

O-78/65

**Resipientundersøkelser for Mandal  
1966/1967**

**Skogsfjorden - Sponga - Bankefjorden  
Mandalselva**

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
FORORD	
FIGURFORTEGNELSE	
TABELLFORTEGNELSE	
INNLEDNING	1
GENERELL BESKRIVELSE AV OMRÅDET	1
Definisjoner	1
Nedbørfelt og topografi	2
Hydrologi	6
Tidevann	10
Vindforhold	12
Tilførsler av avløpsvann til resipientavsnittene	13
TIDLIGERE UNDERSØKELSER AV RESIPIENTENE	16
Skogsfjorden	16
Mandalselva	16
BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSE I SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN - MANNEFJORDEN	18
Rutineundersøkelser	18
Hydrografi	18
Spesialundersøkelser	27
Biologi	27
Kartlegging av utskiftningsforhold	27
BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSER I MANDALSELVA	36
Rutineundersøkelser	36
Hydrografi	36
Spesialundersøkelser	36
Biologi	36
Strømforhold	41
VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET - SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN	44
Vannutskiftning og vannfornyning	44
Andre fysiske og kjemisk egenskaper	60
Biologiske forhold	61
VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET - MANDALSELVA	64
Vanntransport	64
Biologiske forhold	66

	<u>Side</u>
SAMMENDRAG OG DISKUSJON	69
Skogsfjorden - Sponga	69
Mandalselva	73
Praktiske konklusjoner	74
Tekniske tiltak	74
Andre tiltak	76

## F O R O R D

Undersøkelsen av Mandals resipienter har vært et omfattende arbeid som har strukket seg over 2½ år.

Et stort antall personer har deltatt i feltarbeidet, og vi vil i den anledning få takke byingeniør T. Sandvik og hans folk for verdifull og effektiv hjelp.

NIVA har hatt flere av sitt personale tilknyttet denne undersøkelsen. Spesielt kan nevnes ingeniør B. Hals, som har deltatt i de fleste hydrografiske tokt, og som har hatt ansvaret for en vesentlig del av data-behandlingen. Ingeniør E. Ravdal har stått for den praktiske gjennomføringen av tracermålingene, og den biologiske befarings er foretatt av cand.real T. Saugestad.

Blindern i desember 1968

Svein Stene Johansen

FIGURFORTEGNELSE

<u>Fig.</u>		<u>Side</u>
1	Oversiktskart med angivelse av prøvetakings- og limnigrafstasjoner	3
2	Tverrprofil av Smalsund under broen	5
3	Dybdekart, volum- og arealkurver for Skogsfjorden og Sponga	7
4	Midlere månedlig nedbør i Mandal (1931 - 1960)	6
5	Ferskvannstilførsel til Skogsfjorden	11
6	Ferskvannstilførsel til Sponga	11
7	Kloakkvannsbelastning	14
SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN		
8	Isopleter for $\sigma_t$ , 14-7-66	20
9	" " $\sigma_t$ , 28-9-66	21
10	" " $\sigma_t$ , 5-8-67	22
11	" " $\sigma_t$ , 24-11-67	23
12	Turbiditet 28-9-66	24
13	Farge 28-9-66	25
14	Siktedyp 14-7, 28-8-66 og 24-11-67	26
15	Fosfat 28-9-66	28
16	Isopleter for oksygen 14-7-66	29
17	" " " 28-9-66	30
18	" " " 22-11-67	31
19	Arrangement for tracerforsøk ved Smalsund	33
20	Variasjoner i $\sigma_t$ , dypstrømmens hastighet og tideamplitude for Smalsund	35
MANDALSELVA		
21	Isopleter for $\sigma_t$ , hastighetsprofiler 15-7-66	37
22	" " $\sigma_t$ , - " - 29-9-66	38
23	" " $\sigma_t$ , - " - 15-8-67	39
24	" " $\sigma_t$ , - " - 24-11-67	40
25	Mandalselvas utstrømning i Mannefjorden (hovedstrømmen)	43
26	Tidevariasjoner i Skogsfjorden - Sponga, november 66	47

<u>Fig.</u>		<u>Side</u>
27	Vanntransport som følge av ferskvannstilrenningen	51
28	Prosentvis ferskvannsinnblanding i Skogsfjorden - Sponga	53
29	Midlere fortynning av tracere ved Smalsund	58
30	Prosentvis fortynning av tracere	59
31	Biologiske stasjoner i Skogsfjorden - Sponga	62
32	Sprangsjiktets beliggenhet som funksjon av vannføringen	64a
33	Biologiske stasjoner i Mandalselva	66

## TABELLFORTEGNELSE

<u>Tab.</u>		<u>Side</u>
1	Morfometriske og hydrologiske data for Skogsfjorden og Sponga	4
2	Nedbør og avrenning for Skogsfjorden	8
3	Nedbør og avrenning for Sponga	9
4	De mest fremherskende vindretninger og vindstyrker for Mandal	12
SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN		
5	Salinitet, temperatur og $\sigma_t$	77
6	Turbiditet	80
7	Farge	81
8	Siktedyp	82
9	Fosfor	83
10	Oksygen	84
11	Biologiske funn	63
MANDALSELVA		
12	Salinitet, temperatur og $\sigma_t$	85
13	Vannhastigheter	86
14	Biologiske funn	63
15	Tidekorreksjoner for barometerstand	48
16	Diffusjonsvannmengder	54

## INNLEDNING

I brev av 23. august 1965 anmodet byingeniør T. Sandvig i Mandal vårt institutt om å gjennomføre en resipientundersøkelse som skulle omfatte nedre del av Mandalselva og fjordområdet Skogsfjorden - Sponga samt deler av Bankefjorden og Mannefjorden.

Den 12. desember 1965 foretok vår saksbehandler, siv.ing. Svein Stene Johansen, en befaringsammen med byingeniøren til de aktuelle resipientavsnitt.

Den 14. juni 1966 ble vårt forslag til program for undersøkelser av Mandalselva og de nevnte fjordområder oversendt byingeniøren, og i juli samme år ble undersøkelsen påbegynt.

Bakgrunnen for henvendelsen fra byingeniøren var dels ønsket om å benytte Skogsfjorden som resipient samtidig som dette fjordområdet beholder eller bedrer sin rekreasjonsverdi, dels Norges vassdrags- og elektrisitetsvesens krav om en fremtidig avløpsplan for Mandal med eventuelle avskjærende ledninger langs elven.

Med den utvikling som kan ventes å finne sted i distriktet, vil Mandalselva og sjøen komme på tale som resipienter. Det antas at fjordområdet Skogsfjorden - Sponga vil være spesielt utsatt ved en belastning av avløpsvann, og at det må tas spesielle hensyn til Sjøsandene.

### Motivering

Resultatet av en undersøkelse skulle danne grunnlag for valg av tekniske tiltak som Mandal kommune kunne bruke ved disponering av avløpsvann i fremtiden.

## GENERELL BESKRIVELSE AV OMRÅDET

### Definisjoner

De enkelte resipientavsnitt som er tatt med i våre vurderinger, er definert i det følgende. Det vises også til oversiktskartet, fig. 1, side 3, som foruten de enkelte resipientavsnitt også viser beliggenheten av prøvetakingsstasjoner og limnigrafstasjoner.



- Leirvika Fjordområdet mellom Smalsundbrua og det smaleste parti i Helle-  
sundet blir kalt Leirvika, og er en del av Sponga som utgjør
- Sponga fjordområdet mellom Bankebrua og Smalsundbrua.
- Rona Gjennom Ronekilen og Ronakanalen er Sponga forbundet med Rona  
eller Hogganvikvatna.
- Bankefjorden Bankefjorden er fjordområdet mellom Bankebrua og Mannefjorden,  
og grensen mellom disse to fjordsystem er tenkt lagt fra  
Risøya over Aspeholmen til Stumpeodden.
- Mannefjorden Mannefjorden kalles fjorden sør og sørøst for Mandal, begrenset  
i øst av fastlandet og Skjernøy, i vest av øyene Aspholmen,  
Hatholmen og Storøy.

#### Nedbørfelt og topografi

- Skogsfjorden Skogsfjordens nedbørfelt utgjør i alt ca. 21 km<sup>2</sup> hvorav vel  
17 km<sup>2</sup> utgjør Skjøllingstadbekkenes nedbørfelt.

Skogsfjordens nedbørfelt eksklusiv Skjøllingstadbekkenes, utgjør  
ca. 4 km<sup>2</sup> hvorav 0,75 km<sup>2</sup> er dyrket mark. Det totale nedbør-  
felt består vesentlig av skogkledde åspartier med gneis som  
berggrunn. Skogsfjordens overflate utgjør 1,1 km<sup>2</sup>.

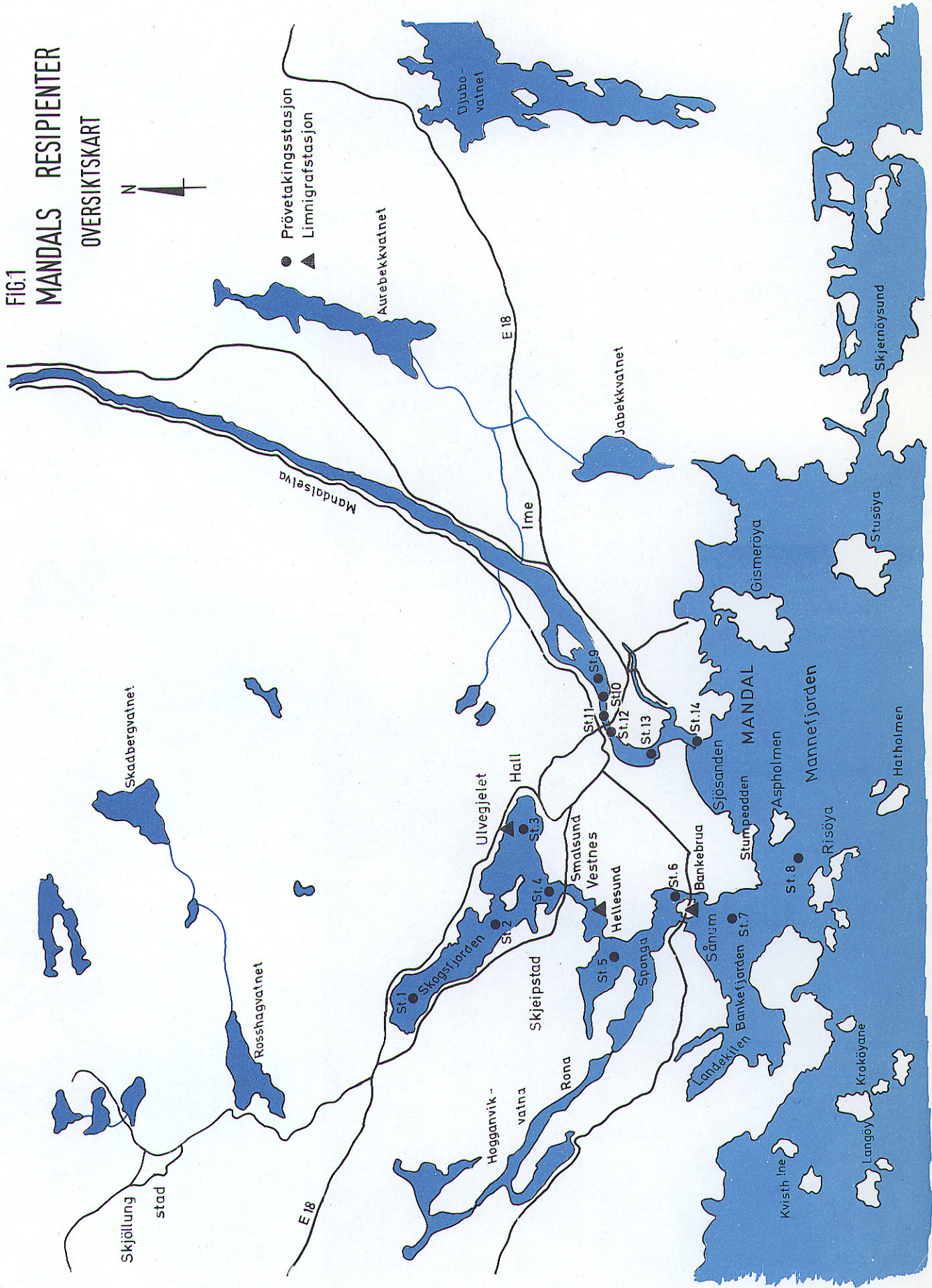
Skogsfjorden har tidligere vært et meget benyttet rekreasjons-  
område for Mandals befolkning, da man her fant badeplasser med  
relativt grunt og varmt vann skjermet for vindpåvirkning og  
kalde strømmer.

Ifølge opplysninger fra lokalt hold blir Skogsfjorden i dag  
lite benyttet til bading.

Skogsfjordens topografi fremgår av dybdekartet, fig. 3, side 7 .  
Den har et midlere dyp på 8 m med dypere partier i nord-østlige  
og syd-vestlige områder med maksimalt dyp på henholdsvis 21 m  
og 16 m. Areal- og volumkurver fremgår likeledes av figuren.

Innløpet til Skogsfjorden under broen ved Smalsund har et mak-  
simaldyp på bare ca. 3 m og et gjennomstrømningsareal på ca.  
27 m<sup>2</sup>, fig. 2, side 5.

FIG.1  
**MANDALS RESIPIENTER**  
**OVERSIKTSKART**



TABELL 1

Morfometriske og hydrologiske data for Skogsfjorden og Sponga

	Skogsfjorden		Sponga	
Lengde	ca.	2.500 m	ca.	1.700 m
Midl. bredde	"	400 "	"	-
Største dyp	"	20 "	"	6 "
Vannoverflate	"	1,1 km <sup>2</sup>	"	0,73 km <sup>2</sup>
Totalt vannvolum	"	6.380.000 m <sup>3</sup>	"	2.652.500 m <sup>3</sup>
Antatt midl. tide- variasjoner	"	0,163 m	"	0,175 m
Midl. ferskvanns- tilrenning	"	998 l/s	"	446,2 l/s

Mandalselva har helt fra år 1896 vært gjenstand for hydrologiske undersøkelser. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, hydrologisk avdeling, har ved Kjøleimo et vannmerke med limnigraf i drift.

Sponga

Spongans nedbørfelt utgjør i alt ca. 14 km<sup>2</sup>, hvorav 11 km<sup>2</sup> utgjør Ronasystemets nedbørfelt.

Sponga byr i likhet med Skogsfjorden på flere badestrender med relativt varmt vann. Mandals innbyggere bader vanligvis heller ikke her, men fjordområdet har et stort antall båtplasser.

Spongans topografi fremgår også av fig. 3, side 7. Den har et midlere dyp på bare 3,5 m, men store deler av fjordområdet utgjør grunnere områder.

For at Båtservices verksted ved Smalsund skal få ut sine båter, har det vært mudret opp en renne gjennom grunne partier, og ved Hellesundet pågår i dag et utstrakt mudringsarbeid.

Morfometriske og hydrologiske data fremgår likeledes av tabell 1 ovenfor, volum- og arealkuver av fig. 3, side 7.

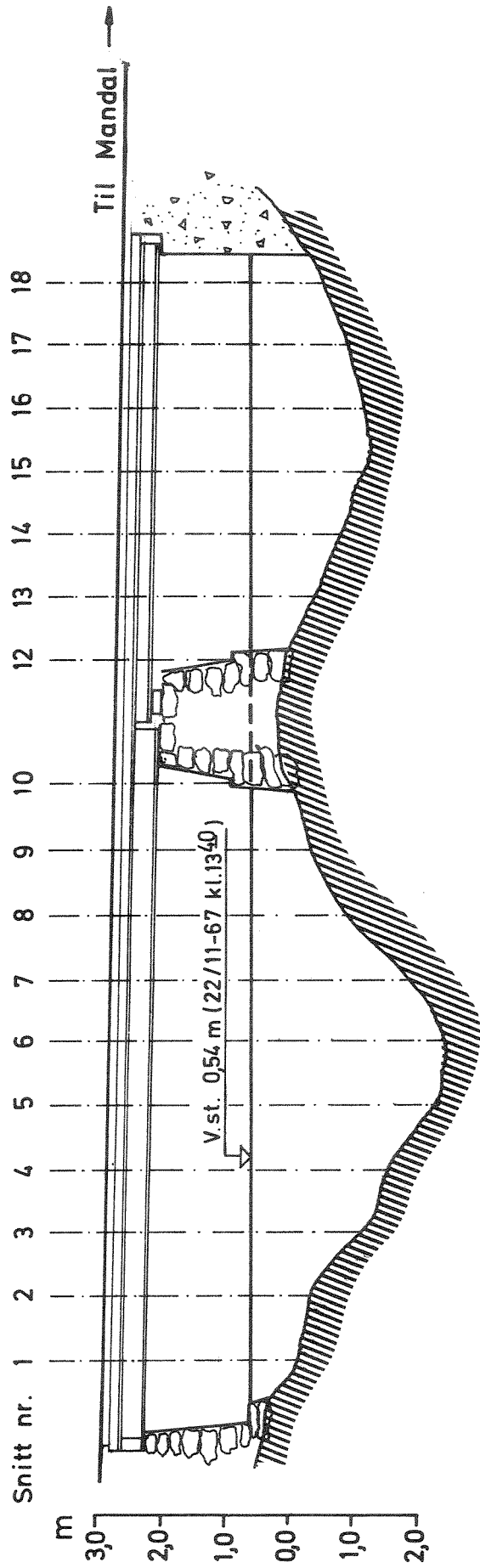


Fig.2  
Tverrprofil av Smalsund under broen

## Mandalselva

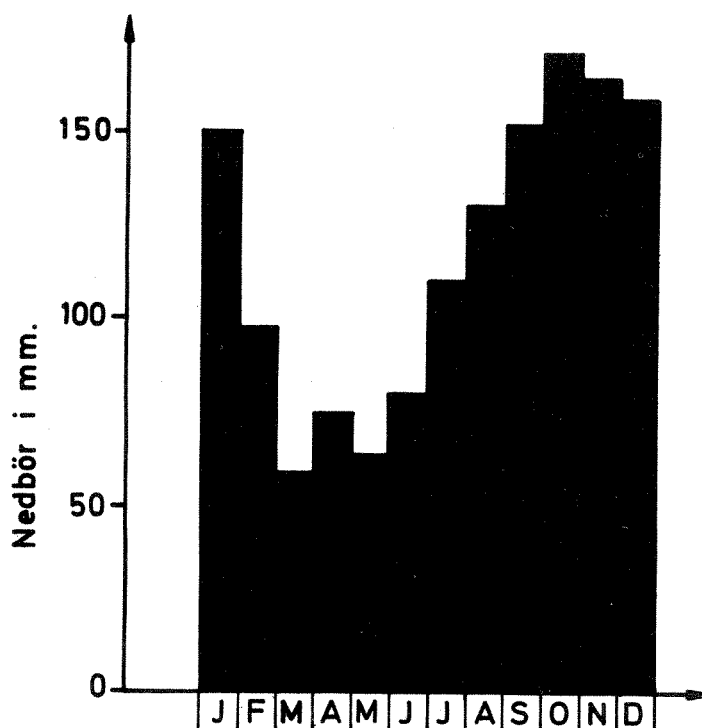
Mandalselva har et nedbørfelt på ca. 1.746 km<sup>2</sup>. Nedbørfeltet består dels av høyfjellsområder dels av lavlandsområder med grunnfjell (gneis) som berggrunn.

I dalen som elven renner gjennom, drives jordbruk, og jordsmonnet består av leire, sand og grus. I løpet av året transporterer Mandalselva store mengder sand og leirpartikler ut i havet, og for at man her skal ha tilstrekkelig dyp for skipstrafikk, må det nesten hvert år mudres ved elvens utløp.

### Hydrologi

For Mandalsområdet finnes det tilgjengelige nedbørsdata for perioden 1931 - 1960. Disse data er tatt ut av "Nedbøren i Norge" og videre bearbeidet av NIVA. I tabell 2 og 3, side 8 og 9 samt i fig. 4 nedenfor har vi fremstilt den midlere nedbør fordelt over årets måneder.

Fig. 4



Midlere månedlig nedbør i  
Mandal 1931 - 1960

De fordunstningsdata som ligger til grunn for tabellberegningene, er oppgitt av dr. T. Werner Johannesen ved Det norske meteorologiske institutt. I tabell 2 og 3 er også data over fordunstning, avrenning og ferskvannstilførsel ført opp.

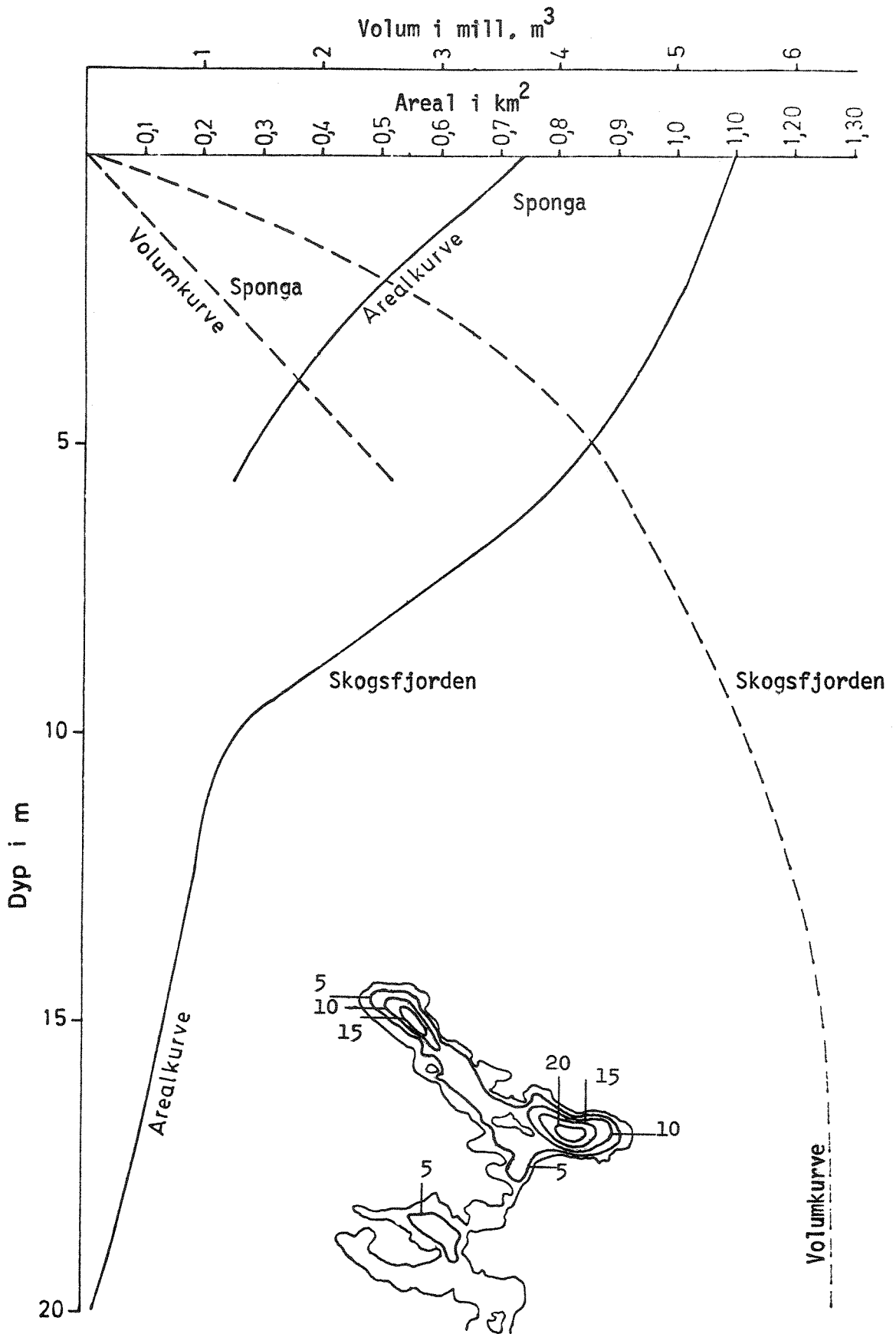


Fig. 3  
SKOGSFJORDEN - SPONGA  
Dybdekart, volum- og  
arealkurver

TABELL 2

## Nedbør og avrenning

Skogsfjorden	Areal km <sup>2</sup>	Jan.	Febr.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	Ars- midd.
Nedbør	24,38	150	97	59	74	62	80	109	130	152	170	163	158	104
Netto nedbør til fri vannoverflate		150	97	59	14,8	-50,5	-32,7	37,6	107	155,3	158	163	158	
Avrenning fra terreng	l/s/km <sup>2</sup>	51,4	45,7	28,9	40,7	28,2	17,1	13,9	23,3	50	52,1	68,9	75,4	41,8
Fordunstning fra fri vannoverflate	l/s/km <sup>2</sup>	-	-	-	22,8	43,4	52	54,6	35,6	16,7	5,6	-	-	
Nedbør på fri vann- overflate	l/s/km <sup>2</sup>	57,8	37,0	22,8	28,5	23,9	30,8	42,0	50,1	58	65,5	62,9	60,9	45,0
Netto nedbør fra vannoverflate	l/s/km <sup>2</sup>	57,8	37,0	22,8	5,7	-19,5	-21,2	-12,6	14,5	41,3	59,9	62,9	60,9	
Nedbør overflate	l/s	63,6	40,7	25,1	6,3	-21,5	-23,3	-13,9	16,0	45,4	65,9	69,2	67,0	
Nedbør fra ned- børfelt	l/s	1197	1064	673	947	656	398	324	682	1164	1213	1604	1755	973
Total ferskvanns- tilførsel	l/s	1230,6	1104,7	698,1	953,3	634,5	374,7	310,1	698	1209,4	1278,9	1673,2	1822	998,9
Total ferskvanns- tilførsel	1000 m <sup>3</sup> /mnd.	3190	2863	1809	2471	1645	971	804	1809	3135	3315	4337	4723	2589

TABELL 3

## Nedbør og avrenning

Sponge	Areal km <sup>2</sup>	Jan.	Febr.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	Års- midd.
Nedbør	11,20	150	97	59	74	62	80	109	130	152	170	163	158	104
Netto nedbør til fri vannoverflate	mm	150	97	59	14,8	-50,5	-55,0	-32,7	37,6	107	155,3	163	158	
Avrenning fra terreng	l/s/km <sup>2</sup>	51,4	45,7	28,9	40,7	28,2	17,1	13,9	29,3	50	52,1	68,9	75,4	41,8
Fordunstning fra fri vannoverflate	l/s/km <sup>2</sup>	-	-	-	22,8	43,4	52	54,6	35,6	16,7	56	-	-	
Nedbør på fri vannoverflate	l/s/km <sup>2</sup>	57,8	37	22,8	28,5	23,9	30,8	42,0	50,1	58	65,5	62,9	60,9	45,0
Netto nedbør fra vannoverflate	l/s/km <sup>2</sup>	57,8	37	22,8	5,7	-19,5	-21,2	-12,6	14,5	41,3	59,9	62,9	60,9	
Nedbør Sponga og Ronas overflate	l/s	79,2	50,7	31,2	7,8	-26,7	-29,0	-17,3	19,9	56,6	82,1	86,2	83,4	
Nedbør til Sponga fra nedbørfelt	l/s	505,3	449,2	284,1	400,1	277,2	168,1	136,6	288,0	491,5	512,1	677,3	741,2	410,9
Total ferskvannstilførsel	l/s	584,5	499,9	315,3	407,9	250,5	139,1	119,3	307,9	548,1	594,2	763,5	824,6	446,2
Total ferskvannstilførsel	1000 m <sup>3</sup> /mnd.	1515	1296	817	1057	649	361	309	798	1421	1540	1979	2137	1157



Avrenningen er beregnet på bakgrunn av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesens mangeårige hydrologiske observasjoner i Mandalselva samt data over nedbør og fordunstning.

I gjennomsnitt utgjør ferskvannstilførselen til Skogsfjorden, tabell 2, og Sponga, tabell 3, henholdsvis 2,689 mill. m<sup>3</sup> pr. måned og 1,157 mill. m<sup>3</sup> pr. måned eller ca. 1.000 l/s og ca. 450 l/s. Den månedlige fordeling av ferskvannstilførselen fremgår også av fig. 5 og 6, side 11.

Mandalselva har helt fra år 1896 vært gjenstand for hydrologiske undersøkelser. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, hydrologisk avdeling, har ved Kjølemo et vannmerke med limnigraf i drift.

Mandalselva har vært gjenstand for regulering i årene 1932, 1939 og 1940 og senere med en gradvis regulering fram til 1960 årene. Den midlere vannføring over året utgjør 86,6 m<sup>3</sup>/s.

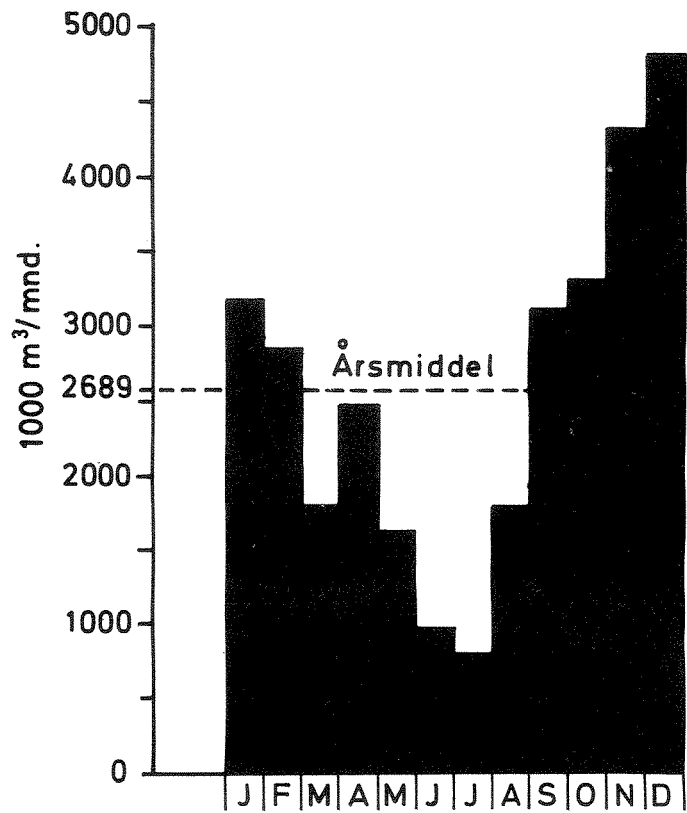
#### Tidevann

For Tregde foreligger tideobservasjoner fra Norges geografiske oppmåling (NGO), geodetisk avdeling, som gjennom en årrekke har hatt kontinuerlig måler i drift. Disse observasjoner bearbejdes av denne institusjon, men NGO er vesentlig interessert i data som angir middel vannstand samt ekstremverdier.

For at det skulle være mulig å registrere tidevariasjoner i det lokale område, tideforsinkelse samt dempning av tideamplitude ble det i samarbeid med ingeniørvesenet i Mandal satt opp tre limnigrafstasjoner for kontinuerlig registrering av tidevariasjoner. Stasjonene ble plassert ved henholdsvis svømmestadion i Bankefjorden, båthus på Vestnes i Sponga og i båthus ved Ulvegjelet i Skogsfjorden. Målerne kom i drift i september 1966, og målingene ble avsluttet i januar 1968.

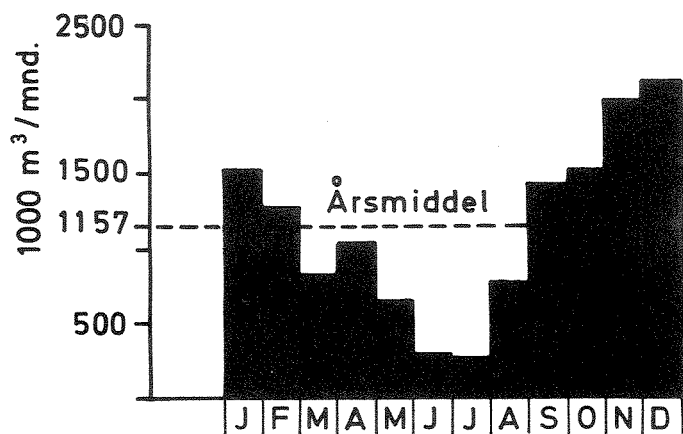
Tidevariasjonene er en funksjon av tiden. I løpet av en tide-syklus beskriver nivåforandringene tilnærmet en cosinuskurve uttrykt ved følgende formel:

Fig. 5



Ferskvannstilførsel til Skogsfjorden

Fig. 6



Ferskvannstilførsel til Sponga.

$$h = H \cdot \cos \frac{2 \cdot 3,14 \cdot t}{T}$$

hvor

H = tideamplitude

t = tid

T = tideperiode

h = tidenivå

For våre studier av utskiftningsmekanismen i våre fjorder er vi spesielt interessert i tideamplitydens størrelse. En bearbeidelse av det statistiske materialet som angir dette for Mandal, foreligger ikke fra NGO. På bakgrunn av NGO's og egne observasjoner har vi imidlertid beregnet middelveier for tideamplitydenes størrelser samt de tilhørende dempningskoeffisienter.

#### Vindforhold

For vår beskrivelse av vindforholdene i Mandal har vi lagt til grunn vindobservasjoner for perioden 1931-1940. I tabell 4 er de mest fremherskende vindretninger oppført med vindstyrke angitt i Beaufort. Resultatene er tatt ut av "Climatological Summaries for Norway, Monthly Frequencies of Concurrent Wind Forces and Wind Directions", ved Dr. T. Werner Johannessen, Det norske meteorologiske institutt 1960.

TABELL 4

De mest fremherskende vindretninger og vindstyrker for Mandal.

Periode	Vindretning	Vindstyrke
Desember - februar	NE	1
Mars - mai	NE	2
Juni - august	SW	3
September - november	NE	2
Året	NE	2

Vindstyrken er angitt i Beaufort

1	Beaufort = 0	- 1,6 m/s
2	"	= 1,6 - 3,3 "
3	"	= 3,4 - 5,4 "

### Tilførsler av avløpsvann til resipientavsnittene

Fig. 7, side 14, viser tilførsler av avløpsvann til resipientene rundt Mandal, fra Mandalselva i øst til Skogsfjorden i vest. Det enkelte utslipp er tegnet som pil, og tallet ved hvert utløp angir antatt personbelastning for 1967. Befolkningstallene er oppgitt av reguleringsarkitekt E. Slotten. Industriens personekvivalenter er her ikke medregnet.

Skogsfjorden Skogsfjorden har sin vesentlige kloakktilførsel fra Ulvegjelet med en personbelastning på ca. 600. Tilslutningen fra området øst for Hall er på ca. 150 personer. Dersom området Frøysland/Håland blir kloakkert fram til Skogsfjorden, vil belastningen fram til år 1980 øke med ca. 600 personer.

Fra Skjeipstadfeltet fører i dag en kloakkledning ut i Skogsfjorden med en belastning på ca. 60 personer. Skjeipstadfeltet skal utbygges videre, men det meste av avløpsvannet herfra kan føres til Sponga eller Leirvika.

Ved selve utløpet av Skjøllingstadbekken i Vestre Skogsfjord bor det i dag ca. 100 personer. En viss økning kan ventes i dette området, og selv om området i dag ikke er kloakkert, vil kloakkering komme før eller senere.

Skjøllingstadbekken utgjør et resipientområde for ca. 150 personer, og det vil også være naturlig at bebyggelsen her får offentlig kloakkanlegg ved tilknytting til bekken. Skjøllingstad Ullvarefabrikk har likeledes sitt utslipp til bekken.

Ved Mones skal det reises et boligfelt, og kloakken fra ca. 200 personer vil bli ført i avskjærende ledning fram til utslippet ved Hall.

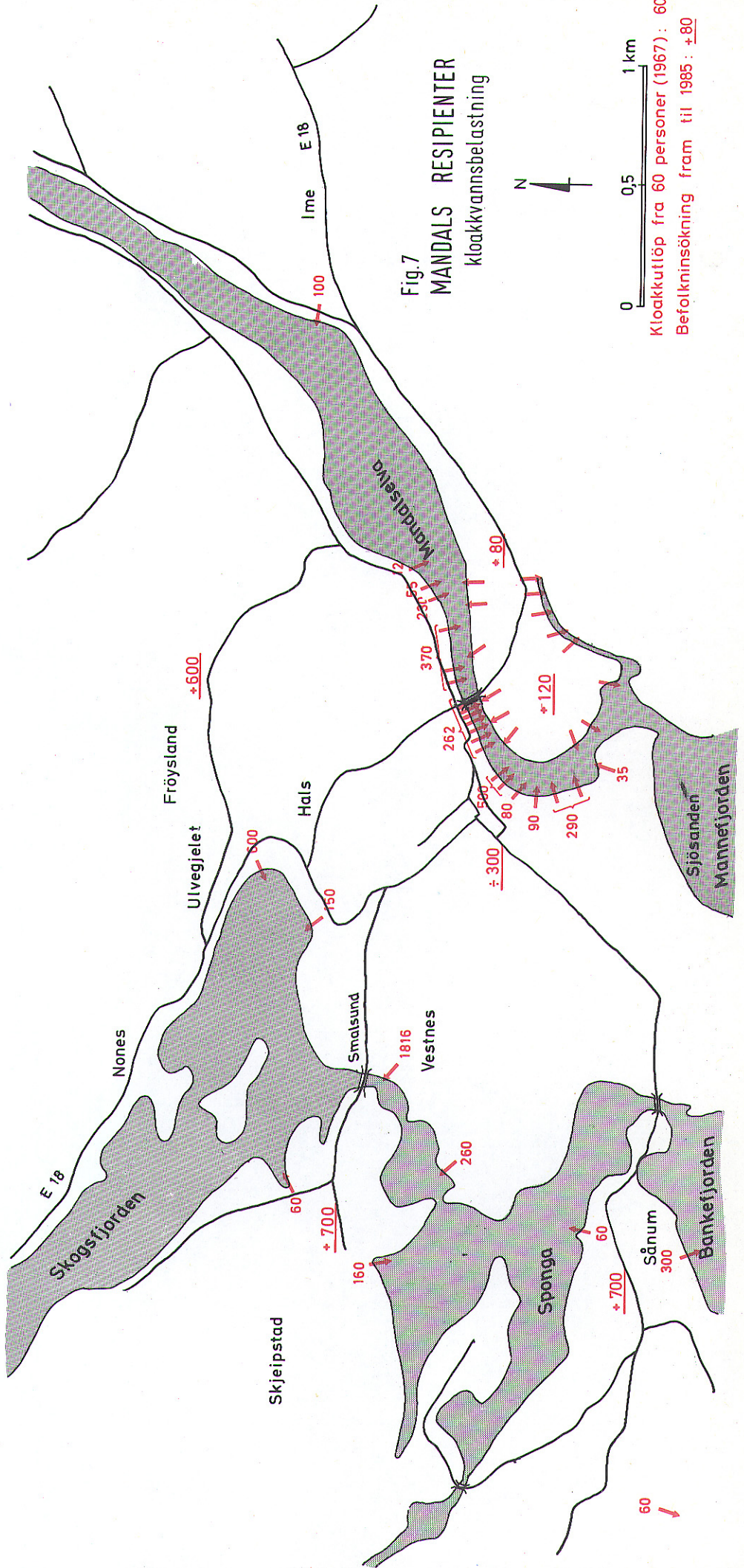


Fig.7  
**MANDALS RESIPIENTER**  
 kloakkvannbelastning



Kloakkuttøp fra 60 personer (1967) : 60  
 Befolkningsøkning fram til 1985 : +80

- Sponga har sitt største tilløp av avløpsvann fra Vestnesområdet med en belastning fra ca. 2.300 personer.
- Fra Skjeipstadfeltet belastets Sponga med kloakkvann fra ca. 160 personer, men i fremtiden vil dette kunne øke med ca. 700 personer.
- Fra Sånum har Sponga et kloakktilløp med en tilslutning fra ca. 60 personer. Området her bygges stadig ut, men det meste av kloakken herfra kan føres ut i motsatt retning til Bankefjorden.
- Rona Rundt Rona ligger en rekke hus og gårdsbruk som ikke er tilknyttet offentlig kloakksystem. Belastningen herfra vil derfor i dag være svært liten, men i fremtiden vil også denne bebyggelse naturlig bruke fjordsystemet som resipient. I en arm av Rona har kommunen en søppelplass, og avrenningen herfra vil kunne tilsvare et kloakkutslipp fra ca. 100 personer, regnet som organisk belastning.
- Bankefjorden Bankefjorden får sine vesentlige kloakktilførsler fra Sånumområdet med en belastning på ca. 300 personer. Man kan vente at dette tåll vil øke til 700 personer fram til år 1980. Landekilen har likeledes en tilknytting fra ca. 60 personer. I vestre del av Landekilen er et nytt boligareal under planlegging, og kloakkvannet derfra vil enten bli ført til Landekilen eller ut i åpent farvann.
- Mandalselva Mandalselva har en rekke kloakktilførsler, langs høyre bredd fra i alt ca. 2.024 personer, langs venstre bredd fra i alt 750 personer.
- Fra selve bykjernen ventes en fraflytting på 300 personer fram til år 1980.
- Av industri som har forurensende karakter, kan nevnes meieri, fiskeforedlings- og mottakningsbedrifter samt metallindustri.

## TIDLIGERE UNDERSØKELSER AV RESIPIENTENE

Skogsfjorden

Skogsfjorden har tidligere vært vurdert som resipient av dr. S. Stene ved Statens institutt for folkehelse. Den 17. september 1949 foretok han en befaring i området sammen med kommunale representanter. Dr. Stene tok samme dag vannprøver i Skogsfjorden fra tre stasjoner a tre dyp. Prøvene ble analysert på saltinnhold eller salinitet.

Ved fire stasjoner ble det dessuten forsøkt påvist hydrogen-sulfid ved hjelp av et snøre innsatt med blykarbonat. Ut for Ulvegjelet ble det påvist svovelvannstoff 11-12 m under vannoverflaten. Dybden ved denne stasjon var 18 m.

Dr. Stene rapporterer dessuten at det ble funnet tang i overflaten innenfor Valle samt i den bratte fjellsiden ved Ulvegjelet. Han nevner videre at det ble hevdet av de kommunale representanter at det foregikk et godt fiske etter hvitting, torsk, makrell og dessuten sjørøret helt inne i den nordvestlige ende av Skogsfjorden. Blåskjell forekom også i store mengder her.

Dr. Stenes rapport inneholder for få og ufullstendige opplysninger til at man kan dra særlig nytte av hans observasjoner, og det er noe tvilsomt om man kan trekke direkte sammenlikning med hans data og våre. Det er imidlertid interessant å få bekræftet at man allerede for 20 år siden hadde råtne bunnforhold i deler av Skogsfjorden.

Mandalselva

Mandalselva har vært gjenstand for omfattende kjemiske og biologiske undersøkelser. Bakgrunn for undersøkelsene har dels vært ønsket om å vurdere eventuelle skadevirkninger av reguleringstiltak på fisket.

Inspektørene for ferskvannsfiskeriene, den vitenskapelige avdeling, har siden juli 1964 drevet systematisk undersøkelse

av prøver fra Mandalselva. Resultatene er fremstilt i en rekke rapporter med tittelen "Kjemiske forhold ved Sørlandselver".

NIVA har likeledes etter henstilling fra inspektøren for ferskvannsfiskeriene foretatt en vurdering av Mandalselvas vannkvalitet. Rapporten har følgende betegnelse: "O-64/62. En kjemisk undersøkelse av regulerte og uregulerte innsjøer i Mandalselvas nedbørfelt". Rapporten er datert 15. oktober 1964. Rapporten omhandler en korttidsundersøkelse av rene kjemiske forhold i regulerte og uregulerte innsjøer i Mandalselvas nedbørfelt. For våre resipientvurderinger har undersøkelsen liten interesse.



BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSE I SKOGSFJORDEN - SPONGA -  
 BANKEFJORDEN - MANNEFJORDEN

Rutineundersøkelser

Hydrografi

Observasjons- På kartet, fig. 1, side 3, er antall prøvetakingsstasjoner inn-  
 stasjoner tegnet for hele resipientområdet. Limmigrafstasjoner for regist-  
 rering av tidevann i Bankefjorden, Sponga og Skogsfjorden er  
 likeledes avmerket.

Som prøvetakingsdyp er benyttet såkalte standarddyp på 0, 2,  
 4, 8, 12 og 20 m, men i områder med markert lagdeling av vann-  
 massene er observasjoner tatt tettere. Man har til enhver tid  
 forsøkt å tilpasse prøvetakingen til de hydrografiske forhold  
 i resipientområdene.

Vannets tetthet Vannet er lagdelt i mange av våre fjorder. Det øvre lag utgjør,  
 brakkvann som mot dypet går gradvis over i tyngre sjøvann. En  
 markert overgang mellom brakkvann og sjøvann kalles sprangsjikt.  
 Sprangsjiktet representerer et relativt tynt lag av vannmassene.

Bestemmelsen av sprangsjiktets beliggenhet og differansen i  
 tetthet over og under sprangsjiktet er av vesentlig betydning  
 for en vurdering av resipientforholdene. Tetthetsgradienten  
 kan gi opplysninger om utskiftningsforholdene samt i hvilket  
 dyp en innlagring av avløpsvann kan være mest hensiktsmessig.

Vannets tetthet på de respektive dyp beregnes ut fra salinitets-  
 og temperaturobservasjoner. Under vårt første tokt i juli i  
 1965 ble vannprøver tatt med den såkalte Namsenhenter med inne-  
 bygd termometer. Vannprøvene ble tatt med til laboratoriet for  
 bestemmelse av salinitet. Ved de øvrige tokt har salinitets-  
 og temperaturobservasjoner foregått ved hjelp av direkte målinger  
 med et såkalt salinometer. En sensor med elektroder opphengt i  
 en kabel ble sendt ned til de respektive dyp, og data avlest  
 direkte.

Vannets tetthet ( $\rho$ ) uttrykkes vanligvis med 3 desimaler, men for å forenkle tetthetsverdiene har man innført begrepet  $\sigma_t$  som angir desimalene ( $\rho = 1,024$ ,  $\sigma_t = 24$ ).

$\sigma_t$ -kurver for samtlige hovedstasjoner av området Skogsfjorden - Bankefjorden er i fig. 8 - 11, side 20-23, inntegnet for samtlige tokt. Oppgave over salinitet, temperatur og  $\sigma_t$  er gjengitt i tabell 5, side 77.

**Turbiditet** Turbiditet uttrykkes som mg  $\text{SiO}_2$ /l og angir vannets grumsethet eller innhold av partikulære forurensninger. Analysen er foretatt som en reflektrometrisk måling ved hjelp av Sigrist photometer.

Turbiditetsmålinger er bare foretatt i området Skogsfjorden - Bankefjorden, og verdiene for observasjonsdagen 28.9.1966 er inntegnet i fig. 12, side 24.

**Farge** Med vannets farge forstår man egentlig oppløste bestanddeleres farge, f.eks. humusstoffer, og uttrykkes i forhold til fargede standardoppløsninger som grader Hazen ( $^{\circ}\text{H}$ ). For de foretatte analyser er fargen målt etter at prøvene er filtrert, feilkilder på grunn av turbiditet bortfaller derfor.

Resultatene for observasjonsdagen 28.9.1966 er inntegnet i fig. 13, side 25, de øvrige data fremgår av tabell 7, side 81.

**Siktedyp** Siktedyp er et grovt mål for vannets gjennomsiktighet. Det defineres i denne rapport som det maksimale dyp en neddykket hvitmalt, sirkulær skive (Secchiskive) med diameter 25 cm ennå kan skimtes. Siktetypene er gjengitt i fig. 14, side 26, og i tabell 8, side 82.

**Fosfor** Blant de næringssalter som antas å ha størst innflytelse på de biologiske vekstbetingelser i resipienten, har vi valgt å bestemme fosfor som totalfosfat og ortofosfat.

Totalfosfat angis i  $\mu\text{g P}$  og inkluderer fosfat bundet organisk samt fosfat i uorganisk form.



Fig. 9  
**MANDALS RESIPIENTER**  
 Isopleter for  $\sigma_t$

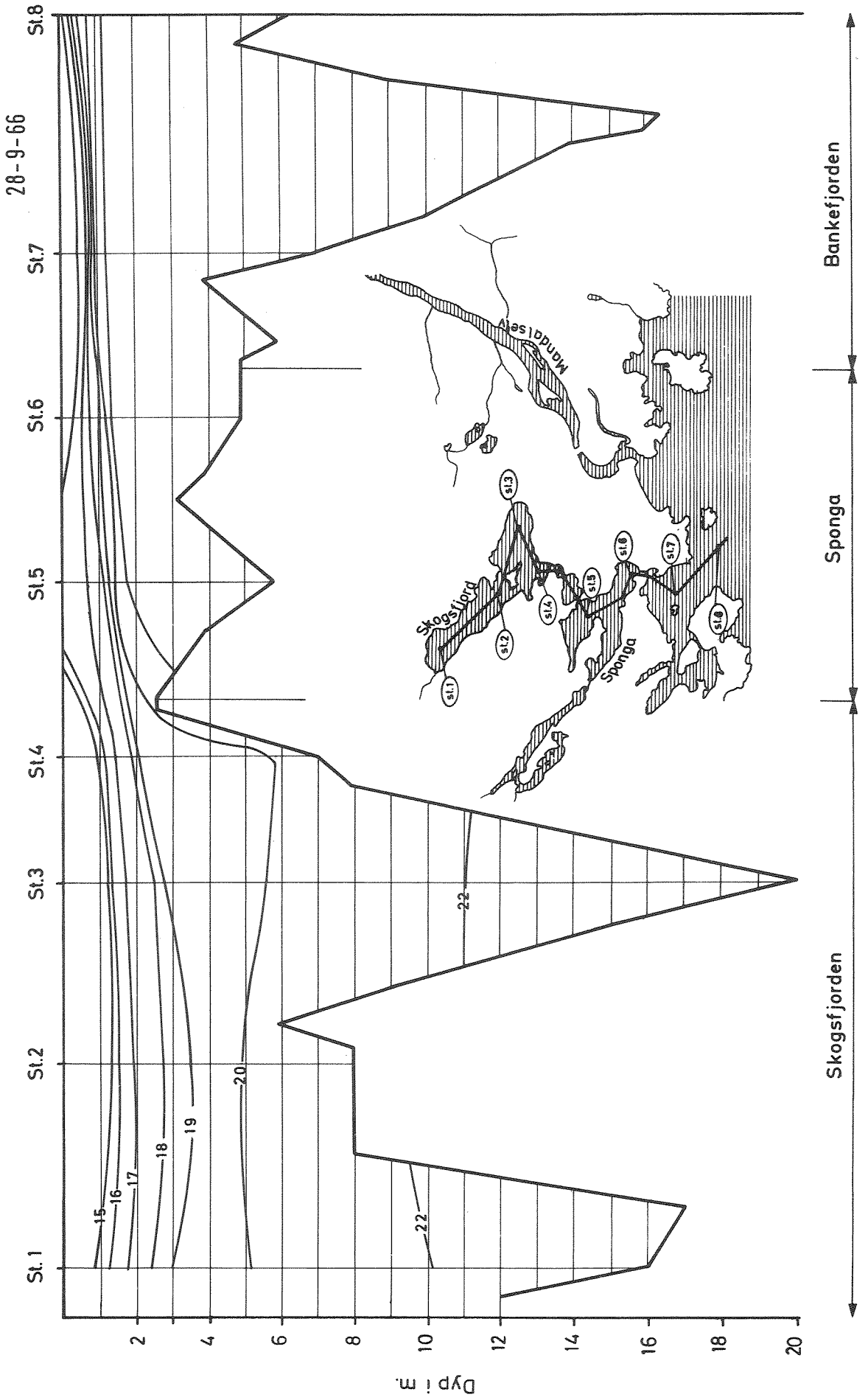


Fig.10

# MANDALS RESIPIENTER

Isopleter for  $\sigma_t$   
5-8-67

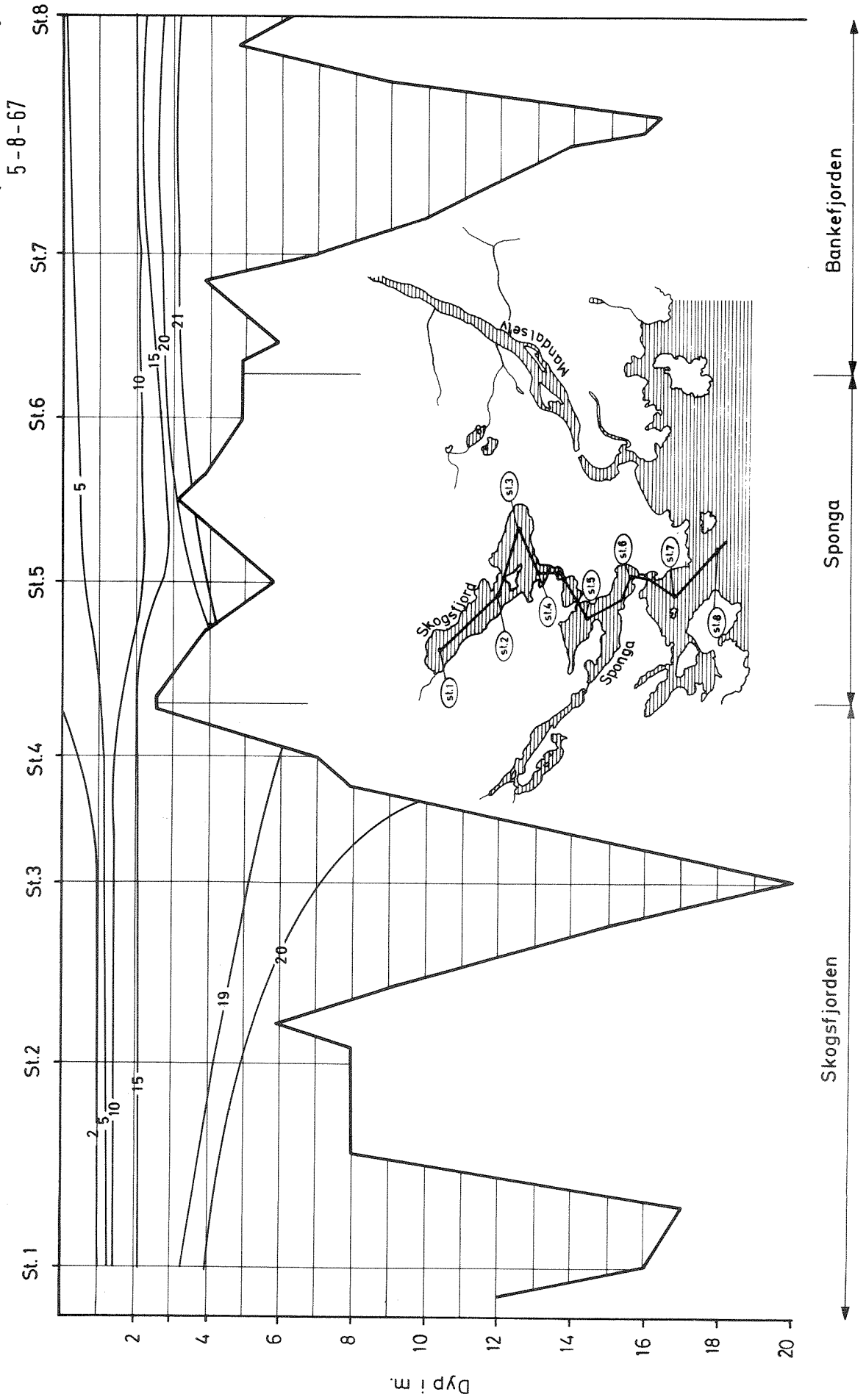


Fig. 11

# MANDALS RESIPIENTER

Isopleter for  $d_t$

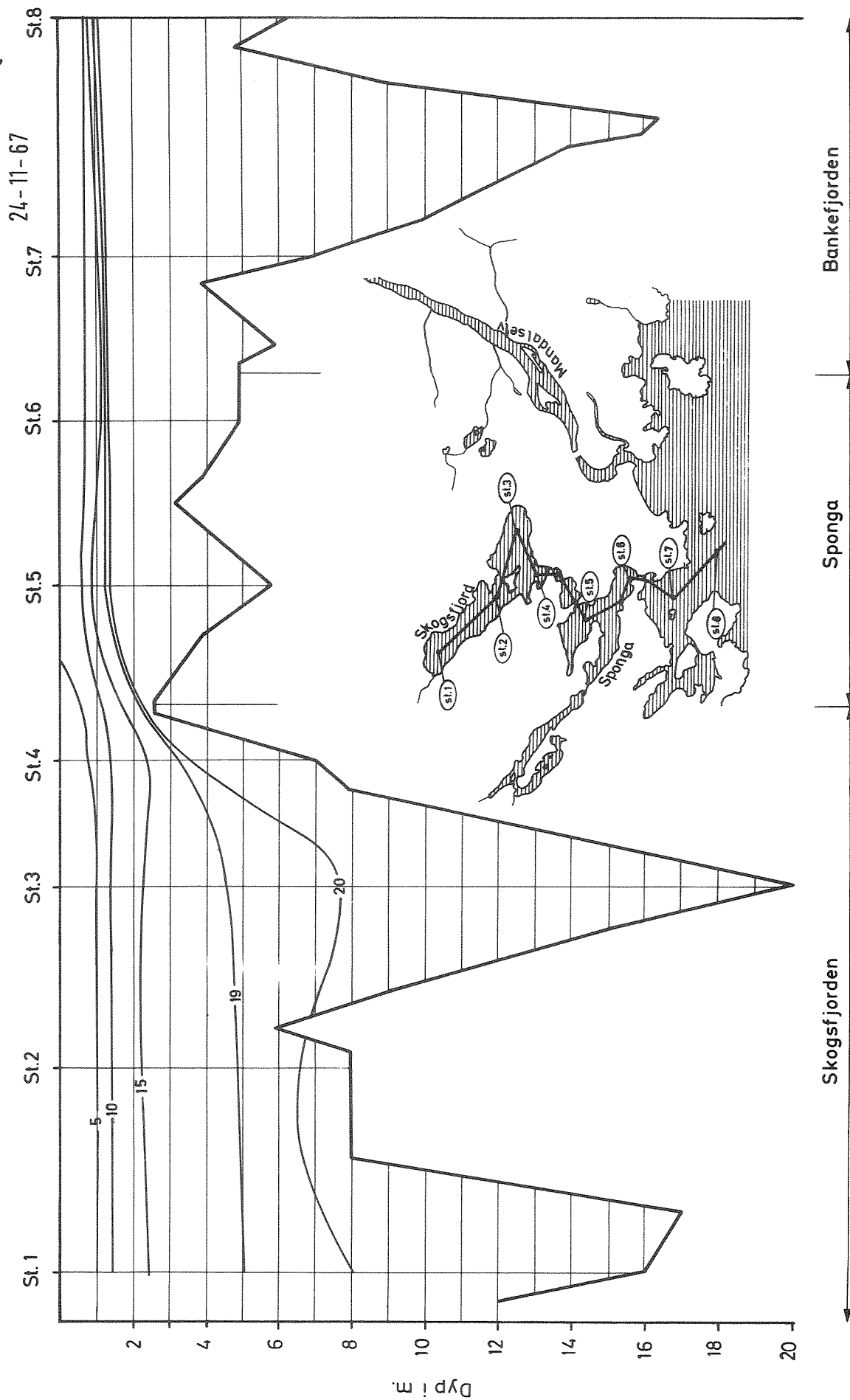




Fig. 13

MANDALS RESIPIENTER

FARGE 28-9-66

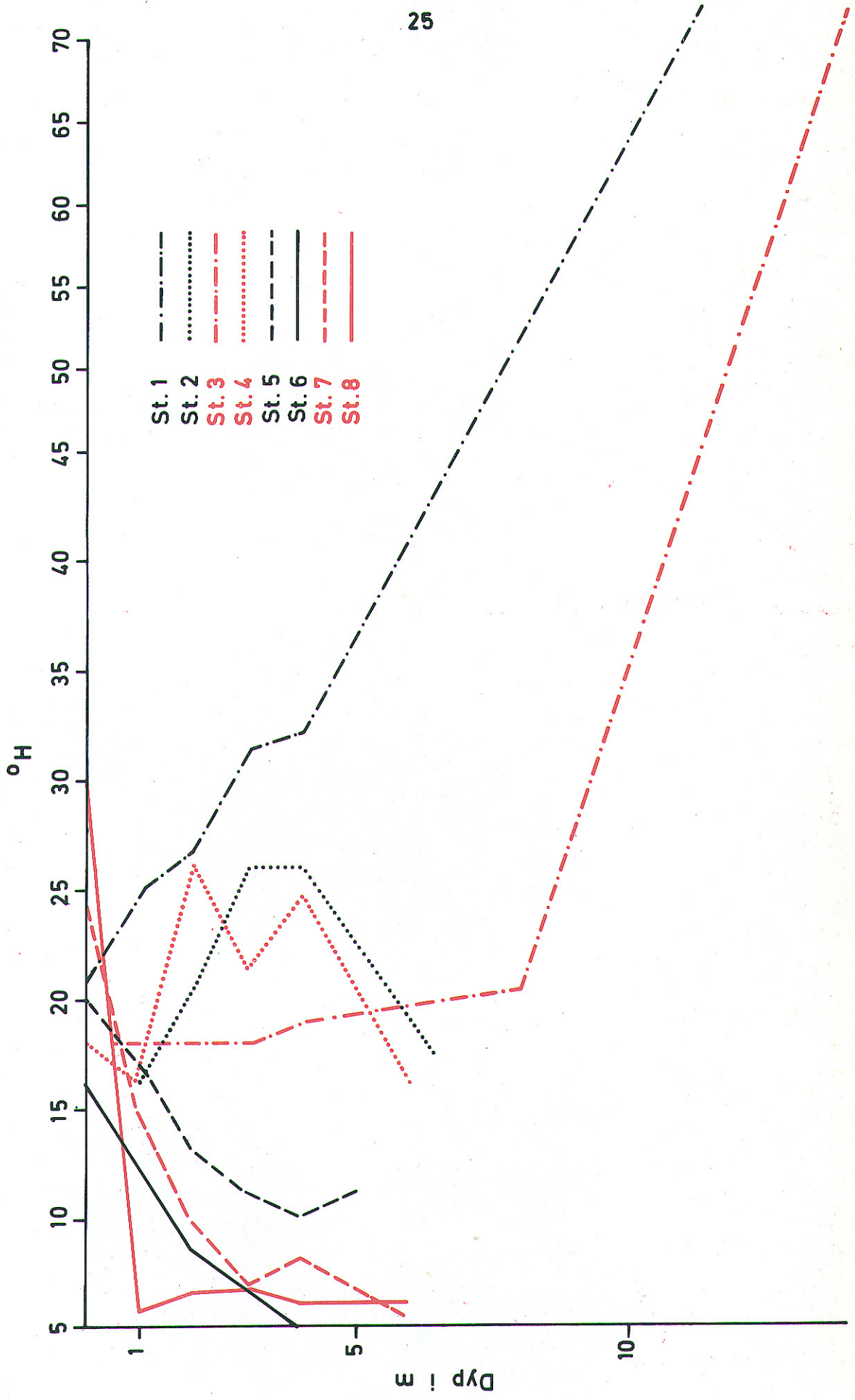
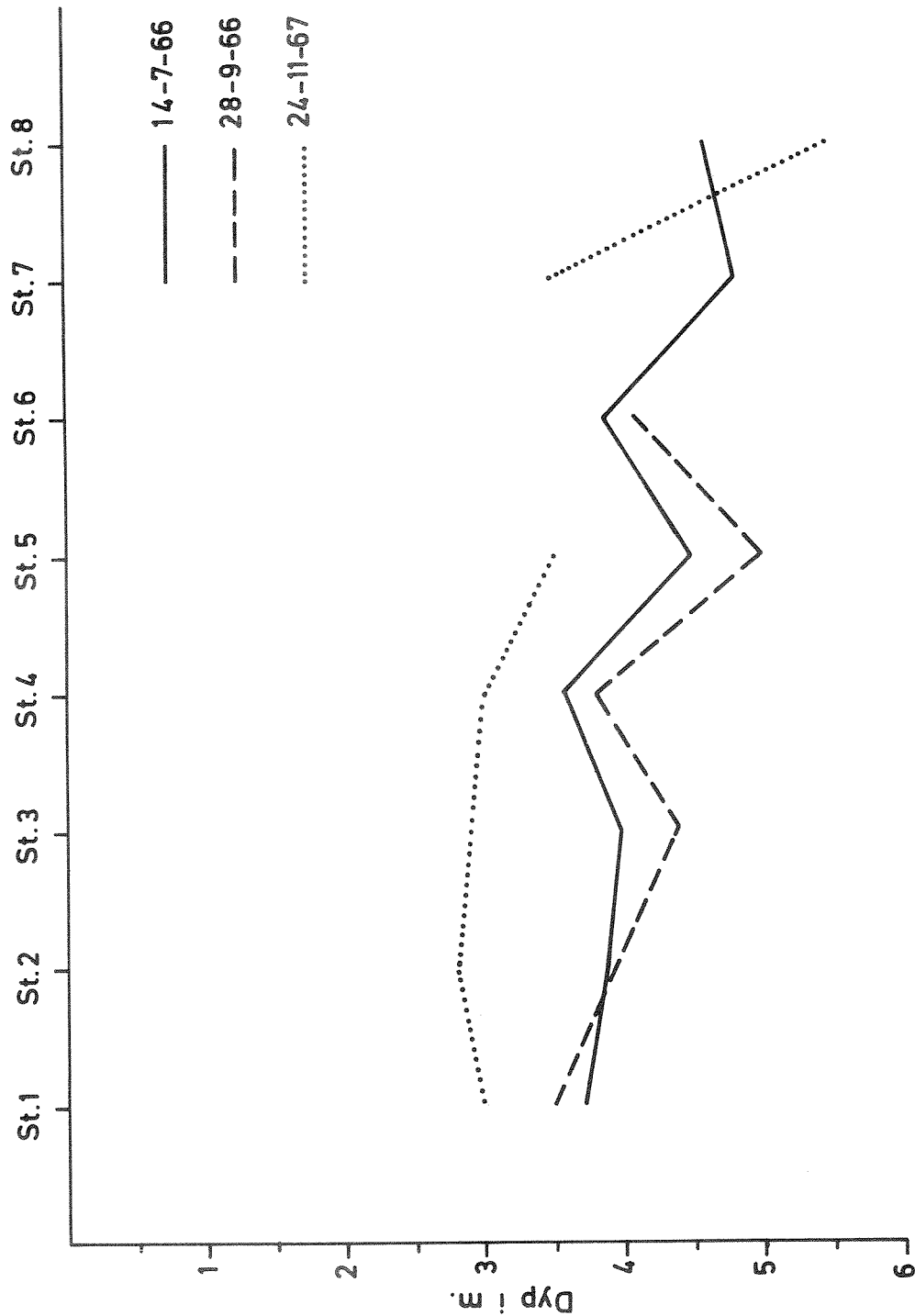




Fig. 14

MANDALS RESIPIENTER  
siktedyp



Med ortofosfat menes fosfat som er løst i vann. Det utgjør en gruppe enklere fosfater i uorganisk form. Mer kompliserte grupper, som f.eks. polyfosfater og fosfat bundet organisk, brytes med tiden ned til ortofosfat.

Fosfatanalyser er foretatt som totalfosfat på vannprøver fra fjordområdet Skogsfjorden - Bankefjorden for observasjonsdagen 28.9.1966. Data fremgår av tabell 9, side 83 samt av fig. 15 side 28.

#### Oksygen

Oksygen uttrykkes som mg  $O_2$ /l og angir vannets innhold av løst oksygen. Oksygeninnholdet vil variere i området 10 - 14 mg  $O_2$ /l ved 100 % metning, avhengig av temperatur og saltholdighet.

For observasjonsdagene 14.7. og 28.9. 1966 samt 24.11.1967 er isopleter for oksygeninnhold fremstilt i fig. 16, 17 og 18, side 29, 30 og 31, og i tabell 10, side 84.

#### Spesialundersøkelser

##### Biologi

Områdene langs strendene rundt Sponga - Skogsfjorden ble inspisert fra båt. Prøver av alger, plankton og annen akvatisk vekst ble samlet inn og danner grunnlaget for vår biologiske vurdering.

Den biologiske befaring fant sted samtidig med vår første tokt i juli 1965. Det biologiske materialet som ble samlet inn, var av en slik art at man fant det uhensiktsmessig og av liten interesse å gjenta befaringen under de senere tokt. Resultatene av de biologiske funn fremgår av tabell 11, side 63.

##### Kartlegging av utskiftningsforhold

Med utskiftningskapasitet menes i denne rapport fjordsystemets evne til å frakte ut av systemet en vannmasse som aldri siden vender tilbake.

Fig.15

MANDALS RESIPIENTER

total fosfat 28 - 9 - 66

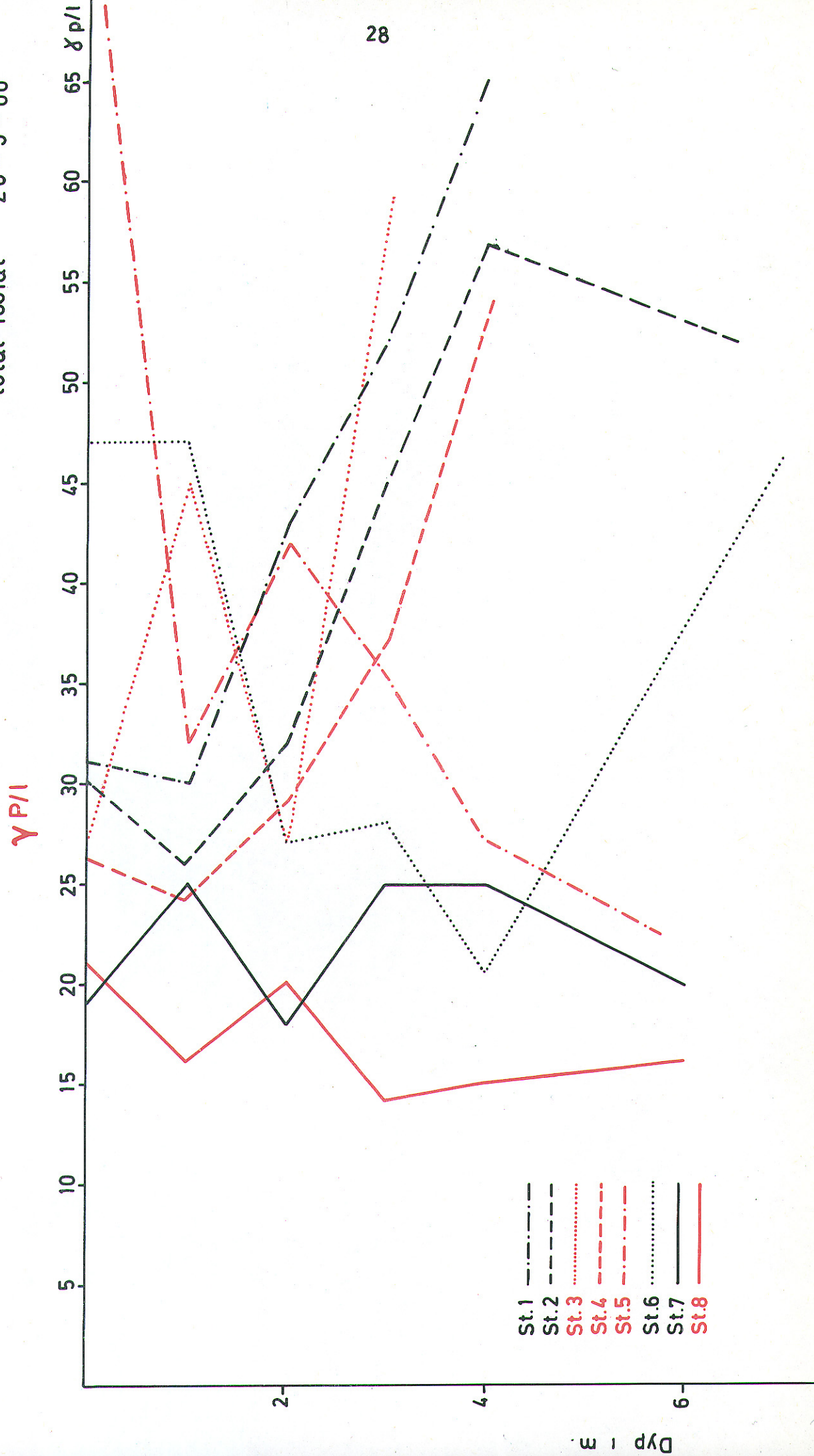


Fig. 16  
**MANDALS RESIPIENTER**  
 Isopleter for oksygen  
 14-7-66

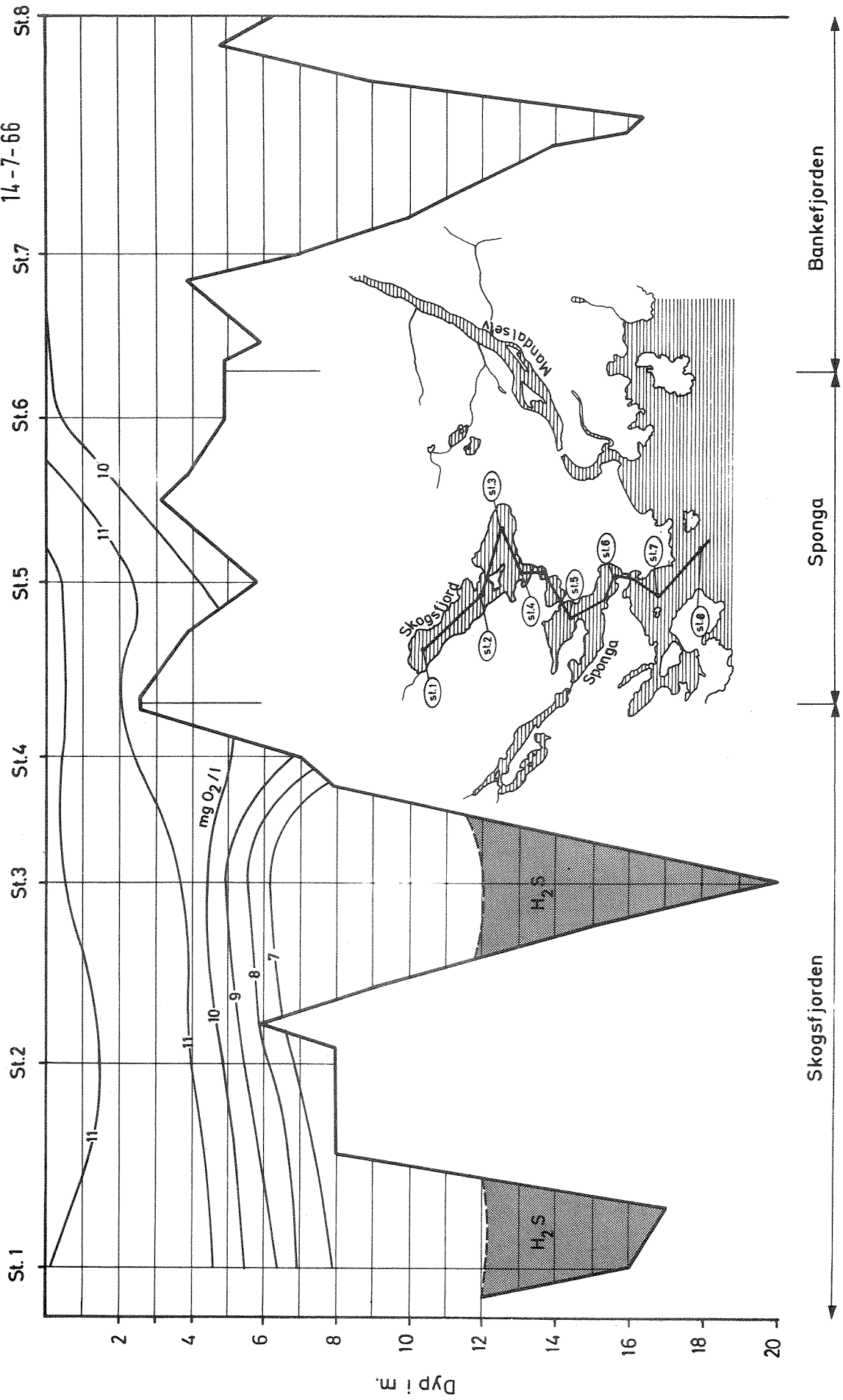


Fig.17

# MANDALS RESIPIENTER

Isopleter for oksygen

28-9-66

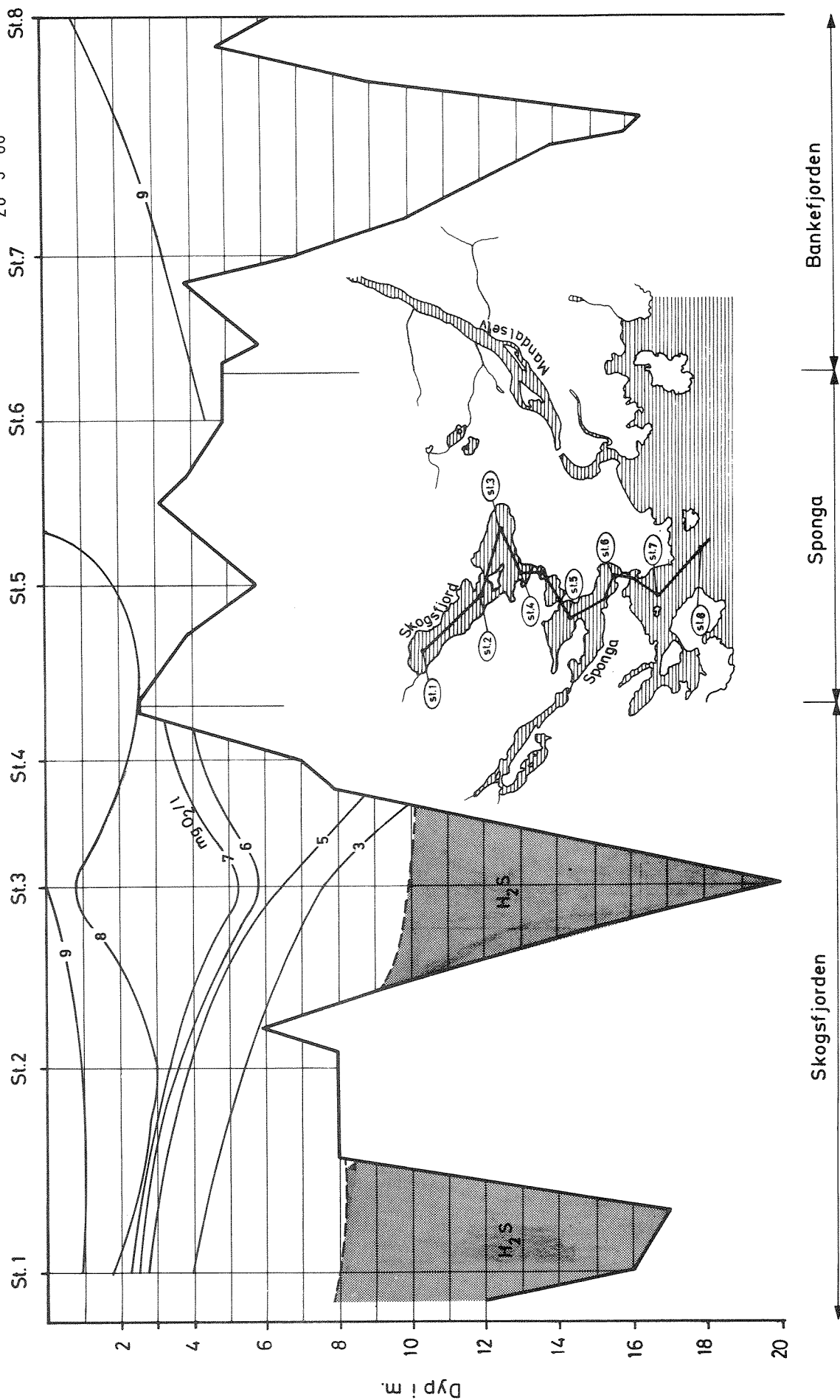
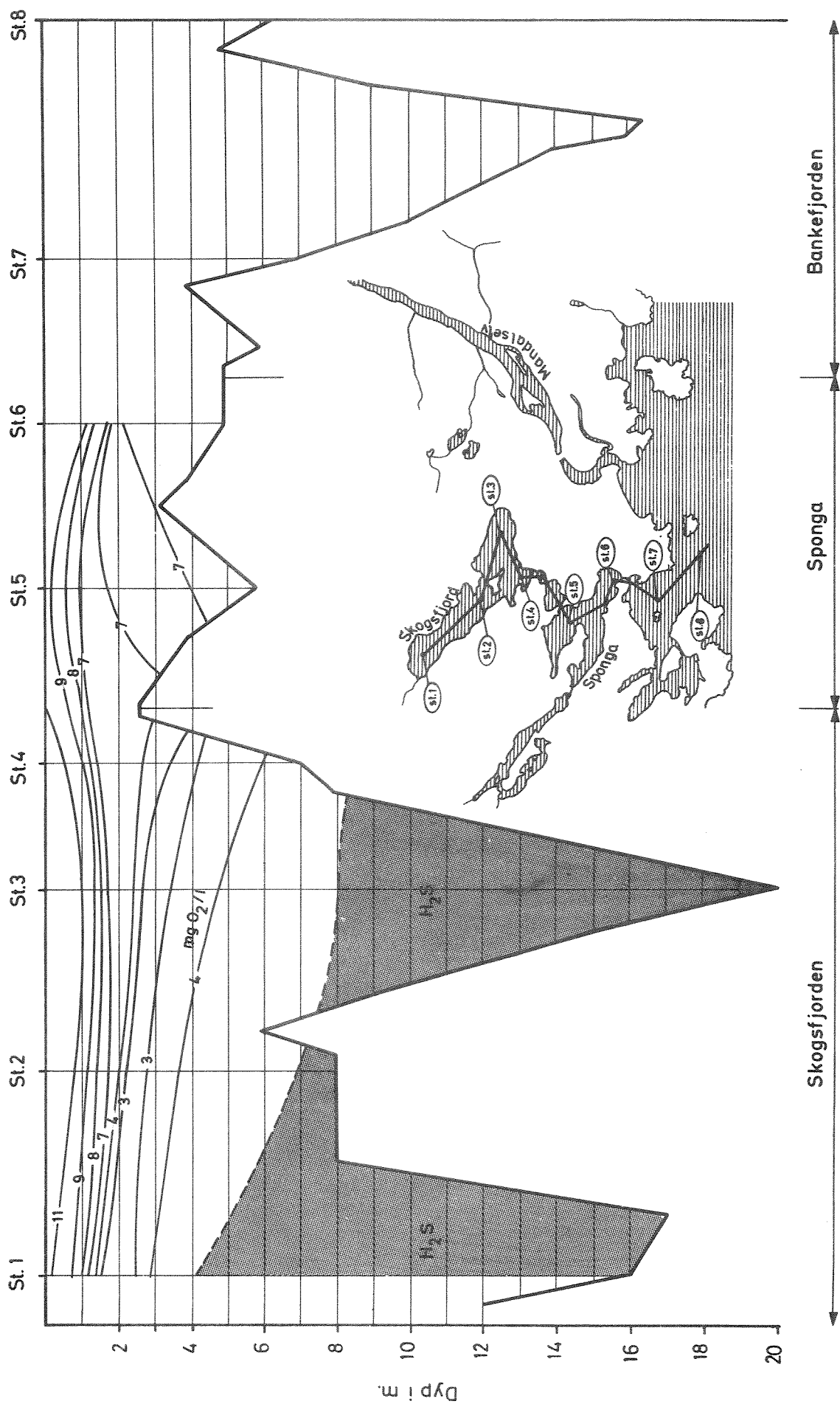


Fig. 18  
**MANDALS RESIPIENTER**  
 Isopleter for oksygen  
 22-11-67



Et fjordsystems utskiftningskapasitet vil avhenge av en rekke faktorer som fjordens topografi, tideamplitydens størrelse, ferskvannstilrenningen og vannmassenes lagdeling, vindpåvirkningen, forskjell i barometrisk trykk mellom resipientområdet og havområdet utenfor samt spesielle oseanografiske forhold.

For det fjordsystem det her gjelder, vil tidepåvirkningen være en dominerende faktor for utskiftningen. I løpet av en tide syklus som for Mandalsområdet utgjør ca. 6 timer og 25 minutter, vil vannet strømme inn for i neste syklus å strømme ut av systemet.

Den midlere tideamplityde utgjorde for Skogsfjorden i 1962, 16,3 cm, og med et areal av Skogsfjordens overflate på  $1,1 \text{ km}^2$  fraktes ca.  $179.300 \text{ m}^3$  vann pr. tidesyklus gjennom Smalsund.

For å kartlegge utskiftningsmekanismen valgte vi å benytte en såkalt tracer, et fluorescerende fargestoff, Rhodamin B, som ble tilsatt den utgående vannstrøm under Smalsundbrua. Doseringen av fargestoffet (som fant sted 23.11.1967) ble forsøkt gjennomført proporsjonalt til vannføringen gjennom et arrangement med 12 dyseåpninger spredt over tverrsnittet. Fotografier av arrangementet er fremstilt i fig. 19, side 33.

For at fargestoffet skulle ha samme tetthet som vannmassene ble det fra hovedstrømmen under broen pumpet opp sjøvann til et blandingskar hvor sjøvann og fargestoff ble blandet kontinuerlig. Det oppblandede fargestoff som man her fikk, ble dosert kontinuerlig i ca.  $4\frac{1}{2}$  time under den mest markerte del av utstrømningsperioden.

For at doseringen skulle bli vellykket, var det nødvendig å måle vannføringen til enhver tid. Dette ble gjort av to arbeidslag som hver målte sitt tverrsnitt under Smalsundbrua. Vannføringsmålingene foregikk ved hjelp av to flygler (strømmålere) som registrerte hastighet. Hastighetsresultatene ble deretter multiplisert med det våte areal i utstrømningstverrsnittet etter Harlachers metode, og vannføringen utregnet. I det dypeste parti var det hengt opp en spesiell strømmåler som til enhver tid registrerte strømhastighet og strømrretning. Vi hadde likeledes i dette parti stasjonert en saliterm for hyppig registre-

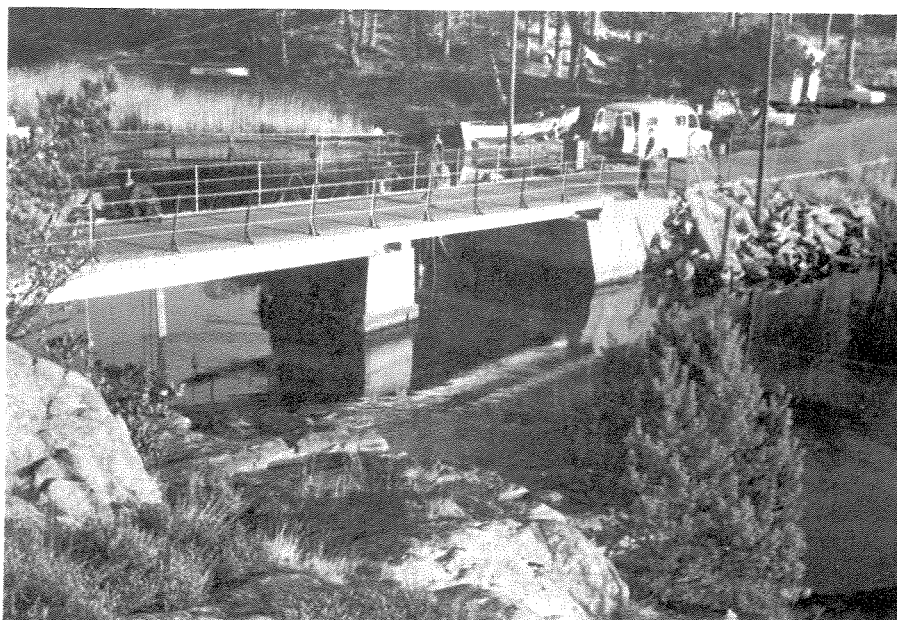


Fig. 19 a  
 Oversiktsbilde av Smalsund med tracerutstyr  
 og NIVA's laboratoriebil i bakgrunn

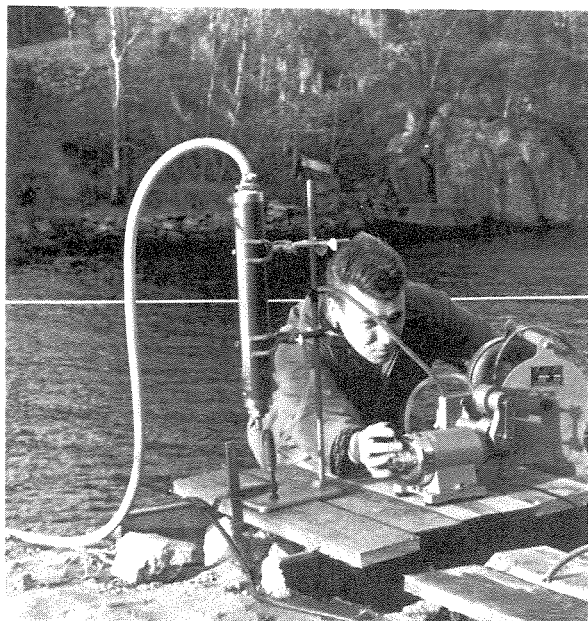


Fig. 19 b  
 Dosering av tracers proporsjonalt  
 til tidestrømmen

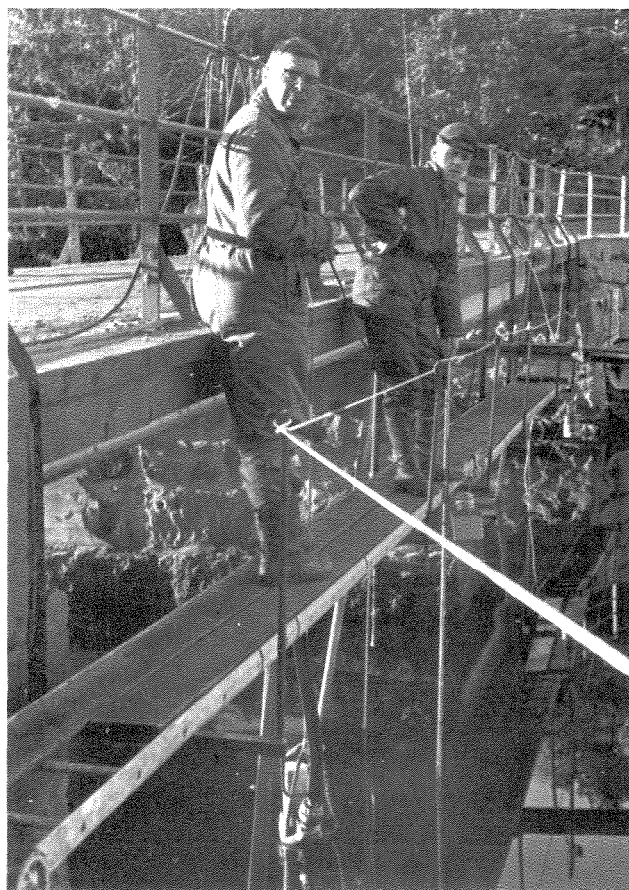


Fig. 19 c  
 Arbeidsbro for kontinuerlige målinger  
 av vannhastighet, salinitet og tracers



ring av salinitet under de ulike tidefaser.

For å ha kontroll med at innblandingen av fargestoff var vellykket, hadde vi en prøvetakingsbåt oppankret ut for båthusene ved Vestnes. Herfra ble det tatt blandprøver hvert 15. min. fra ulike dyp. Kort tid før tideveksel ble doseringen stoppet.

Ved de påfølgende tidesykluser på innstrømmende og utstrømmende tidevann ble så fargekonsentrasjonen på de ulike deler av tverrsnittet under Smalsundbrua registrert fortløpende.

Registreringen skjedde ved hjelp av et såkalt fluorometer som var plassert i NIVA's feltvogn stasjonert ved brokaret. Fra ulike dyp i forskjellige tverrsnitt ble vann pumpet gjennom instrumentet og de respektive fargekonsentrasjoner målt. Den siste konsentrasjonsmåling ble avsluttet lørdag morgen, ca. 48 timer etter at doseringen av fargestoffet tok til.

Da det lørdag fortsatt ble registrert betydelig farge i vannmassene, ble det besluttet at man på lokalt hold skulle arrangere en prøvetakingsserie på utgående tidevann med noen dagers mellomrom i de påfølgende to uker. Prøvene ble tatt fra Smalsundbrua hvert 5. min. gjennom en tidesyklus. Prøvene ble deretter sendt til instituttet for konsentrasjonsmåling i fluorometer av fargestoff.

Samtidig med tracerforsøket ble det tatt hyppige observasjoner av salinitet og temperatur i et vertikalsnitt i det dypeste parti under Smalsundbrua.

I fig. 20 har vi fremstilt tetthetsvariasjoner på de respektive dyp som en funksjon av tiden.

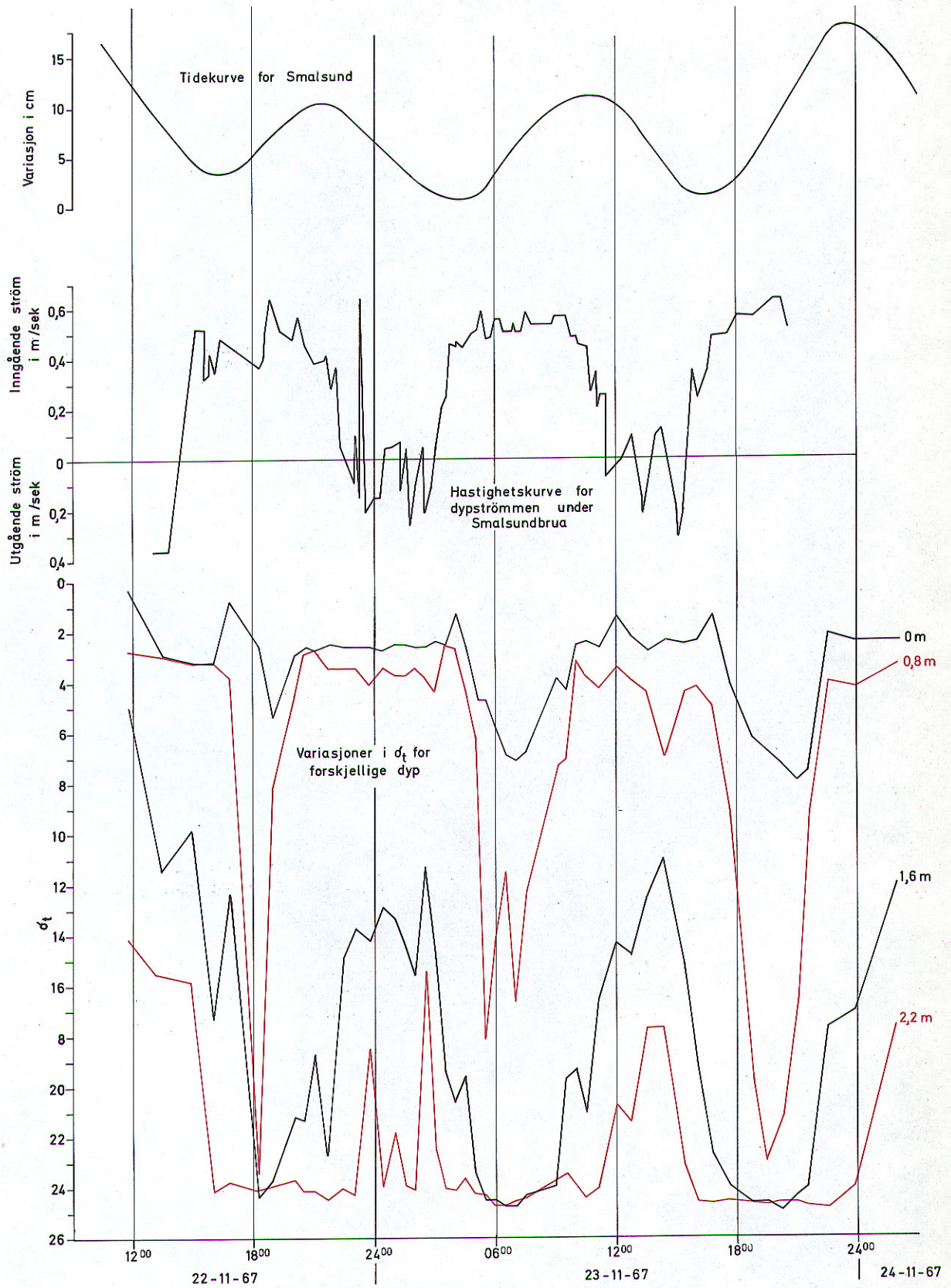
I figuren er det også tegnet inn tidevariasjoner registrert i Skogsfjorden ved Smalsund samt hastighet og strømetning for dypstrømmen.

Fig. 20

# MANDALS RESIPIENTER

variasjon i  $\delta_t$ , dypstrømmens  
hastighet og tideamplityde

22. til 24.-11-67



## BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSER I MANDALSELVA

RutineundersøkelserHydrografi

Observasjons-  
stasjoner      Observasjonsstasjonenes plassering fremgår av fig. 1, side 3. Undersøkellesområdet i Mandalselva strakte seg å langt opp som sjøvannet kunne registreres langs bunnen. Stasjoner var plassert i elvens hovedstrøm for å unngå uheldig og ukontrollert påvirkning av bakevjer og partier med ekstra store strømvirvler.

Salinitet      På tilsvarende måte som i de øvrige resipientavsnitt ble vannets tetthet beregnet på bakgrunn av salinitets- og temperaturobservasjoner. Resultatene er fremstilt i tabell 12, side 85, og som isopleter for  $\sigma_t$  i fig. 21, 22, 23 og 24.

Av hensyn til den fremtidige utnyttelse av elven som resipient var det viktig å få klartlagt sprangsjiktets beliggenhet og om mulig sette dette i relasjon til elvens vannføring. På grunn av elvens markerte lagdeling var det nødvendig å foreta observasjoner nedover i dypet så tett som overhode mulig.

Strømprofil      Samtidig som salinitetsmålingene foregikk ble det også foretatt strømmålinger med et flygel og en retningsanvisende strømmåler. Ved hver stasjon ble det kartlagt en vertikal strømprofil, gjengitt i tabell 13, side 86 og i fig. 21 - 24, side 37 - 40.

SpesialundersøkelserBiologi

Under toktet i juli 1965 ble det også i Mandalselva foretatt en tilsvarende biologisk befaring som for Sponga - Skogsfjorden med innsamling av biologisk materiale. Resultatene fremgår av tabell 14, side 68.

De biologiske undersøkelser ble heller ikke her gjenopptatt senere, som antydnet i programmet. Resultatet av prøvene var av en slik art at en tilsvarende befaring i undersøkelsesperioden ville være uhensiktsmessig og av liten interesse.

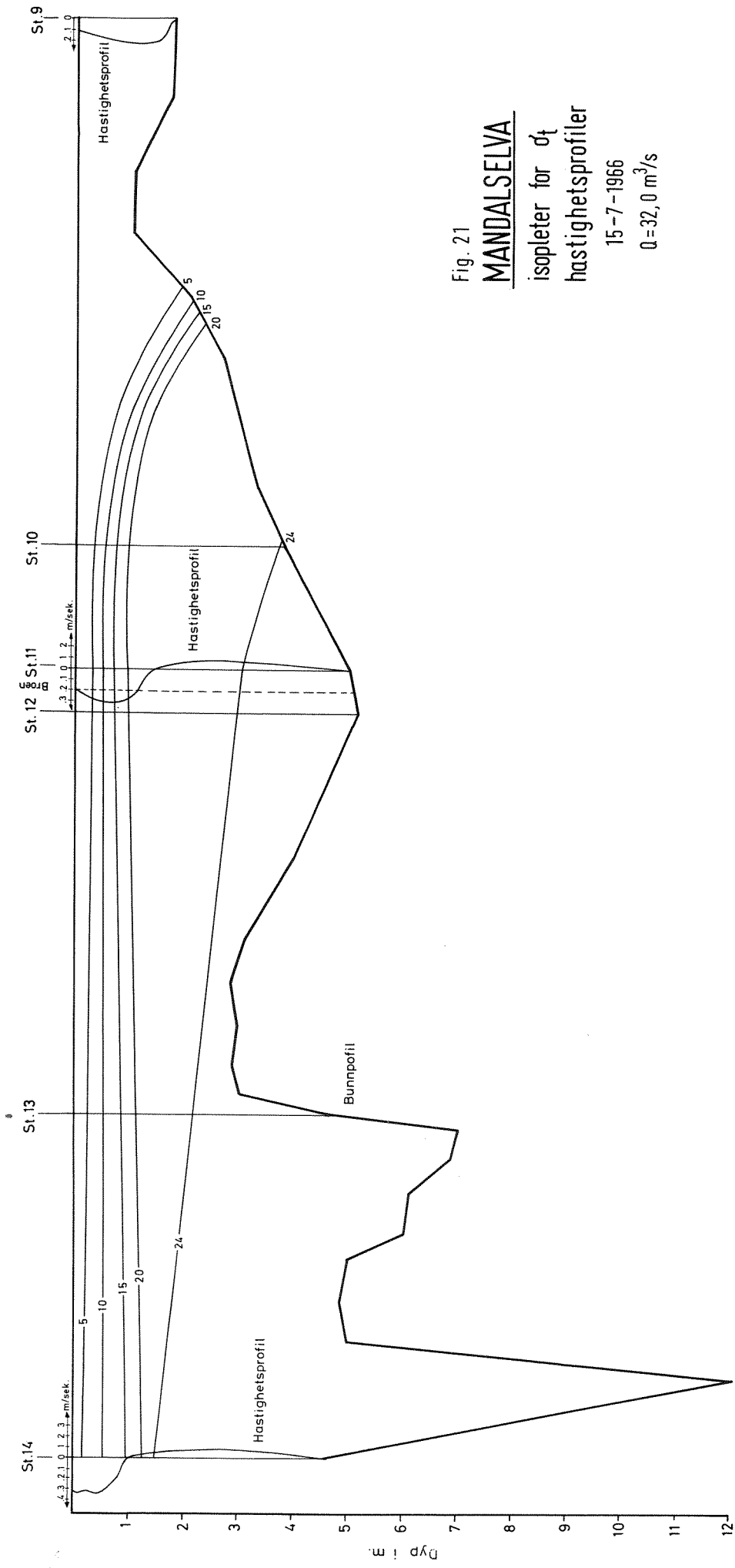


Fig. 21

MANDALSELVA

isopleter for  $Q$   
hastighetsprofiler

15-7-1966

$Q = 32,0 \text{ m}^3/\text{s}$

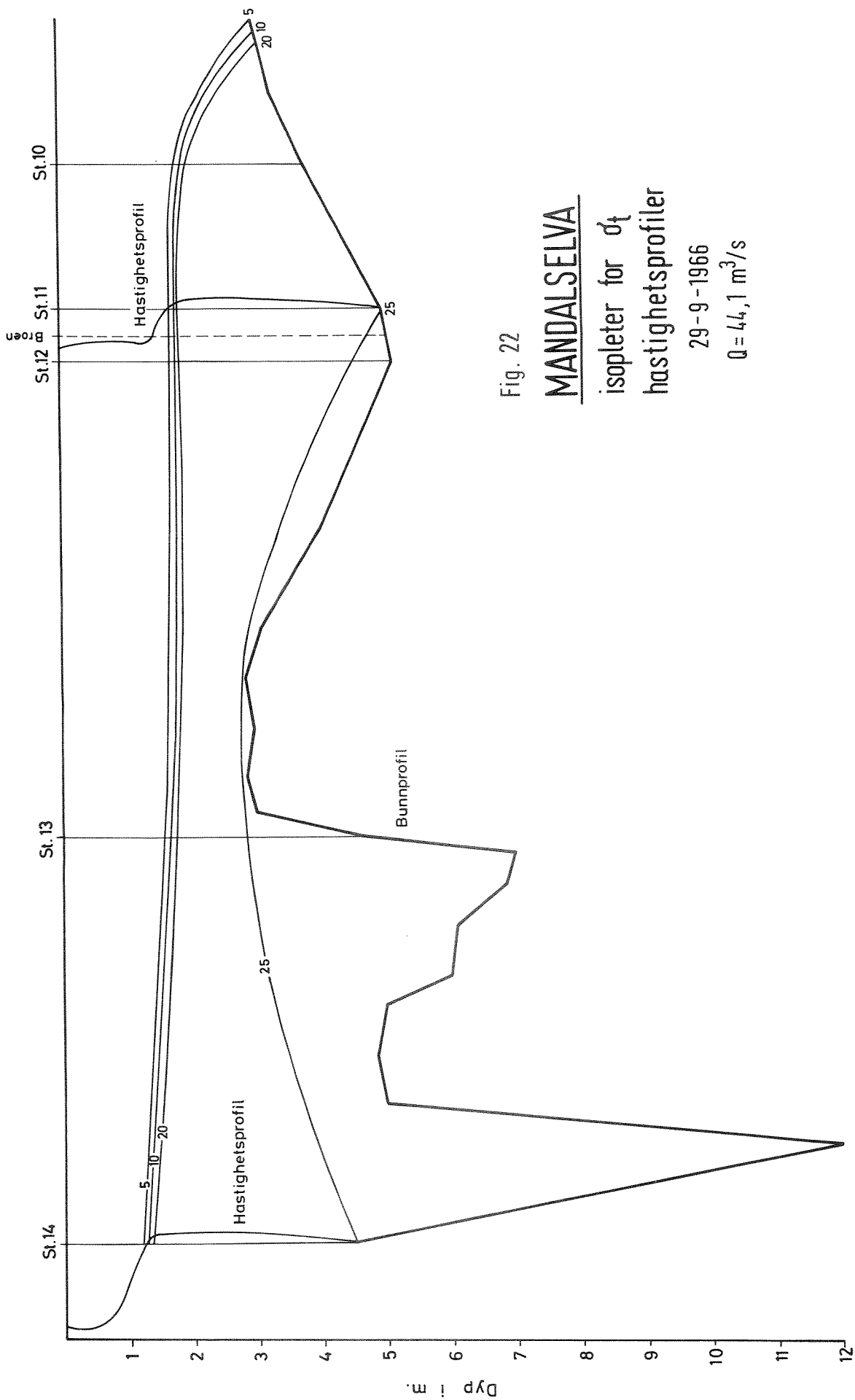


Fig. 22

MANDALSELVA

isopleter for  $\sigma_t$   
hastighetsprofiler

29-9-1966

$Q = 44,1 \text{ m}^3/\text{s}$

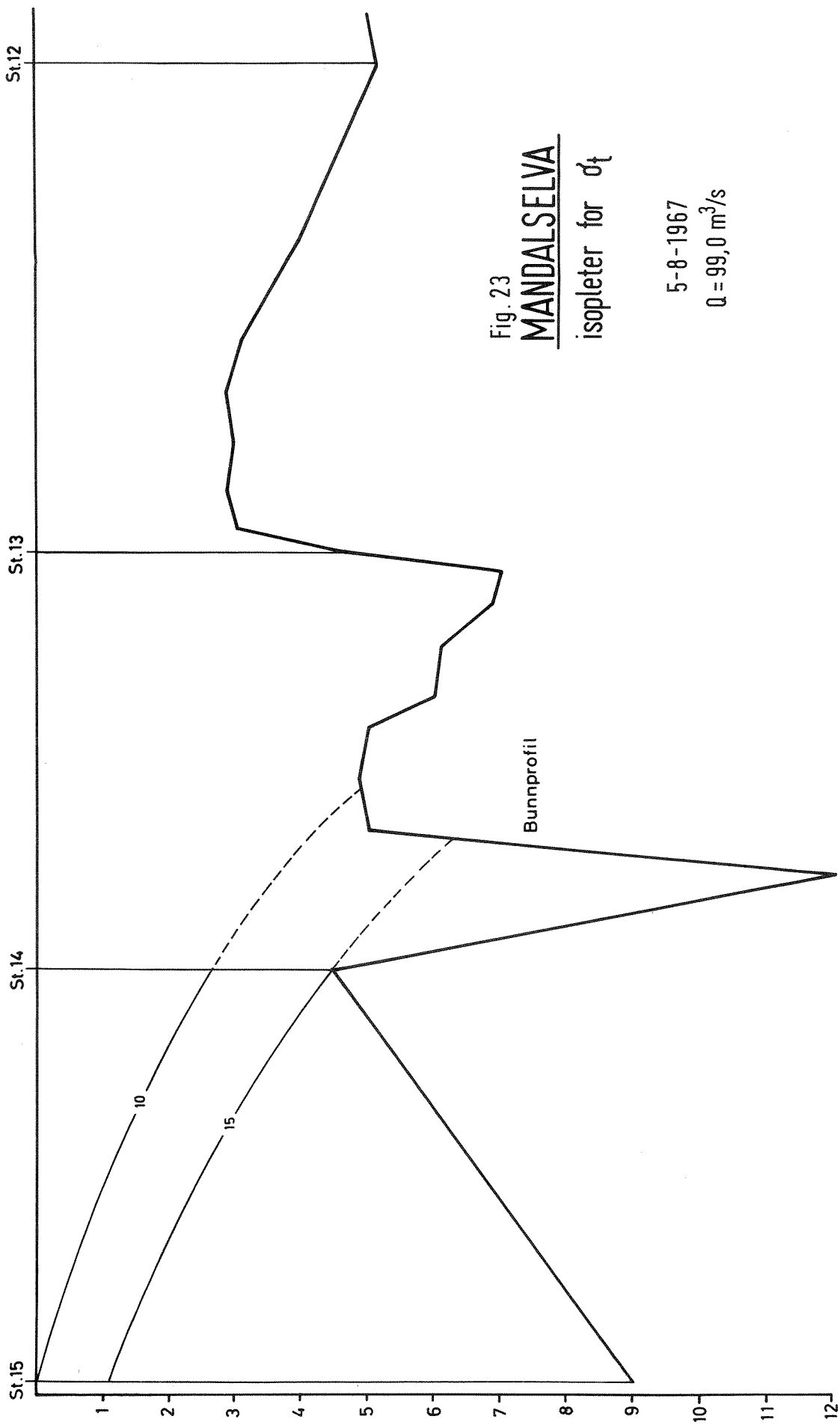


Fig. 23  
MANDALSELVA  
 isopleter for  $\sigma_t$

5-8-1967  
 $Q = 99,0 \text{ m}^3/\text{s}$

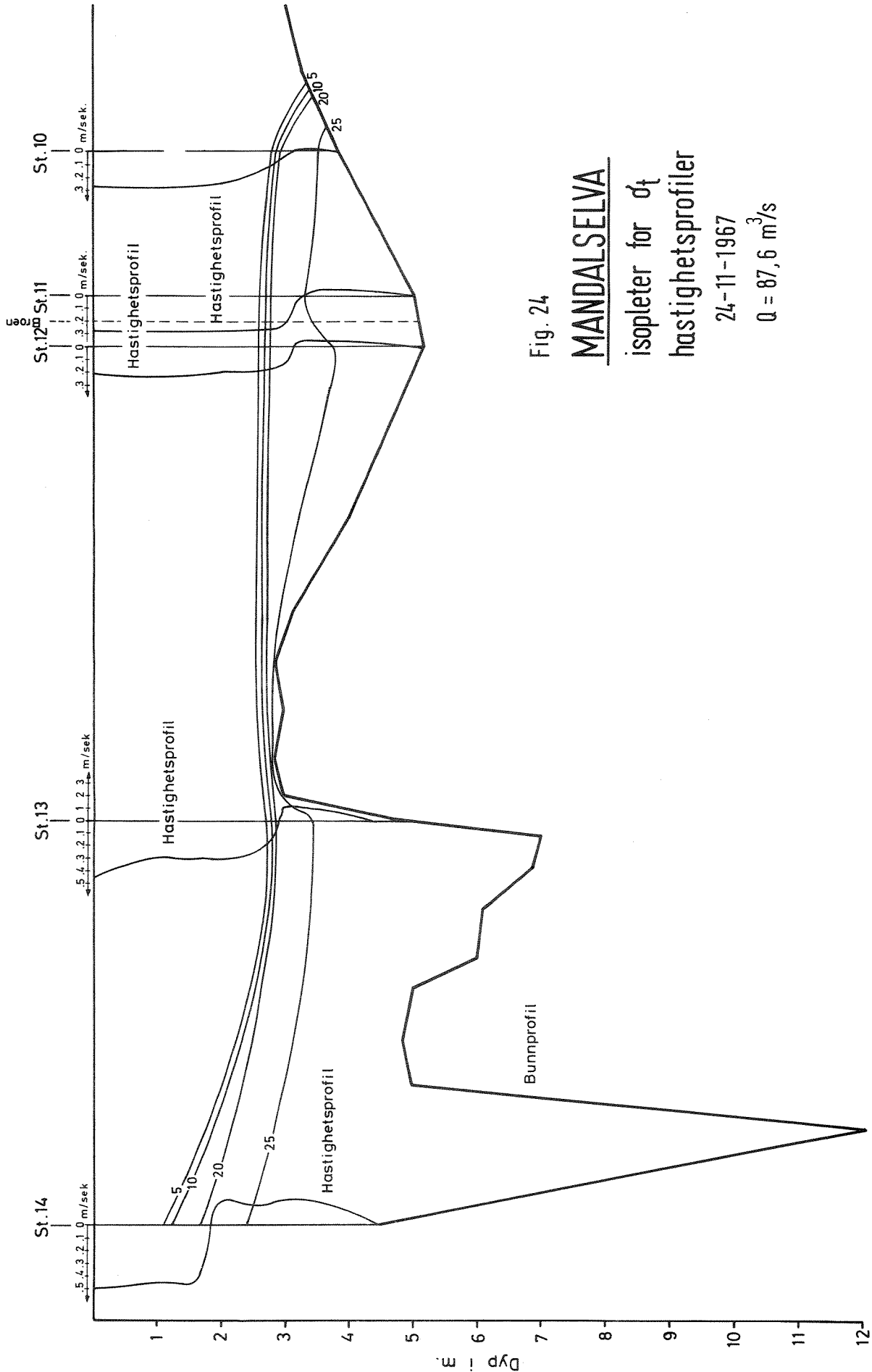


Fig. 24

MANDALSELVA

isopleter for  $Q$   
hastighetsprofiler

24-11-1967

$Q = 87,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Strømforhold

Elvens utstrømning i Mannefjorden var av spesiell interesse for vurderingen av elven som resipient med eventuelle skadevirkninger for Sjøsandén.

Under samtlige tokt ble det derfor foretatt utslipp av flytelegemer i elven ut for Pirhola. Det har likeledes under flere tokt vært foretatt salinitetsmålinger av overflatesjiktet over store områder i Mannefjorden for derved å kartlegge ferskvannets utbredning i fjordsystemet.

Under toktet i november 1967 ble det lagt spesiell stor vekt på kartlegging av elvens hovedstrømmer i Mannefjorden, og kartleggingsmetodene er derfor beskrevet nedenfor.

Som flytelegemer ble benyttet strømkort, strømkors og isoporflak.

**Strømkort**

De benyttede strømkort bestod av platposer 5 x 20 cm med innlegg slik at de fløt vertikalt i sjøen med en farget rand i vannoverflaten. Randen var malt med en fluorescerende maling og var lett synlig. Kortene er noe vindpåvirket, men er godt egnet under forhold hvor hovedstrømmen er sterk i forhold til den strømkomponenten som vinden lager.

Mellom de midterste brokaréne på Bybrua ble det den 24. november kl. 10.00 sloppet 200 hvite strømkort.

Kl. 11.30 ble det i elvens hovedstrøm ut for Pirhola sloppet 180 røde strømkort.

**Strømkors**

Strømkorsene som ble benyttet under undersøkelsen, bestod av blikkplater, 20 x 40 cm, montert i kors. Korsene var forbundet til isoporskiver som tjente som flottør og markeringsmerke. Strømkorsene var hengt opp med nylontråd, og vekten var tilpasset isoporskivens flyteevne.

Strømkors av ulike størrelser er mye benyttet ved kartlegging av strømforhold i fjordsystemer og havområder. Strømkorsene er da gjerne opphengt i bøyer med markeringsflagg. For at man



mest mulig skulle eliminere vindpåvirkningen ble det, som ovenfor nevnt, benyttet isoporskiver som flottør og markeringsmerke.

Korsets flater var likeledes av en slik størrelsesorden at en vindpåvirkning på isoporskiven var uten nevneverdig innflytelse for strømretning og strømhastighet.

Kl. 11.00 ble det gjennom elvens hovedstrøm ut for Pirhola sloppet ut 10 strømkors på et dyp av 20 cm under overflaten.

Kl. 11.30 ble det sloppet ut 10 strømkors, denne gang på 1 m dyp.

Som flytelegemer ble det også benyttet isoporflak i en størrelse av 40 x 40 cm. Flakene var vindpåvirket, men i de områder som var av størst interesse for kartleggingen av strømforholdene, var de fullt brukbare.

Kl. 11.00 ble det ut for Pirhola sloppet ialt 30 flak, 10 flak i elvens hovedstrøm og 10 flak 5 m ut for hver elvebredd.

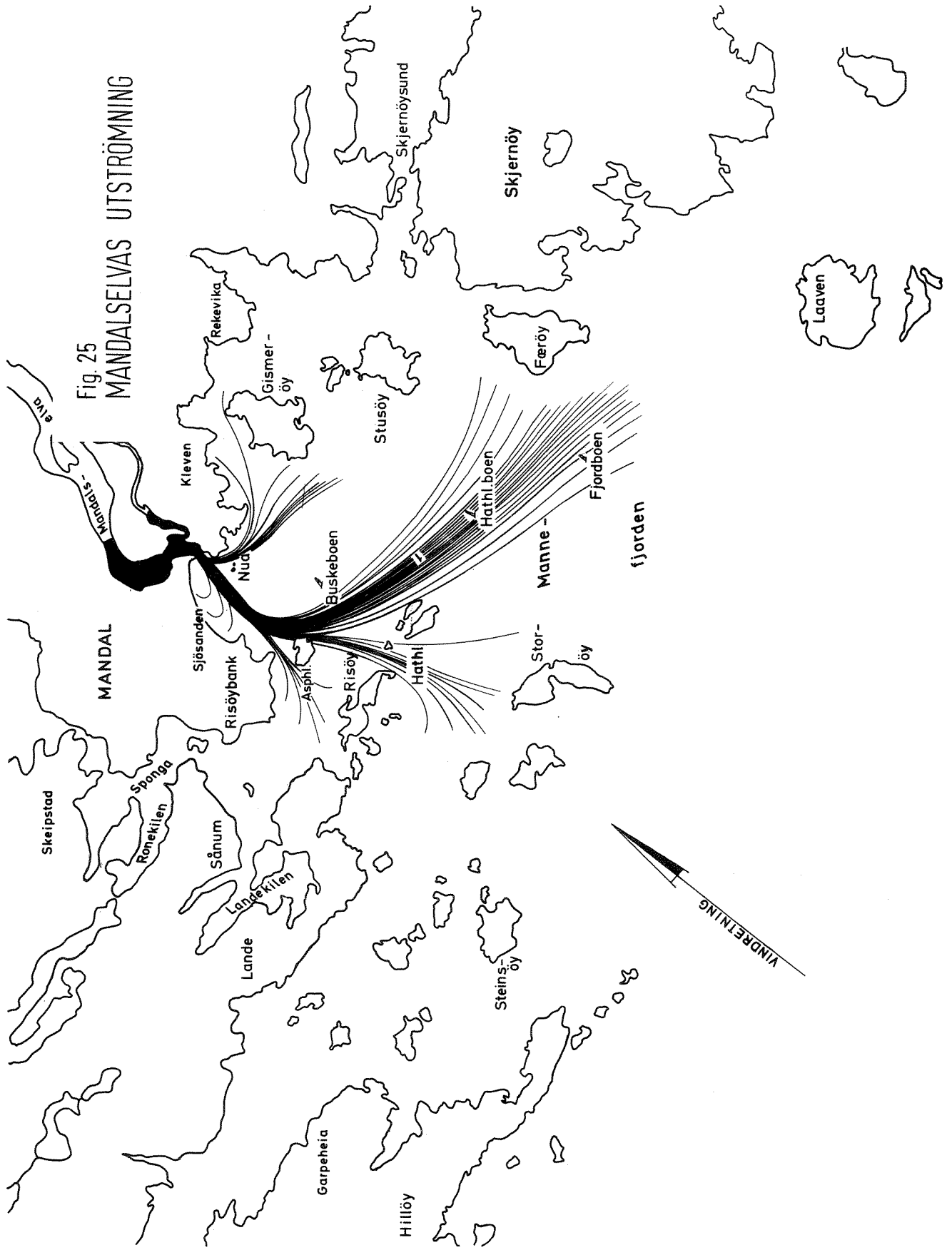
Av hensyn til undersøkelsens omfang var kartleggingen av hovedstrømmen det primære. Registreringen av de ulike flytelegemer ble derfor foretatt fra båt med avmerking av posisjoner og tidspunkt.

Under tidligere undersøkelser av strømforholdene var det benyttet blokker av Rhodamin B, det samme fargestoff som var benyttet under forsøkene ved Smalsund.

I elvens hovedstrøm ut for Pirhola var det da ankret opp bøyer påhengt Rhodaminblokker som avgav farge til de forbistrømmende vannmasser. Hvor fargekonsentrasjonen begynte å bli vanskelig å se visuelt, ble det så plassert en ny bøye med nye Rhodaminblokker. På den måten var det mulig å danne en fargestrek i elvens hovedstrøm.

De mest fremherskende strømbaner fremgår av fig. 25.

Fig. 25  
MANDALSELVAS UTSTRÖMNING



VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET -  
SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

Vannutskiftning og vannfornyning

Overflatevannet synes alltid å være i bevegelse, og for de gjeldende fjordområder er tidestrømmen den mest markerte. Overflatestrømmen kan imidlertid tilbakeføres til prinsipielt 5 forskjellige mekanismer, tidevariasjoner, øvrige vannstandsvariasjoner, tetthetsstrømmer, vinddrift og den estuarine sirkulasjon.

Tidevariasjoner opptrer som en permanent prosess, mens de øvrige opptrer periodevis. Prosessene kan foregå uavhengig av hverandre, slik at deres virkning ikke kan superponeres. Under ekstreme forhold kan imidlertid prosessene forstyrre hverandre, og som typisk eksempel kan nevnes vindens forstyrrelse av den estuarine sirkulasjon. For Skogsfjordens vedkommende kan det arte seg slik at vinden presser mot det utstrømmende brakkvann i Smalsund og holder dette tilbake for en tid.

Prinsipielt kan det skilles mellom to former for vannfornyning, den advektive hvor vanntransporten foregår ved adveksjon, og den diffusive som foregår ved turbulent diffusjon. Mellom disse former eksisterer en direkte årsakssammenheng eller et avhengighetsforhold.

Den estuarine sirkulasjon er et eksempel på en adveksjon, likeledes vinddrift som følge av vedvarende vindpåvirkning.

Har man derimot skiftende vinder, vil overflatedriften arte seg som en uordnet bevegelse og kan betraktes som turbulens. Turbulensen utgjør en form for utveksling av vannpartikler.

Den turbulente diffusjon medfører alltid transport fra høyere til lavere konsentrasjoner og utgjør således en form for utjevning.

Vertikaldiffusjonen gjør seg gjeldende på alle dyp i Skogsfjorden. Vann fra høyere nivå utveksles med vann fra lavere, og da overflatelaget er mindre salt, vil denne utveksling føre til en transport av salt oppover. Ved denne prosessen avtar dyppvannets tetthet slik at hele vannsøylen fra bunn til overflaten blir lettere.

#### Tidestrøm

Tidestrømmen er en meget dominerende faktor for vannutskiftingen og fører i middel daglig ca. 312,000 m<sup>3</sup> vann inn og ut under Smalsundbrua.

Tidevannsbevegelsen foregår vesentlig i de øvre lag, og man får stort sett en transport fram og tilbake av disse vannmasser. Vannmassene i Bankefjorden og i ytre deler av Sponga vil kunne fornyes relativt hurtig med vann fra Mannefjorden, mens vannmassene i de indre deler av Sponga og Skogsfjorden i stor utstrekning vil flytte seg fram og tilbake.

Det har ikke vært anledning til inngående å studere de strømmønstre som oppstår i fjordsystemet som følge av tidepåvirkning. Sponga og Skogsfjorden har mange vikler og bukter, og det vil her naturlig oppstå flere bakevjer til tidestrømmen. Dette vil medføre at man i flere bukter får en relativt lang oppholdstid for vannmassene før de føres videre ut i sirkulasjonsmønsteret.

Under tracerforsøkene med fargestoffet Rhodamin B kunne dette tydelig merkes visuelt, idet fargestoffet i bakevjene ble liggende relativt lenge, mens det for andre områder ble relativt fort vasket ut av systemet.

Strømmønsteret som følge av tidepåvirkning er av stor betydning for utnyttelsen av systemet som resipient, og i våre praktiske konklusjoner har vi tatt hensyn til dette.

Det er kjent at indre bølger i et fjordsystem kan være tidepåvirket og derfor karakterisert av samme periodisitet og regelmessighet som tidevannet. Indre bølger vil virke forstyrrende på den statiske sjiktning, men vi har med vårt observasjonsmateriale ikke kunnet påvise slike bølger.

Den midlere tidevariasjon for Trægde utgjør ifølge tabeller fra Norges geografiske oppmåling for år 1967, 17,0 cm. Dette stemmer godt overens med observasjoner fra vår stasjon ved svømmestadion i Bankefjorden, hvor vi for året 1967 har registrert en midlere tideamplitude på 20,6 cm. I de beregnede verdier for Trægde er meteorologiske forhold samt vindoppstuvning ikke tatt med i beregningene.

Ved våre stasjoner på Vestnes i Sponga og Ulvegjelet i Skogsfjorden har vi for 1967 registrert midlere tideamplitude på henholdsvis 17,5 og 16,3 cm.

Dempningskoeffisienten som her blir definert som forholdet mellom de respektive tideamplituder, utgjør for Bankefjorden - Sponga 0,85, for Bankefjorden - Skogsfjorden, 0,79. Dette vil si at tidevariasjoner i Skogsfjorden utgjør 79 % av tidevariasjonene i Bankefjorden.

I fig. 26 har vi tegnet opp tidekurver for samtlige stasjoner for en vilkårlig valgt periode på noen dager.

Av figuren framgår at maksimums og minimums verdier inntreffer til ulike tider for de forskjellige stasjoner. Forsinkelsen som gjør seg gjeldende mellom de tre stasjoner i resipientområdet, utgjør for Svømmestadion - Vestnes, 30 - 45 min. og for Vestnes - Ulvegjelet, 45 - 60 min.

Vannstandsvariasjoner i Skogsfjorden er direkte proporsjonal med tidsintegralet av tidevannføringen og ferskvannstilførselen. Det kan forklares matematisk ved likningen:

$$\int q_T dt + \int q_f dt = A_H h_i$$

hvor

$q_T$  = tidevannføring

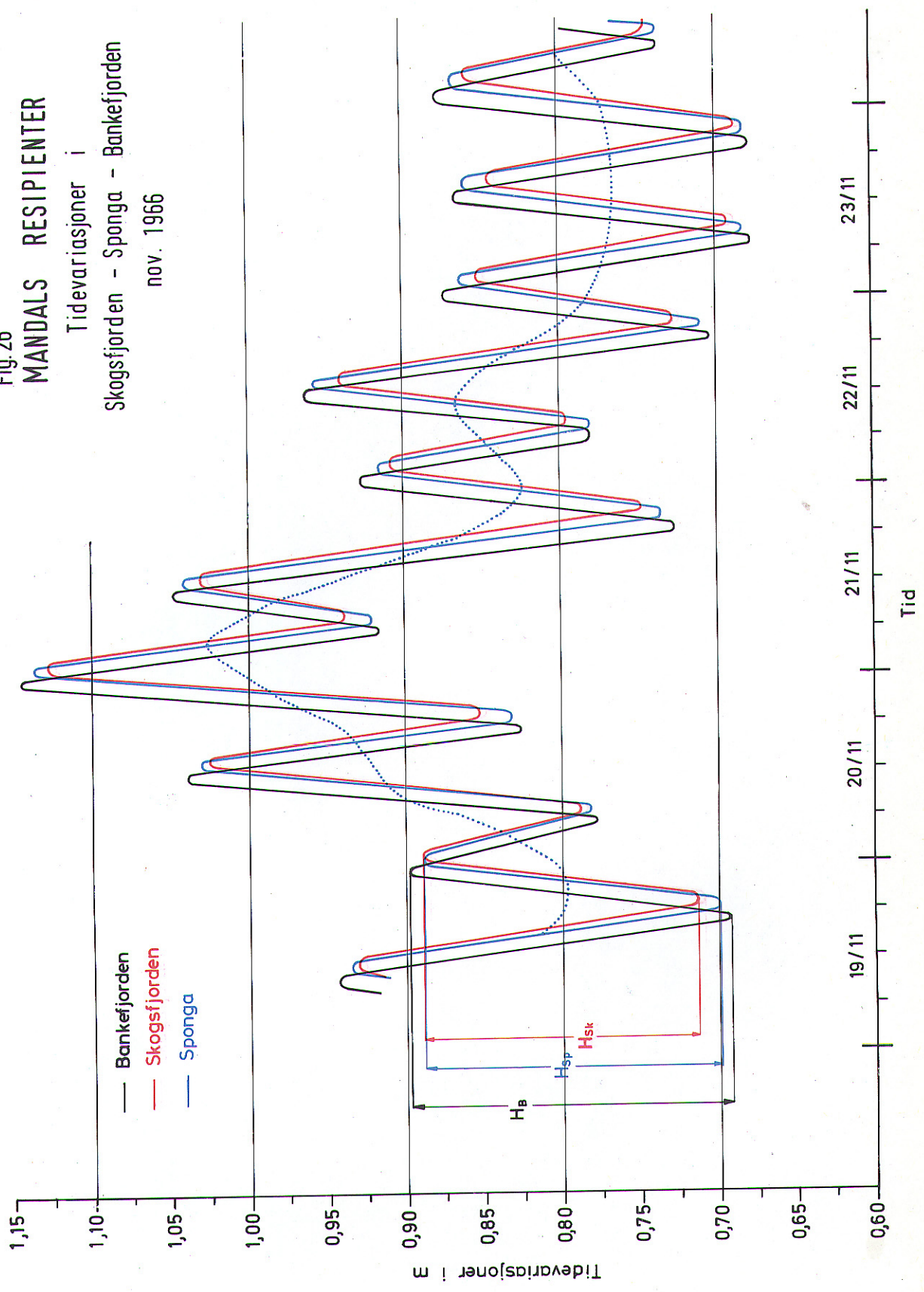
$q_f$  = ferskvannstilrenning

$t$  = tid

$A_H$  = areal av Skogsfjordens overflate

$h_i$  = tideforskjell i Skogsfjorden

Fig. 26  
**MANDALS RESIPIENTER**  
 Tidevariasjoner i  
 Skogsfjorden - Sponga - Bankefjorden  
 nov. 1966



Betrakter vi vannføringen i tidsrommet mellom flo og fjære,  $\frac{1}{2}$  tideperiode = 6 timer og 25 minutter, får vi

$$Q_T + Q_F = A_H h_i$$

hvor

$$Q_T = q_T dt = \text{tidevannstransporten over 6 t. og 25 min.}$$

$$Q_F = q_F dt = \text{ferskvannstilrenningen over 6 t. og 25 min.}$$

Vi får

$$Q_T + 0,99 \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot 6,42 \cdot 3,6 \cdot 10^3 =$$

$$1,1 \cdot 10^6 \cdot 16,3 \cdot 10^{-2}$$

$$Q_T = 156.214 \text{ m}^3/6 \text{ t.} 25 \text{ min.} = 6,75 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Ved å legge tidevannføringen til grunn kan den teoretiske oppholdstid eller den minimale utskiftningstid beregnes til:

$$T_{\text{Skogsfjord}} = \frac{6,38 \cdot 10^4 \text{ (m}^3\text{)}}{2 \cdot 156.214 \text{ m}^3/\text{døgn}} = \underline{20,4 \text{ døgn}}$$

Av fig. 26 ser man at den daglige middelvannstand er gjenstand for betydelige variasjoner. Hvis man hadde tegnet opp vannstandsvariasjoner for et meget lengre tidsrom, ville man sannsynligvis ha funnet at variasjonene var av mer kortvarige fluktasjoner med perioder fra noen dager til flere måneder.

Øvrige vannstandsvariasjoner

I hvilken grad de langperiodiske vannstandsvariasjoner er influert av det atmosfæriske trykk har vi ikke funnet anledning til å gå nærmere inn på, da dette er av underordnet betydning for våre vurderinger. Man må imidlertid regne med at det er en statistisk balanse mellom vannstand og lufttrykk.

Tabell 15 viser hvilke korreksjoner man kan vente som følge av forandringer i atmosfærisk trykk.

TABELL 15

Nivåkorrelasjoner for barometerstand

Barometer i mm	720	728	736	743	750	760	770	777	784
Korrelasjon i cm	+50	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30

Tetthets-  
strømmer

Tetthetsstrøm eller understrøm gjør seg gjeldende når vannet på to lokaliteter har forskjellig tetthet på samme dyp. Det tyngre vann vil flyte horisontalt og fortrenge det lettere vann oppover inntil balanse er oppnådd. Strømmen vil få en vertikal komponent dersom det tyngre vann har større tetthet enn vann i større dyp i den annen lokalitet. Tetthetsstrømmer vil opptre som følge av den estuarine sirkulasjon (side 56), eller som følge av tetthetsvariasjoner fremkalt av ytre påvirkning.

I det aktuelle området vil en slik tetthetsstrøm fremkomme ved at det er en tetthetsdifferanse (differensialtrykk) mellom overflatelaget på hver side av terskelen.

Mandalselvas vannføring og vindpåvirkning i området vil kunne forandre og forskyve tetthetssjiktningen i Bankefjorden - Sponga. Variasjoner i havet utenfor vil også gjøre seg gjeldende.

I observasjonsperiodene 14.7. og 28.9.1966 samt 24.11.1967 ser man av isolinjene, fig. 8, fig. 9 og fig. 11, at en innstrømning finner sted umiddelbart over terskelen. Relativt tett sjøvann synker ned over terskelen og stabiliserer seg på et visst nivå, mens det ovenforliggende vann heves og fortrenses.

En slik innstrømning ble ganske tydelig registrert i november 1967 med retningsanvisende strømmåler hengt opp i dyppartiet under Smalsundbrua. Den inngående strøm var så sterk at den utgående tidestrøm bare for kortere perioder klarte å stanse innstrømningen.

I fig. 20 er tidekurver samt innstrømningens hastighet og retning fremstilt.

Det fremgår av figuren at man for den mest intensive innstrømningsperiode får en markert heving av de dypereliggende vannmasser. Tettheten på de enkelte dyp tiltar. Under utstrømning er det motsatte tilfelle, tettheten avtar.

Forholdet kan forklares ved at hastigheten i de dypere lag utenfor terskelen får et maksimum ved maksimal innstrømningshastighet i hele tverrsnittet. De dypereliggende lag blir



da så sterkt presset mot terskelen at man får en vertikal strømkomponent som bevirker at tyngre sjøvann blir presset opp til et høyere nivå. Innenfor terskelen vil imidlertid tetthetsforholdene innta en normalt nivå igjen. Forholdet kan ha en viss betydning for omblending av de øvre lag.

Våre observasjoner gir ingen indikasjon på hvor lang tid innstrømningen har funnet sted. Man må imidlertid anta at en innstrømning finner sted relativt ofte, men at tettheten av det innstrømmende vann ikke har vært stor nok til å skifte ut dyplagene tilstrekkelig ofte.

Isopleter for oksygen fremstilt i fig. 16, fig. 17 og fig. 18 bekrefter dette. Man finner i området hvor innstrømningen har stabilisert seg, tilfredsstillende oksygenforhold, mens man i lagene under har råtne bunnforhold.

For 24.11.1967 ble det målt en innstrømning langs bunnen tilsvarende  $199.800 \text{ m}^3/\text{døgn}$ .

#### Vinddrift

Når vinden blåser over en sjøflate, oppstår det en overflatestrøm eller strømkomponent som er bestemt av vindens styrke. Denne vindpåvirkede strøm, vinddrift, er avhengig av flere faktorer, og det er derfor vanskelig å sette opp en generell lovmessighet mellom vind og strøm.

I lukkede farvann som vi har å gjøre med her, vil virkningen av vindoppstuvning forårsake understrømmer. Muligheten for understrømmer er imidlertid begrenset som følge av systemets grunne områder og små dyp.

Med vind fra N og NW vil overflatelaget transporteres ut, og som følge av det trange Smalsund vil man lett kunne få en vindoppstuvning i dette området. Den utgående strøm som følge av vindpåvirkning vil resultere i en dyperegående innadrettet strøm.

Med en motsattrettet vind fra S eller SE vil overflatevannet bli presset innover i fjordsystemet, og man vil få en kompensasjonsstrøm ut i dypet.

Den mest fremherskende vindretning kommer imidlertid fra NØ, tabell 4, side 12, og vil medføre at overflatelaget i Mannefjorden kan drives inn i Bankefjorden og dermed øke brakkvannslaget her. Det samme vil skje med vind fra SE.

I sommermånedene er imidlertid vind fra SW mest fremherskende, og denne vind vil kunne føre til at overflatelaget i Mannefjorden vil kunne påvirkes i østlig retning. Man vil således ikke få samme tilgang på brakkvann i Bankefjorden under perioder med sterke vinder fra SW, NW og N.

#### Estuarin sirkulasjon

For Skogsfjorden kan man snakke om et estuar med haline sirkulasjoner som fremkommer ved at fjorden har et netto tilskudd av ferskvann i overflaten. Ferskvannet som alt vesentlig tilføres gjennom Skjøllingstadbekken blandes opp med underliggende sjøvann som følge av vertikaldiffusjonen og danner en brakkvannsmasse som flyter ut av fjorden. Sjøvannet som tilføres i denne prosess tas fra et lag umiddelbart under brakkvannssjiktet. På denne måte fjernes det uopphørlig vann fra sjøvannsfasen og overføres til brakkvannsfasen. Etter hvert som brakkvannet flyter ut over fjorden får det stadig tilførsel av tilblandet sjøvann.

Ser man bort fra innvirkning av de øvrige vannutskiftningsmekanismer, kan den estuarine sirkulasjon tilnærmet beskrives ved hjelp av følgende modell og matematiske formuleringer:

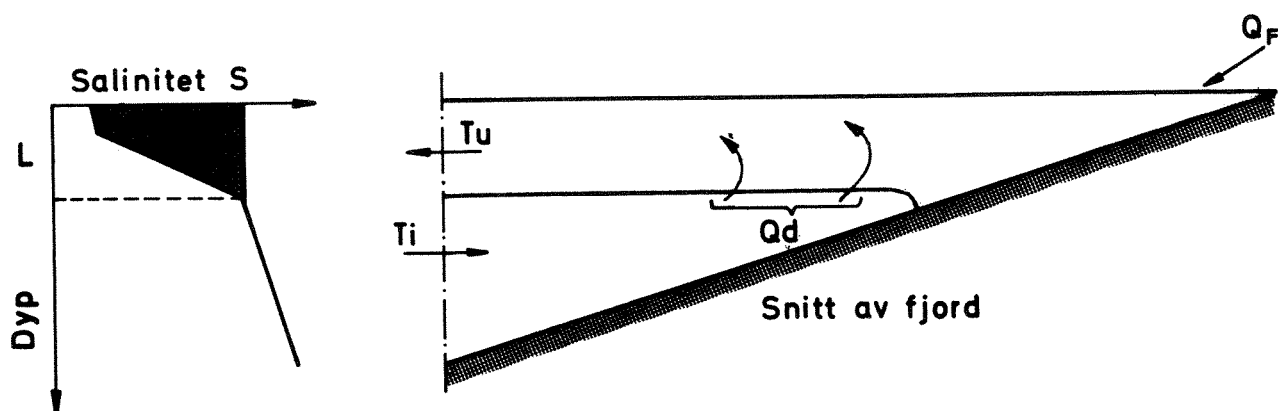


Fig. 27  
Vanntransport som følge av ferskvannstilrenning.

$$C \cdot T_u = Q_F$$

hvor

$T_u$  = total vanntransport ut av systemet

$C$  = ferskvannsdelen i vannmassen

$Q_F$  = ferskvannstilførsel fra land til snitt 1-1

betegnes

$T_i$  = tot. vanntransport inn i systemet

$Q_D$  = sjøvannsmengde som diffunderer opp

kan man sette opp følgende kontinuitetsbetingelse:

$$T_i = Q_D = (1-C)T_u = \frac{1-C}{C} \cdot Q_F$$

$C$  kan uttrykkes ved forholdet

$$C = \frac{S^* \cdot L - \int_0^L s dz}{S^* \cdot L}$$

hvor

$S^*$  = indekssalinitet

$L$  = dyp for indekssalinitet

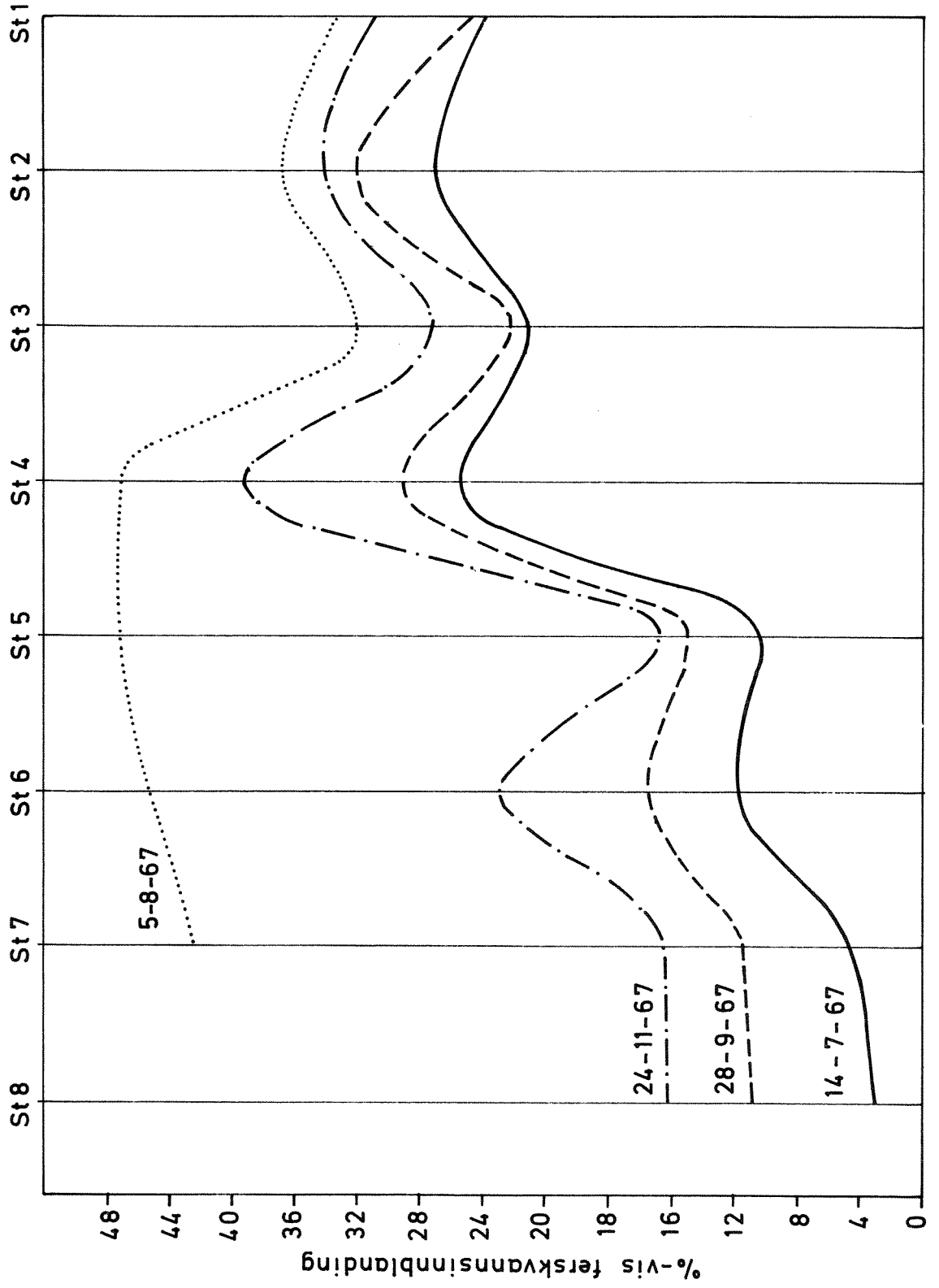
$C$  kan tilnærmet bestemmes ved hjelp av salinitetsobservasjoner, og det gjøres enklest ved planimetrering av salinitetskurver, som vist i fig. 27.

Den ferskvannsprosent vi har i hele systemet, skyldes i stor grad påvirkning fra Mandalselva, og denne ukjente ferskvannsdelen vanskeliggjør beregningene av hvilke utskiftningsvannmengder som står til rådighet som følge av ferskvannstilrenningen direkte til Skogsfjorden. Å bestemme de eksakte  $C$ -verdier for Skogsfjorden forårsaket av ferskvannstilrenningen alene, lar seg vanskelig gjøre.

På bakgrunn av foretatt observasjoner har vi regnet ut den prosentvise ferskvannandel i vannmassene fra St 1 - St 8. Resultatene fremgår av tabell 16 og fig. 28, side 53 og 54. Som

Fig. 28

MANDALS RESIPIENTER  
prosentvis ferskvannsinnblanding



indekssalinitet er benyttet 34 o/oo, og ferskvannsandelen er regnet fra overflaten til bunnen.

Av tabell 16 fremgår også hvilke diffusjonsvannmengder som opptrer hvis man benytter den ovenfor angitte beregningsmetode.

TABELL 16

## Diffusjonsvannmengder

Dato	Ferskvann %	Tilrenning $m^3/d$	Diffusj.vann $m^3/d$	Utstrømning $m^3/d$
14.7.1966	24	126.667	111.113	137.780
28.9.1966	27	108.333	401.233	509.566
5.8.1967	40	259.200	648.000	907.200
24.11.1967	33	86.400	261.800	348.200

Vi ser at diffusjonsvannmengden varierer fra 111.113  $m^3/d$  til 648.000  $m^3/d$  og at den utstrømmende brakkvannsmengde varierer fra 137.780  $m^3/d$  til 907.200  $m^3/d$ .

Antar vi at den midlere ferskvannsprøsent for Skogsfjorden utgjør 28 % og at den midlere ferskvannstilrenning utgjør 89.630  $m^3/d$ , får vi en diffusjonsvannmengde på  $89.630/0,28 = 320.119 m^3/d$ .

Til sammenlikning kan nevnes at gjennom 2 tidesykluser føres daglig 312.000  $m^3$  inn og ut av Skogsfjorden.

Den 24.11.1967 ble det registrert en innstrømning over terske-  
len på ca.  $2 \times 107.800 m^3/d$ , dvs. 81 % av den ovenfor beregnede  
verdi av diffusjonsvann. Den totale innstrømning over hele  
tverrsnittet i samme tidsrom utgjorde ca.  $2 \times 146.250 m^3/d =$   
 $292.500 m^3/d$ .

Som tidligere nevnt, vil de enkelte mekanismer som bevirker  
vanntransporten, kunne motvirke hverandre, og det er derfor  
ikke å vente å finne direkte overensstemmelse mellom beregnede  
og målte verdier.

Ut fra de foretatte beregninger vil vi anta at brakkvannsstrømmen (diffusjonsvann + ferskvannstilrenning) til sine tider kan bli sterkere enn tidestrømmen. Dette vil imidlertid inntreffe under spesielle situasjoner med lokale flommer.

Vanligvis vil utgående tidestrømmer vesentlig bestå av ferskvannstilrenning og diffusjonsvann samt brakkvann ført inn ved tidligere tidestrømmer. Hvor stor andel de enkelte utgjør, er ikke kjent, men de foretatte beregninger tyder på at det foregår en utstrakt diffusjonsprosess i Skogsfjorden og at de øvre lag fraktes med tidestrømmen.

#### Tracerforsøk

Tracerforsøket ble satt i verk for om mulig å få en indikasjon på Skogsfjordens utskiftningskapasitet eller evne til å fornye sine vannmasser i de øvre lag.

I det foregående er de forskjellige utskiftningsmekanismer beskrevet inngående, og man har anslagsvis beregnet størrelsesorden av disse. Det er imidlertid vanskelig å kvantisere eller å skille ut virkningen av de enkelte mekanismer. De resultater som tracerforsøket har gitt, må derfor betraktes som en resultant av alle de ulike mekanismers virkning på vannutskiftningen.

De resultater vi har kommet fram til, har strengt tatt bare gyldighet for den perioden undersøkelsen pågikk. Det fysiske forhold kan endres og dermed virkningen av de enkelte utskiftningsmekanismer.

De resultater som tracerundersøkelsen har gitt, vil derfor bare kunne brukes som en indikasjon på utskiftningskapasiteten i Skogsfjorden.

I 1. utstrømningsperiode da doseringen av fargestoffet fant sted, kunne man se hvorledes fargestoffet bredde seg ut i vannmassene. Det oppstod mange bakevjer i viker og bukter som etter hvert fikk en høyere konsentrasjon av farge enn de øvrige vannmasser. Idet utstrømningen tok slutt og tidevariasjonene hadde nådd sitt minimum, ble det foretatt en befarings med prøvetaking fra Smalsund til Mannefjorden. Det ble visuelt

observert høy konsentrasjon i farge i indre deler av Sponga. Fargekonsentrasjonen sluttet brått i Sponga på en linje tenkt trukket fra Sånum til Vestnes. Det ble imidlertid tatt prøver på hovedstasjoner og mellomstasjoner helt ut i Mannefjorden. Resultatene viste farge i samtlige prøver, men fortynningen var blitt så stor i Bankefjorden at man visuelt ikke kunne merke fargestoffet.

Under den påfølgende innstrømning rev tidestrømmen med seg farge fra de oppståtte bakevjer, og de innstrømmende vannmassene var lite homogene hva farge angikk. Under den mest intense del av innstrømningsperioden fikk dyplagene en markert høyere fortynning som skyldes at det dypere lag fikk en vertikal komponent over terskelen. Dette er for øvrig omtalt på side 49.

Under hele den 2. innstrømningsperiode var vannet i Smalsund sterkt farget. Under den 2. utstrømningsperiode kunne man tydelig se at strømmen gikk langs båthusene på Vestnes i en bredde av ca. 20 m. Det oppstod her en stripe med langt høyere fortynning enn vannmassene omkring. Det er naturlig å anta at tidestrømmen her utgjør et mønster som lite forandres uten sterk vindpåvirkning. Man fikk tydelig bevis for at vannmassene ved en rekke bukter og vikar har en relativ lang oppholdstid.

Etter ca. et døgn var vannmassene langt mer homogene, og man kunne tilnærmet få et midlere fortynningstall for hele den strømmende vannmasse.

Våre målinger gav anledning til å registrere fortynningen ved Smalsund gjennom 2 døgn og deretter fortynningen i vannprøver tatt på utgående strøm etter 5, 9 og 23 døgn.

For at en fortynning skal ha funnet sted må den tildoserte tracermengde ha blandet seg i fjordsystemets øverste lag. Den alt overveiende del av traceren vil fraktes fram og tilbake med tidestrømmen, men for hver utstrømning vil noe av traceren forsvinne ut av systemet for aldri mer å venne tilbake. De resterende tracermengder vil stadig være i bevegelse og oppholde seg i systemet i lengre tid.

Ved å måle fortynningen av tracere på utgående tidevann ved Smalsund vil man etter en tid få en indikasjon på utskiftnings-hastigheten av Skogsfjordens vannmasser.

I fig. 28 har vi fremstilt en midlere fortynning av tracere ved Smalsund 2, 5, 9 og 23 døgn etter at fargestoffet ble tilsatt. Som utgangsfortynning er det benyttet den teoretiske fortynning som fremkom om hele doseringsmengden ble jevnt innblandet i den utstrømmende vannmasse.

I fig. 29 a har vi på bakgrunn av fig. 28 fremstilt som funksjon av tiden, den prosentvise fortynning som har funnet sted av de utstrømmende vannmasser under første utstrømningsperiode. Som det fremgår av figuren, vil man etter 7 døgn ha fått en fortynning på 90 %. Fortynningsvannet består både av nytt vann utenfra og fortynningsvann fra hele systemets øverste lag.

Antar man at man etter 5 døgn har fått en tilnærmet homogen innblanding av traceren i de øverste lag, vil fig. 29 b tilnærmet fremstille den prosentvise utskifting av de øverste lag. Figuren er fremkommet ved at man etter 5 døgn betrakter hele det øvre lag som homogent blandet med tracer, og at den videre fortynning må skje med nytt vann utenfra. Som det fremgår av kurven, vil man etter ca. 1 måned ha ca. 14 % av de opprinnelige vannmasser igjen i systemet. Kurven vil asymptotisk gå mot null, og det vil kunne ta anslagsvis flere måneder før vannmassen er 100 % utskiftet.

Umiddelbart etter at første utstrømning med tilsatt tracer tok slutt ble det i Bankefjorden på stasjonene St 7, St 8 og St 8 a tatt vannprøver på 0, 0,5, 1,0 og 1,5 m dyp. Den midlere fortynning av tracere for Bankefjorden ble målt til  $487,6 \cdot 10^6$ . Fortynningen var 287 ganger større enn den midlere fortynning av vannmassene i første utstrømning.

Har man et effektivt gjennomstrømningsvolum for tidestrømmen i Bankefjorden på ca. 1 mill. m<sup>3</sup>, viser målingene at ca. 3.500 m<sup>3</sup> av de opprinnelige merkede vannmasser har blandet seg inn i Bankefjordens øvre lag. Legger man de utskiftningsforhold som man hadde under forsøkene til grunn, vil de merkede vannmasser teoretisk kunne fraktes fra Skogsfjorden og utenfor Banke-



Fig. 29

### MANDALS RESIPIENTER

Midlere fortynning av tracers ved Smalsund.

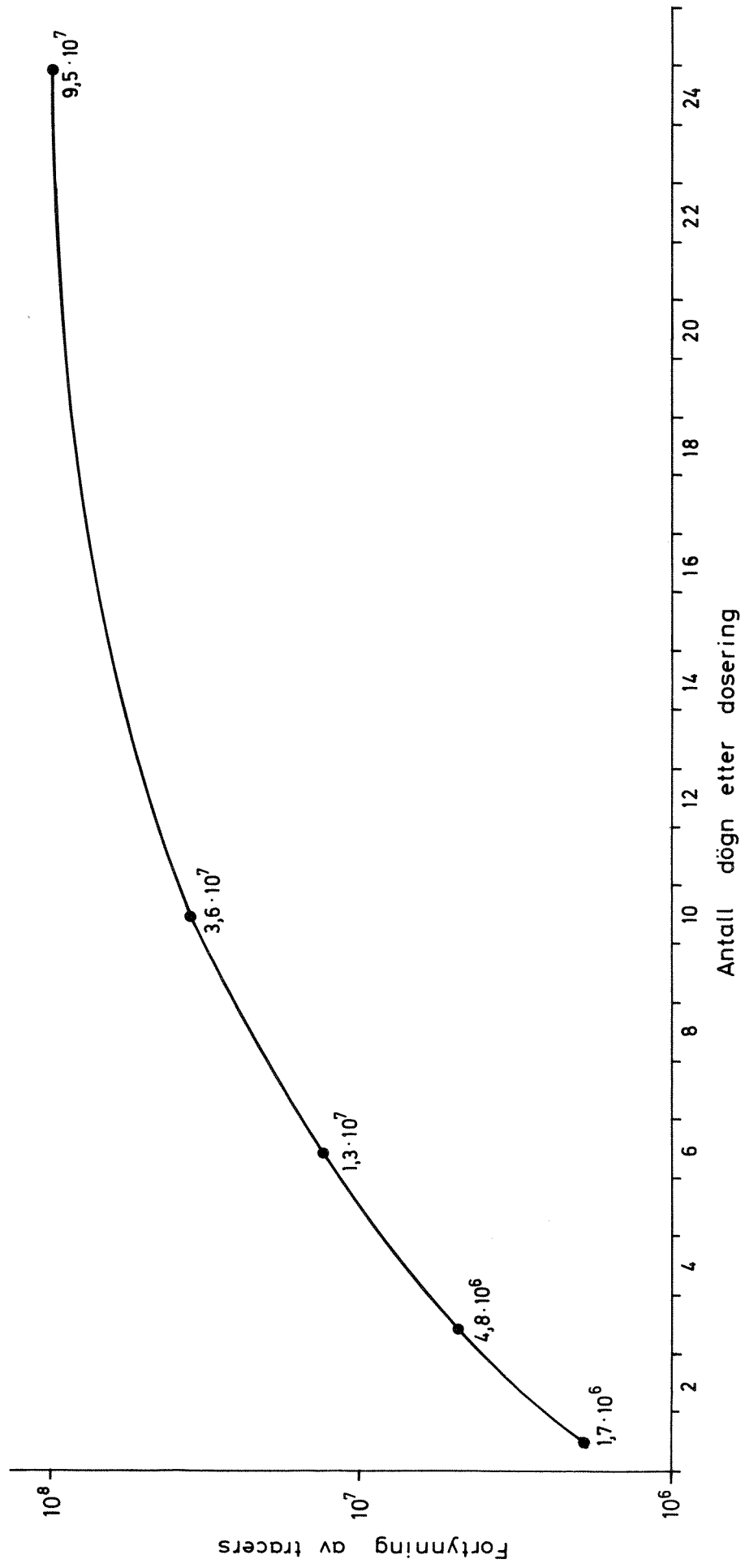
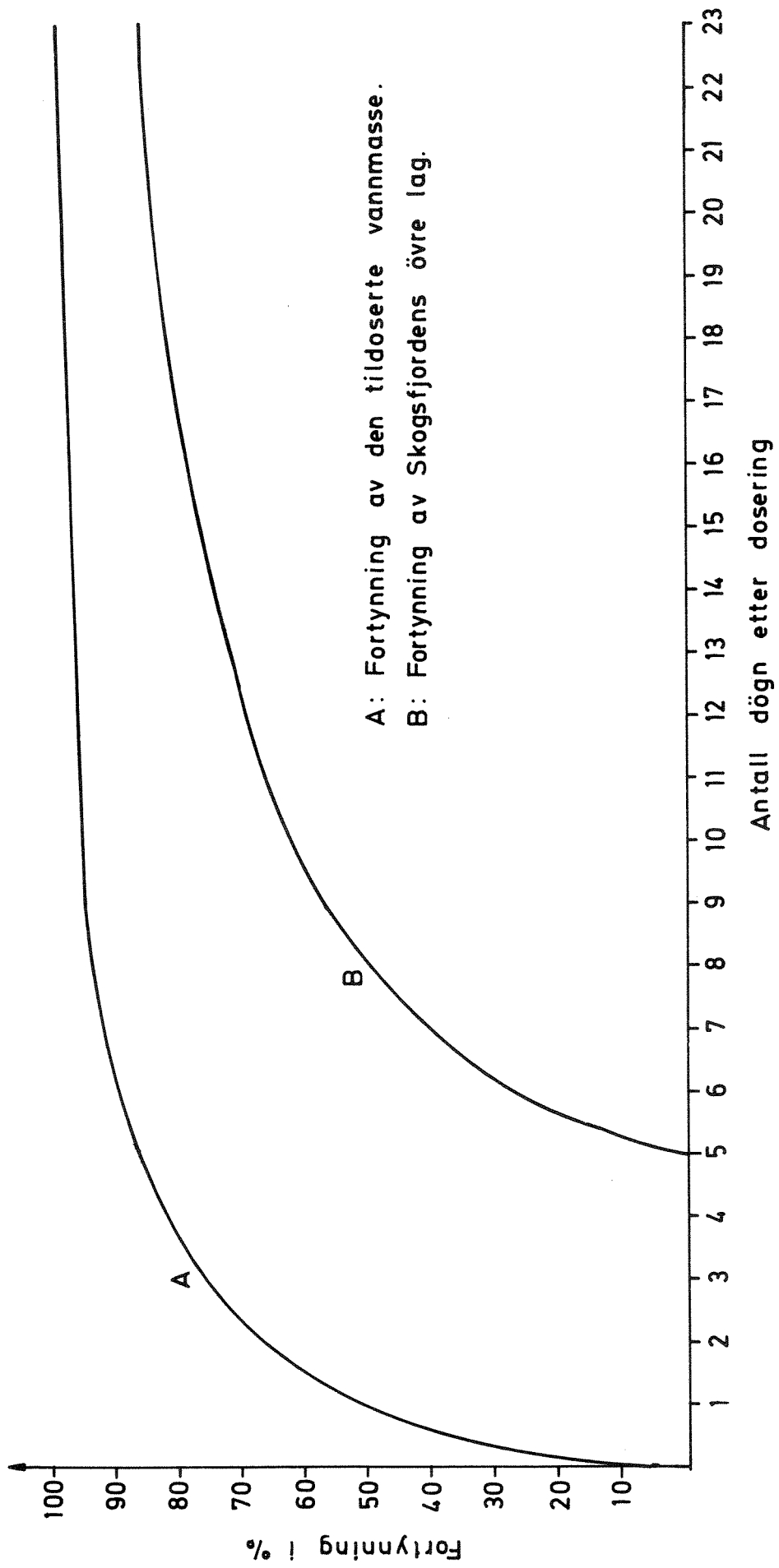


Fig. 30

Fortynningskurve.



fjorden i løpet av 1 måned. I virkeligheten vil dette ikke være tilfelle da den alt overveiende del av Bankefjordens øvre lag vil transporteres inn i systemet igjen ved neste innstrømning. De øvrige lag vil pendle fram og tilbake, og det vil være ytterst lite som forsvinner ut av systemet for hver tidesyklus.

#### Andre fysiske og kjemiske egenskaper

- Siktedyp** Siktedypene som er gjengitt i tabell 8 samt i fig. 14, side 26, viser at vannets klarhet tiltar noe utover i systemet. Økningen er imidlertid liten og bekrefter at det stort sett er de samme vannmasser som pendler fram og tilbake i de øvre lag.
- Turbiditet** Den samme tendensen viser turbiditet- og fargedata. Turbiditetsverdier er gjengitt i tabell 6 og for observasjonsdagene 28.9.1966 i fig. 12.
- Farge** Fargedata fremgår av tabell 7 og fig. 13. For Skogsfjorden tiltar verdiene mot bunnen, noe som var ventet, og skyldes at vannmassene her skiftes dårlig ut og at det sedimenteres partikulært materiale.
- Fosfat** Fosfatverdiene er gjengitt i tabell 9 og fig. 15, og viser et tilsvarende forløp som for fargedata. Verdiene for det øvre lag er for alle stasjoner stort sett like, men for stasjonene i Skogsfjorden tiltar fosfatinnholdet betraktelig mot bunnen. Fosfatinnholdet i Skogsfjorden - Bankefjorden må sies å ligge langt over hva man kan vente å finne i områdene utenfor resipientene. I størrelsesorden tilsvarende fosfatinnholdet her fosfatinnholdet ved flere stasjoner i indre Oslofjord. Verdiene mot bunn er imidlertid ekstremt høye.
- Oksygen** Oksygeninnholdet er fremstilt som isopleter i fig. 16, 17 og 18 samt i tabell 10. Fra full oksygenmetning ved overflaten avtar oksygeninnholdet mot dypet. For samtlige observasjonsdager ble det funnet råtne bunnforhold med hydrogensulfid ( $H_2S$ ) ved stasjon 1 og 3.  $H_2S$ -laget var relativt tykt og viser en naturlig økning utover høsten. I løpet av vinteren og våren vil det foregå en viss utskiftning slik at bunnlagets tykkelse vil

avta noe. Utover sommeren og høsten vil laget på nytt tilta. Det synes som om utskiftningen av bunnlagene forekommer sjeldent og er så dårlig at man alltid vil finne råtne bunnforhold ved stasjon 1 og 3. Dr. Stene observerte dette ved stasjon 3 allerede i 1949, og  $H_2S$ -laget dengang var omtrent av samme størrelsesorden som nå.

For det øvre lag er oksygenforholdene tilfredsstillende og viser at omblendingen her er relativt god. Det er liten variasjon mellom forholdene i Skogsfjorden og forholdene i Sponga-Bankefjorden.

### Biologiske forhold

Den biologiske undersøkelse omfatter den fastsittende vegetasjon av alger, moser og frøplanter i Skogsfjorden og Sponga. Beliggenheten av de undersøkte stasjoner fremgår av fig. 31 og de forskjellige biologiske funn av tabell 14.

Materialet er samlet inn fra land eller fra båt. På dypere vann i Skogsfjorden er det foretatt skraping på bunnen ved hjelp av Lutherrive. Arbeidet ble utført den 14. juli 1966.

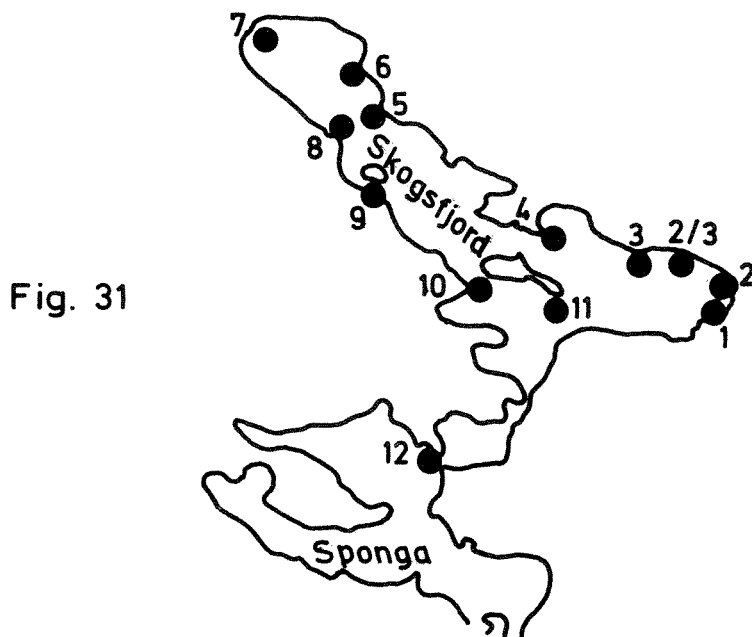
Tabellen viser hvilke organismer som er blitt registrert. Mengden av de enkelte arter er vurdert subjektivt etter følgende skala:

- 5 dominerende
- 4 hyppig
- 3 vanlig
- 2 sparsomt
- 1 sjelden

Det understrekes at mengdeangivelsen føyer seg til organismenes relative forekomst i de innsamlede prøver og således ikke er et direkte uttrykk for hyppigheten på de undersøkte stasjoner.

Stasjonene 1 og 7 skilte seg noe ut fra de øvrige. På begge var det forholdsvis langgrunt og bunnen bestod av sand (St. 7) eller delvis mudder (St. 1). De var videre karakterisert ved store flytende algematter som i det vesentlige inneholdt *Enteomorpha*. På bunnen av stasjon 1 var det store forekomster av *Potamogethon pektinatus* og på stasjon 7 a *Rupia maritima*. Disse artene er typiske for brakkvannslokalteter med sand eller leirbunn.

Materialet fra stasjonene 3 - 6 og 12 er delvis samlet inn på fjell og delvis ved skraptrekk utenfor stasjonene. For stasjonene 8 - 11 stammer materialet hovedsakelig fra skraptrekk. Det samlede inntrykk fra disse stasjoner er et relativt artsfattig samfunn, slik det regelmessig finnes i brakkvannsområder. Tilførte forurensninger vil nedsette lysgjennomgangen i vannet og muligens også på andre måter ha hemmende virkning på de fleste algers utvikling. Enkelte tåler imidlertid forurensningspåvirkninger bedre. Dette gjelder særlig gruntvoksende grønnalger, bl.a. *Enteomorpha*. Slike alger opptrer ikke sjeldent i sjenerende mengder på forurensningspåvirkede steder med dårlig vannutskiftning. Man kan imidlertid ikke se bort fra at sparsomheten av alger kan ha sammenheng med at de flerårige arter skures vekk av isen.



● Biologiske stasjoner referert i tabell 11



## VURDERING AV OBSERVASJONSMATERIALET - MANDALSELVA

Vanntransport

Vannføringen Mandalselva har en midlere vannføring på ca.  $86,6 \text{ m}^3/\text{s}$  ved Kjølmo vannverk ca. 10 km fra utløpet.

I estuarområdet som strekker seg fra 0 - 4 km oppover i vassdraget, vil ferskvannet normalt flyte oppe på et sjøvannslag, den såkalte sjøvannstunge. Ferskvannet som strømmer utover, vil trekke med seg sjøvann, og denne brakkvannsmengden vil derfor øke utover i estuarområdet. Sjøvannet som diffunderer opp i brakkvannsstrømmen, blir erstattet med nytt sjøvann, og det oppstår herved en kompensasjonsstrøm i sjøvannstungen motsatt rettet brakkvannsstrømmen.

Sprangsjiktets beliggenhet vil variere med vannføringen i elven, tidevariasjoner og hydrografiske forhold i havområdet utenfor. De største variasjoner i sprangsjiktets beliggenhet vil imidlertid henge nøye sammen med vannføringen i Mandalselva.

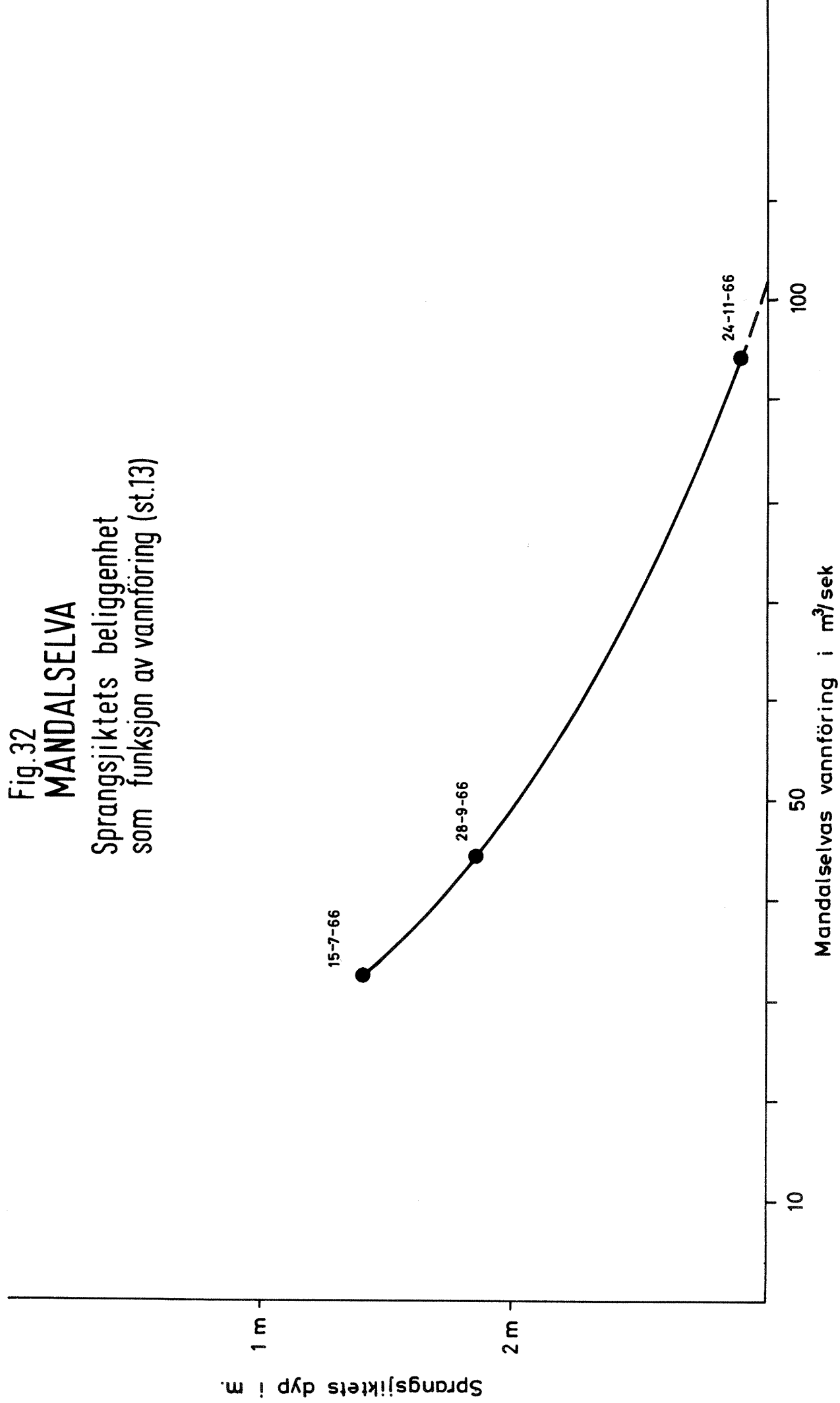
I fig. 21 - 24 har vi i lengdesnitt av estuarområdet fremstilt isopleter for  $\sigma_t$  ved varierende vannføringer. Ved de enkelte stasjoner er det også tegnet inn vertikal hastighetsprofil.

I fig. 32 er sprangsjiktets beliggenhet fremstilt som en funksjon av vannføringen. Andre faktorer som vil influere på sprangsjiktets beliggenhet er her ikke tatt med i betraktning.

For vannføringer som tilsvarer omtrent middelvannføring, vil sprangsjiktet ligge relativt dypt, og for stigende vannføringer vil sjøvannstanden bli presset gradvis ut av elveløpet.

Strømforhold De vertikale hastighetssnitt er som tidligere nevnt, tatt i elvens hovedstrøm for å unngå ukontrollerbare innflytelser fra bakevjer og strømvirvler. Et fellestrekk ved disse målinger er at hastigheten er omtrent konstant fra overflaten og ned til sprangsjiktet.

Fig.32  
**MANDALSELVA**  
Sprangsjiktets beliggenhet  
som funksjon av vannføring (st.13)





For å studere de laterale strømforhold ble merkekort eller strømkort benyttet. Langs elvebredden ble det påvist soner eller områder hvor bakevjer gjør seg gjeldende og hvor vannet får en relativt lang oppholdstid. Spesielt flytestoffer vil kunne samles her og virke uestetisk og skjæmmende.

Utløp i  
Mannefjorden

Som det fremgår av beskrivelsen av undersøkelsene, er hovedstrømmen i Mannefjorden kartlagt ved hjelp av forskjellige typer flytelegemer samt tracers. Det er god overensstemmelse mellom resultatene oppnådd ved forskjellige flytelegemer, vindforholdene tatt i betraktning.

I fig. 25 er hovedstrømmene inntegnet. Vindforhold og vannføring vil kunne variere noe på strømvannets beliggenhet, men de vil neppe avvike særlig fra de baner som figuren viser.

Det var av stor interesse å kartlegge strømforholdene ved Sjøsandene. Gjentatte undersøkelser med flytestoffer viser at vannet langs den østre del av stranden har en til dels kraftig bakevje. Bakevjen er særlig kraftig nærmest moloen, og man må regne med at flytestoffer som strømmer langs moloen i en avstand av opp til 6 m, vil havne her. På denne delen av stranden kunne man også registrere ilanddrevet avfall kastet i elven. Til tross for gjentatte forsøk ble aldri noen av våre flytelegemer funnet vest for Bestemora, og forholdene her må karakteriseres som gode uten særlig innvirkning fra Mandalselva.

Ved fralandsvind vil overflatelaget i området langs Sjøsandene bli ført utover og erstattet med dypere liggende sjøvann. Vannkvaliteten vil da være meget god uten innflytelse av eventuelle forurensninger fra Mandalselva.

Under perioder med pålandsvind vil derimot flytestoffer kunne bli skylt i land også vest for Bestemora uten at vi har kunnet observere dette med våre forsøk. Bølgene bryter imidlertid så sterkt ved Sjøsandene slik at innen det området hvor man bader, vil man få en tilnærmet homogen blanding av vannmassene. Eventuelle forurensningskomponenter fra Mandalselva vil bli sterkt fortynnet. Hvor stor fortynningen vil bli, er det vanskelig å oppgi eksakt tall for.

Forutsetter vi imidlertid at mandalselva benyttes som resipient for ca. 10.000 personer med et vannforbruk på 500 l pr. person og døgn (l/p.d.) så vil det være teoretisk mulig å blande inn avløpsvannet i Mandalselva og oppnå en fortykning på mer enn 1:1500. Etter hvert som vannet brer seg utover i estuarområdet, vil fortykningen øke betydelig.

#### Biologiske forhold

På tilsvarende måte som for Sponga - Skogsfjorden ble det fra Mandalselva foretatt en undersøkelse av den fastsittende vegetasjon. Beliggenheten av de undersøkte stasjoner fremgår av fig. 35 og av de biologiske funn i tabell 14.



Fig.33

● Biologiske stasjoner referert i tabell 14

Mengden av de enkelte arter er også her vurdert subjektivt etter følgende skala:

- 5 dominerende
- 4 hyppig
- 3 vanlig
- 2 sparsomt
- 1 sjeldent

Som det fremgår av figuren, er observasjonene konsentrert om overgangssonen mellom ferskvannsmiljø til marine- eller brakkvannspåvirkede miljøer. Ved stasjonene 1 og 2 er det funnet ferskvannspreget vegetasjon, mens man på stasjonene 3 og 4 har funnet marine organismer. I likhet med Skogsfjorden og Sponga må også det biologiske samfunn i Mandalselvas estuarområder karakteriseres som meget artsfattig. Sammensetningen av de to samfunnene, Mandalselva og Sponga - Skogsfjorden synes å være noe forskjellige, men materialet er noe for begrenset til å kunne bedømme dette.

Da det ikke har vært foretatt liknende biologiske undersøkelser tidligere, er det ikke mulig å fastslå hvorvidt de biologiske forhold har forandret seg i de senere år.

TABELL 14

Mandalselva - biologisk funn 15.7.1966  
Fastsittende vegetasjon

Organismer	Stasjoner			
	1	2	3	4
<u>Cyanophyceae</u>				
Lyngbya cf. fontana (3,5 $\mu$ )	3			
Lyngbya sp. (4-5 $\mu$ )	2	3		
Oscillatoria sp. (2-2,5 $\mu$ )		2		
Oscillatoria sp. (5-7 $\mu$ )	3	3		3
<u>Chlorophyceae</u>				
Enteromorpha cf. intestinalis			3	
Enteromorpha spp.				2
Stigeoclonium sp.		2		
Ulothrix cf. subtilis	3	3		
Ulothrix sp. (20-30 $\mu$ )				3
<u>Bacillariophyceae</u>				
Fragillaria sp.			3	
Lichmophora sp.			3	
Surirella sp.		1		
Tabellaria floceulosa	3	3		
<u>Phacophyceae</u>				
Ectocarpus sp.			3	
Elachista fucicola			2	
Fucus serratus			2	
Fucus vesiculosus			3	
Pyloiella littoralis			2	
<u>Rhodophyceae</u>				
Porphyra sp.			2	
<u>Bryophyta</u>				
Fontinalis sp.	3	3		

## SAMMENDRAG OG DISKUSJON

Skogsfjorden - Sponga

I gjennomsnitt utgjør ferskvannstilførslene til Skogsfjorden og Sponga henholdsvis 1.000 l/s og 450 l/s. De midlere tidevariasjoner vil være 0,163 m og 0,175 m, dvs. 79 % og 85 % av tidevariasjonene i Bankefjorden. Skogsfjorden har en overflate på 1,1 km<sup>2</sup> og et totalt vannvolum på ca. 6,38 mill. m<sup>3</sup>. For Sponga er tallene vesentlig mindre, henholdsvis 0,75 km<sup>2</sup> og 2,65 mill. m<sup>3</sup>. Skogsfjorden blir direkte belastet med avløpsvann fra ca. 800 personer med utløp fra Hall - Ulvegjelet. Sponga får tilført avløpsvann fra ca. 2.300 personer hvorav 2.000 personer tilhører Vestnes-området.

Den mest fremherskende vindretning for Mandal er NE, det er bare i månedene juni - august som SW er mest dominerende.

Vannutvekslingen i Skogsfjorden - Sponga forårsakes av flere naturlige mekanismer, tidevariasjoner, øvrige vannstandsvariasjoner, tetthetsstrømmer, vinddrift og den estuarine sirkulasjon.

Tidevariasjoner opptrer som en permanent prosess, mens de øvrige opptrer periodevis. Prosessene kan foregå uavhengig av hverandre, slik at deres virkning ikke kan superponeres. Tidestrømmen er en dominerende faktor for vannutskiftningen og fører i middel daglig ca. 312.000 m<sup>3</sup> vann inn og ut under Smalsundbrua. Tidevannsbevegelsen foregår vesentlig i de øvre lag, og man får stort sett en transport fram og tilbake av de samme vannmasser. Vannmassene i Bankefjorden og i ytre deler av Sponga vil kunne fornyes relativt hurtig med vann fra Mannefjorden, mens vannmassene i de indre deler av Sponga og Skogsfjorden i stor utstrekning vil flytte seg fram og tilbake.

Våre observasjoner og våre forsøk med tracers viser at vannfornyningen vil foregå langsomt, selv i overflatelaget, og det vil ta flere måneder før Skogsfjordens vannmasser er 100 % utskiftet.

Vannmassene i fjordsystemet er sterkt brakkvannspåvirket i overflaten, men blir gradvis salttere mot dypet. Det biologiske samfunn er meget artsfattig og bærer naturlig preg av brakkvannsmiljøet.

De grunne områder i Sponga og terskelen ved Smalsundbrua med dyp på bare ca. 2,5 - 3 m vil hindre friskt, tungt sjøvann i å strømme inn i Skogsfjorden og fortrenge de mer stagnerte vannmasser i dyplagene.

Den stadig økende tilførsel av næringssalter og den lange oppholdstid i fjordsystemet har medført at algeproduksjonen har økt i de senere år. Næringssaltene kommer vesentlig fra kloakktilførsler, men også bruk av gjødningsstoffer i jordbruk, skogbruk og hagebruk har vært medvirkende. Denne såkalte sekundære forurensning, dvs. en masseproduksjon av alger, vil medføre at vannet i Skogsfjorden blir grumset og lite gjennomsiktig. Algene vil etter en tid dø, sedimentere og gå i forråtnelse.

Midtpartiene i Skogsfjorden er preget av råtne bunnforhold. Det råtne bunnlaget øker i tykkelse utover sommeren og høsten, men i løpet av vinteren reduseres laget helt eller delvis som følge av de utskiftningsprosesser som foregår. Vi har imidlertid under alle våre undersøkelser registrert et betydelig råttent bunnlag i Skogsfjordens dyppartier. Selv i 1949 fant dr. Stene ved Statens institutt for folkehelse råtne bunnforhold her, og dette forhold må derfor sees som et naturlig fenomen som kan ha eksistert før fjordsystemet ble tilført forurensninger.

De råtne bunnforhold (anaerobe forhold) skyldes at den organiske belastning er stor og at oksygenet som tilføres dyplagene, brukes opp til nedbrytning av de organiske stoffer. Disse tilføres fra vassdrag og kloakkutslipp samt fra algeproduksjon i selve vannmassene.

For å belyse utviklingen av de råtne bunnforhold nærmere er det foretatt en enkelt massebalanse for Skogsfjorden basert på spesifikke avløpsdata registrert i Oslo-området:

	Avløpsdata registrert i Oslo-området	Omregnet til forholdene i Skogsfjorden
Avrenning fra nedbørfeltet	11,5 tonn O (KOF)/km <sup>2</sup> år <sup>x)</sup>	240 tonn O (KOF)/år
	2,15 " O (BOF)/km <sup>2</sup> år <sup>x)</sup>	46 " O (BOF)/år
Fra kloakkutslipp	14,5 kg O (KOF)/pers.år	43 tonn O (KOF)/år
	12,3 " O (BOF)/pers.år	58 " O (BOF)/år

x)

Tilført organisk stoff er målt som kjemisk oksygenforbruk (KOF) og biologisk oksygenforbruk (BOF).

Antar man at den organiske belastning fra algeproduksjon vil utgjøre 3 ganger så mye som den organiske belastning fra kloakkutslipp og avrenning fra nedbørfeltet, får man en belastning fra algeproduksjonen som utgjør ca. 850 tonn O (KOF)/år eller 312 tonn O (BOF)/år.

Størstedelen av den organiske belastning som tilføres eller som produseres i Skogsfjorden, vil føres ut av systemet. Antar man at denne delen utgjør 3/4, vil 1/4, dvs. ca. 283 tonn O (KOF)/år eller 183 tonn O (BOF)/år, tilføres dyplagene under 6 m.

Volumet av dyplagene under 6 m utgjør ca. 1,8 mill. m<sup>3</sup>. Hvis dette volum var fylt med oksygenrikt sjøvann med et oksygeninnhold på 10 mg O/l, ville det totalt vært tilgjengelig 18 tonn O i denne vannmasse til nedbrytning av den organiske belastning. Selv om regnestykket bak disse tall er komplisert og forbundet med stor usikkerhet, vil man anta at det er riktig i store trekk. Beregningene viser at Skogsfjordens dypere vannmasser må skiftes ut flere ganger pr. år hvis oksygen skal opprettholdes i dypvannet (aerobe forhold).

Selv om Skogsfjorden ikke får tilført avløpsvann, vil avrenningen fra nedbørfeltet alene være tilstrekkelig til å belaste dypvannet så meget at det også nå må total utskiftning til av dypvannet flere ganger pr. år hvis aerobe forhold skal opprettholdes. At dr. Stene allerede i 1949 fant råtne bunnforhold i Skogsfjorden styrker riktigheten av våre beregninger, og man vil derfor ikke kunne hindre en utvikling av anaerobe forhold i

bunnpartiene ved å føre alt kloakkvannet over til andre resipienter.

For at vannkvaliteten i bunnvannet skal bli vesentlig bedre må det tilføres tungt og friskt sjøvann som kan fortrenge de stagnerte vannmasser i dyplagene. På grunn av de små terseldyp vil dette vanskelig kunne skje tilstrekkelig ofte ved hjelp av de naturlige mekanismer som er omtalt tidligere. En medvirkende årsak til dette er det brakkvannslag som Mandalselva danner i Mannefjorden, Bankefjorden og Sponga - Skogsfjorden. Brakkvannslaget kan til sine tider være så tykt at det stenger en transport av saltere vann over terskelen og inn i Skogsfjorden.

Av fig. 8-11 fremgår det at terskelen ved Smalsund danner en barriere for innstrømning av saltere sjøvann. En sprengning av terskelen ved Smalsund vil medføre en hyppigere utskiftning av dyplagene, og aerobe bunnforhold vil dermed lettere kunne opprettholdes.

Dyplagene i Skogsfjorden kan også skiftes ut ved pumping eller ved tilførsel av ferskvann til dyplagene. Slippes ferskvann ut her, vil ferskvannet strømme mot overflaten og trekke med seg det tyngre og stagnerte bunnvannet. En annen mulighet for å opprettholde aerobe forhold langs bunnen er å tilføre oksygen gjennom et kunstig luftesystem.

De antydde muligheter for å bedre forholdene i dyplagene vil alle ha store økonomiske konsekvenser, og hvert forslag må være gjenstand for nøye vurderinger før man eventuelt bestemmer seg for alternativ. I dagens situasjon synes det lite realistisk å tenke på slike løsninger.

En forbedring av vannkvaliteten i overflatelaget vil oppnås om tilførselene av avløpsvann ble stoppet. Dermed vil en vesentlig del av næringsgrunnlaget for algeproduksjon reduseres, og vannet vil få et mindre grumset preg. En bedre utskiftning av overflatelaget vil selvfølgelig bety meget. Dette kan bare oppnås ved vidtgående tekniske tiltak, som f.eks. tilførsler av store mengder ferskvann til Skogsfjorden for dermed å øke den estuarine sirkulasjon, eller ved å forbedre tilstrømningsforholdene til fjordsystemet.



De veiforbindelser som er blitt etablert over fjordsystemet ved Bankebrua og Smalsundbrua, har ført til innskrenkninger av tverrsnittene for gjennomstrømning, og har dermed redusert vannutskiftningen av de øvre lag noe. Hvilken innflytelse dette har på vannkvaliteten i Sponga - Skogsfjorden kan vi ikke uttale oss om. Det er imidlertid rimelig å anta at fyllingen ved Bankebrua og Sånum har hatt en uheldig innvirkning.

I forbindelse med våre undersøkelser i Mandal, har vi ofte kommet i kontakt med tilfeldige personer som alle mener at forholdene i Skogsfjorden har forverret seg sterkt i de siste 20 år. Dessverre er det ingen naturvitenskapelige undersøkelser som kan bekrefte dette. Vår erfaring viser imidlertid at et relativt lukket fjordsystem hurtig kan forandre karakter som følge av sivilisatorisk virksomhet i nedbørfeltet og stor aktivitet på og omkring vannmassene.

#### Mandalselva

Mandalselva har en middelvannføring på ca.  $86,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Estuarområdet strekker seg 0 - 4 km oppover i vassdraget, og normalt vil ferskvannet flyte ovenpå et sjøvannslag som strekker seg opp langs bunnen. Ferskvannet som strømmer utover, vil trekke med seg sjøvann, og brakkvannsstrømmen vil øke i mektighet utover estuarområdet. Sjøvannet som diffunderer opp i brakkvannsstrømmen, blir erstattet med nytt sjøvann, og det oppstår herved en kompensasjonsstrøm i sjøvannstungen motsatt rettet brakkvannsstrømmen. Kompensasjonsstrømmens størrelse vil variere med vannføringen i Mandalselva, og ved vannføringer på ca.  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  vil sjøvannstungen bli presset helt ut av elveløpet.

Som følge av Mandalselvas karakteristiske S-formede estuarområde oppstår flere bakevjer hvor vannet får en relativt lang oppholdstid.

Påvirkningen fra Mandalselva kan lett påvises i Mannefjorden, og Mandalselvas hovedstrøm i Mannefjorden vil fra utløpet gå i retning av Aspholmen for deretter å bøye av i sydlig retning. Ved østre del av Sjøsandene vil det danne seg en bakevje, og

vann fra Mandalselva vil her trenge inn. Flytestoffer som føres med elven og som flyter i en avstand av inntil ca. 6 m fra moloen ved Pirhola, vil kunne trekkes inn i bakevjen og havne på denne del av Sjøsandén.

Hvis man i fremtiden velger å benytte Mandalselva som resipient for avløpsvann, vil man kunne oppná meget gode fortyninger. De relative beskjedne vannmengder som trekkes inn mot Sjøsandén, vil bli ytterligere fortynt flere ganger før de kommer inn i de områder hvor folk normalt bader. Den vestre del av Sjøsandén som normalt benyttes til bading, vil bli relativt lite påvirket av vann fra Mandalselva.

Mandalselva har en rekke tilførsler av avløpsvann, langs høyre bredd fra i alt ca. 2.000 personer og langs venstre bredd fra i alt ca. 750 personer. Mandalselva forurenses også fra en del industribedrifter som dels har sine avløp til det kommunale avløpsnett og dels har sine egne utslipp i elven.

#### Praktiske konklusjoner

##### Tekniske tiltak

Tilførsler av næringssalter til Sponga - Skogsfjorden vil være en medvirkende årsak til en øket algeproduksjon og dermed til en sekundær forurensning av hele fjordsystemet. Dersom denne tilførsel blir stoppet, vil forholdene i overflatelaget forbedres.

Det er, som tidligere nevnt, også andre faktorer som spiller inn, og det er derfor ikke mulig på nåværende tidspunkt å uttale seg om i hvilken grad en forbedring vil finne sted om tilførselen av næringssalter blir stoppet. Selv om avløpsvannet blir ført til andre resipienter, er det lite trolig at Skogsfjorden vil få tilbake den vannkvalitet den hadde for en generasjon siden. Den stadig økende aktivitet på og omkring Skogsfjorden vil i noen grad sette sitt preg på vannmassene.

Det synes ikke teknisk mulig innen en rimelig økonomisk ramme å øke den naturlige utskiftning med tungt og friskt sjøvann. De praktiske tiltak som da kan komme på tale for å forbedre eller

hindre en forverring av forholdene i Skogsfjorden, blir å redusere næringssalttilførselen. Dette kan gjøres ved:

1. Renseanlegg for fjerning av næringssalter
2. Avskjærende ledninger med Mandalselva eller Mannefjorden som resipient.

Å fjerne næringssalter i et renseanlegg er kostbart, og kan medføre en del komplikasjoner for å opprettholde en jevn og god drift av slike anlegg. Hvilke næringssalter som skal fjernes og hvor stor prosent som må fjernes for at forholdene skal bli tilfredsstillende, kan bare et omfattende forskningsarbeid gi svar på. Å satse på denne løsning synes i dag å være lite realistisk.

Den beste løsning vil være å overføre avløpsvannet til Mandalselva eller Mannefjorden. Mandalselva med en midlere vannføring på  $86,6 \text{ m}^3/\text{s}$  kan tjene som resipient for store mengder avløpsvann uten at dette vil påvirke Mandalselva nevneverdig. Man forutsetter da at det vesentlige av suspendert og flytende forurensninger fjernes før avløpsvannet tilføres elven. Avløpsvannet tilføres på en slik måte at størst mulig grad av fortykning oppnås, og det bør tilføres elvens hovedstrøm slik at ansamlinger av forurensninger i bakevjer unngås.

Mandal kommune er meget heldig stilt når det gjelder resipientmuligheter. Mandalselva forårsaker en sterk brakkvannsstrøm som er registrerbar helt ute i havgapet. Den beste løsning på avløpsproblemene for Mandal kommune vil derfor være å samle alt avløpsvann fra områdene mellom Mandalselva og Sponga - Skogsfjorden til et enkelt flotasjonsanlegg ved Pirhola for deretter å slippe det ut i elveoset med innlagring i nedre sjikt av elvens hovedstrøm ut i Mannefjorden. Skjeipstadsområdet og eventuelt andre området rundt Sponga - Skogsfjorden bør også trekkes med i denne løsning.

Vi er klar over at den skisserte løsning vil bli meget kostbar og at den eventuelt først kan bli aktuell i en fjern fremtid. Det er imidlertid av stor betydning at områdene Vestnes, Skjeipstad, Hall, Ulvegjelet og eventuelt andre områder rundt Skogsfjorden og Sponga trekkes inn i en slik løsning så snart som

mulig. For områdene øst for Mandalselva vil det være naturlig å samle utslippene av avløpsvann i sentrale punkter, for deretter å slippe avløpsvannet ut i Mandalselvas hovedstrøm. Vi vil også her anbefale mekanisk rensing utformet som flotasjonsanlegg.

Avløpsvannet fra området Sånum kan føres ut på dypt vann i Bankefjorden etter at flytestoffet er fjernet.

#### Andre tiltak

Våre kystområder blir utsatt for en vesentlig og direkte forurensningspåvirkning ved at avfall blir kastet direkte i vassdrag eller i sjøen. Man benytter ofte emballasje som er laget av stoffer som er vanskelig oppløselig i vann. De vil derfor ha en lang levetid og virke uestetisk og sterkt skjemmende. Å unngå en slik forurensning er meget vanskelig, og man bør komme dit hen at sterkt påvirkede områder bør underkastes sin spesielle form for renovasjon.

For Mandals vedkommende bør tømning av avfall fra fiskefartøyer, frakteskuter og fra industri langs elven stanses. Også de mange motorbåteiere bør minnes om at kystområdene ikke er søppelplass. På kaier og strender som er sterkt trafikkert av publikum, bør det sørges for renovasjon.

## SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

14.7.1966

Salinitet, temperatur og  $\sigma_t$ 

Dyp	St. 1			St. 2			St. 3			St. 4		
	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$
0,0	21,98	19,50	15,0	20,37	19,25	13,9	18,82	18,22	13,1	19,31	18,31	13,3
1,0	22,61	18,15	15,8	20,37	19,60	13,8	24,05	17,31	17,1	22,83	17,91	16,0
2,0	24,54	16,20	17,7	25,14	15,70	18,2	19,14	16,27	13,3	24,78	16,08	18,0
3,0	24,33	13,15	18,2	24,87	16,10	18,0	24,60	15,90	17,9	26,11	16,16	19,0
4,0	25,57	12,60	19,2	25,17	15,15	18,3	25,08	8,54	19,5	26,42	14,51	19,5
7,0										27,39	13,65	20,4
8,0	26,74	10,09	20,5	26,74	11,48	23,0	27,05	6,98	21,2			
12,0	27,54	7,52	21,5				27,45	6,91	21,5			
16,0							28,21	6,91	22,1			
20,0							28,26	6,90	22,1			

Dyp	St. 5			St. 6			St. 7			St. 8		
	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$
0,0	23,28	15,00	17,0	23,42	18,02	16,5	28,35	14,31	21,1	31,91	11,85	24,1
1,0	30,50	13,85	22,7	30,34	13,49	22,7	32,56	12,06	24,8	32,27	12,18	24,4
2,0	29,87	14,98	22,0	31,24	13,48	23,4	32,43	11,78	24,6	32,38	11,55	24,6
3,0	31,64	13,06	23,8	31,82	12,50	24,0		10,72				
4,0	31,31	12,92	23,5				32,97	8,65	25,6	33,19	9,89	25,6
5,0	31,91	11,95	24,1									
7,0							33,44		25,9			
8,0										33,71	8,80	26,1

Forts.

TABELL 5

## SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

28.9.1966

Salinitet, Temperatur og  $\sigma_t$ 

Dyp	St. 1			St. 2			St. 3			St. 4		
	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$
0,0	18,2	10,4	13,9	17,2	8,8	13,4	18,0	11,4	13,6	17,3	10,2	13,2
1,0	18,8	12,2	15,5	17,7	11,0	13,4	19,8	13,0	14,7	20,1	11,5	15,2
2,0	22,7	14,7	17,3	23,5	14,6	17,2	23,8	14,0	17,8	24,4	14,0	18,1
3,0	25,5	16,2	19,2	25,3	15,0	18,6	25,0	14,8	18,3	25,3	14,0	18,8
4,0	26,4	15,6	19,6	26,3	14,7	19,4	26,3	15,0	19,2	26,2	14,6	19,3
5,0	26,9	14,6	20,0	26,6	14,3	19,8	26,7	14,3	19,6	26,6	14,2	19,8
7,0	27,7	13,6	20,3				27,4	13,0	20,6	28,1	13,2	21,0
8,0	27,3	12,4	20,8				27,5	13,0	20,7			
12,0	28,0	7,4	22,0				28,2	7,4	22,1			
16,0							28,2	6,3	22,3			

Dyp	St. 5			St. 6			St. 7			St. 8		
	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$	o/oo	T	$\sigma_t$
0,0	21,5	11,6	16,2	18,7	10,8	14,2	17,5	11,3	13,2	17,4	11,6	13,1
1,0	23,0	12,1	17,2	24,6	11,8	18,7	27,5	12,2	20,8	31,1	12,6	23,6
2,0	31,4	13,7	23,5	30,6	12,5	23,1	31,2	12,5	23,6	31,5	12,5	23,8
3,0	32,0	13,5	24,0	32,0	13,0	24,0	32,1	13,0	24,1	31,5	12,5	23,8
4,0	32,1	13,5	24,1				32,6	12,9	24,9	31,5	12,5	23,8
5,0	32,1	13,5	24,1				32,9	13,0	24,8	31,5	12,5	23,8
7,0							33,2	13,2	25,0			

forts.



## TABELL 6

## SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

14.7.1966

Turbiditet i mg SiO<sub>2</sub>/l

Dyp	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
0	1,04	0,80	2,54	0,63	3,21	1,70	0,56	2,70
1	1,63	1,20	1,20	1,80	3,29	4,12	0,63	3,86
2	1,63	1,63	1,29	2,95	1,54	2,05	3,00	1,29
3	2,22	0,80	0,80	1,97	2,46	1,97	3,00	
4	1,20	0,80	1,63	2,05	0,96			2,46
5					1,20			
7				3,63			0,88	
8	2,05	38,00	2,46					3,00
12	5,40		7,80					
16			7,80					
20			46,50					

28.9.1966

0	1,63	1,04	0,96	1,12	1,12	0,72	1,20	1,92
1	1,70	0,88	0,96	0,96	1,04	0,63	0,72	0,40
2	1,70	1,08	0,96	2,01	0,72	0,63	0,56	0,40
3	1,97	1,71	1,00	1,12	0,63	0,48	0,56	0,31
4	1,97	1,46	1,00	1,38	0,63		0,48	0,31
5,5					0,63			
6							0,40	0,40
6,5		0,96						
8	5,60		1,38					
12	53,00		5,40					
14	>100,00							
16			>100,00					
18			>100,00					

24.11.1967

0	1,42		1,97	1,38	1,38	1,46		
1	1,25		1,46	1,29	0,72	1,20		
1,5	1,54				0,56	0,56		
2	0,88		0,72	0,84	0,36	0,63		
4	3,29		0,72	0,92	0,36	0,72		
5					0,48			
7				1,12				
8	90,00		6,85					
12	43,50		26,00					
16			40,00					



TABELL 7

## SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

14.7.1966

Farge i °H

Dyp	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
0	4,75	4,75	3,00	4,00	5,75	0,75	4,00	0,75
1	4,75	4,00	4,75	6,75	0,75	1,75	0,75	1,75
2	8,00	4,00	1,75	4,75	0,75	0,00	0,75	1,75
3	5,75	8,00	4,75	4,75	0,00	0,00	4,00	3,00
4	8,00	5,75	4,00	4,00				
7						1,75		
8	11,00	10,00	10,00					4,00
12	14,25		9,00					
16			16,00					
20			20,25					

28.9.1966

0	20,3	18,0	18,0	18,0	20,3	16,0	24,8	31,3
1	24,8	16,0	18,0	16,0	17,3	12,0	15,0	5,8
2	26,5	20,3	18,0	26,5	13,0	8,0	10,0	6,8
3	31,3	25,8	18,0	21,3	11,0	4,8	6,8	6,8
4	32,3	25,8	19,0	24,8	10,0		8,0	6,3
5,5					5,0			
6		17,3		16,0			5,8	5,8
8	59,3		20,3					
12	132,0		67,3					
14	265,0							
16			312,0					
18			225,0					

24.11.1967

0	19,4		20,9	20,9	18,5	20,0		
1	20,9		19,4	19,4	3,9	18,5		
1,5	22,3			12,6	10,0	8,6		
2	12,1		11,5	12,1	5,4	5,4		
3								
4	22,3		9,5	5,4	5,4	3,9		
5					2,8			
7				10,6				
8	152,6		37,5					
12	102,0		126,4					
16			102,0					

TABELL 8

SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

Siktedyb i m

Dato	14.7.1966	28.9.1966	24.11.1967
Stasjon	Dyp	Dyp	Dyp
1	3,7	3,0	3,5
2	3,9	2,8	
3	4,0		4,4
4	3,6	3,0	3,8
5	4,5	3,5	5,6
6	3,9		
7	4,8	3,5	
8	4,6	5,5	5,0

TABELL 9

## SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

14.7.1966

Fosfor i  $\mu\text{g P/l}$ 

Dyp	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
0	15	69	16	26	31	44	15	12
1	12	13	35	31	13	30	11	15
2	11	21	20	25	29	15	15	15
3	54	19	33	31	26	44	15	16
4	85	30	27	25	22			
5					47			
7				53		15		
8	49	146	51					
12	175		100					
16			770					
20			950					

28.9.1966

0	31	30	27	26	74	47	19	21
1	30	26	45	24	32	47	25	16
2	43	32	27	29	42	27	18	19
3	52	45	28	37	35	59	25	14
4	380	57	21	54	27		25	15
5,5					23			
6							20	16
6,5		52						
8	460		55					
12	700		720					
16	700		920					
18			1080					

24.11.1967

0	23		34	23	29	26		
1	26		27	21	29	54		
1,5	36			28	27	28		
2	36		35	29	25	26		
4				35	30	29		
5					32			
7				37				
8	156		150					
16			936					

TABELL 10

## SKOGSFJORDEN - SPONGA - BANKEFJORDEN

14.7.1966

Oksygen i mg O<sub>2</sub>/l

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
Dyp	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l	mg O <sub>2</sub> /l
0	10,91	10,51	10,00	10,30	10,20	9,69	10,00	9,79
1	11,42	10,61	11,63	11,93	11,63	10,51	10,30	9,89
2	11,83	11,32	11,20	11,32	11,73	10,71	10,91	9,89
3	13,06	11,42	11,73	10,71	10,20	10,71	10,51	
4	11,83	11,02	10,71	10,61	10,51			9,38
5					8,67			
8	6,83	5,41	3,88	9,08				9,38
12	13,30		- 4,79					
16			-18,6					
20			-24,2					

28.9.1966

0	9,18	9,00	9,02	8,56	8,52	8,80	8,79	8,44
1	9,10	9,18	7,88	8,70	8,30	8,49	8,17	7,98
2	7,78	8,17	8,82	8,32	8,12	8,47	8,10	8,20
3	3,92	8,25	8,38	7,90	7,67	8,07	8,14	8,17
4	3,02	4,64	9,28	6,26	7,58		7,90	8,10
5				5,26	7,45			
6		4,46		5,97			7,77	8,96
8	- 2,77		2,50					
10	-10,62		- 2,61					
12	-23,97		-14,71					
14	-27,49		-19,52					
16			-23,97					
18			-25,41					

22.11.1967

0	11,26		12,77	11,64	9,71	10,82		
1	8,20		11,20	10,60	7,04	10,39		
1,5	2,28			5,73	6,21	7,38		
2	1,94		5,73	5,54	7,95	6,89		
3	4,19		2,04	3,10	6,89	8,45		
4	0,68		2,33	2,86	6,99	6,99		
6					6,45			
8	-12,63			4,83				
12	-37,35		-19,48					
16			-35,53					

- = mg S<sup>-2</sup>/l (sulfid)



## TABELL 13

## MANDALSELVA

Vannhastighet i m/sek.

Dyp	15.7.1966		29.9.1966		5.8.67		29.11.1967					
	St. 14	St. 13	St. 14	St. 13	St. 12	St. 14	St. 14	St. 14	St. 13	St. 12	St. 11	St. 10
	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
0,0	+0,220	+0,175	+0,653	+0,293	+0,322	v ikke målt	+0,950	+0,29	+0,305	+0,340	+0,315	
0,5	+0,236	+0,223	+0,649	+0,272	+0,233		+0,930	+0,350	+0,350	+0,345	+0,320	
1,0			+0,112	+0,288	+0,191		+0,830	+0,315	+0,360	+0,355	+0,320	
1,5				+0,306	+0,170		+0,480	+0,310	+0,310	+0,344	+0,335	
2,0							-0,130	+0,250	+0,265	+0,355	+0,285	
2,5							-0,130	+0,285	+0,260	+0,280	+0,125	
3,0							-0,125	-0,035	+0,050	+0,105	+0,035	
4,0							-0,110	-0,070	-0,050	-0,045	-0,050	
5,0										-0,055		

+ = strømhastighet nedover elven

- = strømhastighet oppover elven