

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Blindern

0-67/75

ENDRINGER I SAMMENSETNINGEN AV OVERFLATEVANNET I IDDEFJORDEN
SOMMEREN OG HØSTEN 1975 I FORBINDELSE MED PRODUKSJONSSTOPP
VED SAUGBRUGSFORENINGEN, HALDEN

Blindern, 5/4 1976

Saksbehandler: Jens Skei, Ph.D.

Medarbeider : cand.mag. Eli-Anne Lindstrøm

Instituttetsjef Kjell Baalsrud

FORORD

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fikk i medio juni 1975 i oppdrag av Det Kongelige Miljøverndepartement å foreta en undersøkelse av overflatevannet i Iddefjorden, under og etter en bedriftsstans ved Saugbrugsforeningen i Halden. Det ble antatt at en stans i utslippene fra papir- og cellulosefabrikken ville føre til en umiddelbar endring i overflatevannets kjemiske sammensetning. Bedriftsstansen ble gjennomført i perioden 23. juni-13. juli 1975. På grunn av dens varighet ble det sett på som meget viktig å få dokumentert de forventede endringer i overflatevannet og studere disse i relasjon til tidsfaktoren. En slik dokumentasjon ville gi et forhåndsvarsel på hva som vil skje og hvor raskt, når rensetiltak settes i verk ved Saugbrugsforeningen (jfr. St.prp. nr. 130, 1974-75). Samme problemstilling som her er brukt vil utvilsomt kunne brukes ved resipientundersøkelser i andre fjorder hvor industriutslipp influerer resipienten.

Innsamlet planktonprøver er blitt bearbeidet av cand.mag.

Eli-Anne Lindstrøm.

Siv.ing. Truls Krogh har vært ansvarlig for algekulturforskningene og klorofyllmålingene.

Takk rettes til laboratoriepersonell ved Gøteborgs Universitet, Sentralinstitutt for industriell forskning og NIVA for kjemiske analyser av vannprøver.

Velvillig assistanse under feltarbeidet ble ydet av Einar Andersen, Finn Erik Dahl, Lars Kirkerud, Frank Kjellberg og Aasmund Sjøberg.

Blindern, 5. april 1976


Jens Skei

INNHALDSFORTEGNELSE

| | Side: |
|--|-------|
| 1. SAMMENDRAG | 6 |
| 2. OPPDRAGETS MÅLSETTING | 10 |
| 3. SAUGBRUGSFORENINGEN - PRODUKSJON OG UTSLIPP | 10 |
| 4. TIDLIGERE UNDERSØKELSER I IDDEFJORDEN - SAMMENDRAG | 11 |
| 5. UNDERSØKELSESPROGRAM | 13 |
| 6. HYDROGRAFI | 16 |
| 7. SIKTEDYPSMÅLINGER | 25 |
| 8. LIGNIN | 29 |
| 8.1 Innledning | 29 |
| 8.2 Lignin i overflatevannet i Iddefjorden | 30 |
| 9. HUMUS | 34 |
| 9.1 Innledning | 34 |
| 9.2 Humus i overflatevannet i Iddefjorden | 34 |
| 10. TUNGMETALLER | 37 |
| 10.1 Innledning | 37 |
| 10.2.a Kvikksølv (Hg) | 37 |
| 10.2.b Kopper (Cu) | 43 |
| 10.2.c Sink (Zn) | 45 |
| 10.2.d Bly (Pb) | 48 |
| 11. KLOROFYLL <u>a</u> I OVERFLATEVANNET I IDDEFJORDEN | 50 |
| 12. VEKSTPOTENSIALMÅLINGER I IDDEFJORDEN | 53 |
| 13. PLANKTON | 57 |
| 14. REFERANSE | 65 |

TABELLFORTEGNELSE

| | Side: |
|---|-------|
| Tabell 1. Utførte målinger i Iddefjorden og Tista - foreløpig oversikt pr. 1.12.1969 | 12 |
| Tabell 2. Oversikt over anvendte analysemetoder | 17 |
| Tabell 3. Overflatesalinitet i Iddefjorden (°/oo) | 24 |
| Tabell 4. Hydrografiske målinger i to bassenger i Iddefjorden under tokt IV (24/10) | 24 |
| Tabell 5. Siktedypsmålinger i Iddefjorden ved tokt I-IV, sommeren og høsten 1975 | 26 |
| Tabell 6. Lignin i overflatevannet i Iddefjorden og i Tista | 31 |
| Tabell 7. Humus i overflatevannet i Iddefjorden og i Tista | 35 |
| Tabell 8. Metaller i sjøvannsprøver fra Iddefjorden og i ellevann fra Tista | 39 |
| Tabell 9. Kopper, bly, sink og kvikksølv i vannprøver fra stasjon 3 (24/10) | 41 |
| Tabell 10. Klorofyll <u>a</u> i vannprøver fra Iddefjorden og elva Tista | 51 |
| Tabell 11. Resultater av vekstforsøk med alger i vann fra Iddefjorden og Tista | 54 |
| Tabell 12. Plankton innsamlet ved håvtrekk (maskevidde 25 µ) i Iddefjorden og Singlefjorden sommeren og høsten 1975 | 59 |

FIGURFORTEGNELSE

| | Side: |
|---|-------|
| Figur 1. Vannføringen i Tista i relasjon til tidspunktene for toktene og produksjonen ved Saugbrugsforeningen (skravert felt = produksjon) | 14 |
| Figur 2. Iddefjorden - Prøvetakingssteder | 15 |
| Figur 3. Vertikalprofiler for salinitet (S) og temperatur (T) på stasjon 1 | 18 |
| Figur 4. Vertikalprofiler for salinitet (S) og temperatur (T) på stasjon 3 | 19 |
| Figur 5. Vertikalprofiler for salinitet (S) og temperatur (T) på stasjon 5 | 20 |
| Figur 6. Vertikalprofiler for oksygen (O ₂) og hydrogensulfid (H ₂ S) i Iddefjorden (24/10) | 23 |
| Figur 7. Variasjoner i siktedyp i Iddefjorden | 27 |
| Figur 8. Variasjoner i lignin-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden (merk endring i vertikalskala) | 32 |
| Figur 9. Variasjoner i humus-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden | 36 |
| Figur 10. Vertikal fordeling av kvikksølv (Hg), kopper (Cu), bly (Pb) og sink (Zn) på stasjon 3, 24/10. (Skravert område representerer overgangen mellom oksisk og anoksisk vann) | 42 |
| Figur 11. Variasjoner i kopper-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden | 44 |
| Figur 12. Variasjoner i sink-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden | 47 |
| Figur 13. Variasjoner i bly-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden | 49 |
| Figur 14. Variasjoner i mengdene av klorofyll <u>a</u> i overflatevannet i Iddefjorden | 52 |
| Figur 15. Variasjoner i vekstpotensialet hos sjøvannsalgen <i>Phaeodactylum tricorutum</i> i Iddefjord-vann | 55 |
| Figur 16. Variasjoner i vekstpotensialet hos ferskvannsalgen <i>Selenastrum capricornutum</i> i Iddefjord-vann | 56 |

1. SAMMENDRAG

1. En undersøkelse av overflatevannet i Iddefjorden ble gjennomført sommeren og høsten 1975 i forbindelse med en 3 uker lang bedriftsstans ved Saugbrugsforeningen i Halden.

Målsettingen med undersøkelsen var å studere effektene av en midlertidig stans i utslippene fra papir- og celluloseindustrien. Denne problemstillingen har stor aktualitet i dag, ettersom treforedlingsindustrien står overfor iverksettelse av omfattende rensesiltak i årene som kommer. Det er derfor av interesse å kunne fastslå hvilke endringer som kan forventes i fjordresipienten dersom utslippene opphører helt eller delvis. Ikke minst vil en slik undersøkelse være viktig for den videre planlegging av rensesiltak.

2. Målinger av siktedyp (siktbarheten i overflatevannet) viste verdier mellom 0,8 og 3,5 m under bedriftsstansen, mens siktedypet varierte mellom 0,3 og 1,75 m etter en lang produksjonsperiode ved Saugbrugsforeningen. Minimum siktedyp ble målt i elva Tista og maksimum siktedyp ved Kjeøya, like utenfor Iddefjordens munning. En vesentlig årsak til det lave siktedypet i Iddefjorden må antas å være de høye konsentrasjonene av brunfargede ligniner i avluten fra cellulosefabrikken. En større gjenvinningsprosent av avlut skulle således bevirke en bedring i siktedypet.

3. Konsentrasjonene av lignin i overflatevannet i Iddefjorden varierte mellom 0,34 og 5,35 mg/l under bedriftsstansen og 2,40 og 83,9 mg/l ved full produksjon. I Tista var konsentrasjonene av lignin høyest (275 mg/l) da det var produksjon ved Saugbrugsforeningen og lav vannføring i elva. Konsentrasjonsgradienten til lignin i overflatevannet mellom Halden og Svinesund avhenger av ferskvannstilførselen. Ved lav vannføring minket lignininnholdet fra 275 mg/l i Tista til 8,52 mg/l ved Svinesund, mens konsentrasjonene var tilnærmelesvis like i Tista og ved Svinesund ved stor vannføring. Ved lav vannføring vil oppholdstiden for overflatevannet bli lengere og det oppstår bedre blanding av elvevann og sjøvann. En del lignin

antas å sedimentere i fjorden ved koagulering av kolloidale lignosulfonater og/eller adsorpsjon av lignin til partikler. Ved stor ferskvannstilførsel skjer det en rask transport av lignin fra Halden til Svinesund, uten vesentlig innblanding og fortynning av sjøvann. I dette tilfellet er påvirkningen av avfallsstoffer fra Halden på området utenfor selve Iddefjorden ikke uvesentlig.

Det ble registrert gjennomsnittlig 36% minskning i ligninkonsentrasjonene i Iddefjorden mellom den 11. og den 19. dagen av bedriftsstansen. Dette illustrerer hvor kort tid det ville ta før overflatevannet ville være fri for lignin, dersom utslippene stanset.

4. Målinger av humus i overflatevannet viste at konsentrasjonene ikke var nevneverdig influert av utslipp fra treforedlingsindustrien, men i det vesentligste kontrollert av ferskvannstilførselen. Det ble derfor observert tilnærmet omvendt proporsjonalitet mellom humus og saltholdighet i overflatevannet i fjorden.
5. Målinger av kvikksølv i vannet ble gjort ut fra det hensyn at kvikksølv tidligere (før 1970) ble brukt som soppbekjempningsmiddel i treforedlingsindustrien. De andre metallene (kopper, bly og sink) ble valgt ettersom disse er kjente komponenter i kisaske, som er et avfallsprodukt fra treforedlingsindustriens framstilling av svoveldioksyd.

Konsentrasjonene av total kvikksølv varierte mellom 0,05 og 0,22 $\mu\text{g/l}$ under bedriftsstansen og 0,05 og 0,40 $\mu\text{g/l}$ ved full produksjon. Verdier som ikke overskrider 0,2 $\mu\text{g/l}$ kan tilskrives naturlige variasjoner, slik at konklusjonen blir at brakkvannsmassene i Iddefjorden bare var kontaminert da ferskvannstilførselen var liten og det pågikk utslipp fra Saugbrugsforeningen.

Konsentrasjonene av kopper var ikke vesentlig høyere enn hva som er funnet i lite påvirket kystvann (0,3-6,5 $\mu\text{g/l}$), bortsett fra i Tista da vannføringen var lav og konsentrasjonene av lignin og kvikksølv var høye.

Konsentrasjonene av sink viste ingen vesentlige forandringer fra tokt til tokt og varierte mellom 5 og 35 $\mu\text{g/l}$ i overflatevannet i fjorden. Disse verdiene kan betraktes som relativt normale, eller kanskje noe i overkant av hva som representerer upåvirket kystvann. Konsentrasjonene i elva (Tista) var noe høye (13-70 $\mu\text{g/l}$) uten at det er mulig å koble disse sinkkonsentrasjonene med avløpsvannet fra Saugbrugsforeningen.

Konsentrasjonsnivået for bly var høyt både i elva og i overflatevannet i fjorden, og det må antas at bly tilføres elva i betydelige mengder. Ved tre av fire målinger av bly i Tista varierte konsentrasjonene mellom 30 og 35 $\mu\text{g/l}$, mens konsentrasjonene i fjorden varierte mellom <1 og 23 $\mu\text{g/l}$. En viss korrelasjon mellom lignin og bly i prøvene antyder at bly stammer fra utslipp fra Saugbrugsforeningen.

Generelt kan det sies at bortsett fra bly, var metallkonsentrasjonene målt i overflatevannet i Iddefjorden ikke alarmerende høye, og vil neppe representere et alvorlig miljøproblem. Det bør understrekes at det bare er foretatt målinger i overflatevannet.

En av årsakene til at metallkonsentrasjonene ikke er høyere, trass utslipp av metallholdig avløpsvann, kan muligens være at sulfidholdig vann til visse tider når helt opp til overflaten. Dette fører til dannelselse av metallsulfider og påfølgende sedimentering. Dette kan forklare at det tidligere er påvist at sedimentene i Iddefjorden i betydelig grad er forurenset av metaller.

6. Det er søkt å påvise endringer i økosystemet i fjorden. Målinger av parametre som beskriver det biologiske system i fjorden er usikre og kompliserte å tolke. Dette skyldes de mange faktorene som spiller inn og som gjør at det oppstår betydelige naturlige svingninger.

Som et mål for biomassen av planteplankton i overflatelaget ble det gjort målinger av klorofyll a. Konsentrasjonene av klorofyll under bedriftsstansen varierte mellom 2,57 og 8,37 $\mu\text{g/l}$ i fjorden, mens i oktober, tre måneder etter bedriftsstansen, varierte klorofyll-

mengdene mellom 0,44 og 1,70 µg/l. Reduksjonen i klorofyll kan ha naturlige årsaker (ferskvannspåvirkning, mindre dagslys), men kan også være influert av utslipp fra treforedlingsindustrien.

7. Det ble også utført vekstforsøk i laboratoriet med ferskvannsalgen *Selenastrum capricornutum* og sjøvannsalgen *Phaeodactylum tricornutum* i vann fra Tista og Iddefjorden (overflatevann). Resultatene viste liten vekst hos begge algene under hele måleperioden, og det var ingen klare forskjeller mellom bedriftsstansen og produksjonsperioden. Dette kan ikke forklares ut fra saltholdighetseffekter alene, mens en mulig forklaring kan være knapphet på anvendelige næringsalter eller veksthemmende stoffer i vannet.

8. Undersøkelsene av håvtrekkplankton viste at vanlige dyre- og planteplanktonarter i hvert fall var til stede like etter driftsstansen. Forholdene etter lengere tids produksjon ved Saugbrugsforeningen er det vanskeligere å uttale seg om. Den registrerte reduksjonen i antall arter og mengder kan ha sammenheng både med lite lys, økt ferskvannstilførsel, sesongvariasjoner i forekomsten av visse dyrearter og påvirkningen fra avløpsvannet. Det er mulig at mye av det marine planktonet er transportert inn i Iddefjorden via inngående strøm under overflatelaget og egentlig ikke vokser og formerer seg inne i fjorden. Ellers er det verdt å merke seg det store innslaget av detritus, bakterier og sopphyfer i nærheten av Halden under produksjonsperioden. Et annet særpreg var dominansen, unntatt i oktober, av hjuldyret *Brachionus plicatilis*, en brakkevannsart som ser ut til å trives i vannmasser med høyt organisk innhold.

2. OPPDRAGETS MÅLSETTING

Hensikten med denne undersøkelsen var å vurdere eventuelle forandringer i overflatevannets kjemiske sammensetning, vekstmuligheter for planktonalger og estetiske forhold som kunne ses i sammenheng med utslipp fra papir- og celluloseindustrien i Halden. Det var meningen at resultatene fra undersøkelsen skulle belyse følgende problemer:

- 1) Grad av forurensning av overflatelaget under perioder med vanlig utslipp fra Saugbrugsforeningen.
- 2) Umiddelbare effekter av stans i utslipp av avløpsvann fra Saugbrugsforeningen.
- 3) Sjiktningen i vannmassene og dens innvirkning på overflatevannets sammensetning.
- 4) Eventuelt innhold av veksthemmende stoffer i overflatevannet.
- 5) Sannsynligheten for at forurenset Iddefjordvann påvirker vannkvaliteten i det utenforliggende fjordområdet.

3. SAUGBRUGSFORENINGEN + PRODUKSJON OG UTSLIPP

Saugbrugsforeningen i Halden ble stiftet i 1859, og det første høvleriet kom i drift i 1866. To år senere ble det bygd et tresliperi og i 1907 kom kraftstasjonen i Tista igang. Cellulosefabrikken, som vesentlig produserer silkecellulose, kom i drift i 1908 og papirfabrikken i 1915. Utslipp til Iddefjorden fra cellulosefabrikken har således pågått i 67 år, og fra papirfabrikken i 60 år.

Produksjonen fikk et markert oppsving rundt 1950. I 1975 oppgis følgende produksjonstall som det søkes konsesjon for:

70 000 årstonn silkecellulose
140 000 årstonn tremasse, hvorav inntil
40 000 årstonn termomekanisk masse
170 000 årstonn magasinpapir
55 000 årstonn finpapir og
30 000 årstonn kartong

Utslippene til Iddefjorden omfatter ca. 100 tonn pr. døgn lett nedbrytbart organisk materiale og 30-40 tonn pr. døgn tungt nedbrytbart organisk materiale (trefiber og barkavfall). Anslagsvis 60% av nitrogentilførselen og 33% av fosfortilførselen til Iddefjorden kommer fra Saugbrugsforeningen. (St.prp. nr. 130). Mengden av tungmetaller som tilføres fjorden er ikke kjent.

4. TIDLIGERE UNDERSØKELSER I IDDEFJORDEN - SAMMENDRAG

Så tidlig som i 1920 ble de første undersøkelser i Iddefjorden igangsatt. Cellulosefabrikken hadde da vært i drift i 12 år og papirfabrikken i 5 år. Senere (1947) ble det startet en mer systematisk undersøkelse, og konklusjonen på denne var at Iddefjorden var forurenset. En oversikt over de målinger som er gjort i perioden 1920-69 er gjengitt i tabell 1 (etter NIVA, 1970, 0-113/64). Denne tabellen inkluderer både svenske og norske undersøkelser.

Det svensk-norske undersøkelsesprogram i Iddefjorden forsøkes nå å koordineres. På et møte ved Tjärnö Marinzologiska station i Sverige 28. og 29. august 1975, hvor representanter fra Gøteborgs universitet, Fiskeristyrelsen, Havsfiskelaboratoriet i Lysekil, Kristinebergs marinzologiska station, Oslo universitet og NIVA møttes, ble mulighetene for et svensk-norsk samarbeid om Iddefjorden drøftet. Som resultat av møtet er det blitt laget en egen rapport.

De undersøkelser som er gjort viser at Iddefjorden er sterkt belastet med organisk stoff, noe som i tillegg til de ugunstige naturlige forhold, har gitt opphav til oksygenfritt vann. I enkelte tilfeller er det påvist hydrogensulfid helt opp til overflaten (Dybern, 1972).

I bunnsedimentene ligger det lagret store mengder organisk materiale, som ikke er nedbrutt pga. mangel på oksygen (7-18% C, Olausson, 1972). Likeså inneholder sedimentene betydelige mengder sink (Zn), kopper (Cu), bly (Pb) og kvikksølv (Hg) (Olausson, 1972). Det siste skyldes trolig tilførsler av tungmetaller i kisaske, som kommer fra treforedlingsindustriens fremstilling av svoveldioksyd i forbindelse med celluloseproduksjonen (St.prp. nr. 130).

5. UNDERSØKELSESPROGRAM

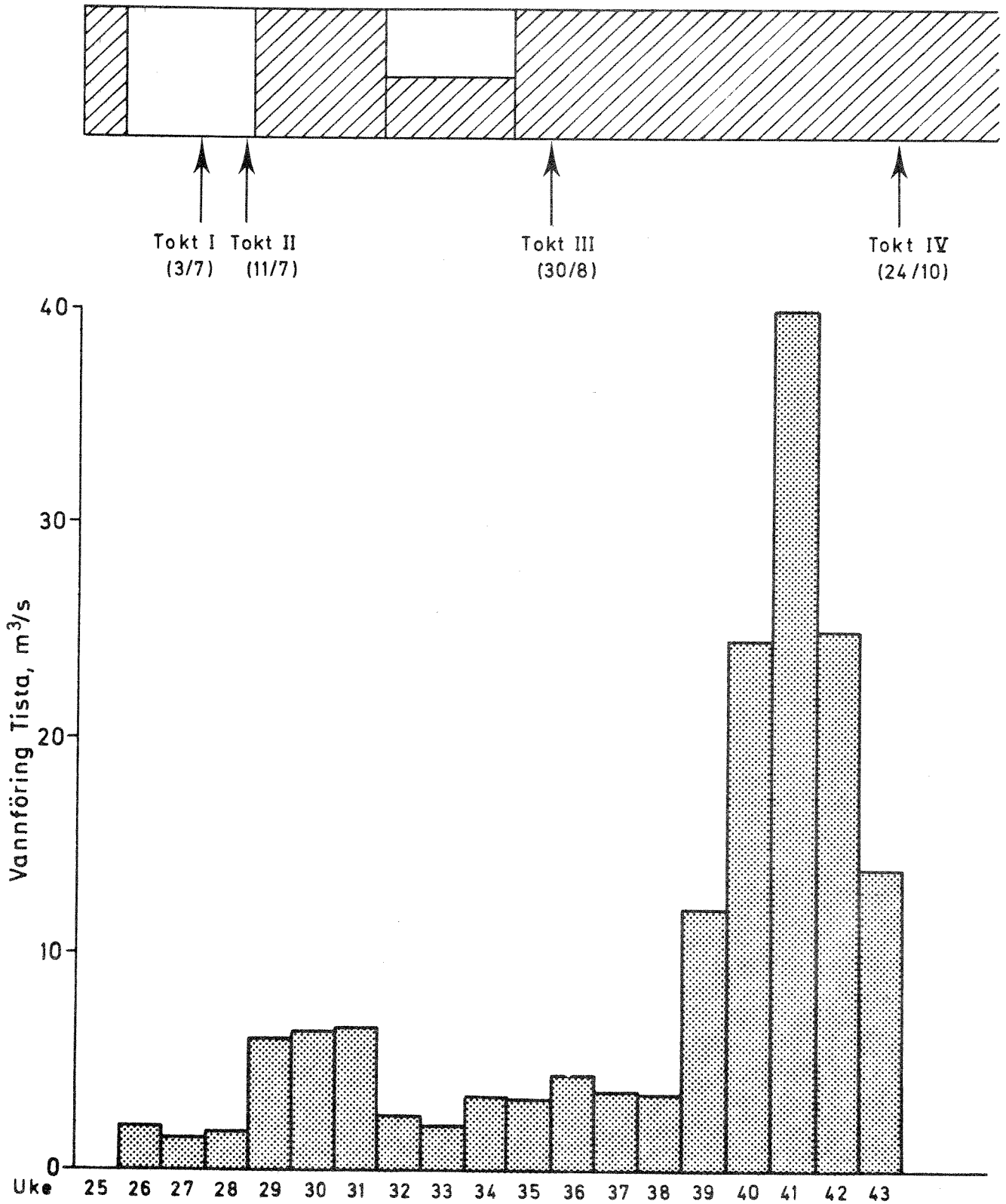
Det ble i alt foretatt 4 tokt i Iddefjorden, to under bedriftsstansen (3/7 og 11/7), ett like etter at cellulosefabrikken og en papirmaskin (av fem) hadde stått i tre uker (30/8) og ett tokt etter en lang periode med full produksjon (24/10). Tidspunktene for gjennomføring av toktene i relasjon til produksjon og vannføring i Tista er vist i figur 1. Disse toktene vil heretter få betegnelsen Tokt I-IV.

Ved hvert tokt ble det tatt vannprøver fra de samme 10 stasjoner, samt en ekstra stasjon (11) i Tista ovenfor kraftstasjonen (bare tokt III). Stasjonskart er gitt i figur 2. På stasjon 8 ble det tatt vannprøver fra 8 lokaliteter med 50 m mellomrom tvers over sundet. Disse ble blandet og blendprøve ble tatt ut for analyser. Tilsvarende ble det tatt vannprøver fra 3 lokaliteter tvers over sundet ved stasjon 9. Dette ble gjort for at prøver fra stasjonene 8 og 9 mest mulig skulle representere vannmassen som strømmer gjennom de respektive sund.

På hver stasjon ble følgende rutineoperasjoner foretatt.

- 1) Sjiktningsmålinger (0-30 m) v.h.a. salinoterm
- 2) Siktedypsmålinger (Secchiskive)
- 3) Vannprøvetaking v.h.a. Hydrobios vannhenter fra ca. 10 cm til 100 cm dyp (overflatevann)

Fig. 1. Vannføringen i Tista i relasjon til tidspunktet for toktene og produksjonen ved Saugbrugsforeningen (skravert felt = produksjon)



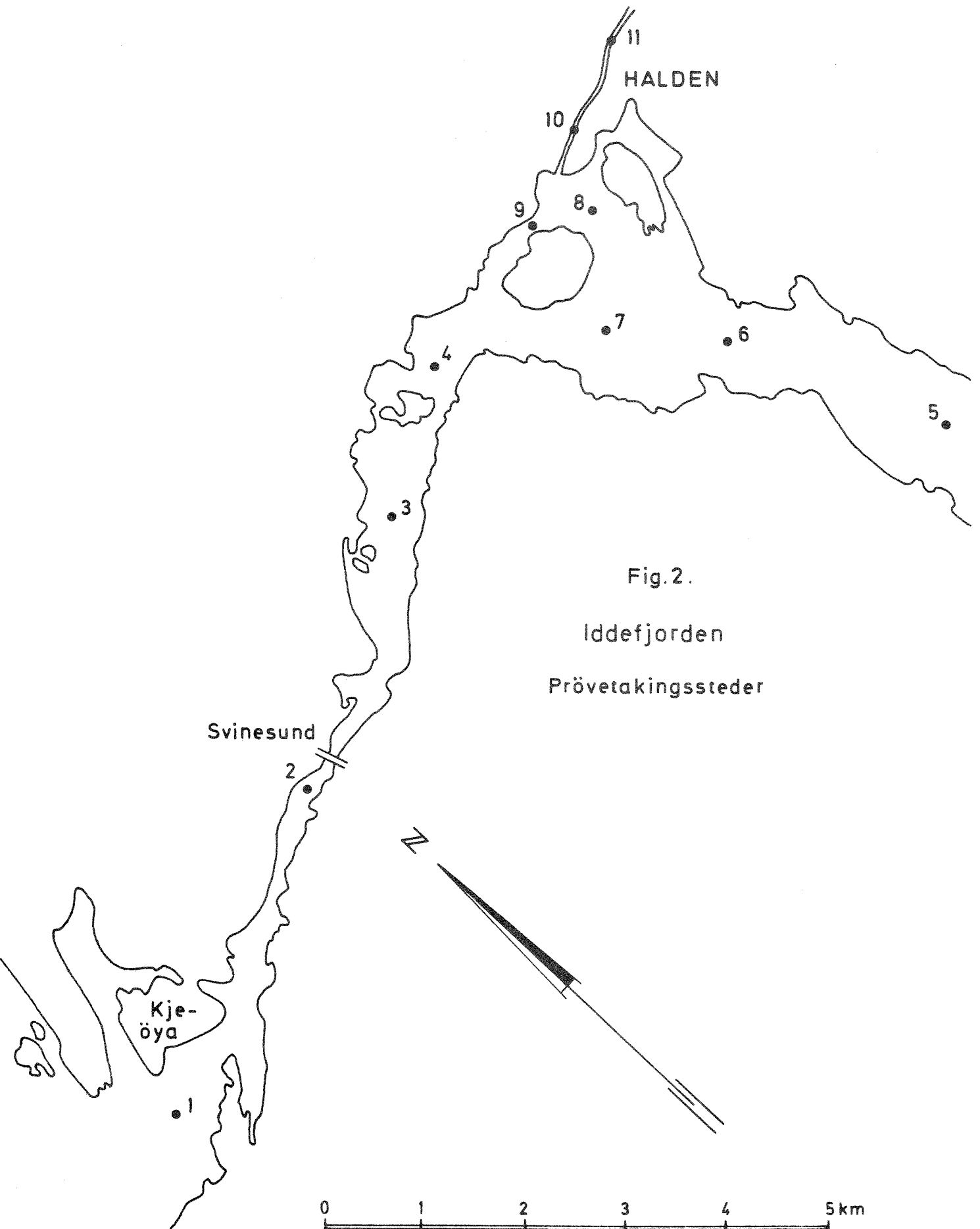


Fig. 2.
Iddefjorden
Prövetakingssteder

- 4) På utvalgte stasjoner ble det tatt planktonprøver fra overflatevannet v.h.a. håvtrekk. Plankton ble også innsamlet under en befaring 21/8 i Iddefjorden og Singlefjordområdet

Fra hver vannprøve ble det tatt ut prøve til bestemmelse av saltholdighet (= salinitet), lignin- og humusinnhold, kopper (Cu), bly (Pb), sink (Zn) og kvikksølv (Hg), klorofyll a og vekstpotensial.

På tokt IV ble det i tillegg til rutineopplegget tatt vannprøver fra overflaten og hver femte meter ned til bunnen i det dypeste bassenget SV for Halden (stasjon 3) og i bassenget SØ for Halden (stasjon 5). Disse vannprøvene ble analysert for saltholdighet (S), temperatur (T), oksygen (O_2), hydrogensulfid (H_2S) og tungmetaller (bare stasjon 3).

Analysemetodene som er tatt i bruk er vist i tabell 2.

6. HYDROGRAFI

Hydrografien omfatter temperatur- og saltholdighetsbestemmelser og noen oksygenmålinger. Resultatene fra in situ målinger av saltholdighet (S) og temperatur (T) v.h.a. salinoterm er ikke gjengitt i tabellform. I stedet er vertikalprofilene for S og T på tre stasjoner (1, 3 og 5) illustrert i figur 3, 4 og 5.

Saltholdighetsprofilene viser at vannmassene i Iddefjorden kan deles i tre lag:

- a) Et overflatelag som er homogent og som varierer i tykkelse mellom 1 og 3 m
- b) En underliggende vannmasse som er relativt stabil (betydelig salinitetsgradient) og som strekker seg ned til ca. 20-25 m
- c) Et tilnærmet homogent bunnvann (>20-25 m dyp)

Tabell 2. Oversikt over anvendte analysemetoder

| Parameter | Metode | Laboratorium |
|----------------------|--|-------------------|
| Saltholdighet | Konduktivitetsmålinger | NIVA |
| Lignin) | Fluorimetrisk (Almgren et al., 1975) | G.U. ¹ |
| Humus) | | |
| Cu) | APDC-MIBK ekstraksjon) | S.I. ² |
| Pb) | Atomabsorpsjon (flamme)) | |
| Zn) |) | |
| Hg | H ₂ SO ₄ /KMnO ₄ opplutning) | |
| | Flammeløs atomabsorpsjon) | |
| Klorofyll <u>a</u>) | NIVAs laboratorierutiner) | NIVA |
| Vekstpotensial) | | |
| Oksygen | Modifisert Winkler-metode) | |

¹ Gøteborgs Universitet (analytiker: Gunnar Nyqvist)

² Sentralinstituttet for industriell forskning (Saksbehandler: Ing. Beate Enger). Metallanalysene ble foretatt på ufiltrerte prøver, som var konserverte med kons. HNO₃. Det relative avvik ved analysene er: Zn: 10 - 15%; Pb, Cu og Hg: < 10%.

Fig. 3. Vertikalprofiler for salinitet (S) og temperatur (T) på stasjon 1

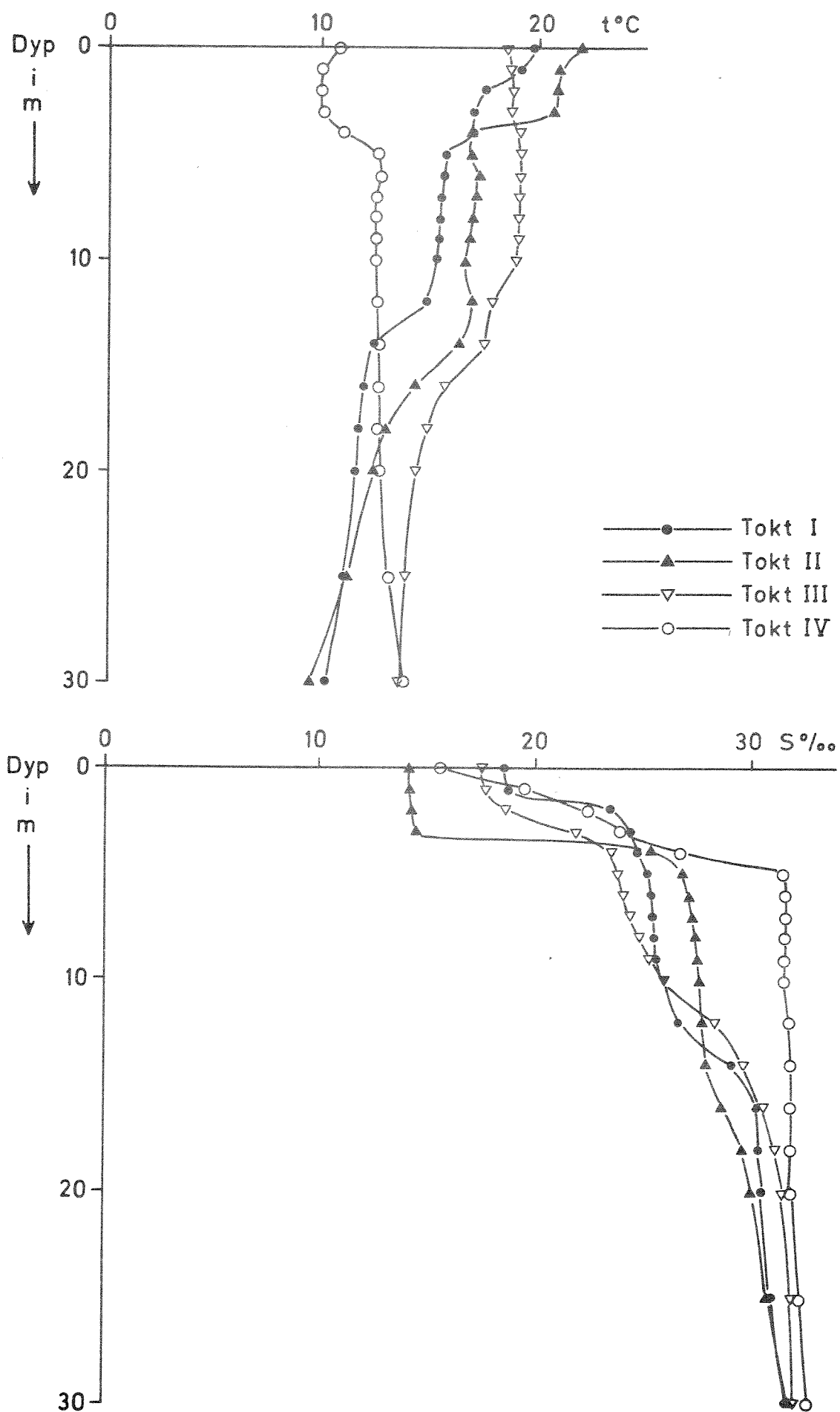


Fig. 4. Vertikalprofiler for salinitet (S) og temperatur (T) på stasjon 3

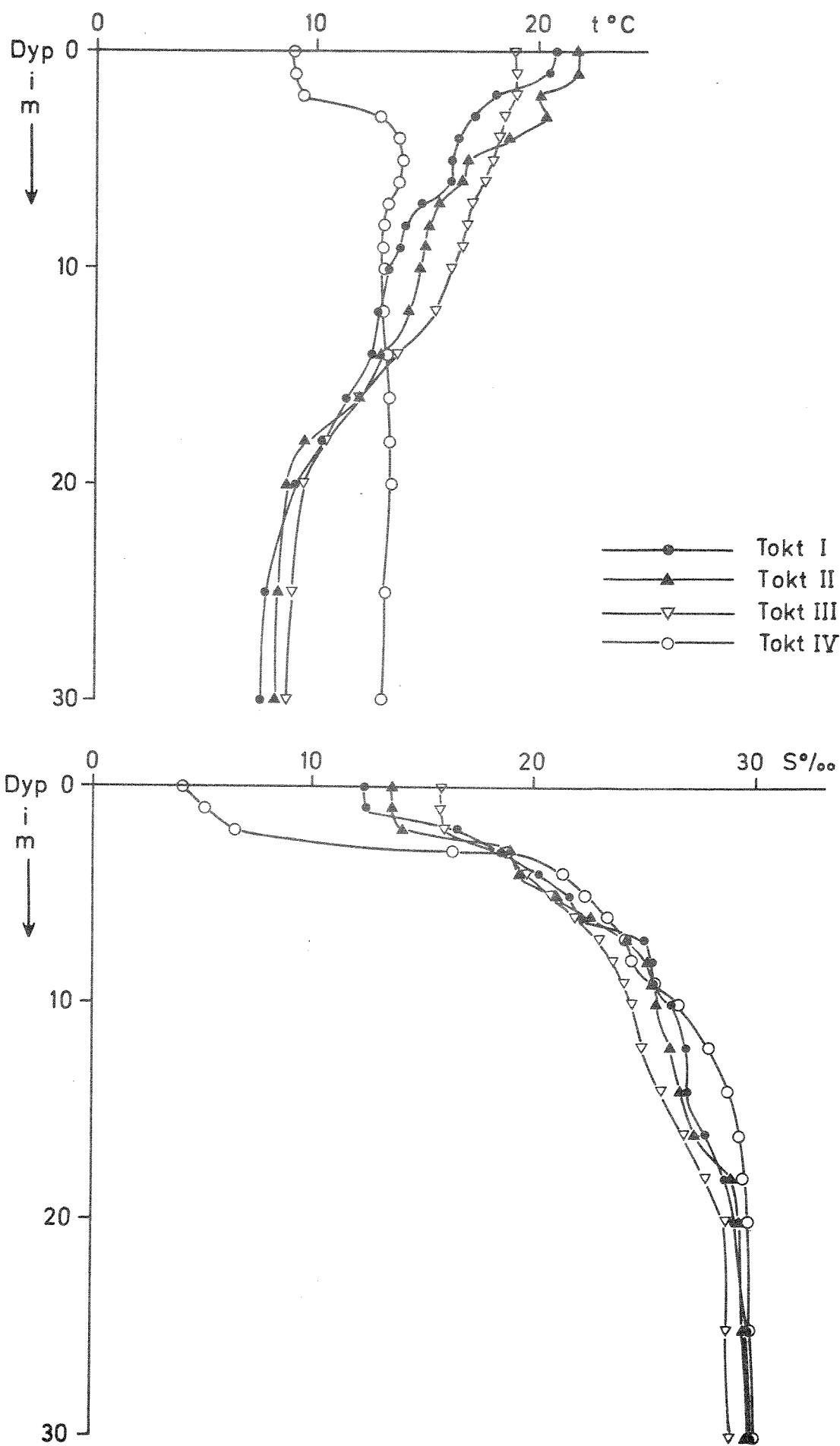
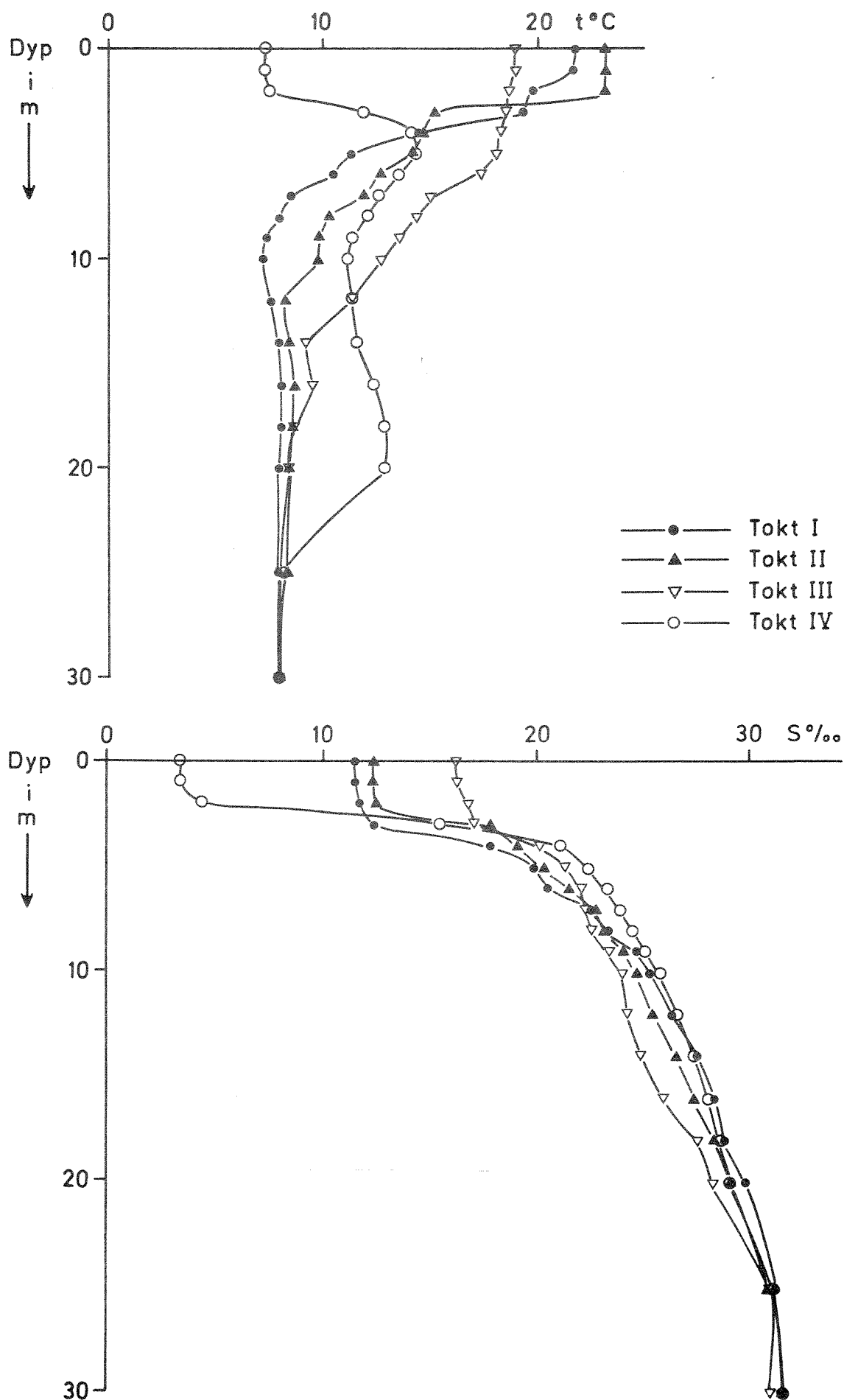


Fig. 5. Vertikalprofiler for salinitet (S) og temperatur (T) på stasjon 5



Sjiktningen i overflatelaget er avhengig av ferskvannstilførselen til fjorden. Et godt utviklet sprangsjikt ble observert ved Tokt IV, da vannføringen i Tista var stor (figur 1). Imidlertid forandres ikke tykkelsen av overflatelaget og dybden av sprangsjiktet vesentlig, selv om ferskvannstilførselen mangedobles. Det viser at den horisontale overflatetransporten skjer betydelig raskere ved stor tilførsel av ellevann.

Den intermediære vannmassen (ca. 4-20 m) viser en økning i saliniteten fra ca. 20 ‰ til 29-31 ‰. Ved disse dyp er det en fri utveksling mellom vannmassen SV og SØ for Halden. Den vertikale utbredelsen av dette laget er tydeligvis begrenset av terskelen ved Halden (terskeldyp = 20 m), som separerer Iddefjorden i to større bassenger. Derfor kan vannmassene under 20 m dyp klassifiseres som homogent bunnvann eller bassengvann. Det er meget små variasjoner i saltinnhold i bunnvannet fra tokt til tokt. Imidlertid er det verdt å merke seg at en liten saltholdighetsminsking skjedde fra Tokt I til III i bunnvannet (stasjon 3 og 5), mens det ved Tokt IV ble observert en økning i saltholdigheten. En økning i saltholdigheten i bunnvannet kan ikke forklares på noen annen måte enn at det er blitt tilført vann med høyere salinitet. Stasjon 1 (figur 3), som ligger utenfor munningen til Iddefjorden, viser at en homogen vannmasse med $S = 32$ ‰ dukker opp mellom 5 og 30 m dyp på Tokt IV. Denne har forårsaket en fornyelse av bunnvann i Iddefjorden fra Halden og utover i og med at tyngre vannmasser (høyere S) strømmet inn over Svinesundsterskelen. Dette er også godt dokumentert i oksygen- og temperaturdata.

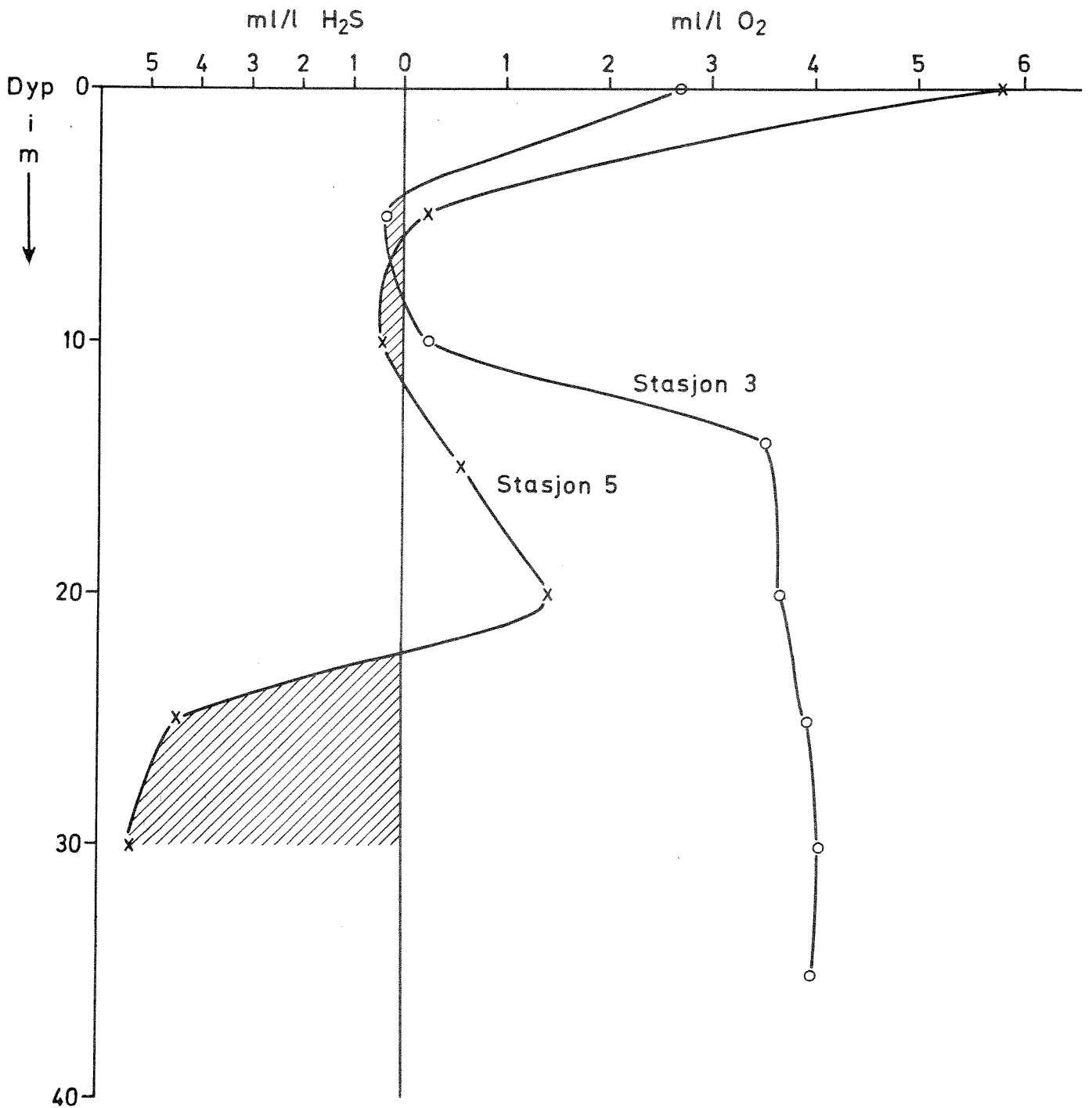
Temperaturprofilene på stasjonene 1, 3 og 5 (figur 3, 4 og 5) viser avtagende temperatur fra overflaten og ned til ~ 20 m på de tre første toktene. I bunnvannet var temperaturen nokså konstant ~ 8 °C. Ved Tokt IV var temperaturforholdene annerledes enn ved de øvrige tokt. I overflatevannet hadde det skjedd en betydelig avkjøling og i stedet lå det et temperaturmaksimum like under sprangsjiktet. I bunnvannet i det ytterste bassenget (stasjon 3) hadde det skjedd en økning i temperaturen på 4 °C siden siste tokt, mens temperaturøkningen i det innerste bassenget (stasjon 5) ikke var merkbar under 25 m dyp. Disse fenomenene er knyttet til den vannutskiftingen som foregikk mellom Tokt III og IV.

Figur 3 viser at varmt vann (12-13 °C) ligger under sprangsjiktet utenfor Svinesund og at denne vannmassen pga. sin tyngde (høy salt- holdighet) fornyet bunnvannet i det ytterste bassenget, men berørte ikke den dypeste delen av bassengvannet SØ for Halden.

Oksygenmålinger foretatt i de to bassengene under Tokt IV viser også klart at en dypvannutskifting må ha foregått i tidsrommet september-oktober. Oksygenprofilene er illustrert i figur 6. Målinger av hydrogensulfid gjort av Fiskeristyrelsen 27. august 1975 viste til dels store H₂S-mengder opp til 10-25 m under overflaten i begge bassenger (Fiskeristyrelsen, pers. komm). To måneder senere inneholdt bunnvannet i ytre basseng 4 ml/l oksygen. Deler av det "gamle vannet" finner vi igjen like under overflaten, karakterisert ved sitt innhold av hydrogensulfid. I det indre bassenget hadde det skjedd en utskifting ved 12-24 m dyp, mens vannet nærmest bunnen inneholdt 4-5 ml/l H₂S. En del av vannet som er utskiftet finner vi igjen et stykke under sprangsjiktet (figur 6).

Variasjonene i overflatesalinitet er vist i tabell 3, og i tabell 4 er målinger av saltholdighet, temperatur og oksygen gitt for stasjonene 3 og 5 under Tokt IV.

Fig. 6. Vertikalprofiler for oksygen (O_2) og hydrogensulfid (H_2S) i Iddefjorden (24/10)



Tabell 3. Overflatesalinitet i Iddefjorden (‰)

| Stasjon | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
|------------------------------|---------|---------|----------|---------|
| 1 | 17 941 | 13 955 | 17 391 | 20 868 |
| 2 | 21 260 | 17 132 | 17 262 | 6 723 |
| 3 | 11 703 | 12 399 | 15 283 | 3 225 |
| 4 | 10 879 | 11 593 | 14 706 | < 2 846 |
| 5 | 10 668 | 12 059 | 14 017 | < 2 846 |
| 6 | 10 675 | 11 562 | 14 420 | 3 555 |
| 7 | 10 807 | 11 394 | 13 875 | < 2 846 |
| 8 | 10 408 | 10 908 | 15 823 | < 2 846 |
| 9 | 10 951 | 10 942 | 13 161 | < 2 846 |
| 10 | < 2 846 | 6 755 | 4 522 | < 2 846 |
| Gj.snitt (Stasjon 1-9) | 12 810 | 12 438 | 15 104 | < 5 400 |

Tabell 4. Hydrografiske målinger i to bassenger i Iddefjorden
under tokt IV (24/10)

| Stasjon | Dyp (m) | Salinitet (S‰) | Temperatur (T °C) | Oksygen (ml/l O ₂) |
|---------|---------|----------------|-------------------|--------------------------------|
| 3 | 0 | 3 225 | 8,50 | 2,70 |
| | 5 | 20 787 | 13,90 | 0,30 ml/l H ₂ S |
| | 10 | 24 834 | 13,22 | 0,23 |
| | 15 | 28 931 | 13,28 | 3,53 |
| | 20 | 29 329 | 13,26 | 3,68 |
| | 25 | 29 521 | 13,12 | 3,94 |
| | 30 | 29 659 | 13,01 | 4,05 |
| | 35 | 29 728 | 13,02 | 3,98 |
| 5 | 0 | 2 846 | 7,10 | 5,78 |
| | 5 | 22 539 | 14,04 | 0,23 |
| | 10 | 25 408 | 10,82 | 0,41 ml/l H ₂ S |
| | 15 | 27 627 | 12,14 | 0,53 |
| | 20 | 28 812 | 12,15 | 1,43 |
| | 25 | 30 848 | 7,89 | 4,48 ml/l H ₂ S |
| | 30 | 30 898 | 7,87 | 5,34 ml/l H ₂ S |

7. SIKTEDYPSMÅLINGER

Siktedypsmålinger ved hjelp av Secchi skive er en enkel metode som gir et umiddelbart inntrykk av lysets gjennomtrengelighet i overflatevannet og til en viss grad av vannets farve. Dybden hvor Secchiskiven forsvinner ut av syne antas å tilsvare dybden hvor lysmengden er 16% av overflatelysets intensitet (Lorentzen, 1970). Siktedypet er influert av vannets innhold av farvestoffer og uorganiske og organiske partikler (inkludert planktonalger). Siktedypsmålinger alene gir derfor ingen opplysninger om årsaken til nedsatt siktbarhet i vannet, men gir et øyeblikksbilde av lysforholdene i overflatelaget.

Meteorologiske forhold (vind, regn, lavt skydekke osv.) kan påvirke siktedypsmålingene. Imidlertid er de målinger som ble utført ved de 4 toktene i Iddefjorden foretatt under meget like værforhold (stille og delvis skyet), slik at sammenligninger fra tokt til tokt er nokså relevante. Siktedypet ble målt på båtens skyggeside uten vannkikkert.

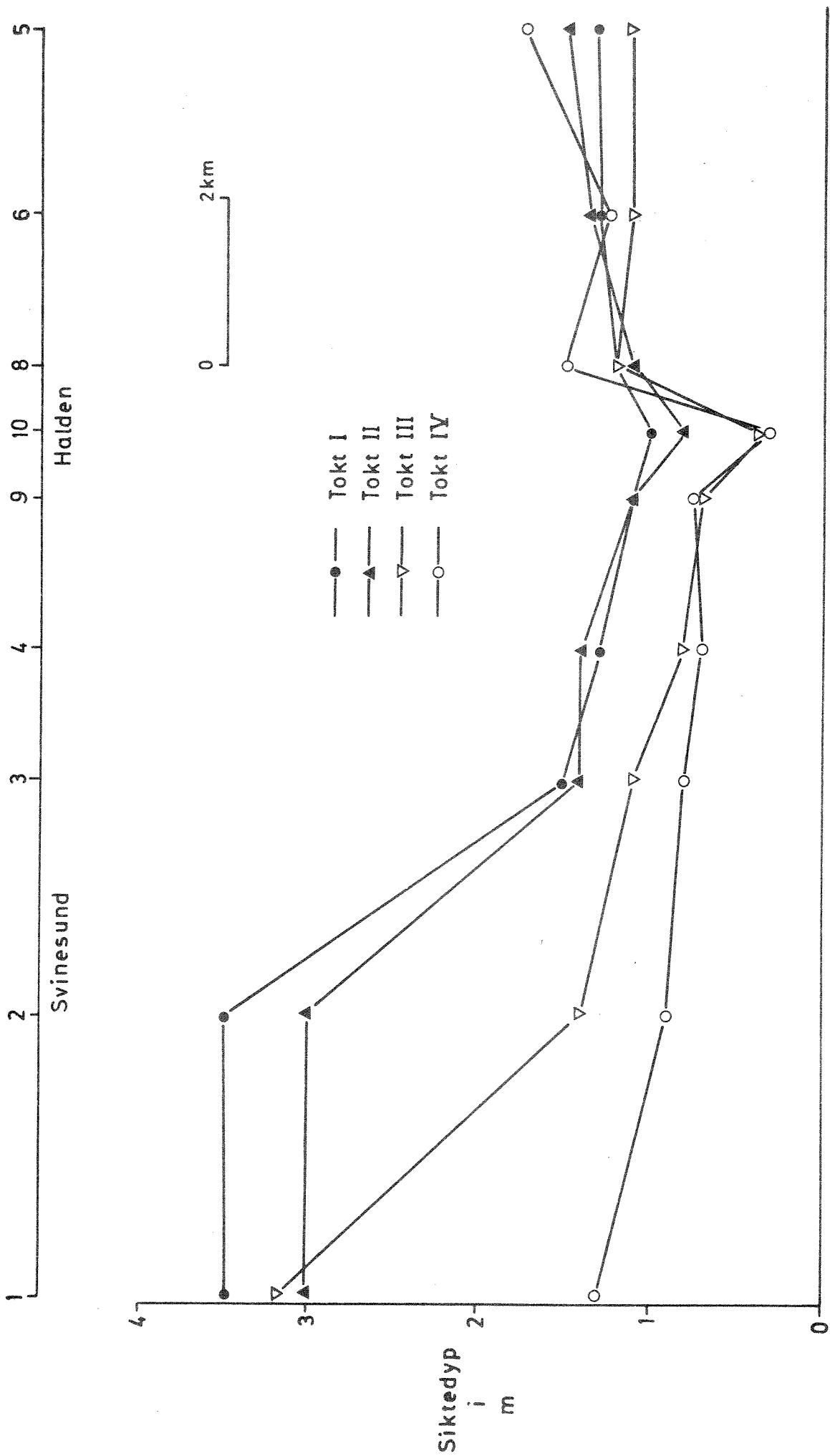
Resultatene av målingene er vist i tabell 5, og variasjonene i fjorden er illustrert i figur 7. Variasjonene mht. tid og sted i Iddefjorden er markerte. Minimum siktedyp ble målt i elva Tista ved hvert tokt, mens siktedypet økte med avstanden fra Halden både sørøstover og sørvestover. Dette indikerer at det er vannet i Tista som influerer siktedypet i Iddefjorden mest. Ved tokt III og IV skjedde bedringen i siktedypet raskere i retning Berby (sørøstover) enn i retning Svinesund (sørvestover), noe som tyder på at mesteparten av Tistas forurensede vannmasser tar veien i retning Svinesund. Dette reflekteres også i målinger av lignin (kapittel 8).

Tabell 5. Siktedypsmålinger i Iddefjorden ved tokt I-IV, sommeren og høsten 1975

| Stasjon | Siktedyp(m) | | | |
|------------------------------|-------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 3,50 | 3,00 | 3,20 | 1,30 |
| 2 | 3,50 | 3,00 | 1,40 | 0,90 |
| 3 | 1,50 | 1,40 | 1,10 | 0,80 |
| 4 | 1,30 | 1,30 | 0,80 | 0,70 |
| 5 | 1,30 | 1,50 | 1,10 | 1,75 |
| 6 | 1,30 | 1,35 | 1,10 | 1,25 |
| 7 | 1,30 | 1,30 | 0,90 | 1,60 |
| 8 | 1,20 | 1,10 | 1,20 | 1,50 |
| 9 | 1,10 | 1,10 | 0,70 | 0,75 |
| 10 | 1,00 | 0,80 | 0,35 | 0,30 |
| Gj.snitt (Stasjon 1-9) | 1,8 | 1,7 | 1,3 | 1,2 |

Målinger foretatt under de to første toktene (tokt I og II) skiller seg ut fra de to neste ved å vise betydelig større siktedyp. Ved Svinesund (stasjon 2) ble siktedypet målt til 3,5 og 3,0 m, henholdsvis på tokt I og II (under bedriftsstoppen). Noen dager etter at full produksjon ble gjenopptatt ved Saugbrugsforeningen, etter en periode med redusert produksjon, ble siktedypet på samme stasjon målt til 1,4 m (tokt III). Etter en lang produksjonsperiode sank siktedypet til 90 cm ved Svinesund (stasjon 2), mens det samtidig ble målt et minimum på 30 cm i Tista. Det er klart at de store svingninger i siktedyp som er registrert innen denne måleperioden på vel 3 måneder, skyldes variasjoner i utslippsmengder fra treforedlingsindustrien i Halden. Også siktedypet utenfor munningen til Iddefjorden (stasjon 1, Kjeøya) ser ut til å være influert av utslippene fra Halden. Mens siktedypet under produksjonsstansen målte 3-3,5 m, ble det på samme stasjon, da produksjonen pågikk for fullt ved Saugbrugsforeningen, målt til 1,3 m (figur 7).

Fig. 7. Variasjoner i siktedyp i Iddefjorden



Det er verdt å legge merke til den store gradienten i siktedyp mellom stasjon 2 og 1 ved tokt III (figur 7); 5 dager etter at produksjonen ved Saugbrugsforeningen startet for fullt etter en "halv" bedriftsstans (se figur 1). Dette kan bety at det forurensete overflatevannet fra Halden ikke nådde lenger ut enn til Svinesund i løpet av disse 5 dagene. Lignin-data tyder på det samme (kapittel 8). Mens lignininnholdet ved Svinesund var høyt (8,52 mg/l), var det lavt ved Kjeøya (0,9 mg/l). Dette skulle tilsi at overflatevannet i Iddefjorden har en midlere oppholdstid på 5-6 dager når ferskvannstilførselen er liten (Tista: $\sim 3 \text{ m}^3/\text{s}$). Det bør påpekes at grunnlaget for å konkludere med en slik midlere oppholdstid er spinkelt ut fra det foreliggende data-materialet. En oppholdstid på brakkvannet på ca. 8 dager er tidligere blitt estimert ut fra teoretiske betraktninger (NIVA, 1970, 0-113/64).

Den relativt gode overensstemmelsen mellom høyt lignininnhold og dårlig siktedyp, kan tyde på at den sterke brunfargen på ligninforbindelser er en betydelig medvirkende årsak til de lave siktedypsverdiene. Avløpsvannets høye partikkelinnhold er sikkert en annen viktig årsak til det reduserte siktedypet. Planktonproduksjonens innvirkning på siktedypet antas å være av relativ liten betydning i Iddefjorden, bortsett fra på de ytterste stasjonene (1 og 2) (se for øvrig kapittel 11). Her ble det målt 0,5 m bedre siktedyp ved tokt I enn ved tokt II, selv om det motsatte var forventet på bakgrunn av lignininnhold og i relasjon til tidspunkt for iverksettelse av bedriftsstoppen. Målinger av klorofyll a viste 1,5 ganger høyere konsentrasjoner i overflatevannet ved tokt II enn ved tokt I. Dette kan tyde på at dårligere siktedyp ved tokt II på de to ytterste stasjonene skyldes planktonalger.

Målinger av siktedyp i Iddefjorden før måleperioden sommeren 1975, har vist verdier mellom 30 og 60 cm i nærheten av Halden og 1-1,5 m i de ytre deler av fjorden. Disse måleresultatene er i samsvar med de som ble gjort ved tokt IV. Dette tyder på at disse tallene er nokså representative for Iddefjorden under normal produksjon ved Saugbrugsforeningen i Halden.

7. LIGNIN

7.1 Innledning

Lignin, et høypolymert forgrenet kjedemolekyl, er en substans som man forsøker å fjerne fra veden ved teknisk cellulosefremstilling. Fjerningen skjer ved at veden blir kokt under trykk med enten sur eller alkalisk kokevæske som løser ligninet. Den sure kokevæsken er en vandig løsning av kalsiumbisulfitt, den alkaliske er en blanding av Na-forbindelser. Ved Saugbrugsforeningen i Halden koker man vedmaterialet i surt miljø med sulfitt og kalsium som base. Problemet som dette medfører er at når cellulosefibrene frigjøres, blir 50% av råmaterialet igjen i form av en avlut som inneholder store mengder oppløst organisk materiale, bl.a. lignin. En del av avluten gjenvinnes, slik at det årlig produseres ca. 40 000 tonn med lignosulfonater (St.prp. nr. 130). Den mengden lignin som slippes ut i Iddefjorden er ikke kjent.

De løselige bestanddeler i avløpsvannet fra celluloseindustrien deles ofte i fargestoffer, biologisk nedbrytbart materiale, giftige komponenter og salter (Norrstrøm, 1975). Fargestoffene har sin opprinnelse i lignin. Naturlige ligniner i veden er nokså lyse, men under cellulosereaksjonen og blekingen overføres lignin til sterkt fargede forbindelser. Slike forbindelser er relativt stabile mot biologisk nedbrytning.

Det er blitt gjort en rekke forsøk på å fjerne alkalisk lignin fra avløpsvann, særlig ved hjelp av "activated sludge" metode (Ganczarczyk, 1973). Lignin fremkommet ved koking i alkalisk væske (sulfatmetoden) er noe deformert, ved at den aromatiske ringstrukturen er delvis nedbrutt (Hall, 1974). Dette gjør at ligninet er mer utsatt for biologisk nedbrytning (Svitelski et al., 1968). Ved sulfittmetoden (Saugbrugsforeningen) blir ligninet fjernet fra veden som lignosulfonsyre og den aromatiske ringstrukturen er inntakt (Hall, 1974), noe som gjør at forbindelsen er mer stabil mot nedbrytning. Som følge av dette er det rimelig å anta at lignin kan betraktes som en tilnærmet konservativ egenskap til vannmassene i Iddefjorden og at lignin kan brukes som et sporstoff. Imidlertid er det kjent at koagulering og påfølgende sedimentering

av kolloidale lignosulfonater, samt adsorpsjon av lignosulfonater til suspendert partikulært materiale i sjøvann kan føre til en viss selvrensing i resipienten (Kalninsh et al., 1972).

8.2 Lignin i overflatevannet i Iddefjorden

Resultatene fra de fire toktene i Iddefjorden er gjengitt i tabell 6 og konsentrasjonsvariasjonene i området Halden-Kjeøya og Halden-Hälleholmen er skjematisk fremstilt i figur 8.

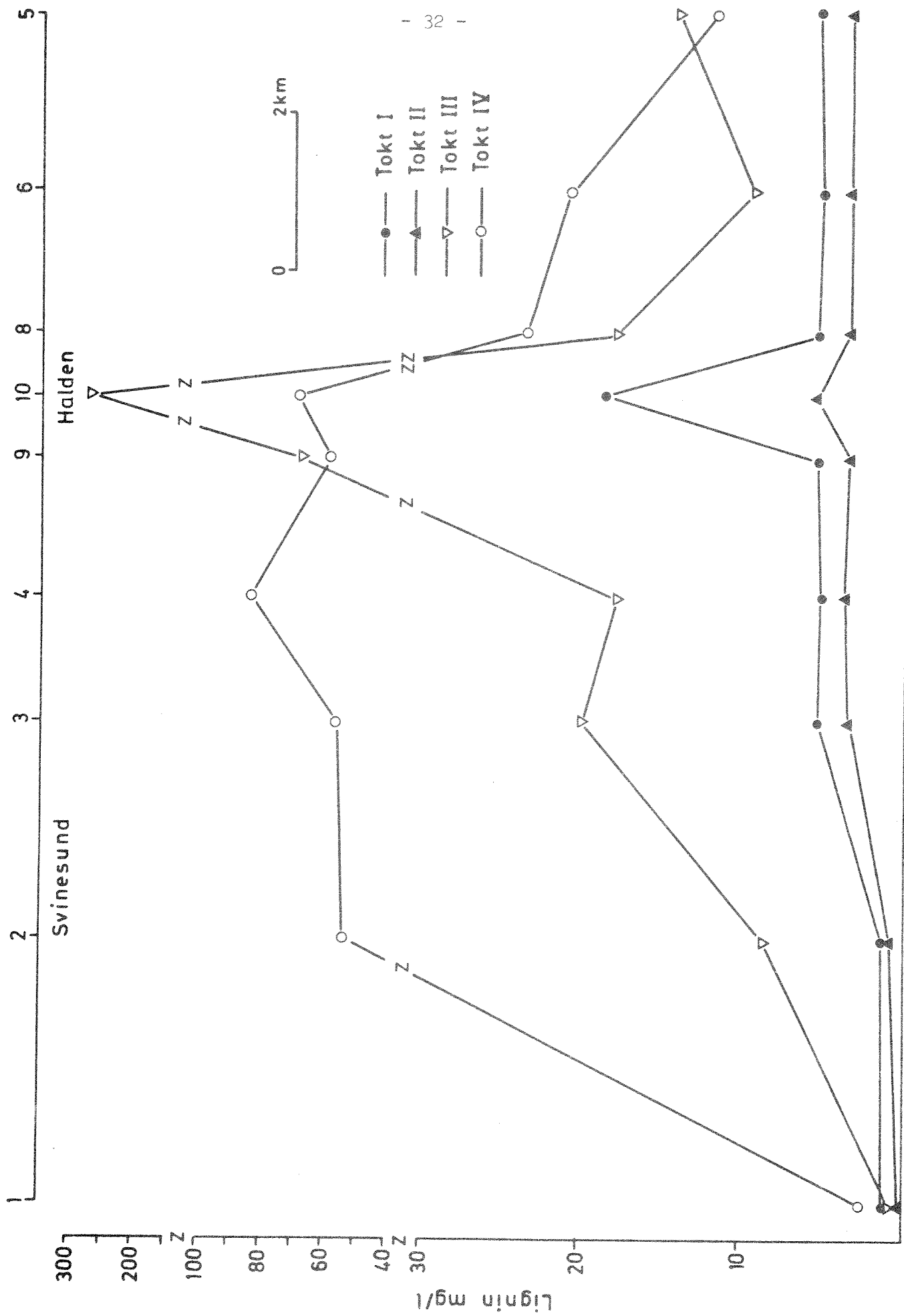
Det er en utpreget forskjell både i konsentrasjonen fra tokt til tokt og mellom de forskjellige stasjoner i fjorden. Mens gjennomsnittskonsentrasjonen av lignin i Iddefjorden under bedriftsstoppen (uke 26-27) var ~ 3 mg/l ble den tilsvarende målt til ~ 36 mg/l etter en lang periode (8½ uke) med full produksjon ved Saugbrugsforeningen. Det var også en signifikant forskjell mellom de to toktene under bedriftsstoppen (tokt I og II), hvor de laveste målingene som ventet ble gjort under tokt II (19 dager etter at utslippene stanset).

Ved de tre første toktene (3/7, 11/7 og 30/8) var vannføringen i Tista meget liten (1,57, 1,79 og 3,30 m³/s). Dette forårsaket minimal fortykning av avløpsvannet i Tista. Dette er særlig tydelig når vi sammenlikner innholdet av lignin i Tista 30/8 og 24/10. Ved begge tidspunkter var det full produksjon ved Saugbrugsforeningen, mens vannføringen i elva var svært forskjellig. I slutten av september økte vannføringen i Tista betraktelig (uke 41: ~ 40 m³/s). Under tokt IV (24/10) ble det målt et ukemiddel på ~ 14 m³/s. Dette førte til en bedre fortykning av avløpsvannet i elva og lignininnholdet på st. 10 var ikke vesentlig forskjellig fra det som ble målt i fjorden mellom Halden og Svinesund (figur 8). Forskjellen i konsentrasjonsgradienten på strekningen Halden-Svinesund mellom tokt III og IV, viser også at oppholdstiden på overflatevannet er kortere når ferskvannstilførselen er stor og at det skjer lite blanding mellom overflatelaget og underliggende sjøvann. Dette er også tydelig fra saltholdighetsdata (tabell 3). Mens saltholdigheten ved Svinesund (stasjon 2) ved de tre første toktene ble målt til 17-21 ‰, ble den ved tokt IV målt til 6,7 ‰. Dette tyder på at vi hadde et meget stabilt overflatesjikt under tokt IV.

Tabell 6. Lignin i overflatevannet i Iddefjorden og i Tista

| Stasjon | Ligning mg/l | | | |
|------------------------------|--------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 1,06 | 0,34 | 0,90 | 2,40 |
| 2 | 1,33 | 0,78 | 8,52 | 53,4 |
| 3 | 5,35 | 3,19 | 19,9 | 56,2 |
| 4 | 5,21 | 3,56 | 17,7 | 83,9 |
| 5 | 5,12 | 3,29 | 14,1 | 11,7 |
| 6 | 5,04 | 3,33 | 9,14 | 20,7 |
| 7 | 5,04 | 3,44 | 26,4 | 12,8 |
| 8 | 5,21 | 3,29 | 17,9 | 23,4 |
| 9 | 5,23 | 3,36 | 68,2 | 58,5 |
| 10 | 18,6 | 5,65 | 275,0 | 68,7 |
| 11 | - | - | 1,0 | - |
| Gj.snitt (Stasjon 1-9) | 4,28 | 2,73 | 20,3 | 35,9 |

Fig. 8. Variasjoner i lignin-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden (merk endring i vertikalaksala)



Når elvevannet inneholdt en del lignin også under bedriftsstansen (tabell 6), tyder det på en viss utlutning av lignin fra sedimentert avfall i elva.

Sørøst for Halden (retning Berby) avtok ligninkonsentrasjonene under produksjon raskere med avstanden fra kilden. Dette tyder på at det er en forholdsvis liten del av vannet fra Tista som tar veien sørøstover (se også tabell 3 og 5), noe som til en viss grad kan tilskrives ferskvannstilførselen fra Berbyelva.

Utenfor munningen til Iddefjorden (stasjon 1 ved Kjeøya) minsket lignininnholdet i overflatevannet sterkt. Dette kan forklares med at stabiliteten i overflatelaget er mindre her, slik at den vertikale blandingen er mer effektiv enn inne i selve fjorden. Likevel viser figur 8 at variasjonene i ligninkonsentrasjonene ved de forskjellige tokt var de samme på stasjon 1 som lengre inne i fjorden, med den laveste konsentrasjonen ved tokt II (0,34 mg/l) og den høyeste ved tokt IV (2,40 mg/l). Ved å betrakte minskningen i lignininnhold fra stasjon 10 (Tista) til stasjon 2 (Svinesund), ser det ut til at denne er noe større enn det som kan forklares med fortynning ved blanding mellom elvevann og sjøvann. Dette er særlig tilfelle ved tokt III, da ferskvannstilførselen var liten og utslipp av lignin var normalt (full produksjon). Mens ligninkonsentrasjonen i Tista ble målt til 275 mg/l, var den 8,52 mg/l ved Svinesund. Til sammenligning økte salniteten fra 4,5 (stasjon 10) til 17,3 (stasjon 2). Dette indikerer at noe lignin forsvinner fra overflatelaget. Den mest sannsynlige forklaring er at lignin sedimenteres som følge av koagulering eller adsorpsjon til partikulært materiale (Kalninsh et al., 1972). Sedimenteringen ser ut til å være nokså umiddelbar, ettersom gradienten er størst nær Halden (figur 8). Ifølge Kalninsh et al., 1972, foregår koaguleringen av lignin og dannelsen av kolloider i sjøvann svært sakte. Dessuten er sedimentasjonshastigheten til disse kolloidene lav de første dagene etter at kolloidene begynner å dannes (ca. 9 cm/dag). Det er derfor lite sannsynlig at koagulering alene er årsaken til at lignin sedimenteres i nærheten av Halden. Imidlertid har slike lignin-kolloider en meget stor aktiv overflate ($6 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^7$ cm²), noe som fører til stor adsorpsjonskapasitet. De store mengder med partikulært materiale i vannmassene nær Halden, forårsaker derfor trolig

en betydelig sedimentering av lignin. Bakteriologisk oksydasjon av slike ligninforbindelser går meget sakte (Kalninsh et al., 1972), slik at dette har ingen særlig betydning for minskningen av lignin i overflatelaget i Iddefjorden.

Konsekvensene av en lagring av ligninstoffer på bunnen i fjorden, er en ekstra belastning på oksygenbudsjettet i bunnvannet. Ifølge Kalninsh et al., 1972, krever oksyderingen av 1 g sulfitt lignin 1,796 g O₂.

9. HUMUS

9.1 Innledning

Humus er en fellesbetegnelse for organiske stoffer som finnes oppløst i ferskvann. (Beck et al., 1974). Humusstoffene (humus-syre, fulvicsyre o. a.) forårsaker en gul-brun farge på vannet, og fargen øker med stigende pH (Gjessing, 1966). I enkelte tilfeller kan konsentrasjonen av humus i ferskvann overskride 50 mg/l (Gjessing & Samdal, 1968), men normalt er den mye lavere. I sjøvann er det vanskelig å etablere en bakgrunnsverdi for humus, da denne vil variere med influeringen av elvevann. Dette gjelder i særlig grad fjorder. Det bør nevnes at i tillegg til humus av terrestrisk opprinnelse, er det påvist humussyrer i det marine miljø som stammer fra planktonalger (Brown et al., 1972).

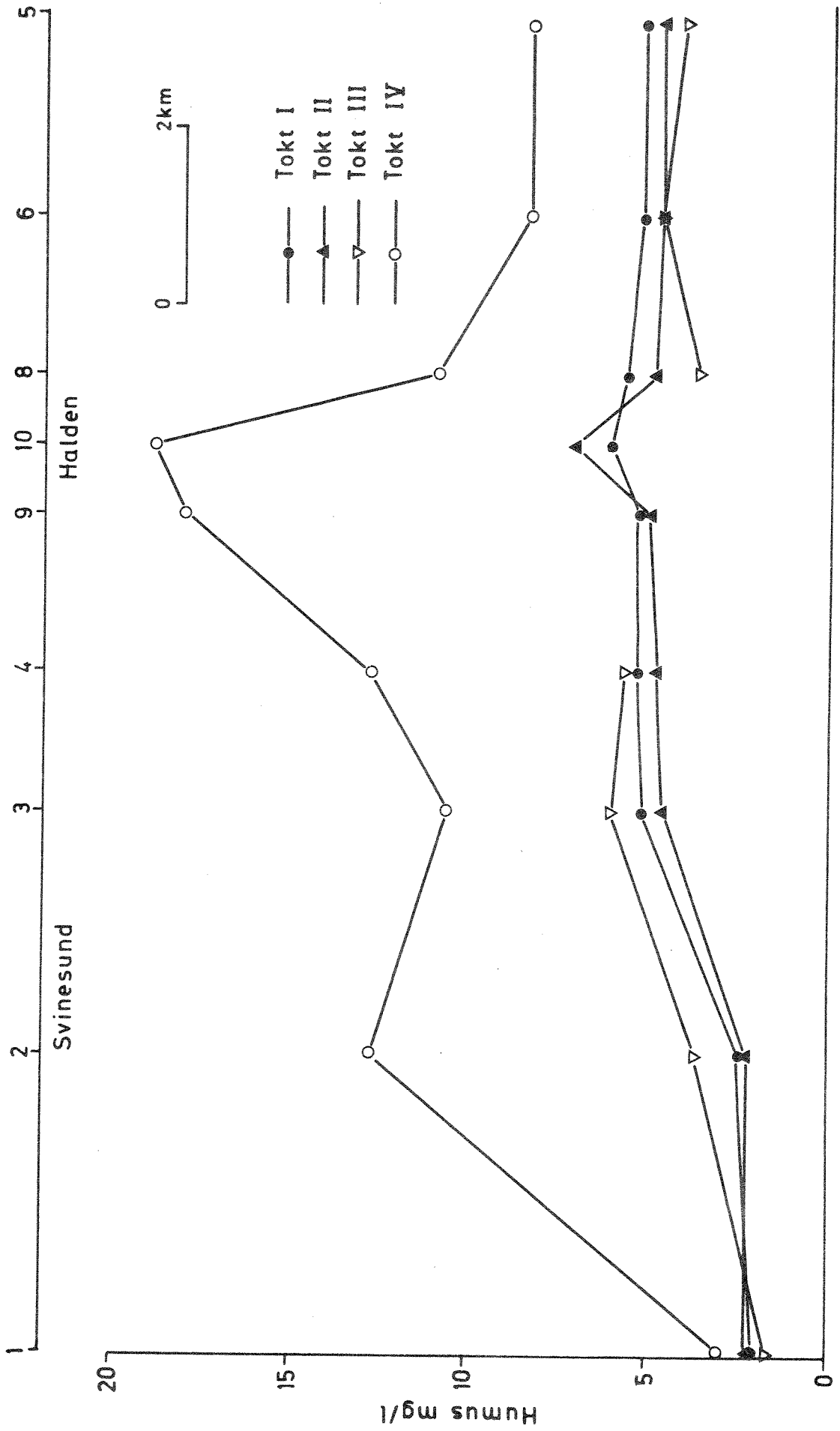
9.2 Humus i overflatevannet i Iddefjorden

Resultatene av humusmålingene er gitt i tabell 7 og skjematiskert i figur 9. Disse resultatene viser at under de tre første toktene er det ingen vesentlige forskjeller i humusmengdene i overflatevannet og gjennomsnittsverdiene varierer mellom 4,2 og 4,6 mg/l. Dette skulle tyde på at humus ikke er influert av utslipp fra Saugbrugsforeningen, men at mengdene er regulert av ferskvannstilførselen. En måling av humusmengden i Tista ovenfor Halden by (stasjon 11, figur 2) ved tokt III, da ferskvannstilførselen var liten, viste en konsentrasjon på 4,36 mg/l, som tilsvarende gjennomsnittskonsentrasjonen i fjorden ved de

Tabell 7. Humus i overflatevannet i Iddefjorden og i Tista

| Stasjon | Humus (mg/l) | | | |
|---------------------------|--------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 2,09 | 2,15 | 1,69 | 3,08 |
| 2 | 2,41 | 2,31 | 3,70 | 12,8 |
| 3 | 5,17 | 4,65 | 6,00 | 10,6 |
| 4 | 5,32 | 4,80 | 5,56 | 12,8 |
| 5 | 5,24 | 4,71 | 3,99 | 8,36 |
| 6 | 5,20 | 4,68 | 4,71 | 8,34 |
| 7 | 5,20 | 4,74 | 4,82 | 7,38 |
| 8 | 5,65 | 4,85 | 3,65 | 10,9 |
| 9 | 5,26 | 5,08 | - | 18,0 |
| 10 | 6,02 | 7,09 | - | 18,9 |
| 11 | - | - | 4,36 | - |
| Gj.snitt (stasjon 1-9) | 4,62 | 4,22 | 4,27 | 10,25 |

Fig. 9. Variasjoner i humus-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden



tre første toktene (tabell 7). I slutten av september og begynnelsen av oktober økte ferskvannstilførselen til det 10-dobbelte og ved tokt IV var den 6 ganger større enn ved de tidligere toktene. Dette førte til mer enn dobling av humusmengdene i elva og i overflatevannet i fjorden. Undersøkelser i andre fjordområder har vist at humuskonsentrasjonen ofte er tilnærmet omvendt proporsjonal med saliniteten (Almgren et al., 1975).

10. TUNGMETALLER

10.1 Innledning

Bekymringen over en generell økning i tungmetallkonsentrasjonene i det marine miljø er berettiget. Selv om metaller ikke er naturfremmede stoffer, er det grunn til å være på vakt overfor signifikante økninger, særlig av metaller som mange organismer har magelfull evne til å hindre opptak av eller skille ut (f.eks. Cu, Cd, Hg og Pb).

Metallforurensning kan være et stort problem i fjorder hvor vannmassene har lang oppholdstid, dersom det er et kontinuerlig utslipp av metaller (Skei, 1972; 1973; 1975). En kompliserende faktor er at metallene oppfører seg ulikt i vannmasser med ulike redoksforhold, pH, ulike mengder og type organisk materiale og mht. adsorpsjon og utlutning fra partikler og utfelling. Etter som det er så mange mekanismer som er med og kontrollerer konsentrasjonene av metallene, er det vanskelig å fastsette en bakgrunnsverdi for et metall i fjordvann. Når metallinnholdet i sjøvannsprøvene fra Iddefjorden skal vurderes, vil denne vurderingen basere seg på sammenlikningen med resultater fra undersøkelser i andre norske og utenlandske kystfarvann.

10.2a Kvikksølv (Hg)

Resultatene i tabell 8 viser at i overflatevannet varierer Hg-mengdene mellom 0,05 og 0,38 µg/l. I "uforurensset" kystvann er mengdene av totalt Hg (løst og partikulært) oppgitt til å variere mellom 0,099 og 0,262 µg/l (Thompson & McComas, 1973). Målinger av totalt Hg i Kattegatt og i de Baltiske vannmasser har vist et Hg-innhold på 0,13 µg/l (Danielsson & Dyrssen, 1975). Vi kan derfor anta at Hg konsentrasjoner som ikke overskrider 0,2 µg/l representerer normale verdier. Ved høyere verdier

er det grunn til å tro at Hg tilføres området via en forurensningskilde. Som vi ser av tabell 8, er det bare under tokt III at verdiene av Hg er en del høyere enn 0,2 µg/l. På det tidspunkt var konsentrasjonen av Hg i elva Tista (stasjon 10) 0,30 µg/l, mens den var mindre enn halvparten ved de øvrige tokt. Det er derfor grunn til å tro at den generelle økningen av Hg i overflatevannet i fjorden ved tokt III skyldes tilførsel via Tista. Det er verdt å merke seg at det var bare under tokt III at vi hadde kombinasjonen lav vannføring og full produksjon ved Saugbrugsforeningen. Under tokt IV derimot, var vannføringen meget stor i Tista og dette medførte bedre fortynning av avløpsvann fra treforedlingsindustrien og kommunal kloakk fra Halden.

Generelt må det sies at mengdene av Hg i overflatevannet i Iddefjorden ikke er urovekkende store og vil neppe representere noe miljøproblem for de organismer som er avhengig av denne vannmassen.

Under tokt IV ble det i tillegg til overflateprøver tatt et profil fra overflaten til bunnen på stasjon 3 (tabell 9). Dette Hg-profilet er gjengitt i figur 10. Konsentrasjonene var lave og "normale" ned til 10 m dyp. Herfra økte innholdet og nådde et maksimum på 0,46 µg/l ved 25 m dyp. Nær bunnen var de lavere igjen. Dette Hg-maksimum befinner seg i midten av det nylig innstrømmede dypvannet (kapittel 6). Det er flere alternative forklaringer på dette:

1. Den innstrømmende vannmassen som fornyet bunnvannet i Iddefjorden hadde et høyere Hg-innhold enn vannet i selve Iddefjorden.
2. En forandring av redoksf forholdene i bunnvannet fra sterkt anoksisk til oksisk, har ført til en kraftig diffusjon av Hg fra sedimentet til bunnvannet (Gavis & Ferguson, 1972).
3. Under innstrømmingen av dypvann har det skjedd en betydelig resuspensjon av fint, organisk sediment med høyt Hg-innhold. Det er tidligere påvist store mengder Hg i sedimentene i Iddefjorden (Olausson, 1972).

Tabell 8. Metaller i sjøvannsprøver fra Iddefjorden og i ellevann fra Tista

| Stasjon | Kvikksølv, $\mu\text{g Hg/l}$ | | | |
|----------|-------------------------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 0,17 | 0,18 | 0,38 | 0,11 |
| 2 | 0,21 | 0,14 | 0,33 | 0,11 |
| 3 | 0,08 | 0,22 | 0,40 | 0,07 |
| 4 | 0,08 | 0,16 | 0,32 | 0,22 |
| 5 | 0,07 | 0,11 | 0,21 | 0,15 |
| 6 | 0,08 | 0,14 | 0,23 | 0,09 |
| 7 | 0,15 | 0,14 | 0,27 | 0,11 |
| 8 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,05 |
| 9 | 0,16 | 0,19 | 0,28 | 0,10 |
| 10 | 0,09 | 0,11 | 0,30 | 0,17 |
| Gj.snitt | 0,12 | 0,15 | 0,29 | 0,12 |

| Stasjon | Sink, $\mu\text{g Zn/l}$ | | | |
|----------|--------------------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 10 | 19 | 25 | 6 |
| 2 | 5 | 7 | 11 | 8 |
| 3 | 14 | 15 | 19 | 10 |
| 4 | 13 | 15 | 17 | 25 |
| 5 | 10 | 12 | 12 | 11 |
| 6 | 12 | 15 | 16 | 8 |
| 7 | 15 | 12 | 10 | 10 |
| 8 | 13 | 17 | 14 | 10 |
| 9 | 17 | 16 | 17 | 35 |
| 10 | 13 | 55 | 40 | 70 |
| Gj.snitt | 12 | 18 | 18 | 19 |

(tabell forts.)

(tabell 8 forts.)

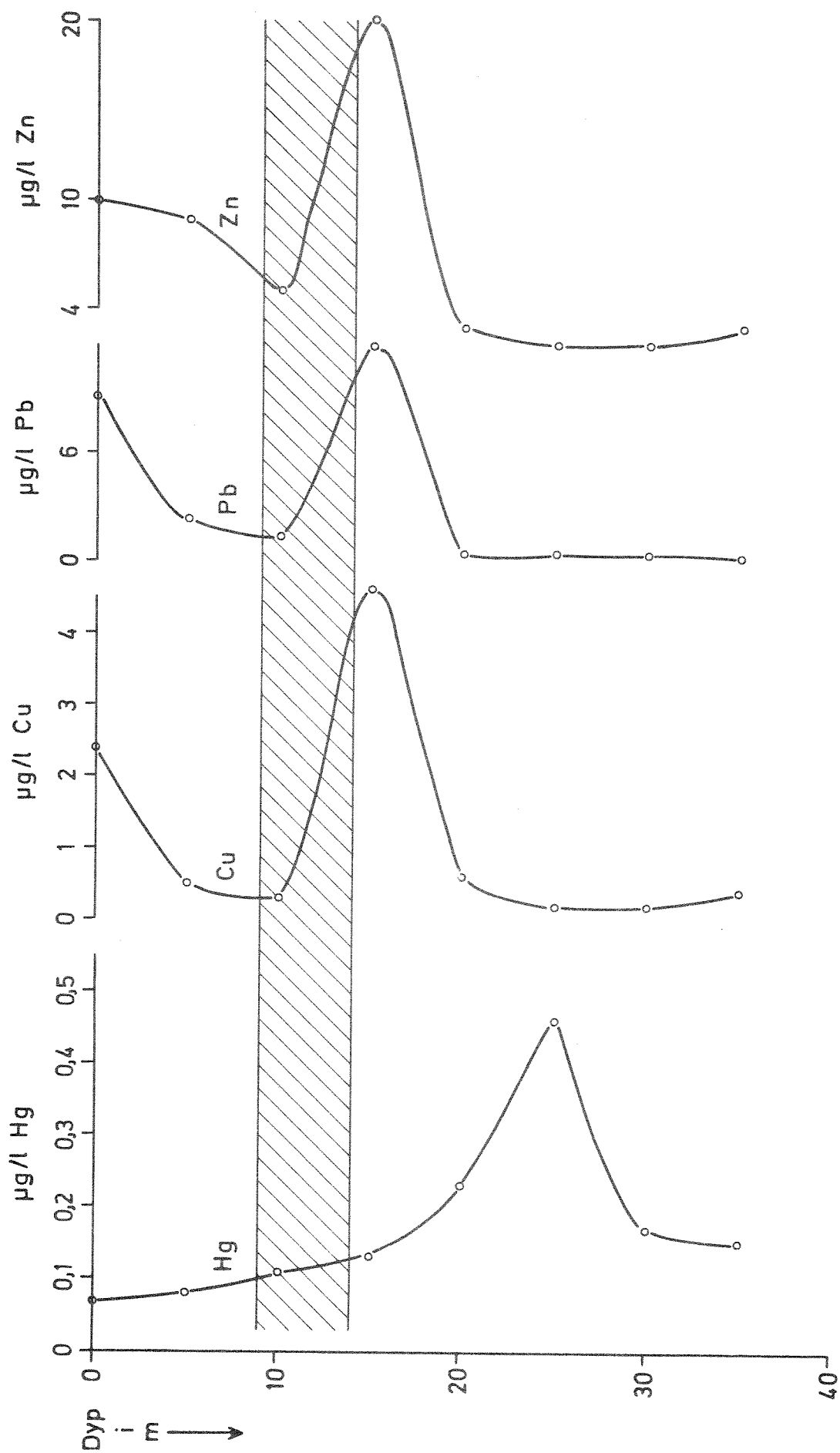
| Stasjon | Bly, $\mu\text{g Pb/l}$ | | | |
|----------|-------------------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | <1 | 1,5 | <0,5 | <1 |
| 2 | <1 | 0,7 | 4,2 | 6,5 |
| 3 | 3 | 2,1 | 5,3 | 9,2 |
| 4 | - | 2,1 | 5,0 | 18,0 |
| 5 | - | 1,4 | 4,1 | 2,5 |
| 6 | 3 | 1,8 | 4,5 | 3,7 |
| 7 | - | 1,8 | 6,3 | 3,0 |
| 8 | 3 | 5,4 | 5,3 | 5,5 |
| 9 | - | 3,2 | 9,0 | 23,0 |
| 10 | 4 | 30,4 | 30,0 | 35,0 |
| Gj.snitt | - | 5,0 | ~7,4 | ~10,7 |

| Stasjon | Kopper, $\mu\text{g Cu/l}$ | | | |
|----------|----------------------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 1,7 | 5,5 | 2,5 | 1,2 |
| 2 | 0,7 | 2,7 | 2,4 | 3,9 |
| 3 | 1,3 | 3,5 | 3,1 | 2,4 |
| 4 | 1,1 | 2,3 | 3,0 | 3,8 |
| 5 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 1,7 |
| 6 | 1,2 | 2,4 | 2,5 | 1,1 |
| 7 | 0,3 | 2,3 | 3,4 | 1,7 |
| 8 | 1,3 | 3,2 | 3,1 | 4,4 |
| 9 | 0,6 | 3,0 | 6,5 | 3,6 |
| 10 | 3,3 | 7,4 | 13,0 | 5,2 |
| Gj.snitt | 1,3 | 3,4 | 4,2 | 2,9 |

Tabell 9. Kopper, bly, sink og kvikksølv i vannprøver fra stasjon 3
(24/10)

| Dybde (m) | µg/l | | | |
|-----------|------|------|----|------|
| | Cu | Pb | Zn | Hg |
| 0 | 2,4 | 9,2 | 10 | 0,07 |
| 5 | 0,5 | 9,2 | 9 | 0,08 |
| 10 | 0,3 | 1,4 | 5 | 0,11 |
| 15 | 4,6 | 12,0 | 20 | 0,13 |
| 20 | 0,6 | <1,0 | 3 | 0,23 |
| 25 | 0,2 | <1,0 | 2 | 0,46 |
| 30 | 0,2 | <1,0 | 2 | 0,17 |
| 35 | 0,4 | <1,0 | 3 | 0,15 |

Fig. 10. Vertikal fordeling av kvikksølv (Hg), kopper (Cu), bly (Pb) og sink (Zn) på stasjon 3 (skravert område representerer overgangen mellom oksisk og anoksisk vann)



På grunnlag av få analyser er det umulig å ha noen formening om hvilket alternativ som er mest sannsynlig.

10.2b Kopper (Cu)

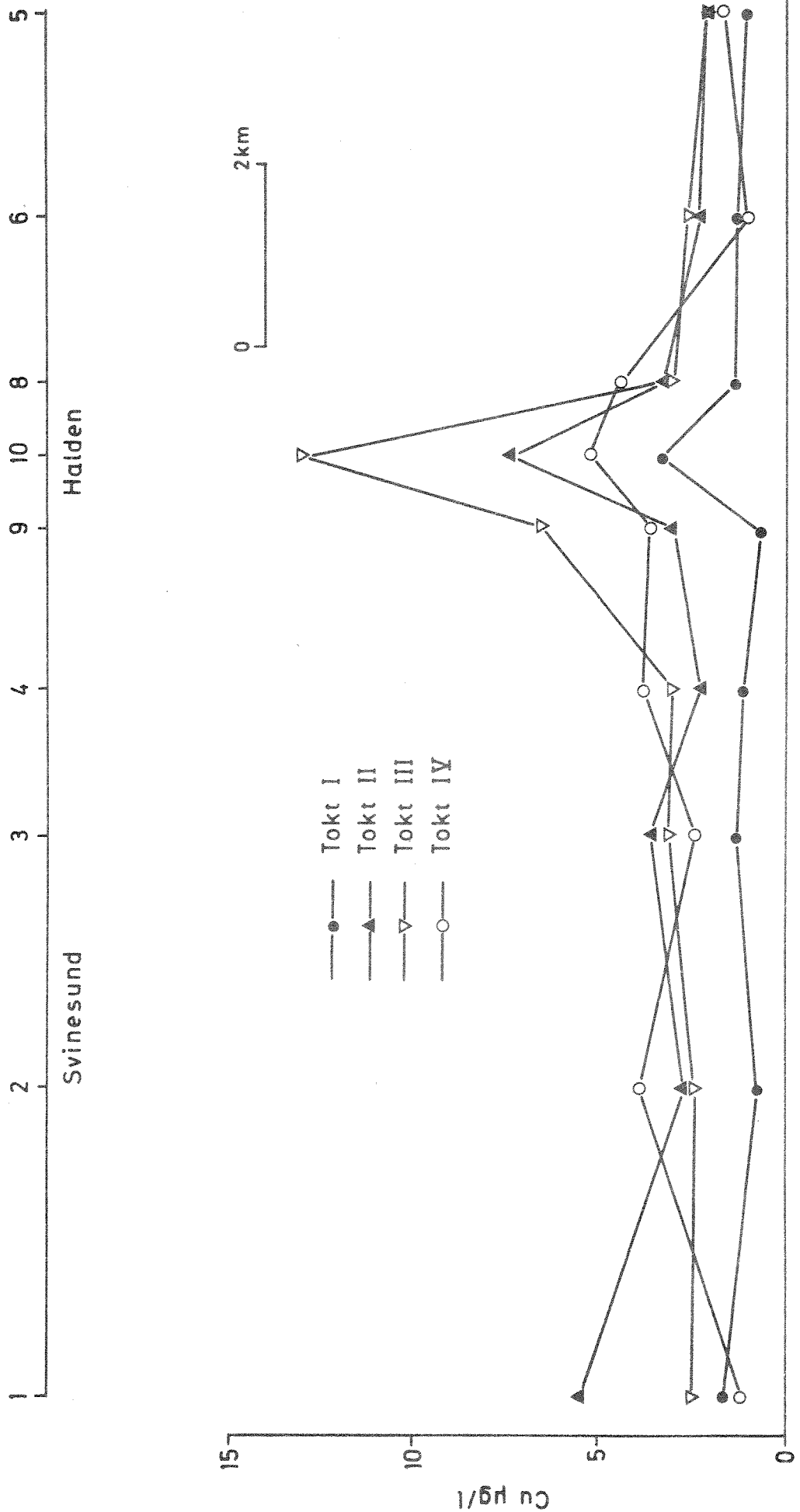
I overflatevannet i Iddefjorden og Tista varierer Cu mellom 0,3 og 13,0 µg/l (tabell 8). Variasjonene i området er illustrert i figur 11 og viser klart at de høyeste verdiene er målt i elva (stasjon 10). Målingene gir ellers ingen klar indikasjon på at utslipp fra Saugbrugsforeningen inneholder større mengder Cu. Høyeste Cu-verdi i elva ble imidlertid målt da Hg var høyest (9.2a), noe som kan tyde på at Cu og Hg kommer fra samme kilde. Også konsentrasjonen av lignin i elva var høyest på dette tidspunkt.

I fjorden varierer Cu mellom 1 og 4 µg/l. Til sammenlikning kan nevnes at i kystområdene rundt England er det målt 1,2-2,8 µg/l løst Cu (Preston et al., 1972). Dette tilsier at Cu-nivået i overflatevann fra Iddefjorden er nokså normalt. Målinger av Cu i elvevann på Vestlandet ga verdier mellom 2 og 5 µg/l (Skei, 1975), mens i en rekke upåvirkede elver i Canada ble det målt 1-6 µg/l Cu (Reeder et al., 1972).

Det er derfor grunn til å anta at noe Cu tilføres elva Tista via en forurensningskilde. Imidlertid ser det ikke ut til at dette er nok til å heve konsentrasjonen av Cu i overflatevannet i fjorden. Dette skyldes trolig at Cu sedimenteres raskt i området nær Halden. Målinger av Cu i overflatesediment utenfor Halden viste 250-300 ppm, mens midtveis mellom Halden og Svinesund var Cu sunket til 120 ppm (Olausson, 1972).

Resultater fra målinger av Cu i et profil fra overflaten til bunnen på stasjon 3 er vist i figur 10. Anoksiske vannmasser inneholder ofte små mengder tungmetaller og målinger av Cu og Zn i det oksygenfrie dypvannet i Iddefjorden tidligere har vist verdier som nærmer seg null (Danielsson & Dyrssen, 1975). Dette skyldes trolig felling av metallenes respektive sulfider eller adsorpsjon til jernsulfid-kolloider og påfølgende sedimentasjon. Når bunnvannet som etter innstrømmingen ble oksygenert (tokt IV), også viser unormalt lave Cu-verdier (0,2-0,6 µg/l), kan dette skyldes:

Fig. 11. Variasjoner i kopper-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden



1. Ved dypvannsfornyelsen skjedde det en miksing mellom innstrømmende vann med lavt Cu-innhold og H₂S-holdig bunnvann som var tilnærmet fri for Cu. Resultatet ble en vannmasse med unormalt lavt Cu-innhold.
2. Ved miksing mellom oksygenert vann og anoksiske vann, ble den oksygenerte vannmassen "strippet" for Cu ved sulfidutfelling eller ved adsorpsjon til partikulært materiale.

Ved dypvannsfornyelsen ble en del av det "gamle" H₂S-holdige bassengvannet presset oppover pga. tetthetsforskjellen i vannmassene, og ble liggende like under sprangsjiktet (figur 6). Dette vannet var karakterisert ved lavt Cu-innhold. I grenseflaten mellom det oksygenerte bunnvannet og det H₂S-holdige vannet opptrådte det et betydelig Cu-maksimum (figur 10). Det som her skjer er trolig et resultat av advektive og diffusive prosesser omkring en grenseflate, slik som er observert tidligere i anoksiske, marine miljø (Spencer et al., 1972). Grenseflaten mellom O₂ og H₂S lå her i nærheten av 10 m dybde, mens Cu-maksimumet opptrådte like under denne grenseflaten. I H₂S-laget vil Cu som f.eks. tilføres fra overflatelaget felles som sulfid og den partikulære Cu-forbindelsen vil synke ned i det oksygenholdige vannet, hvor Cu løses eller utlutes fra partikler. Omvendt kan Cu diffundere inn i H₂S-laget, hvor en ny utfelling skjer. Cu vil dermed gjennomgå en stadig syklring nær denne redoksflaten, hvor det skjer en veksling mellom Cu i løst og partikulær form. Det observerte Cu-maksima ved 15 m dyp (stasjon 3) er trolig forsterket pga. en tetthetssjiktning i vannmassen i dette dypet. (Fig. 4.) Dette vil nedsette synkehastigheten til partiklene. Turbiditetsmålinger ved ~ 15 m dyp i Iddefjorden har tidligere vist høye partikkelkonsentrasjoner (Danielson & Dyrssen, 1975). Da var redoksforholdene omvendt, med H₂S i bunnvannet og O₂ i de øvre 10 m.

10.2c Sink (Zn)

Sink varierer mellom 5 og 35 µg/l i overflatevannet i Iddefjorden (tabell 8). Til sammenligning kan nevnes at Zn i overflaten fra Framvaren ble målt til 7-8 µg/l (ufiltrert) (Piper, 1971), i kystområdene langs England, 3-16 µg/l (løst) (Preston et al., 1972) og i de indre, forurensede deler av Oslofjorden, 40-72 µg/l (Andersen et al.,

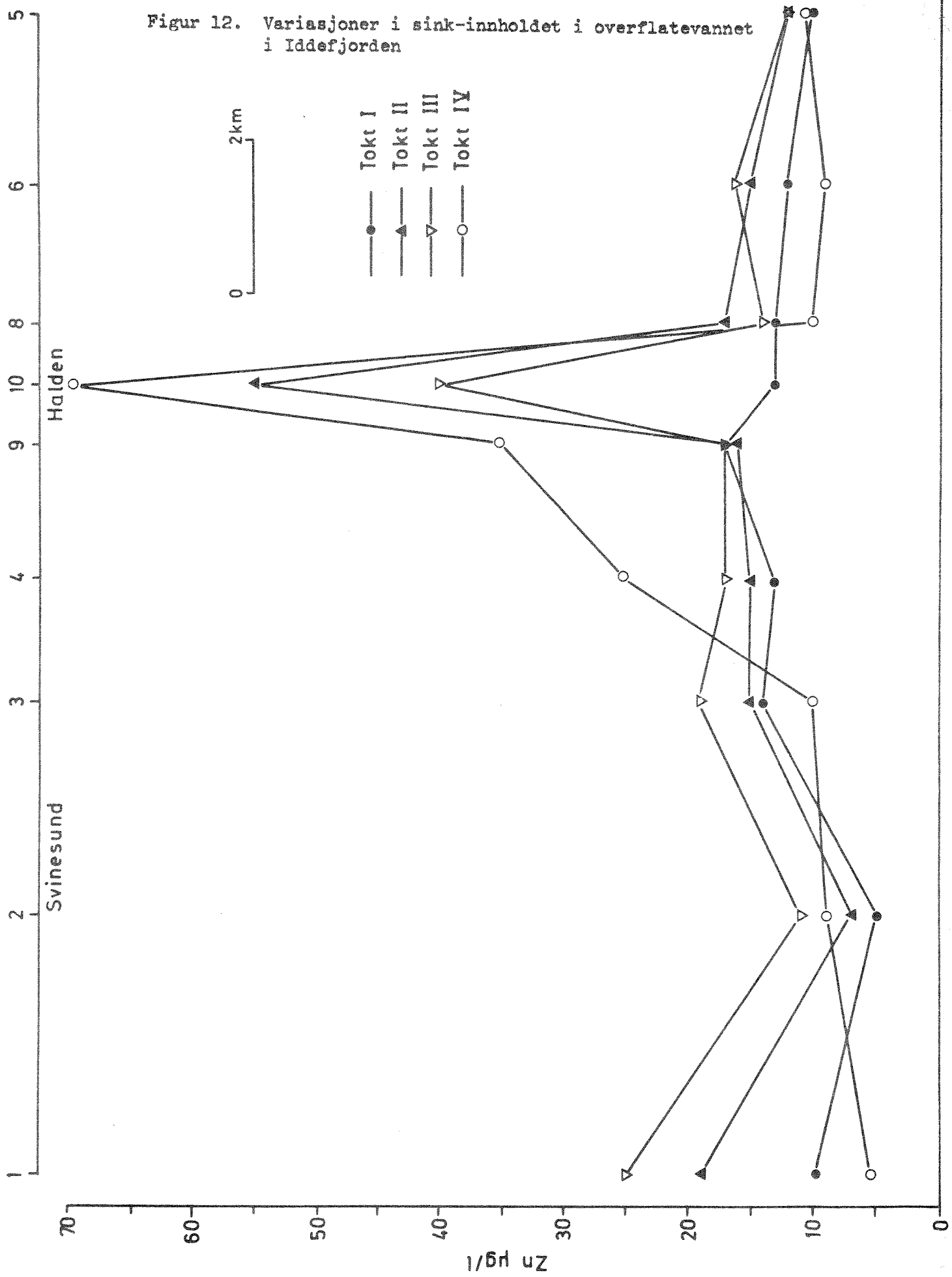
1973). De Zn-konsentrasjonene som er målt i Iddefjorden er således ikke unormalt høye. Figur 12 viser at det var en tendens til en økning i Zn konsentrasjonene på den ytterste stasjonen i Iddefjorden (stasjon 1). Dette kan tyde på at overflatevannet i Singlefjorden inneholder noe høyere Zn-konsentrasjoner enn i Iddefjorden.

I elva Tista (stasjon 10) var det relativt store variasjoner i Zn-innhold fra tokt til tokt (13-70 $\mu\text{g}/\text{l}$). Dessuten var konsentrasjonene her betydelig høyere enn i fjorden. Generelt er Zn-innholdet i elvevann svært variabelt, men verdier mellom 40 og 70 $\mu\text{g}/\text{l}$ (tabell 8) tyder på en viss belastning. Imidlertid avtar Zn-konsentrasjonen meget raskt idet elva munner ut i fjorden, særlig når vannføringen var liten. Dette skyldes trolig at Zn felles eller adsorberes til partikulært materiale og sedimenteres når blandingen mellom elvevann og sjøvann skjer.

Ved tokt IV ble Zn-konsentrasjonen i Tista målt til 70 $\mu\text{g}/\text{l}$, og dette forårsaket en betydelig øking på stasjonene 9 og 4 SV for Halden (figur 12), men ikke på stasjonene SØ for Halden. Dette indikerer på samme måte som salinitet, lignin og siktedyp at mesteparten av Tistas vannmasser tar veien mot Svinesund, særlig når ferskvannstilførselen er stor. Hvorvidt den høye konsentrasjonen av Zn i elva skyldes utslipp fra Saugbrugsforeningen, kan det ikke sies noe bestemt om ut fra de foreliggende opplysninger.

Figur 10 viser dybdeprofilen av Zn (stasjon 3), sammen med de andre metallene som ble analysert. Det er en overbevisende likhet mellom profilene for Zn, Cu og Pb og disse metallenes fordeling er tilsynelatende kontrollert av de samme mekanismer som omtalt i forrige avsnitt (9.2b). Løselighetsproduktene til kopparsulfid (CuS) og sinkulfid (ZnS) tilsier at Cu felles før Zn i H_2S -holdig vann. Dette fører til at Cu/Zn-forholdet i oksygenfritt vann er lavere enn i oksygenert vann (Hallberg, 1973). På stasjon 3 i Iddefjorden er forholdet Cu/Zn i det H_2S -holdige vannet (5-10 m) $\sim 0,06$, mens i det oksygenholdige bunnvannet og overflatevannet er forholdstallet 0,1-0,2. Ser vi på økningen av Cu og Zn mellom 10 og 15 m dyp (figur 10), øker Cu med en faktor på 15 mens Zn øker med en faktor på 4. Dette indikerer at det markerte maksimum av Cu og Zn ved grenseflaten mellom oksisk og anoksisk vann skyldes utfelling av metallsulfider, hvor felling av CuS går raskere enn felling av ZnS .

Figur 12. Variasjoner i sink-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden



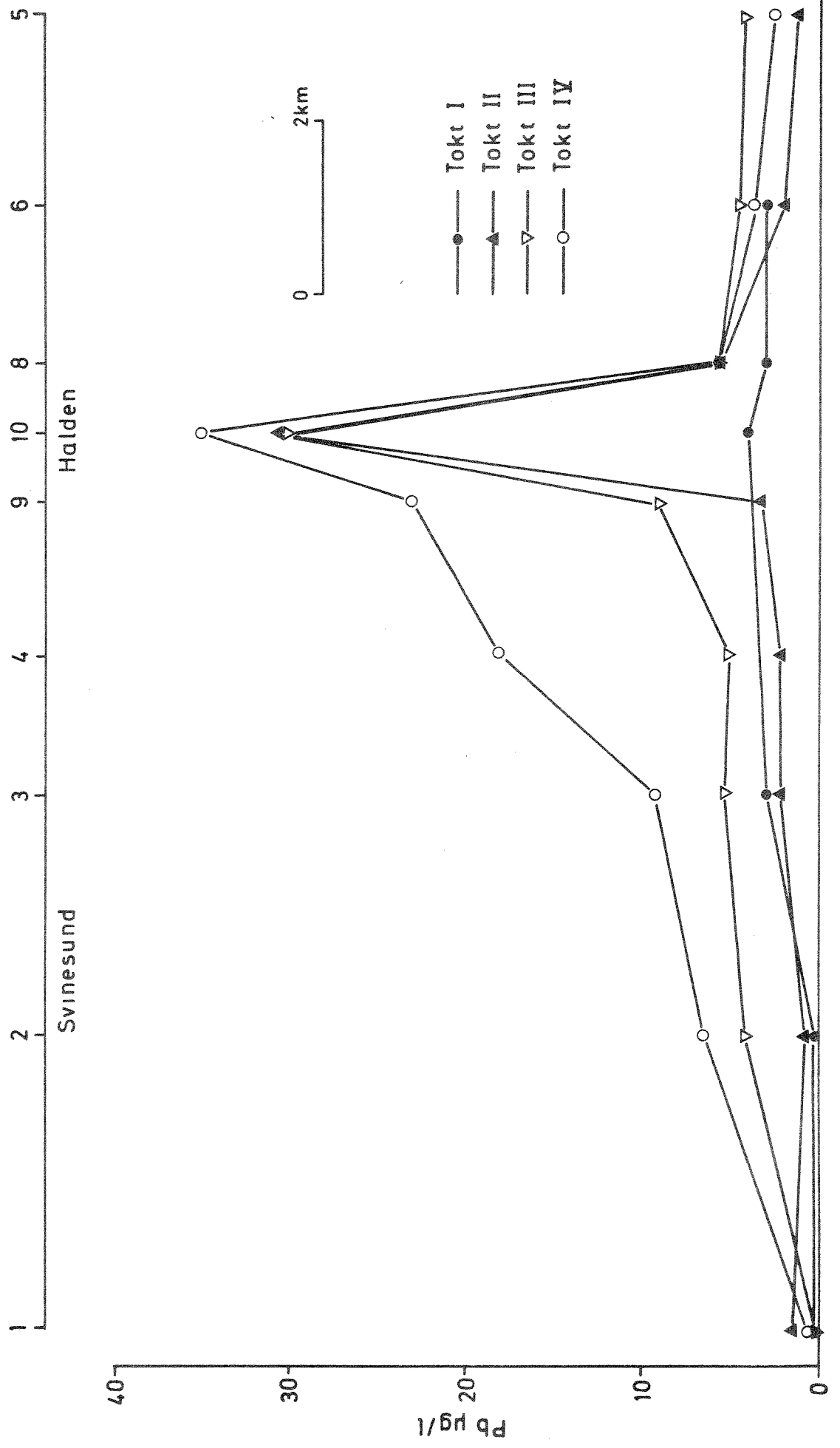
10.2a Bly (Pb)

Bly er også et av de metaller som, selv i lave konsentrasjoner, har påviselige, skadelige effekter på marine organismer (Bryan, 1971). Bly er også et metall som særlig tidligere var forbundet med kompliserte, analytiske problemer, slik at det er relativt få pålitelige referanseverdier for Pb i sjøvann.

I overflatevannet i Iddefjorden varierer Pb mellom $< 0,5$ og $23 \mu\text{g/l}$, mens i elva Tista ble det målt maksimumsverdier på $35 \mu\text{g/l}$. Total Pb (partikulært og løst) antas å variere mellom $0,5$ og $1 \mu\text{g/l}$ i "uforurenset" kystvann (Preston et al., 1972). Dermed er det klart at konsentrasjonsnivået for Pb i Iddefjorden til dels er betydelig høyere enn det som kan regnes for normalt (tabell 8). Gjennomsnittsverdiene for elva og hele fjorden varierer mellom 5 og $10 \mu\text{g/l}$ ved tre av toktene. Variasjonene fra tokt til tokt og mellom de forskjellige stasjonene er illustrert i figur 13. Denne figuren viser at de høyeste konsentrasjonene er målt i elva og det er sannsynlig at dette bidrar til de høye konsentrasjonene i overflatevannet i fjorden, særlig mellom Halden og Svinesund. Konsentrasjonene utenfor munningen til Iddefjorden er nærmest å betrakte som normale ($< 0,5$ - $1,5 \mu\text{g/l}$). Sammenligner vi Pb-konsentrasjonene i fjorden ved de forskjellige toktene, er det tydelig at de er høyest under perioden med utslipp fra Saugbrugsforeningen og lavest under bedriftsstansen. Trolig skyldes dette utslipp av kisaske, som inneholder Pb (St.prp. nr. 130). Det er også påvist høye konsentrasjoner av Pb i overflatesedimenter i Iddefjorden (Olausson, 1972).

Som nevnt i forrige avsnitt (9.2c) er fordelingen av Pb på stasjon 3 den samme som for Cu og Zn, og er således regulert av redoksforholdene og til dels tetthetsforskjeller i vannet (s.45). Bly felles som blyulfid (PbS) i sulfidholdig vann og PbS er noe mer løselig enn CuS , men betraktelig mer tungtløselig enn ZnS . Dette skulle tilsi at Cu felles først, så Pb og til sist Zn. Ser vi på økningen av Pb i grenseflaten anoksisk-oksisk vann (10 til 15 m) og sammenligner med Cu og Zn, viser dette i hvilken rekkefølge metallsulfidene felles (Cu:15 ganger økning, Pb:9 ganger økning og Zn:4 ganger økning).

Figur 13. Variasjoner i bly-innholdet i overflatevannet i Iddefjorden



11. Klorofyll a I OVERFLATEVANNET I IDDEFJORDEN

Målinger av klorofyll a i vannet gir en indikasjon på biomassen av planteplankton som er til stede (Ryther & Yentch, 1957). Ved den anvendte metode registreres klorofyllinnholdet i såvel levende planteplankton-celler som i planterester.

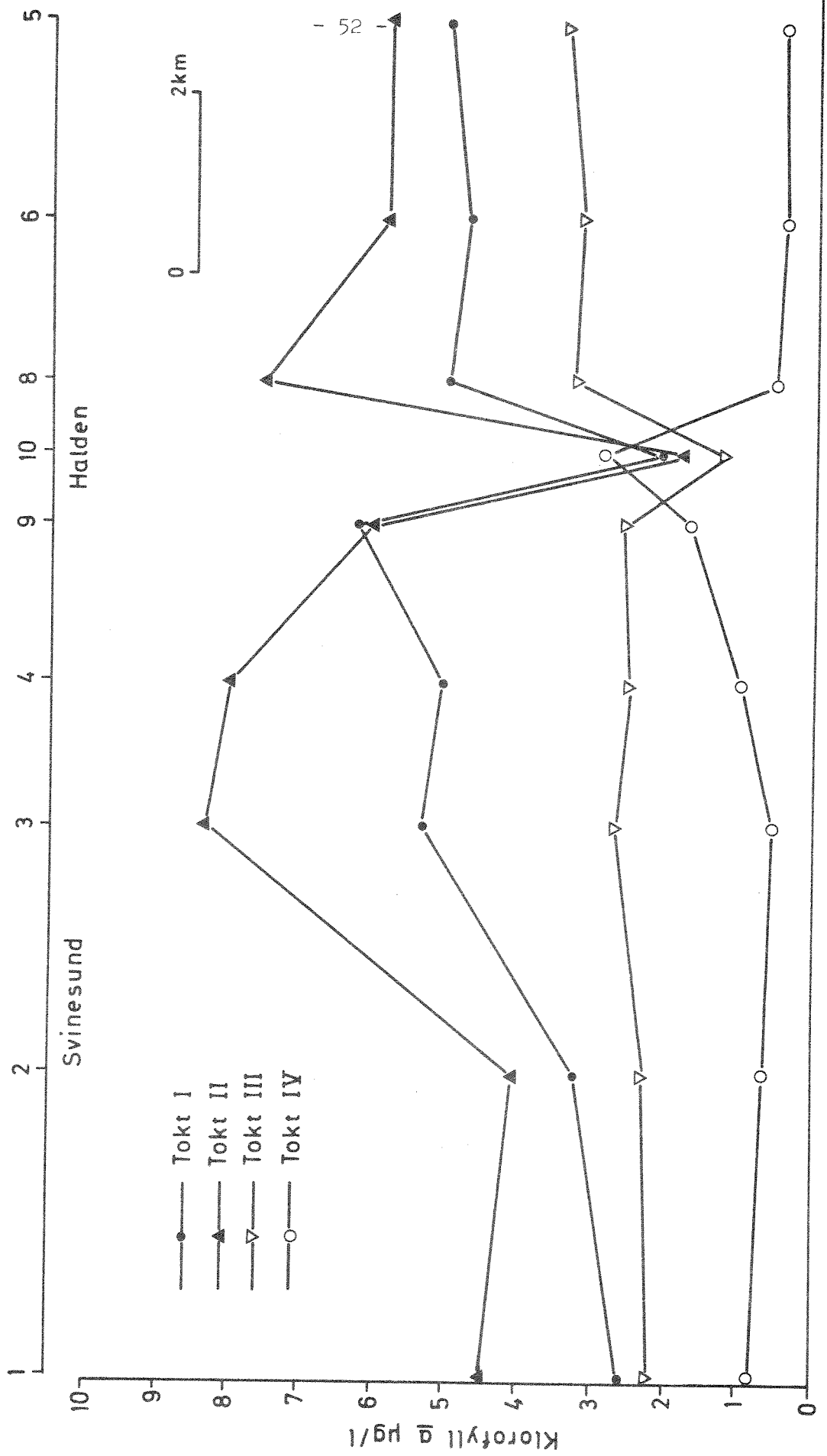
Resultatene av målingene er fremstilt i tabell 10 og i skjematiskert form i figur 14. Generelt er det små mengder av klorofyll a i overflate-laget under hele måleperioden, men det er signifikante svingninger fra tokt til tokt. Et generelt trekk er at de høyeste klorofyllverdiene er målt på stasjonene 3, 4, 8 og 9, som alle er i umiddelbar nærhet av Halden. Dette skulle tyde på en viss egenproduksjon av planteplankton i dette området, da vannmassene utenfor Svinesund og i elva Tista hadde lavere klorofyllinnhold. Figur 14 viser også en betydelig økning i klorofyll fra tokt I til tokt II (under bedriftsstansen). Dette kan være årsaken til en liten forverring i siktedyp i de ytre fjorddeler under tokt II (figur 7). Klorofyllmålinger foretatt under tokt III og IV (full produksjon ved Saugbrugsforeningen) viser lave verdier, sammenlignet med de øvrige tokt.

Når klorofyll a opptrer i større mengder nær Halden, særlig under bedriftsstansen, kan det tyde på at kommunalt avløpsvann fra Halden har en viss gjødslingseffekt på vannet, noe som fører til øket planktonvekst i dette området. Imidlertid ser det ut til at når det slippes ut avløpsvann fra Saugbrugsforeningen stoppes denne veksten. Vekst-forsøk med rødalgen *Ceramium strictum* i et medium innblandet vann fra Tista har vist klart at dette vannet inneholder veksthemmende stoffer (Lein et al., 1974). Det bør imidlertid understrekes at svingninger i klorofyllinnholdet i kystvann kan ha helt naturlige årsaker og behøver nødvendigvis ikke være forbundet med en forurensningssituasjon. Stor ferskvannstilførsel og mangel på lys er faktorer som kan resultere i lavere klorofyllverdier. I Iddefjorden registreres det således en reduksjon i klorofyll i oktober (tokt IV), da ferskvannstilførselen var stor. I stedet ble det på dette toktet registrert en økning i elva Tista (figur 14) noe som skyldes en oppblomstring av en ferskvanns diatomé (se kapittel 13).

Tabell 10. Klorofyll a i vannprøver fra Iddefjorden og elva Tista

| Stasjon | Klorofyll a, ($\mu\text{g/l}$) | | | |
|---------------------------|----------------------------------|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 2,57 | 4,45 | 2,20 | 0,84 |
| 2 | 3,23 | 4,10 | 2,30 | 0,66 |
| 3 | 5,31 | 8,37 | 2,70 | 0,55 |
| 4 | 5,04 | 8,01 | 2,50 | 1,00 |
| 5 | 5,04 | 5,79 | 3,40 | 0,46 |
| 6 | 4,74 | 5,88 | 3,20 | 0,44 |
| 7 | 4,95 | 5,41 | 2,00 | 0,49 |
| 8 | 5,01 | 7,55 | 3,30 | 0,51 |
| 9 | 6,26 | 6,05 | 2,60 | 1,70 |
| 10 | 2,10 | 1,77 | 1,20 | 2,90 |
| Gj.snitt (Stasjon 1-9) | 4,68 | 6,18 | 2,69 | 0,74 |

Figur 14. Variasjoner i mengdene av klorofyll a i overflatevannet i Iddefjorden



12. VEKSTPOTENSIALMÅLINGER I IDDEFJORDEN

Det ble utført vekstforsøk med ferskvannsalgen *Selenastrum capricornutum* og sjøvannsalgen *Phaeodactylum tricornutum* for å vurdere gjødslingspåvirkningen av vannmassene i fjorden og i elva Tista. Celledelingen ble registrert ved telling av antall celler ved hjelp av Coulter Counter. Den resulterende vekstkurve uttrykker et mål for mengden av plantenæringsstoffer tilgjengelige for testalgen i den aktuelle vannprøve (NIVA, 1972, 0-219/70). Her er bare det maksimale celleutbyttet i hver prøve registrert.

Valg av testalge er meget vanskelig når saltholdigheten varierer mellom 1 og 20 ‰. I fjorden ligger gjennomsnittssaltholdigheten i overflate- laget mellom 10 og 17 ‰, bortsett fra tokt IV da overflatelaget var meget ferskt (1-10 ‰). Saltholdighetstoleransen til de to valgte testalgene er testet og resultatene viser at *Phaeodactylum* krever en saltholdighet på 10-15 ‰ for å vokse maksimalt, mens ved saltholdigheter lavere enn 5 ‰ viser *Selenastrum* sterk vekst (NIVA, 1973, 0-162/71). Det blir ellers hevdet at *Phaeodactylum* er tolerant overfor store fluktasjoner i miljøfaktorene. (Ansell et al., 1963).

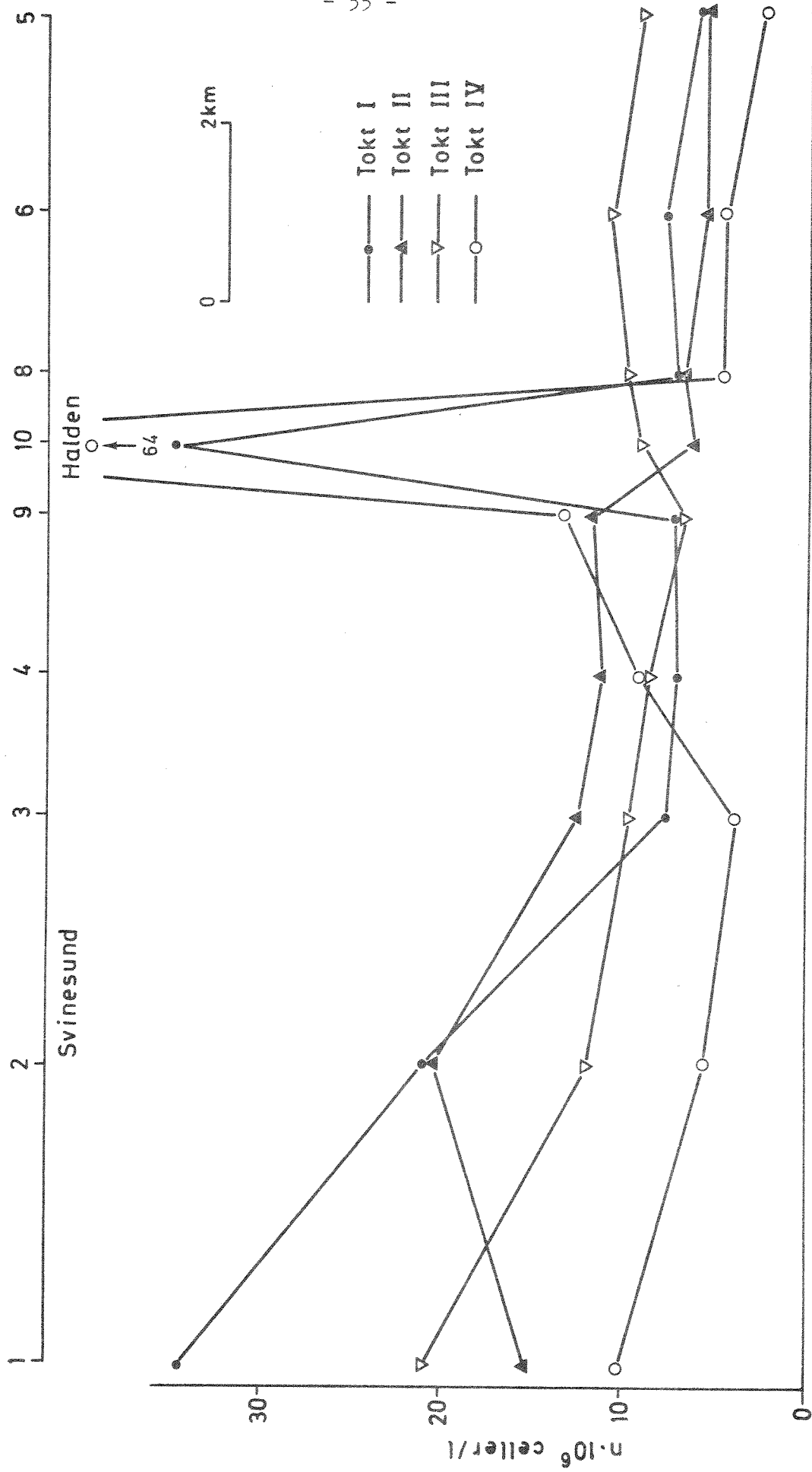
Resultatene av vekstforsøkene er gitt i tabell 11 og illustrert i figur 15 og 16. Det gjennomsnittlige antall celler av *Phaeodactylum* målt i sjøvannsprøvene (tabell 11), viser ingen signifikante variasjoner mellom de tre første toktene, mens ved tokt IV er celleantallet betydelig lavere. Det siste kan muligens skyldes at overflatesaliniteten på dette toktet var meget lav (1-10 ‰). Generelt er et vekstpotensial på 10 - 12 x 10⁶ celler/l svært lavt. I ytre deler av Oslofjorden er det vanligvis et vekstpotensial på 100 - 200 x 10⁶ celler/l på denne årstiden (Magnusson, pers. kom.).

Årsaken til den tilnærmede 0-veksten hos *Phaeodactylum* i sjøvannsprøver fra Iddefjorden er ikke kjent. Imidlertid er det verdt å merke seg at målinger av tilgjengelig nitrogen (summen av NO₃-N, NO₂-N og NH₄-N) i Iddefjorden i slutten av juni 1975, viste meget lave verdier (< 0,5 µg/l (Danielsson & Dyrssen, 1975)). Disse fant også meget små mengder fosfat i overflatevannet (< 0,5 - 2 µg/l), og konkluderte med at fosfor og

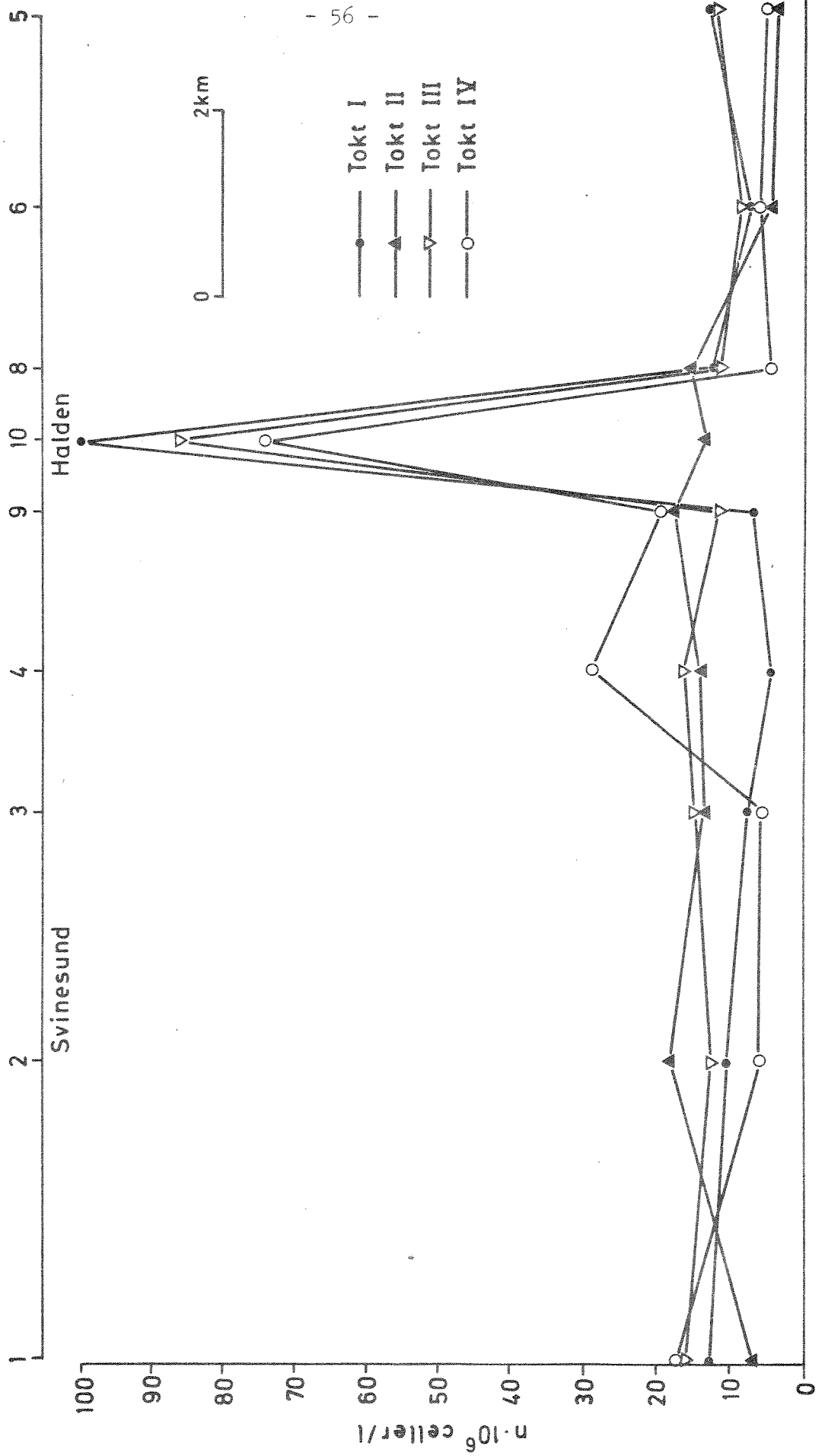
Tabell 11. Resultater av vekstforsøk med alger i vann fra Iddefjorden og Tista

| Stasjon | <i>Phaeodactylum</i> $\eta \cdot 10^6$ celler/l | | | |
|---------------------------|---|---------|----------|---------|
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 34,67 | 15,35 | 21 | 10,29 |
| 2 | 21,17 | 20,5 | 12 | 5,65 |
| 3 | 7,79 | 12,51 | 9,8 | 3,98 |
| 4 | 7,15 | 11,32 | 8,6 | 9,28 |
| 5 | 5,91 | 5,50 | 9,2 | 2,53 |
| 6 | 7,82 | 5,69 | 10,8 | 4,65 |
| 7 | 6,98 | 9,00 | 18,0 | 2,18 |
| 8 | 7,15 | 6,84 | 9,9 | 4,71 |
| 9 | 7,35 | 10,99 | 6,7 | 13,38 |
| 10 | 35 | 6,06 | 9,2 | 64 |
| Gj.snitt (stasjon 1-9) | 11,78 | 10,86 | 11,78 | 6,29 |
| Stasjon | <i>Selenastrum</i> $\eta \cdot 10^6$ celler/l | | | |
| | Tokt I | Tokt II | Tokt III | Tokt IV |
| 1 | 12,90 | 7,38 | 16,5 | 16,73 |
| 2 | 10,65 | 18,28 | 12,7 | 6,14 |
| 3 | 7,55 | 13,99 | 14,5 | 5,98 |
| 4 | 4,84 | 13,94 | 16,4 | 29 |
| 5 | 13,0 | 4,46 | 12,4 | 4,94 |
| 6 | 7,4 | 5,00 | 8,6 | 6,52 |
| 7 | 12,32 | 7,13 | 13,2 | 5,43 |
| 8 | 12,14 | 15,1 | 12,2 | 4,88 |
| 9 | 6,91 | 18,06 | 11,5 | 19,51 |
| 10 | 100 | 13,6 | 86,0 | 74 |
| Gj.snitt (stasjon 1-9) | 9,71 | 11,48 | 13,11 | 11,02 |

Figur 15. Variasjoner i vekstpotensialet hos sjøvannsalgen *Phaeodactylum tricorutum* i Iddefjord-yann



Figur 16. Variasjoner i vekstpotensialet hos ferskvannsalgen *Selenastrum capricornutum* i Iddefjord-vann



nitrogen tilføres fjorden i en form som plankton ikke kan anvende. Eutrofieringseffekter som økt begroing av *Enteromorpha* spp., *Cladophora* etc. er heller ikke observert i Iddefjorden (Lein et al., 1974), trass i en totaltilførsel av ~ 200 kg fosfor og noe over ~ 5000 kg nitrogen pr. døgn (St.prp. nr. 130). Om mangelen på vekst hos *Phaeodactylum* skyldes knapphet på anvendelige næringssalter eller vekstinhibierende stoffer er derfor usikkert.

Vekstforsøk med *Phaeodactylum* i vann fra Tista viste uventede resultater. Vannprøver tatt ved tokt II og III, da saliniteten i elva var henholdsvis 7 og 4 ‰, ga nesten ingen vekst hos *Phaeodactylum* ($< 10 \times 10^6$ celler/l). Derimot ble det registrert en betydelig økning i antall celler i prøver tatt ved tokt I og IV, da saliniteten var lavere enn 2,8 ‰, og således ikke skulle gi betingelser for vekst. Årsaken til dette er ikke kjent.

Resultatene fra vekstforsøkene med ferskvannsalgen *Selenastrum* er illustrert i figur 16. Det er ingen forskjell i vekstpotensial i overflatevannet i fjorden fra tokt til tokt og det er dessuten meget lavt ($< 20 \times 10^6$ celler/l). I Tista (stasjon 10) varierte celledetallet mellom 75 - 100 $\times 10^6$ celler/l ved tokt I, III og IV, mens det ved tokt II ikke ble registrert noe høyere vekstpotensial enn i fjorden.

Vekstpotensialet i fjorden var meget lavt, og det er tvilsomt om dette skyldes utelukkende en salteffekt. Før en større undersøkelse av primærproduksjonen, næringssaltene og planktonets livsløp i Iddefjorden foretas, er det lite grunnlag for å kommentere resultatene nærmere.

13. PLANKTON

Håvtrekk (25 μ maskevidde) ble tatt i overflatelaget (< 1 m dyp) ved 3 anledninger i Iddefjorden; under en befaring 21/8, tokt III og tokt IV. Det er foretatt en subjektiv mengdevurdering, hvor følgende skala er brukt:

- 5: Dominant
- 4: Hyppig
- 3: Vanlig

2: Sparsom

1: Sjelden

+: Forekommer

Resultatene av bearbeidelsen er gitt i tabell 12.

Kommentarer til resultatene vil bli gitt for hvert tokt og for hver stasjon.

Tokt 21/8

Håvtrekkene ble tatt under en befaring i området. På det tidspunkt var det "halv" bedriftsstans ved Saugbrugsforeningen (side).

Håvtrekk ble tatt utenfor Iddefjorden, nærmere bestemt ved Singløy og Kjøkkøy, og på stasjonene 1 og 3. Ved Singløy var håvtrekket sterkt preget av marine dinoflagellater, med *Prorocentrum micans* som den hyppigst forekommende art. Ellers var det en god del copepoder (hoppekreps, vesentlig calanoide), dessuten nauplielarver og forskjellige copepoditstadier. Prøven som ble tatt ved Kjøkkøy skilte seg ut ved høyt innhold av ferskvannsalger. Det er tydelig at vannmassene her var sterkt influert av Glåma-vann og prøven inneholdt derfor hovedsakelig elvas to vanligste arter på denne årstiden: *Fragilaria crotonensis* og *Tabellaria fenestrata*.

Ved munningen til Iddefjorden (stasjon 1) var hjuldyret *Brachionus plicatilis* viktigste håvplankton, men innslaget av marine dinoflagellater var også markert. Bortsett fra dinoflagellatene var det svært lite plankton.

Håvtrekket fra stasjon 3 besto av ~ 90% *Brachionus plicatilis*. Dinoflagellater og annet planteplankton var sparsomt representert. Det ble for øvrig påvist mye av noen uidentifiserte trådformede dannelser, som kan være fragmenter av en *Mallomonas*-art. Det er tidligere påvist en god del *Mallomonas*-arter i Haldenvassdraget (NIVA, 1972, O-219/70), slik at disse artene kan ha blitt tilført fjorden via Tista.

Generelt kan det sies at de fyttoplanktonartene som ble registrert 21/8 hovedsakelig besto av vanlig forekommende marine dinoflagellater (bortsett fra ved Kjøkkøy). Blant zooplanktonet var *Brachionus plicatilis* den dominerende, men det var også et tydelig innslag av hoppekreps o.a.

Tabell 12. Plankton innsamlet ved håvtrekk (maskevidde 25 µ)
i Iddefjorden og Singlefjorden sommeren og høsten 1975

| Organisme | 21/8 | | | | Tokt III (30/8) | | | | | Tokt IV (24/10) | | |
|--|--------------|-------------|---|---|--------------------|---|---|---|---|--------------------|---|---|
| | Singl- øy | Kjøk- øy | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| <u>MARINE ALGER</u> | | | | | | | | | | | | |
| <u>Cyanophyceae</u> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Nodularia spumigena</i> Mertens | | | + | | + | + | | | + | | | |
| <u>Bacillariophyceae</u> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) | | | | | 1 | | | | | | | |
| <i>Chaetoceros affinis</i> Lauder | 1 | | | | | | | | | | | + |
| " <i>decipiens</i> Cleve | | | | | 1 | 1 | | | | | 1 | + |
| " <i>didymus</i> Ehrenb. | | | | | | | | | | | | + |
| " <i>subsecundus</i> (Grun.) Hust. | | | | | + | | | | | | | |
| spp. | 1-2 | | 2 | | 2 | | | | + | | + | |
| <i>Coscinodisucus</i> spp. | | | | | | | | | 1 | | + | |
| <i>Eucampia zoodiacus</i> Ehrenb. | | | | | | | | | | | | + |
| <i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve | | | | | + | | | | | | | |
| <i>Nitzschia seriata</i> Cleve | | | | | | | | | | | | + |
| " sp. | | | | | | | | + | | | | + |
| <i>Rhizosolenia alata</i> Brightw. | | | | | | | | | | | 2 | 2 |
| " <i>alata</i> f. <i>gracillima</i> (Cleve) grun. | | | | | | | | | | | 1 | |
| " <i>hebetata</i> f. <i>semispina</i> (Hensen) gran | | | | | | | | | | | | + |
| " <i>setigera</i> Brightw. | | | | | | | | | | | | + |
| <i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve | | | | | | | | | | | 3 | 4 |
| <i>Thallassionema</i> sp. | | | | | | | | | + | | | + |
| <u>Silicoflagellatae</u> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Dicthyoca</i> sp. | | | | | | | | | | | | + |
| <u>Dinophyceae</u> | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ceratium furca</i> (Ehrenb.) Clap. et Lach | 2 | | 1 | | 2 | 1 | + | + | 1 | | 1 | |
| " <i>fuscus</i> (Ehrenb.) Dujard | 1-2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| " <i>fuscus</i> of var. <i>seta</i> (Ehrenb.) Jørg. | | | | | + | | + | | | | | |
| " <i>macroceros</i> (Ehrenb.) Cleve | | | | | | + | | | | | | |
| " <i>pentagonum</i> Gourret. | + | | | | | | | | | | | |
| " <i>tripos</i> (O.F.M.) Nitzsch | 3 | | 3 | | 1 | + | 2 | + | + | | + | 1 |

(Tabell forts.)

(tabell 12 forts.)

| Organisme | 21/8 | | | | Tokt III (30/8) | | | | | Tokt IV (24/10) | | | |
|---|--------------|-------------|-----|---|--------------------|---|-----|---|---|--------------------|---|---|---|
| | Singl- øy | Kjøk- øy | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | |
| <i>Dinophysis rotundata</i> Clap. et Lachm. | 1 | | | | | | | | | | | | |
| " <i>acuta</i> Ehrenb. | 3 | | | | | | | | | | + | | |
| " <i>lachmannii</i> Paulsen | 1 | | | | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | | | | |
| <i>Goniaulax polyedra</i> Stein | | | | | 1 | + | + | | | | | | |
| " sp. | | | | | 1 | 1 | | | | | | | |
| <i>Phalachroma</i> sp. | | 1 | + | 1 | | | | | | | | | |
| <i>Peridinium divergens</i> Ehrenb. | 2-3 | + | 1-2 | + | 1 | + | 1 | | | | | | |
| " <i>steinii</i> Jørg. | + | + | 2-3 | | | | | | | | | | |
| " sp. | + | | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Prorocentrum micans</i> Ehrenb. | 4 | + | 2 | 1 | 3-4 | 3 | 2-3 | 2 | 2 | 1 | 1 | | |
| Liten panserflagellat | | | | | | + | | | | | | | |
| Naken dinoflagellat | 1 | | 1 | | 2 | 2 | 2 | | | | | | |
| <u>FERSKVANNSALGER</u> | | | | | | | | | | | | | |
| <u>Cyanophyceae</u> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Coelosphaerium naegelianum</i> Unger | | | | | | | | + | | 2 | 2 | 3 | |
| <i>Oscillatoria</i> spp. | | 3 | | | | | | | | | | 1 | |
| <u>Chlorophyceae</u> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Arthrodesmus incus</i> (Breb.) Hass. | | + | | | | | | | + | | + | | |
| <i>Botryococcus braunii</i> Kütz. | | | | | | | | | | | | + | |
| <i>Chlamydomonas</i> | | + | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium</i> | | + | | | | | | | | | | | |
| <i>Dictyosphaerium cf. elegans</i> | | + | | | | | | | | | | | |
| <i>Eudorina elegans</i> Ebnrenb. | | 1 | | | | | | | | | | | |
| <i>Gloeococcus schroeteri</i> (Chod.) Lemm. | | 1-2 | | | | | | | | | | | |
| <i>Oocystis</i> sp. | | | | | | | | | + | | | | |
| <i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh. | | | | | | | | + | | | | | |
| " <i>duplex</i> Meyen | | + | | | | | | | | | | | |
| <i>Staurastrum</i> sp. | | + | | | | | | | | | + | 1 | + |
| <u>Bacillariophyceae</u> | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Asterionella formosa</i> Hass. | | 2 | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 |
| <i>Diatoma elongatum</i> (Lyngb.) C.A. Ag. | | 1 | | | | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton | + | 4 | | | + | | | | | | | | |
| <i>Melosira ambigua</i> (Grun.) O.F. M. | | + | | | | | | | | | | | |
| " <i>granulata angustissima</i> O.F.M. | | 2 | | | | | | | | | | | |

(tabell forts.)

Det er særlig interessant å legge merke til at *Brachionus*-arten opptrådte hyppigere jo nærmere Halden man kommer (tabell 12).

Tokt III (30/8)

Ved dette toktet ble håvtrekk tatt på stasjon 1, 2, 3, 4 og 5 i Iddefjorden.

På den ytterste stasjonen (1) var *Dinophysis lachmannii* og *Prorocentrum micans* dominerende arter. Med unntak av fåtallige *Fragilaria crotonensis* var planteplanktonsamfunnet her 100% marint. Lenger inne i fjorden (stasjon 2) var det en dominans av det tidligere nevnte hjuldyret *Brachionus plicatilis* i likhet med 21/8. I tillegg til de vanlige marine dinoflagellater, besto prøven av en del ciliater og hjuldyr. På stasjonene 3, 4 og 5 dominerte fremdeles *Brachionus plicatilis*, men sammen med en uidentifisert ciliat. Særlig på stasjon 3 var det en del marine dinoflagellater, mens både antall arter og mengden var redusert på stasjonene 4 og 5.

Håvtrekkene fra tokt III skilte seg ikke vesentlig ut fra forrige tokt (21/8). Tabell 12 viser at en rekke zooplanktonarter var til stede, også innover mot Halden, og at et stort antall marine planteplanktonarter ble registrert. Det var bare et fåtall ferskvannsformer til stede. Dette er rimelig med tanke på den beskjedne ferskvannstilførselen i august (figur 1).

Tokt IV (24/10)

Håvtrekkene ble tatt på stasjonene 1, 2 og 3 i Iddefjorden.

På stasjon 1 var diatomeene den vanligste gruppen. I tillegg til disse marine formene var det også en del av ferskvannsalgen *Coelosphaerium naegelianum* (blågrønnalge).

Opptreden av ferskvannsalger i oktober skyldes ganske sikkert den store ferskvannstilførselen. Blågrønnalgen *Coelosphaerium naegelianum* (kolonidannende) er en av de dominerende arter i høstplanktonet i Haldenvassdraget (NIVA, 1972, 0-219/70).

Ved Svinesund (stasjon 2) var planktonet svært variert sammensatt. Mengdemessig dominerte diatomene, med innslag av arter både fra ferskvann og saltvann. *Skeletonema costatum* var den mest fremtredende.

På stasjon 3, som ligger nærmere 4 km SV for Halden, var planktonsamfunnets sammensetning vesentlig annerledes. Marint fyto- og zooplankton var nesten borte. I stedet var det et stort innslag av detritus, bakterier, sopphyfer og noen ferskvannsalger. I motsetning til i august ble ikke *Brachionus plicatilis* registrert, og mengdene av ferskvannsdyreplankton var i det hele redusert.

Den store forandringen i planktonsamfunnet mellom august og oktober, kan ha flere årsaker. At de marine dinoflagellatene ble erstattet av marine diatomeer i oktober kan muligens skyldes temperaturen. Overflatetemperaturen i august var 18-20 °C, mens den i oktober var sunket til mindre enn 10 °C. Det er kjent at dinoflagellater foretrekker høye temperaturer og viser ofte en oppblomstring midt på sommeren, mens diatomeer har oftest størst forekomst vår og høst.

En annen vesentlig forandring i planktonsamfunnet, var at de fleste artene blant dyreplanktonet var forsvunnet i oktober. For de marine dyrs vedkommende kan årsaken være at overflatevannet viste meget lav saltholdighet på grunn av den økende ferskvannstilførelsen. Dette gjelder stasjon 2 og 3, hvor saliniteten var henholdsvis 6, 7 og 3,2 ‰. På stasjon 1 imidlertid, var saliniteten noe høyere enn i august, slik at nedgangen i dyreplanktonet her må ha en annen årsak. For ferskvannsformene (*Brachionus*, andre hjuldyr, ciliater) kan reduksjonen ha sammenheng med sesongvariasjoner.

En annen faktor som kan tenkes å ha en innflytelse på dyreplanktonet i overflatevannet i oktober, er den dypvannsutskiftningen som foregikk forut for dette toktet. Ved denne utskiftningen ble H₂S-holdige vannmasser forflyttet til nær overflaten (s. 21).

En tredje årsak til at dyreplanktonet er forsvunnet fra Iddefjorden i oktober, kan være påvirkninger av utslipp fra Saugbrugsforeningen. Tokt IV fulgte etter en lang periode med kontinuerlige utslipp fra Halden,

mens toktene i augsut fulgte perioder med halv og full bedriftsstans. Det er også verdt å merke seg det store innslaget av detritus, bakterier og sopphyfer på stasjon 3 i oktober, noe som ikke ble observert ved de øvrige tokt.

Det bør til slutt påpekes at tolkningen av resultater fra håvtrekk er meget vanskelige, særlig mht. representativiteten. Dette gjelder særlig håvtrekk i overflatelaget, like ved sprangsjiktet, hvor det opptrer store saltvariasjoner og hvor planktonsamfunnet varierer sterkt i sammensetning.

REFERANSER

Almgren, T., Josefsson, B. & Nyquist, 1975:

A fluorescence method for studies of spent sulfite liquor and humic substances in sea water.

Anal. Chem., 78, 441-422.

Andersen, A.T., Dommasnes, A. & Hesthagen, I.H., 1973:

Some heavy metals in sprat (*Sprattus sprattus*) and herring (*Clupea harengus*) from inner Oslofjord.

Aquaculture, 2, 17-22.

Ansell, A.D., Raymont, J.G., Lander, K.F., Crowlen, E. & Shackley, P., 1963:

Studies on the mass culture of *Phaeodactylum*. II. The growth of *Phaeodactylum* and other species in outdoor tanks.

Limnol. Oceanogr., 8, 184-206.

Beck, K.C., Reuter, J.H. & Perdue, E.M., 1974:

Organic and inorganic geochemistry of some coastal plain rivers of the southeastern United States.

Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 341-364.

Brown, F.S., Baedeker, M.J., Nissenbaum, A. & Kaplan, I.R., 1972:

Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Columbia II. Changes in organic constituents of sediments.

Geochim. Cosmochim. Acta., 36, 1185-1203.

Bryan, G.W., 1971:

The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms.

Proc. Roy. Soc. Lond. B., 177, 389-410.

Danielsson, L-G. & Dyrssen, D., 1975:

Chemical investigation of Idefjord on June 24, 1975.

Rep. on the chemistry of sea water. XVI.

Dep. of anal. chem., Univ. of Göteborg, 10 sider.

Dybern, B.I., 1972:

Idefjorden - enforstörd marin miljö.

Fauna och flora, 2, 90-103.

Ganczarczyk, J., 1973:

Fate of lignin in kraft effluent treatment.

J. Water Pollut. Contr. Fed., 45, 1898-1907.

Gavis, J. & Ferguson, J.F., 1972:

The cycling of mercury through the environment.

Water Res., 6, 989-1008.

Gjessing, E.T., 1966:

Humus i norsk overflatevann.

Vattenhygien, 4, 146-156.

Gjessing, E.T. & Samdal, J.E., 1968:

Humic substances in water and the effect of impoundment.

J. Am. Water Works Assoc., 60, 451-454.

Hall, F.K., 1974:

Wood pulp.

Scientific American, 230, 52-66.

Hallberg, R.O., 1973:

The microbiological C-N-S cycles in sediments and their effect on the ecology of the sedimentwater interface.

Oikos Suppl., 15, 51-62.

Kalnins, A.I., Aurins, E.A. & Reizins, R.E., 1972:

The conversion processes of lignosulphonates in sea water.

Ambio Special Report, 1, 23-29.

Lein, T.E., Rueness, J., Wiik, Ø, 1974:

Algologiske observasjoner i Idefjorden og Singlefjorden.

Blyttia, 32, 155-168.

Lorentzen, C.L., 1970:

Surface chlorophyll as an index of the depth, chlorophyll content and primary productivity of the euphotic layer.

Limnol. Oceanogr., 15, 479-480.

NIVA, 1970, O-113/64:

Situasjonsrapport pr. 1. desember 1970.

Stensilert 33 sider.

(Saksbehandler: H. Munthe-Kaas.)

NIVA, 1972, O-219/70:

Undersøkelse av Haldenvassdraget. Resultater av vassdragsundersøkelser 1967-1972.

Stensilert, 47 sider.

(Saksbehandler: O. Skulberg.)

NIVA, 1973, O-162/71:

En undersøkelse av gjødslingspåvirkning i Frierfjorden.

Stensilert, 39 sider.

(Saksbehandler: S.T. Källqvist).

Norrstrøm, H. 1975:

Pollution control in the Swedish pulp and paper industry.

Ambio, 4, 80-86.

Olausson, E., 1972:

Sedimentundersökningar på Västkusten: förändringar och konstans.

Meddelande från maringeologiska laboratoriet, Gøteborg, Nr. 4,

25 sider.

Piper, D.Z., 1971:

The distribution of Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn in Framvaren, a Norwegian anoxic fjord.

Geochim. Cosmochim. Acta, 35, 531-550.

Preston, A., Jefferies, D.F., Dutton, J.W.R., Harvey, B.R. & Steele, A.K., 1972:

British Isles coastal waters: The concentrations of selected heavy metals in seawater, suspended matter and biological indicators - a pilot survey.

Environ. Poll., 3, 69-82.

Reeder, S.W., Hitchon, B. & Levinson, A.A., 1972:

Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada, I. Factors controlling inorganic composition. Geochim, Cosmochim, Acta., 36, 825-866.

Ryther, J. H. & Yentsch, C.S., 1957:

The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data.

Limnol. Oceanogr., 2, 281-286.

Skei, J.M., 1975:

The marine chemistry of Sjørfjorden, West Norway.

Unpubl. Ph.D.-thesis. University of Edinburgh. 207 sider.

Skei, J.M., Price, N.B. & Calvert, S.E., 1973:

Particulate metals in waters of Sjørfjord, West Norway.

Ambio 2, 122-124.

Skei, J.M., Price, N.B., Calvert, S.E. & Høltedahl, H., 1972:

The distribution of heavy metals in sediments of Sjørfjord, West Norway.

Water, Air & Soil Pollution, 1, 452-461.

Spencer, D.W., Brewer, P.G. & P.L. Sachs, 1972:

Aspects of the distribution of trace elements and composition of suspended matter in the Black Sea.

Geochim, Cosmochim, Acta., 36, 71-87.

St.prp. nr. 130 (1974-75):

Tiltak mot forurensning av Iddefjorden.

32 sider.

Svitelski, V.P. et al., 1968:

Studies on lignin in wastewater of sulphate pulp production.
Khim. Drev. (USSR), 1, 189.

Thompson, J.A.J. & McComas, F.T., 1973:

Distribution of mercury in the sediments and waters of Howe Sound,
British Columbia.

Tech. Rep. Fish. Res. Bd. Can., 396, 31 sider.

SKE/LJA

22.3.1976