasjonsfrekvensens innvirkning på beregningene. De fleste observasjoner er utført med ca. en ukes intervall, og viser et spektrum mellom 200 - 40 m<sup>3</sup>/s. Når observasjoner er utført med ett til to døgn mellomrom, øker transporten til vel 500 m<sup>3</sup>/s. De to høyeste verdiene representerer dog november og desember med store skiftninger i hydrografien. Det må allikevel være klart at med observasjoner en gang pr. uke vil de beregnede vanntransporter ikke bli større enn i virkeligheten.

Den gjennomsnittlige transporten i fjorden i juli - august blir ca. 140 m<sup>3</sup>/s, for september ca. 90 m<sup>3</sup>/s, for oktober ca. 180 m<sup>3</sup>/s, og for november - desember ca. 190 m<sup>3</sup>/s.

Med et totalvolum på  $7\,700 \times 10^4 \text{ m}^3$  vil "halveringstiden" på vannmassene i fjorden for de respektive perioder bli:

Juli - august	6 døgn
September	10 "
November - desember	5 "

Dette betyr at fra det øyeblikk et konservativt stoff tilsettes vannmassene i hele fjorden, vil det ta fra 10 - 20 døgn innen alt stoff er ute av fjorden.

Det fremgår videre av figur 3 at det forekommer tilfeller når dypere liggende vannmasser presses opp mot overflaten i løpet av en uke. Den økende saltholdigheten er falt sammen med eller forårsaket av sterke sydvestlige til vestlige vinder i de fleste tilfeller (se fig.6). Saltholdigheten i området har avtatt etter perioder med sydvestlige vinder eller ved sterke nordøstlige/østlige og sydlige vinder.

Vindfeltets påvirkning av sjiktningen i Korsvikfjorden kan være en lokal effekt, men også en respons på variasjoner utenfor kysten. Sydvestlige vinder utenfor kysten vil medføre en nettotransport av overflatevann ut fra kysten (Ekmantransport), mens nordøstlige til sydlige vinder vil stue opp vann mot kysten. En transport av overflatevann ut av systemet vil kompenseres med en innstrømming av dypere liggende vannmasser fra havet ved

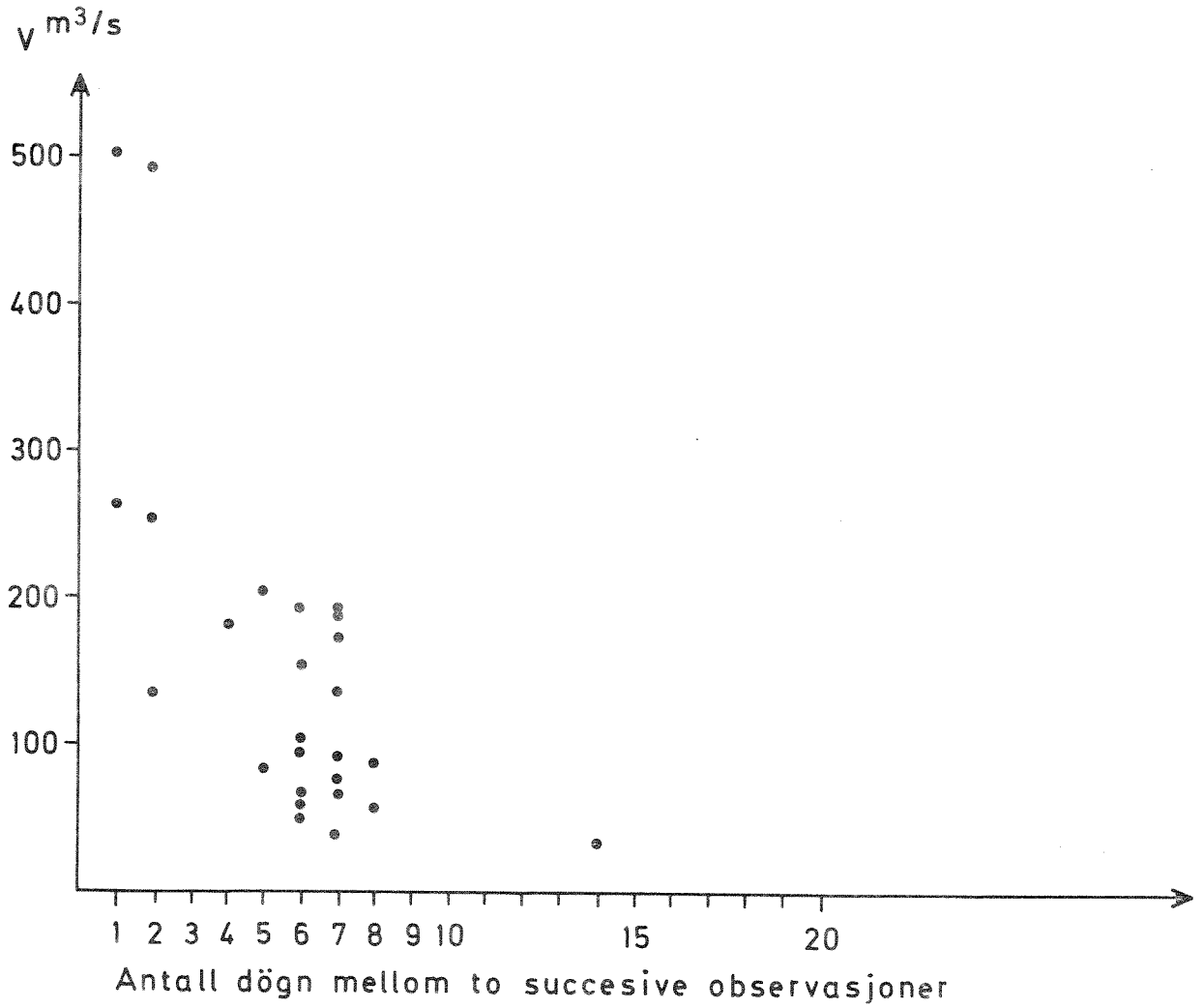


Fig.5 Beregnet vannutskiftning ( $V \text{ m}^3/\text{s}$ ) som funksjon av observasjonsfrekvensen (døgn)



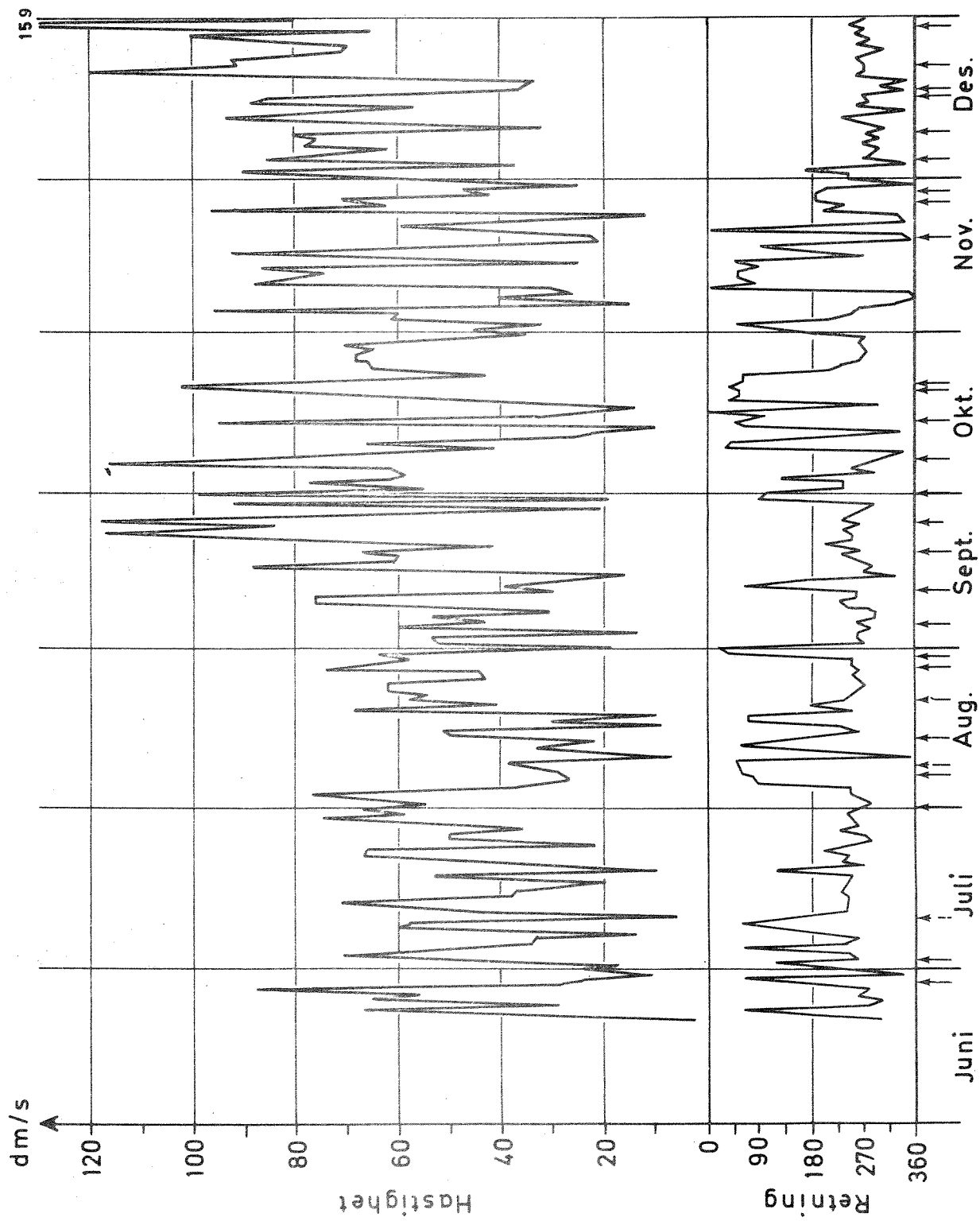


Fig.6 Dögnmiddel av vindens styrke og retning ved Oksøy fyr hösten 1975  
Data fra Meteorologisk institutt      ↑ = hydrografisk observasjon

sydvestlige vinder, mens det omvendte vil skje ved nordøstlige til sydøstlige vinder. Denne transportmekanismen er overlappet den estuarine sirkulasjonen i Kristiansandsfjorden og formodentlig en av de mest betydningsfulle for fjordens vannutskiftning.

Saltholdigheten i Korsvikfjordens overflatelag avhenger av brakkvannstilførselen fra Topdalsfjorden bland annet gjennom sundet vest for Lyngøy - og fra Otra. Salinitetsforholdene i overflatelaget i Kristiansandsfjorden er beskrevet tidligere (NIVA 0-111/64,1971). Otra og brakkvannet fra Topdalselva var ved to observasjoner i 1968 adskilt av en saltvannskile i Kristiansandsfjorden. De målinger av overflatevannets saltholdighet i Korsvikfjorden som det ble redegjort for av ADH (1976), viser høyere overflatesaltholdigheter langs Dvergenes og indre del av fjorden ved hovedsaklig sterke vinder fra sydvest og nordøst. I andre tilfeller - d.v.s. svake sydvestlige vinder og øvrige vindretninger - ble det registrert overflatevann av lavere salinitet i de ytre delene av Korsvikfjorden. Dette kan indikere en bakevje-effekt av det utstrømmende brakkvannet i Kristiansandsfjorden.

## B. Strømmålinger

Fra den 8.10 til den 28.11. 1975 var en selvregistrerende strømmåler plassert i punkt A (fig. 1) på 20 meters dyp. Formålet med denne strømmålingen var å få en oppfatning om strømmens egenskaper i fjorden på det dyp en antok at avløpsvannet skulle bli innlagret. Ved utplasseringen av strømmåleren forelå kun resultater vedrørende sjiktningen i fjorden, og valget av observasjonsdyp viste seg mindre vellykket når resultatet fra de hydrokjemiske målingene var ferdige.

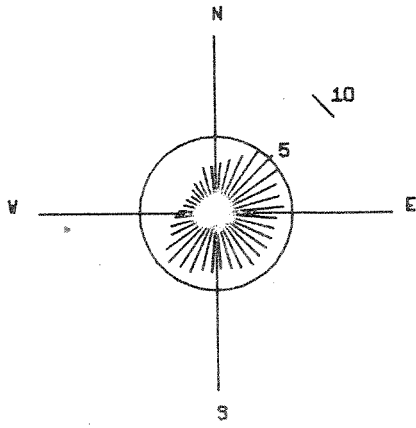
Fig. 7 viser statistisk behandlede resultater av strømmålingene og viser fremfor alt topografiens innvirkning på strømretningen. Ca. 90 % av de observerte strømretningene lå mellom  $0^{\circ}$  og  $270^{\circ}$ , hvilket kommer av at grunnområdet nord-vest for strømmåleren (se fig. 2) <sup>x)</sup> strømhastigheten var lav. I omtrent 16 % av tiden var strømstyrken under 1,5 cm/s. Den midlere strømstyrken i hele perioden var mindre enn 4 cm/s.

En frekvensanalyse av strømmen (fig.8) viste at det halvdaglige tidevannet var svakt. Dominerende perioder var istedet på 13-14 timer, samt på ett til flere døgn. Dette betyr at meteorologiske forhold er den dominerende strømdrivende mekanisme i området. Frekvensspektret viser markerte energitopper omkring treghetsperioden (14 timer). (Treghetsperioden er en funksjon av jordens rotasjon). Dette kan være en effekt av interne bølger generert av vinden ved kysten utenfor Kristiansandsfjorden. Hayes og Halpenn (1976) registrerte energitopper ved treghetsperioden utenfor Oregonkysten i U.S.A. i sammenheng med vindvekslinger som startet upwelling langs kysten. Energien var hovedsaklig begrenset til vannmassene ovenfor og omkring sprangsjiktet. De interne bølgeperiodene døde ut etterat vindvekslingen var over. Det er trolig samme effekt som medfører energitoppene rundt 13 til 16 timer i Korsvikfjorden, d.v.s. interne bølger generert utenfor kysten i forbindelse med vekslinger i vindens styrke og retning.

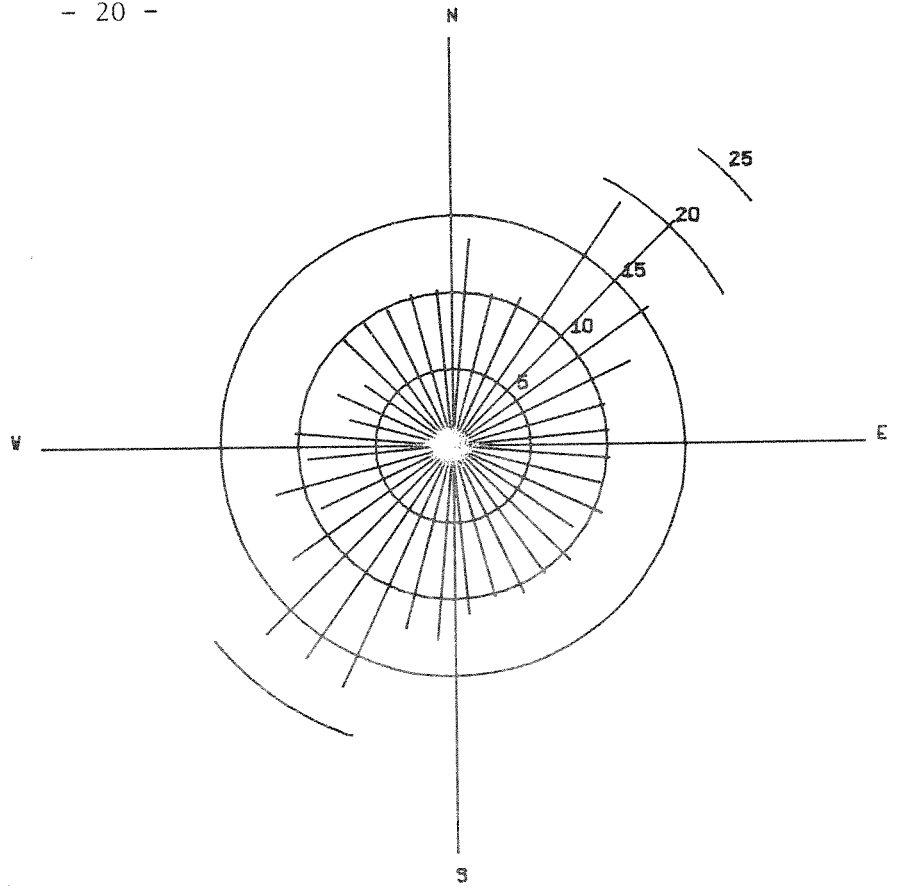
Fig. 9 viser dekomponert strøm som timdesmiddel og som 25 timers glidende middel. Kun ved fire tilfeller viser strømmen en stabil transport i bestemt retning av noen størrelse (24.-26.10, 3.-5.11, 15.-16.11 og 24.-26.11). Reststrømmer over døgnet var ved disse tilfeller sydøstlig-østlig til nordøstlig. Vinden skiftet både retning og styrke i begynnelsen av hver periode med en sterkere reststrøm, dog var den for det meste syd til vestlig.

x)

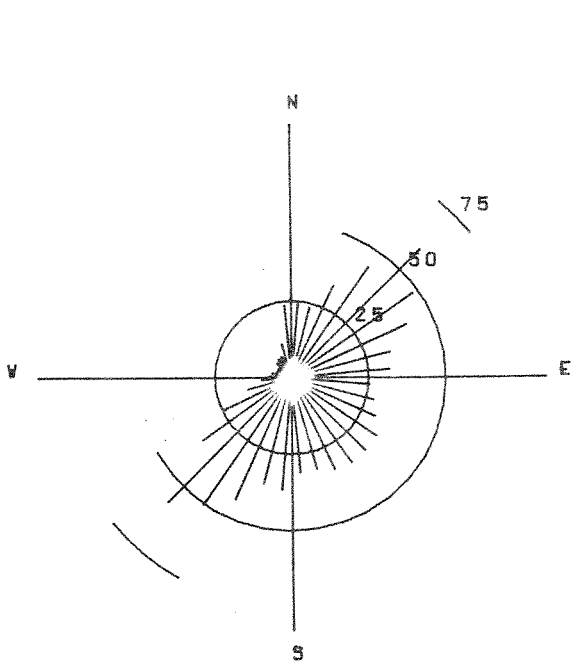
strømmens retning angir i hvilken retning strømmen setter mens vindens retning angir i hvilken retning vinden kommer.



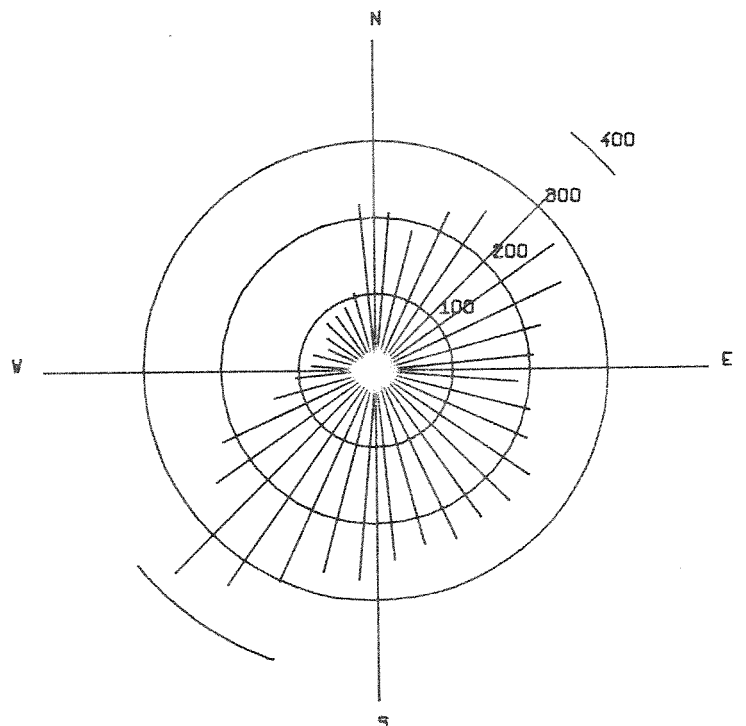
a) Middelström



b) Max. ström.



c) Transport prosent



d) Rettningsfordeling

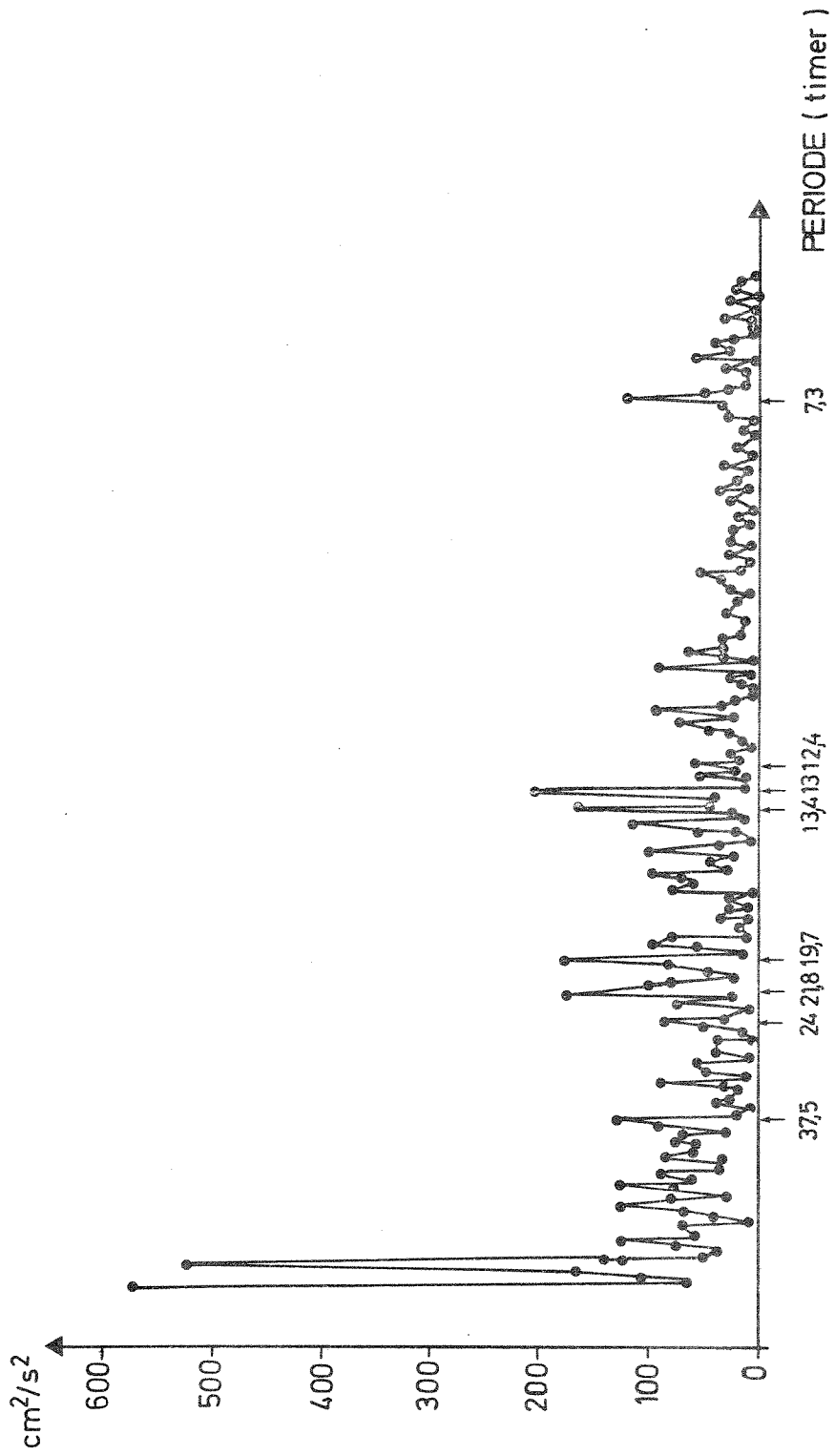


Fig. 8 Frekvensspektra, Korsviksfjorden, Kristiansand 20 m dyp.

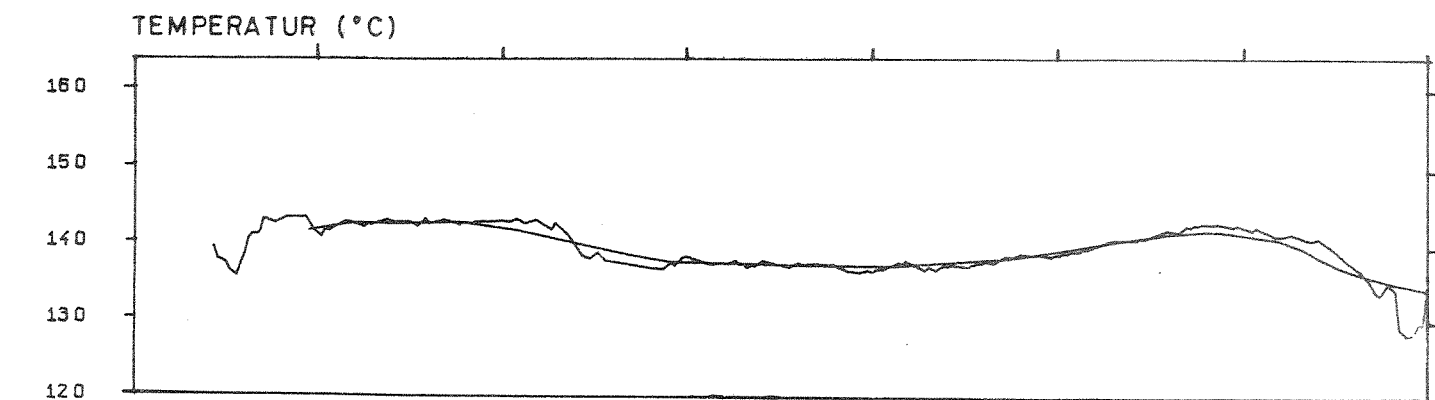
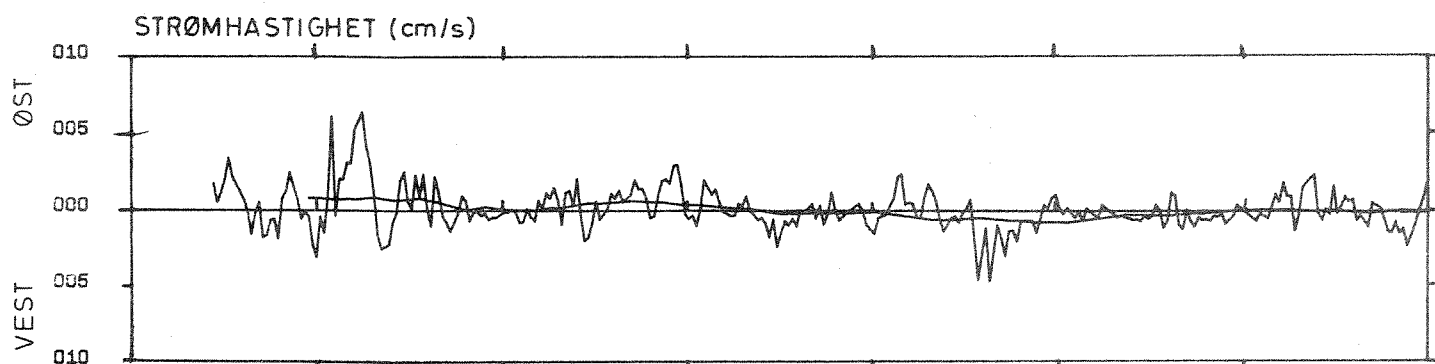
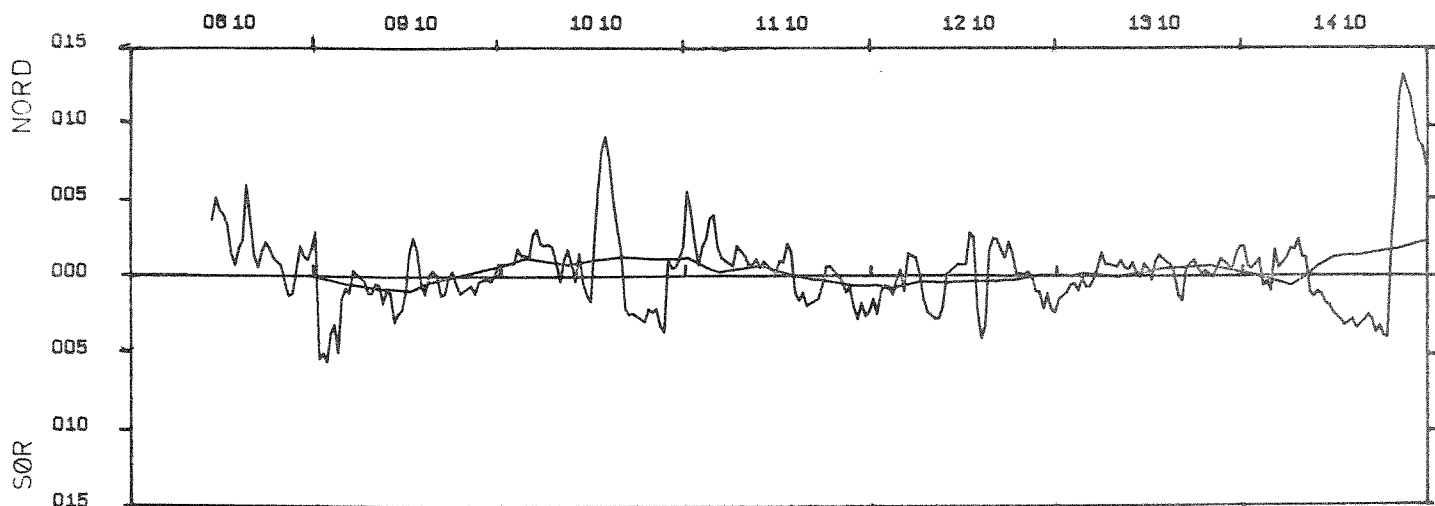
Med målinger fra kun en strømmåler kan en ikke oppnå mer enn en indikasjon av strømforholdene i området. I dette tilfelle viste resultatene på en vinddominerende vannbevegelser og en liten innflytelse av tidevann. Spesielt ga vekslinger i vindfeltet bevegelser i vannmassene i Korsvikfjorden spesielt ved sterke syd-sydvestlige vinder.

OBSERVASJONSPERIODE : - 23 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYPP: 20m



1242

01

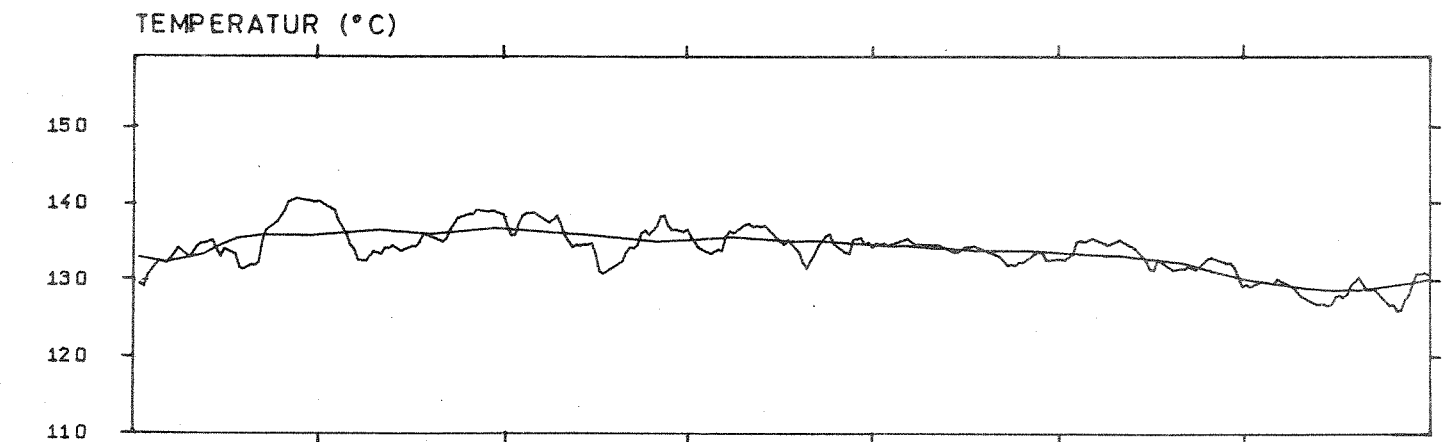
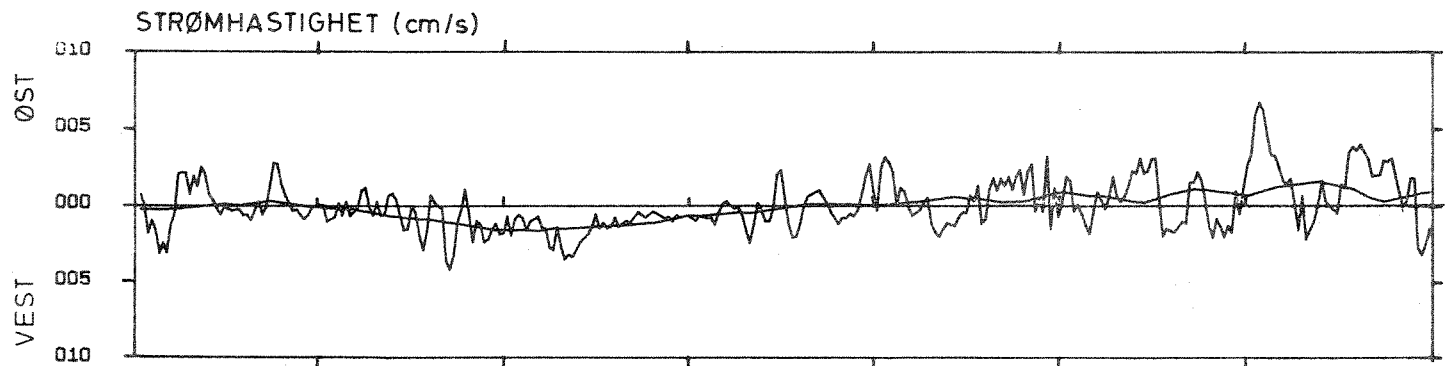
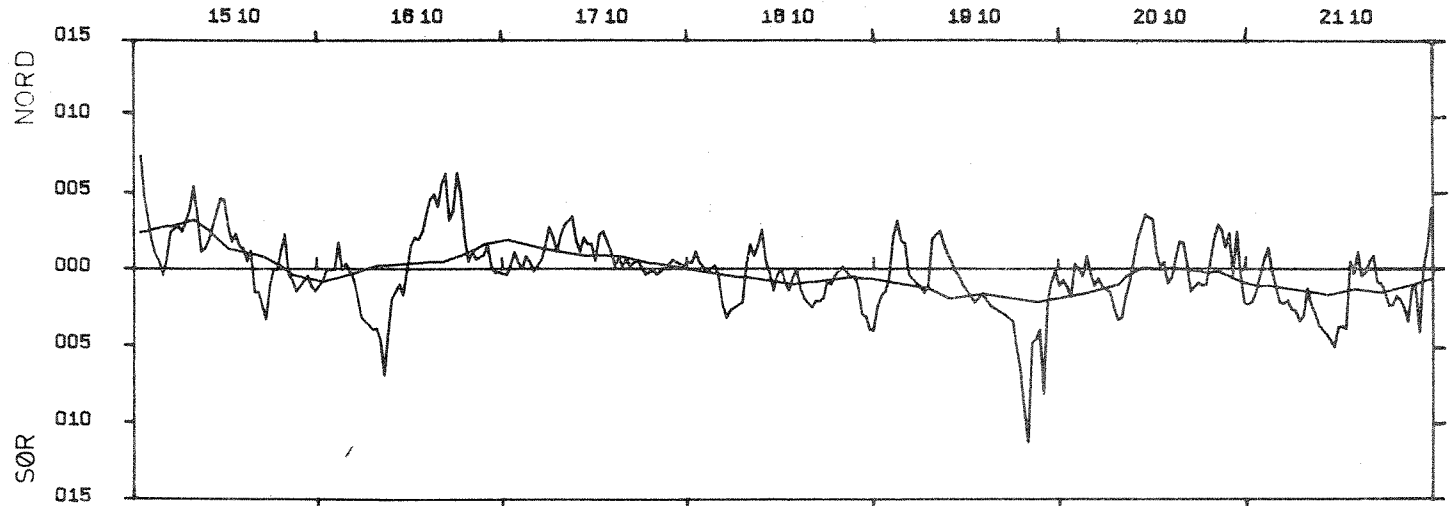
Fig.9 Dekomponert strøm ( N = 50° Ø = 110° samt temperatur (°C) ved stasjon A i Korsviksfjorden 20m dyp. 8.10.-28.11.1976.

OBSERVASJONSPERIODE : - 24 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYP: 20m



1242

02

Fig.9 Forts.



OBSERVASJONSPERIODE :

- 25 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYP: 20 m

22 10

29 10

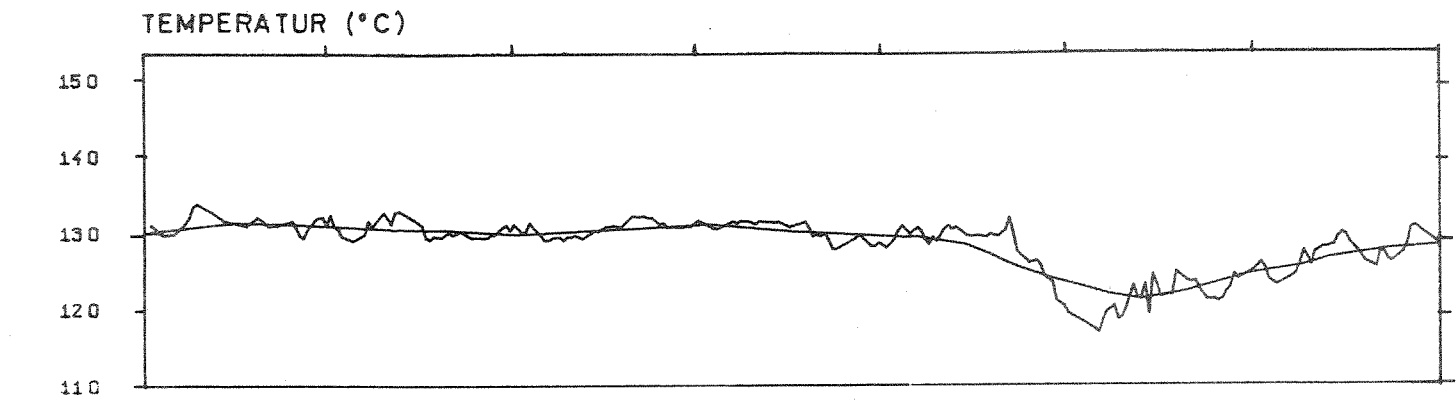
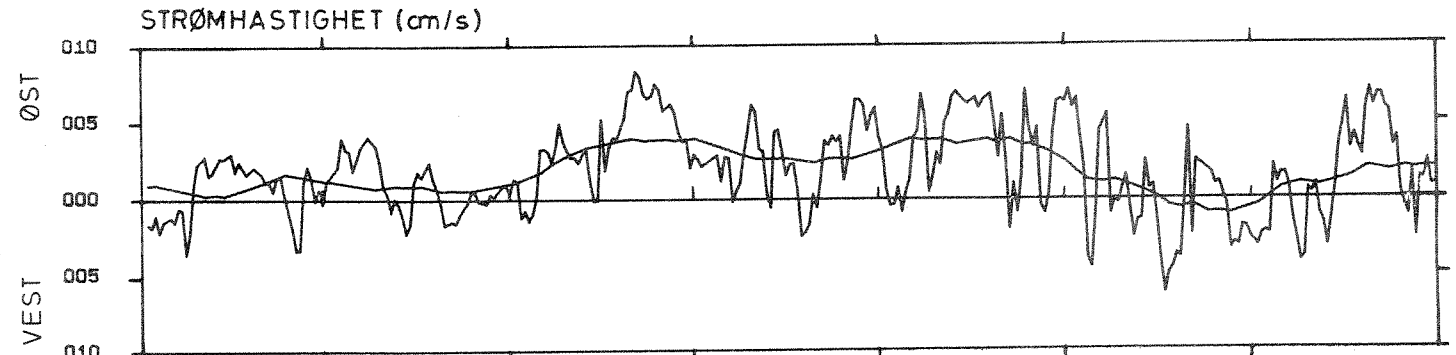
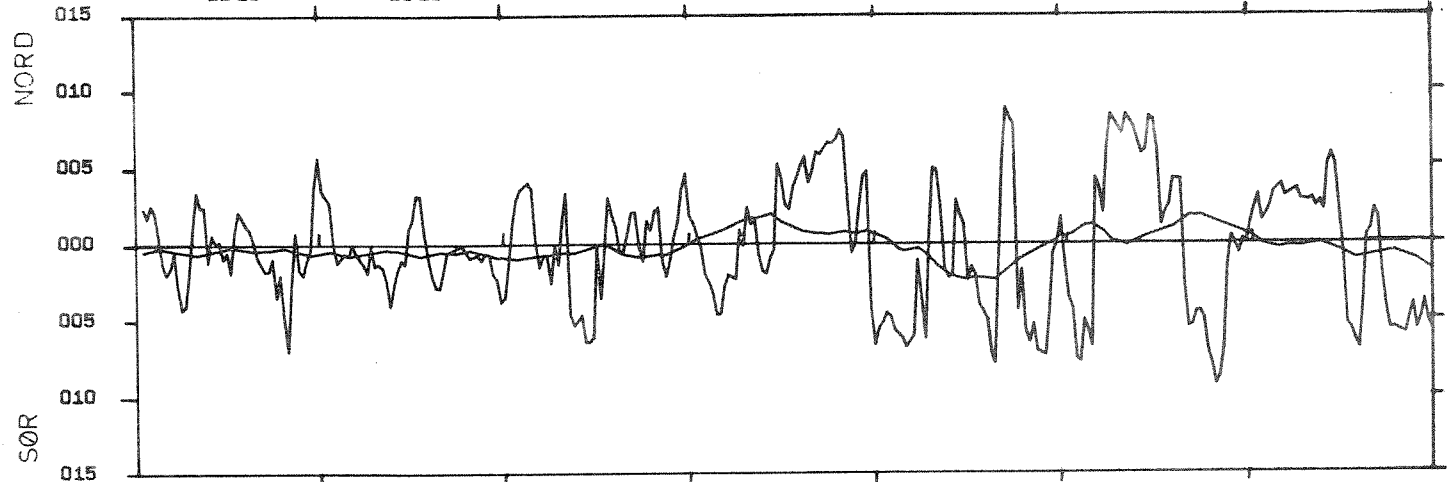
24 10

25 10

26 10

27 10

28 10



1242

09

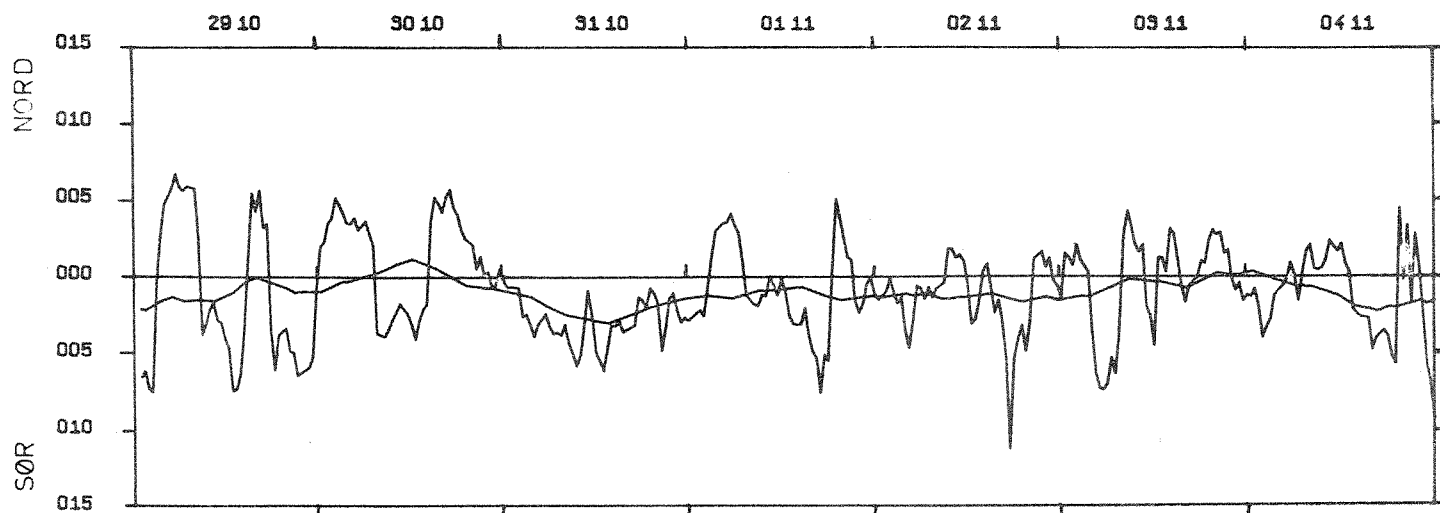
Fig.9 Forts.

OBSERVASJONSPERIODE : - 26 -

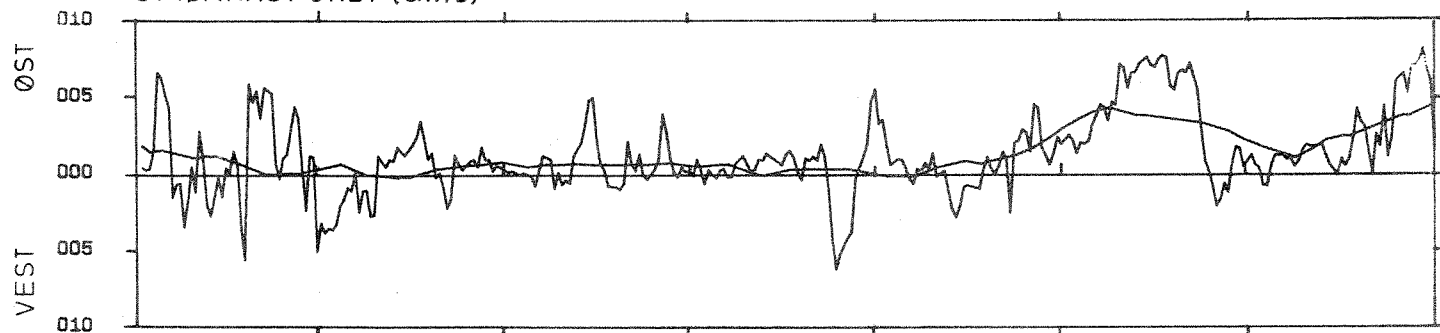
STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

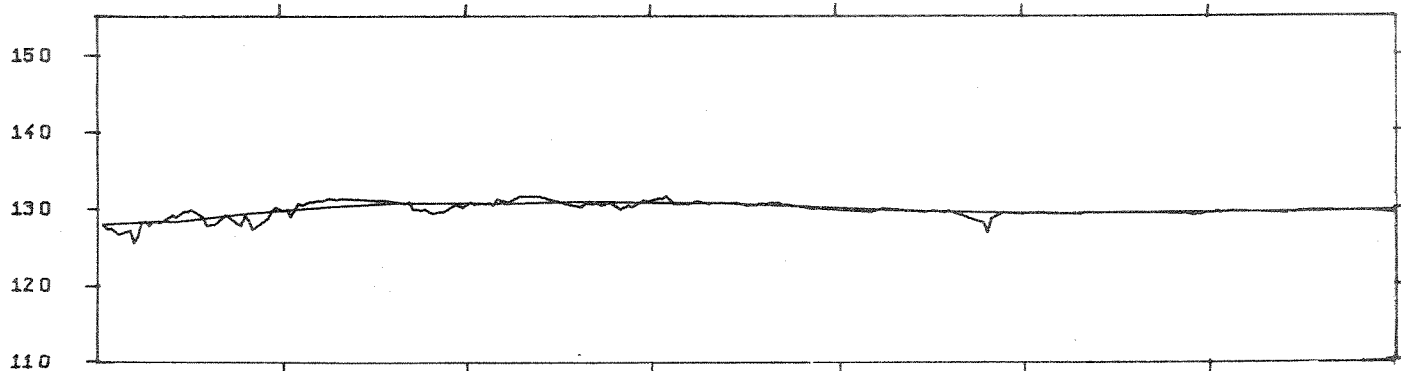
MÅLEDYP: 20m



STRØMHASTIGHET (cm/s)



TEMPERATUR (°C)



1242

04

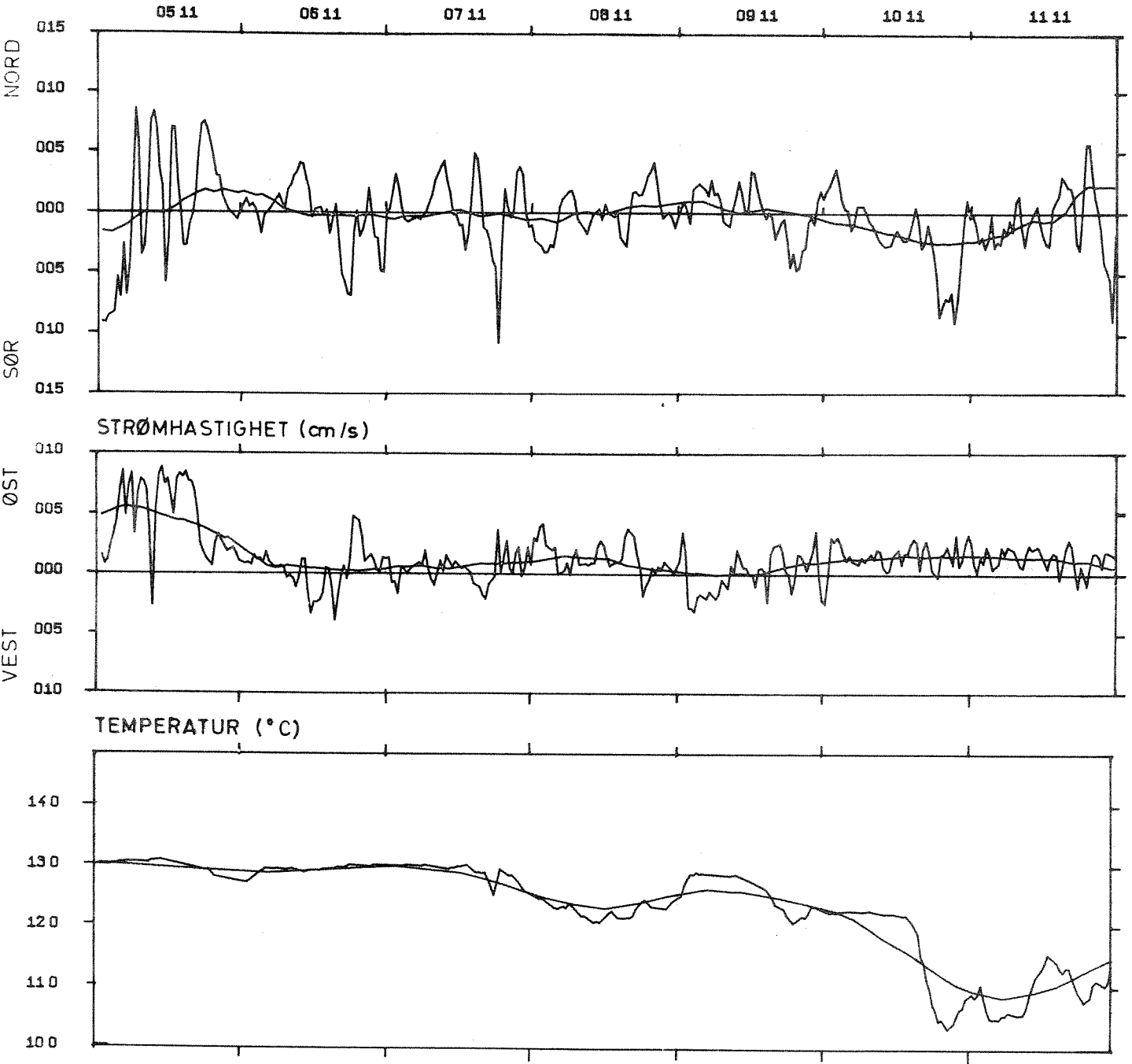
Fig.9 Forts.

OBSERVASJONSPERIODE : - 27 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYP: 20m



1242

05

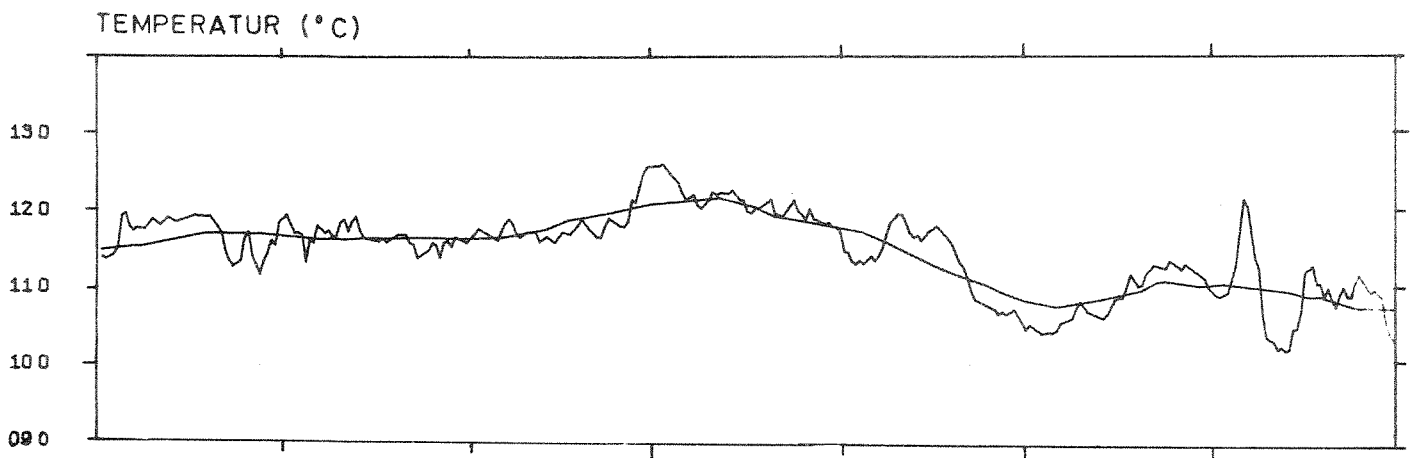
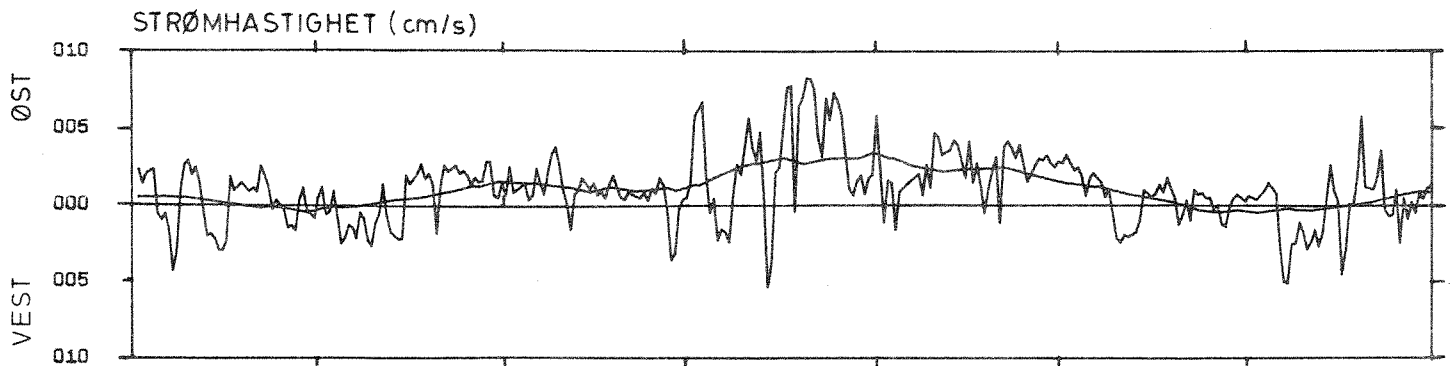
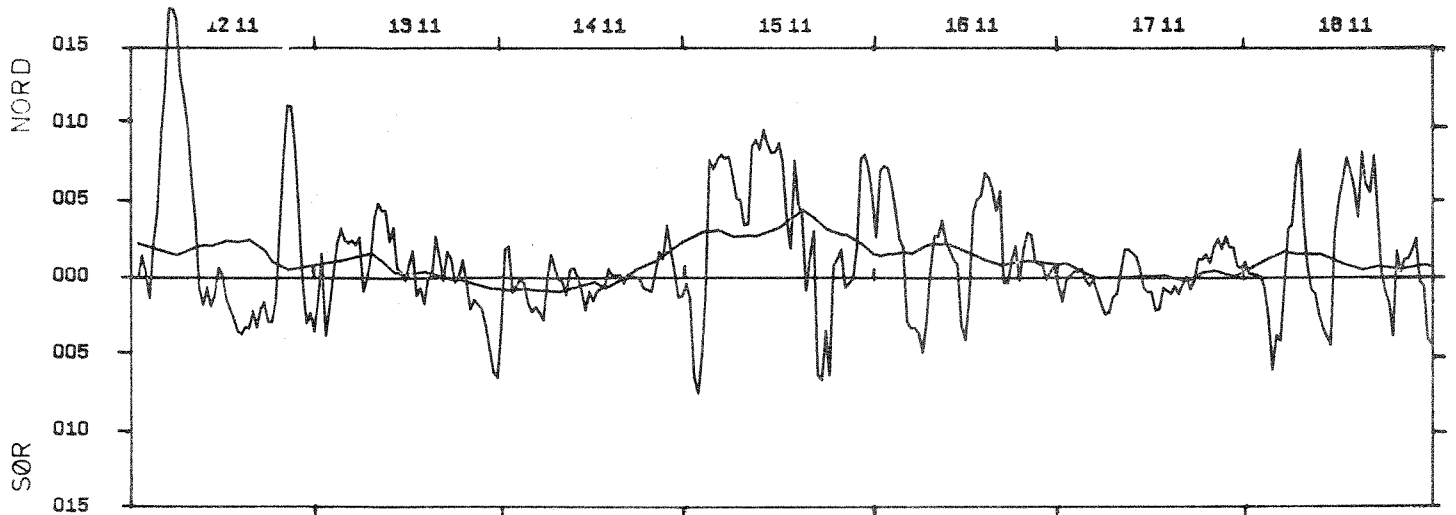
Fig.9 Forts.

OBSERVASJONSPERIODE : - 28 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYP: 20m



1242  
06

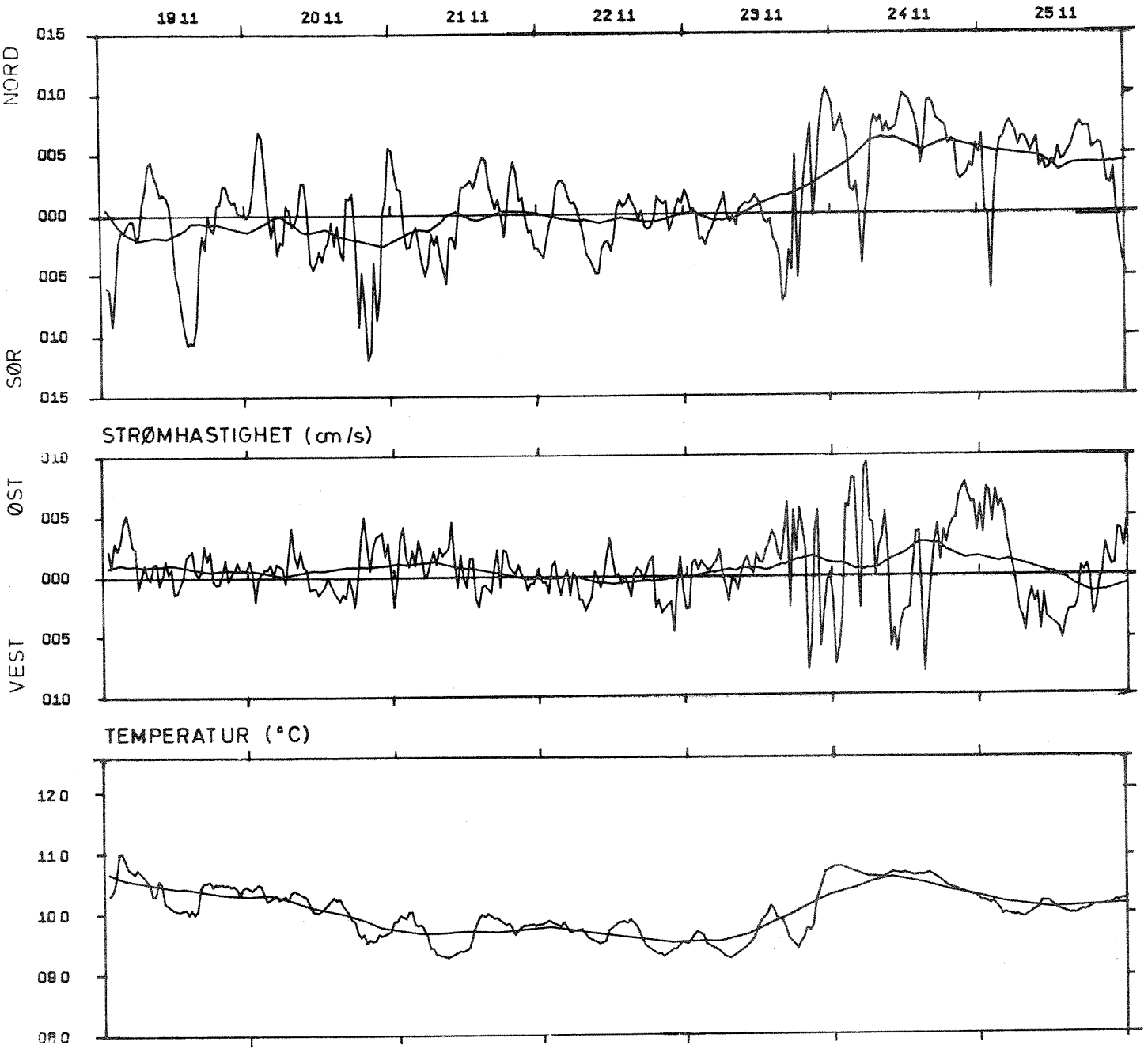
Fig.9 Forts.

OBSERVASJONSPERIODE : - 29 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYP: 20m



1242

07

Fig.9 Forts.

OBSERVASJONSPERIODE :

- 30 -

STASJON : A

STRØMHASTIGHET (cm/s)

MÅLEDYP: 20m

26 11

27 11

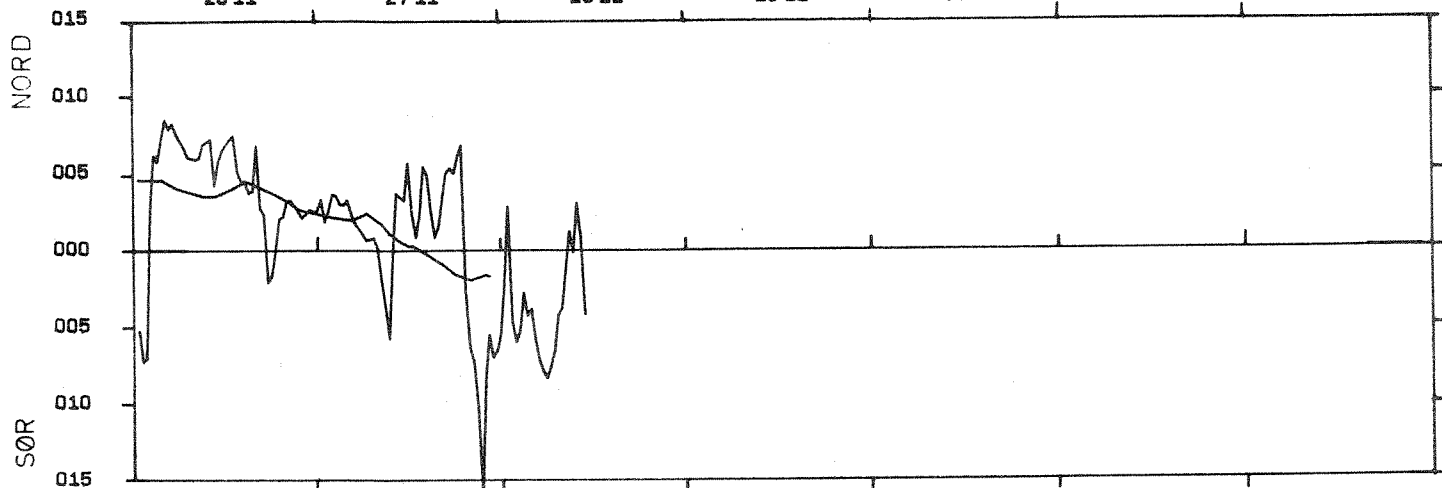
28 11

29 11

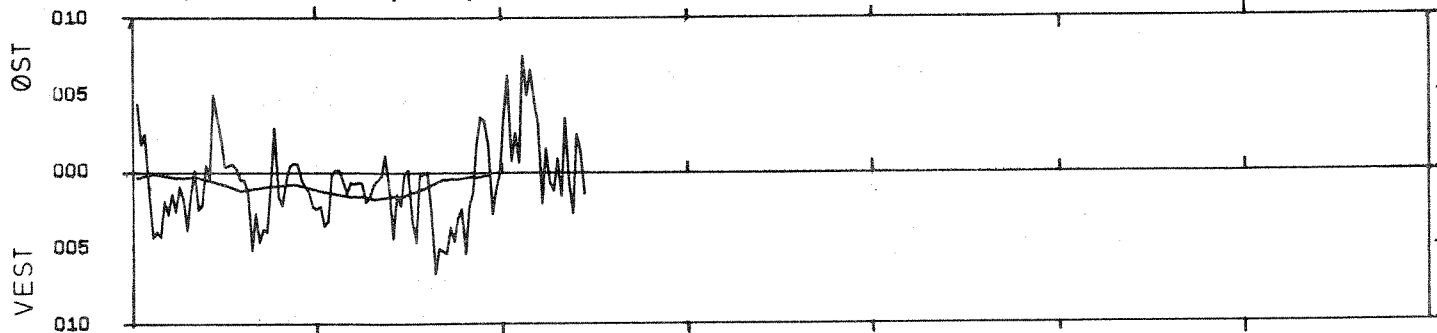
30 11

01 12

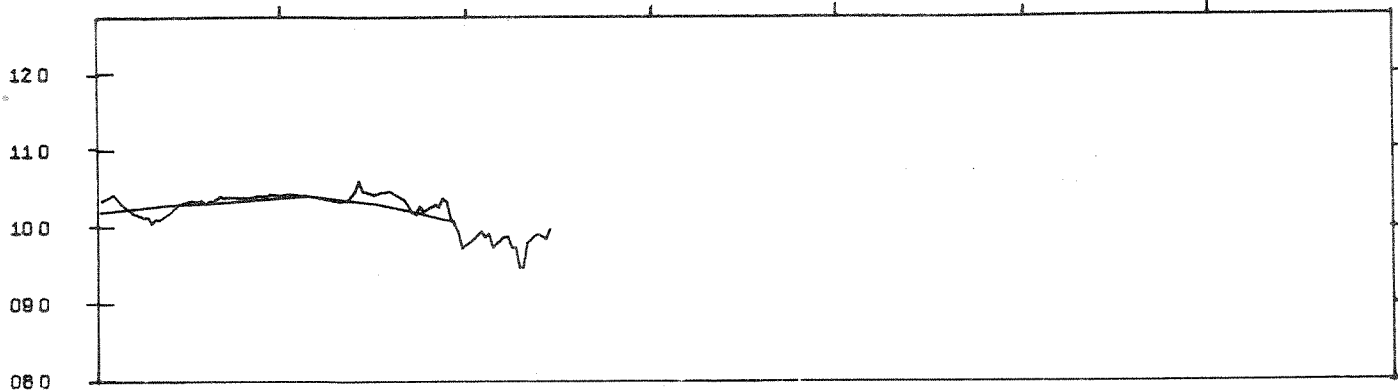
02 12



STRØMHASTIGHET (cm/s)



TEMPERATUR (°C)



1242

08

Fig.9 Forts.

C. Hydrokjemi

Resultatet av de hydrokjemiske målingene i Korsvikfjorden er det, som nevnt, redegjort for i egen rapport fra ADH. Nedenstående er en videre granskning av disse data, med henblikk på å beskrive og vurdere det hydrokjemiske miljøet i fjorden.

Figur 10 viser den vertikale fordeling av ortofosfat, nitrat og oksygenmetningsgrad på stasjon 5 den 5.8.1975. På figuren er også siktedypet avmerket. Nitratkonsentrasjonen lå under målegrensen ( $<1.4 \mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ ) mellom 4-20 meters dyp, og økte kraftig mellom 20 og 30 meters dyp. Vannmassen ned til og med 20 meters dyp var mettet med oksygen, og siktedypet var 10 meter. Ved å multiplisere siktedypet med 2.5 får en omtrentlig nedre grense for fotosyntesesonen. Siktedyp, oksygenmetning og nitratkonsentrasjon antyder at algeproduksjonen var større enn nedbrytningsprosessene ned til vel 20 meters dyp.

Tabellene 4-6 viser analyseresultatene for ortofosfat, nitrat (og ammonium) samt vektforholdet mellom nitrat+ammonium og ortofosfat.

Tabell 7 viser dels oksygenmetning i overflaten og som gjennomsnitt for 4-20 meters dyp, dels siktedyp.

Tabell 4. Ortofosfat ( $\mu\text{g P/l}$ ) ved stasjon 5 juli-desember 1976

Dyp (m)	1975						
	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0	<0,5	2,1	1,0	5,0	8,3	8,5	13,4
4 - 20	<0,5	2,7	0,9	7,5	7,9	9,8	14,3
30	4,9	8,5	5,5	10,0	10,1	11,0	14,4
40	7,5	9,7	8,7	10,0	9,5	12,3	14,7
50	9,2	11,8	15,7	11,3	8,6	12,3	13,8
60	-	14,6	16,0	17,5	8,3	11,9	14,1

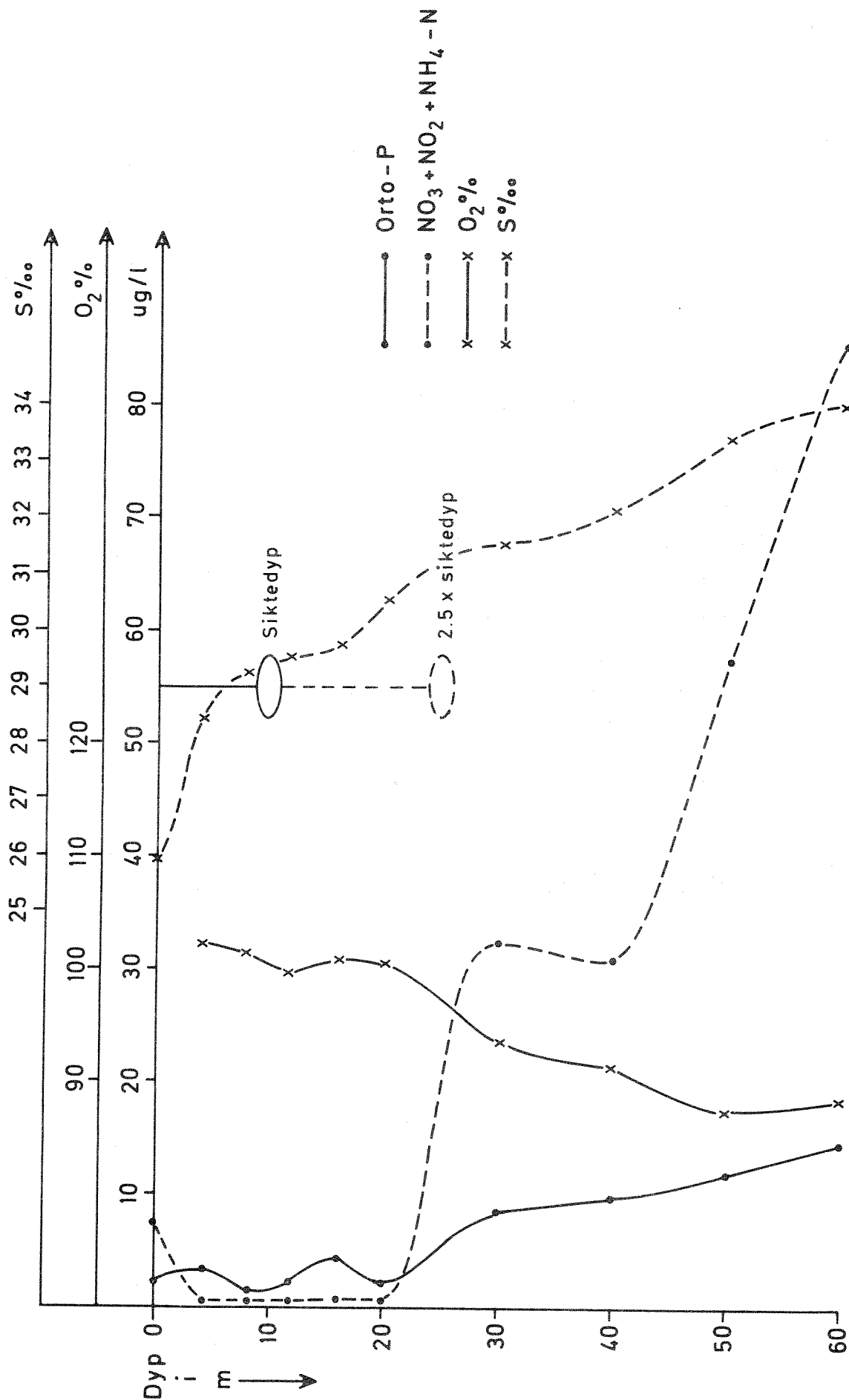


Fig. 10 Vertikalfordeling av ortofosfat, nitrat, nitritt og ammonium, oksygenmetning, saltholdighet samt siktedyp ved stasjon 5 i Korsvikfjorden 5/8 1975



Tabell 5. Nitrat+nitritt+ammonium ( $\mu\text{g N/l}$ ) ved stasjon 5  
juli-desember 1975 (ammonium i parentes)

Dyp (m)	1975						
	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0	9,8	6,4(1,0)	4,2	46,2	36,4(2,3)	126,7(3,5)	100,6(8,5)
4-20	3,2	<1,4	<1,4	30,5	22,7(2,8)	52,7	73,7(4,6)
30	57,4	32,2	28,0	36,4	30,8(3,6)	53,2	66,7(3,3)
40	78,4	30,8	47,6	42,0	47,6(1,3)	62,0	70,4(4,1)
50	95,2	57,4	67,2	61,6	51,8(0,7)	61,3	64,4(4,7)
60	-	58,4	68,6	42,0	46,2(2,1)	59,8	71,8(2,6)

Tabell 6. Vektforhold nitrat+nitritt + ammonium/ortofosfat ved stasjon 5  
juli-desember 1975

Dyp (m)	1975						
	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0	$\infty$	3,5	4,2	9,2	4,7	15,3	8,1
4-20	$\infty$	<1	<1	4,0	3,2	5,4	5,5
30	12	3,6	5	3,6	3,4	4,8	4,9
40	10	3,2	5,5	4,2	5,1	5,0	5,1
50	10	4,6	4,2	5,5	6,1	4,9	5,0
60	-	5,9	4,2	2,4	5,8	5,0	5,3

Tabell 7. Oksygenmetning (%) på stasjon 5 juli-desember 1975

Dyp (m)	1975						
	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0	108	-	96	94	96	95	89
4-20	108	101	98	86	94	93	93
Siktedyp =	10 m	9 m	8 m	11 m	13 m	8 m	11 m

Det dyp hvor produksjonsprosesser og nedbrytningsprosesser balanserer hverandre, lå i Kristiansandsfjorden på mellom 20-25 meters dyp (juli-august). Algeproduksjonen har pågått fra juli-toktet fram til september-toktet, da innholdet av næringssalter økte. Vannutskiftningen i Korsvikfjorden var dog så stor at det ikke var samme vannmasse under toktene i juli og august. Dette framgår av fig. 3. Lokale effekter i Korsvikfjorden er således vanskelige å separere fra et større område ved en bedømmelse av vannkjemien.

Desemberobservasjonene viser at vann med saltholdighet over 34<sup>o</sup>/oo fyller Kristiansandsfjorden. Konsentrasjonen av ortofosfat (ca. 14µg P/l) og nitrat (ca. 70µg N/l) er normale for årstiden sammenlignet med resultater fra ytre Oslofjord vinterstid (NIVA 1974A) og med fosfatverdier fra Skagerrak (Svansson 1975). Vektforholdet, uorganisk nitrogen/fosfor var 5:1, noe lavere enn for Oslofjorden (6:1). Sammenlignet med forholdet nitrogen/fosfor i planteplankton på ca. 7:1 var det et relativt overskudd av fosfor i desember.

Nå har imidlertid vannmassen et relativt høyt innhold av total nitrogen (konsentrasjonen i 4-20 meter var ca. 220 µg N/l), som hovedsaklig må antas å bestå av organiske nitrogenforbindelser. Selv om disse regnes for utilgjengelige eller lite tilgjengelige for planteplankton gjør det seg gjeldende en viss nedbryting til enklere og tilgjengelige forbindelser. Det er derfor usikkert om nitrogen ville bli begrensende faktor for en kommende algeoppblomstring.

I juli -75 var det et overskudd av nitrogen i fotosyntesesonen, mens nitrat-konsentrasjonen var under deteksjonsgrensen i august (1.4µg N/l). I august var det målbare konsentrasjoner av ortofosfat. Både i juli og august var dog konsentrasjonene av nitrat og ortofosfat så lave at forholdet mellom dem sier lite om hva som kan være begrensende faktor. Ortofosfatkonsentrasjonen i fotosyntesesonen i juli og august var lavere enn minimalkonsentrasjoner fra andre sørnorske fjorder (jfr. NIVA 1976) og i nivå med minimalkonsentrasjoner i de sentrale deler av Nordsjøen og Skagerrak (Armstrong 1965, Svansson 1975).

En undersøkelse av næringssaltinnholdet i overflatevann fra den engelske kanal (Cooper 1933) ga lave minimalverdier for ortofosfat og uorganiske nitrogenforbindelser sommeren 1931. I tilfeller der andre næringssalter (inkludert silikat)syntes å foreligge i overskudd, var minimalverdier for ortofosfat av samme størrelse ( $0.5 - 2 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ ) som juli - august verdiene fra Korsviksfjorden. Det er derfor rimelig å betrakte disse lave konsentrasjoner som restkonsentrasjoner som planteplanktonet ikke kan nyttiggjøre seg. På grunn av mange planktonalgers evne til å lagre overskudd av fosforforbindelser, behøver ikke fosfor nødvendigvis være reelt begrensende i slike situasjoner. Observasjonene kan imidlertid være en indikasjon på en potensiell fosforbegrensning.

For nitrogenforbindelsene er det ikke lett å finne noe sammenligningsgrunnlag. Dette fordi ADH brukte en manuell og spesielt følsom metodikk som gir lavere registrerbare konsentrasjoner enn hva som ofte ellers er blitt registrert.

Nitratverdiene er sammenlignbare med de laveste som Braarud og Klem (1931) fant i Romsdalsfjorden og området utenfor. De er i underkant av det som ble målt i Kristiansandsfjorden i juli 1968 (NIVA 1971) og lavere enn hva Andersen (pers.komm.) fant i ytre Oslofjord i 1970 (ned til  $1.4 \mu\text{g/l}$ ). I havområder der nitrogenforbindelser har vist seg å være en begrensende vekstfaktor har det blitt registrert ned til  $7 \mu\text{g N/l}$  som summen av nitrat, nitritt og ammonium. (Vaccaro 1963) og  $28 \mu\text{g N/l}$  som summen av nitrat, nitritt, ammonium og labile aminosyrer (Thomas 1966). Selv om en ikke uten videre kan sammenligne områder med forskjellige sjiktungs- og lysforhold er det rimelig å betrakte de lave konsentrasjoner av uorganiske nitrogenforbindelser i Korsvikfjorden i juli og august 1975 som rest-konsentrasjoner som algene bare i svært liten grad kan nyttiggjøre seg.

## 5. UTSLIPPSMENGDER

Det planlagte renseanlegget ved Korsvikfjorden vil ha en gradvis økende tilførsel av avløpsvann. Tabellen nedenfor viser de foreløpige prognoser:

År:	<u>1975</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>2015</u>
Antall p.e.	6 400	11 300	21 200	36 300

Hvis en går ut fra at 1 p.e. tilsvarer:

Organisk stoff v/BOF <sub>7</sub>	75	g O/person.døgn
Total fosfor	2.5	g P/person.døgn
Total nitrogen	12	g N/person.døgn

blir tilførslene til renseanlegget følgende:

År:	<u>1975</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>2015</u>
kg BOF <sub>7</sub> /døgn	480	848	1 590	2 722
kg Tot-P/døgn	16	28	53	90
kg Tot-N/døgn	77	136	254	436

De rensetiltak som kan bli aktuelle er mekanisk rensing, mekanisk-biologisk rensing, mekanisk-biologisk-kjemisk rensing, simultan-felling og mekanisk-kjemisk rensing.

Dessuten legges inn et trinn med nitrogenfjerning.

Omstående tabell viser beregnet utslippsmengde etter de forskjellige rensemetodene.

Tabell 8. Utslippsmengder (kg/døgn) til Korsvikfjorden ved forskjellige rensalternativer (avrundede tall)

Parameter	BOF <sub>7</sub>			Tot-P			Tot-N		
	1979	1990	2015	1979	1990	2015	1979	1990	2015
År									
Rensemetode									
Mekanisk	600	1100	1900	25	48	80	120	230	390
Mekanisk-biologisk	170	320	540	20	40	70	110	200	350
Simultanfelling	170	320	540	6	10	20	110	200	350
Mekanisk-kjemisk	440	640	1090	4	8	14	110	200	350
Mek.-kjemisk+denitrifik	440	640	1090	4	8	14	30	50	90

Det er brukt følgende renseeffekt ved beregning av tabellen over:

Mekanisk rensing	BOF <sub>7</sub> = 30%, Tot-P = 10%, Tot-N = 10%
Mekanisk-biologisk rensing	BOF <sub>7</sub> = 80%, Tot-P = 20%, Tot-N = 20%
Simultanfelling	BOF <sub>7</sub> = 80%, Tot-P = 80%, Tot-N = 20%
Mekanisk-kjemisk rensing	BOF <sub>7</sub> = 60%, Tot-P = 85%, Tot-N = 20%
Mekanisk-kjemisk + denitrifikasjonstrinn	BOF <sub>7</sub> = 60%, Tot-P = 85%, Tot-N = 80%

Den beregnede vannføringen oppgis som:

Q<sub>dim</sub>

140 m <sup>3</sup> /h	År 1975 =	2.400 m <sup>3</sup> /døgn
245 "	" 1979 =	4.300 "
460 "	" 1990 =	8.050 "
750 "	" 2015 =	12.900 "

Konsentrasjonen av fosfor, nitrogen og  $\text{BOF}_7$  i utslippsvannet ved forskjellige renseltiltak blir da:

Tabell 9. Antatte konsentrasjoner i utslippsvann etter forskjellige renseltiltak (1990)

Parameter	Mekanisk	Mekanisk-kjemisk	Mekanisk-kjemisk +denitrifisering
Tot-P	5 900 $\mu\text{g/l}$	990 $\mu\text{g/l}$	990 $\mu\text{g/l}$
Tot-N	28 500 $\mu\text{g/l}$	24 800 $\mu\text{g/l}$	6 200 $\mu\text{g/l}$
N/P	$\sim 4.8$	$\sim 25$	$\sim 6.3$

Av tabell 8 og 9 framgår at kloakkvannet mekanisk rensel vil gi fosforoverskudd i forhold til planteplanktonets N/P-forhold (7:1).

Kjemisk rensing vil gi et relativt nitrogenoverskudd. Om en i tillegg innfører denitrifiseringen vil en få et - for planteplanktonet - nesten optimalt forhold.

Dette sier selvfølgelig ikke noe avgjørende om virkningen i resipienten, der graden av produksjonsstimulans vil avhenge av forekomst og tilførsel av et eventuelt begrensende næringsstoff.

Tabell 10. Oksygeninnhold i Korsvikfjorden (tonn)

Dyp (m)	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0-4	67	60	60	65	65	80	66
4-25	312	277	270	240	284	290	285
25-35	104	110	92	85	96	102	103
35-45	84	80	75	69	72	80	82
45-55	57	55	55	48	48	55	58
55-bunn	60	60	58	54	58	60	63
S:	684	632	610	561	623	667	657

Middel: 633 <sup>+51</sup>  
          -72

## 6. UTSLIPPETS VIRKNINGER I RESIPIENTEN

### A. Oksygenforholdene

De utslippsmengder som er presisert i kapittel 5 innebærer et biologisk oksygenforbruk på ca. 57 000 kg. pr. måned ved bare mekanisk rensing år 2015. Tabell 10 viser oksygeninnholdet ved forskjellige observasjoner i Korsvikfjorden. Det midlere oksygeninnholdet har vært 633 tonn med et høyeste avvik på 70 tonn, d.v.s. oksygenforbruket ved mekanisk rensing avløpsvann vil pr. måned være av omtrent samme størrelsesorden som det "naturlige" avviket. Den midlere vannutskiftningen i fjorden er beregnet til mellom 90-190 m<sup>3</sup>/s, og hvis en bruker det midlere oksygeninnholdet i fjorden som representativt for hele ytre delen av Kristiansandsfjorden, blir den totale oksygentransporten  $0.008 \times (90-190) = 0.74 - 1.52$  kg/s eller 60-130 tonn pr. døgn. Dette innebærer at den naturlige tilførselen i middel på 1-2 døgn er av samme størrelse eller større enn tilført mengde direkte oksygenforbrukende stoff i en måneds tid ved en beregnet tilknytningsgrad til renseanlegget i år 2015. Pr. måned vil tilførsel av oksygenforbrukende stoffer tilsvare 6% av oksygentransporten i fjorden.

Ved mekanisk/kjemisk rensing blir  $\text{BOF}_7$  redusert til 1090 kg/døgn, d.v.s. ca. 33 000 kg/måned, hvilket utgjør 4% av den naturlige oksygen-transporten til fjorden.

Det må være klart at den direkte oksygenbelastningen som følge av  $\text{BOF}_7$ -tallene ikke vil få betydning for forholdene i fjorden. Allikevel bør det understrekes at indirekte effekter ikke har inngått i foranstående kalkyle og at det i beregningene er medtatt transporten i hele fjorden (se videre kap. 6.D og 7).

## B. Fosfor

Fosforutslippet vil øke fra 25 kg pr. døgn år 1979 til 80 kg pr. døgn år 2015 ved mekanisk rensing, og fra 4 til 14 kg pr. døgn ved kjemisk rensing. tabell 11 og 12 viser innholdet av ortofosfat og totalfosfor høsten 1975 i Korsvikfjorden. Midlere innhold av fosfor som totalfosfor har vært 1 400 kg, med laveste innhold vel 197 kg under, og maksimalt 349 kg over middelerdien. Et midlere innhold på 1 400 kg fosfor i fjorden medfører en konsentrasjon på 18  $\mu\text{g P/l}$ . Som nevnt tidligere, var den hydrografiske forskjellen mellom Korsvikfjorden og ytre Kristiansandsfjorden liten, slik at verdiene i Korsvikfjorden vil være representative for et større område. Den totale vannomsætningen i Korsvikfjorden har blitt beregnet til mellom 90-190  $\text{m}^3/\text{s}$  (se kap. 4). Omtrent halvparten av Korsviksfjordens volum er mellom 0-25 meters dyp, og vanntransporten kan antas å være omtrent likt fordelt over dypet, slik som den er beregnet i kap. 4 med den begrensning at transporten i overflatelaget 0-5 meter er estimert for lavt i forhold til virkeligheten. Minimal vanntransport i fotosyntesesonen (0-25 m dyp) vil altså være omtrent halvparten av hele fjordens transport, d.v.s. 45-90  $\text{m}^3/\text{s}$ . Transporten av total-fosfor vil da være mellom 2 100-4 200 kg pr. måned.

Sakshaug m.fl. (1972) mener at de organiske fosforforbindelser hovedsaklig er produsert av planteplanktonet, og dessuten lett nedbrytbare. Dette skulle da innebære at organisk fosfor kan utgjøre en poten-



siell fosforkilde for algene. Dette medfører at utsluppet mengde fosfor fra renseanlegget vil kunne sammenlignes med den naturlige transporten av fosfor i form av observerte totalfosfor-konsentrasjoner. Ved kun mekanisk rensing i år 2015 vil tilførselen fra renseanlegget pr. måned være 2 400 kg d.v.s. av samme størrelse som den naturlige transporten. Ved mekanisk-kjemisk rensing vil tilførselen fra renseanlegget utgjøre 10-20% av den naturlige transporten, eller 420 kg. pr. måned.

Tabell 11. Innhold av fosfor i form av ortofosfat(kg) i Korsviksfjorden (1975)

Dyp (m)	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0-4	< 4	16	7	37	62	64	100
4-25	< 16.7	90	30	251	265	328	480
25-35	59.5	103	67	122	123	134	175
35-45	73.1	95	85	98	93	120	143
45-55	62.1	80	106	76	58	83	93
55-bunn	(73) <sup>x</sup>	110	118	129	61	87	105
S:	~300	~500	~400	~700	~650	~800	~1100

<sup>x</sup> anslått verdi

Tabell 12. Innhold av fosfor i form av total-fosfor (kg) i Korsviksfjorden (1975)

Dyp (m)	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0-4	68	111	111	120	115	166	167
4-25	370	484	393	488	561	746	722
25-35	505	165	188	190	187	277	282
35-45	240	168	170	164	137	243	228
45-55	159	128	165	117	100	143	159
55-bunn	(180) <sup>x</sup>	156	162	153	103	174	166
S:	~1500	~1200	~1800	~1250	~1200	~1750	~1700

<sup>x</sup> anslått verdi

Hvis man i stedet beregner ortofosfattransporten, basert på gjennomsnittlige augustverdier, får man omkring 10% av totalfosfortransporten. Månedlig transport av ortofosfat blir m.a.o. i størrelsesordenen 210-240 kg. Tilførselen fra renseanlegg i år 2015 vil for mekanisk rensing utgjøre 600-1100% av dette, for mekanisk-kjemisk rensing omkring 100-200%.

Tabell 13. Innhold av NITROGEN (kg) som summen av nitrat, nitritt og ammonium i Korsvikfjorden

Dyp (m)	1.7	5.8	27.8	24.9	20.10	27.11	17.12
0-4	73	56	31	346	290	974	816
4-25	107	< 47	< 47	1021	854	1765	2622
25-35	697	391	340	442	418	646	850
35-45	764	300	464	410	477	605	726
45-55	643	387	454	416	354	414	466
55-bunn	(600) <sup>x</sup>	628	504	309	355	440	547
S:	~2900	~1800	~1850	~2950	~2750	~4850	~6050

<sup>x</sup> anslått verdi

### C. Nitrogen

Utslippsmengdene av nitrogen fra renseanlegget vil være mellom 3 000 kg til 11 700 kg pr. måned (1979-2015). En virkelig reduksjon av nitrogenutslippene skjer først ved innføring av spesielt rensetrinn. De naturlige transporter av nitrogen er vanskelig å beregne, da nitratkonsetrasjonene var delvis under deteksjonsgrensen i produksjonstiden. Tabell 13 viser innholdet av nitrogen i de former som antas å være mest tilgjengelige for planteplankton, nemlig nitrat+nitritt og ammonium. Et høyt estimat kan kanskje oppnås hvis en multipliserer målte konsentrasjoner med vanntransporten analogt med det som blir beregnet for ortofosfat. Et midlere innhold på < 60 kg nitrat i volum på 4-25 meters dyp i juli og august gir en transport på 340-700 kg pr. måned. Dette betyr en utslippsmengde i år 2015 på 1 500% av de naturlige transporter. Ved fjerning av nitrogen i renseanlegget vil tilførselen pr. måned bli 2 700 kg - d.v.s. nesten 400% mer enn de naturlige transporter.

Totalinnholdet av bundet nitrogen i 4-25 m dyp i juli og august var av størrelsesorden 10 000 kg eller ca. 170 ganger så høyt som nitrat+nitritt+ammonium-innholdet. I forhold til totalnitrogen i denne

perioden vil utslippet bety en økning på ca. 10%.

D. Planteplankton og organisk karbon

Som tidligere nevnt, varierer vektforholdet nitrogen:fosfor i planteplankton omkring 7:1 eller noe høyere. Forholdet mellom organisk karbon nitrogen og fosfor er omtrent 46:7:1 (NIVA 1974B). Teoretisk skulle det organiske fosforinnhold i Korsvikfjorden i august gi ca. 18 000 kg partikulært organisk karbon i fotosyntesesonen - d.v.s. en konsentrasjon på 0.5 mg Carbon/l. I tillegg kommer oppløst organisk karbon, og en rimelig bakgrunnsverdi for total organisk karbon er 1-3mg/l. Da den naturlige ortofosfat-transport er antatt til mellom 420-840kg pr. måned, vil den totale mengden tilført fosfor ved mekanisk rensing ligge på 2 800-3200 kg pr. måned i år 2015. Hvis alt dette kunne benyttes av alger, ville det gi en nitrogenbinding på 20 000-22 000 kg pr. måned, og en organisk stoffproduksjon på 130000 -150 000 kg org.C. Imidlertid er utslippsmengden av nitrogen ved mekanisk rensing i år 2015 ca. 12 000 kg pr. måned. Den naturlige tilførsel i henhold til beregningene ovenfor (C) gir dermed en total tilførsel i underkant av 12300-12700 kg tilgjengelig nitrogen, hvilket gir mindre enn 81000 kg til 84000 kg organisk karbon som planteplankton pr. måned. D.v.s. nitrogeninnholdet i fotosyntesesonen skulle bli begrensende for planteplanktonproduksjonen. Ved mekanisk-kjemisk rensing vil det i år 2015 være en total fosfortilførsel på 840-1 260 kg pr. måned, hvilket fullt akkumulert i planteplankton tilsvarer 39000-58000 kg organisk stoff pr. måned. Tilgjengelig nitrogenmengde gir en organisk stoff-produksjon på i underkant av 71 000-74 000 kg. D.v.s. at fosforinnholdet i fotosyntesesonen kan bli begrensende for planteplanktonproduksjonen.

Tabellene 14 og 15 på neste side viser en oversikt over organisk stoff-produksjon ved laveste tilførselgrad ved de repektive rensemetoder i år 2015.

I tabell 16 er tilførslene omregnet i potensielle konentrasjoner av org -

Tabell 14. Teoretisk beregnet planktonproduksjon pr. måned, basert på fosfor og nitrogen ved forskjellige rensemetoder. Utslippsmengde som prognostisert for år 2015. Laveste verdi brukt for de naturlige vanntransporter. Enhet: 10<sup>3</sup> kg org. karbon

	Org(C) basert på fosfor utslipp Org C(P)	Org C basert på nitrogen utslipp Org C(N)	Org C(P) - Org C(N)	Begrensende faktor:
Mekanisk	130	81	49	N
Mekanisk+ kjemisk	39	71	-39	P

Tabell 15. Som tabell 14, men med beregnet maksimale naturlige vanntransporter

Rensemetode	Org C (P)	Org C (N)	Org (P) - Org (N)	Begrensende faktor:
Mekanisk	150	84	66	N
Mekanisk+ kjemisk	58	74	- 16	P

Prognose for potensiell konsentrasjon av organisk karbon

Tabell 16. (mg org. C/l) som resultat av direkte belastning og planteplanktonproduksjon år 2015. Beregningen er gjort for de øverste 25 m

Rensemetode	Antatt bakgrunn	Direkte tilført		Planteplankt.prod.		Total økning	
		Min. utskift.	Maks. utskift.	Min. utskift.	Maks. utskift.	Min. utskift.	Maks. utskift.
Mekanisk	1-3	0.49	0.24	0.66	0.33	1.15	0.51
Mek+kjem.	1-3	0.28	0.14	0.16	0.08	0.44	0.22

karbon ved hjelp av vannutskiftningsresultatene. Direkte tilførsler er beregnet ut fra de antatte  $\text{BOF}_7$ -tall og likningen:



som gir en omregningsfaktor på 0.375 fra  $\text{BOF}_7$  til lett nedbrytbart organisk karbon. En kan regne at totalt organisk karbon i kloakkvann er omtrent det dobbelte av det som nedbrytes ved en  $\text{BOF}_7$ -test. Dette gir da en omtrentlig omregningsfaktor på 0.75 fra  $\text{BOF}_7$  til totalt organisk karbon i kloakkvann og er benyttet ved våre beregninger.

Beregnet planteplanktonproduksjon representerer fullstendig akkumulering av det begrensende næringssalt i planteplanktonet etter et vektforhold mellom C:N:P på 46:7:1. De aktuelle forholdstall vil forandre seg ettersom N- eller P-forbindelser er begrensende faktor (Haug, Myklestad, Sakshaug, 1973).

Våre tall må derfor bare betraktes som omtrentlige. Til dette kommer at nedbrytningsprosessens beiting av zooplankton og sedimentering vil redusere innholdet av planktonalgemateriale i vannmassen og gi et lavere planteplanktoninnhold enn beregnet.

Den sekundære belastningen med organisk materiale ved økt planktonalgeproduksjon vil bli minst ved dypvannsutslipp som sikrer en mindre direkte tilførsel av næringssalter (gjødselstoffer) til fotosyntesesonen.

## 7. SAMMENFATTENDE VURDERING

### A. Generelt

Sammenligningen av utslippmengdene som BOF<sub>7</sub> med de beregnede naturlige transporter av oksygen viser at den direkte belastningen med organisk materiale ikke vil ha noen nevneverdig betydning for oksygenforholdene. Tabell 16 viser at økningen av planteplanktonproduksjonen heller ikke bli så stor at den kan ha betydning for oksygenforholdene i fjorden som helhet, selv om kloakkvannet bare blir mekanisk rensset. Lokal reduksjon av oksygenkonsentrasjonen anses likeledes som mindre sannsynlig så fremt man har en effektiv partikkel-fjerning. Et mulig unntak er bunnen i den umiddelbare nærhet av et utslipp. Utslipet av gjødselstoffer er relativt stort, spesielt ved de mengder som er prognostisert for år 2015, i forhold til de naturlige transporter i overflatevannet, men både de naturlige konsentrasjoner i måleperioden og den forventede økning er relativt små. Selv om vannets vekstpotensial vil øke, vil dette neppe resultere i vesentlig større forekomster av planteplankton. Om man skal kunne spore noen virkninger av dette, vil det i så fall være fordelt over et større område og ikke i umiddelbar tilknytning til utslippet. Dersom utslippet blir lagt på grunt vann nær stranden, kan en risikere økt begroing og forandring i samfunnene av fastsittende alger.

Mekanisk-kjemisk rensing vil gi en ubetydelig økning i vannets produksjonspotensial i forhold til det naturlige. Mekanisk-biologisk rensing vil også gi noe mindre økning enn bare mekanisk rensing.

Utslipp av organisk stoff er ikke ubetydelig i forhold til de naturlige transporter i området. Dette vil kunne påvirke vannkvaliteten lokalt omkring utslippet, mens påvirkningen i et større område vil være liten p.g.a. fortynning, sedimentering og nedbryting i vannmassen. De lokale effekter vil bli betydelig redusert ved et kjemisk rensetrinn, og antas å bli ubetydelig ved evt. biologisk rensing.

Kloakkvann kan oppfattes som en bakteriekultur, vesentlig av nedbryterorganismer for organisk materiale. Det kan også inneholde sykdomsfremkallende bakterier og tarmparasitter. Enkelte av bakteriene kan

danne svært hardføre stadier som til og med tåler koking. Dette medfører infeksjonsrisiko ved bading nær utslippet og ved bruk av skjell og muslinger fra utslippsområdet. Disse samler opp partikler og dermed også bakterier fra vannet. Ved kjemisk og biologisk rensing vil forekomsten av sykdomsfremkallende bakterier og virus reduseres, men vesentlig forbedring oppnås først ved en form for filtrering eller sterilisering.

For å unngå hygieniske og etiske problemer i Korsvikfjorden anbefales derfor dyputslipp med et arrangement som medfører en innblanding av avløpsvannet under fotosyntesesonen (under ca. 25 m).



## B. Dyputslipp

Figur 11 viser prinsippene for et dypvannsutslipp. Som det fremgår av figuren vil avløpsvannet fortynnes og innlagres under overflatelaget. Deretter vil det fortynnede avløpsvannet spres horisontalt på innlagringsnivå dels gjennom en "egenspredningseffekt" som følge av forskjellen i egenvekt mellom det innlagrede avløpsvannet og omgivende vannmasser, dels ved naturlige bevegelser i området. Ved en simulering av dypvanns-utslipp i Byfjorden i Sverige (Göranson & Svensson, 1975) ved en utslippsmengde på ca. 200 l/s i en nesten strømfri fjord ble det oppmålt en radiell spredning av avløpsvannet på 130 m pr. døgn. Dette forsøk motsvarer utslippet mengde vann som er prognostisert for år 2015 i Korsvikfjorden. Hvis Korsvikfjordens vannmasse hadde vært helt stillestående, ville det fortynnede avløpsvannet i løpet av en uke fylle fjorden på innlagringsdyp. Deretter ville det fortynnede avløpsvannet strømme ut i Kristiansandsfjorden hovedsaklig mellom Tuboen og Dvergsnes. Imidlertid er variasjonen i hydrografien så stor (se fig.3) at den vannmasse som avløpsvannet vil innlagres i vil forandres i løpet av en uke. Dette innebærer at den ovenfor beskrevne situasjonen kun vil etableres ved de få tilfeller den hydrografiske situasjonen er uforandret over en uke. I virkeligheten vil dette innebære at de naturlige strømningene vil bestemme oppholdstiden for avløpsvannet. Med en maksimal oppholdstid på rundt 20 døgn av dyvannet vil et dyputslipp med vannmengder tilsvarende de som er prognostisert for år 2015 medføre primærfortynningskonsentrasjoner i hele dypvannet i Korsvikfjorden da den teoretiske tiden for å fylle fjordens dypvann med fortynnet kloakkvann vil være av samme størrelse som oppholdstiden. I denne situasjon vil det kunne bli merkbare forandringer i fjordens dypvann. Med hensyn til usikkerheten i beregningene og risikoen for resirkulering av fortynnet avløpsvann kan det bli effekter på området som følge av utslippet, spesielt i situasjoner når de dypere vannmassene presses opp mot overflaten (se fig. 3).

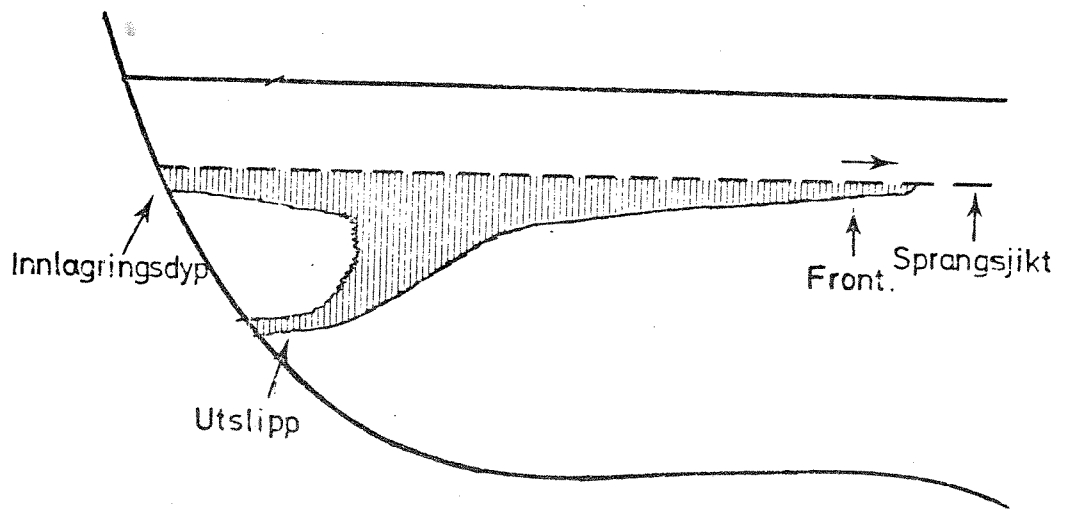


FIG. 11 Spredning av kloakkvann fra dyputslipp.

Effekter på dypvannet med dyputslipp vil først være aktuell ved belastning med partikler og organisk karbon etter mekanisk rensing. Slike utslipp kan lokalt påvirke bunndyrsamfunnet som følge av økt sedimentering og næringstilgang og mulige uønskede forskyvninger i artssammensetningen av bunndyr og fisk. Ved kjemisk eller biologisk rensing synes mulighetene for uønskede virkninger små.

### C. Utslippssted

Avløpsvannets egenspredning medfører at største delen av fjorden relativt raskt fylles på innlagringsnivået (se kap. 7B). Det er derfor av mindre betydning eksakt hvor utslippet lokaliseres. Imidlertid er innløpet til bukten i nord-øst i Korsvikfjorden sperret av grunnområder, som kan påvirke vanntransporten under innlagringsdyp. Selv om vannutskiftningen er god i dette området, er det ikke å anbefale direkte å belaste et delvis lukket område med rensed avløpsvann.

Tilgangen til fortynningsvann er betydelig mer begrenset i denne fjorddel og ved en ugunstig hydrografisk situasjon med relativt små bevegelser i vannmassene over en uke vil det foreligge en stor risiko for resirkulering av det utsluppede avløpsvannet, d.v.s. det primærfortynnet avløpsvannet vil fylle hele bukten fra innlagringsdyp til utslippsdyp og fortynningsvann blir da primærfortynnet avløpsvann. Dette vil da også øke den vertikale transporten av stoff gjennom sprangsjiktet.

Ved å velge utslippssted utenfor det ovenfor behandlede området, vil fortynningsvannet til utslippet trekkes fra hele fjordområdet, og muligheten for resirkulering av fortynnet avløpsvann minker. En vil dog ikke kunne unngå at fortynnet avløpsvann spres inn i bukten i nord-øst, men konsentrasjonsnivået vil være omtrent det samme som i øvrige deler i fjorden.

Som vist i tidligere kapitler i denne rapport, blir prognoser og beregninger nokså omtrentlige. Dette innebærer for eksempel at effekten av en geografisk forskyvning av utslippssted langs Dvergsneslandet mot Kristiansandsfjorden er vanskelig å estimere. En generell og ganske selvfølgelig konklusjon er at konsentrasjonen av avløpsvann i Korsvikfjorden vil avta med avstanden på utslippet fra Valvigen.

## 8. ANBEFALINGER

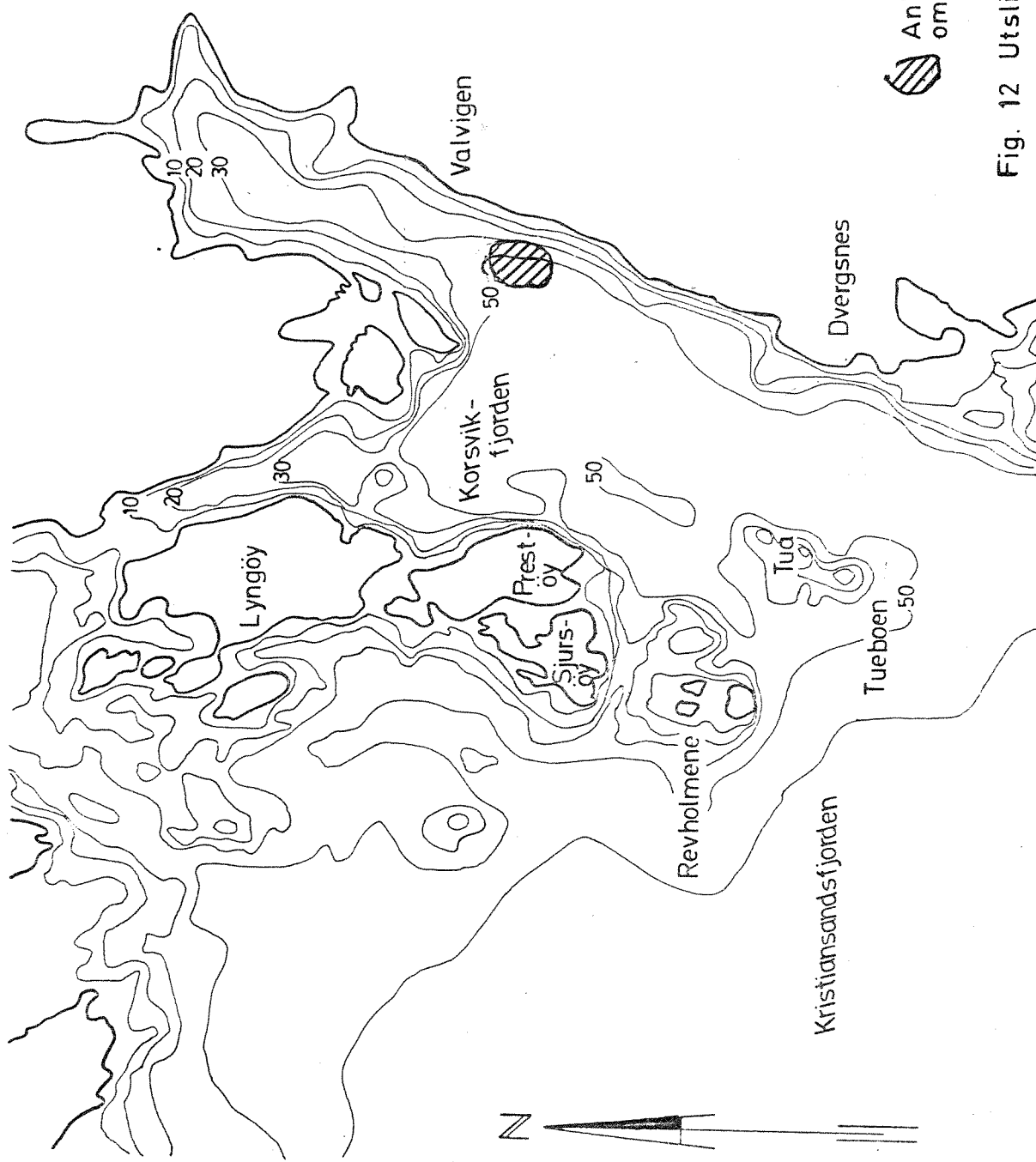
### A. Rensegrad og utslippstype

Ut fra resultatene av feltmålingene, og beregningene over sannsynlige effekter av et utslipp i Kørsvikfjorden, anbefales i første rekke at avløpsvannet renses mekanisk og slippes ut på en slik måte at det i hvert fall om våren og sommeren (ut september) innlagres under ca. 25 meters dyp. Når utslippsmengdene øker, kan det bli behov for at kjemisk rensing innføres. Tidspunktet for innføring av kjemisk rensing er vanskelig å bestemme ut fra de teoretiske beregninger som er foretatt i denne rapport, da det foreligger en del usikkerheter både i beregningene og i bedømmelsen av den totale effekten på utslippsområdet. Det anbefales derfor at utslippet overvåkes, dels gjennom regelmessig analyse av avløpsvannets næringssaltinnhold, dels gjennom kontrollmålinger i resipienten (se. vedlegg B). Tidspunktet for eventuell kjemisk rensing kan da knyttes til resultatene fra overvåkingsprogrammet, dvs. når det måtte oppstå negative effekter som sannsynlig resultat av kloakkvannbelastningen. Hvis en ikke overvåker fjorden, bør kjemisk rensing innføres når utslippsmengdene overstiger 5 000-7 000 m<sup>3</sup> pr. døgn, eller innen en oppnår de utslippsmengder som er prognostisert for år 1990 (20 000 p.e.).

Kjemisk rensing er å anbefale framfor biologisk rensing, særlig hvis avløpsvann fra industri vil gå til renseanlegget, selv om det må stilles spesielle krav til rensing overfor hver enkelt industri-type. Den kjemiske rensing vil bedre enn biologiske renseanlegg redusere belastningen med gjødselstoffer. Beregningsresultatene viser at den potensielle virkning av næringssalter i form at økt planteplanktonproduksjon er vesentlig høyere enn den direkte belastning med hurtig omsettelig organisk stoff. Den kjemiske renseprosess er også mer effektiv ved fjerning av metaller, og dessuten mindre ømfindtlig overfor variasjonene i avløpsvannets sammensetning og eventuell episodiske forekomst av giftstoffer.

B. Utslippssted

Utslippet bør legges til Korsvikfjordens hoveddel, slik at primær-fortynningen skjer i vannmasser fra denne delen. Gunstig utslippsområde er avmerket i figur 12. Ved å velge dette utslippssted, vil en allikevel ikke unngå en spredning inn i området i nord-øst. Den eksakte posisjonen av selve diffusoren innenfor det utpekte området spiller mindre rolle, og kan velges fritt etter eksempelvis tekniske eller andre kriterier.



Anbefalt utslipps-  
område

Fig. 12 Utslippsområde

VEDLEGG A

PRIMÆRFORTYNNING OG INNLAGRING AV AVLØPSVANN I KORSVIKFJORDEN

A.1 Generelt

Ved utslipp av avløpsvann i en resipient er det ofte viktig å få best mulig fortykning og spredning av avløpsvann. Ofte vil en også ønske å få lagret inn vannet rundt et bestemt dyp, for å unngå påvirkning, f.eks. på overflatelaget, eller for å utnytte en strøm ut av et område på dette dypet.

I en lagdelt resipient kan både innlagringsdyp og fortykning påvirkes ved å variere utslippsdyp, hastighet og diameter på utløpsstrålene.

Fordi ferskt avløpsvann er lettere enn vannet i en marin resipient, vil det alltid stige mot overflaten hvis det slippes ut på et visst dyp. Hvis avløpsstrålen er relativt tynn og har høy utgangshastighet, vil turbulensen i strålen forplante seg til de nærmeste omliggende vannmasser. Disse vil rives med og blandes inn i strålen slik at avløpsvannet fortyknes, og strålen øker i tetthet og mektighet etter som den stiger oppover. Siden tettheten i resipienten avtar mot overflaten, kan strålen til slutt bli tyngre enn de omliggende vannmasser, og den vil da bremses ned. Det fortynnede avløpsvannet vil innlagres i et sjikt rundt det dyp hvor det hører hjemme ut fra sin tetthet, men noe av vannet kan trenge høyere opp enn dette dypet. Hvis utslippet ligger nær overflaten, eller hvis det er svak sjiktning, kan en få gjennombrudd til overflaten med innlagring i et sjikt her.

Den fortykning som oppnås fram til innlagring kalles primærfortynning. Den vil være liten hvis utslippet sendes direkte i overflaten. Primærfortynningen øker ellers med avtagende utløpsdiameter, og med økende avstand fra utslippsdyp til innlagringsdyp.

Etter at innlagring er nådd, vil det fortynnede avløpsvannet dels spres horisontalt ved tetthetsstrømmer, og dels kunne inngå i resipientenes naturlige strømmer. En viss vertikal blanding mellom ulike lag vil også bidra til transport og spredning av avløpsvannet. Videre fortykning etter innlagring kalles sekundærfortynning.

Mellom utslipp-og innlagringsdyp vil det trekkes vann inn mot strålen for å erstatte det vann som rives med.

For å få god fortynning med relativt liten avstand mellom utslipps- og innlagringsdyp bruker en ofte en diffusor, dvs. en utløpsledning med mange mindre hull langs siden, hvor vannet presses ut i tynne stråler med høy hastighet.

## A.2 Situasjonen i Korsvikfjorden

Som vist tidligere i rapporten (avsnitt 4) preges hydrografien i Korsvikfjorden av raske vertikale forskyvninger av vannmassene i sammenheng med vannutvekslingene med Kristiansandsfjorden.

Noe bestemt innlagringsdyp er det derfor ikke mulig å oppnå, delvis fordi tetthetssjiktningen varierer, men særlig fordi vann som innlagres på et gitt dyp ved ett tidspunkt senere vil transporteres opp og ned med de naturlige vannbevegelsene i resipienten. Avløpsvannet vil derfor spres i et nokså stort dybdeintervall i vannmassene i Korsvikfjorden. For mest mulig å unngå at næringssaltene i utslippet utnyttes i økt produksjon av organisk stoff, bør innlagringsdypet ligge så langt ned at det innlagrede avløpsvannet sjelden når opp over 25 meters dyp ved vertikale vannbevegelser om sommeren og første del av høsten.

Feltmålingene for 1975 tyder på at en kan ha raske vertikale forskyvninger av vannmassene på 10-15 meter. Innlagringsdyp etter primærfortynning bør derfor ligge ned mot 35-40 meter for at man skal unngå transport over 25 meters grensen. Jo nærmere opp mot 25 meter innlagringsdypet kommer, jo mer næringssalter vil transporteres opp i de produktive lagene av Korsvikfjorden. Ved store innlagringsdyp vil næringssaltene stort sett spres utover ut i hele Kristiansandsfjorden før de eventuelt tilføres overflatelagene ved vertikale blandingsprosesser. De vil da ikke ha vesentlig lokal virkning i Korsvikfjorden.

Det er god vannutskiftning på alle dyp i Korsvikfjorden, og de utslippsmengder det er snakk om bør ikke få vesentlige negative effekter på



dypvannet med hensyn til oksygenforbruk og organisk stoff.

Målet blir derfor å få innlagring så langt ned i vannmassen som mulig.

### A.3 Primærfortynnings- og innlagringsberegninger

#### A.3.1 Beregningsmetodikk

For beregning av primærfortynning og innlagring av avløpsvann finnes et EDB-program, NIVA \* JET.MIX, utviklet av COMPUTAS og NIVA (1973). Dette programmet beregner fortynningsforløpet for en avløpsstråle i vilkårlig sjiktet resipient, på basis av data om strålen i utløpet og tetthetsprofiler.

Beregninger er utført for en serie forskjellige utløpsstråler som skulle dekke omtrent det variasjonsområde som er aktuelt for det gitte utslippet, og for en serie tetthets-profiler som skulle gi et brukbart statistisk bilde av hvordan forholdene kan variere i tid.

#### A.3.2 Utløpsdata

Beregningen er utført for horisontalt rettede utløpsstråler, med varierende diameter og hastighet.

Utløpshastighetene er satt til 2,4 og 8 m/s og effektiv strålediameter etter kontraksjon til 5, 10 og 20 cm. Vannføringen pr. hull ( $m^3/s$ ) er gitt i tabell A.1 nedenfor.

Tabell A.1 Vannføring pr.hull ( $m^3/s$ ) ved forskjellige hastigheter og diametre av utløpsstråle (etter kontraksjon)

Effektiv diameter (cm)	Utløpshastighet (m/s)		
	2	4	8
5	0.004	0.008	0.016
10	0.016	0.031	0.063
20	0.063	0.125	0.250

Dette skulle dekke vanlige diffusorer med opp til ca. 50 hull for de angitte vannføringer.

Utslippsdypet er variert med 30, 45 og 60 meter.

### A.3.3 Tetthetsdata

Tetthetsprofilene fra stasjon 5, nærmest det anbefalte utslippsområdet, benyttes i beregningene. Profilene kan imidlertid antas representative også for andre områder i Korsvikfjorden, idet tetthetssjiktningen varierer lite fra stasjon til stasjon.

I alt 30 profiler er benyttet, de er listet i tabell A.2 nedenfor.

Tabell A.2 Tetthetsprofiler benyttet i innlagingsberegninger

PERIODE	PROFILE	STATION	REGTIME		NO. OF DEPTHS
1	1	5	27/6	75	26
	2	5	1/7	75	9
	3	5	9/7	75	25
	4	5	31/7	75	26
	5	5	5/8	75	10
	6	5	7/8	75	26
	7	5	13/8	75	26
	8	5	21/8	75	26
	9	5	27/8	75	10
	10	5	29/8	75	26
2	11	5	4/9	75	26
	12	5	11/9	75	25
	13	5	18/9	75	26
	14	5	24/9	75	10
	15	5	30/9	75	26
	16	5	7/10	75	26
	17	5	14/10	75	26
	18	5	20/10	75	10
	19	5	21/10	75	26
	20	5	18/11	75	26
	21	5	25/11	75	25
	22	5	27/11	75	10
	23	5	3/12	75	26
3	24	5	9/12	75	26
	25	5	16/12	75	26
	26	5	17/12	75	9
	27	5	22/12	75	26
	28	5	29/12	75	25
	29	5	6/1	76	26
	30	5	13/1	76	26

Profilene er noenlunde jevnt fordelt i tidsrommet 27.6.75 til 13.1.76. Skjønnsmessig er dette tidsrommet delt inn i tre perioder ut fra sjiktningforholdene.

I første periode, fra 27.6 til 29.8, er det markert gradient i tettheten selv på store dyp i alle profilene. I den andre perioden, fram til 3.12, varierer sjiktningen sterkere, og situasjoner med svært svak sjiktning under 20-30 meter forekommer. I den siste perioden er sjiktningen vesentlig svakere enn i de to første periodene, og vannet under 10-20 meters dyp er nesten homogent i tetthet.

#### A.3.4 Beregninger

Det er utført to beregningsserier.

I den første serien er utløpshastigheten holdt konstant på 4 m/s, og diameter og dyp er variert som angitt i avsnitt A.3.2. Alle tetthetsprofilene er benyttet. Resultatene er gitt i tabell A.3, separat for hver periode. Resultatene er gruppert etter utslippsdata.

Etterpå er hastigheten variert, og diameter holdt konstant på 0.1 m. Ca. 1/3 av tetthetsprofilene innenfor hver periode er benyttet, og resultatene er gjengitt i tabell A.4, separat for hver periode. Resultatene er gruppert etter profiler.

Den siste serien er utført for å se hvor mye hastighetsvariasjoner har å si. Ut fra erfaring er hastigheten mye mindre avgjørende enn diameteren.

For hvert beregnet tilfelle er følgende resultater gjengitt:

I innlagingspunktet (Neutral point):

Width = strålebredde

Angle = vinkel på horisontalplanet

Center dilut = senterfortynning

Depth = dyp

Dyp for høyeste opptrengning (Extremal depths), beregnet på to måter:

EQS.: Beregnet med fortsatt fortynning etter innlagingspunkt.

POT.: Ingen friksjon eller blanding etter innlagring  
(kinetisk/potensiell energi)

Reelt høyeste opptrengningsdyp vil ligge et sted mellom de to verdiene,  
antagelig nærmest den første.

Tabell A.3. Innlagringsberegninger, utløpshastighet 4 m/s, varierende  
utslippsdyp og diameter. Tidsperiode 1, side 1.

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS					
NR.	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	0		NEUTRAL WIDTH ANGLE (M) DEG.		POINT CENTER DEPTH DILUT. (M)	EXTREMAL DEPTHS EQS. POT. (M) (M)		
1	30.0	0.05	4.00	0	1	1.2	71	66	23.9	21.7	17.3
					2	0.8	52	33	27.4	26.0	23.9
					3	0.9	55	36	27.0	25.7	23.1
					4	0.9	59	43	26.3	24.7	21.9
					5	1.0	60	45	26.1	24.1	20.9
					6	0.9	59	43	26.4	24.2	21.0
					7	1.1	67	58	24.7	22.8	20.1
					8	0.8	53	34	27.3	25.6	23.5
					9	1.3	71	76	22.9	21.2	16.8
					10	1.3	70	73	23.2	20.0	14.9
2	30.0	0.10	4.00	0	1	1.5	69	42	22.2	20.1	13.1
					2	1.1	52	23	26.4	24.4	21.2
					3	1.2	55	26	25.8	23.9	20.9
					4	1.3	59	30	24.9	22.4	19.0
					5	1.4	60	31	24.5	22.1	17.4
					6	1.3	59	30	24.8	21.2	16.5
					7	1.4	65	35	23.7	20.9	17.4
					8	1.2	53	24	26.2	23.8	20.4
					9	1.9	71	54	20.0	16.6	14.2
					10	1.9	70	52	20.2	14.0	9.4
3	30.0	0.20	4.00	0	1	2.1	68	28	19.7	17.1	8.7
					2	1.6	52	16	24.9	21.4	17.6
					3	1.7	55	17	24.4	21.8	17.5
					4	1.8	58	20	23.3	17.7	13.9
					5	2.0	60	22	22.3	16.8	12.6
					6	2.0	60	22	22.1	17.9	10.2
					7	1.9	63	22	22.2	16.3	13.6
					8	1.7	53	17	24.6	19.7	15.5
					9	2.2	70	30	18.9	14.7	8.5
					10	2.5	71	36	16.6	14.0	2.9
4	45.0	0.05	4.00	0	1	1.5	77	105	35.6	31.9	25.2
					2	1.2	72	71	38.5	36.0	32.0
					3	1.2	71	68	38.7	36.1	32.1
					4	1.2	71	66	38.9	37.2	33.0
					5	1.2	68	62	39.3	36.5	32.0
					6	1.0	65	52	40.3	38.4	34.1
					7	0.8	54	35	42.2	40.6	38.4
					8	1.3	71	76	37.9	35.7	30.9
					9	1.1	65	52	40.2	38.0	34.3
					10	0.9	56	37	42.0	40.1	37.7

(CONTINUES:)

Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 1, side 2

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS								
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		NEUTRAL WIDTH (M)	NEUTRAL ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	POINT DEPTH (M)	EXTREMAL DEPTHS				
									EQS. (M)	POT. (M)				
5	45.0	0.10	4.00	0	1	2.1	76	72	32.0	28.6	20.4			
					2	1.6	70	44	36.8	34.4	27.9			
					3	1.6	70	44	36.8	34.2	27.8			
					4	1.6	69	43	37.1	34.8	30.2			
					5	1.7	68	44	36.8	33.8	27.0			
					6	1.5	65	37	38.2	35.5	30.4			
					7	1.2	54	25	41.1	38.7	35.2			
					8	1.9	72	55	34.8	32.5	27.5			
					9	1.5	65	36	38.4	33.7	30.0			
					10	1.2	56	26	40.8	35.6	34.0			
6	45.0	0.20	4.00	0	1	2.9	75	47	27.9	24.1	14.1			
					2	2.2	69	29	34.3	31.0	23.8			
					3	2.2	69	29	34.2	31.1	23.4			
					4	2.1	68	28	34.8	30.4	26.3			
					5	2.4	68	31	33.4	29.2	21.4			
					6	2.1	65	26	35.3	31.3	25.6			
					7	1.7	54	17	39.3	34.2	29.9			
					8	2.3	71	33	32.9	28.8	23.0			
					9	2.1	64	25	35.8	29.2	22.6			
					10	1.8	56	19	38.7	32.9	26.2			
7	60.0	0.05	4.00	0	1	2.5	81	204	43.2	39.8	33.4			
					2	DISCHARGE OUTSIDE DENSITY RANGE								
					3	2.3	79	178	44.8	42.8	38.5			
					4	1.6	74	97	51.0	47.9	42.3			
					5	1.2	68	63	54.1	51.3	47.0			
					6	1.5	75	94	51.3	48.9	43.1			
					7	1.2	68	64	54.0	51.8	46.4			
					8	1.4	76	92	51.7	48.3	40.1			
					9	1.3	71	74	53.1	50.7	45.9			
					10	1.3	70	72	53.2	51.6	43.0			
8	60.0	0.10	4.00	0	1	3.0	81	126	39.0	34.2	26.1			
					2	DISCHARGE OUTSIDE DENSITY RANGE								
					3	2.5	79	96	43.2	39.7	33.0			
					4	2.1	75	66	47.7	44.3	36.2			
					5	1.7	68	44	51.7	47.8	41.4			
					6	2.0	74	63	48.4	44.8	38.4			
					7	1.9	70	52	50.2	48.0	43.0			
					8	2.1	75	66	47.9	44.8	34.5			
					9	1.8	71	52	50.3	46.8	41.5			
					10	1.9	71	54	49.8	47.0	39.3			

(CONTINUES:)

Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 1, side 3

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS						
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		WIDTH (M)	NEUTRAL ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EXTREMAL DEPTHS		
									EQS. (M)	POT. (M)		
9	60.0	0.20	4.00	0	1	3.5	80	70	35.9	31.5	17.9	
					2	DISCHARGE OUTSIDE			DENSITY RANGE			
					3	3.1	78	56	40.1	36.3	27.2	
					4	2.8	74	44	43.6	40.4	30.9	
					5	2.3	68	31	48.3	42.6	33.8	
					6	2.7	74	41	44.8	40.8	32.4	
					7	2.3	70	32	48.1	44.3	38.2	
					8	2.9	75	47	42.7	39.3	27.7	
					9	2.3	71	33	47.8	42.8	34.9	
					10	2.7	74	42	44.2	39.8	35.2	

Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 2, side 1

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS					
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		NEUTRAL		POINT	EXTREMAL DEPTHS		
					WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)	
1	30.0	0.05	4.00	0	11	1.0	61	45	26.1	24.1	21.0
					12	1.5	76	97	21.2	18.8	13.8
					13	1.1	67	58	24.7	22.6	17.7
					14	1.6	79	123	19.1	16.4	9.9
					15	1.5	73	93	21.3	19.1	11.5
					16	1.5	77	107	20.5	16.5	6.7
					17	1.1	63	51	25.4	6.3	9.1
					18	1.4	72	81	22.5	20.0	13.2
					19	1.9	77	127	18.3	<0.0	8.1
					20	1.5	75	100	20.8	14.7	14.3
					21	0.5	29	17	29.2	28.8	28.1
					22	1.4	73	85	22.1	20.4	6.4
					23	1.6	77	112	19.8	18.1	13.2
2	30.0	0.10	4.00	0	11	1.4	61	31	24.5	20.5	16.6
					12	1.9	74	61	18.8	15.1	10.5
					13	1.6	67	42	22.3	18.1	13.1
					14	2.0	77	67	17.9	15.9	5.4
					15	2.2	74	67	17.5	15.3	4.2
					16	2.4	77	83	15.0	12.6	1.4
					17	2.6	73	78	14.8	<0.0	<0.0
					18	2.0	72	58	19.1	<0.0	4.0
					19	2.4	78	86	14.5	<0.0	<0.0
					20	2.0	75	62	18.5	14.9	8.9
					21	0.7	29	12	28.9	28.3	27.3
					22	3.1	77	106	10.5	8.7	4.3
					23	2.1	76	68	17.5	9.7	9.7
3	30.0	0.20	4.00	0	11	1.9	61	22	22.2	17.8	7.5
					12	2.6	73	38	15.9	2.9	5.8
					13	2.3	67	30	18.9	16.7	7.5
					14	3.2	75	51	11.2	10.1	3.5
					15	3.2	74	49	11.8	11.2	2.3
					16	3.3	77	57	9.4	9.0	0.3
					17	3.7	77	63	6.5	<0.0	<0.0
					18	2.7	72	41	14.8	5.4	<0.0
					19	2.9	76	49	12.2	<0.0	<0.0
					20	2.4	73	36	16.9	15.2	0.4
					21	1.0	29	9	28.5	27.6	26.2
					22	3.4	78	62	7.7	6.7	2.4
					23	2.5	74	39	15.5	11.8	3.8

(CONTINUES:)

< : BEYOND MIN DEPTH OF DENSITY RANGE

Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 2, side 2

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS						
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		NEUTRAL WIDTH (M)	ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EXTREMAL DEPTHS		
									EQS. (M)	POT. (M)		
4	45.0	0.05	4.00	0	11	1.3	73	80	37.6	35.2	30.5	
					12	1.0	64	52	40.3	37.1	34.5	
					13	1.4	75	92	36.6	33.9	27.0	
					14	1.8	76	121	33.9	28.4	20.1	
					15	1.3	73	78	37.8	34.0	28.6	
					16	1.0	64	50	40.5	37.1	24.8	
					17	1.4	74	85	37.2	34.6	29.7	
					18	1.1	65	53	40.2	37.2	32.3	
					19	1.3	67	68	38.6	35.6	28.6	
					20	1.2	70	64	39.1	34.7	32.5	
					21	2.2	81	184	29.8	29.2	28.6	
					22	1.6	77	112	34.9	31.2	24.5	
					23	1.9	79	142	32.5	28.2	21.2	
5	45.0	0.10	4.00	0	11	1.8	72	54	34.9	31.8	26.8	
					12	1.5	64	36	38.5	29.3	28.9	
					13	2.1	74	65	33.1	29.2	22.0	
					14	2.8	78	98	27.4	7.0	12.0	
					15	1.8	71	51	35.5	29.3	20.6	
					16	2.7	70	75	30.2	26.0	15.5	
					17	1.8	73	55	34.8	31.2	25.4	
					18	1.7	66	42	37.2	32.5	26.2	
					19	2.1	71	60	33.5	16.8	21.6	
					20	1.6	69	42	37.2	31.6	24.6	
					21	2.2	80	86	29.9	28.3	27.4	
					22	2.2	77	76	31.3	6.8	16.0	
					23	2.6	79	95	28.2	25.2	14.1	
6	45.0	0.20	4.00	0	11	2.3	71	33	32.9	28.4	21.0	
					12	2.1	64	25	35.9	30.2	17.0	
					13	2.8	74	43	28.9	23.6	15.2	
					14	3.8	79	71	19.7	17.4	5.9	
					15	2.8	72	41	29.7	25.3	10.4	
					16	3.6	77	62	22.1	18.8	1.7	
					17	2.4	71	34	32.3	10.8	16.8	
					18	2.4	67	32	33.1	24.9	16.2	
					19	2.8	72	42	29.3	<0.0	6.7	
					20	2.3	68	30	33.8	27.6	13.3	
					21	2.5	77	42	29.8	28.0	25.9	
					22	3.0	76	50	26.8	23.5	4.0	
					23	3.4	78	62	23.0	18.6	9.0	

(CONTINUES:)

< : BEYOND MIN DEPTH OF DENSITY RANGE



Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 2, side 3

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS					
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		NEUTRAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS	
					WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)	
7	60.0	0.05	4.00	0	11	1.4	74	84	52.2	48.4	43.8
					12	1.4	76	98	51.1	48.5	42.9
					13	1.9	78	133	48.2	44.8	37.1
					14	1.2	70	67	53.8	50.3	45.8
					15	1.8	78	131	48.4	45.4	38.2
					16	2.3	80	179	44.9	42.9	40.2
					17	1.1	66	56	54.9	51.4	45.9
					18	1.6	80	127	49.0	46.1	41.9
					19	1.1	67	60	54.5	51.7	46.7
					20	2.0	80	159	46.4	44.1	38.4
					21	1.9	80	145	47.5	41.2	32.3
					22	1.6	76	108	50.2	46.1	35.6
					23	2.2	82	193	44.4	38.9	31.8
8	60.0	0.10	4.00	0	11	1.9	73	56	49.5	44.9	37.3
					12	1.9	75	62	48.7	45.1	38.3
					13	2.5	78	93	43.5	39.8	29.8
					14	1.7	70	47	51.2	43.6	38.5
					15	2.3	77	82	45.4	39.4	32.0
					16	2.4	79	91	44.0	33.3	33.2
					17	1.8	68	46	51.3	47.2	38.3
					18	1.9	77	68	47.8	42.6	37.4
					19	1.7	68	45	51.6	47.9	41.3
					20	2.4	79	92	43.9	37.2	33.6
					21	2.8	79	105	41.8	40.9	28.4
					22	2.7	77	93	43.2	38.6	28.3
					23	2.7	81	112	41.1	34.3	21.4
9	60.0	0.20	4.00	0	11	2.5	72	38	46.0	41.6	29.0
					12	2.6	74	40	45.4	38.3	32.3
					13	3.3	78	58	39.1	33.4	21.4
					14	2.6	70	36	46.5	35.1	24.8
					15	3.2	76	53	40.6	31.9	23.2
					16	2.8	77	48	42.6	10.7	16.8
					17	2.7	69	36	46.2	41.6	29.0
					18	2.5	75	39	45.7	37.6	29.7
					19	2.4	68	32	48.0	40.9	32.5
					20	2.9	78	52	41.3	32.3	25.0
					21	4.2	80	83	31.6	30.5	27.4
					22	3.5	78	64	37.3	5.8	16.0
					23	3.9	80	76	34.0	30.5	12.7

Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 3, side 1

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS					
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		NEUTRAL WIDTH (M)	NEUTRAL ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	POINT DEPTH (M)	EXTREMAL DEPTHS	
									EQS. (M)	POT. (M)	
1	30.0	0.05	4.00	0	24	2.5	84	249	11.2	10.9	2.6
					25	2.7	83	260	9.9	9.5	3.2
					26	2.1	83	209	13.9	12.1	1.1
					27	2.1	83	204	14.1	13.7	1.8
					28	2.1	82	190	14.6	14.2	1.5
					29	2.3	84	233	12.4	8.5	0.9
					30	2.4	83	239	11.7	9.6	2.3
2	30.0	0.10	4.00	0	24	3.3	82	149	6.5	6.0	2.2
					25	3.4	83	159	5.0	4.1	2.6
					26	3.3	82	146	6.8	4.8	<0.0
					27	3.5	82	155	5.6	5.2	1.5
					28	2.9	82	129	8.9	8.4	0.9
					29	2.7	82	120	10.4	4.8	<0.0
					30	2.9	82	128	9.2	7.3	0.5
3	30.0	0.20	4.00	0	24	3.6	81	77	4.2	<0.0	1.4
					25	3.6	81	78	3.9	3.2	1.4
					26	3.7	81	78	3.8	0.5	<0.0
					27	3.6	81	76	4.4	3.0	0.6
					28	3.7	81	76	4.2	3.5	0.2
					29	3.7	81	76	4.3	<0.0	<0.0
					30	3.4	80	70	6.3	3.5	<0.0
4	45.0	0.05	4.00	0	24	3.0	85	338	21.3	19.9	3.9
					25	2.4	83	222	27.6	19.8	8.3
					26	3.7	85	439	15.6	11.8	5.7
					27	3.2	86	394	18.4	15.1	3.9
					28	2.7	84	287	24.1	19.2	6.1
					29	1.7	80	137	33.1	28.0	16.7
					30	2.9	84	310	22.8	19.3	5.5
5	45.0	0.10	4.00	0	24	4.0	84	216	14.0	13.6	2.4
					25	3.2	82	142	22.2	21.3	2.8
					26	3.8	85	210	14.5	12.3	0.4
					27	3.8	85	209	14.8	14.4	1.5
					28	3.7	83	186	17.2	16.7	1.4
					29	2.2	78	81	30.6	25.1	0.3
					30	4.0	84	211	14.4	13.6	1.4
6	45.0	0.20	4.00	0	24	4.6	83	113	10.1	3.9	1.6
					25	5.2	83	120	7.6	6.3	2.1
					26	4.3	83	104	12.4	9.1	<0.0
					27	4.6	83	112	10.6	9.3	0.8
					28	4.8	83	114	9.7	9.0	0.5
					29	4.6	81	97	12.6	6.1	<0.0
					30	4.6	83	112	10.2	7.7	<0.0

(CONTINUES:)

< : BEYOND MIN DEPTH OF DENSITY RANGE

Tabell A.3 (forts.) Tidsperiode 3, side 2

JET DATA AFTER CONTRACTION					PRO- FILE NR.	RESULTS					
HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.		NEUTRAL WIDTH (M)	ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT. (M)	DEPTH (M)	EXTREMAL DEPTHS EQS. (M)	POT. (M)
7	60.0	0.05	4.00	0	24	3.5	84	354	34.3	30.1	15.7
					25	2.8	85	316	37.7	10.9	19.0
					26	2.5	81	214	42.6	16.3	21.7
					27	2.5	82	233	41.8	14.5	16.1
					28	2.7	82	248	40.5	35.8	17.1
					29	2.0	81	167	46.0	42.4	31.6
					30	3.0	84	329	36.5	29.0	12.4
8	60.0	0.10	4.00	0	24	4.8	84	254	24.1	22.3	3.3
					25	4.0	84	209	29.7	3.7	6.1
					26	3.8	82	171	33.0	31.2	3.6
					27	5.8	83	277	19.8	3.9	8.1
					28	4.2	84	216	28.0	3.3	5.1
					29	2.8	80	113	40.9	14.2	21.7
					30	4.4	84	236	26.4	23.9	3.6
9	60.0	0.20	4.00	0	24	5.9	84	158	14.4	13.8	2.0
					25	4.8	83	115	24.6	23.1	2.0
					26	5.9	84	152	14.9	12.3	<0.0
					27	5.8	84	152	15.4	14.8	1.2
					28	5.4	83	136	19.2	18.6	0.9
					29	3.9	80	77	33.7	<0.0	2.3
					30	5.9	84	158	14.7	12.5	0.4

< : BEYOND MIN DEPTH OF DENSITY RANGE

Tabell A.4. Malagringsberegninger, diameter 0.1 m, varierende hastighet og utslippsdyp. Tidsperiode 1.

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS					
	NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	NEUTRAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS	
						WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT. (M)	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)
1	1	30.0	0.10	2.00	0	1.2	79	45	22.1	20.1	13.7
	2	30.0	0.10	4.00	0	1.5	69	42	22.2	20.1	13.1
	3	30.0	0.10	8.00	0	2.2	55	46	22.9	20.8	13.9
	4	45.0	0.10	2.00	0	1.7	83	81	32.4	29.5	21.8
	5	45.0	0.10	4.00	0	2.1	76	72	32.0	28.6	20.4
	6	45.0	0.10	8.00	0	2.8	65	69	32.7	26.5	19.9
	7	60.0	0.10	2.00	0	2.6	85	158	39.4	35.4	28.8
	8	60.0	0.10	4.00	0	3.0	81	126	39.0	34.2	26.1
	9	60.0	0.10	8.00	0	3.7	73	113	39.0	35.3	24.5
4	1	30.0	0.10	2.00	0	1.0	73	30	24.5	22.1	18.6
	2	30.0	0.10	4.00	0	1.3	59	30	24.9	22.4	19.0
	3	30.0	0.10	8.00	0	1.9	40	34	25.9	23.8	20.5
	4	45.0	0.10	2.00	0	1.2	79	47	36.8	34.8	30.7
	5	45.0	0.10	4.00	0	1.6	69	43	37.1	34.8	30.2
	6	45.0	0.10	8.00	0	2.2	54	46	37.9	35.6	30.8
	7	60.0	0.10	2.00	0	1.7	82	76	47.8	44.8	37.3
	8	60.0	0.10	4.00	0	2.1	75	66	47.7	44.3	36.2
	9	60.0	0.10	8.00	0	2.7	61	64	48.7	45.1	36.6
7	1	30.0	0.10	2.00	0	1.1	76	36	23.4	20.8	17.5
	2	30.0	0.10	4.00	0	1.4	65	35	23.7	20.9	17.4
	3	30.0	0.10	8.00	0	2.1	49	41	24.2	22.4	18.3
	4	45.0	0.10	2.00	0	0.9	70	24	40.5	36.6	34.5
	5	45.0	0.10	4.00	0	1.2	54	25	41.1	38.7	35.2
	6	45.0	0.10	8.00	0	1.7	35	29	41.9	39.9	37.2
	7	60.0	0.10	2.00	0	1.5	80	59	49.9	47.9	43.4
	8	60.0	0.10	4.00	0	1.9	70	52	50.2	48.0	43.0
	9	60.0	0.10	8.00	0	2.4	53	50	51.9	49.8	43.7
10	1	30.0	0.10	2.00	0	1.5	80	58	20.0	17.5	10.2
	2	30.0	0.10	4.00	0	1.9	70	52	20.2	14.0	9.4
	3	30.0	0.10	8.00	0	2.5	55	52	21.6	18.7	10.5
	4	45.0	0.10	2.00	0	0.9	71	26	40.2	35.2	32.9
	5	45.0	0.10	4.00	0	1.2	56	26	40.8	35.6	34.0
	6	45.0	0.10	8.00	0	1.7	36	30	41.7	39.3	36.3
	7	60.0	0.10	2.00	0	2.3	81	94	44.8	43.2	41.3
	8	60.0	0.10	4.00	0	1.9	71	54	49.8	47.0	39.3
	9	60.0	0.10	8.00	0	2.5	55	53	51.3	48.4	39.9

Tabell A.4 (forts.) Tidsperiode 2

PRG- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS					
	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	NEUTRAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS	
						WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)
13	1	30.0	0.10	2.00	0	1.3	78	45	21.9	18.1	13.6
	2	30.0	0.10	4.00	0	1.6	67	42	22.3	18.1	13.1
	3	30.0	0.10	8.00	0	2.2	50	43	23.6	20.2	14.6
	4	45.0	0.10	2.00	0	1.7	82	73	33.2	29.9	23.3
	5	45.0	0.10	4.00	0	2.1	74	65	33.1	29.2	22.0
	6	45.0	0.10	8.00	0	2.6	61	61	34.3	30.2	22.1
	7	60.0	0.10	2.00	0	2.1	84	110	44.0	39.1	32.2
	8	60.0	0.10	4.00	0	2.5	78	93	43.5	39.8	29.8
	9	60.0	0.10	8.00	0	3.2	68	86	44.0	40.1	29.5
16	1	30.0	0.10	2.00	0	2.1	83	96	15.4	1.9	3.3
	2	30.0	0.10	4.00	0	2.4	77	83	15.0	12.6	1.4
	3	30.0	0.10	8.00	0	3.1	65	79	15.5	12.9	1.1
	4	45.0	0.10	2.00	0	2.8	82	131	24.7	13.4	17.2
	5	45.0	0.10	4.00	0	2.7	70	75	30.2	26.0	15.5
	6	45.0	0.10	8.00	0	2.3	46	44	38.4	14.2	17.1
	7	60.0	0.10	2.00	0	2.0	84	109	44.3	35.2	36.1
	8	60.0	0.10	4.00	0	2.4	79	91	44.0	33.3	33.2
	9	60.0	0.10	8.00	0	3.1	70	86	44.2	32.3	32.2
19	1	30.0	0.10	2.00	0	2.0	84	103	14.6	<0.0	<0.0
	2	30.0	0.10	4.00	0	2.4	78	86	14.5	<0.0	<0.0
	3	30.0	0.10	8.00	0	3.2	66	82	14.9	<0.0	<0.0
	4	45.0	0.10	2.00	0	1.7	81	70	33.2	17.6	22.5
	5	45.0	0.10	4.00	0	2.1	71	60	33.5	16.8	21.6
	6	45.0	0.10	8.00	0	2.8	53	58	35.2	17.3	24.4
	7	60.0	0.10	2.00	0	1.4	78	50	51.2	47.8	41.9
	8	60.0	0.10	4.00	0	1.7	68	45	51.6	47.9	41.3
	9	60.0	0.10	8.00	0	2.3	50	46	53.1	49.5	43.0
22	1	30.0	0.10	2.00	0	2.6	84	133	10.4	8.9	4.7
	2	30.0	0.10	4.00	0	3.1	77	106	10.5	8.7	4.3
	3	30.0	0.10	8.00	0	2.6	59	59	20.0	19.3	3.4
	4	45.0	0.10	2.00	0	1.8	83	86	31.7	9.3	19.8
	5	45.0	0.10	4.00	0	2.2	77	76	31.3	8.7	17.4
	6	45.0	0.10	8.00	0	2.9	65	72	31.9	8.2	16.7
	7	60.0	0.10	2.00	0	2.2	83	108	43.9	39.4	30.5
	8	60.0	0.10	4.00	0	2.7	77	93	43.2	38.6	28.3
	9	60.0	0.10	8.00	0	3.3	65	82	44.8	39.6	27.9

< : BEYOND MIN DEPTH OF DENSITY RANGE

Tabell A.4 (forts.) Tidsperiode 3

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
						NEUTRAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS		
	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)	
25	1	30.0	0.10	2.00	0	2.8	86	188	7.0	6.1	2.8	
	2	30.0	0.10	4.00	0	3.4	83	159	5.0	4.1	2.6	
	3	30.0	0.10	8.00	0	4.1	76	138	4.7	3.6	2.3	
	4	45.0	0.10	2.00	0	2.6	86	162	24.3	23.8	3.2	
	5	45.0	0.10	4.00	0	3.2	82	142	22.2	21.3	2.8	
	6	45.0	0.10	8.00	0	4.0	75	126	21.8	20.7	2.6	
	7	60.0	0.10	2.00	0	3.3	87	244	32.9	25.6	12.0	
	8	60.0	0.10	4.00	0	4.0	84	209	29.7	3.7	6.1	
	9	60.0	0.10	8.00	0	4.8	79	176	29.0	28.3	3.3	
28	1	30.0	0.10	2.00	0	2.6	86	161	9.4	8.9	1.2	
	2	30.0	0.10	4.00	0	2.9	82	129	8.9	8.4	0.9	
	3	30.0	0.10	8.00	0	3.8	74	121	7.8	7.2	0.8	
	4	45.0	0.10	2.00	0	3.1	86	220	19.6	11.8	2.0	
	5	45.0	0.10	4.00	0	3.7	83	186	17.2	16.7	1.4	
	6	45.0	0.10	8.00	0	4.5	78	159	16.7	16.0	1.0	
	7	60.0	0.10	2.00	0	3.7	87	272	29.6	24.4	10.3	
	8	60.0	0.10	4.00	0	4.2	84	216	28.0	3.3	5.1	
	9	60.0	0.10	8.00	0	5.0	78	180	27.5	17.7	2.7	
30	1	30.0	0.10	2.00	0	2.4	86	153	10.3	8.7	1.0	
	2	30.0	0.10	4.00	0	2.9	82	128	9.2	7.3	0.5	
	3	30.0	0.10	8.00	0	3.8	75	122	7.8	5.8	0.3	
	4	45.0	0.10	2.00	0	3.6	87	273	15.3	13.2	3.2	
	5	45.0	0.10	4.00	0	4.0	84	211	14.4	13.6	1.4	
	6	45.0	0.10	8.00	0	4.7	79	176	14.0	12.1	0.8	
	7	60.0	0.10	2.00	0	3.9	87	301	28.1	24.3	7.1	
	8	60.0	0.10	4.00	0	4.4	84	236	26.4	23.9	3.6	
	9	60.0	0.10	8.00	0	5.2	79	197	25.5	24.7	1.7	

### A.3.5 Vurdering av resultatene

#### a. Produksjonsperioden

Det tidsrommet hvor innlagring under produksjonssonen er viktig strekker seg ut september måned, og omfatter periode 1 og første del av periode 2. Resultatene for varierende diameter og hastighet 4 m/s (tabell A.3) viser følgende:

Med utslipp på 30 meters dyp vil vanlig innlagringsdyp i periode 1 hovedsakelig variere mellom 27 og 16 meter, avhengig av tetthets-sjiktning og strålediameter. Som regel varierer det mellom 25 og 20 meter. En viss innblanding opp til 20 meters dyp må en vanligvis regne med. Fortynningen varierer mellom 40 og 75 for diameter 5 cm, 25-55 for 10 cm og 15-35 for 20 cm diameter. Ut fra forutsetningene i avsnitt A.2 er dette utslippsdypet klart uakseptabelt, idet de vertikale bevegelsene i vannet vil kunne bringe avløpsvannet opp mot 5-10 meters dyp i sommerhalvåret innen det transporteres ut av Korsvikfjorden.

Utslipp på 45 meters dyp tilsvarende bedre det ønskemål som ble satt opp i avsnitt A.2. Med strålediameter 5 cm vil da innlagringsdyp stort sett ligge mellom 35 og 42 meter i periode 1, innblanding vil en vanligvis ikke få noe særlig høyere enn 35 meter. I 2. tidsperiode vil en også ha innlagring omkring 35-40 meter, men opptrengning opp til over 30 meters dyp er noe mer sannsynlig (3 av 13 tilfeller). Fram til 30.9, dvs. profil nr. 15, er det sannsynlig med direkte innblanding over 30 meters dyp bare i to tilfeller, profil 1 (27.6) og profil 14 (24.9), men begge ganger er det etterfølgende bevegelse nedover av vannmassene. Det er derfor ikke påvist noen tilfeller hvor innlagret avløpsvann fra et utslipp på 45 meters dyp og diameter 5 cm vil bringes opp i produksjonssonen før det transporteres ut av Korsvikfjorden. Det utelukkes dog ikke at slike prosesser forekommer.

Økes strålediameter til 10 cm vil resultatet fremdeles være akseptabelt, med innlagringsdyp i området 41-32 meter i 95% av de observerte tilfellene. For profil 14 er innblanding opp i fotosyntese-sonen mulig, men dette er i

slutten av produksjonsperioden.

Strålediameter 20 cm vil gi innlagringsdyp mellom 40 og 28 meter i 95% av de observerte tilfellene, med en viss innblanding opp mot 30-25 meters dyp nokså ofte. En må i dette tilfelle regne med en viss påvirkning på produksjonen i overflatelaget.

Fortynningen ved innlagring for 45 meters utslippsdyp varierer i periode 1 fra 40 til 100 for 5 cm diameter, 25-75 for 10 cm og 20-50 for 20 cm.

For utslipp på 60 meters dyp er innlagringen tilfredsstillende uavhengig av strålediameter for tiden fram til slutten av september. Fortynningen i periode 1 varierer fra 60-200 for diameter 5 cm, 45-130 for diameter 10 cm og 30-70 for diameter 20 cm.

#### b. Perioden med lav produksjon - vinterperioden

Fra oktober og utover er det ikke lenger av betydning å unngå den produktive sonen. Det vesentlige er da å få god fortynning på avløpsvannet, og helst innlagring et stykke under overflaten, slik at en ikke får lokale, synlige overflateeffekter.

Resultatene for siste periode, desember 75-januar 76 viser at en stort sett får brukbare forhold ved alle de beregnede kombinasjoner av utløpsdata. For utslipp 30 meter og diameter 20 cm må en regne med innblanding til overflaten, men for de andre tilfellene vil det ikke være sannsynlig med opptrengning over 5 meters dyp. Virkelig god sikkerhet mot overflatepåvirkning gir imidlertid bare utslippsdyp 45 og 60 meter, og diametre 5 og 10 cm i utløpsstrålen. Disse resultatene gjelder ved utløpshastighet 4 m/s. Tabell A.4 viser imidlertid at hastigheten har svært lite å si i området 2-8 m/s for de fleste av de beregnede profilene, og tabell A.3 kan derfor antas representative for alle vanlige utløpshastigheter.

Av de alternative utslippsdyp som det er beregnet for er 45 m det minste dyp som kan anbefales. Strålediameteren bør være så liten som mulig, helst ned mot 5 cm eller lavere etter kontraksjon, men diametre opp mot 10 cm kan aksepteres.



En økning av utslippsdypet ut over 45 meter vil øke sikkerheten mot påvirkning av overflatelaget, men vil i vanlige hydrografiske situasjoner antagelig ikke medføre vesentlige forbedringer.

En minskning av utslippsdypet fra 45 meter og ned mot 30 meter vil medføre økende påvirkning av overflatelaget. Innlagringsdypet vil minske, anslagsvis med 10-13 og opp til 15 meter, ved utslippsdyp 30 meter i forhold til 45 meter.

Dette kan delvis motvirkes ved samtidig å minske strålediameter. En halvering av strålediameter gir en økning av innlagringsdypet på ca. 2-3 meter vanligvis, og vil kunne oppveie en minskning i utslippsdyp på 2-3 meter.

Utslippsdyp 45 meter og diameter 10 cm, som er en kritisk grense, vil derfor tilsvare utslippsdyp 42-43 meter ved diameter 5 cm og ca. 40 meter ved en diameter på 2-3 cm. Utslippsdyp mindre enn 40 meter vil gi innlagring med mulighet for innblanding i overflatelaget uansett strålediameter.

#### A.3.6 Konklusjon

Utslippet bør helst ligge på 45 meters dyp eller lenger ned. Ved 45 meters dyp bør strålediameteren være 5 cm, men 10 cm kan også aksepteres. Minskes dypet ut over dette må også diameteren minskes, med utslippsdyp 40 meter bør diameter i strålen være 2-3 cm etter kontraksjon.

En videre minskning av utslippsdypet ut over 40 meter vil gi økt overflatepåvirkning uansett strålediameter, og kan ikke anbefales.

## VEDLEGG B

### OVERVÅKING AV KORSVIKSFJORDEN

Den kontroll med utslippet som er anbefalt ved lav rensegrad og med tiden økende forurensningstilførsel, kan (foruten ved kjemisk analyse av avløpsvannet) gjennomføres ved kjemiske og biologiske observasjoner i fjorden.

#### B.1 Hydrokjemiske målinger

De hydrokjemiske variasjonene er så store i Korsvikfjorden at en meningsfull kontroll bør basere seg på sammenligning mellom stasjoner i stedet for representative tidsserier. Tidspunktet for prøveinnsamling bør velges i sommer/høst-perioden, da forholdene i Kristiansandsfjorden er mest stabile. Fire toktur pr. år vil gi et tilstrekkelig materiale hvis toktene utføres i juni, juli, august og september. Tre hydrokjemiske stasjoner er nødvendige: 2 i Korsvikfjorden (St.8 og st.5) samt en referansestasjon i Kristiansandsfjorden, st.K6, (se fig.1). Vannet bør analyseres med hensyn til saltinnhold, oksygeninnhold, ortofosfat, nitrat+nitritt og ammonium, dessuten også totalfosfor og totalnitrogen og organisk karbon. Dessuten bør en måle siktedyp, temperatur og vind. Dette arbeidet bør utføres lokalt av eksempelvis Agder Distriktshøgskole, som nå har utarbeidet en viss rutine for analyser av vannprøver.

#### B.2 Bløtbunnsfaunaundersøkelser

For vurderingen av belastningen med partikulært og oppløst organisk materiale fra dyputslipp er dyrelivet på bunnområdene omkring en velegnet indikator. Bunnens dyreliv vil også influeres av den sekundære organiske belastningen, d.v.s. alger som er produsert på grunn av overgjødning med plantenæringsstoffer i de øvre vannlag og som senere synker til bunns. Ved forandringer i totalbelastningen med organisk stoff, vil man i første omgang kunne få økt forekomst av de tilstedeværende arter, senere eventuelt også en forandring

i bunndyrsammfunnets sammensetning. Registreringer av artssammensetning og individantall i bunndyrsamfunnet kan derfor anbefales som en god metode for å oppdage og beskrive forurensningsvirkninger av kloakkvannutslipp.

Ved innsamling av prøvemateriale benyttes vanligvis en grabb som tar  $0.1 \text{ m}^2$  av bunnsedimentet. Prøven vaskes gjennom siler med 1 mm hullstørrelse. Det gjenværende materiale, som gjerne består av et stort antall små dyr, konserveres for senere gjennomgåelse under lupe eller mikroskop. Dette er et tidkrevende arbeid. På den annen side er det tilstrekkelig at bunnfaunakontrollene skjer med flere års mellomrom.

En vil foreslå følgende program:

Det opprettes to faste stasjoner for prøvetaking av bunnfauna: den ene innenfor 100 meters avstand fra utslippsstedet, den andre 500-1000 meter lenger ute. For å være sikker på å få et representativt materiale, tas 5 parallellprøver på hver stasjon. Første innsamling gjøres innen utslippene kommer i gang, og gjentas senere hvert 3. år for å følge utviklingen.

REFERENSER

NIVA-rapporter

O-110/64, 1971: Undersøkelse av sjøresipienter i Kristiansandsregionen.  
Stene-Johansen, S.

O-177/70, 1974A: Undersøkelse av vann- og forurensningsproblemer ved  
kjernekraft. Delrapport om hydrokjemiske undersøkelser i Oslofjorden  
i 1973/74. Andreassen, E.

O-177/70, O-160/71, XT-10, 1974B: Om prognoseberegninger for oksygen-  
omsetning i terskelfjorder samt foreløpige vurderinger og beregninger  
for Oslofjorden. Andreassen, E., Bjerkeng, B.

Andre rapporter

Armstrong, F.A.J. (1965): Phosphorus, In Riley, J.P. & Skirrow, G. (eds.)  
Chemical Oceanography vol. 1. Academic Press, London and New York.  
712 pp.

Braarud, T. & Klem, A. (1931): Hydrographical and chemical investigations  
in the coastal waters off Møre and in the Romsdalsfjord. Hvalrådets  
Skrifter nr. 1.

Cooper, L.N.H. (1933): Chemical constituents of biological importance in  
the English Channel, November, 1930 to January, 1932. Part. 1.  
Phosphate, silicate, nitrate, nitrite, ammonia. J.mar.biol.Ass.  
U.K. 18, 677-728.

Göransson, C.G. & Svensson, T. (1975): Byfjorden: Vattenomsättningen  
(SNV PM 594) Statens Naturvårdsverk, Sverige.

Haug, A., Myklestad, S. & Sakshaug, E. (1973): Studies on the phyto-  
plankton ecology of the Trondheimsfjord. 1. The chemical composition  
of phytoplankton populations.  
J.exp.mar.Biol.Ecol., 11, 15-26.

- Hayes, S.P. and Halpern, D. (1975): Observations of international waves and coastal upwelling off the Oregon coast. Journal of Marine Research (34,2).
- Klausen, S. & Solheim, H.J. (1976): Resipientundersøkelse for kloakkutslipp i Korsviksfjorden, Kristiansand. Resultater-hydrokjemisk del. (Stensil fra Agder Distriktshøgskole, Kristiansand).
- Rydberg, L. (1975): Hydrografic observations in the Gullmar Fjord during april 1973. Göteborgs Universitet Oceanografiska institutionen. Rep.no. 10.
- Sakshaug, E. & Brun, P., 1974: Plantenæringsstoffer og planteplankton i Trondheimsfjorden. Vann 3:115-126.
- Svansson, A. (1975): Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. I. Open Sea Conditions. Fishery Board of Sweden. Inst. of Marine Research, Rep.no. 1.
- Thomas, W.H. (1966): Surface nitrogenous nutrients and phytoplankton in the northeastern tropical pacific ocean. Limnol. Oceanogr. 11, 393-400.
- Vaccaro, R.F. (1963): Available nitrogen and phosphorus and the biological cycle in the Atlantic off New England. J.mar.Res. 21, 284-301
- Wallin, G. (1975): On the description of the hydrographic state and the circulation in the Baltic deep water. Göteborgs Universitet.Oceanografiska institutionen. Rep.no.11.