

O - 113/64

III

N O T A T

SITUASJONSANALYSE PR. 1. DESEMBER 1969

av

Hans Munthe-Kaas

siv.ing.

Dette notat er utarbeidet for det Kgl. Utenriksdepartement. Det må leses i tilknytning til rapport nr. 2 "Situasjonsrapport pr. 1. desember 1969".

Notatet er et arbeidsdokument og ikke beregnet på offentliggjørelse. Dets primære formål er, gjennom tentative beregninger av fjordens situasjon, å skaffe et godt grunnlag for diskusjon og planlegging av det videre arbeid. Beregningsopplegget antas imidlertid også å kunne utnyttes for mer eksakte beregninger når datagrunnlaget er blitt forsterket.

Redaksjonen avsluttet 10.3.1970.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

10. mars 70

INNHOOLD:

	Side:
1. FORMELT OM OPPDRAGET	3
2. SAKSBEHANDLINGEN HITTIL	3
3. FJORDENS FORURENSNINGSSITUASJON	5
4. OVERSLAGSBEREGNINGER OVER DE ENKELTE TILTAKS VIRKNING PÅ FORURENSNINGSSITUASJONEN	8
4.1 Fjordens vannutskiftningsforhold	9
4.2 Fjordens oksygentilstand	16
4.21 Oksygenforbrukende materiale	16
4.22 Netto oksygen tilførsel	18
4.23 Sammenstilling	20
4.3 Eutrofieringsbetraktninger	21
4.4 Siktedypreduksjonens årsaksforhold	22
4.5 Tiltakenes effekter	25
4.51 Oksygenbalansen	26
4.52 Siktedyppforholdene	28
5 NØDVENDIGE FREMTIDIGE UNDERSØKELSER	29

Bilag 1

Bilag 2

MÅLESERIER

Flere serier av målinger er utført i Iddefjorden (og til dels også i Singlefjorden) med sikte på å belyse forurensningsproblemene. I rapport nr. 2, tabell 1, er det gitt en oversikt over alle hydrografiske enkelttokt frem til 1.12.1969. Også en del tokt av andre kategorier (biologiske, sedimentologiske, fiskerimessige) er tatt med her, men tabellen er komplett bare for de hydrografiske serier.

HYDROGRAFI

I alt fire forskjellige institusjoner har utført hydrografiske målinger i Iddefjorden (jfr. rapport 2, tabell 1):

Statens Vatteninspeksjon, Drottningholm (SVI)	august	1947	
	april	1948	
	august	1963	
Norsk institutt for vannforskning, Oslo (NIVA)	april	1963	
	august	1964	
	august	x 1966	
	august	x 1969	
Institutt for marin biologi avd. A, Oslo (IMBA)	november	1964	Bare
	juni	1965	ytre
	november	1965	fjord
Kungliga Fiskeristyrelsen Göteborg (KFS)	februar	1967	
	april	1967	
	juli	1967	
	september	1967	
	januar	1968	
	juni	1968	
	august	1968	
	mars	1969	

Bare de to tokt merket x er utført som ledd i det foreliggende oppdrag, og bare NIVA-toktene er betalt av oppdragsgiveren. Det har vært en viss, men langt fra full, koordinering av toktoppleggene mellom de forskjellige institusjoner - noe som fremgår både av parameter-

utvalget (Rapport 2, tabell 1) og av stasjonsutvalget (Rapport 2, tabell 3 og fig. 4).

I sammenheng med disse måleserier, som stort sett inkluderer en referansestasjon i Singlefjorden, er det grunn til å nevne to lengre NIVA-måleserier i Singlefjorden som omfatter temperatur og salinitet på én enkelt stasjon. Disse to serier, som pågikk høsten 1966 og høsten 1967, innbefatter til sammen 38 måletidspunkter. Dataene fra dette opplegg, som hører inn under oppdraget, er utnyttet i Rapport 1.

- HYDRODYNAMIKK Av hydrodynamiske data foreligger det lite - kun to kortvarige strømmålingsserier over ytterste hovedterskel sommeren 1966. (Til den siste var det knyttet en 14 dagers vannstandsmåleserie i ett målepunkt.) (jfr. Rapport 2).
- OPTISKE I de hydrografiske serier inngår siktedyp- og turbiditets-
FORHOLD målinger fra de fleste tokt, og fra noen tokt også farge-
målinger.
- DATA- Alle foreliggende hydrografiske og hydrodynamiske data er
SAMLINGER presentert i Rapport 2 eller i bilag til denne. De fleste
kategorier finnes lagret på EDB-medium.
- TILFØRSLER Ingen målinger av betydning er hittil foretatt med sikte
på å kartlegge fjordens tilførsler med hensyn til for-
skjellige forurensningskomponenter. Anslagsvise bereg-
ninger av tilførselsbelastningen er imidlertid foretatt
på teoretisk og empirisk basis (Rapport 2).

3. FJORDENS FORURENSNINGSSITUASJON

I Rapport 2 er det gitt en oversikt over de ulemper som må antas å ha sammenheng med forurensningssituasjonen. Videre er det gitt en vurdering av hvordan disse ulemper oppstår og hvordan de prinsipielt kan unngås eller reduseres.

DE VIKTIGSTE
FORURENSNINGSS-
ULEMPER

Det er i første rekke tre ulemper det er grunn til å rette oppmerksomheten mot. De andre vil stort sett forsvinne eller bli redusert som bieffekter av de tiltak som må settes inn mot de tre - eller de vil være enkle å bekjempe på annen måte.

De tre ulemper er:

oksygenmangelen,
reduisert siktedyp,
hygienisk utilfredsstillende forhold.

DE VIKTIGSTE
ÅRSAKER

Det er ingen tvil om hva disse ulemper hovedsakelig skyldes:

Oksygenmangelen er først og fremst en konsekvens av utslipp av organisk stoff fra treforedlingsindustrien. Bidragene av organisk stoff fra boligkloakkene og fra naturen er små i sammenlikning, og heller ikke mengden sjøproduisert organisk materiale (ved eutrofiering) kan spille noen vesentlig rolle. (Derimot er det mulig at den heterotrofe vekst i Tista og den nærmeste del av Iddefjorden, som er betinget av høyt bakterietall og tilgang på næringsstoffer, når sitt høye nivå fordi slike komponenter bringes til veie via boligkloakkvannet. Den heterotrofe vekst produserer ikke i seg selv organisk materiale, men kan likevel bety noe for fjordens oksygenbalanse fordi den bidrar til en netto økning av nedbrytningshastigheten for organisk stoff i fjorden, slik at en mindre fraksjon av totaltilførselen kommer med i utskiftningsprosessene med Singlefjorden).

Siktedypreduksjonen er også først og fremst en direkte følge av utslippet fra treforedlingsindustrien. Avløpsvannets innhold både av oppløste fargestoffer og av partikulært materiale spiller her stor rolle. Dessuten må det antas at heterotroft materiale, som dannes i betydelige mengder i Tista og den nærmeste del av fjorden - og som

er en direkte konsekvens av treforedlingsindustriens utslipp av organisk materiale - har stor lokal effekt.

De hygienisk utilfredsstillende forhold som kommer til syne gjennom de høye bakterieforekomster i fjorden, er utvilsomt en konsekvens av kloakktilførslene til fjorden.

DE VIKTIGSTE
TILTAK

Det er i rapporten angitt to grupper av tiltak som kan tenkes å ville bedre forholdene i selve Iddefjorden:

1. Tiltak som reduserer tilførselsbelastningen til fjorden

- 1.1 renseanlegg for kloakkvannet,
- 1.2 renseanlegg og/eller interne tiltak i bedriftene for industriavløpsvannet,
- 1.3 transport av begge typer avløpsvann til farvannene utenfor Iddefjorden.

2. Tiltak som øker fjordens egen evne til å tåle forurensningsbelastning

- 2.1 Økning av dypvannsutskiftningsfrekvensen ved hjelp av luftbobleanlegg eller dypvannsinnledning av ferskvann.
- 2.2 Øket estuarin utskiftning ved hjelp av ferskvannsinnledning i mellomsjiktet.
- 2.3 Økning av terskeldypet og/eller terskeltvernsnittet ved Svinesund.

Overslagsberegninger i kapitel 4 viser at det kun er tiltakene i gruppe 1 som kan ventes å gi effekter som betyr noen vesentlig bedring av forholdene i fjorden. Tiltak i gruppe 2 vil antakelig bare komme inn som supplementer til gruppe 1.1 og 1.2, og da ut fra sammenliknende vurdering av marginalomkostningene ved økning av renseseffektene. Tiltak av type 1.3 vil være avhengig

av om farvannene utenfor Iddefjorden kan tåle slike tilførsler.

Med tiltak 1.3 er det primært tenkt på tunnelforbindelse fra Halden til utslipp i Singlefjorden. (Et slikt anlegg er allerede omkostningsberegnet.) Rapport 1 omtaler, som nevnt, en innledende undersøkelse om Singlefjordens resipientkapasitet, men en betydelig merinnsats må til her for å få denne fastslått. Imidlertid er det vel også grunn til å overveie det alternativ å slepe avfallsvannet fra Halden ut i Skagerak - et alternativ som å priori synes å være realiserbart teknisk sett. Dette alternativ vil kreve en vurdering av Skageraks resipientkapasitet, men en slik vurdering vil antakelig tvinge seg frem også av andre grunner.

KRAV TIL
FJORDENS
KVALITET

I kapittel 4 nedenfor er det også søkt klarlagt ved overslagsberegninger hvor stor reduksjon i tilførselsbelastningen det kan være aktuelt å kreve av tiltakene i gruppe 1 og 2.

4. OVERSLAGSBEREGNINGER OVER DE ENKELTE TILTAKS VIRKNING PÅ FORURENSNINGSSITUASJONEN

De foreliggende data gir ikke grunnlag for noen endelig beregning av hvilken forbedring av forurensningssituasjonen i Iddefjorden man kan oppnå gjennom de forskjellige tiltak.

Noen foreløpige overslagsberegninger kan imidlertid være nyttige. De vil nemlig kunne:

i store trekk vise hvor stor belastning fjorden tåler av de forskjellige forurensningskomponenter,

gi indikasjoner om hvilke tiltak som er aktuelle i praksis og hvor omfattende slike tiltak må være,

vise hvilke informasjoner man nå mangler for å kunne treffe et endelig valg av tiltak - og dermed

gi et godt grunnlag for planlegging av de videre undersøkelser.

Slike beregninger er gjennomført og presentert i det følgende. Det er i den forbindelse viktig å presisere:

Overslagsberegningene innebærer mange forenklinger og skjønsmessige vurderinger, og må i første omgang betraktes som et diskusjonsgrunnlag. Det er ønskelig at de blir kritisk gjennomgått av andre.

De tallmessige resultater som fremkommer, vil ikke i noe fall være signifikante. Såfremt beregningsopplegget godtas, må det imidlertid kunne antas at de tendenser som kommer frem, er gyldige.

Beregningene omfatter ulempeparametrene oksygentilstand (Avsnittene 4.2 og 4.51) og siktedyp (avsnittene 4.4 og 4.52), (men derimot ikke de hygieniske forhold). Alle disse avsnitt bygger på en forutgående beregning av fjordens utskiftningsforhold (avsnitt 4.1). For oksygenbalansen kommer også eutrofieringsbetraktninger inn (avsnitt 4.3).

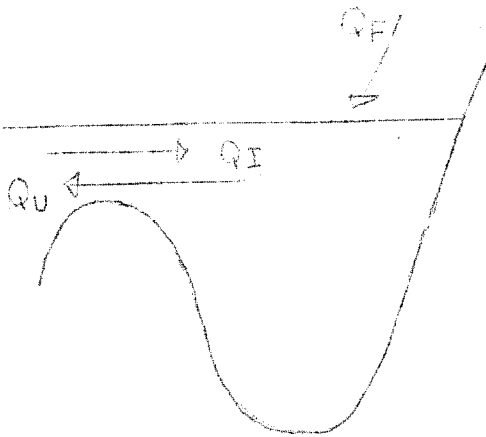
4.1 Fjordens vannutskiftningsforhold

I en terskelfjord er den midlere utskiftning av vann med tilgrensende sjøområde utenfor mindre effektiv enn den er i en havbukt eller en fjord uten terskel. I en fjord med to terskler eller flere, som Iddefjorden, er utvekslingen spesielt sterkt hemmet. I fjorder av denne type synes det ofte å være slik at ytterste basseng (innenfor ytterste terskel) har en relativt god utskiftning, og at det er terskel nr. 2 som representerer den viktigste barriere. Dette er tilfellet i Iddefjorden. Bassenget innenfor Bjällvarpterskelen (Rapport 2, fig. 3) har god kommunikasjon med Singlefjorden utenfor, mens bassengene innenfor Svinesundterskelen alle har dårlig kommunikasjon.

Det er flere mekanismer som bidrar til utveksling av vannet mellom Iddefjorden og Singlefjorden:

1. Den estuarine utskiftning som virker i overflatelaget, og som er en følge av ferskvannstilrenningen til Iddefjorden.

I terskelfjorder som har tilrenning av ferskvann, vil det foregå en kontinuerlig utskiftningsprosess, som antydnet på skissen til venstre. Prosessen betegnes som den estuarine utskiftning. Den går i korthet ut på at det ferskvann (Q_F) som tilføres fjorden, på sin videre vei ut blir tilblandet - og dermed tar med seg - en del sjøvann. (Blandingsvannet (brakkvannet) er lettere enn sjøvannet og flyter som et lag oppå dette (Q_U)). Det sjøvann som slik blir trukket ut av fjorden, blir av tetthetsmessig årsak erstattet ved at sjøvann utenfra glir inn over terskelen under det utstrømmende brakkvann (Q_I).



Prosessens er beregnet på grunnlag av følgende likninger:

$$Q_U = Q_I + Q_F \quad (\text{Vannbalansen}) \quad (1)$$

$$Q_I \times R_I = Q_U \times R_U \quad (\text{Saltbalansen}) \quad (2)$$

hvor R_U = Saltkonsentrasjonen i utgående strøm

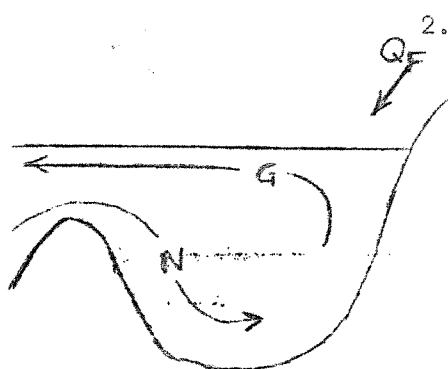
R_I = Saltkonsentrasjonen i inngående strøm.

Dette gav formelen

$$Q_I = Q_F \frac{R_U}{R_I - R_U} \quad (3)$$

hvor størrelsen Q_F ble anslått på grunnlag av offisielle hydrologiske data til ca. $40 \text{ m}^3/\text{sek}$. R-verdiene ble anslått på grunnlag av de foreliggende analysedata.

Beregningsene, som gav $Q_T = 44 \text{ m}^3/\text{sek} (= 3,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn})$ og $Q_U = 84 \text{ m}^3/\text{sek} (= 7,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn})$, er vist i bilag 1.



2. Den advektive dypvannsutskiftning opptrer av og til på grunn av en permanent pågående reduksjon av dypvannets spesifikke vekt (jfr. pkt. 3 nedenfor).

I terskelfjorder med stratifisert (lagdelt) vann vil det med visse mellomrom foregå massivutskiftning av det avstengte dypvann - slik som antydnet på skissen til venstre. I en fjord med flere terskler i serie vil ytterste basseng gjerne utskiftes hyppigere enn de innenfor.

N = Tung vanntype som av hydrografiske og meteorologiske årsaker er kommet inn fra havet mot fjordmunningen i terskelhøyde.

G = Gammelt bunnvann som etterhvert er blitt lettere enn N på grunn av diffusiv innblanding av ferskvann ovenfra

At slike prosesser har funnet sted, kan sees av de hydrografiske data. I fig. 9a og b (Rapport 2) er to parametre (salinitet og oksygen) fremstilt i diagramform som funksjon av tiden for fjordens midtre og indre hovedbassenger. Målingene omfatter årene 1967/69. (Disse tre år utgjør den eneste måleperiode man har med noenlunde regelmessige målinger. Likevel er målehyppigheten også her for liten til at sikre konklusjoner kan trekkes.) Kurvene viser at det midtre basseng er blitt utskiftet én gang pr. år. Det innerste basseng synes å ha vært gjenstand for to utskiftninger i løpet av de tre år, hvorav den første muligens kan ha vært noenlunde fullstendig, mens den andre bare var partiell.

Hvis man som en foreløpig tilnærming går ut fra en utskiftningsfrekvens på henholdsvis 1 år og $\frac{1}{2}$ år for de to bassenger, kan man foreta følgende beregninger av utskiftningseffektiviteten utjevnet på årsbasis:

$$Q_D = V_D \times \frac{n}{365}$$

hvor Q_D = Bassengets utskiftning i $\text{m}^3/\text{døgn}$ fordelt på årsbasis.

V_D = Bassengets volum i m^3 under terskelnivå ved Svinesund (hentet fra Rapport 2, tabell 2b):

Indre basseng (sone 2+3+4) under 10 m
 $V_D = 175 \times 10^6 m^3$.

Midtre basseng (sone 5+6) under 10 m
 $V_D = 42 \times 10^6 m^3$

n = Antall utskiftninger pr. år.

$$Q_D = 175 \times 10^6 \times \frac{0,5}{365} \approx 2,4 \times 10^5$$

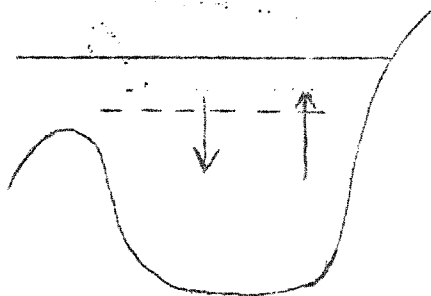
$$Q_D = 42 \cdot 10^6 \times \frac{1}{365} \approx 1,2 \times 10^5$$

Indre basseng: $Q_D = 2,4 \times 10^5 m^3/døgn$

Midtre basseng: $Q_D = 1,2 \times 10^5 m^3/døgn$
=====

3. Den diffusive blanding av dypvann og overflatevann resulterer i en netto transport av gammelt vann opp fra og nytt vann ned til dypet.

I en terskelfjord med stratifisert vann vil det foregå en kontinuerlig diffusiv utveksling av vann mellom brakkvannslaget i overflaten og saltvannsmassen i dypet. (Begrepet diffusjon benyttes her i en vid betydning, idet det foruten den egentlige (molekylære) diffusjon også omfatter turbulent diffusjon. Samtidig foregår det en diffusiv utjevning i vertikal retning av konsentrasjonsgradienter for de enkelte komponenter.



For de oppløste komponenter kan størrelsen av denne prosess beregnes etter likningen:

$$D = K \times A \times \frac{dc}{dz}$$

hvor

D = den diffusive utveksling (kg/døgn).

K = den generelle diffusjonskoeffisient som gjelder for alle komponenter. Den kan, hvis datagrunnlaget er godt nok, beregnes på grunnlag av dypvannets salt- eller varmembalanse.

A = fjordens horisontalareal i beregningsflaten. Den finnes av tabell 2a.

$\frac{dc}{dz}$ = komponentkonsentrasjonsgradienten gjennom den horisontale flate som diffusjonen skal beregnes for. Den er forskjellig for de ulike komponenter, og den varierer dessuten en del med årstiden. Den kan beregnes på grunnlag av de respektive komponentdata, såfremt tilstrekkelig antall målinger foreligger.

På grunnlag av saltbalansen kan også den diffusive vannutveksling mellom brakkvannslaget og dypvannsmassene beregnes.

For beregningene i avsnitt 4,2 nedenfor kommer denne mekanisme ikke inn, idet den bare har intern betydning. Den er likevel omtalt her, fordi det er av interesse å kjenne dens størrelsesorden.

4. De øvrige utskiftningsprosessene i overflatelaget skyldes tidemekanismen, vind og meteorologisk betingede lokale variasjoner i vannets spesifikke vekt.

Vannmassene i overflatelaget (dvs. laget over terskelnivået ved Svinesund og Bjällvarpsundet på ca. 10 meter) vil være gjenstand for flere typer av utskiftning i horisontal retning:

- a. Den estuarine utskiftning som allerede er beskrevet ovenfor.
- b. Vinddreven transport. (Vannet transporteres med vinden i toppsjiktet, og en returstrøm oppstår lengre nede). På grunn av de topografiske forhold antas det at denne mekanisme i middel betyr relativt lite.
- c. Tidevannet, som flyttes frem og tilbake over tersklene, påvirkes hele tiden ved diffusjonsutveksling med omgivende vannmasser. Som nettoeffekt gir denne prosess en viss utskiftning, som det er vanskelig å beregne ut fra de eksisterende data. Som øvre teoretiske grense har man at den inngående tidevannsmasse blander seg helt med brakkvannslaget, slik at den utgående tidevannsmasse så å si bare består av fjordens vann. I så fall ville utskiftningen (Q_T) være:

$$Q_T = A \times H_T \times n \approx 20 \times 10^6 \times 0,3 \times 2 = 12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d},$$

hvor A som før, er fjordens overflateareal, H_T er den midlere tidevannsamplityde i fjorden på ca. 0,3 m og $n = 2$ er antall tidevannsperioder pr. døgn. Det er grunn til å tro at den virkelige utskiftningseffekt av tidevannet er langt mindre enn dette. Som en flrelopig antakelse har vi redusert den med en faktor 5 til $2,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$.

- d. Advektiv utskiftning i overflatelaget av samme type som de ovenfor beskrevne dypvannsutskiftninger, må antas å finne sted også i det 10 meter tykke øvre vannlag. Diagrammet i fig. 9A (Rapport 2) indikerer at de horisontale utskiftningsprosesser i midtre basseng har effekt helt ned til 10 meters nivået. Fig. 9B indikerer at bare det 2 - 5 meter tynne toppsjikt i indre basseng kan være gjenstand for effektiv utskiftning. Vi har anslått denne

verdi til ca. $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$, slik at de horisontale utskiftningsmekanismer b, c og d til sammen blir av samme størrelsesorden som a.

5. Sammendrag

De her viste beregninger bygger på et spinkelt datagrunnlag og gir bare et omtrentlig bilde av fjordens vannutskiftningskapasitet. De enkelte resultater er sammenstilt nedenfor. På grunnlag av tallene er det også gitt et overslag over vannets midlere oppholdstid i fjorden.

Overflatelaget

Estuarint sjøvann	$\approx 3,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$
Advektivt "	$\approx 0,4 \times 10^6 \text{ "}$
Horisontalt "	$\approx 3,8 \times 10^6 \text{ "}$
Ferskvann	$\approx 3,5 \times 10^6 \text{ "}$
<hr/>	
Sum inngående	$\approx 11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn.}$

1) Overflatelagets tykkelse er ut fra fig 9A og B i Rapport 2 anslått til ca. 3 m. Overflatearealet er ca. $20 \times 10^6 \text{ m}^2$.

$$\begin{aligned} \text{Lagets volum } 1) & 3 \times 20 \times 10^6 = 6 \times 10^7 \text{ m}^3 \\ \text{Oppholdstid } & \frac{6 \times 10^7}{11 \times 10^6} \approx 5,5 \text{ døgn} \end{aligned}$$

Dypvannet 2)

2) I henhold til pkt. 2 (den advektive dypvannsutskiftning) ovenfor. Virkningen av "den diffusive blanding av dypvann og overflatevann" (pkt. 3 ovenfor) er inkludert i denne antakelse.

Utskiftningshastighet

Indre basseng	$2,4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{døgn}$
Midtre "	$1,4 \times 10^5 \text{ "}$

Oppholdstid

Indre basseng	360 døgn
Midtre basseng	180 døgn

4.2 Fjordens oksygentilstand

Som nevnt i Rapport 2, avsnitt 3.2, representerer oksygenmangelen - og de sekundære konsekvenser av denne - alvorlige sider ved Iddefjordens forurensningssituasjon. Oksygenmangel oppstår fordi oksygen forbrukes (ved forråtnelse av tilført organisk materiale) raskere enn det tilføres.

For å vurdere hvilke tiltak som kan treffes for å rette opp denne situasjon i fjorden, ville det være meget verdifullt å kunne sette opp en materialbalanse for oksygenforbruks-kapasitet/oksygentilførsel. Det foreliggende datagrunnlag er som nevnt ikke fyldig nok for en egentlig beregning av dette slag, men som en foreløpig orientering er det likevel forsøkt satt opp en skissemessig balanseoppstilling.

Hvilke poster som må inngå i en slik balanseberegning, er vist i notatets fig. 1 (\approx fig. 10 i Rapport 2). En del av disse postene er nærmere vurdert i notatets bilag 2. En sammenstilling av alle poster med angivelse av deres anslåtte bidrag til balansen og med korte kommentarer er gitt i de tre følgende avsnitt: 4.21, 4.22 og 4.23.

4.21 Oksygenforbrukende materiale

Fra befolkningen (F_B), fra industrien (F_I) og fra naturen (F_N). Tall for disse poster finnes anslått i notatets tabell 2. Den er hentet fra Rapport 2 (tabell 4), hvor det er presisert at den er usikker. Tallene er gitt i tabellen beregnet både som BOF_5 og som BOF_{20} . En mellomverdi av enhetene BOF_5 og BOF_{20} er benyttet - jfr. notatets bilag 2, pkt. 1. Summen av de tre poster er der anslått til ca. 150 tonn oksygen pr. døgn.

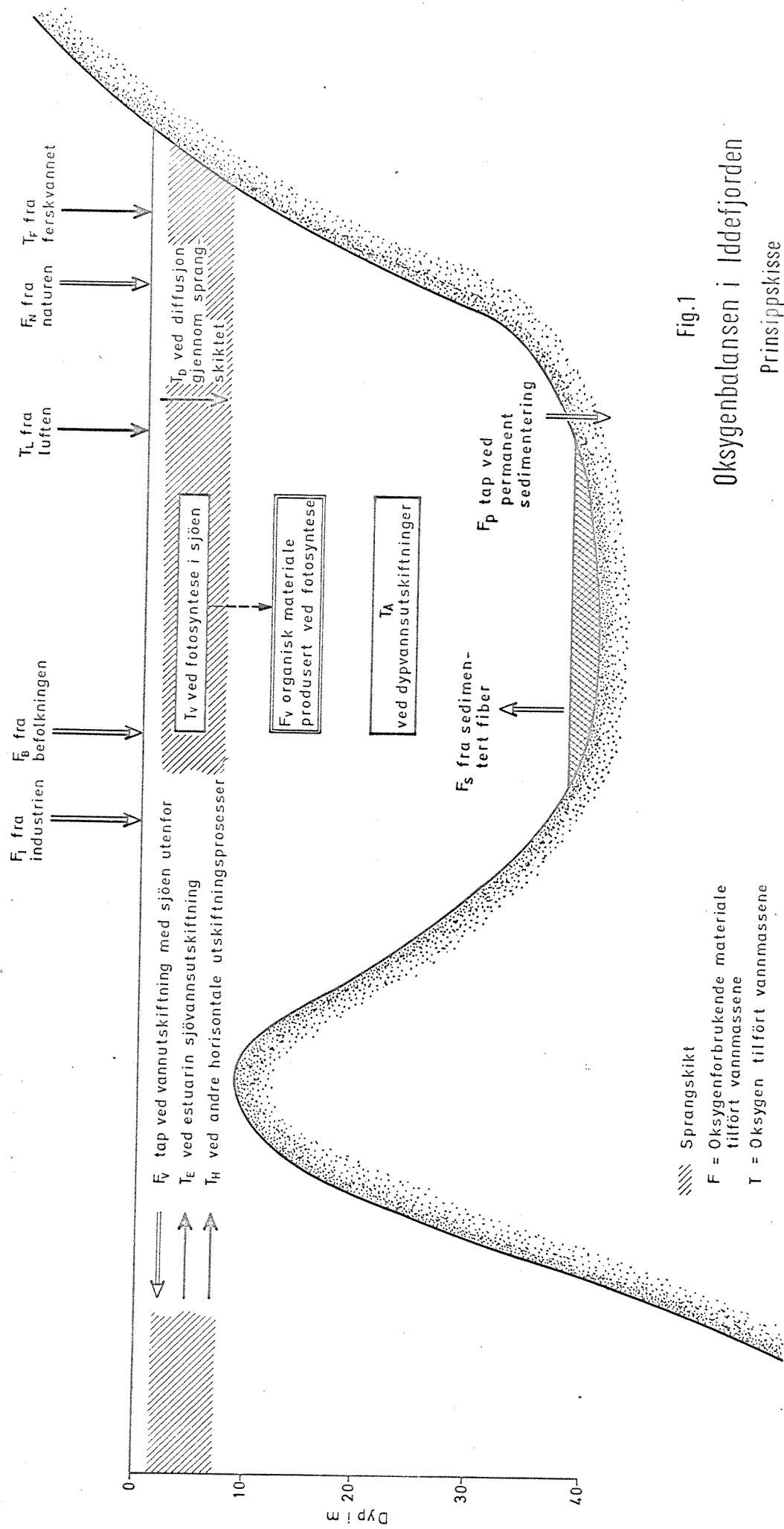


Fig.1

Oksygenbalansen i Iddefjorden
Prinsippskisse

Tabell 2. Iddefjordens tilførsler - foreløpig sammenstilling
(Utdrag av tabell 4, rapport 2)

Infor- masjons- kilde	Type tilførsel	Organisk stoff		Fosfor i	
		målt som BOF ₅	omreg- net til BOF ₂₀ ^①	form av	
		kg O ₂ døgn	kg O ₂ døgn	Orto kg P døgn	Total kg P døgn
1	Norsk industri	② 115.000	② 173.000		0,1+?
	Norsk befolkning	930	1.390		38,3
2	Svensk befolkning	20	30		1,2
3	Fra skog og mark norsk og svensk	1.540	2.310	11,4	140
	Tilsammen	≈117.500	≈175.000	≈11	≈180+?

① Konf. teksten

② Eksklusive fibeutslipp

Organisk materiale dannet ved fotosyntetisk vekst i sjøen (F_V). Dette ledd er nærmere vurdert i avsnitt 4.2 nedenfor. Det er usikkert, men settes foreløpig til $F_V = 26$ tonn oksygen/døgn.

Eventuelt tap ved vannutveksling med sjøen utenfor (F_H). Denne negative post representerer de fraksjoner av F_I , F_B , F_N og F_V som forsvinner ut av systemet via de horisontale vannutskiftningsmekanismer i overflatelaget. Ut fra betraktninger som finnes i notatets bilag 2, pkt. 1, er denne post anslått til 0 tonn oksygen pr. døgn.

Tap ved permanent sedimentert materiale (F_P). Denne negative post representerer de fraksjoner av F_I , F_B , F_N og F_V som forsvinner ut av systemet ved permanent sedimentering. Den er vanskelig å anslå og er foreslått til 20 tonn oksygen pr. døgn. (Se notatets bilag 2, pkt. 2).

Fra sedimentert fibermateriale o.l. (F_S). Dette fiberbidrag fra industrien er ikke inkludert i posten F_I ovenfor og kommer derfor inn som egen post. Den er anslått i notatets bilag 2, pkt. 3, på grunnlag av eksperimentelle tall fra litteraturen. Dens størrelse avhenger av hvilket bunnareal i fjorden som antas å være dekket av fiber-

materiale. Som anslag velges at ca. sone 4 og 5 (fig. 3) er dekket av fiber, hvilket gir oksygenbehovet ca. 10 tonn pr. døgn.

4.22 Netto oksygen tilførsel

Via ferskvannstilrenningen (T_F). Ferskvannet antas vanligvis å komme til fjorden (Tista iberegnet) med et oksygeninnhold på ca. 10×10^{-6} tonn/m³ - dvs. at det er omtrent fullt mettet. Dessuten bringer det med en antatt oksygenreserve i form av nitrat på $O_N = 2,3 \times 10^{-7}$ tonn oksygen pr. m³. Grunnlaget for disse antagelser er oksygen- og nitratanalyser fra fem tokt i Haldenvassdraget (Kilde: jfr. bilag 3 til Rapport 2). Ferskvannet forlater fjorden via den estuarine mekanisme med et oksygeninnhold på ca. 4×10^{-6} tonn/m³ og O_N - reserven intakt. (Anslag på grunnlag av fig. 9A i Rapport 2). Dette gir ifølge notatets bilag 2, pkt.4, en netto oksygentilførsel på ca. 21 tonn pr. døgn.

Via det sjøvann som er involvert i den estuarine mekanisme (T_E). Den inngående estuarine strøm Q_i har et midlere oksygeninnhold på 6×10^{-6} tonn/m³. Den forlater fjorden inkorporert i strømmen Q_u med et antatt midlere oksygeninnhold på ca. 4×10^{-6} tonn/m³ og sin O_N -reserve noenlunde intakt. (Alle tall er anslått på grunnlag av fig. 9A i Rapport 2). Dette gir i henhold til notatets bilag 2, pkt. 5, en netto oksygentilførsel på ca.

7,5 tonn pr. døgn.

Via andre horisontale vannutskiftningsprosesser (T_H). Denne post, som først og fremst omfatter vindindusert utskiftning og eventuelle advektive utskiftningsprosesser i overflatelaget, er antatt å være av samme størrelsesorden som den estuarine utveksling som påvirker de samme vannmasser. Posten er vanskelig å anslå på det foreliggende datagrunnlag. Den er her satt = 7,5 tonn oksygen pr. døgn.

Via den advektive dypvannsutsiktning (T_A). De inn-trengende tunge vannmasser som fyller midterste og/eller innerste basseng, synes etter de foreliggende data å ha et midlere oksygeninnhold på ca. 8×10^{-6} tonn oksygen / m^3 . Det dypvann i midtre basseng som fortrenses ved denne innstrømning, antas å ha en midlere restoksygenkonsentrasjon på ca. 1×10^{-6} tonn/ m^3 . Det fortrenste dypvann i indre basseng vil ha en negativ oksygenekvivalent på ca. $1,9 \times 10^{-6}$ tonn/ m^3 . Begge disse vannporsjoner har mistet sin nitratreserve av oksygen. (Tallene er anslått på grunnlag av fig. 9A og 9B i Rapport 2). En beregning av netto oksygentilførsel ved denne prosess, som er gitt i notatets bilag 2, pkt. 6, gir som resultat ca. 3,5 tonn oksygen pr. døgn.

Via den diffusive dypvannsutsiktning (T_D). Ved vertikal-diffusjon skjer det en netto transport fra overflate-laget gjennom sprangsjiktet til dypvannet av oksygen. Overflatelagets oksygentap ved denne prosess erstattes gjennom den estuarine mekanisme, diffusjonen fra luften, fotosyntesen i sjøen, tidemekanismen og andre horisontale utvekslingsmekanismer. Posten er intern og hører ikke med i den eksterne oksygenbalanse, men den tas med her til orientering. Den er forsøkt anslått i notatets bilag 2, pkt. 7, med resultatet 0,3 tonn oksygen pr. døgn.

Fra luften ved diffusjon (T_L). Slik diffusjon finner bare sted når vannet i selve overflaten ikke er mettet med oksygen. Slike situasjoner er ganske vanlige i Iddefjorden. Bidraget fra denne post er vanskelig å beregne. Et forsøk er gjort i notatets bilag 2, pkt 8. Resultatet, som må gis med forbehold, er høyt - på hele 115 tonn oksygen pr. døgn.

Ved fotosyntese i sjøen (T_V). Den mengde oksygen som frigjøres ved fotosyntetisk vekst av organisk materiale, tilsvarer omtrent den mengde som trenges for å nedbryte dette materiale igjen. (Postene F_V og T_V balanserer derfor hverandre). $T_V =$ 26 tonn oksygen/døgn.

4.23 Sammenstilling.

En sammenstilling av postene fra de to foregående avsnitt er vist i notatets tabell 3.

Tabell 3. Sammenstilling av oksygenbalansens poster.

	Netto tilførsel tonn oksygen/døgn	Forbrukskapasitet tonn oksygen/døgn
	+	÷
F _B Befolkning		150
F _I Industri		
F _N Natur		
F _V Fotosyntese		26
F _H Vannutveksling (horisontal)		÷ 0
F _P Permanent sedimentering		÷ 20
F _S Sedimentert fiber o.l.		10
<hr/>		
T _F Ferskvann	21	
T _E Estuarin	7,5	
T _A Dypvann adv.	3,5	
T _D " diff.	-	
T _H Vannutveksling horisontal	7,5	
T _L Diff. luft/vann	115	
T _V Fotosyntese	26	
<hr/>		
SUM:	≈ + 180	≈ ÷ 166

Sammenstillingen bekrefter, hva fjordens tilstand viser, at det i dag råder en meget betydelig oksygenmangel i fjorden. Selv om flere av postene kan være svært usikre, vil denne konklusjon utvilsomt stå fast.

Dette resultat er i seg selv lite interessant, idet det ikke bringer noen ny informasjon. Når det likevel er presentert, er det fordi det gir grunnlag for viktige betraktninger (avsnitt 4.5).

4.3 Eutrofieringsbetraktninger

I avsnitt 3.2, Rapport 2, er det nevnt en naturmekanisme, eutrofiering, som i indre Oslofjord fører til en mange-doblet belastning av organisk stoff i forhold til den mengde som fjorden mottar fra landsiden. En faktor på ca. 10 ganger er anslagsvis beregnet. Mekanismen har sammenheng med at fjorden mottar betydelige mengder plantenæringsstoffer (bl.a. fosfor og nitrogen) fra kloakkene. Disse stoffer bevirker nemlig en sterk økning av planteveksten i selve fjorden, hvilket innebærer en betydelig produksjon av organisk stoff. Ved studiet av slike forhold i Oslofjorden ble det utført vekstforsøk og materialbalanse-beregninger for næringsstoffene fosfor og nitrogen. (Disse to komponenter ble valgt fordi de måtte antas å være de viktigste i denne sammenheng, og fordi de analytisk sett var lettest å bestemme på grunn av de relativt store mengder de opptrådte i.)

Når det gjelder Iddefjorden, foreligger det foreløpig ikke noe grunnlag for en tilsvarende kvantitativ vurdering av eutrofieringsmekanismens betydning. Både er opplysningene om tilførsler fra landsiden usikre, og næringsstoffanalysene fra selve fjorden for få for dette formål. Også omtrentlige tall vil imidlertid være av interesse her.

Et grovt overslag kan gjøres ut fra de fosfortall som foreligger.

Fosfortilførselen fra landsiden er i dag i henhold til notatets tabell 2, ca. 140 kg/døgn fra skog og mark og ca. 40 kg/døgn fra befolkningen. Foreløpig vet man ikke hvor meget industrien bidrar med. Det antas imidlertid å være lite og settes foreløpig = 0.

Hvis det antas at all kjent tilført fosfat utnyttes til plantevekst, kan produksjonen av organisk stoff i sjøen i henhold til erfaringstall fra andre steder, anslås til:

M_{natur}	= 140 kg/døgn x 142	20 tonn oksygen/døgn
$M_{\text{befolkning}}$	= 40 " " x 142	6 " " "

Tilsammen: 26 tonn oksygen/døgn.
=====

(Disse tall gjelder for sommerhalvåret. I vinterhalvåret er produksjonen liten.)

I hvilken grad alt tilført fosfor utnyttet til plantevekst, er det vanskelig å si med sikkerhet foreløpig. I Oslofjorden ble utnyttelsen anslagsvis beregnet til ca. 100%.

Situasjonen er altså at de kjente fosfortilførsler fra sivilisatoriske kilder kan anslås å bidra med ca. 6 tonn organisk stoff pr. dag, mens naturens P-tilførsel bidrar med ca. 20 tonn pr. dag. Hvad industrien bidrar med, er ikke kjent, men det antas, som nevnt, å være lite og er foreløpig neglisjert. (Denne antagelse bygger på et anslag av hvilken overflatekonsentrasjonen av totalfosfor man skulle vente på bakgrunn av vannmassenes beregnede oppholdstid i fjorden, og av de kjente fosfortilførsler fra natur og befolkning. (Avsnitt 4.4 nedenfor.) Det der beregnede tall ($\approx 43 \mu\text{g/l}$) er i overkant av hvad analysene for selve fjordens overflatelag antyder (25 - 40 $\mu\text{g P/l}$). Ut fra denne overslagsberegning er det altså grunn til å tro at industriens fosforbidrag til fjorden ikke er særlig betydelig.) I avsnitt 4.23 foran er disse informasjoner stilt sammen med de andre tall i oksygenbalansen.

Noen annen uheldig effekt av fosfor- og nitrogentilførslene enn den her omtalte eutrofiering regner man ikke med ut fra de konsentrasjonsnivåer det her er tale om.

4.4 Siktedypreduksjonens årsaksforhold

Den generelle siktedypsituasjon i fjorden er nærmere omtalt i rapportens avsnitt 3.1. Hovedårsaken til de nesten ekstremt dårlige forhold er også nevnt.

Ved vurdering av muligheten til å forbedre fjordens tilstand vil det være viktig å kjenne den kvantitative betydning av de forskjellige faktorer som påvirket siktedypet. For indre Oslofjord har det vært mulig til en viss grad. For Iddefjorden er datagrnnlaget foreløpig meget svakere, og et tilsvarende beregningsopplegg lar seg ikke gjennomføre. Ved analogibetraktninger er det allikevel mulig å få visse holdepunkter frem. Det minnes i den forbindelse om at det fysikalsk sett er bare to parametre som betyr noe - mengde partikler og mengde fargestoffer (begge målt i optiske enheter):

Oppløste fargestoffer. For indre Oslofjord er det vist at:

1. Overflatelagets innhold av oppløste fargestoffer kommer hovedsakelig fra landsiden.
2. Disse fargestoffer har naturen som den viktigste kilde.
3. Disse fargestoffer er relativt stabile og nedbrytes i beskjedent omfang før de forsvinner fra indre fjords overflatelag (- i størst grad gjennom utvekslings- og blandingsprosesser med overflatevannmassene i midtre og ytre fjord, og i mindre grad ved diffusjon ned mot de dypere vannlag i indre fjord).

1) Femsjøens fargetall er på basis av målinger i to ufiltreerte prøver satt til 53 mg Pt/l. Korrigert for partikkelinnholdet (turbiditeten = 2,15 mg SiO₂/l) for å representere filtret prøve, blir tallet 53 - 4,5 x 2,15 ≈ 43 mg Pt/l.

Hvis man ser bort fra industriens store fargestoffbidrag til Iddefjorden, er det rimelig å tro at det samme stort sett ville gjelde også her. I så fall kan man beregne størrelsesordenen av den fargestoffkonsentrasjon som overflatelaget ville ha hatt:

Fargestoffkonsentrasjon i det tilførte ferskvann, basert på analyser i Femsjøen (Kfr. rapport 2, bilag 3) 43 mg Pt/l

Ferskvannets fortynningsgrad i overflatesjiktet (jfr. notatets bilag 2 pkt.1)

≈ 1/2

Partikkelinnhold. Partikkelinnholdet i overflatelaget i indre Oslofjord er antatt om sommeren å bestå hovedsakelig av planteplankton. Et direkte mål for planteplanktonmengden foreligger hverken for Oslofjorden eller for Iddefjorden. Et indirekte mål har man imidlertid i totalfosformengden som grovt kan anslåes å være proporsjonal med planteplanktonmengden. Totalfosforkonsentrasjonen i indre Oslofjord kan anslåes til ca. 40 µg/l. Det korresponderende middeltall for turbiditet er ca. 1,5 mg SiO₂/l.

Totalfosforkonsentrasjonen i Iddefjorden, basert på tilførsler fra befolkningen og fra skog og mark, men uten industriens bidrag, kan anslåes slik:

Totalmengde fosfor tilført	180 kg P/døgn
Totalmengde ferskvann tilført (antatt middel for sommer- halvåret)	30 x 8,64 x 10 ⁴ m ³ /døgn.

Dermed kan fosforkonsentrasjonen i tilførselsvannet beregnes:

$$\frac{180}{30 \times 8,64 \times 10^4} = 7,0 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3 = 70 \text{ µg/l.}$$

Ferskvannets fortynningsgrad i overflatelaget er antatt ≈ 1 : 2.

Beregnet konsentrasjon i overflatelaget av tilført totalfosfor = ca. 35 µg/l.

Tillegg for sjøens bakgrunnsverdi ≈ 15 µg/l x $\frac{1}{2}$ ≈ 8.

Beregnet konsentrasjon av totalfosfor i overflatelaget = 43 µg/l.

En totalfosforverdi på 43 µg/l skulle, etter erfaringstall fra Oslofjorden, tilsi et turbiditetsnivå på ≈ 1,5 mg SiO₂/l.

Om man regner at ferskvannsmassenes vinterturbiditet - som i Femsjøen er målt til ca. 2 mg SiO₂/l og som ikke kan skyldes organisk vekst - også finnes om sommeren ved siden av den organiske vekst, får den beregnede turbiditet et tillegg på $2 \times \frac{1}{2} \approx 1,0$ mg SiO₂/l. (Sjøens bakgrunnsverdi vil her være liten og kan neglisjeres.) Den samlede turbiditet skulle da bli ca. 2,5 mg SiO₂/l.

Gjennom disse overslagsberegninger er det kommet frem følgende teoretiske konsentrasjonstall for Iddefjorden:

Filtratfarge: ca. 24 mg Pt/l

Turbiditet: $\approx 2,5$ mg SiO₂/l.

Ut fra Oslofjord-erfaringer skulle disse to tall gi en midlere siktedypverdi om sommeren på 2,5 - 3,0 m.

Det er viktig å presisere at dette tall er kommet frem gjennom løselige overslagsberegninger, og at det må gis med mange forbehold. I det minste må det imidlertid kunne taes som en indikasjon på at industriens fargestoffbidrag spiller en vesentlig rolle for fjordens nåværende lave siktedypnivå.

Til orientering kan oppgis at dagens midlere fargestoffinnhold i overflatelaget er på ca. 60 mg Pt/l og turbiditetsinnhold på ca. 5 mg SiO₂/l. Siktedyp ligger, som vist i fig. 7, stort sett i området 0,5 - 2 m.

4.5 Tiltakenes effekter

Ved planlegging av tiltak må man som et utgangspunkt ha fastsatt hvilket kvalitetsnivå (eller hvilke alternative nivåer) man ønsker å ha i fjorden. Tiltakenes art og omfang vil i høy grad avhenge av dette.

Dette spørsmål er ennå ikke drøftet med oppdragsgiverne. Som utgangspunkt for de tentative beregninger velges det som utgangspunkt tre alternative nivåer A, B og C:

	A	B	C
Dypvannets oksygennivå (mg/l) skal ikke noen gang være lavere enn	2	4	6
Overflatelagets oksygenmetningsgrad (i %) må i middel for hele fjorden være	som års- middel 80	som års- middel 90	aldri mindre enn 95
Siktedypet (i m) ved stasjon K&E1 skal som sommermiddel være minst	2,5	3,0	3,5

De valgte forhold mellom de tre parameterverdier innenfor hvert alternativ er satt på skjønn. Egentlig er disse til dels avhengige av hverandre, slik at de ikke kan velges helt uavhengig i praksis. Det antas imidlertid at de valgte forhold er noenlunde riktige.

Effektberegningene er delt i to avsnitt, oksygenbalansen (4.51) og siktedypforholdene (4.52).

4.51 Oksygenbalansen

I notatets tabell 4 er oksygenbalansetallene fra notatets tabell 3 oppført i venstre kolonne. Denne kolonne har fått betegnelsen "Dagens situasjon". Nederst i tabellen er det to linjer som viser (i tonn og %) hvor meget den sivilisatoriske belastning av organisk stoff (eutrofieringsbidraget og sedimentfiberbidraget inklusive) må reduseres fra dagens nivå for at de oppførte kvalitetsnivåer, angitt i avsnittet foran, skal kunne holdes. I kolonnene mot høyre er effekten av tiltakene 2.1 og 2.2 (de viktigste tiltakene i selve sjøen) og konsekvensen av manglende tiltak regnet inn. Det er viktig å være klar over at effekten av tiltakene blir lavere jo høyere kvalitetsnivå man tar sikte på å oppnå ved fjorden. De tre valgte kvalitetsnivåer er satt opp som alternativer i tabellen.

Tabell 4. Ønsket kvalitetsnivå - nødvendige tiltak.

Ønsket kvalitetsnivå →	Dagens situasjon	A				B				C			
		+ 2		+ 4		+ 6		+ 2		+ 4		+ 6	
		Middel = 80	Middel = 90	Middel = 95	Middel = 80	Middel = 90	Middel = 95	Middel = 80	Middel = 90	Middel = 95	Middel = 80	Middel = 90	Middel = 95
Oksygen- nivå →	- 1	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2
Dyp- vann mg O/l		14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Over- flate % metn		7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Tiltak i selve → fjorden	-	8,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
T _J Ferskvann	21,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
T _E Estuarin sjøv. andel	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
T _A Advekt.dypvann	3,5	8,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
T _H Ovefl.l. utskif.mek.	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
T _L Diff. fra luft	115,0	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5
Foto- syn- Ind.(?)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
T _F tese Natur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(T)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Sum	≈180	≈121	≈115	≈108	≈78	≈74	≈70	≈19	≈17	≈17	≈17	≈17	≈17
Oksygenforbrukskapasitet i tonn oks./døgn (1)	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166	≈166
Behov for belastningsreduksjon ved tiltak på land (metodegrup- pe 1) i tonn oks./døgn (F+T)	≈-- 14	≈45	≈51	≈58	≈88	≈92	≈96	≈147	≈149	≈149	≈149	≈149	≈149
Dette behov i % av den sivili- satoriske belastning (2)	≈-- 9	≈29	≈32	≈37	≈56	≈58	≈61	≈93	≈94	≈94	≈94	≈94	≈94

Henvisninger: Se følgende side.

Henvisninger til tabell 4.

(1)	F _B	Befolkning	+	1,2	tonn oks/døgn					(2)	Sivilisatorisk belastning tilsammen 158 tonn oks/døgn
	F _I	Industri	+	147,0	-''-	-''-	-''-				
	F _N	Natur	+	1,9	-''-	-''-	-''-				
	F _H	Hor. vannutveksl.	+	0	-''-	-''-	-''-				
	F _S	Sedimentert fiberol	+	10,0	-''-	-''-	-''-				
	F _P	Perman. sedim.	-	20,0	-''-	-''-	-''-				
	F _V	Foto-syn-tese									
		Befolkning	+	6,0	-''-	-''-	-''-				
		Industri	+	0	-''-	-''-	-''-				
		Natur	+	20,0	-''-	-''-	-''-				
		Sum		≈	156	tonn oks/døgn					

Beregningene av de effekter som metodene 2.1 og 2.2 gir, er enkle ut fra de gitte forutsetninger, idet de bare innebærer utskiftning av enkelte tall i de respektive formler i notatets bilag 2.

I tilknytning til sluttresultatene i siste linje i notatets tabell 2 skal følgende kommentar gis:

1. Det presiseres at de gitte resultater på dette trinn bygger på mange forutsetninger, og at de er meget usikre. De kan derfor bare tjene som indikasjoner på sannsynlige størrelsesordner.
2. Det forhold at oksygenbalansen for dagens situasjon går så noenlunde opp, kan være en indikasjon på at tallene i grove trekk er riktige. At avvikelsen blir så liten som - 14 tonn pr. døgn, er en tilfældighet.
3. Tallene viser at det kvalitetsnivå man krever i fjorden, betyr meget med hensyn til nødvendige tiltak på land.
4. Tallene viser at tiltak for å forbedre fjordens egen evne til å tåle belastning av organisk stoff (tiltak i gruppe 2), vil gi en relativt beskjeden virkning sammenliknet med de i alle fall nødvendige tiltak på land. Marginalomkostningene for tiltak på land vil da være utslagsgivende for lønnsomheten av disse tiltak i fjorden.
5. Så lenge man bare krever 80 eller 90% oksygenmetning som middeltall i overflatelaget, vil posten eutrofiering ikke bety noe vesentlig for oksygenbalansen. Hvis man derimot setter 95% oksygenmetning som nedre tillatte grense, vil man i sommerhalvåret antakelig miste betydelige oksygenmengder ved diffusjon fra vann til luft, fordi fotosyntesen da oftere gir overmetning av oksygen i vannet. (Det er i tabellen regnet med at halvparten av det

fotosyntetisk produserte oksygen tapes til luften på denne måte for det sistnevnte kvalitetsalternativ). Selv i denne situasjon vil imidlertid næringsstoffjerning ikke være noe betydningsfullt tiltak, idet det jo bare er befolkningsandelen av næringsstofftilførselen man kan få tak i for rensformål, og den er relativt liten.

6. Tabellen viser at betydelige tiltak på land i alle fall vil være nødvendige hvis et akseptabelt kvalitetsnivå skal sikres i fjorden. Grovt regnet viser den følgende:

For å oppnå kvalitetsnivå A må dagens sivilisatoriske belastning av organisk stoff - forutsatt ingen tiltak i selve fjorden - reduseres med ca. 37%.

For å oppnå kvalitetsnivå B må man tilsvarende redusere med ca. 60%.

For å oppnå kvalitetsnivå C må man redusere med ca. 94%.

4.52 Siktedypforholdene

Hvilken reduksjon som må gjøres i belastningen av fargestoff og partikler for å oppnå de valgte alternative kvalitetsnivåer med hensyn til siktedyp, er antydnet i tabell 5. I begrepet "partikler" er her vekst som skyldes næringsstoffmengden (som er kilde til partikkeldannelse i selve sjøen) innbefattet, idet det ikke er mulig å beregne deres effekt for seg. Det har her heller ikke vært mulig å skille mellom sivilisatoriske og naturlige tilførsler. Tallene bygger på meget svakt datagrunnlag og kan bare betraktes som indikative.

Tabell 5. Forbedring av fjordens siktedyp - nødvendig reduksjon av tilførselene fra landsiden.

Kvalitetsnivå	Siktedyp meter	Nødvendig reduksjon av dagens totale belastningsnivå			
		Til farge		til turbiditet	
		mg Pt/l	%	mg SiO ₂ /l	%
Dagens	ca. 1	60	100	5	100
A	2,5	30	50	2,3	50
B	3,0	22	37	1,9	38
C	3,5	20	33	1,7	33

Som for oksygenbalansen, viser også siktedyp-vurderingen at betydelig belastningsreduksjon må til for at akseptable forhold i fjorden kan sikres. De oppgitte prosenttall for reduksjon er likevel ikke direkte sammenliknbare, fordi tabell 4 er basert på sivilisatorisk belastning og tabell 5 på total belastning.

5. NØDVENDIGE FREMTIDIGE UNDERSØKELSER

Formålet med nærværende notat har vært å bringe frem en del momenter som grunnlag for vurdering og planlegging av de nødvendige fremtidige undersøkelser.

Prosjektets status er nå følgende:

1. Det er klart dokumentert at fjordens kvalitetsnivå i dag er meget lavt. Dens naturgitte forutsetninger tilsier et langt høyere nivå. Visse tall foreligger som grovt kan karakterisere disse nivåer.
2. Man har i grove trekk en oversikt over årsaksforholdene bak dagens nivå. På dette grunnlag vet man stort sett hvilke kategorier av tiltak som kan komme på tale for å bedre fjordens kvalitet, og man har visse holdepunkter for å bedømme hvor langt man i praksis kan nå ad slike veier.

3. Et tilstrekkelig grunnlag foreligger nå for en grovere planlegging av de gjenstående deler av undersøkelsesserien.
4. Stort sett har man også et tilstrekkelig grunnlag for å starte forprosjektering av de sanerende tiltak som det kan bli aktuelt å gjennomføre.

De fremtidige undersøkelser vil naturlig falle i to grupper:

A. Undersøkelser som kan tjene som grunnlag for endelig valg mellom de alternative aktuelle tiltak (dvs. tiltakene under gruppe 1 i kapittel 3 foran - tiltak som reduserer tilførselsbelastningen til fjorden).

- A.1 Hvilke tekniske og økonomiske muligheter som foreligger for reduksjon av mengde organisk stoff, næringsstoffer, oppløste fargestoffer og partikler i de dominerende industrielle utslipp. Både interne tiltak i de enkelte bedrifter og rensetiltak for selve avløpsvannet er aktuelle tema i den forbindelse.
- A.2 Hvilke tekniske og økonomiske muligheter som foreligger for transport av industrielt og kommunalt avløpsvann til farvann utenfor Iddefjorden. (Noen informasjon foreligger allerede på dette felt).
- A.3 Hvilke belastninger av de aktuelle industrielle og kommunalt avløpsvann som kan aksepteres i alternative utslipps- og dumping-lokaliteter utenfor Iddefjorden. (En delundersøkelse av denne kategori er påbegynt (Rapport nr. 1)).
- A.4 Hvilke tiltak som vil være hensiktsmessige for å redusere boligkloakkenes bakteriebelastning ut fra hygieniske betraktningmåter.

A.5 Hvilket behov foreligger det for reduksjon av den heterotrofe vekst gjennom minskning av fjordens næringsstofftilførsel og bakterielle belastning.

B. Undersøkelser som tar sikte på å utdype og forsterke de konklusjoner som allerede er trukket i nærværende rapport.

B.1 En nærmere kartlegging av fjordens tilførselsbelastning med hensyn til de tidligere omtalte parametre vil være nødvendig. En slik kartlegging må stort sett kunne legges opp som et tidsbegrenset program. I første omgang skal denne sikte på å gi tilstrekkelig grunnlag for endelige beregninger av de typer som er vist i dette notat. Senere skal den danne et referansegrunnlag for å vurdere virkningene på tilførselsbelastningen av de sanerende tiltak som blir satt i verk.

B.2 De foreliggende hydrografiske data må suppleres. Først og fremst er det aktuelt å etablere et regelmessig basisprogram i fjorden som innebærer hyppige målinger av utvalgte parametre på noen få (2 - 4) stasjoner. Dette program bør opprettholdes i mange år fremover. I tillegg til dette vil det sannsynligvis bli aktuelt med noen få utvidede tokt med flere parametre og flere stasjoner. Disse måleserier vil tjene tre formål: De vil gi muligheter for sikrere beregning av hvor store belastninger fjorden kan tåle; de vil gi en løpende karakteristikk av fjordens fysisk-kjemiske tilstand og kvalitetsnivå (og dermed muligheter for å måle effekten av sanerende tiltak etter hvert som de blir satt i verk); og de vil danne en nødvendig bakgrunn for vurdering av fjordens biologiske utvikling.

- B.3 Visse studier av sedimentene i bunnen av fjorden kan også bli aktuelle som grunnlag for beregning av hvor stor belastning fjorden kan tåle.
- B.4 Også en del hydrodynamiske målinger må antakelig gjennomføres som støtte for beregningene av hvor stor belastning fjorden kan tåle. Det antas her bare å bli tale om strøm og vannstands-måleserier av begrenset omfang og varighet.
- B.5 I det fremtidige arbeidsopplegg bør også biologiske og bakteriologiske undersøkelser tas med, idet både de biologiske og de bakteriologiske forhold er viktige elementer i det benyttede samlebegrep "fjordens kvalitetsnivå". Foreliggende svenske observasjoner vil danne en god bakgrunn for planlegging på disse felt.

IDDEFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

0 - 113/64

Bilag 1

til notat av 10.3.1970

BEREGNING AV FJORDENS ESTUARINE VANNUTSKIFTNING

av

cand.mag. Sverre Kolstad

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

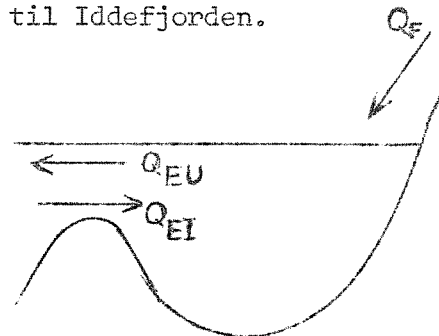
INNHOLD:

	Side:
1. DEFINISJONER	3
1.1 Den estuarine utskiftning	3
1.2 Beregningskonstanter som er uavhengig av målingene	4
1.3 Beregnede størrelser som er avhengig av målingene	5
2. GENERELLE BEREGNINGER PÅ BASIS AV VANNBALANSEN	5
2.1 Midlere teoretisk tidevannføring	5
2.2 Midlere teoretisk hastighet av tidestrømmen	6
3. VANNBALANSEBEREGNINGER PÅ GRUNNLAG AV MÅLTE DATA 10-11.8.1966	6
3.1 Midlere strømhastighet beregnet på grunnlag av målte data	6
3.2 Justeringer av målte hastigheter til de teoretiske middelhastigheter	6
3.3 Beregning av nettohastighet og estuarin strøm	7
4. KONTROLL AV BEREGNINGENE PÅ GRUNNLAG AV SALTBALANSEN	7
5. JUSTERING AV BEREGNINGENE	7
5.1 Fremgangsmåte	7
5.2 Resultat	8
5.3 Vurdering av beregningene	8
 1 TABELL	
3 FIGURER	

1. DEFINISJONER

1.1 Den estuarine utskiftning som virker i overflatelaget, og som er en følge av ferskvannstilrenningen til Iddefjorden.

I terskelfjorder som har tilrenning av ferskvann, vil det foregå en kontinuerlig utskiftningsprosess, som antydnet på skissen til høyre. Prosessen, som betegnes som den estuarine utskiftning, er bl.a. beskrevet av Gade. Den går i korthet ut på at det ferskvann (Q_F) som tilføres fjorden, på sin videre vei ut blir tilblandet - og dermed tar med seg en del sjøvann. (Blandingsvannet (brakkvannet Q_{EU}) er lettere enn sjøvannet og flyter som et lag oppå dette). Det sjøvann som slik blir trukket ut av fjorden, blir av tetthetsmessig årsak erstattet ved at sjøvann utenfra glir inn over terskelen under det utstrømmende brakkvann (Q_{EI}).



Prosessen kan beregnes på grunnlag av følgende likninger:

$$(1) \quad Q_{EU} = Q_{EI} + Q_F \quad (\text{Vannbalansen})$$

$$(2) \quad Q_{EI} \times R_I = Q_{EU} \times R_U \quad (\text{Saltbalansen})$$

hvor R_U = Saltkonsentrasjonen i utgående strøm

R_I = Saltkonsentrasjonen i inngående strøm.

Et forsøk på en slik beregning er gjort ut fra en serie strømmålinger like utenfor Bjällvarpterskelen (ved Säläterodden) 10 - 11. august 1966.

1.2 Beregningskonstanter som er uavhengig av målingene

A_0	(m^2)	Overflatearealet av fjorden innenfor måletverrsnittet	Rapport 2 tabell 2A
A_M	(m^2)	Vertikal-arealet av måletverrsnittet	Tabell 1
Z	(m)	Måledyp i meter i måletverrsnittet	
B_Z	(m)	Bredden av måletverrsnittet i Z meters dyp	Tabell 1
b	(m)	Største dyp i måletverrsnittet	Tabell 1
h_T	(m)	Nivåforskjell mellom høyeste og laveste vannstand innenfor en tideperiode (årsmiddel)	Antatt verdi $h_T = 0,3$ m. Oppgitt av Halden ingeniørkontor 17.11.1969
t_I	(sek)	Varighet av henholdsvis inn- og utgående tidestrøm (årsmiddel)	Her er benyttet $t_I = t_U = T/2$ der $T = 12,42$ timer (Principal lunar)
t_U	(sek)		
Q_F	(m^3/S)	Ferskvannstilførselen til fjorden (årsmiddel)	Kjesyrapport side 6
Q_{TI}	(m^3/S)	Tidevannføring henholdsvis inn i og ut av fjorden (årsmiddel)	Beregnet
Q_{TU}	(m^3/S)		
V_{TI}	(m/S)	Hastighet av henholdsvis inn- og utgående tidestrøm i måletverrsnittet (årsmiddel regnet som mid- delverdi i måletverrsnittet)	Beregnet
V_{TU}	(m/S)		
R_Z	(kg/m^3)	Saltkonsentrasjonen i Z meters dyp	Tabell 1

1.3 Beregnete størrelser som er avhengig av målingene

V_{IZ}	(m/S)	Målt hastighet av henholdsvis inn- og utgående strøm i Z meters dyp	NIVA tokt 10-11.8.1966
V_{UZ}	(m/S)	(middelverdi i Z meters dyp)	Säläterodden
V_I	(m/S)	Middelverdi - midlet over hele tverrsnittet - av den målte hastighet til henholdsvis inn- og utgående strøm	Beregnet
V_U	(m/S)		
f_I		Forhold mellom teoretisk og målt hastighet av inngående, henholdsvis utgående strøm (middelverdi over tverrsnittet)	Beregnet
f_U			
V_{EZ}	(m/S)	Hastigheten til den estuarine strøm i Z meters dyp. Fremkommet som differanse mellom inn- og utgående strømhastighet i dypet Z	Beregnet
m	(m)	Dyp som er kjennetegnet med at utgående strømhastighet er lik inngående strømhastighet	Beregnet
Q_{EI}	(m ³ /S)	Inngående, henholdsvis utgående estuarin strøm	Beregnet
Q_{EU}	(m ³ /S)		
ΔQR		Netto salttransport gjennom måletverrsnittet. (Teoretisk verdi: $\Delta QR = 0$)	Beregnet

2. GENERELLE BEREGNINGER PÅ BASIS AV VANNBALANSEN

2.1 Midlere teoretisk tidevannføring

$$(3) \quad Q_{TI} = \frac{h_T \times A_0}{t_I} + Q_F = 237 \text{ m}^3/\text{S}$$

$$(4) \quad Q_{TU} = \frac{h_T \times A_0}{t_U} + Q_F = 317 \text{ m}^3/\text{S}$$

2.2 Midlere teoretisk hastighet av tidestrømmen

Beregnet som middel over tid ($\frac{1}{2}$ tideperiode) og måletverrsnitt.

$$(5) \quad V_{TI} = \frac{Q_{TI}}{A_M} = 0,299 \text{ m/S}$$

$$(6) \quad V_{TU} = \frac{Q_{TU}}{A_M} = 0,401 \text{ m/S}$$

3. VANNBALANSEBEREGNINGER PÅ GRUNNLAG AV MÅLTE DATA 10 - 11.8.1966

3.1 Midlere strømhastighet beregnet på grunnlag av målte data

Beregnet som middel over måletverrsnittet.

$$(7) \quad V_I = \frac{1}{A_M} \int_b^0 V_{IZ} \times B_Z \times dZ = 0,373 \text{ m/S}$$

$$(8) \quad V_U = \frac{1}{A_M} \int_b^0 V_{UZ} \times B_Z \times dZ = 0,365 \text{ m/S}$$

3.2 Justeringer av målte hastigheter (likning 7 og 8) til de teoretiske middelhastigheter (likning 5 og 6)

$$(9) \quad f_I = \frac{V_{TI}}{V_I} = 0,802$$

$$(10) \quad f_U = \frac{V_{TU}}{V_U} = 1,099$$

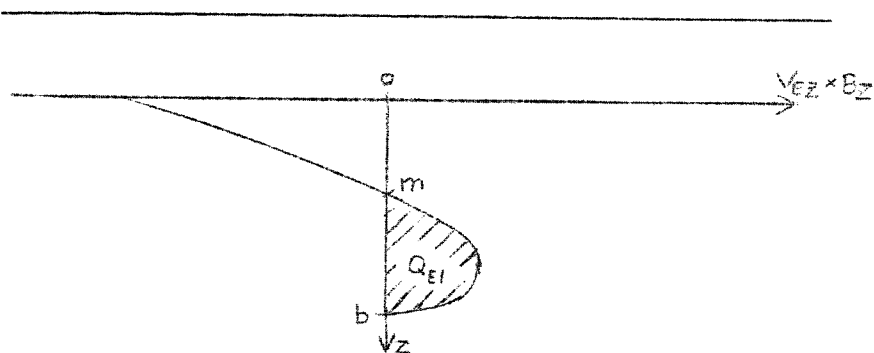
3.3 Beregning av nettohastighet og estuarin strøm

$$(11) \quad V_{EZ} \times B_Z = \frac{1}{2} f_I \times V_{IZ} \times B_Z + \frac{1}{2} f_U \times V_{UZ} \times B_Z$$

(Faktoren $\frac{1}{2}$ angår middelhastighet over en hel tideperiode)

$$(12) \quad Z = m = 8,15 \text{ m for } V_{EZ} \times B_Z = 0$$

$$(13) \quad Q_{EI} = + \int_b^m V_{EZ} \times B_Z \times dZ = 3,8 \text{ m}^3/\text{S}$$



4. KONTROLL AV BEREGNINGENE PÅ GRUNNLAG AV SALTBALANSEN

$$(2) \quad \Delta Q R_{\text{teor.}} = Q_{EI} \times R_I + Q_{EU} \times R_U = 0$$

$$(14) \quad \Delta Q R_{\text{målt}} = \int_m^0 V_{EZ} \times B_Z \times R_Z \times dZ + \int_b^m V_{EZ} \times B_Z \times R_Z \times dZ$$

$$= 522,7 + 91,6 = + 431,1 \text{ kg/S}$$

$\Delta Q R_{\text{målt}}$ blir, ved siden av t_I og t_U , et mål for hvor mye de målte strømprofiler avviker fra de teoretiske strømprofiler for inn- og utgående strøm. På grunn av stort avvik er beregningene korrigert (se kap. 5).

5. JUSTERING AV BEREGNINGENE

5.1 Fremgangsmåte

I talleksemplet har $\Delta Q R$ som nevnt en stor positiv verdi, og målingene er derfor ikke representative for årsmidlet.

Jeg har foretatt følgende justeringer av de målte hastigheter:

- (i) Utgående korrigeret hastighet ($f_I V_I$) er multiplisert med en faktor, k_1 . Dette fører til forskyvning av m . (For $\Delta QR > 0$ velges $k_1 < 0$). Etter denne korreksjon beregnes $Q_{Fk_1} = Q_{EU} \div Q_{EI}$
- (ii) Både inn- og utgående korrigeret hastighet ble multiplisert med den samme faktor k_2 , slik at likning (1) $Q_{EU} = Q_{EI} + Q_F$ ble oppfylt.

$$k_2 = \frac{Q_F}{Q_{Fk_1}} \quad \Delta QR \text{ beregnes på nytt.}$$

Iterasjonen fortsetter til $\Delta QR \approx 0$.

5.2 Resultat

$$k_1 = 0,822$$

$$k_2 = 5,128$$

$$Q_{EI} = 44,1 \text{ m}^3/\text{S}$$

$$\Delta QR = 1034,1 \div 1040,5 = \div 6,4 \text{ kg/S.}$$

5.3 Vurdering av beregningene

Konstantene f_I , f_U , k_1 og k_2 angir avvik fra målt til korrigeret hastighet.

(f_I og f_U angir avvik fra målt til teoretisk hastighet).

$$f_I = 0,802, f_U = 1,099, k_1 = 0,816, k_2 = 5,128.$$

Til kontroll ble beregningene foretatt på et utvalg av målingen.

(Måling nr. 1 - 8). Dette gav følgende resultat:

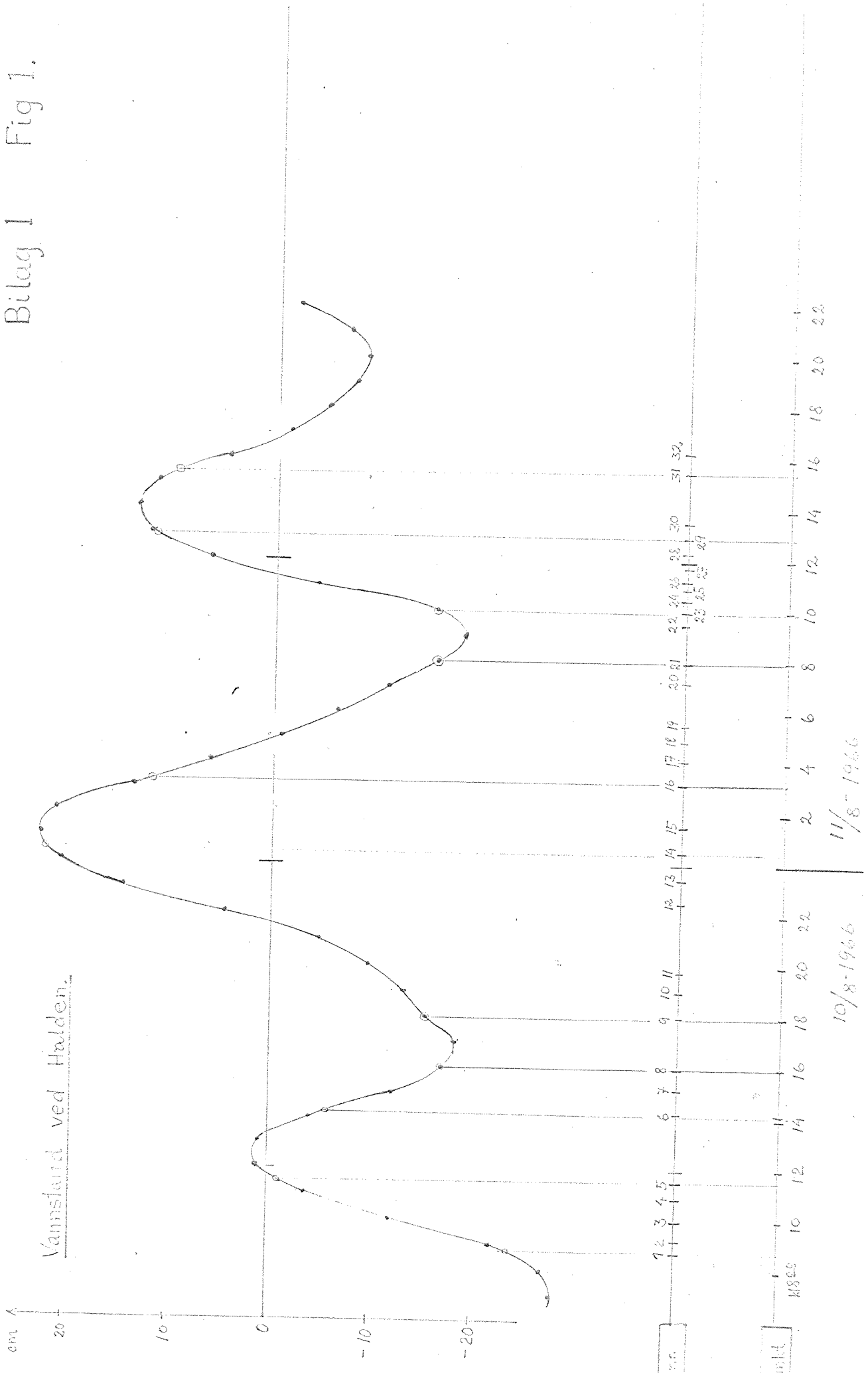
$$f_I = 0,715, f_U = 1,105, k_1 = 0,845, k_2 = 3,670$$

$$Q_{EI} = 41,1 \quad \Delta QR = 986,4 \div 960,3 = + 26,1$$

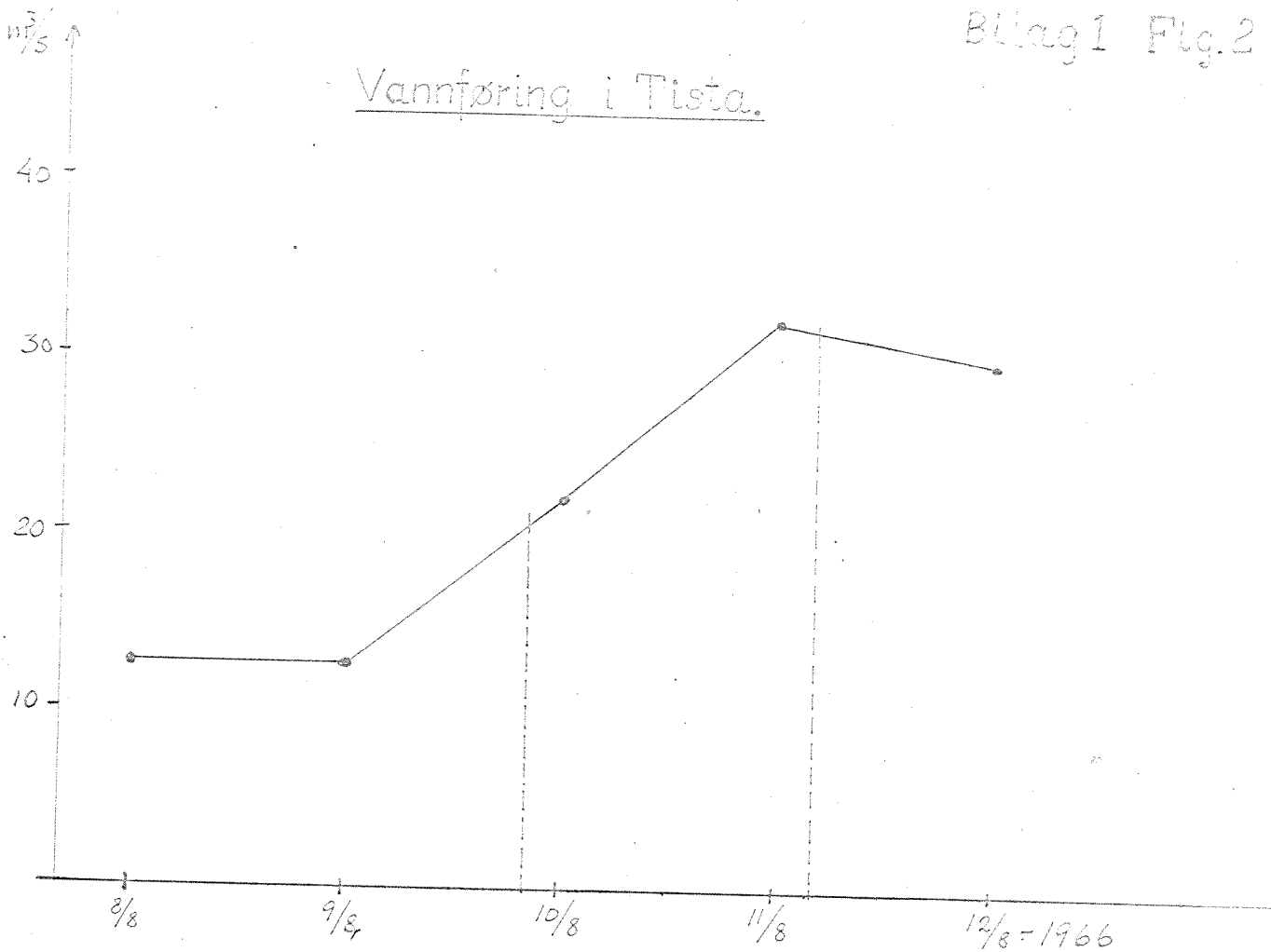
Til tross for stor variasjon i konstanten k_2 , er variasjonen i Q_{EI} liten. Avviket fra teoretisk strømprofil skyldes muligens innflytelse av vind, og av at ferskvannstilførselen i måleperioden avviker fra årsmiddel. (se fig. 1, fig. 2 og fig. 3).

<u>Karakteristiske data for måletvernsnittet.</u>		
Måledyp m	Tverrsnittsbredde m	Saltkonsentrasjon kg/m ³
0	94	10,3
1	91	10,7
2	87	11,3
3	84	14,1
4	78	16,5
5	70	18,7
6	67	20,5
7	60	21,7
8	57	22,8
9	51	23,5
10	48	24,0
11	34	24,4
12	22	24,5
Største dyp: 12,5 m		
Areal: 791,4 m ²		

Bilag I Fig 1.

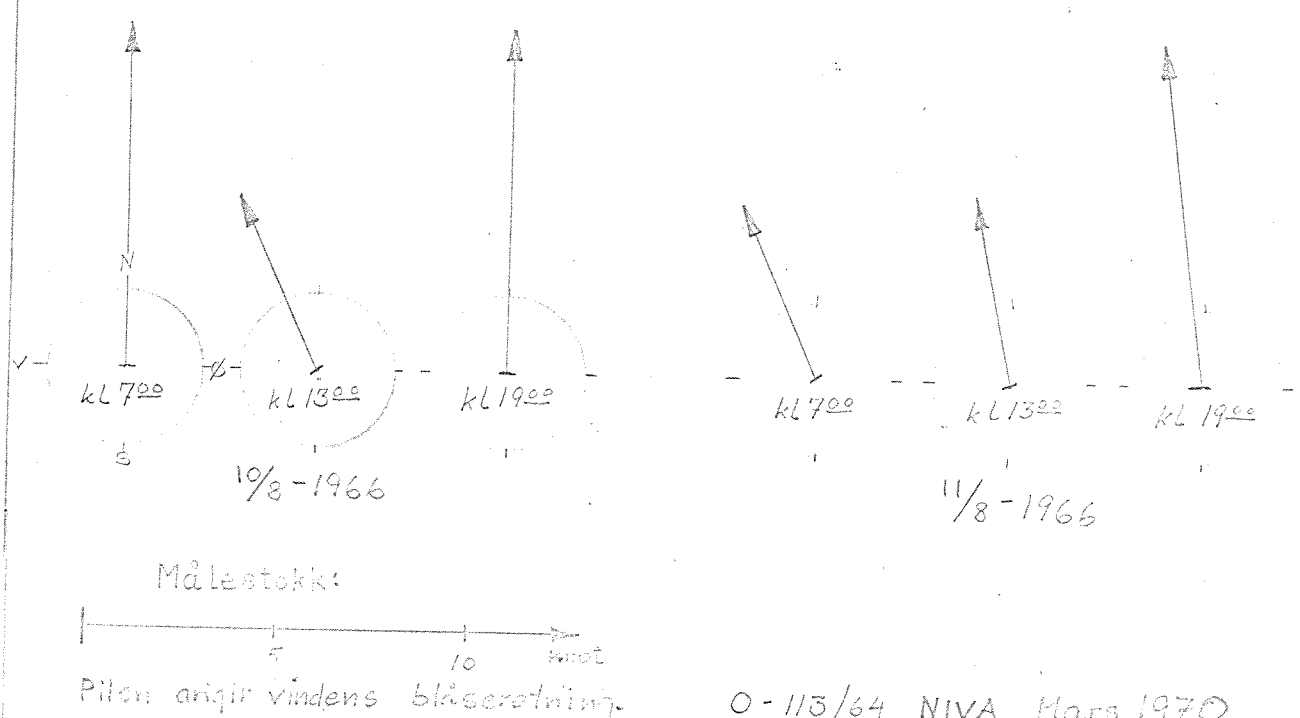


Vannføring i Tista.



Vindoppservasjoner ved Prestebakke:

Fig 3.



IDDEFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

0 - 113/64

Bilag 2

til notat av 10.3.1970

DIVERSE BEREGNINGER I FORBINDELSE MED
EN FORELØPIG OKSYGENBALANSEOPPSTILLING

av

siv.ing. Hans Munthe-Kaas

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

Pkt.1 AD POSTENE ($F_B + F_I + F_N$) og F_H = SPØRSMÅLET OM VALG AV BOF-ENHET OG OM TAP AV ORGANISK STOFF VED VANNUTSKIFTNING MED SJØEN UTENFOR.

Det tilførte organiske stoff i fjorden kommer via vassdrag og kloakker i mange former. Noe er oppløst i vannet, noe kommer som partikler som holder seg lenge svevende og noe som partikler som synker raskere mot bunnen. Det er foreløpig ikke bragt på det rene hvordan disse tre fraksjoner fordeler seg mengdemessig, men det er rimelig å tro at en ikke ubetydelig del finnes i oppløst form.

For å kunne velge den mest korrekte BOF-enhet, har man behov for å kjenne denne fordeling. Som et foreløpig utgangspunkt velges det å regne med at ca.50% av det uorganiske stoff er oppløst form eller i form av lengesvevende partikler, og at de resterende 50% synker raskt. Det minnes her om at fiberutslipp fra treforedlingsindustrien ikke er tatt med under posten tilførsler fra industrien i tabell 2.

For de oppløste og lettsvevende fraksjoner gjelder det at de vil blande seg inn i fjordens vannmasser sammen med ferskvannet i overflatelaget. Ferskvannets oppholdstid i fjorden er i notatets avsnitt 4,1 pkt.5 anslått til 5,5 døgn.

Dette betyr at for disse 50% synes det å være riktig å benytte enheten BOF_5 . Gjør man det, kan posten F_H (tap ved vannutskiftning) settes = 0, (fordi BOF_5 mengden i middel skal være omtrent oppbrukt når vannet forlater fjorden.)

For den synkende gruppe må man regne med lang oppholdstid i fjorden. For den må derfor BOF_{20} være en riktigere enhet (jfr. avsnitt 2.34).

Ut fra dette velges det i notatets avsnitt 4,2 å sette som mengde tilført organisk stoff ($F_B + F_I + F_N$) en verdi lik midlet av tabell 2's BOF_5 -verdi og BOF_{20} -verdi. Denne middelverdi er på 146,25 tonn/døgn, men avrundes til 150 tonn/døgn. F_H -verdien settes til 0.

Pkt.2 Ad posten F_p - tap ved permanent sedimentering

Det partikulære materiale som synker ned til bunnen av fjorden, har forskjellige kilder. Fra vassdragene kommer forskjellige erosjonsprodukter av både organisk og uorganisk slag med varierende, men for en stor del liten, synkehastighet. Boligkloakkvannets partikulære materiale antas å synke relativt raskt. Industriens partikulære bidrag vet man foreløpig lite om, bortsett fra den store fibermengde fra treforedlingsindustrien, som ikke inngår i posten F_p . Et visst bidrag må antas å komme fra fjordens egen planteproduksjon og et forholdsvis stort bidrag fra den heterotrofe vekst. Endelig er det grunn til å tro at en del partikulært materiale dannes i selve sjøen gjennom kjemiske prosesser når sjøvannet tilføres ferskvann med naturlige, kommunale eller industrielle oppløste komponenter.

En del av det materiale som bunnfelles, løses opp som følge av kjemiske og/eller biologiske prosesser og går inn i vannfasen igjen. Noe av det vil imidlertid være så langsomt oppløselig at det ikke når så langt før det neddynges av nytt materiale og til slutt slik isoleres fra vannfasen for godt.

Man vet lite om hvor stor andel av fjordens samlede tilførsler av de forskjellige komponenter som forlater fjordens vannfase på denne måte. På basis av et meget tynt analysemateriale fra Indre Oslofjord kom man der til tallene 18 % for fosfor, 8 % for nitrogen og 22 % for organisk materiale; men disse kan kun gis status som meget svake indisier.

For Iddefjordens oksygenbalanse trenges et tilsvarende tall for det organiske materiale. En % verdi på 11 - lik halve Oslofjord-verdien - er valgt (p.g.a. Iddefjordens langt sterkere vannutskiftning). Dette gir, på basis av F_{total} -tallet fra tabell 3 nedenfor, absolutt verdien

$$F_p = 166 \frac{11}{100} \approx 20 \text{ tonn/døgn.}$$

Pkt.3 ORIENTERENDE BEREGNING AV OKSYGENBEHOVET HOS PARTIKULÆRE AVFALLS-
STOFFER FRA CELLULOSEINDUSTRIEN SEDIMENTERT PÅ BUNNEN AV FJORDEN.

I Saugbruksforeningens utslipp i Tista er det utvilsomt en betydelig mengde partikulært organisk materiale (hovedsakelig cellulosefibre) som bunnfelles nedover i Tista eller i selve Iddefjorden. Hvor stor mengde det dreier seg om, er dog ikke kjent.

Denne spesielle type av organisk stoff som tilføres fjorden, er bare til dels kommet med i notatets tabell 2 over fjordens tilførsler. Grunnen til det er at tabellen primært bare tar med slike typer av organisk stoff som registreres av analysemetoden BOF_5 (dvs. typer som lar seg nedbryte i løpet av 5 døgn) og sekundært gir et teoretisk tillegg for stoffer som lar seg nedbryte innen 20 døgn. Fibre, som har en langt mindre nedbrytningshastighet, kommer bare i liten grad med her.

Fordi fibermaterialet blir så langsomt nedbrutt, vil det akkumuleres på bunnen i mer eller mindre tykke lag. Hvor store deler av Iddefjordens bunn som har et slikt fiberlag, er ikke kjent, men det antas at området er ganske stort.

Den langsomme nedbryting av det sedimenterte fibermateriale som tross alt foregår, vil kreve en del oksygen, og dette oksygen må tas fra fjordens vannmasser. I forbindelse med oksygenbalanseberegningene er det behov for å kunne anslå hvor meget oksygen som forbrukes på denne måte.

Som grunnlag for et slikt anslag foreligger det ingen norske data, men i en amerikansk publikasjon av Stein og Denison (1962)¹⁾ er det gitt et spesifikt tall for oksygenbehovet hos organisk utslippsmateriale fra celluloseindustrien bunnfelt i sjøen. Tallet her er fremkommet ved in-situ forsøk, og også understøttet ved laboratorieforsøk. Hvor sikkert tallet er, er det vanskelig å bedømme, men det er grunn til å tro at det i hvert fall i grove treer gjenspeiler de faktiske forhold. Målingene ble utført i Port Angeles

Harbour, beliggende på grensen mellom USA og Canada på Stillehavskysten. Utslippskildene var her et tresliperi, en sulfittcellulosefabrikk og en halvkJemisk cellulosefabrikk. Vannets temperatur ved bunnen var $10,9^{\circ}\text{C}$, pH var 7,68 og saliniteten (saltinnholdet) var $31,7^{\circ}/_{\text{OO}}$. Vanddybden var ca. 10 m. Forholdene i Iddefjorden og i de her nevnte områder synes ikke å være så vesentlig forskjellige, og det skulle derfor være berettiget å bruke tallet derfra i en orienterende beregning for Iddefjorden:

- A. Det omtalte tall har størrelsen $3,60 \text{ g } \text{O}_2/\text{døgn og m}^2$
- B. Det oppgis, på grunnlag av forsøkene, at tallene er uavhengig av sjødybden på stedet og av sedimentlagets tykkelse. Det areal som bunnfallet dekker, er derfor den eneste faktor som kommer inn i beregningene. Hvilket areal av Iddefjordens bunn som er dekket av slikt materiale, er ikke kjent. Som beregningsgrunnlag velges derfor tre alternative arealer (se fig.3 i rapport 2)

Alt. 1. Sone 4 - areal $1,03 \times 10^6 \text{ m}^2$

Alt. 2. Sone 4 og 5 - areal $2,56 \times 10^6 \text{ m}^2$

Alt. 3. Det dobbelte av alt.2 = $5,12 \times 10^6 \text{ m}^2$

- C. På dette grunnlag finnes følgende tre alternative tall for oksygenbehovet fra bunnfelt cellulosemateriale.

Alt. 1. $3,6 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^6 = 3,6 \times 10^3 \text{ kg } \text{O}_2/\text{døgn}$

Alt. 2. $3,6 \times 10^{-3} \times 2,5 \times 10^6 = 9 \times 10^3 \text{ kg } \text{O}_2/\text{døgn}$

Alt. 3. $3,6 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^6 = 18 \times 10^3 \text{ kg } \text{O}_2/\text{døgn}$

- 1) J.E.Stein and J.G.Denison: "IN SITU BENTHAL OXYGEN DEMAND OF CELLULOSIC FIBERS". Proc. 3rd int. Conf. Wat. Pollu. Res. Munich. 1966. 1967. 3 s.181 - 197

Pkt.5 OKSYGENTILFØRSEL VIA DET SJØVANN SOM DELTAR I DEN ESTUARINE
UTVEKSLINGSMEKANISME (T_E)

Midlere tilført estuarin sjøvannsmengde (jfr. bilag 1) =

$$Q_I = 44 \times 8,64 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{døgn}$$

Denne mengde antas å komme i fjorden
med et midlere oksygeninnhold på

$$I = 6 \times 10^{-6} \text{ tonn/m}^3$$

Det samme vann forlater fjorden med
et antatt midlere oksygeninnhold på

$$U = 4 \times 10^{-6} \text{ tonn/m}^3$$

Disse to tall er grovt anslått på
basis av fig.9a.

$$T_E = Q_I \cdot (I - U) = 44 \times 8,64 \times 10^4 \times (6 - 4) \times 10^{-6} = \underline{7,5 \text{ tonn/døgn}}$$

	<u>Indre basseng</u>	<u>Ytre basseng</u>
Ekvivalent oksygenmengde i utgående vann, anslått på grunnlag av fig.9a og 9b - gitt i tonn oksygenekvivalent/m ³	<u>$-1,9 \times 10^{-6}$</u>	<u>$+1 \times 10^{-6}$</u>
Differanse mellom oksygeninnhold i nytt og gammelt vann	<u>$9,9 \times 10^{-6}$</u>	<u>7×10^{-6}</u>
d) <u>Netto oksygentilførsel inkl. nitratreserve</u>		
d = b + c	<u>$10,2 \times 10^{-6}$</u>	<u>$7,3 \times 10^{-6}$</u>

Netto oksygentilførsel inkl. nitratreserve:

$$\begin{aligned}
 \text{Indre bassen: } & 2,4 \times 10^5 \times 10,2 \times 10^{-6} && 2,5 \text{ tonn/døgn} \\
 & + 1,2 \times 10^5 \times 7,3 \times 10^{-6} && \underline{1,0 \text{ tonn/døgn}} \\
 & && = \underline{\underline{3,5 \text{ tonn/døgn}}}
 \end{aligned}$$

Pkt.7 OKSYGENTRANSPORT VED VERTIKALDIFFUSJON FRA OVERFLATELAGET GJENNOM SPRANGSJIKKET TIL DYPVANNET

Denne post hører egentlig ikke hjemme i den eksterne oksygenbalanse som her beregnes. Som anført i notatets avsnitt 4,1 er det likevel av interesse å få dens størrelsesorden fastslått.

Beregningsformelen

$$D = K \times A \times \frac{dc}{dz}$$

er nærmere forklart i notatet. Beregningen må utføres separat for hvert av de to hovedbassenger i fjorden.

	<u>Indre basseng</u>	<u>Midtre basseng</u>
Valgt beregningsdyp for diffusjonen	2,5 m	15 m
Diffusjonsarealer i disse dyp	$15,3 \times 10^6 \text{ m}^2$	$2,3 \times 10^6 \text{ m}^2$
Valgt diffusjons-strekning	o - 5 m	10 - 20 m
$\frac{dc}{dz}$ er skjønsmessig anslått på grunnlag av fig. 9a og 9b	$\frac{2,0 \times 10^{-6} \text{ tonn/m}^3}{\text{m}}$	$0,33 \times 10^{-6} \frac{\text{tonn/m}^3}{\text{m}}$
Diffusjonskoeffisient anslått skjønsmessig på grunnlag av beregninger fra indre Oslofjord	$8,64 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-2}$

$$D = K \times A \times \frac{dc}{dz} \left\{ \begin{array}{l} \text{Indre: } 8,64 \times 10^{-3} \times 15,3 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-6} = 0,27 \text{ tonn/d g} \\ \text{Midtre: } 8,64 \times 10^{-2} \times 2,3 \times 10^6 \times 0,33 \times 10^{-6} = 0,07 \text{ tonn/d g} \end{array} \right.$$

Sum 0,34 tonn/d g

Pkt.8 OKSYGENTILFØRSEL VED DIFFUSJON FRA LUFTEN

Den diffusive transport av oksygen fra luften gjennom vannflaten og ned i vannmassene kan teoretisk beregnes etter formelen

$$T_L = f \times A \times (C_m - C_s)$$

hvor

T_L = transporten fra luft til vannmasse

A = diffusjonsarealet = fjordflaten

C_m = vannets oksygenkonsentrasjon ved metning

C_s = vannets faktiske midlere oksygenkonsentrasjon i overflaten

f = diffusjonskoeffisient

Mens de andre faktorer er kurante å bestemme, har man lite av hjemlige data å holde seg til ved bestemmelse av faktoren f . En meget stor innsats ble imidlertid gjort på dette felt i forbindelse med materialbalansestudier i Themsen for en del år siden (Thames Survey Committee 1964). Man kom her frem til verdier av f som funksjon av vannets saltholdighet, temperatur, innhold av organisk stoff, vind, nedbør og en rekke andre forhold. Rapporten konkluderer med at det er vanskelig å finne den riktige koeffisient for en gitt situasjon, men de tall som er gitt bør likevel kunne brukes som grunnlag for en overslagsberegning for Idefjorden.

Formelens konstanter og variable gir følgende verdier:

A = fjordens overflateareal $20 \times 10^6 \text{ m}^2$

C_m = sjøvannets metningskonsentrasjon for oksygen $9,5 \times 10^{-6} \text{ tonn/m}^3$

C_s = sjøvannets midlere konsentrasjon i 0 - 0,5 m dyp - anslått på grunnlag av foreliggende data til ca. $5,5 \times 10^{-6} \text{ tonn oksygen/m}^3$

f = anslås på grunnlag av informasjonene i den engelske rapport til $6 \mu\text{g}$ (oksygen/cm², mg oksygen/l og time) - omregnet til våre enheter $6 \times 2,4 \times 10^{-7}$ (tonn oksygen/døgn, m² og mg/l.)

Disse verdier innsatt i formelen gir resultatet $6 \times 2,4 \times 10^{-7} \times 20 \times 10^6$ (9,5 - 5,5).

$T_L = 115$ tonn oksygen pr. døgn