

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

0 - 38/62

HYDROBIOLOGISKE UNDERSØKELSER I RESIPIENTER  
VED TØNSBERG

Saksbehandler: Instituttetsjef Kjell Baalsrud

Rapporten avsluttet: 20. april 1966

## FORORD

I mai 1962 fikk Norsk institutt for vannforskning en henvendelse fra Regionplankontoret for Tønsberg og Omland hvor det var formulert et oppdrag om undersøkelse av resipienter ved Tønsberg. Det inngikk i oppdraget å undersøke Vestfjorden, Byfjorden og Tråla som hovedresipienter for regionen, og på grunnlag av resultatene å trekke opp retningslinjer for den praktiske behandling av kloakkproblemet.

Instituttet sto med dette foran en vanskelig oppgave, da forurensningsundersøkelser i brakkvannsresipienter nærmest var et nytt arbeidsfelt i Norge. Samtidig er det i fjordsystemet kompliserte strømningsforhold som ikke er kjent.

Et program for en slik undersøkelse ble utarbeidet av siv.ing. Terje Simensen på grunnlag av en befaring av fjordsystemet i august 1963. Det ble foreslått å dele arbeidet med undersøkelsen i to hovedfaser. Først skulle det gjøres en hydrobiologisk undersøkelse av forurensningenes innflytelse på fjordområdet, deretter skulle det utføres en kartlegging av utskiftningsmekanismene i fjordområdet.

Denne rapporten stiller sammen resultatene av den hydrobiologiske undersøkelsen. Feltarbeidet ble utført i tidsrommet desember 1963 - august 1964.

På grunn av oppdragets oppdeling, den økonomiske side og at instituttet bare i begrenset utstrekning kunne anvende forskningsmidler, er undersøkelsen ikke blitt gjennomført med større omfang og intensitet enn hva som fremgår av denne rapport.

Hovedresultatene av undersøkelsen er tidligere stilt sammen i "Utkast til regionplan for Tønsberg og Omland", Regionplankontoret for Tønsberg og Omland, del 2, sidene 164 - 167, Tønsberg, 20. februar 1965.

Arbeidet med denne del av undersøkelsen ble utført ved instituttets avdelinger for biologi, kjemi og teknikk. Rapporten er utarbeidet og skrevet av cand.real. Olav Skulberg.

Blindern, 20. april 1966

Kjell Baalsrud

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
1. GEOGRAFISKE FORHOLD	6
1.1. Fjorden	6
1.2. Nedbørfeltet	11
2. UNDERSØKELSER I RESIPIENTENE	13
2.1. Vassdragene Aulielva. Vellebekken	13
2.2. Fjordarmen innenfor Nøtterøy Hydrografi. Plankton. Benthos	19
3. LABORATORIEFORSØK MED ALGEKULTURER	33
3.1. Avrenningsvann	34
3.2. Fjordvann	37
3.3. Fjordvannets reaksjon på kloakkvanns- belastning	37
4. DISKUSJON AV RESULTATENE	40
5. KONKLUSJONER	46

## TABELLOVERSIKT

	Side:
1. Seksjonsvise volumberegninger av Trøla, Byfjorden og Vestfjorden	10
2. Hydrokjemiske data for vannprøver innsamlet på lokaliteter i Vestfold, 15. august 1964	16
3. Benthosvegetasjon i munningsområdet av Aulielva og Vellebekken	17
4. Hydrokjemiske data for vannprøver innsamlet på stasjoner i fjorden innenfor Nøtterøy. Overflateprøver, 14. august 1964	26
5. Håvtrekkmateriale innsamlet 14. august 1964	29
6. Sammenlikning mellom primær og sekundær belastning med organisk stoff av henholdsvis avrenningsvann og kloakkvann	45

## FIGUROVERSIKT

	Side:
1. Dybdeforhold i fjordarmer ved Tønsberg	7
2. Areal og volum av Træla	8
3. Areal og volum av Byfjorden og Vestfjorden	9
4. Nedbørfelt med dreneringssystem til fjordarmer ved Tønsberg	12
5. Aulielva. Hydrografiske forhold i tidsrommet 10. mars - 27. august	14
6. Aulielvas munningsområde og Byfjorden	20
7. Stenskanalens østlige del og Kilen med munningsområdet av Vellebekken	21
8. Vellebekkens munning i Kilen	22
9. Vegetasjonsutsnitt fra lokalitet i Kilen	22
10. Stasjoner ved prøvetakingen 14. - 15. august 1964	23
11. Observasjoner av salinitet i Byfjorden og Træla, 10. desember 1963	25
12. Primære forurensningsvirkninger	32
13. Sekundære forurensningsvirkninger	32
14. Vekstforsøk med <u>Selenastrum capricornutum</u> i vannprøver fra Aulielva. Vannprøver innsamlet 10. februar 1964	35
15. Kjemisk oksygenforbruk i vannprøver fra Aulielva og Vellebekken podet med <u>Selenastrum capricornutum</u>	36
16. Vekstforsøk med <u>Chlorella ovalis</u> i vannprøver innsamlet i Tønsbergfjorden 10. desember 1963 og 14. august 1964	38
17. Vekstforsøk med <u>Chlorella ovalis</u> i vannprøver innsamlet i Kanalen 10. desember 1963 og 14. august 1964	39
18. Vekstforsøk med <u>Chlorella ovalis</u> og <u>Skeletonema costatum</u> i vannprøver fra stasjon 8 med ulike kloakkvannstilsetninger	41
19. Eksempel på primær og sekundær belastning med organisk stoff. Forsøk med 10 % kloakkvannstilsetning i vannprøver fra Maridalsvatnet og Årungen	44

## 1. GEOGRAFISKE FORHOLD

### 1.1. Fjorden

Tønsbergfjordens beliggenhet og utforming fremgår av sjøkartverket (Den norske kyst, 1 : 50 000, nr. 3, 1920 og nr. 2, 1923). De indre deler av fjorden er også tegnet mer detaljert (Tønsberg havn, 1 : 10 000, 468, 1961). Topografiske forhold og geografiske avgrensninger er tidligere beskrevet (Helland, A.: Norges land og folk, VII, Jarlsberg og Larvik amt, Første del, pp. 124 - 127, Kristiania 1914).

Fjordområdet innenfor nordre del av Nøtterøy omfatter Træla med Kilen, Kanalen, Byfjorden og Vestfjorden. I hovedtrekkene kan dette fjordsystemet karakteriseres som en fjordarm avgrenset med terskler vest for Husøy og Foymland (terskeldyp ca. 7 m) og ved sundet ved Verjøy i syd (terskeldyp ca. 10 m). Dybdeforholdene i denne del av Tønsbergfjorden er gjengitt på kartet i figur 1. Det er også på figuren tegnet et lengdesnitt gjennom dypålen av området. I figur 2 og 3 er det inntegnet kurver for areal og volum av Træla, henholdsvis Byfjorden og Vestfjorden. Beregningene som er lagt til grunn er gjort med utgangspunkt i koter som refererer seg til springlavvann (Norges sjøkartverk). Det fremgår av disse diagrammene at hele fjordområdet er utpreget grunt. I avgrensede partier - nærmest som kulper - er de største dypene å finne i Træla ca. 12 m, Byfjorden ca. 20 m og Vestfjorden ca. 22 m.

Det er utført seksjonsvise volumberegninger av Træla, Byfjorden og Vestfjorden. Inndelingen som er benyttet fremgår av kartet i figur 1. Resultatene er ført opp i tabell 1. Det totale vannvolum av dette fjordområdet er da ca. 42 millioner  $m^3$ . Av dette utgjør Træla (X - VIII) 13 millioner  $m^3$ , Kanalen (VIII - VII) 2 millioner  $m^3$ , Byfjorden (VII - V) 6 millioner  $m^3$  og Vestfjorden (V - I) 21 millioner  $m^3$ .

Bunnforholdene i fjordområdet er preget av løse avsetninger. Store avsnitt i strandnære områder kan utgjøre mudderflater med bare liten vann- dybde. Forbindelsen mellom Byfjorden og Træla, Kanalen, er mudret opp til en dybde av 7 m. Sundene mellom øyene Husøy og Foymland, og Foymland og Nøtterøy, er bare inntil et par meter dype. Selv om den midlere tideamplitude er liten - ca.  $\pm$  25 cm - innebærer dette at forholdsvis store strandflater blir tørrlagt ved lavvann. Dette er f.eks. karakteristisk for de nordre deler av Byfjorden og Træla

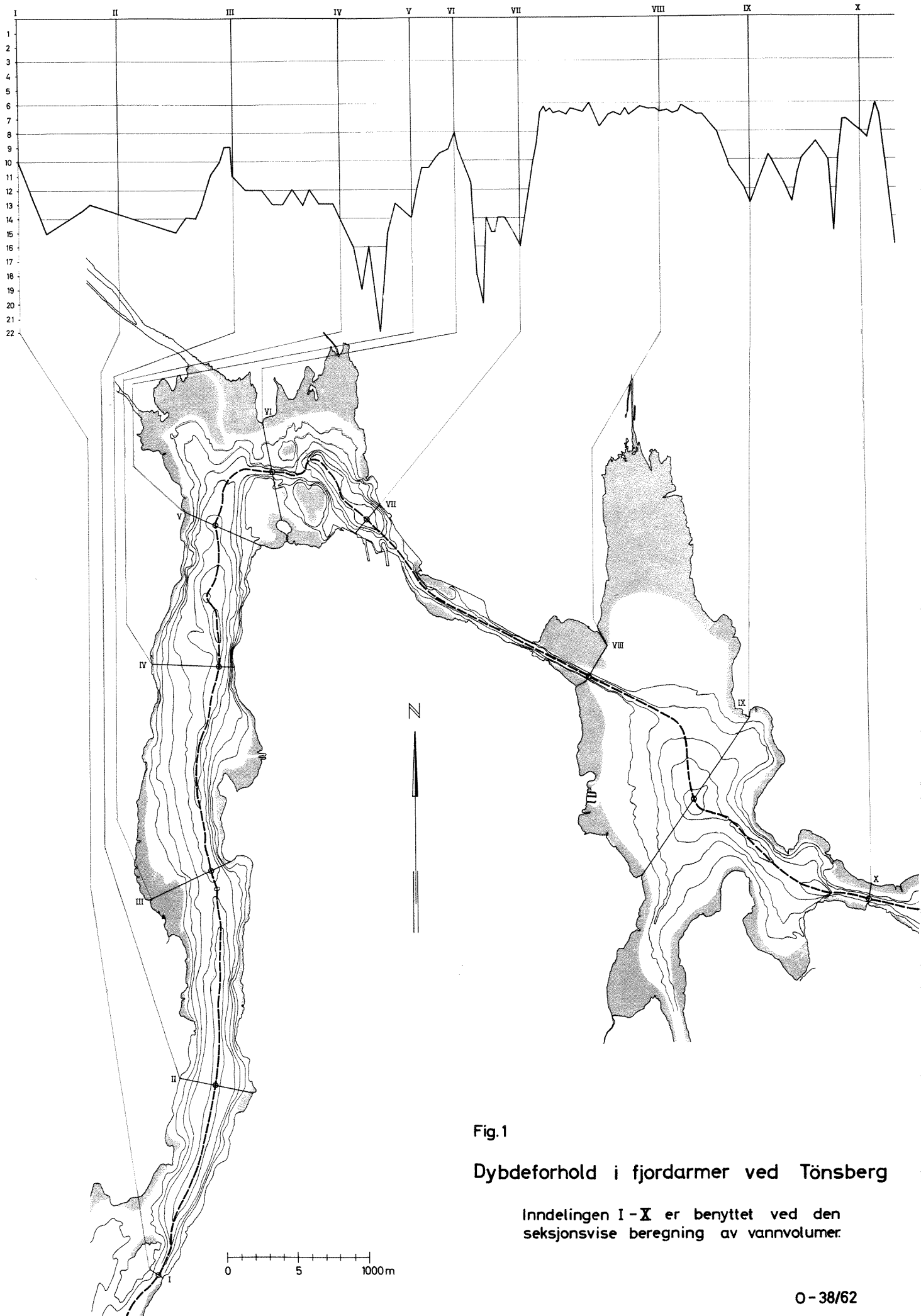
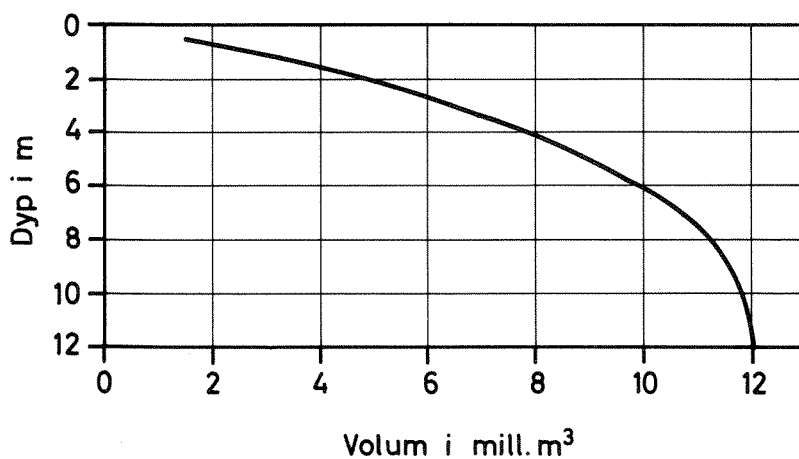
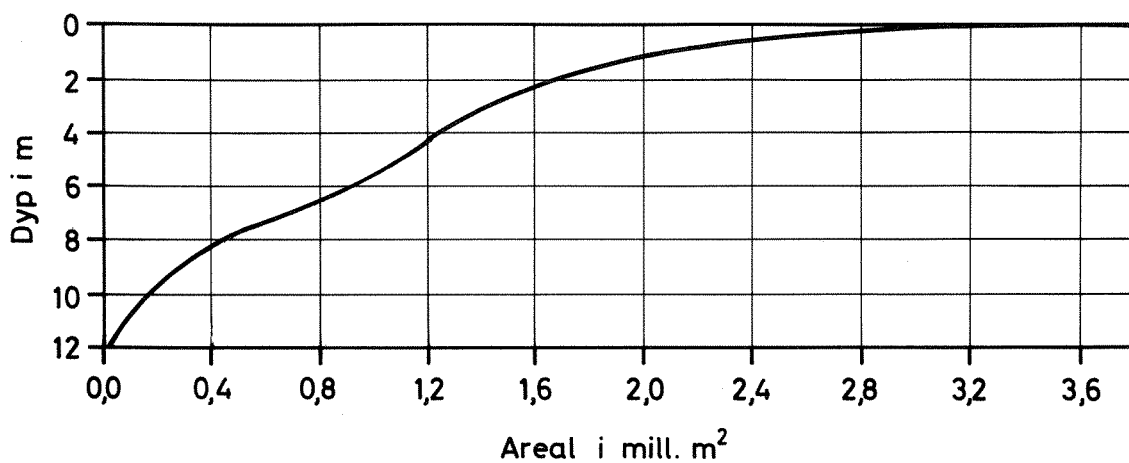


Fig.1

### Dybdeforhold i fjordarmer ved Tönsberg

Inndelingen I-X er benyttet ved den seksjonsvise beregning av vannvolumer.

## Træla



05/l.g.

NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING  
BLINDERN

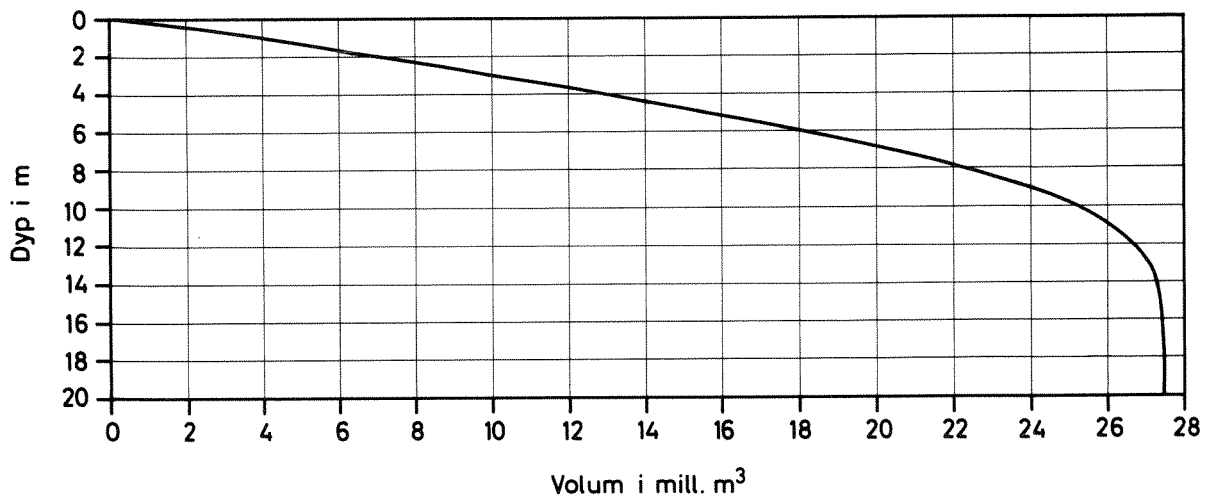
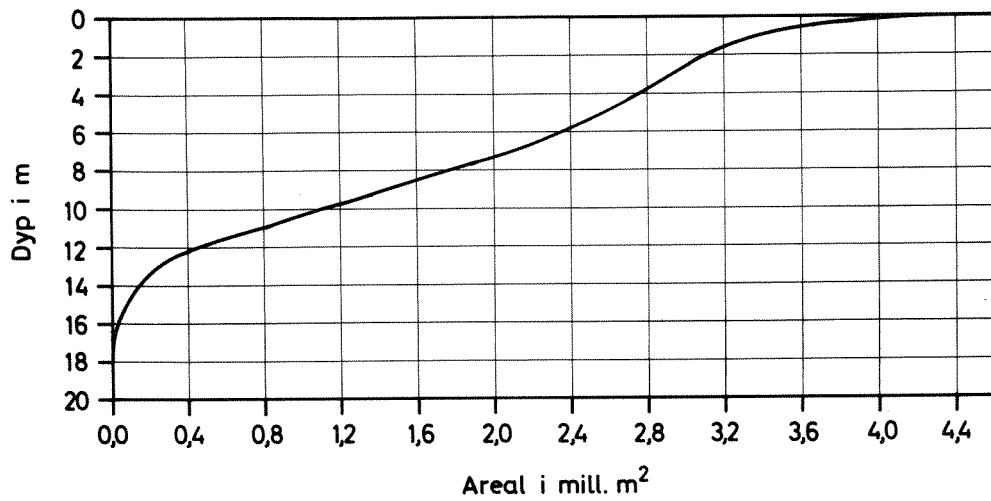
Areal og volum av Træla.Området be-  
grenset i vest av Kanalbrua og i syd  
og øst ved bru mellom Nötterøy og  
Føymland, bru mellom Føymland og Hus-  
øy og fergest. mellom Husøy og fastlandet.

Fig. 2

O-38/62 3308



## Byfjorden og Vestfjorden



0.5/1.g.

Tabell 1. Seksjonsvise volumberegninger av Tråla, Byfjorden og Vestfjorden

Seksjon <sup>x)</sup> dyp m	I - II m <sup>3</sup>	II - III m <sup>3</sup>	III - IV m <sup>3</sup>	IV - V m <sup>3</sup>	V - VI m <sup>3</sup>	VI - VII m <sup>3</sup>	VII-VIII m <sup>3</sup>	VIII - IX m <sup>3</sup>	IX - X m <sup>3</sup>	I - X m <sup>3</sup>
0 - 3	1.585.400	1.877.900	2.595.700	1.482.000	1.705.300	1.645.300	871.900	4.225.600	3.461.500	19.450.600
3 - 6	1.064.300	1.526.700	1.925.600	1.329.500	627.900	875.000	476.000	1.460.400	2.039.600	11.325.000
6 - 8	613.100	830.900	986.900	793.900	324.500	403.600	175.600	528.900	818.500	5.475.900
8 - 10	458.000	565.900	637.800	695.300	177.700	289.600	68.800	227.000	356.400	3.476.500
10 - 12	260.900	273.200	279.300	504.300	62.600	199.200	39.000	70.900	90.400	1.779.800
12 - 14	63.700	70.900	28.200	261.900	4.100	120.200	23.600	4.100	5.600	582.300
14 - 16				87.300		39.000	4.700			131.000
16-laveste pkt				13.900						13.900
Sum	4.045.400	5.145.500	6.453.500	5.168.100	2.902.100	3.571.900	1.659.600	6.516.900	6.772.000	42.235.000

x) Inndelingen refererer seg til kartet i figur 1.

med Aulielvas munningsområde og Kilen (se fig. 6 og 7). De stadige oppmudringsarbeider som er foretatt siden Kanalen ble opparbeidet i 1835 forteller om den betydelige avsetning av vanntransportert materiale fra nedbørfeltet til fjordområdet.

## 1.2. Nedbørfeltet

Nedbørfeltet til Tønsbergfjorden er tegnet inn på kartskissen i figur 4. I hovedtrekkene dekker dette avsnittet av Vestfold det området som geografisk betegnes Tønsbergdistriktet (J.W. Cappelens Forlag: Norge, bind 2, 907 - 930, Oslo 1963). Distriktet omfatter  $646 \text{ km}^2$ ;  $172 \text{ km}^2$  er jordbruksareal og  $297 \text{ km}^2$  er produktiv skog. Befolkningstallet i 1960 var ca. 57 000 personer. Utnyttelsen av nedbørfeltet og bosetningens struktur er detaljert beskrevet i sammenheng med regionplanleggingen for distriktet (Regionplankontoret for Tønsberg og Omland: Utkast til regionplan for Tønsberg og Omland, 1. - 2., pp. 1 - 173).

Aulielva er det eneste vassdrag som bryter gjennom vestraet på strekningen Horten til Lågen. Nedbørfeltet er  $366 \text{ km}^2$  og vannføringen tilsvarende omlag  $700\,000 \text{ m}^3/\text{døgn}$ . Bare mindre vassdrag munner forøvrig ut i Tønsbergfjorden. Av disse kan nevnes Vellebekken til Trøla og Melsomelva til Vestfjorden. Den midlere avrenningsmengde fra nedbørfeltet utgjør omlag 1 million  $\text{m}^3/\text{døgn}$  (Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen). Det er karakteristisk at storparten av nedbørfeltet ligger lavere enn 100 m over havet. For Aulielvas nedbørfelt kan det nevnes at allerede Revovatnet ligger så lavt som 43 m over havet. Videre er nedbørfeltet til Tønsbergfjorden særlig innsjøfattig. For det geografiske området som utgjør Tønsbergdistriktet er det  $8,6 \text{ km}^2$  innsjøflate eller bare 1,3 % av det tilhørende landareal. Innsjøene ligger i de fleste tilfeller langt opp i vassdragene.

De geologiske forhold i nedbørfeltet er behandlet i flere avhandlinger (Holtedahl, O.: Norges geologi, Oslo 1953). Fjellgrunnen er i store trekk sammensatt av lavabergarter og syenittiske bergarter tilhørende kjelsåsitt-larvikitt-gruppen. Lavamassene i nedbørfeltet tilhører rombe-porfyr-serien. De løse avsetninger består for det meste av marine leirer og glasimarine israndavsetninger.

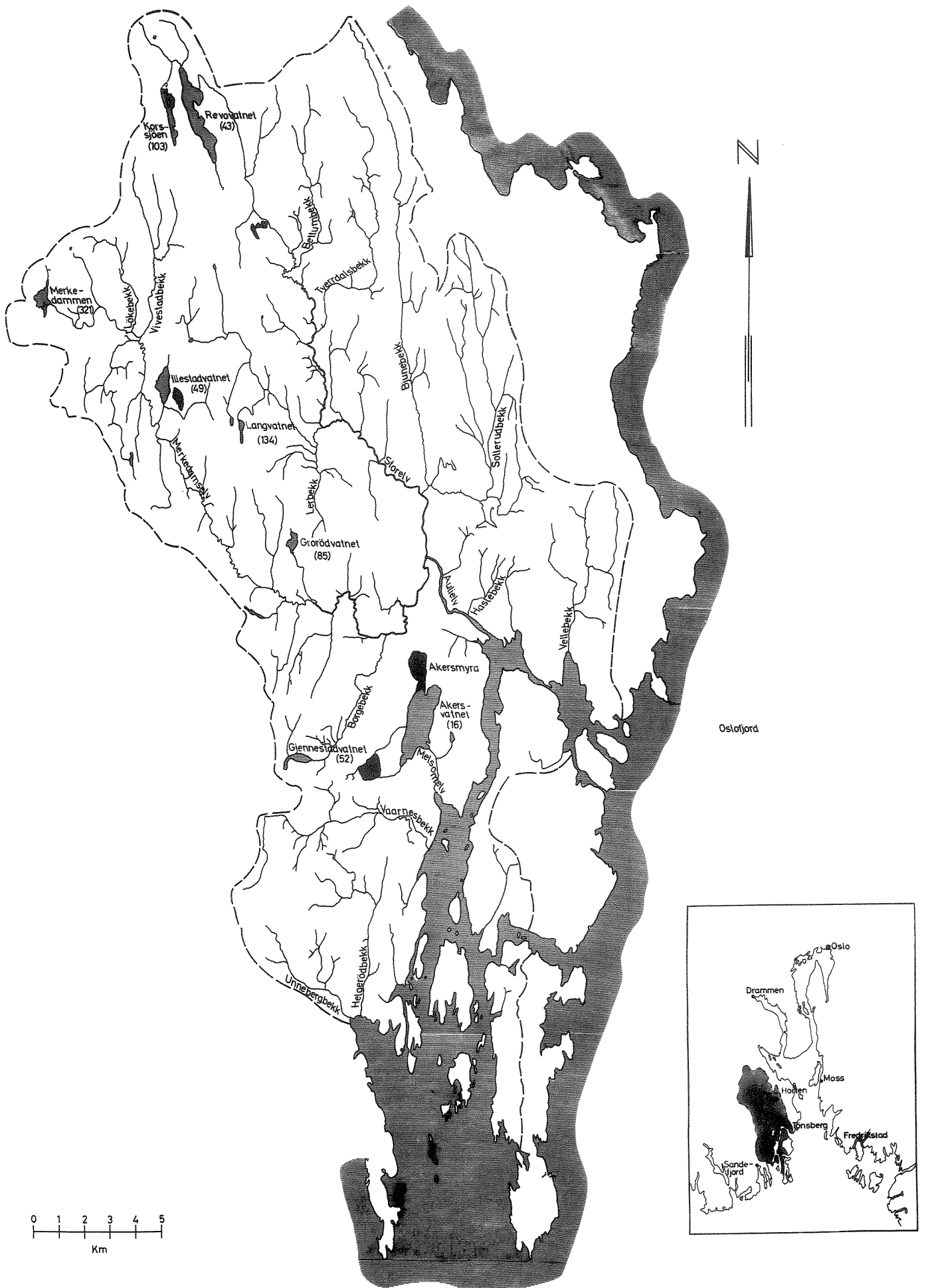


Fig. 4

Nedbørfelt med dreneringssystem til fjordarmer ved Tønsberg

## 2. UNDERSØKELSER I RESIPIENTENE

Det foreligger enkelte beskrivelser fra tidligere som gir opplysninger om naturforhold i Tønsbergområdet av interesse for forståelsen av den sivilisatoriske påvirkning av vannforekomstene.

I perioden september 1955 til september 1956 ble det utført en inngående beskrivelse av plantep planktonforholdene i Tønsbergfjorden (Rom, A.M.: En undersøkelse av fytoplanktonet i fjordarmen rundt Tønsberg. Hovedfagsoppgave i marin botanikk ved Universitetet i Oslo, vårsemesteret 1957). Hydrokjemiske data for Aulielva finnes fra tidsrommet mars - august 1958 (Norsk institutt for vannforskning: Vestfold Interkommunale Vannverk. Undersøkelse av vannkilder i 1958, Blindern 1959). Akersvatnet er representert ved enkelte observasjoner i perioden 1953 - 1954 (Dahlin, O.: Tønsberg drikkevann, Tønsberg 1955). Denne innsjøen har også vært benyttet som en lokalitet ved studiet av eutrofieringsproblemer utført av Norsk institutt for vannforskning (Skulberg, O.: Vannblomstdannende blågrønnalger i Norge og deres betydning ved studiet av vannforekomstenes kulturpåvirkning. Nordisk Jordbruksforskning, 3, pp. 180 - 190, 1965).

### 2.1. Vassdragene

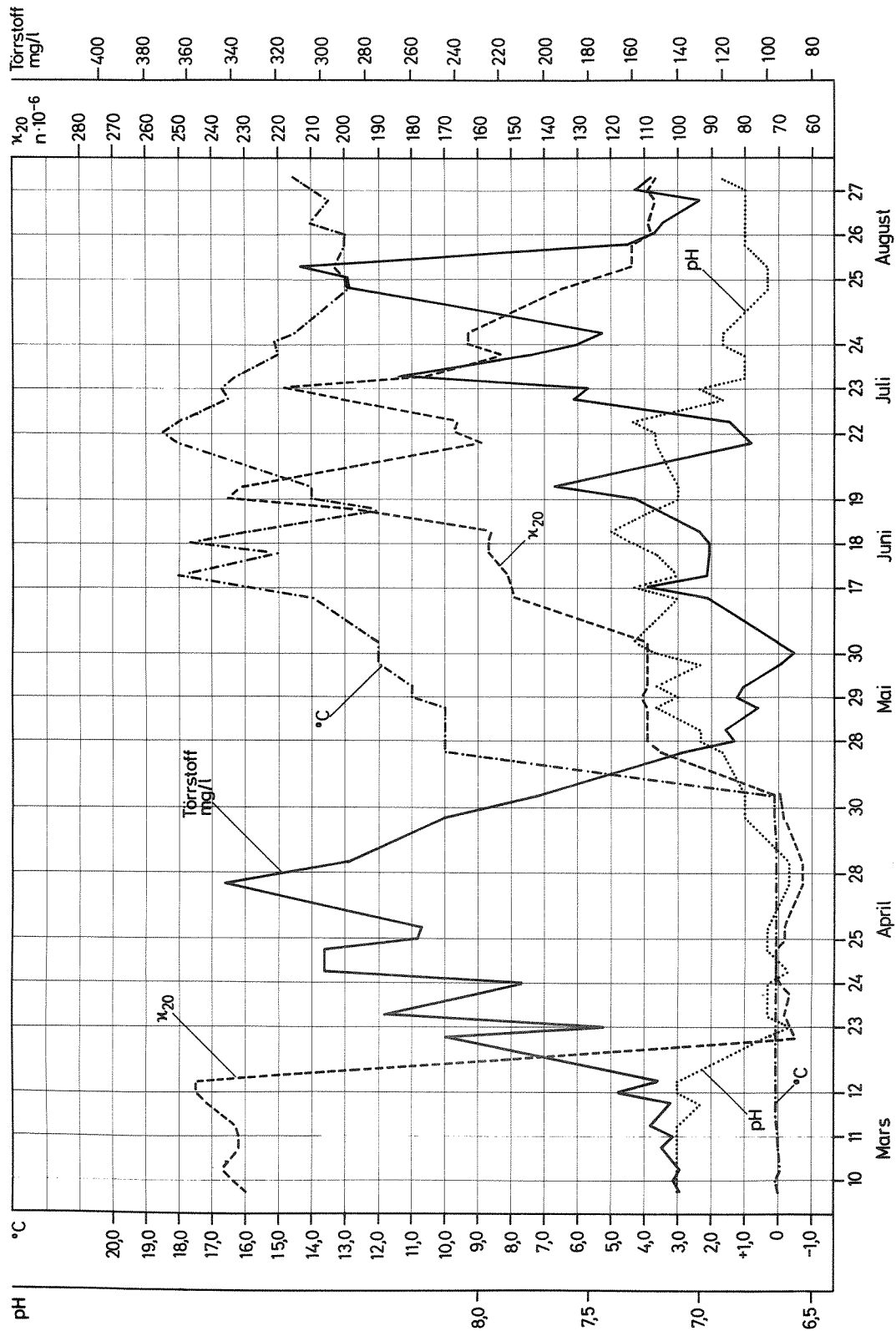
Ved denne undersøkelsen er det forholdene i Aulielva og Vellebekken som har vært behandlet nærmere. Disse vassdragene er de viktigste bidragene med ferskvann til fjordarmen innenfor Nøtterøy.

#### Aulielva

De hydrokjemiske forhold i Aulielva er sterkt varierende med vannføring og årstid. Dette kom tydelig frem ved undersøkelse av Aulielva i 1958.

I den grafiske fremstilling i figur 5 er det gjengitt variasjoner i elektrolytisk ledningsevne, surhetsgrad, innhold av tørrstoff og temperatur.

Vinter- og sommersituasjonen er karakterisert med et elektrolyttrikt vann. I mars ble det målt de høyeste verdier for elektrolytisk ledningsevne, verdier for  $\kappa_{20}$  opp til  $245 \cdot 10^{-6}$ . De høyeste verdier om sommeren ble målt i juni, da  $\kappa_{20}$  kunne nå opp til  $235 \cdot 10^{-6}$ . Vårsituasjonen med stor vannføring i vassdraget var karakterisert med minimale verdier for elektrolytisk ledningsevne. I april ble det målt verdier for  $\kappa_{20}$  ned til  $63 \cdot 10^{-6}$ .



Den største transport av materiale foregikk samtidig med vårsituasjonen. Det ble da bestemt inntil 320 mg/l med tørrstoff i vannet. Dette materialet besto vesentlig av leire.

Det kjemiske oksygenforbruk (mål for mengden med organisk stoff som er oksyderbart med en kaliumpermanganatløsning) ble funnet å være størst under sommerstagnasjonen. Dette er sannsynligvis et resultat av produksjon av organisk stoff av vegetasjon i nedbørfelt og vannmasser.

Kjemiske analyser utført på vannprøver innsamlet 14. august 1964 fra munningsområdet av Aulielva, ga resultater som er ført opp i tabell 2. For sammenliknings skyld er resultater av tilsvarende analyser utført på vannprøver fra enkelte andre vannforekomster i Vestfold tatt med i tabellen. Vannet i Aulielva viser en stor belastning med plantenæringsstoffer (nitrat og ortofosfat). Det høye kloridinnhold, som forøvrig preger alle de representerte vanntypene, henger sammen både med vassdragets nære beliggenhet til havet og belastningen med husholdningskloakkvann. Vannets innhold av kalsium og magnesiumsalter (hardhet) er også stort etter norske naturforhold.

Utviklingen av organismelivet i Aulielva er preget av vassdragets utforming i de marine leirsedimenter (figur 6). Dette betinger ofte et vann med høy turbiditet, og det gjør seg gjeldende stadig erosjon i materiale i elvebunnen. Breddene får ofte en steil profil med utrasningskanter. Disse forhold er gjerne ugunstige for utviklingen av et rikt organismeliv.

Feltarbeidet for den biologiske beskrivelse av Aulielva ble utført 15. august 1964. Det ble gjort en befaring av elvestrekningen fra munningsområdet opp til forgreningen mellom Merkedamselva og Storelva. Observasjonene av benthosvegetasjon som er stilt sammen i tabell 3, representerer en stasjon ved veibroen hvor riksvei 40 krysser Aulielva.

Tabell 2. Hydrokjemiske data for vannprøver innsamlet på lokaliteter i Vestfold, 15. august 1964

Komponent Lokalitet	pH	El. ledn. evne $\mu_{20} = n \cdot 10^{-6}$	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO <sub>2</sub> /l	Hardhet mg CaO/l	Klorid mg Cl/l	BFA mg N/l	NO <sub>3</sub> $\mu\text{g N/l}$	ORT-PO <sub>4</sub> $\mu\text{g P/l}$
Aulielva, munning	7,6	210	108	14	29,2	25,70	0,56	700	42,0
Vellebekken, munning	7,7	460	156	20	51,9	57,50	4,20	1020	1170,0
Gogsjø	7,4	120	50	5	13,5	7,10	0,39	870	2,5
Akersvatn	7,7	220	82	15	20,0	25,60	0,74	10	2,5
Borrevatn	8,1	190	36	4	29,4	17,45	0,48	370	5,0



Tabell 3. Benthosvegetasjon i munningsområdet av Aulielva  
og Vellebekken  
 Prøvetaking 15/8 1964

Organisme	Aulielva	Vellebekken
<b>SCHIZOMYCETES</b>		
Cladothrix dichotoma Cohn	2	3
Sphaerotilus natans Kg.	2	2
Ubest. Chlamydobakterier	3	3
<b>SCHIZOPHYCEAE</b>		
Merismopedia cf. punctata Meyen	2	
Oscillatoria Agardhii Gom.	3	2
Oscillatoria brevis (Kütz.) Gom.	1	2
Oscillatoria limosa Ag.	3	1
Oscillatoria Vaucher sp. (14 $\mu$ )	4	
Phormidium uncinatum Gom.		5
Pseudanabaena Lauterborn sp.	2	
<b>CHLOROPHYCEAE</b>		
Scenedesmus Meyen spp.	1	2
Spirogyra Link sp. (20 $\mu$ )	1	
<b>XANTHOPHYCEAE</b>		
Vaucheria De Candolle sp. (32 $\mu$ )	4	
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>		
Achnanthes Bory spp.	2	1
Melosira varians C.A. Ag.	3	
Navicula rhynchocephala Kütz.	2	
Nitzschia palea (Kütz.) W. Smith	3	4
Nitzschia Hassal spp.	2	
Synedra ulna (Nitzsch.) Ehr.	3	1
Ubest. pennate diatoméer	3	2
<b>RHODOPHYCEAE</b>		
Lemanea fluviatilis (L.) Ag.	3	
<b>BRYOPHYTA</b>		
Fontinalis cf. antipyretica Hedw.	4	

(forts.)

(subjektiv vurdering av mengdemessig forekomst, se fotnote side 18)

Tabell 3 (forts.)

Organisme	Aulielva	Vellebekken
PROTOZOA		
<i>Carchesium polypinum</i> Linné		3
Protomonadine flagellater	3	3
Ubest. ciliater	3	3

Skala benyttet ved den subjektive vurdering av mengdemessig forekomst:

- 1, sjelden
- 2, sparsom
- 3, vanlig
- 4, hyppig
- 5, dominant

Det var en sparsom forekomst av høyere planter, og alger sammen med moser dominerte vegetasjonen. Fontinalis cf. antipyretica Hedw. dannet store bevoksninger på stener hvor det var strømning i vannet, arter av Oscillatoria laget hudliknende begroinger av elvebunnen. Oscillatoria Vaucher sp. (14  $\mu$ ) hadde størst forekomst. Forøvrig hadde Vaucheria De Candolle sp. (32  $\mu$ ) utviklet store, frodige matter. Bare sterile eksemplarer ble funnet. Interessant var påvisningen av rødalgen Lemanea fluviatilis (L.) Ag. i dette algesamfunnet. Heterotrof vekst var ikke tilstede på lokaliteten i visuell forekomst. Chlamydobakterier var vanlige i alle de prøver av materialet som ble undersøkt mikroskopisk, men det var andre arter enn Sphaerotilus natans Kg. som hadde størst forekomst. Det var forøvrig stor forekomst av fargeløse flagellater og ciliater i materialet.

#### Vellebekken

I tabell 2 er hydrokjemiske data for vannprøver innsamlet i Vellebekken gjengitt. Analyseresultatene viser egenskaper ved vannmassene som følger stor belastning med husholdningskloakkvann og avrenningsvann fra jordbruk. De biologiske forhold i bekken var utviklet i overensstemmelse med dette. Tabell 3 stiller sammen resultatene av undersøkelsen av benthosvegetasjonen på en stasjon i munningsområdet. Elvebunnen var dekket av hudliknende belegg av blågrønnalger med Phormidium uncinatum Gom. som dominerende art. Diatoméen Nitzschia palea (Kütz.) W. Smith hadde stor forekomst i dette algesamfunnet. Heterotrofe arter, diverse chlamydobakterier og protozoer, utgjorde en betydelig kvantitativ del av begroingen. Slike forhold er

typiske for bekker i leirområder med høyt innhold av plantenæringsstoffer. Den store produksjon av alger gjorde seg også synlig gjeldende ved de til dels store flak som løsnet fra blågrønnalgebegroingene og fløt nedover Vellebekken og videre ut i Kilen. De frodige enger av takrør, Phragmites communis Trin., som var utviklet i munningsområdet av Vellebekken i Kilen, viser den betydelige produksjon av organisk stoff som transporten av gjødselstoffer med vannmassene medfører. Luftfotografiet i figur 7 gir en oversikt over disse vegetasjonsområder. I figur 8 er et detaljbilde av Vellebekkens munning i Kilen. Lokaliteten er et utmerket eksempel på hvordan avrenningsvann rikt på gjødselstoffer virker sammen med sjøvann og betinger høyproduksjon av benthosvegetasjon i områder med løsavsetninger.

## 2.2. Fjordarmen innenfor Nøtterøy

Kartskissen i figur 10 viser beliggenheten av stasjonene som ble benyttet ved prøvetakingen i fjorden. Feltarbeidet ble utført 10. desember 1963 og 14. august 1964.

Den tidligere undersøkelse i Tønsbergfjorden (Rom 1957) beskriver foruten planktonforholdene også hovedtrekkene av de hydrografiske forhold i fjordsystemet. Det ble ikke funnet nødvendig å gjøre en tilsvarende helårsundersøkelse ved denne anledning, og observasjonene som ble utført hadde som målsetting å komplettere de opplysningene som allerede forelå.

Det har ikke tidligere vært utført undersøkelser av organismelivet knyttet til bunnen av fjorden. I et fjordområde preget av store, grunne partier og med løsavsetninger som dominerende bunnmateriale, vil vegetasjon og dyreliv som er knyttet til et underlag (benthos) være av meget stor betydning for stoffkretsløpet i vannmassene. Forståelsen av fjordens reaksjon på de ulike sivilisatoriske påvirkninger må i stor utstrekning komme gjennom kjennskap til utviklingen av de benthiske organismesamfunn. En undersøkelse av vegetasjon og fauna i en fjord av denne størrelse er imidlertid en meget arbeidskrevende oppgave som fordrer innsats av spesialister på en rekke felter. Innenfor rammen av denne undersøkelsen var det ikke anledning til å inkludere annet enn observasjoner som kunne muliggjøre en grov karakteristikk av de biologiske forhold i fjordarmen innenfor Nøtterøy.



Figur 6. Aulielvas munningsområde og Byfjorden.

Vanntransportert materiale har bygget opp et delta som gir gode dyrkningsmuligheter. Oppgrunningen av Byfjorden er synlig med dannelsen av mudderbanker.

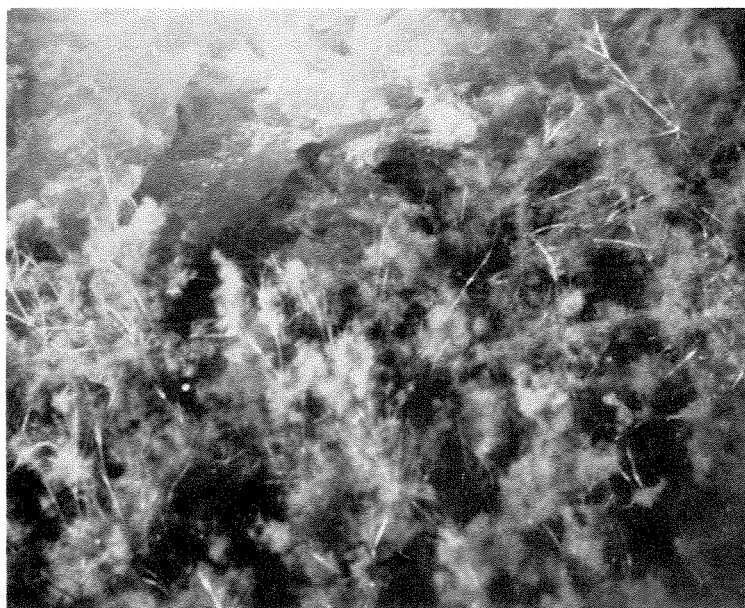


Figur 7. Kanalens østlige del og Kilen med munnings-  
området av Vellebekken.

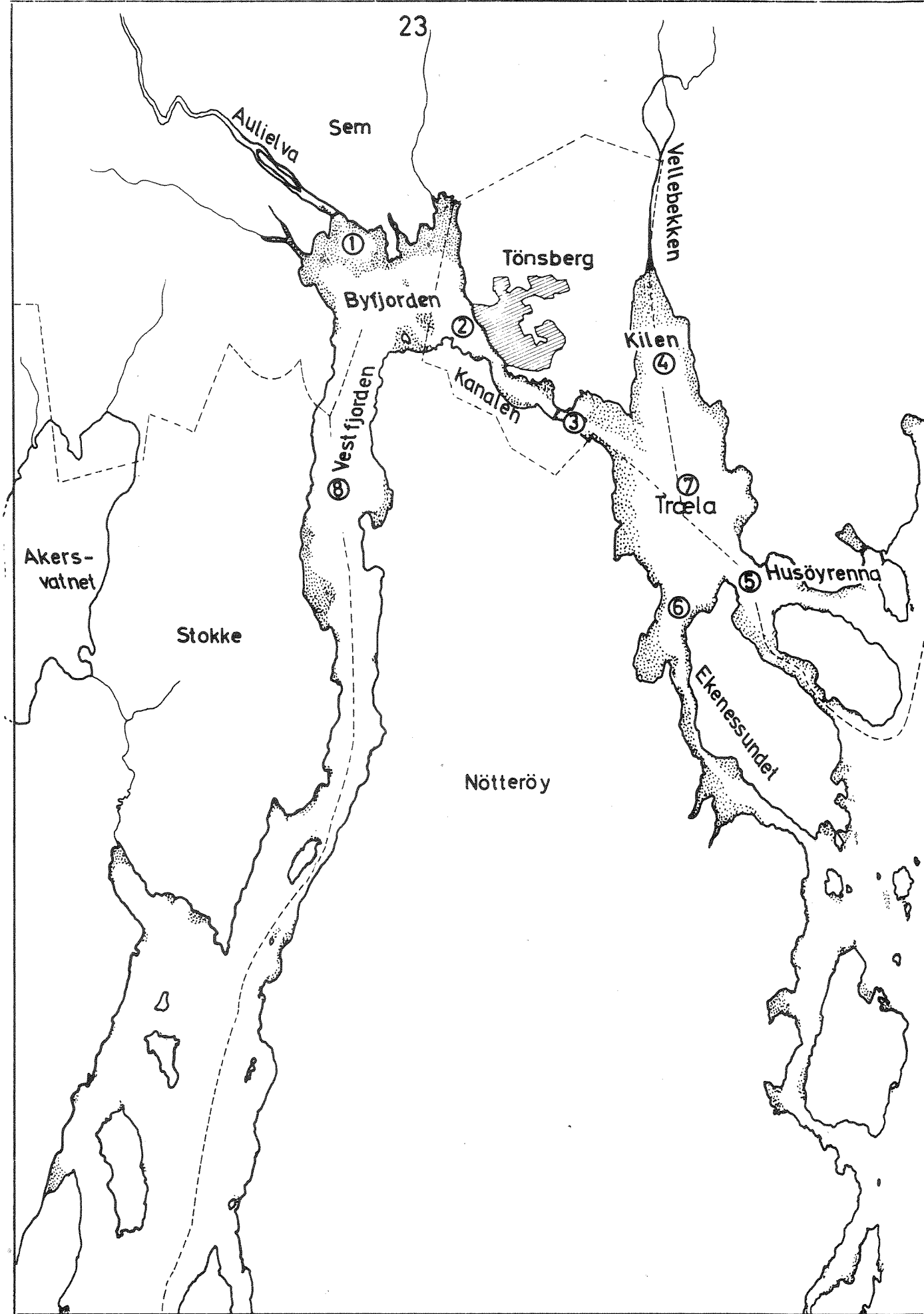
I dette området hvor avrenningsvann rikt på  
plantenæringsstoffer møter sjøvann blir det  
en frodig utvikling av brakkvannsvegetasjon.



Figur 8. Vellebekkens munning i Kilen. Bestand av Phragmites communis Trin. i frodig utvikling. På vannoverflaten flytende algeflak løsrevet fra begroingen med Phormidium uncinatum Gom. Kilen, 14. august 1964.



Figur 9. Vegetasjonsutsnitt fra lokalitet i Kilen. Grønnalger av slektene Ulva Linné og Enteromorpha Link sammen med blomsterplanten Ruppia maritima L. dominerer samfunnet. Forskjellige arter av brunalger danner epifyttiske begroinger. Kilen, 14. august 1964.



## Hydrografi

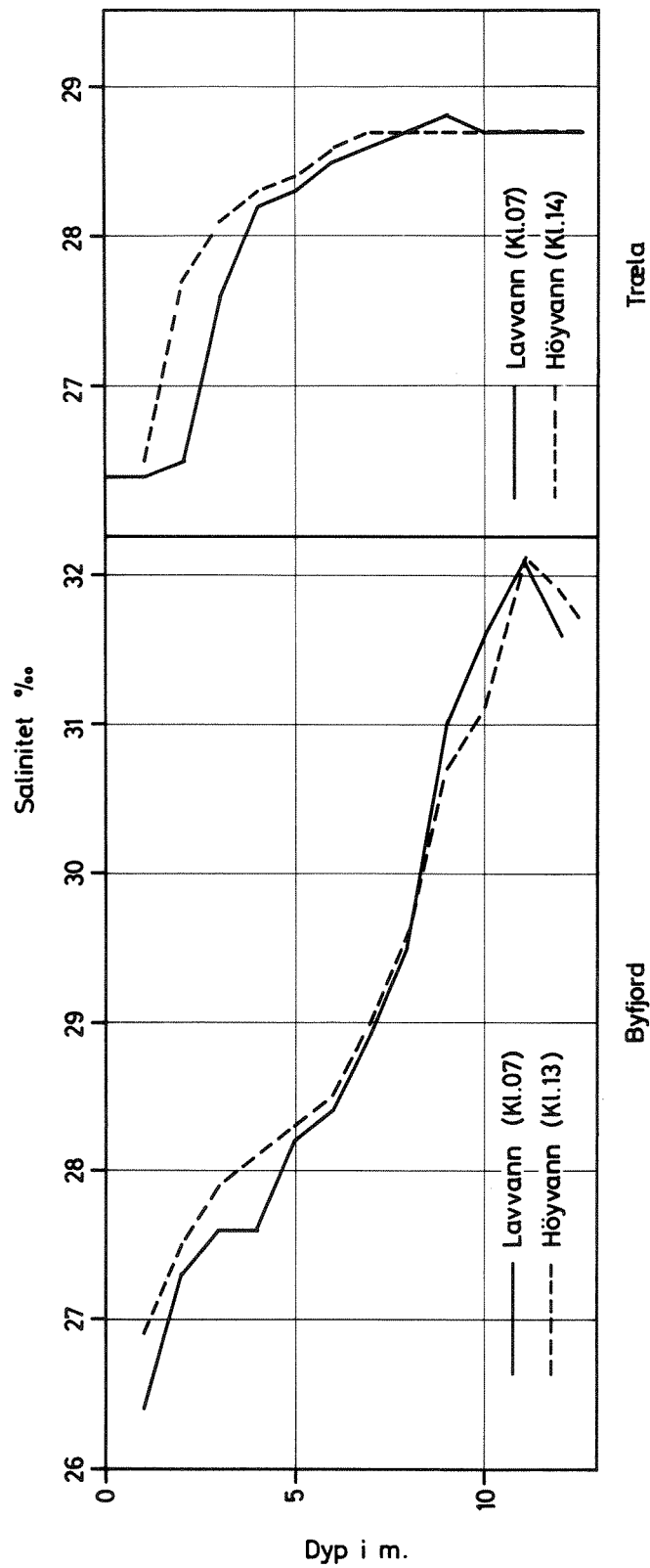
I sundene mellom Føyndland, Husøy og fastlandet i nord og gjennom ytre Tønsbergfjorden i syd står fjordarmen innenfor Nøtterøy i kontakt med Oslofjorden. Det foreligger flere avhandlinger som belyser naturforhold i Oslofjorden som har betydning for forståelsen av Tønsbergfjordens hydrografi (Hjort, J. and Gran, H.H.: Hydrographic - Biological Investigations of the Skagerak and the Christiania Fiord. Report on Norwegian Fishery - and Marine - Investigations. Vol. I, 1900 No. 2, pp. 31 - 56, Kristiania 1900. Braarud, T. and Ruud, J.: The hydrographic conditions and aeration of the Oslo Fjord 1933 - 1934, Hvalrådets Skrifter, 15, Oslo 1937).

Som karakteristisk for brakkvannsområder er det en lagdeling av vannmassene betinget av variasjoner i saltholdighet. De grafiske fremstillinger i figur 11 viser observasjoner av salinitet i Byfjorden og Træla 10. desember 1963 ved henholdsvis lavvann og høyvann. Kurvenes forløp forteller om mektigheten av den vannmassen som er direkte påvirket av avrenningsvann fra nedbørfeltet. De to stasjonene viser svært ulike forhold. Byfjorden, som tildels kan betegnes som estuaret til Aulielva, er preget av at dette er hovedtilløpsområdet for ferskvann til fjorden. Saltholdigheten i fjordvannet vil gjennom året variere i området 1 - 35 ‰. Dette tilsvarer etter det internasjonale klassifiseringssystem for sjøvann et brakkvannsområde av mixoeuhalin type (The classification of brackish waters, Venice, April 1958).

Vannmassene i fjordsystemet er karakterisert ved store variasjoner i saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold. Årstidsvariasjonene er behandlet i sammenheng med undersøkelsen 1955 - 1956, og det vises til beskrivelsen som foreligger. Det kan være grunn til bare å referere her resultater som belyser oksygenforholdene i fjorden. På stasjonen i Byfjorden ble det funnet verdier fra 127,3 - 59,3 % av metningskonsentrasjonen for oksygen. Tilsvarende variasjonsområde for Træla var 131,7 - 79,0 % av metningskonsentrasjonen. Oksygenmangel ble ikke påvist i løpet av undersøkelsesperioden.

Hydrokjemiske data for overflatevannprøver innsamlet på åtte stasjoner 14. august 1964 er gjengitt i tabell 4. Saltholdigheten i fjordsystemet varierte fra 21,3 til 23,4 g salt/kg overflatevann. Resultatene fra bestemmelsene av plantenæringsstoffer er interessante. Verdiene for konsentrasjonen av nitrat var gjennomgående lave. Høyeste konsentrasjon ble påvist i Byfjorden med 25 µg N/l, laveste konsentrasjon i Husøyrenna med 8 µg N/l. Innholdet av ortofosfat i overflatevannet varierte fra 132 µg





Tabell 4. Hydrokjemiske data for vannprøver innsamlet på stasjoner i fjorden innenfor Nøtterøy.

Overflateprøver, 14. august 1964

Lokalitet	Komponent	pH	El. ledn. evng % <sub>20</sub> = n. 10 <sup>-6</sup>	Salinitet g salt/kg	BFA mg N/l	NO <sub>3</sub> µg N/l	ORT-PO <sub>4</sub> µg P/l <sup>4</sup>
St. 1	Byfjorden	8,0	28800	21,51	0,37	25	8,0
St. 2	Kanalen, vest	8,2	30300	22,57	0,32	10	15,5
St. 3	Kanalen, øst	8,1	30400	22,79	0,34	12	3,5
St. 4	Kilen	8,5	28900	21,33	0,48	12	132,0
St. 5	Husøyrenna	8,3	28800	21,40	0,25	8	5,0
St. 6	Ekenessundet	8,2	30100	22,32	0,31	10	7,5
St. 7	Træla	8,2	29100	21,69	0,29	10	4,0
St. 8	Vestfjorden	8,3	31000	23,40	0,23	10	3,0

P/1 i Kilen til 3,0 µg P/1 i Vestfjorden. Den relative mengdemessige forekomst av fosfat til nitrat i overflatevannet på disse stasjoner var ekstraordinære, og forholdet indikerer en betydelig påvirkning av vannmassene med gjødselstoffer og en stor biologisk aktivitet.

### Plankton

Utviklingen av planteplanktonet i de fri vannmasser av Tønsbergfjorden er detaljert undersøkt og beskrevet (Rom 1957), og det vil her bare sammenfattes noen hovedtrekk fra denne undersøkelsen.

Sesongvariasjonene i planktonbestandenes størrelse er utpregede. Vinterperioden (desember til februar) er karakterisert med et lite innhold av planteplankton i vannmassene. Gjennom vårperioden (mars til begynnelsen av april) utvikles et maksimum av alger. Sommerperioden (siste halvdel av april - juli) har tildels store, men varierende mengder med planteplankton. Høstperioden (august - november) gir en ny oppblomstring av alger som følges av sterk nedgang i populasjonens størrelse. De største algekonsentrasjoner ble påvist under høstopplomstringen.

Når det gjelder mengdemessig forekomst er det diatoméer og dinoflagellater som helt preger planktonet i området. Blant diatoméer er det særlig Skeletonema costatum (Greville) Cleve som har stor forekomst. Det er vist at populasjonene av denne diatoméarten til enhver tid er større enn den til samme tid påviste samlede dinoflagellatpopulasjon. I september 1956 ble det tallet inntil 25 600 000 celler av Skeletonema costatum (Greville) Cleve pr. liter fjordvann.

Dinoflagellatbestanden hadde to maksima i undersøkelsesåret, henholdsvis i juni og september. Under oppblomstringen av dinoflagellatene i juni er det en rekke arter som inngår i planktonet. Særlig var disse artene vanlige i prøvene: Prorocentrum micans Ehrenberg, Exuviella baltica Lohmann, Ceratium tripos (O.F. Müller) Nitzsch., Ceratium longipes (Bailey) Gren., Dinophysis borealis Paulsen, Dinophysis norvegica Claparède et Lachman, Peridinium pellucidum (Bergh) Schütt, Peridinium triquetrum (Ehrenberg) Lebon og Peridinium trochoideum (Stein) Lemmermann.

Oppblomstringen med dinoflagellater i september var dominert av Prorocentrum micans Ehrenberg og ulike arter av Ceratium Schrank.. De vanligste artene var: Ceratium furca (Ehrenberg) Claparède et Lachmann, Ceratium fusus (Ehrenberg) Dujardin, Ceratium tripos (O.F. Müller) Nitzsch, Dinophysis acuta Ehrenberg, Dinophysis borealis Paulsen, Dinophysis norvegica Claparède et Lachmann, Peridinium pellucidum (Bergh) Schütt og Peridinium triquetrum (Ehrenberg) Lebon.

Observasjonene fra 14. august 1964 gir i hovedtrekkene de samme opplysninger om planktonforholdene på ettersommeren som beskrivelsen fra samme tid i 1956. I tabell 5 er det stilt sammen resultatene av den mikroskopiske undersøkelse av håvtrekkmateriale. Det ble benyttet planteplanktonhåv med møllesilke no. 25 ved innsamlingen. Skeletonema costatum (Greville) Cleve hadde størst forekomst på de fleste stasjoner. Dinoflagellater var representert med mange arter og hadde stor mengdemessig forekomst. Ceratium tripos (O.F. Müller) Nitzsch og Ceratium furca (Ehrenberg) Claparède et Lachmann hadde gjennomgående stor mengdemessig forekomst på alle stasjoner.

De enkelte stasjoner varierte med hensyn til vannmassenes innhold av plankton. Håvtrekkmaterialet fra st. 2 (Kanalen, vest), st. 3 (Kanalen, øst), st. 5 (Husøyrenna), st. 6 (Ekenessundet) og st. 7 (Træla) representerte planktonrike lokaliteter. En mindre planktonrik lokalitet var st. 8 (Vestfjorden), denne stasjon hadde en variert dinoflagellatforekomst. St. 4 (Kilen) var også relativt fattig på plankton. For denne siste stasjon var det karakteristisk at Skeletonema costatum (Greville) Cleve for en stor del var erstattet av diatoméen Grammatophora (Ehrenberg) sp. i håvtrekkmaterialet. Forholdene på stasjon 1 (Byfjorden) var meget spesielle. Håvtrekkmaterialet besto for en stor del av detritus, leire- og sandpartikler. Planktoninnholdet i vannmassene var lite, og ferskvannsarter hadde forekomst i materialet. I den delen av Byfjorden hvor denne prøven var innsamlet var det transporten fra Aulielva som preget partikkelinnholdet i vannmassene.

### Benthos

Hele det undersøkte området viste en frodig utvikling av vegetasjon og fauna. Foruten betydelige forekomster av alger var det store bevoksninger med rotfestet vegetasjon (rhizofyter). Faunaen var hovedsakelig sammensatt av arter karakteristiske for bløtbunns-samfunn. Mengdemessig utgjorde dyrekomponenten en vesentlig del av biomassen.

Ved Aulielvas munningsområde dannet Phragmites communis Trin. og Scirpus Tabernaemontani (Gmd.) sammenhengende enger ved bredden og i grunne områder. Over mudderflatene var det utviklet store bestander av algene Ulva lactuca (L.) Le Jol. og Enteromorpha Link spp. (her og i det følgende er det ikke gjort noe forsøk på en nærmere vurdering av disse artenes taxonomiske forhold). Løsrevne flak av algebegroingene fløt i overflaten så tett at det vanskeliggjorde innsamling av håvtrekkmateriale av plankton.

Tabell 5. Håvtrekkmateriale innsamlet 14. august 1964

Organismer	Stasjon							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>SCHIZOPHYCEAE</b>								
Merismopedia punctata Meyen	1							
Oscillatoria Vaucher sp.			1			1		
<b>CHLOROPHYCEAE</b>								
Oedogonium Link sp.	1							
Ulothrix Kützing sp.	1							
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>								
Achnanthes cf. minutissima Kützing	1							
Chaetoceros affinis Lauder								1
Chaetoceros cf. anastomosans Grunow		2						
Chaetoceros compressus Lauder								2
Chaetoceros decipiens Cleve								1
Chaetoceros C.G. Ehrenberg spp.	1	1	1	2	2	2		
Grammatophora Ehrenberg sp.				4				
Gyrosigma acuminatum Rabenh.	1							
Melosira Agardh sp.				2				
Nitzschia closterium (Ehrenberg)W.Smith					1			
Pleurosigma elongatum W. Smith	1							
Rhizosolenia alata Brightwell							2	
Rhizosolenia fragilissima Bergon						2		
Skeletonema costatum (Greville) Cleve	2	5	5	2	5	5	5	3
Ubest. pennate diatoméer				3				
<b>DINOPHYCEAE</b>								
Ceratium furca (Ehrenberg) Claparéde et Lachmann	3		3		3	1	2	3
Ceratium fuscus (Ehrenberg) Dujardin								1
Ceratium longipes (Bailey) Gran.							3	1
Ceratium macroceros (Ehrenberg) Cleve	1						1	
Ceratium tripos (O.F.Müller) Nitzsch.	3	2	3	4	4	2	3	4
Ceratium Schrank spp.			1	1	2	1		
Dinophycis acuta Ehrenberg			3	1	2	2	1	
Exuviella baltica Lohmann		2			2	1	1	1
Peridinium minuscula Pavillard								1
Peridinium triquaetrum (Ehrenberg)Lebom		2	2		3	1		3
Peridinium trochoideum(Stein)Lemmermann	2					1		1
Peridinium Ehrbg.		1		3			2	
Prorocentrum micans Ehrenberg		2			2	1	2	1

(forts.)

(subjektiv vurdering av mengdemessig forekomst, se fotnote side 30)

Tabell 5 (forts.)

Organismer	Stasjon	1	2	3	4	5	6	7	8
CILIATA									
Codonella lacustrus Entz.		2	1	1					
Tintinnider		2		3		3	2	2	
CRUSTACEA									
Evadne nordmanni Lovén							1		
Podon intermedius Lillj.							3		
Nauplier							1		

Skala for subjektiv vurdering av mengdemessig forekomst:

- 1, sjelden
- 2, sparsom
- 3, vanlig
- 4, hyppig
- 5, dominant

I Byfjorden var det på dypere vann (ned til 3 m) bevoksninger av Zostera marina L. Epifyttiske diatoméer og grønnalger koloniserte alle overflater. I kontaktflaten mellom vannmassene og bunnen var det stor forekomst av copepoder og nematoder. Faunaen var dominert av bløtdyr med Mytilus edulis Linné i masseforekomst hvor det var gunstig vannutskiftning. Asterias rubens Linné var typisk i dette samfunn. Fra tidevannssonen og ned til større dyp var Littorina littorea Linné utbredt, og hadde tildels stor mengdemessig forekomst.

Kanalen (mellom stasjon 2 og 3) viste i hovedtrekkene den samme utforming av organismelivet som Byfjorden. Zostera marina L. var vanlig i de vestlige avsnitt, mot øst var det økende forekomster av Ruppia maritima L. Algebevoksningene var helt dominert av Enteromorpha Link spp. og Ulva lactuca (L.) Le Jol.. Som epifyttiske alger gjorde arter av slektene Ectocarpus Lyngbye og Pylaiella Bory seg sterkt gjeldende. Løsrevne flak av algebegroingene var flytende i overflaten av Kanalen. På avsnitt med gode strømforhold var det masseforekomst av Mytilus edulis Linné hvor dyrene forekom i tildels store klumper på fast underlag.

De biologiske forhold i Kilen var preget av den frodige utvikling av bentiske samfunn. Figur 9 (side 22) viser et utsnitt av den vanligste vegetasjonstype i dette grunne brakkvannsområde. Dominerende arter var Ulva

lactuca (L.) Le Jol. og Enteromorpha Link spp. sammen med Ruppia maritima L. Bevoksningsene var i en sjelden kraftig utforming. Det ble f.eks. flere steder funnet eksemplarer av Ulva lactuca (L.) Le Jol. med opptil 1 m<sup>2</sup> store thalli. En artsrik vegetasjon av epifyttiske diatoméer og brunalger koloniserte de større planter. Særlig var Ruppia maritima L. overvokst med brunalger.

Flere steder i Kilen var det bevoксninger med Zostera marina L.. Bestandene dekket store arealer. I disse velutviklede plantesamfunn var det et variert dyreliv hvor en rekke av vanlige brakkvannsinvertebrater var representert i betydelig mengdemessig forekomst.

Det ble i Kilen observert et stort antall av skrubbe (Pleuronectes flesus Linné), og ål (Anguilla vulgaris Linné) var vanlig. Det kan også nevnes at Kilen er et område med særlig rikt fugleliv.

Træla hadde en betydelig vegetasjon av benthiske arter. Zostera marina L. hadde relativt større forekomst enn Ruppia maritima L.. Mot Husøyrenna tiltok vegetasjonen av større brunalger, og Chorda filum (L.) Stackh. dannet enkelte steder store bestander.

#### Forurensningsvirkninger

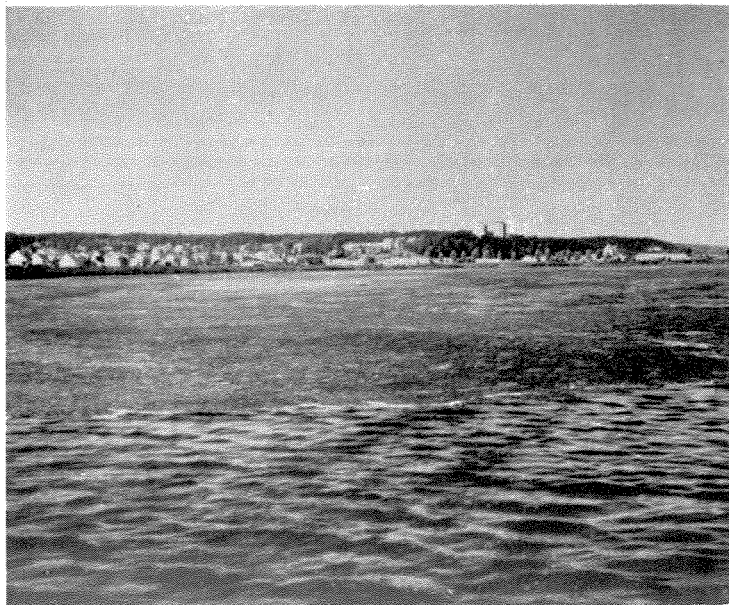
Ved befaringer i fjordarmen innenfor Nøtterøy er det mange forurensningsvirkninger som er iøynefallende (figur 12 og 13).

En rekke kloakkutslipp ledes ut i fjorden på en vilkårlig måte. Det dannes utstrakte slambanker ved områdene for de største utslippene. Kloakkvannets innhold av flytende bestanddeler driver omkring i fjordvannet og spres med vind og strømmer, kloakkpartikler gjør vannet turbid. Søppel og annet avfall fra tilfeldige tømmeplasser flyter langs strender og ligger spredt utover de grunne mudderflater. I havneområdet kan det fra store industriavløp slippes mengder av avfall fra matvareproduksjon som blir flytende omkring i overflatevannet. Tallrike kloakkrør munner ut i strandkant uten å være neddykket, og lukt av kloakk brer seg i deres nærhet. Oljeforurensninger gjør seg vanlig gjeldende. Primære forurensningsvirkninger av slik art utgjør i vesentlig grad det forurensningen av fjorden står for i alminnelig omdømme.

Sekundære forurensningsvirkninger er betinget av den produksjon av organisk stoff som innholdet av gjødselstoffer i avrenningsvann og kloakkvann fører til. I vegetasjonsperioden blir det en frodig vekst av alger og frøplanter. Bestanddeler av denne vegetasjon river seg løs og driver omkring,



Figur 12. Primære forurensningsvirkninger. Nær kloakk-  
munningene dannes slambanker, og kloakkvannets  
flytende bestanddeler driver omkring i overflaten  
av fjorden.  
Trelleborg-grunna, 14. august 1964.



Figur 13. Sekundær forurensningsvirkninger. Gjødse-  
stoffene som når fjorden gir grunnlag for rikelig be-  
groing. Løsrevne deler av vegetasjonen flyter i  
overflaten, danner større ansamlinger og råtner.  
Kilen, 14. august 1964.



det dannes tildels store ansamlinger av organisk materiale som blir liggende og råtne og gir opphav til luktulemper. Det er særlig grønnalgene Enteromorpha Link spp. og Ulva lactuca L. Le Jol. som danner disse flytende flak med råtnende stoff. På grunn av voksemåte og morfologi gir de lett opphav til problemer av denne type. Det er en rekke eksempler fra kystområder hvor vekst av disse algene kan gi årsak til praktiske ulemper (Sawyer, C.: The sea lettuce problem in Boston Harbor, Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 37, No. 8, pp. 1122-1133, 1965). I bukter og stillere partier av fjordavsnittet hvor disse løsrevne bestanddeler av vegetasjonen hoper seg opp, vil det i sommerhalvåret bli en betydelig oppvarming av vannet mellom det organiske materialet. Vannsjiktet under de flytende vegetasjonsmasser blir beskyttet for sirkulasjon og samtidig avstengt fra kontakt med luft. Dette er gunstige betingelser for en nedbrytning av det organiske materiale som fører til råtne forhold i vannet og dannelselse av dihydrogensulfid (svovelvannstoff).

### 3. LABORATORIEFORSØK MED ALGEKULTURER

Eutrofiering er primært en tilførsel til en vannmasse med plantenæringsstoffer som fører med seg øket plantevekst. Algene representerer en vesentlig andel av primærprodusentene, og en øket algevekst er gjerne nøye knyttet til utviklingen mot eutrofi i et fjordområde av Tønsbergfjordens type. Ved praktiske forurensningsundersøkelser inngår en biologisk vurdering av vannmassenes gjødslingspåvirkning. Kunnskap som kan danne utgangspunkt for en slik vurdering er fremskaffet gjennom kulturforsøk med alger.

Følgende arter er benyttet som testorganismer:

*Selenastrum capricornutum* Printz

*Skeletonema costatum* (Grev.) Cl.

*Chlorella ovalis* Butcher

Den førstnevnte algen er en ferskvannsart og ble brukt i forsøkene med avrenningsvann. De to sistnevnte artene, som er isolert fra Oslofjorden, ble benyttet i forsøkene for å karakterisere fjordvannets innhold av plantenæringsstoffer og fjordvannets reaksjon på kloakkvannsbelastning.

Frengangsmåten ved algekulturforsøkene er summarisk som følger:

1. Vannprøvene filtreres gjennom glassfiberfiltere og podes fra en klon av algen.

2. Vekstforsøket gjennomføres i kulturkolber som ristes for å motvirke stagnerende forhold. Dyrkingen foregår ved 20 °C og i belysning med lysstoffrør som gir 6 000 lux.
3. Veksten av testorganismen som realiseres følges ved daglige observasjoner av algemengden ved telling av celler med celloscope.

Den resulterende vekstkurve diskuteres og sammenliknes med kurver som oppnås ved vekstforsøk med testalgen i kulturløsninger av kjent sammensetning. Vekstkurven uttrykker et mål for mengden av plantenæringsstoffer som er tilgjengelige for testalgen i den aktuelle vannprøven.

### 3.1. Avrenningsvann

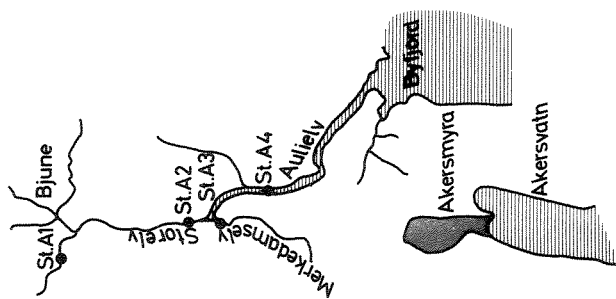
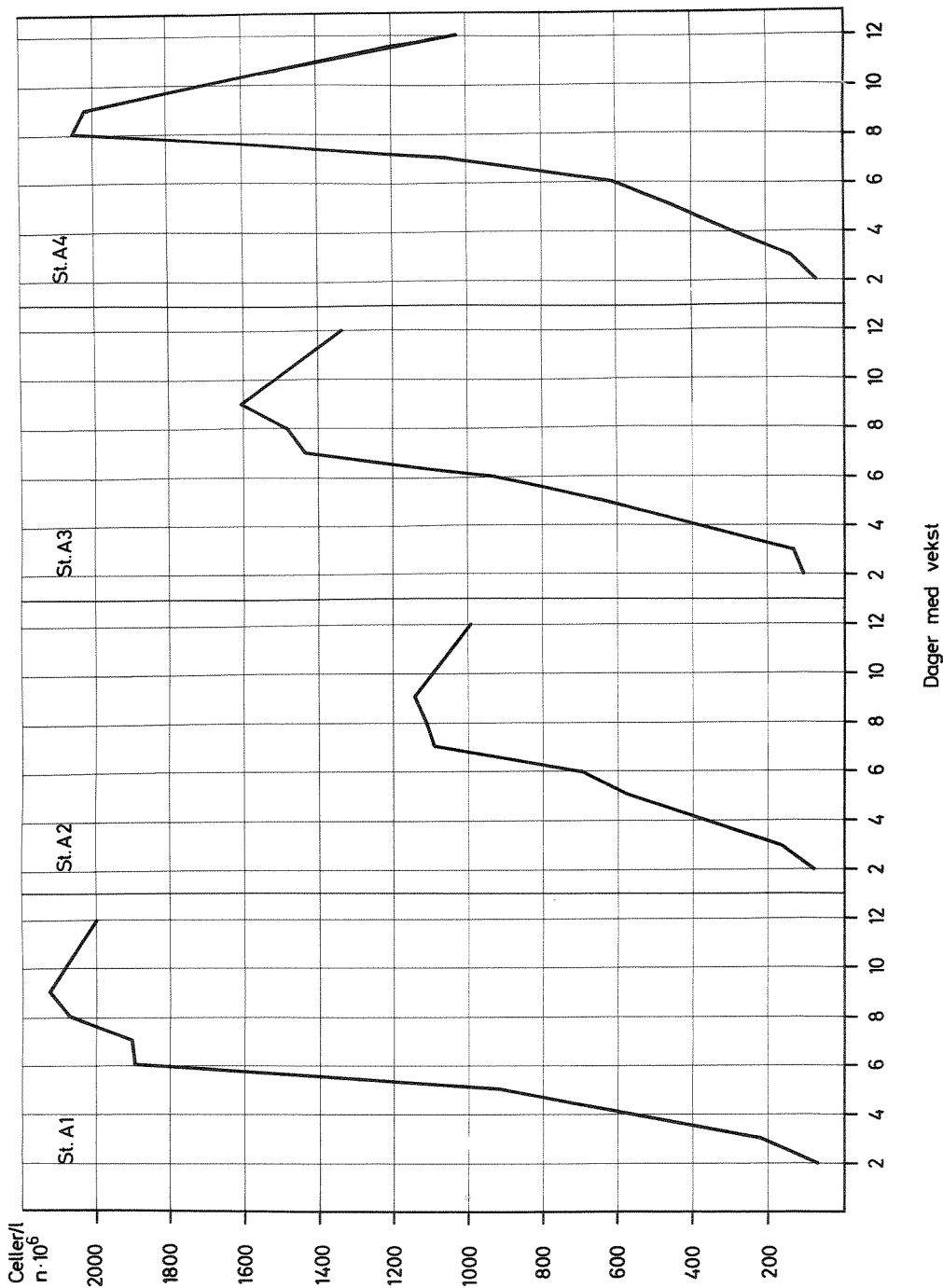
For å karakterisere avrenningsvannets innhold av plantenæringsstoffer tilgjengelige for algevekst ble det utført vekstforsøk med vannprøver innsamlet fra Aulielva og Vellebekken.

I figur 14 er resultatene av kulturforsøk med Selenastrum capricornutum i vannprøver fra Aulielva innsamlet fra fire stasjoner 10. februar 1964 inntegnet. Stasjonenes beliggenhet i vassdraget fremgår av kartskissen til venstre på figuren. Vekstkurvene viser at vannmassen ved stasjon A1 hadde et høyt innhold av plantenæringsstoffer. Det var et lavere innhold av plantenæringsstoffer ved stasjon A2, deretter viser vekstkurvene for stasjon A3 og A4 at vannmassene på nytt gir bedre vekstmuligheter for alger. Uten å kunne gi en forklaring på den regionale variasjon i vannmassenes evne til å underholde algevekst kan følgende forhold fremheves. På hele den undersøkte elvestrekning var vannmassene sterkt belastet med plantenæringsstoffer. Da dette også var tilfelle på stasjon A1, hvor Aulielva enda ikke har mottatt noen særlig kloakkvannsbelastning, fremgår det at bidraget med plantenæringsstoffer fra dyrket mark var av utslagsgivende betydning for vannmassenes gjødslingspåvirkning.

Det ble utført vekstforsøk med Selenastrum capricornutum i vannprøver innsamlet i munningene av henholdsvis Aulielva og Vellebekken 15. august 1964. Resultatet er inntegnet i figur 15. Søylene representerer mengden av organisk stoff som var dannet av testalgen ved vekstkurvens kulminasjon, og er angitt som kjemisk oksygenforbruk bestemt etter oksydasjon med  $K_2Cr_2O_7$ .

For Selenastrum capricornutum er det bestemt et omregningstall tilsvarende  $4,5 \cdot 10^{-8}$  mg O/celle. På figuren er også resultatene fra vekstforsøket med vann fra Aulielva innsamlet 10. februar 1964 inntegnet. Resultatene viser at vannet i munningsområdene for Aulielva og Vellebekken er særlig

Vannprøvene innsamlet 10/2 - 1964  
 Vekstforsøk utført 12/2 - 24/2 - 1964



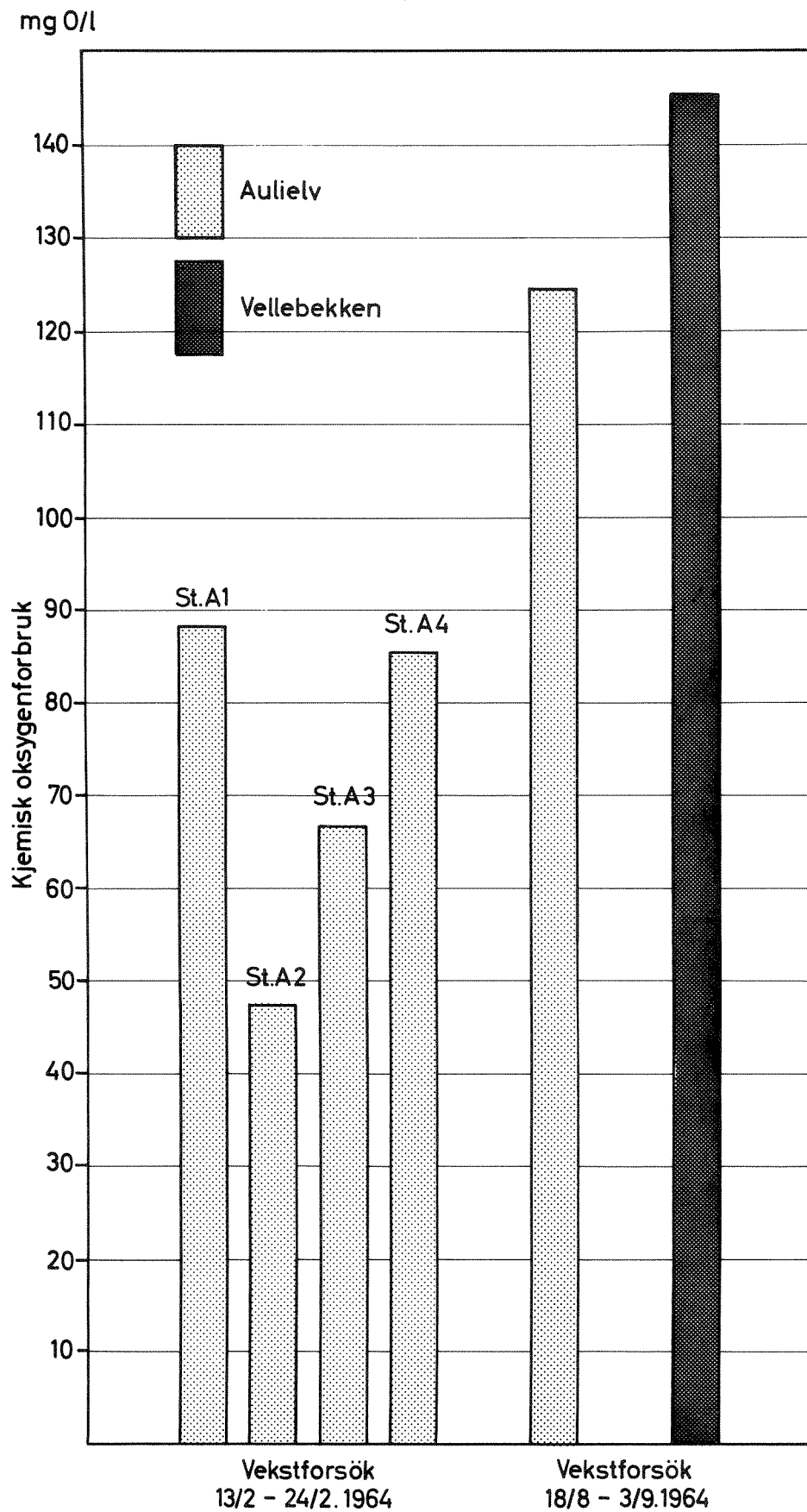
05/1g

NORSK INSTITUTT FOR  
 VANNFORSKNING  
 BLINDERN

Vekstforsøk med *Selenastrum  
 capricornutum* i vannprøver fra  
 Aulielv. Vannprøver innsamlet 10/2 - 64.

Fig. 14

O-38/62 191



O.S./khö.

belastet med gjødselstoffer. Det kan nevnes at det kjemiske oksygenforbruk som tilsvarende veksten som ble realisert i vannprøven fra Vellebekkens munningsområde er av samme størrelsesorden som det kjemiske oksygenforbruk som et råkloakkvann av Skarpsno-typen har (Skarpsno kloakkrenseanlegg, Oslo kommune, med kloakkvann fra 50 000 personer).

Erfaringene med vekstforsøkene utført med avrenningsvann fra disse nedbørfeltene viser at det er eutrofe vannmasser som føres til Tønsbergfjorden. Det spesielle forhold at vassdragene er fattige på innsjøer, og at de renner gjennom områder som betinger turbide vannmasser, gjør at plantenæringsstoffene i liten utstrekning holdes igjen på vassdragsstrekningen. Først i fjordområdet vil plantenæringsstoffene gjøre seg gjeldende med stor produksjon av organisk stoff.

### 3.2. Fjordvann

Vannprøver til vekstforsøk ble innsamlet 10. desember 1963 og 14. august 1964. Til disse forsøkene med sjøvann ble testalgen Chlorella ovalis benyttet.

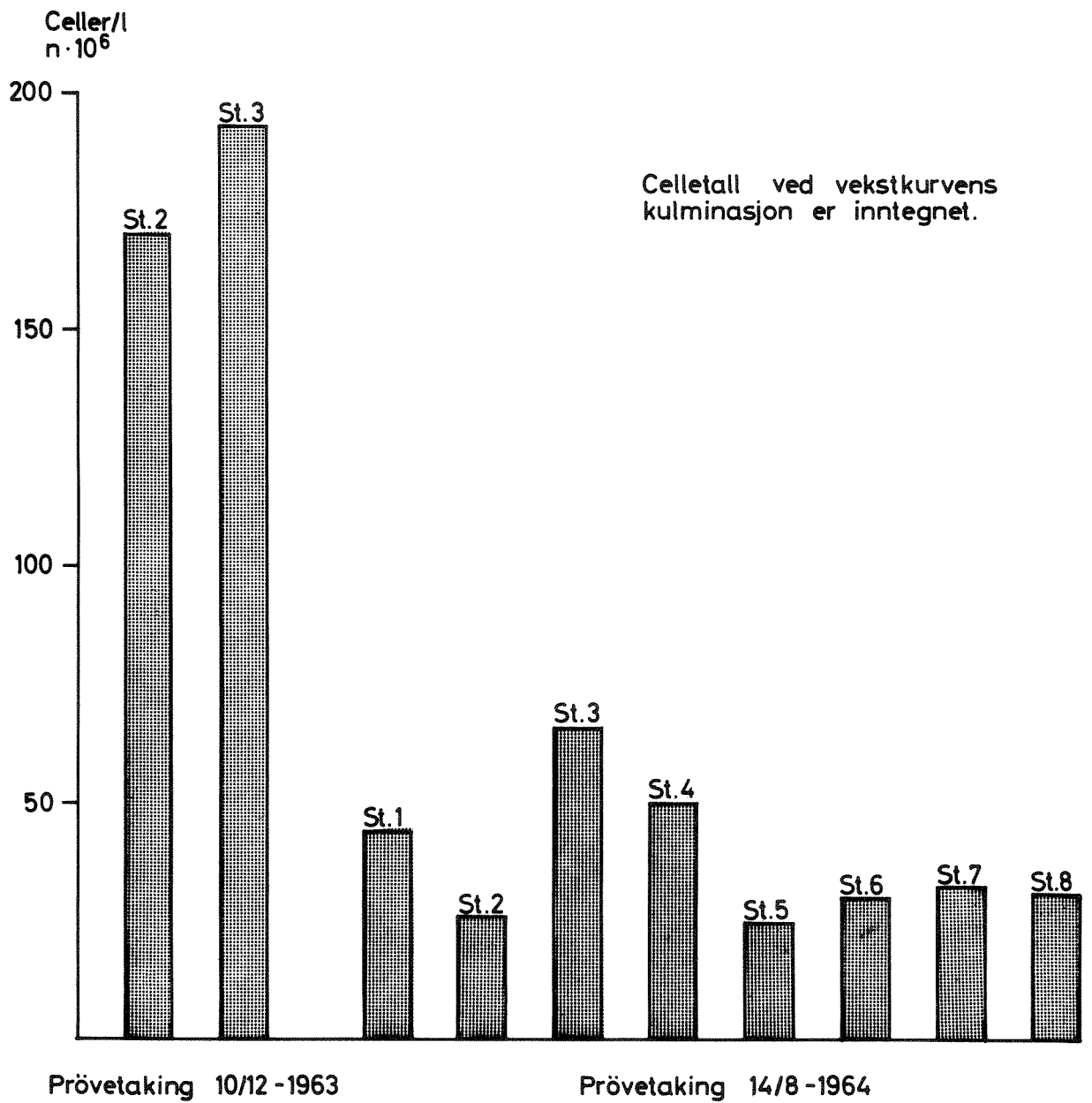
Resultatene av vekstforsøk med vannprøver fra stasjon 2 (Kanalen, vest) innsamlet om vinteren og sommeren er inntegnet i figur 16. Vekstkurvene viser at det var betydelig forskjell i vannmassenes evne til å underholde algevekst til disse to tidspunkter. Det er rimelig å anta at forskjellen skyldes den effektive utnyttelse av plantenæringsstoffene av plantelivet i fjordsystemet under vegetasjonsperioden.

I figur 17 er resultatene av vekstforsøk med Chlorella ovalis i vannprøver innsamlet i Tønsbergfjorden på de ulike stasjoner inntegnet. Søylene representerer celledtall av testalgen ved vekstkurvens kulminasjon. De variasjoner regionalt som diagrammet viser er små. Størst vekst ble påvist ved stasjonene 3 (Kanalen, øst), 4 (Kilen) og 1 (Aulielvas munning).

Resultatene fra vekstforsøkene med fjordvann viser at innholdet av plantenæringsstoffer var begrensende for utviklingen av algevekst i de frie vannmasser ved prøvetakingen 14. august 1964. I vinterhalvåret er det grunn til å regne med at vegetasjonsutviklingen er begrenset av fysiske vekstfaktorer.

### 3.3. Fjordvannets reaksjon på kloakkvannsbelastning

Det ble gjort vekstforsøk med Chlorella ovalis og Skeletonema costatum for å undersøke vekstegenskaper i blandinger av kloakkvann og sjøvann.



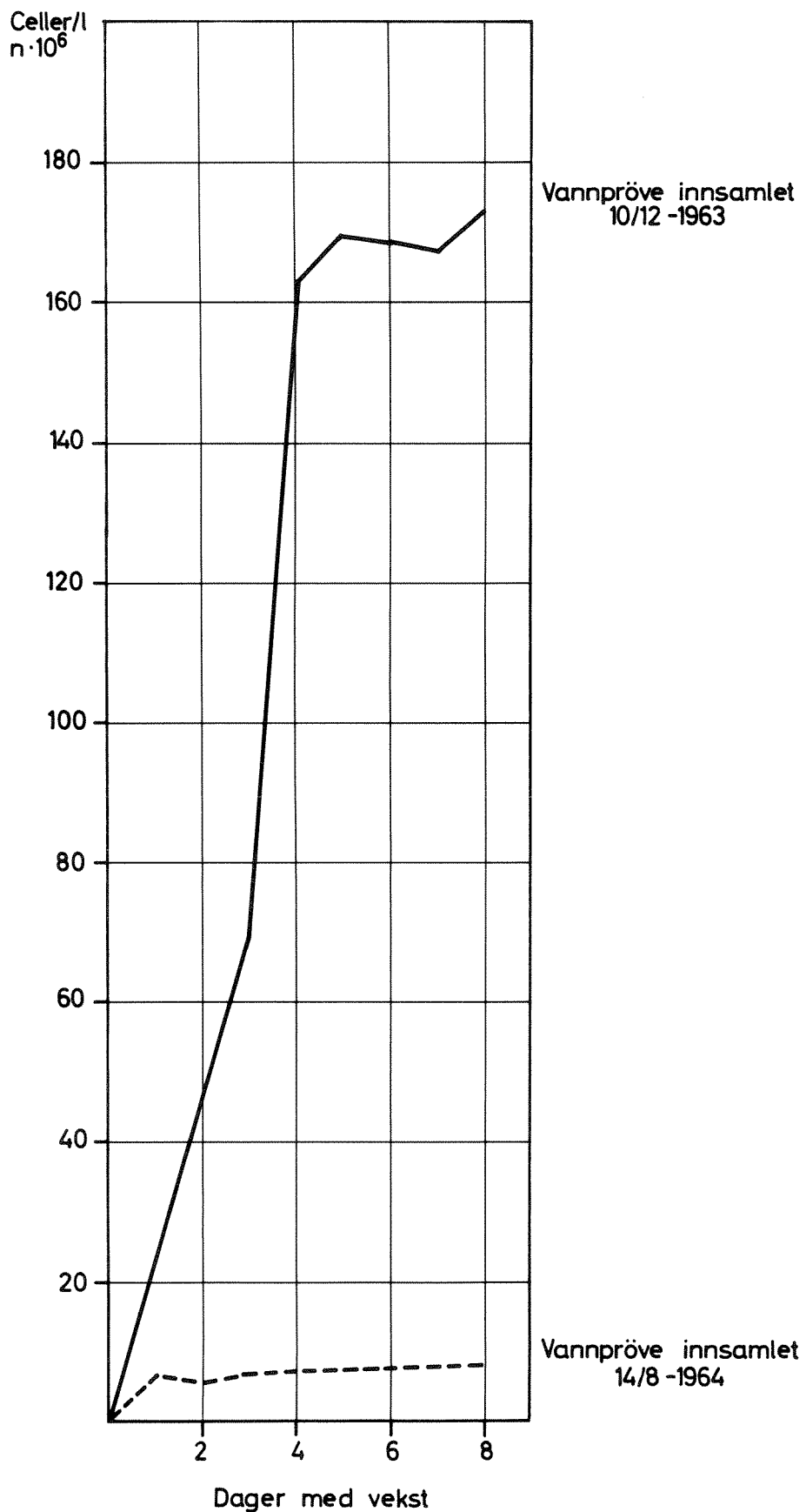
O.S./lg.

**NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING**  
BLINDERN

Vekstforsøk med *Chlorella ovalis* i  
vannprøver innsamlet i Tönsbergfjord  
10/12 - 1963 og 14/8 - 1964

Fig. 16

O-38/62 3306



O.S./lg

**NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING**  
BLINDERN

Vekstforsøk med *Chlorella ovalis* i  
vannprøver innsamlet i Kanalen  
10/12 -1963 og 14/8 -1964

Fig. 17

O-38/62 3305

Skeletonema costatum er den algen som har størst forekomst i de fri vannmasser av Tønsbergfjorden gjennom hele året, og som periodisk kommer til masseutvikling.

Til forsøkene ble det benyttet vannprøver fra stasjon 8 (Vestfjorden) innsamlet 10. desember 1963. Det ble laget en rekke fortyninger med tilsetning av kloakkvann. Som kloakkvann ble benyttet glassfiberfiltrert råkloakkvann fra Skarpsnoanlegget i Oslo. Kloakkvannet ble tilsatt 30 g NaCl/l. Det ble derved konstant saltholdighet i de ulike blandinger av sjøvann og kloakkvann. Fra undersøkelser tidligere utført ved instituttet var det kjent at veksten av Skeletonema costatum kan være begrenset av tilførsler av jern-forbindelser med avrenningsvann. For å kontrollere dette forhold i forbindelse med forsøket ble det gjort paralleller for Skeletonema costatum med og uten tilsetning av Fe-komplekson.

Resultatet av forsøket er gjengitt i den grafiske fremstilling i figur 18. For Skeletonema costatum ble det liten forskjell mellom seriene med og uten jern-tilsetning. Når kloakkvannskonsentrasjonen ble større enn 60 % kom det ikke til vekst av Skeletonema costatum. Dette forhold at veksten av denne algen hemmes ved sterke kloakkvannskonsentrasjoner er også funnet tidligere. Hvis kloakkvannstilsetningen overstiger 10 % begynner veksten av Skeletonema costatum å bli sterkt påvirket. Ved tidligere undersøkelser er det funnet for vannprøver fra ytre Oslofjord at tilsetningen av 1 - 2 % kloakkvann er grenseområdet hvor veksten av Skeletonema costatum blir merkbart influert.

Forsøket med Chlorella ovalis viser at det trengs større kloakkvannstilsetninger til sjøvannet enn for Skeletonema costatum for å gi et tilsvarende vekstutslag av denne algen.

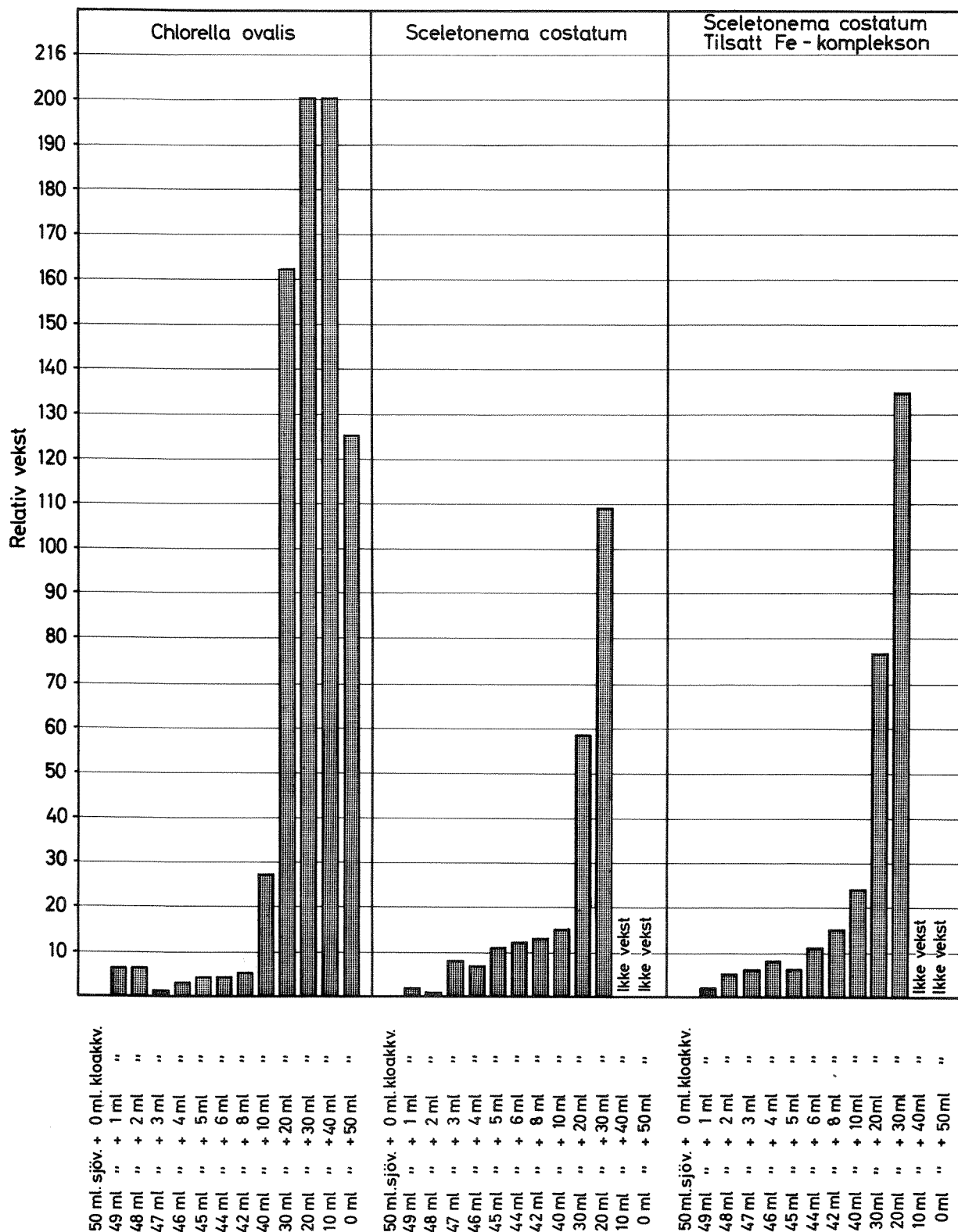
Erfaringene med dette forsøket indikerer at hvis vekst av alger skal benyttes ved fastleggelse av kvalitetskrav for fjordvannet bør en fortyning på 100 (10 ml kloakkvann pr. liter sjøvann) forsøkes oppnådd. Hvis fortyningen nærmer seg 10 er det grunn til å regne med meget store endringer i algeveksten i fjordvannet.

#### 4. DISKUSJON AV RESULTATENE

Fjordområdet innenfor Nøtterøy utgjør et system hvor forurensningspåvirkninger lett gjør seg gjeldende. Det er store grunnområder hvor saltvann møter avrenningsvann fra et nedbørfelt karakterisert av leirsedimenter og med intensiv jordbruksmessig utnyttelse og betydelig bosetting. Disse



Vannprøver innsamlet 10/12, 1963.  
 Vekstforsøk utført 8/1 - 21/1, 1964.  
 Råkloakkvann fra Skarpsnoanlegget i Oslo



forhold betinger i seg selv utvikling av en rekke hydrografiske og biologiske særegenheter som karakteriserer brakkvannslokalteter. Som en ytterligere påvirkning av området kommer den direkte kloakkvannsutledning til fjorden.

Det er vanskelig å vurdere i hvor stor utstrekning disse forskjellige bidrag er med å lage forurensningssituasjonen, men undersøkelsesresultatene viser at det er grunn til å regne med at belastningen som stammer fra nedbørfeltet er av betydelig størrelsesorden.

Naturforholdene i Tønsbergområdet er i stor utstrekning influert av menneskelig påvirkning. I vannforekomstene gjør dette seg særlig gjeldende gjennom de forandringer av biologisk art som belastningen med forurensninger fører til. Den komplekse forurensningssituasjon kan betraktes som sammensatt av primær saprobisering, eutrofiering og sekundær saprobisering. Med primær saprobisering forstås her de direkte forureningspåvirkninger som den store tilførsel med organisk stoff til resipienten medfører, mens eutrofiering innebærer forurensningenes gjødslingspåvirkning av vannmassene som muliggjør dannelse av nytt organisk stoff med sekundær saprobisering til følge.

Det er viktig å understreke at i forhold til problemstillingens vanskelighetsgrad, er det et beskjedent materiale av observasjoner og eksperimentelle resultater som ligger til grunn for denne fremstilling.

Resultatene av undersøkelsen viser at det er eutrofiering som er hovedproblemet ved forurensningene av vannmassene i området. Forurensningens gjødslingseffekt på fjordvannet viser seg ved utvikling av en frodig vegetasjon i de fri vannmasser og på strender og grunne områder. Både alger og arter av frøplanter inngår i plantesamfunnene. Det er karakteristisk for området at en betydelig del av det produserte, organiske stoff er i form av bentiske arter (organismer knyttet til et underlag). Disse plantene river seg løs og driver sammen i flytende masser som ligger og råtnet. Denne nedbrytning av organisk stoff produsert i fjorden er en vesentlig årsak til de praktiske ulemper som forurensningen gir opphav til. Primær saprobisering gjør seg gjeldende lokalt ved de fleste større kloakkvannsutslipp som er ledet ut i fjorden på en tilfeldig måte.

I det følgende skal eutrofieringsproblemet behandles noe mer inngående. Virkningene som kloakkvann har på en resipient kan summarisk sies å være en primær belastning av vannmassene med organiske stoffer som gjennom sin nedbrytning frigjør plantenæringsstoffer. Disse plantenæringsstoffer

betingelser en ny produksjon av organisk stoff som gir opphav til en sekundær belastning av resipienten med organisk stoff.

Resultatene av et vekstforsøk kan illustrere hvor stor denne sekundære belastning kan være i forhold til den primære belastning. I figur 19 er et slikt vekstforsøk beskrevet. Vannprøver fra to innsjøer, Maridalsvatn og Årungen, ble tilsatt samme mengde kloakkvann. Prøvene ble satt på et mørkt sted, og nedbrytningen av organisk stoff ble fulgt ved å måle innholdet av organisk stoff oksyderbart med kaliumbikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) med mellomrom. Etter 10 døgn ble prøvene podet opp med Selenastrum capricornutum og satt til kultur under lysbetingelser. Produksjonen av organisk stoff ble også fulgt med kaliumbikromatbestemmelser. Veksten kulminerte etter 12 døgns dyrking. Innholdet av organisk stoff i prøvene var nå fra 5 - 10 ganger større enn det belastningen med kloakkvannet opprinnelig var.

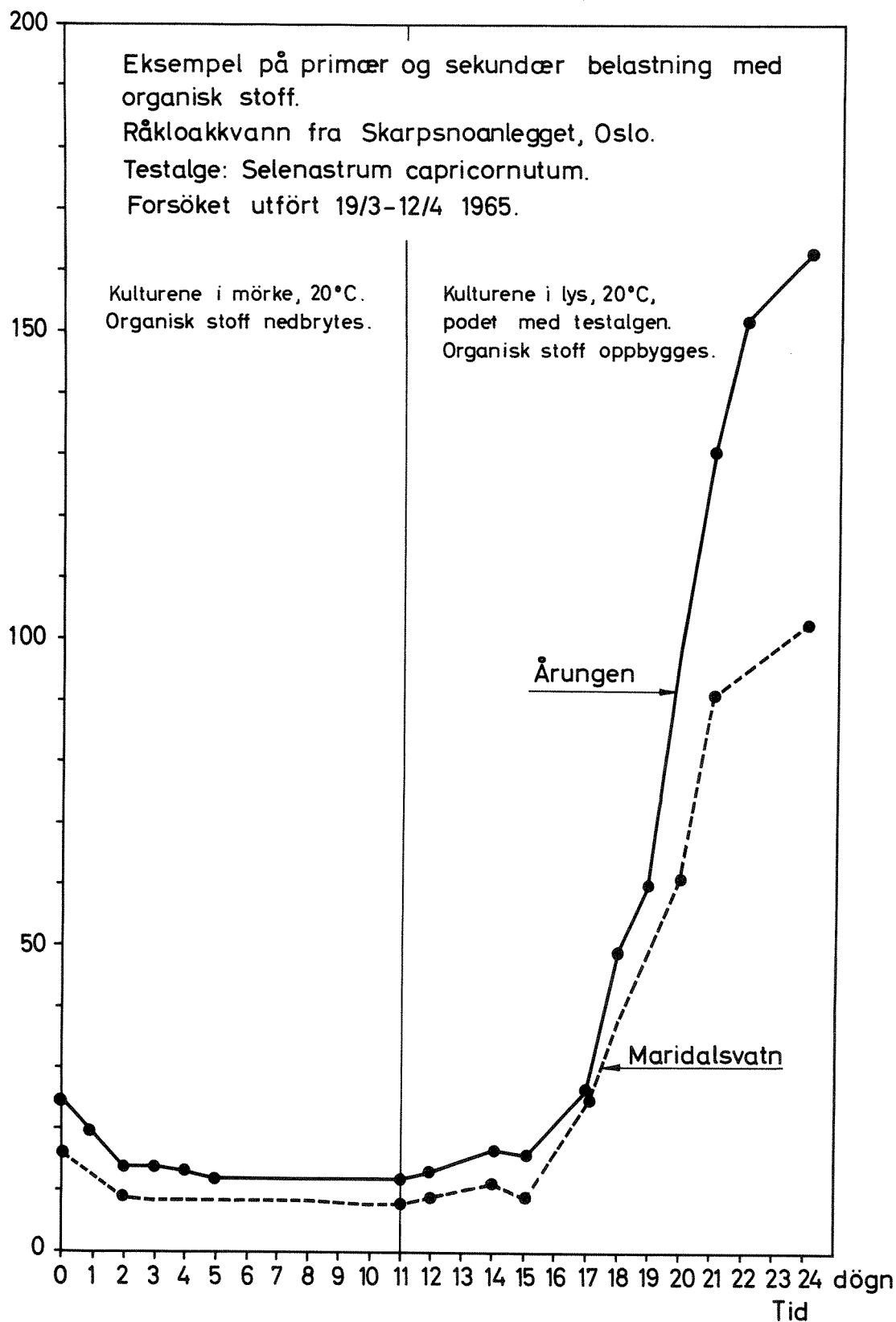
For å kunne gjøre seg opp en forestilling om hva de ulike belastninger innebærer for fjordsystemet innenfor Nøtterøy kan følgende betraktning gjennomføres. I år 2 000 vil det ifølge "Utkast til regionplan" (Bind 1, p. 15, 1965) bo ca. 80 000 mennesker i Tønsbergregionen. Det er nedenfor regnet med en befolkning på 100 000 mennesker i det aktuelle nedbørfelt.

Vi kan forutsette at det vil være 250 l kloakkvann pr. døgn og person. Dette kloakkvannet vil være tilnærmet av Skarpsno-kvalitet (se side 37) og utgjøre  $25 \cdot 10^6$  l/døgn. Denne kloakkvannsmengde vil gi en primærbelastning uttrykt som kjemisk oksygenforbruk tilsvarende  $0,4 \cdot 10^{10}$  mg O/døgn. Avrenningsvannet som når fjorden er  $1\,000 \cdot 10^6$  l/døgn og gir en primærbelastning målt som kjemisk oksygenforbruk på  $1,5 \cdot 10^{10}$  mg O/døgn. Ved å legge resultatene fra de utførte vekstforsøk til grunn kan sekundærbelastningen som kloakkvannet henholdsvis avrenningsvannet medfører, beregnes. Dette gir som resultat at i år 2 000 vil kloakkvannsbelastningen utgjøre ca. 36 % av belastningen som avrenningsvannet medfører. I tabell 6 stilles disse tallene sammen.

Denne oppstillingen er ikke ment å være en beregning av belastningen av fjordsystemet. Den kan bare være en illustrasjon på hva størrelsesorden av de to hovedbidragene med belastninger som fjorden mottar kan være.

Brakkvannsområder av den type Tønsbergfjorden representerer er fra naturens side produktive (Remane, A. und Schlieper, C.: Die Binnengewässer, Band XXII, Stuttgart 1958). Menneskelig virksomhet i nedbørfeltet og kloakkutslippene i fjorden har ført til en betydelig eutrofiering. Inn-

Bikromattall  
mg O/l



Tabell 6. Sammenlikning mellom primær og sekundær belastning med organisk stoff av henholdsvis avrenningsvann og kloakkvann

År 2 000	l/døgn	Primær belastning mg O/døgn	Sekundær belastning mg O/døgn	Total belastning mg O/døgn
Avrenningsvann	$1\ 000 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$9 \cdot 10^{10}$	$11 \cdot 10^{10}$
Kloakkvann	$25 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$

Forutsetninger: 100 000 mennesker med 250 l/døgn/person kloakkvann

Kloakkvann med Skarpsno-kvalitet (K.O.F. 150 mg O/l)

Avrenningsvann med Aulielv-kvalitet (K.O.F. 15 mg O/l)

viklede hydrografiske forhold karakteriserer vannmassene, og spesielle organismesamfunn befolker området. De fenomener som gjør seg gjeldende i fjordsystemet er betinget av brakkvannsvirkninger og forurensningsvirkninger. Resultatene av feltundersøkelsen og de forsøkene som er gjort i laboratoriet, indikerer at bakgrunnsbelastningen fra nedbørfeltet er meget stor. Dette gir grunn til å uttale at hverken en rensing av kloakkvannet for gjødselstoffer eller en utledning av kloakkvannet til en større resipient vil medføre en vesentlig forandring av forholdene i Tønsbergfjorden.

Det er en rekke lokale forurensningssituasjoner som er forårsaket av de mange utslipp av kloakkvann til fjorden. Dette medfører tilstander som er kritikkverdige. Oppgaven med å rette på dette vil innebære å forhindre dannelselse av slambanker, fjerne transporten av flytende kloakbestanddeler til fjorden og utnytte de fortynningsmuligheter resipienten byr på i størst mulig utstrekning.

Det vil være viktig å følge utviklingen i Tønsbergfjorden gjennom kjemiske og biologiske observasjoner ved regelmessige undersøkelser. Oksygenmangel er ikke påvist i dypområdene av Tønsbergfjorden. En dannelselse av anaerobe forhold vil være betenkelig, da dette vil kunne forandre stoffomsetningen i fjordavsnittet og raskt fremskynde eutrofieringen. Å følge dette forhold ved undersøkelser vil være av betydning for å forstå virkningene av videre disponering av kloakkvann til resipienten.

## 5. KONKLUSJON

Den hydrobiologiske undersøkelse av fjorden ved Tønsberg utført i tidsrommet 1963 - 1964, gir grunnlag for følgende uttalelser:

- 1) Ved sin utformning, brakkvannskarakter og beliggenhet i et nedbørfelt dominert av marine sedimenter utgjør resipienten et system hvor menneskelig virksomhet i stor utstrekning har satt sitt preg på hydrografiske og biologiske forhold i fjorden.
- 2) Det er en rekke lokale utslipp av kloakkvann og industriavløpsvann som har ført til kritikkverdige forhold der de munner ut i fjorden. Det dannes slambanker, og flytende materiale driver om med vannmassene.
- 3) Belastningen av fjorden med gjødselstoffer fra avrenningsvann og kloaker er betydelig og medfører plantevekst som gir stor sekundær belastning av vannmassene med organisk stoff. Denne eutrofiering, som er hovedproblemet i resipienten, viser seg i frodig vegetasjonsutvikling

med utstrakte algebegroinger av bl.a. grønnalgene Enteromorpha Link spp. og Ulva lactuca (L.) Le Jol. og store planktonoppblomstringer med bl.a. diatoméen Skeletonema costatum (Greville) Cleve og dinoflagellater.

- 4) Avrenningsvannet fra nedbørfeltet med Aulielva og Vellebekken er rikt på gjødselstoffer. Belastningen fra nedbørfeltet er av stor størrelsesorden og er i seg selv tilstrekkelig til å gi årsak til stor vekst av alger og høyere planter i fjordområdet.
- 5) Selv om fjerning av gjødselstoffer fra kloakkvannet, eller en disponering av kloakkvannet til en større resipient, vil føre til mindre belastning av Tønsbergfjorden, antas under de rådende forhold dette ikke å gi nevneverdige utslag med hensyn til redusert plantevekst eller sekundære forurensningsvirkninger.
- 6) Den praktiske behandling av kloakkproblemet bør bestå i en fjerning av avløpsvannets innhold av partikulær substans og flytestoffer, og en utledning til Tønsbergfjorden på en måte som best mulig utnytter fortynningsmulighetene i resipienten. Dette bør bli gjenstand for en utredning som settes i sammenheng med boligreising og videre industriutvikling.
- 7) For å kunne oppnå en slik løsning bør strømforhold og utskiftningsmekanismer i fjordsystemet undersøkes nærmere.
- 8) Utviklingen i fjordsystemet bør følges med regelmessige observasjoner. Programmet for dette arbeidet settes opp med bakgrunn i erfaringene fra denne undersøkelsen. Oksygenforholdene i dypområdene av Byfjorden og Træla bør vies spesiell oppmerksomhet.