

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O - 28/74

VURDERING AV ALTERNATIVE UTSLIPPSSTEDER
FOR AVLØPSVANN FRA BAMBLE CELLULOSEFABRIKK

Saksbehandlere: cand.real. Erik Andreassen
siv.ing. Birger Bjerkeng
cand.real. Brage Rygg

Oppdrag mottatt: april 1974

Oppdrag avsluttet: juli 1974

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. AVLØPETS SAMMENSETNING OG RELATIVE BIDRAG TIL FJORDENS FORURENSNING	4
2.1 Absolutte utslippstall	4
2.2 Bamble Cellulosefabrikks andel av den totale forurensningsbelastning til Frierfjorden	5
3. AVLØPSVANNETS MILJØEFFEKTER	6
4. FORHOLDENE I FRIERFJORDEN I DAG	7
4.1 Topografi og strømforhold	7
4.2 Forurensningssituasjonen	8
4.3 Forholdene i Herrebukta	9
5. DRØFTING AV UTSLIPPSALTERNATIVER	10
6. DYPUTSLIPP - BEREGNING AV ALTERNATIVER	12
6.1 Dimensjonering av utslippsanordning	12
6.2 Fortynnings- og innlagringsberegninger	13
6.3 Oksygenforholdene	15
6.4 Drøfting av beregningene	16
7. PLASSERING AV UTLØPSLEDNING OG UTSLIPP	20
7.1 Befaring i Herrebukta	20
7.2 Valg av ledningstracé	20
7.3 Avstand fra bunn til utslippet	22
8. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	22
LITTERATURLISTE	26

TABELLFORTEGNELSE		Side:
Tabell 1.	Utslippsmengde fra Bamble Cellulose før og etter at reduserende tiltak er iverksatt	5
Tabell 2.	Avløpsvannets konsentrasjon av forurensninger	5
Tabell 3.	Tilførsler til Frierfjorden ifølge rapport 0-111/70	6
Tabell 4.	Dimensjonering av diffusor med vannføring 0,25 m ³ /s	13
Tabell 5.	Teoretisk beregnet innlagringsdyp for dyputslipp i Herrebukta. Gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger	14
Tabell 6.	Teoretisk beregnet gjennomsnittlig fortynning ved innlagring for dyputslipp i Herrebukta. Gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger	14
Tabell 7.	Teoretisk beregnet gjennomsnittlig oksygeninnhold i innlagret vann, og i fornyingsvann til mellomlaget totalt, ved en kompensasjonsstrøm $Q_1 = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ med O_2 -innhold $c_1 = 6 \text{ ml/l}$. Gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger	16
Tabell 8.	Bunnforhold i Herrebukta	21

-oo0oo-

FIGURFORTEGNELSE		
Fig. 1.	Skiensvassdragets fjordområde	27
Fig. 2.	Herrebukta	28
Fig. 3	Tetthets- og oksygenprofiler for stasjon BB-1, 1974	29
Fig. 4	Tetthetsprofiler fra tidligere undersøkelser, tatt i Frierfjorden ved Herøya. Avlest grafisk av inn-tegnede lengdesnitt	30

-oo0oo-

1. INNLEDNING

Bamble Cellulosefabrikk A/S anmodet i brev av 23. april 1974 NIVA om å vurdere utslippssted for avløpsvann fra fabrikk. På bakgrunn av krav fra Statens forurensningstilsyn (SFT) (før Statens vann- og avløpskontor (SVA)) var det vedtatt at avløpsvannet skulle føres i lukket ledning langs bunnen av Herreelva til Frierfjorden. (Se figur 1 og 2). I brev av 2. mai tilbød NIVA seg å vurdere aktuelle utslippssteder, og avtalen for oppdraget ble bekreftet i brev av 10. mai fra fabrikk.

De nye kravene til utslippsmengder, som betyr en vesentlig reduksjon i forhold til det som slippes ut i dag, er presisert i brev fra SFT av 1. mars 1974 til A/S Follum Fabrikker. En del av de ulemper som dagens utslippsforhold medfører, omtales i nevnte brev og i et saksnotat (jnr. 6029/71). I dag går avløpsvannet ut i elva 1 km ovenfor munningen, noe som har ført til betydelige forurensningsulemper på elvestrekningen.

2. AVLØPETS SAMMENSETNING OG RELATIVE BIDRAG TIL FJORDENS FORURENSNING

2.1 Absolutte utslippstall

Fabrikk har helkontinuerlig drift, og årsproduksjonen av cellulose er oppgitt til 34000 tonn.

På bakgrunn av de gitte opplysninger er beregnet følgende utslippsmengder før og etter at reduserende tiltak er satt i verk:

Tabell 1. Utslippsmengder fra Bamble Cellulose før og etter at reduserende tiltak er iverksatt.

	Før	Etter
Fiber	2,2 tonn/d	1,0 tonn/d
BOF ₇ (biologisk oksygenforbruk)	8 "	5 "
Na (som NaCl og Na ₂ SO ₄)	8 "	6,9 "
Vann	36 000 m ³ /d	21 600 m ³ /d
Kalk	2,5 tonn/d	fjernes

Bedriften har sanitærutslipp fra 140 ansatte.

Det avløpsvann (0,25 m³/s) som vil gå ut fra bedriften etter at de reduserende tiltak er satt i verk, får da følgende konsentrasjoner av de viktigste forurensninger:

Tabell 2. Avløpsvannets konsentrasjon av forurensninger.

Fiber	46 mg/l
BOF ₇	230 mg/l = 160 ml/l
Natriumsalter som Na	0,3 g/l

2.2 Bamble Cellulosefabrikks andel av den totale forurensningsbelastning til Frierfjorden

I NIVAs rapport om Frierfjorden, 0-111/70, se referanse (4), er belastningstall oppgitt som antall personekvivalenter for organisk stoff, nitrogen og fosfor. Det er benyttet følgende personekvivalenter:

1 p.e. BOF₇ = 75 g O/døgn

1 p.e. tot.N = 12 g N/døgn

1 p.e. tot.P = 3 g P/døgn

Omregnet til tonn/døgn blir forurensningstilførslene til Frierfjorden før Brevik ifølge rapporten:

Tabell 3. Tilførsler til Frierfjorden ifølge rapport O-111/70

	Totalt (tonn/døgn)	Fra Bamble Cellulose (tonn/døgn)	Andel fra Bamble Cellulose %
BOF ₇	25	3,6	15
N	23	0,036	0,15
P	6,4	0,02	0,3

Det utslippstall som er gitt for BOF₇ i avsnitt 2.1, og som bygger på nyere opplysninger, tyder på at Bamble Cellulose bidrar med 30% av belastningen av organisk stoff. En må imidlertid ta i betraktning at hele BOF₇-belastningen vesentlig skyldes treforedlingsindustri, og at totaltallet derfor også kan være beheftet med feil.

En ser at utslippet fra Bamble Cellulose utgjør en liten andel av tilførselen av næringssalter, men gir et vesentlig bidrag til tilførslene av organisk stoff.

Bamble Cellulose bidrar altså i dag med mellom 15 og 30% av de totale tilførsler av BOF₇, dette vil reduseres med 1/3 etter rensing. Eventuell rensing på andre bedrifter er ikke vurdert i denne sammenheng.

Fiberutslippet fra Bamble Cellulose utgjør ifølge O-111/70 ca. 10% av totalutslippet fra treforedlingsindustri i området. Den samme usikkerhet som for BOF₇ gjør seg gjeldende her.

3. AVLØPSVANNETS MILJØEFFEKTER

Av de komponenter i avløpsvannet som medfører størst belastning på miljøet, er de lett nedbrytbare organiske stoffene og trefibrene de viktigste i dette tilfelle.

De organiske stoffene forbruker oksygen når de nedbrytes, og gir grunnlag for heterotrof vekst (sopp, bakterier, protozoer og flagellater). Misfarging av vannet og dårlig siktedyp er typiske virkninger for over-

flatevannet av et utslipp av denne typen. Hvis det organiske stoffet brytes ned i dyplagene, hvor tilgangen på oksygen er begrenset, vil en kunne få H_2S -holdige (råtne) vannmasser, der alt høyere liv vil forsvinne.

Fibre i større mengder kan hope seg opp på bunnen, og ved gassutvikling kunne bli ført opp i overflaten som slamkaker. Dette er spesielt av betydning ved fiberavsetning i grunne områder. På dype bunnområder kan nedbrytning av fiber ha betydning for oksygenforholdene oppover i vannmassene hvis vannutskiftningen er dårlig.

4. FORHOLDENE I FRIERFJORDEN I DAG

Se referanse (4) for en mer detaljert beskrivelse.

4.1 Topografi og strømforhold

Frierfjorden har et areal på ca. 18 km^2 og et volum på ca. $770 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, største dyp er 90-100 meter. Fjorden står i kontakt med de ytre fjordområdene gjennom Breviksundet, som er ca. 250m bredt på det smaleste, og har et terskeldyp på ca. 20 m. Ca. 60% av vannvolumet ligger under terskeldypet.

Hydrografien domineres av den store ferskvannstilførselen fra Skiens-elva, varierende fra 200 til $800 \text{ m}^3/\text{s}$, i middel $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette ferskvannet strømmer ut gjennom fjorden som et nokså tetthetshomogent sjikt fra overflaten og ned til 3-7 meters dyp. Under dette dyp ligger sprangsjiktet, en nokså skarp overgang til de saltere og tyngre vannmassene lenger ned. Ferskvannet blander seg underveis med saltvann som trekkes opp fra mellomdypet, og vi får en brakkvannsstrøm, med økende saltholdighet og vannmengde utover fra elvemunningen (estuarinsirkulasjon). Den hovedsakelige innblandingen (50-100% av ferskvannsmengdene) skjer omkring Breviksterskelen. Inne i selve Frierfjorden blandes bare ca. $30-40 \text{ m}^3/\text{s}$ saltvann inn i brakkvannsstrømmen, saltholdigheten varierer mellom 0 og 8 ‰ i det øverste laget. Den teoretiske gjennomsnittlige oppholdstiden for vannet i dette sjiktet er 3 dager.

Under sprangsjiktet, fra 5 ned til 25-30 meters dyp fins et mellomlag, med saltholdighet varierende fra 20 ‰ til 33 ‰. Dette laget har kontakt med de ytre fjordområder over Brevik-terskelen, slik

at hyppige horisontale vannutskiftninger kan forekomme, og det går en kompensasjonsstrøm inn i fjorden (30-40 m³/s) for å erstatte det vann som trekkes opp i overflatelaget. Bare kompensasjonsstrømmen vil fornye dette laget i løpet av ca. 100 dager. Det vil dessuten være en viss blanding mellom overflate og mellomlag gjennom sprangsjiktet.

Dypere ned ligger et mer stagnerende bunnvann, med saltholdighet mellom 33 og 34 ‰. Dette vannet blir med visse mellomrom fornyet utenfra ved dypvannutskiftninger, når de hydrografiske forholdene ligger til rette for det, hvor ofte kan ikke sies sikkert ut fra de data som fins i dag. Utenom dypvannutskiftningene skjer en viss vertikal blanding mellom de to dypere lagene.

4.2 Forurensningssituasjonen

Fjorden har i dag store tilførsler av lett nedbrytbart oksygenforbrukende organisk stoff i oppløst form, og av vanskelig nedbrytbar trefiber. Det meste kommer med elvene, ca. 85-70% med Skienselva, og ca. 15-30% fra Bamble Cellulose med Herreelva. Noe av det organiske stoffet vil nedbrytes i elvene, men en vesentlig del vil nå fjorden, og innvirke på oksygenforholdene der. Selvrensingen vil være mindre effektiv i Herreelva enn i Skienselva på grunn av kortere elvestrekning. Fiber-materialet kan sedimentere midlertidig i elvene, men vil skylles ut i fjorden med flom, og for en stor del sedimentere på bunnen i Frierfjorden.

Fjorden har også store tilførsler av næringssalter; som gir opphav til dannelse av organisk stoff ved algevekst i overflaten.

Hvor stor del av det tilførte og produserte organiske stoff som i dag akkumuleres i dyplagene og bruker oksygenet der, og hvor stor del som nedbrytes i overflaten eller transporteres ut til områder utenfor med overflatestrømmen, er vanskelig å si. Oksygenforbruket i dypere lag er imidlertid stort nok til å gi oksygenfritt dypvann i store deler av Frierfjorden, råttent p.g.a. utvikling av hydrogensulfid (H₂S).

Undersøkelser av bunnsedimentene tyder på at dette delvis skyldes naturgitte forhold, men forurensningspåvirkninger har innvirket på mengden av råtne vannmasser.

Ifølge de observasjoner som er gjort hittil er det vanligvis råttent vann i Frierfjorden nedenfor 50-70 meters dyp. Over dette dypet fins oksygen i økende mengder mot overflaten, og fra 25-30 meters dyp og opp er oksygenforholdene relativt gode (5-8 ml O₂/l vann). Dette kan ha sammenheng med den relativt store kompensasjonsstrømmen av friskt vann inn i fjorden under sprangsjiktet, og med at den raske overflatetransporten fører en stor del av forurensningene ut av fjorden, mens resten i hovedsak sedimenterer og belaster de dypeste områdene.

Råtten bunn er registrert opp til ca. 20-30 meter.

Under og like etter dypvannsutskiftninger vil en kunne finne oksygenmangel bare i mellomnivået, fordi gammelt bunnvann er løftet opp og erstattet av tyngre, oksygenrikt vann utenfra (NIVA, unpubl. data fra 1974 og Danielsen og Føyn 1973).

4.3 Forholdene i Herrebukta

Herreelva, hvor Bamble Cellulose i dag slipper ut sitt avløp, renner ut i et basseng i den nordvestre del av Frierfjorden. Det avgrenses av grunner på 10-20 m dyp langs linjen Flesketangen-Flesketangbåen-Lundsodden. (Se figur 2). Mellom grunnene står det i kontakt med hovedbassenget ved en høyderygg på 40-50 meter. Bassenget har et volum på ca. $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ under 20 meter, og et areal på ca. 1 km^2 . Største dyp er ca. 60 meter. For dyp mindre enn 20 meter er det ingen topografiske faktorer som begrenser vannutvekslingen med resten av fjorden.

Den gjennomsnittlige teoretiske oppholdstiden for overflatelaget i Herrebukta p.g.a. ferskvannstilstrømmingen, er ca. 30 dager. I virkeligheten er den nok noe mindre p.g.a. horisontale blandprosesser med utløpet fra Skienselva, men fordi Herrebukta antakelig er en bakevje for strømmen fra Skienselva, vil den sannsynligvis være vesentlig høyere enn i hovedbassenget. Tetthetssjiktning og oksygenfordeling synes å være omtrent som i hovedbassenget. Råtten bunn finnes opp til 20 meter.

5. DRØFTING AV UTSLIPPSALTERNATIVER

Ifølge utslippstillatelsen fra SFT skal utslippet fra Bamble Cellulose renses med 33% for BOF_7 og 55% for fiber, og føres i lukket ledning til utslipp i Frierfjorden. Det en oppnår ved dette er først og fremst å forbedre forholdene i Herreelva, som i dag vesentlig er forurenset av utslippet fra fabrikken.

Med den angitte rensing vil også tilførslene til fjorden bli redusert. For BOF_7 blir denne reduksjonen noe mindre enn den oppgitte rensegrad, fordi en ikke lenger har selvrensing i elva. For fiber vil selvrensingen i elva være ubetydelig, og en kan anta at fibertilførslene til fjorden fra Herreelva vil reduseres med 55%.

Ved utslipp i fjorden har en valget mellom to hovedalternativer.

1. Utslipp over sprangsjiktet, med innblanding i overflatelaget.

En får da utnyttet overflatetransporten av forurensningene ut av fjorden, og nedbrytning av oppløst organisk stoff i overflaten skjer under god oksygentilgang.

Fibermaterialet vil derimot i stor utstrekning sedimentere på bunnen rundt utslippsstedet.

Dette alternativet vil gi den minste belastningen på oksygeninnholdet i vannmassene under sprangsjiktet. En vil imidlertid få gjennomslag til overflaten med 10-20 gangers fortykning selv med et utslipp på ca. 5 meters dyp. Ved dagens utslipp i elva er for-tyningen ca. 10. Siden konsentrasjonene i avløpsvannet blir omtrent som nå (både utslippsmengde og vannmengde senkes) vil en få markerte lokale effekter ved utslippet, med misfarging og partikkelinnhold i vannet. Dette må anses som så uønsket at en slik løsning bør unngås hvis mulig.

Med et overflateutslipp vil en dessuten fortsette den transport av forurensninger til overflatevannet i de ytre fjordområder som en har i dag.

2. Utslipp på dypt vann gjennom en diffusor med innlagring under sprangsjiktet.

Ved utslipp i saltvann er som regel avløpsvannet lettere enn de omgivende vannmasser. Avløpsvannet vil da på grunn av oppdrift bli ført mot overflaten. Vannet blir presset ut av hullene i diffusoren med høy hastighet, og på grunn av turbulens vil vann fra resipienten rives med og blandes inn i avløpsvannet. En får derfor vannstråler av økende tetthet oppover mot overflaten. Samtidig avtar tettheten i de omgivende vannmassene opp mot overflaten. På et gitt dyp vil derfor det for-
tynnede avløpsvannet bli tyngre enn de omgivende vannmasser, det vil bremses ned, og legge seg inn i et sjikt på det dyp hvor det hører hjemme ifølge sin endelige tetthet. Innlagringen vil i praksis bare kunne skje i mellomlaget, hvor en har en viss tetthetsgradient, og ikke i de tetthetshomogene vannmassene lenger ned, uansett hvor dypt utslippet legges.

Etter innlagringen vil avløpsvannet i første omgang spres horisontalt i et tynt lag. Ved vertikale blandingsprosesser vil det etter hvert spre seg i hele vannmassen under sprangsjiktet, iallfall i hele mellomlaget. Transporten ut av fjorden vil skje ved innblanding av vann fra mellomlaget i overflatevannet, og ved vannutskiftninger i de dypere lag over terskelen.

I Frierfjorden kan man som nevnt regne med at ca. $30-40 \text{ m}^3/\text{s}$ trekkes opp i ferskvannsstrømmen fra mellomlaget. Hvis alt innlagret avløpsvann ($0,25 \text{ m}^3/\text{s}$) effektivt føres opp i overflaten med denne transporten, vil det være fortynnet ca. 150 ganger når det kommer opp i sprangsjiktet. De $30-40 \text{ m}^3/\text{s}$ vil igjen fortynnes ca. 10 ganger p.g.a. ferskvannstilstrømmingen, den samlede fortynning av avløpsvann i overflaten blir ca. 1500. Innholdet av forurensninger vil altså ikke lenger bli merkbart i overflaten, og en vil ikke få noen lokale effekter, slik som med et overflateutslipp.

I virkeligheten vil bare en del av det innlagrede avløpsvannet bli ført til overflaten, mens en del vil akkumuleres i dyplagene, for å bli ført ut ved vannutskiftninger. Den absolute tilførsel av avløpsvann til overflaten vil derfor bli mindre enn ved overflatutslipp. Siden oppholdstiden for mellomlaget er ca. 100 dager, må en regne med nokså høy oppholdstid også for avløpsvannet, og det organiske

stoff vil derfor stort sett være nedbrutt før avløpsvannet når overflaten.

Dette alternativet vil medføre en belastning på oksygenforholdene i mellomlaget ut over det en har i dag. Oksygen-tilgangen i mellomsjiktet skulle imidlertid være god. En har i dag et oksygeninnhold på 5-8 ml O₂/l både i det innstrømmende kompensasjonsvann og i det vann som trekkes opp i overflaten. Ved innblanding av 0,25 m³/s av vann med en BOF₇-verdi på 160 ml/l i dette mellomlaget, vil oksygeninnholdet der kunne reduseres med maksimalt ca. 1,5 ml/l, eller 20-30% av det nåværende nivå. Dette er en stor reduksjon, men det betyr ikke noen katastrofal forverring av forholdene.

En kan imidlertid få en radikal forverring av oksygenforholdene hvis utslippet legges så dypt at store mengder oksygenfattig eller råttent vann bringes opp i mellomsjiktet. En nærmere vurdering av dette er gjort under pkt 6.

Fibersedimentering vil være et problem uansett hvor utslippet legges, selv om fiberavsetningene i fjorden vil bli mindre etter rensing. Et dyputslipp vil føre til sedimentering på dypere bunnområder enn med et overflateutslipp, muligens også spredt over et større område, og derfor kunne gi mindre ulemper. Fiberavsetningen i fjorden vil neppe kunne bli større enn den er i dag.

Totalt synes det som et dyputslipp er det beste, hvis det kan anlegges slik at mellomlaget ikke får en sterkt forverret oksygensituasjon.

6. DYPUTSLIPP - BEREGNING AV ALTERNATIVER

6.1 Dimensjonering av utslippsanordning

For å unngå tilstopping i en diffusor, bør hulldiameter være iallfall 0,3 m. Hastigheten i ledningen bør være ca. 1 m/s for å sikre utspyling av fiber. Hastigheten ut av hullene må være noe høyere for å hindre inn-trengning av vann fra resipienten, ca. 2-4 m/s er vanlig. Endehullet i diffusoren har vanligvis noe høyere hastigheter enn hullene lenger inn. Se (1), kap. 13.

Med en vannmengde på $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ må ledningen ha en diameter på omkring 0,5 m, og en 1 km lang ledning langs elva vil trenge en energihøyde på omkring 2-5 meter, avhengig av rørfriksjon, utslippsdyp og utslippsdimensjonering. Eksempler på dimensjonering av diffusoren er gitt i tabellen nedenfor:

Tabell 4. Dimensjonering av diffusor med vannføring $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$.

Utgangshastighet m/s	Gjennomsnittlig effektiv hulldiameter (meter)			
2	0,4	0,28	0,23	0,20
3	0,33	0,23	0,19	
4	0,28	0,20		
	1	2	3	4
	Antall hull			

Den reelle diameteren må være noe større p.g.a. kontraksjon i strålen ved utløpet. Kontraksjonskoeffisienten for areal varierer fra 0,5 til 0,9, avhengig av om en har skarp-kantet eller avrundet hull.

En ser altså at det klarer seg med en meget enkel diffusor, med bare noen få hull.

6.2 Fortynnings- og innlagringsberegninger

Fortynnings- og innlagringsdyp er beregnet på datamaskin for de diffusordimensjoneringene som er angitt i tabell 4. For beskrivelse av dataprogrammet, se (3).

Det er antatt horisontalt rettet avløpsstråle.

Tettheten i avløpsvannet er satt til 1.000 kg/l , innholdet av forurenninger gir et uvesentlig avvik fra dette. Beregningene er foretatt for tre observerte tetthetsprofiler fra Stasjon BB-1 i Herrebukta, 12/3, 24/4 og 21/5 1974. (Se figur 3). Tettheten er gitt ved σ_t , som er definert som $\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$, hvor $\rho =$ tettheten i kg/l .

Den første profilen er tatt like før en dypvannsutskiftning, mens de andre er tatt under en slik utskiftning. Den første profilen er derfor mest representativ for de gjennomsnittlige forhold i fjorden over tid. Den vesentligste forskjellen mellom profilene er at mellomlaget, med salinitet 20-30 ‰, helt eller delvis er borte under utskiftningen.

Beregninger er utført for horisontalt rettet avløpsstråle, med utslippsdyp 10, 20, 30, 40 og 50 meter. Innlagringsdyp og fortykning som funksjon av utslippsdyp er gitt nedenfor, i tabell 5 og 6, som gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger. Innlagringsdyp er stort sett uavhengig av diffusorutformingen, mens fortykningen vil være større jo høyere hastighet og mindre hull en har i diffusoren, og vil variere med ca. ± 30% omkring gjennomsnittet. Gjennomsnittlig fortykning over stråletverrsnittet er oppgitt som 1,75 x senterfortyningen, ut fra teorien bak beregningene.

Tabell 5. Teoretisk beregnet innlagringsdyp for dyputslipp i Herrebukta. Gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger.

Utslippsdyp (m)	Dato		
	12/3-74	24/4-74	21/5-74
10	6 m	6 m	7 m
20	15 "	8 "	14 "
30	23 "	8 "	15 "
40	26 "	9 "	16 "
50	28 "	10 "	17 "

Tabell 6. Teoretisk beregnet gjennomsnittlig fortykning ved innlagring for dyputslipp i Herrebukta. Gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger.

Utslippsdyp (m)	Dato		
	12/3-74	24/4-74	21/5-74
10	15	15	15
20	20	50	25
30	25	80	50
40	50	130	90
50	75	175	140

6.3 Oksygenforholdene

Med et dyputslipp i Herrebukta vil det mellom utslippsdyp og innlagringsdyp strømme inn vann fra resten av Frierfjorden for å erstatte det vann som trekkes inn i avløpsstrålen. En beregning viser at vannmassene mellom utslippsdyp og innlagringsdyp vil fornyes fullstendig på denne måten i løpet av 8-10 dager. Det innlagrede avløpsvann vil sannsynligvis minst like raskt transporteres ut av Herrebukta, til hovedbassenget i Frierfjorden. Avløpet vil derfor påvirke hele fjorden og ikke gi særlige lokale effekter i Herrebukta m.h.t. oksygen.

Siden avløpet fra Bamble bare utgjør en mindre del av tilførselene til Frierfjorden totalt, kan vi i første omgang anta at oksygenforholdene blir omtrent som i dag. Ut fra fortynningsberegningene kan vi derfor bruke observerte oksygenprofiler til å beregne hvilket oksygeninnhold det fortynnede avløpsvann vil ha ved innlagring.

Antar vi at mellomlaget vil være en blandvannmasse av kompensasjonsstrøm og fortynnet avløpsvann, kan vi også anslå det resulterende oksygeninnholdet i det totale fornyingsvannet til mellomlaget.

Observerte oksygenprofiler for Herrebukta er gitt sammen med de tre tetthetsprofilene i figur 3. Oksygeninnhold i innlagret vann, og i fornyingsvannet totalt er beregnet for en kompensasjonsstrøm på $35 \text{ m}^3/\text{s}$ med et antatt oksygennivå på 6 ml/l, resultatene er vist i tabell 7 nedenfor. Negativt oksygeninnhold uttrykker et oksygenbehov, dvs. hvor mye oksygen som må tilføres før vannet kan få positivt oksygeninnhold, hvis alt organisk materiale skal være nedbrutt.

Tabell 7. Teoretisk beregnet gjennomsnittlig oksygeninnhold i innlagret vann, og i fornyingsvann til mellomlaget totalt, ved en kompensasjonsstrøm $Q_1 = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ med O_2 -innhold $c_1 = 6 \text{ ml/l}$. Gjennomsnitt for ulike diffusorutforminger.

Dato	Utslippsdyp	Innlagret vannmengde	O_2 -innhold i innlagret vann	O_2 -innhold i fornyingsvann til mellomlaget	Reduksjon av O_2 -innhold i fornyingsvann til mellomlaget i forhold til nå
				$\frac{Q_1 c_1 + Q_0 \cdot c_0}{Q_1 + Q_0}$	
	(m)	m^3/s	ml/l	ml/l	%
12.3.	10	4	- 1,6	5,2	13
	20	5	- 1,3	5,1	15
	30	7	- 2,1	4,7	21
	40	13	- 1,3	4,0	33
	50	19	- 1,6	3,3	45
24.4.	10	4	- 9,6	4,4	27
	20	13	- 3,8	3,3	45
	30	20	- 3,1	2,7	55
	40	32	- 2,5	1,9	68
	50	44	- 1,7	1,7	78
21.5.	10	4	- 4,2	5,0	17
	20	6	- 6,8	4,1	32
	30	13	- 2,0	3,8	37
	40	23	- 0,2	3,5	42
	50	36	0,9	3,4	57

6.4 Drøfting av beregningene

Beregningene er utført på et dårlig statistisk materiale, som bare omfatter en situasjon (12/3-74) som kan regnes som representativ for lengre perioder. De tidligere undersøkelser (3) tyder på at Frierfjorden har en svært stabil hydrografisk situasjon, med omtrent den samme tetthetsfordelingen hele året (se figur 4). Det kan derfor antas

at de beregnede innlagringsdyp og fortynningsverdier for profilen 12/3-74 gir en god pekepinn om hva en kan vente under vanlige forhold. De andre profilene viser hva som vil skje under dypvannsutskiftningene.

For et utslipp på 10 meter vil vi få innlagring på 6-7 meter for alle profilene. Fortynningen er relativt lav, ca. 15, og det vil være en viss sjanse for gjennombrudd til overflaten i perioder hvor sprangsjiktet ligger dypt (8 m).

For større utslippsdyp vil innlagringsdypet bli større. For den antatt mest representative profilen 12/3 vil utslipp på 20 m gi innlagring på 15 m, midt i mellomlaget, mens en for utslippsdyp 30, 40 og 50 m får innlagring i nederste del av mellomlaget rundt 25 meter. For de andre to profilene blir innlagringsdypene mindre, men holder seg i nederste del av mellomlaget i profilen 21/5 (ca. 15 m).

Det er ingen fare for gjennombrudd ved utslippsdyp på 20 meter eller mer.

Primær-fortynningen øker med økende dyp, men er bare stor for utslipp på 40 og 50 meter i den representative situasjonen 12/3.

Ser vi på de beregnede oksygenverdier i tabell 7, viser det seg imidlertid at dette ikke er noen fordel.

Jo større utslippsdyp og jo større fortykning en har, desto større mengder oksygenfattig vann vil transporteres opp fra dyplagene til mellomlaget. Dette betyr at den resulterende blandvannmasse av kompensasjonsstrøm og innlagret vann vil få dårligere oksygenkvalitet med økende utslippsdyp. For den mest representative profilen, 12/3., vil et utslipp på 40-50 meter gi ca. 40% reduksjon av oksygeninnholdet i fornyingsvann til mellomlaget, mens et utslipp på 30 meter gir en reduksjon på ca. 20%, 20 meter bare 15%. Ved et utslipp på 20 meter berøres normalt ikke dyplaget i det hele tatt, idet selve utslippet ligger i mellomlaget.

Selv under dypvannsutskiftningen, når en har friskt vann under 30-40 meter, og råttent vann over 30 meter, gjør den samme tendensen seg gjeldende, men da blir reduksjonen større for alle utslippsdyp. Beregningsresultatene

har imidlertid ikke så stor reell betydning under dypvannsutskiftningen, idet selve utskiftningen vil overskygge kompensasjonsstrøm og dypinnlagring m.h.t. virkninger på vannmassene.

Når det gjelder beregningen av oksygeninnholdet i innlagringsvannet og i mellomlaget i Frierfjorden må en, i tillegg til den statistiske usikkerheten, også ta i betraktning en del faktorer som vil kunne endre oksygenforholdene, og som vi ikke har tatt hensyn til i beregningene.

- a) Det reduserte oksygeninnholdet i fornyingsvannet til mellomlaget vil etter hvert føre til lavere oksygeninnhold i forfynningsvannet mellom innlagringsdyp og utslippsdyp. Dette gjelder særlig hvis det går lang tid mellom vannutskiftningen i mellom- og dyplag. Kvaliteten på fornyingsvannet vil i slike perioder kunne bli en del dårligere enn antatt ved beregningene. Dessuten er forfynningsvann fra mellomlaget regnet som fornyingsvann i de to siste kolonner i tabell 7. Dette er selvfølgelig ikke riktig, og det er derfor i virkeligheten dårligere kvalitet (og mindre mengder) fornyingsvann enn det vi har beregnet, iallfall i den representative profilen 12/3. Disse feilene gjør seg gjeldende for alle utslippsdyp, og vil bidra til å gi høyere prosentvise reduksjoner enn vi har beregnet for profilen 12/3. For utslipp på 20-30 meters dyp kan reduksjonen maksimalt bli 30%.
- b) Reduksjonen av oksygeninnholdet i mellomlaget vil delvis kunne oppveies av at oksygentransporten ned gjennom sprangsjiktet ved vertikal blanding av vannmasser vil øke når oksygengradienten øker, men effekten vil trolig bli liten, og vil prinsipielt ikke kunne oppveie reduksjonen fullstendig.
- c) Vi har antatt at all BOF_7 fra Bamble Cellulose vil komme i tillegg til den nåværende belastning på dypere lag. Dette er gjort fordi det stort sett dreier seg om oppløst organisk materiale, som derfor ikke vil sedimentere til dyplagene under dagens forhold. Det er imidlertid mulig at en i dag har sedimentering i fjorden av organismer p.g.a. heterotrof vekst, som vil belaste dyplaget. I så måte er de beregnede reduksjoner av oksygeninnholdet maksimalverdier.

- d) Det er antatt at kompensasjonsstrøm og innlagret vann vil blandes effektivt for alle innlagringsdyp. Sannsynligvis blir denne blandingen mindre effektiv jo lenger ned i mellomlaget avløpsvannet innlagres. For de største innlagringsdypene vil en derfor få mest ujevne forhold, med dårligere forhold enn beregnet i nedre del av mellomlaget, og noe bedre i øvre del.

Hvordan disse effektene totalt vil slå ut er umulig å si uten et mer detaljert kjennskap til de prosesser som foregår i fjorden. Stort sett skulle de beregnede verdier være et brukbart anslag for hva en kan vente. De kvalitative konklusjoner av beregningene kan neppe rokkes.

Ved utslipp opp mot 10 meter kan en risikere gjennombrudd til overflaten i perioder, og utslipp på større dyp enn 30 meter vil forverre oksygenforholdene i mellomdypene radikalt, ved å transportere oksygenfattig vann opp fra dyplagene. Et dyputslipp på 40-50 meter vil også øke sirkulasjonen av næringssalter som er akkumulert i dyplaget, og derved kunne bidra noe til å forverre forholdene i overflaten. Et utslipp omkring 30 meter har de samme effektene som for 40-50 meter, men relativt mye svakere.

Alt i alt synes et utslippsdyp omkring 20 meter å være å foretrekke. En vil da få innlagring omkring midten av mellomlaget (vanligvis på ca. 15 meter), og dette sikrer en mer effektiv utnyttelse av oksygenet i kompensasjonsstrømmen enn med et utslipp ned mot 30 meter. En unngår også helt å trekke dårlig vann fra dyplaget opp i mellomlaget, idet utslippet normalt vil ligge i selve mellomlaget.

Utvekslingen av vann mellom Herrebukta og resten av Frierfjorden ser ut til å være god i dag, og vil bli bedre ved et dyputslipp i Herrebukta.

Ved innlagringsdyp over 20 meter er det ingen vesentlige topografiske faktorer som hindrer vannutvekslingen mellom Herrebukta og resten av Frierfjorden. Det skulle derfor ikke være noen grunn til å gå lenger ut i fjorden med utslippet, idet oppholdstiden i Herrebukta sannsynligvis vil være så kort at det organiske stoffet i avløpsvannet ikke vil rekke å nedbrytes fullstendig før dette vannet blandes med kompensasjonsstrømmen.

7. PLASSERING AV UTLØPSLEDNING OG UTSLIPP

7.1 Befaring i Herrebukta

De ordinære tokt under den pågående resipientundersøkelse i Frierfjorden (0-111/70) omfatter en stasjon i Herrebukta. Med tanke på valg av tracé for en avløpsledning fra Bamble Cellulose til et dyputslipp i Herrebukta, ble undersøkelsen i Herrebukta under toktet den 19/6. utvidet til å omfatte bunnundersøkelse fra St. BB-1 inn mot elvemunning. En hadde også planlagt opplodding av tre bunnprofiler. På grunn av eksisterende tømmerlense på hver side av elvemunningen var det ikke mulig å foreta bunnprofilering annet sted enn rett ut fra elvemunning. Det ble i denne tracé ikke funnet terskelformasjoner. Bunnen skrånet imidlertid ikke jevnt, men besto av hylleformasjoner. Bunnstrukturen, jfr. tabell 8, synes såvidt uegnet for forankring av dypledning at det ikke ble foretatt ytterligere opplodding i denne tracé.

Bunnforholdene ble undersøkt ved hjelp av "Ekmangrabb". Stasjonsvalg fremgår av figur 2, og resultatene er gjengitt i tabell 8.

Ved befaringen var siktedypet under 1,5 m. Vannet var sterkt grumset og hadde brun farge.

7.2 Valg av ledningstracé

Forekomst av råttent H_2S -holdig bunn gir endret struktur, idet sedimentet får karakter av vannholdig slam. På stasjonene BB-1, A, B, C, D og H var bunnen såvidt lite strukturert at det var vansker med å få grabben utløst. På stasjonene BB-1 og A gikk grabben langt ned i bunnen. På stasjon E, F og G var bunnen for fast til at grabben kunne trenge ned under bunnoverflaten.

Grabbprøvene ga ikke spor av marin leire på noen stasjoner, og en kan derfor ikke uten tilleggsundersøkelser avgjøre hvor dypt under den nåværende råtne bunn en må gå for å finne tilstrekkelig fasthet til at forankringsanordningen hindres fra videre synking. Forekomst av hydrogensulfidholdig slam vil som regel medføre korrosjon på metall. Ut fra

disse kriterier er stasjonene A, B, C, D, H og BB-1 betraktet som uegnet bunn. Hvorvidt bunnforholdene dypere ned (enn det grabben når) kan være egnet, er altså ikke vurdert.

Ut fra de foretatte undersøkelser synes det ut fra bunnforholdene å være minst risikabelt å legge ledningstraceen på østsiden av elveoset mot stasjonene G og H. På den annen side vil en slik utlegging stå i konflikt med den eksisterende tømmerlense i området. Forekomst av synketømmer vil utgjøre en potensiell fare for ledningsbrekkasje. Stort barkavskrap kan hurtig bygge opp bunnen rundt og muligens over utløpsledningen, slik at inspeksjon og utbedringsarbeider vanskeliggjøres.

I forbindelse med detaljprosjektering av utløpsledning og utslippsanordning bør grundigere undersøkelser gjøres.

7.3 Avstand fra bunn til utslippet

For å unngå å trekke opp til mellomlaget hydrogensulfidholdig avløpsvann, som i seg selv har en oksynggjeld, bør utløpet ikke skje til vannmasser som er anoksiske. Dersom utløpsledningen skulle legges i tracé fra stasjon F til A, synes det vanskelig å unngå vann som er anoksiske eller influeres av anoksiske forhold på dyp under 10-15 meter, uten oppbygging av ledningen iallfall 1,5-2 meter over bunnen, muligens mer. Oppgrunningen av hydrogensulfidholdig bunn i og utenfor elvemunningen skyldes i første rekke estuarintransporten. Ved valg av ledningstracé fra stasjon F til G, vil en trolig kunne gå ned på minst 30 meter uten fare for innblanding i hydrogensulfidpåvirket vann.

8. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Frierfjorden mottar i dag store mengder fiber og organisk stoff, vesentlig fra elvene. Bamble Cellulose bidrar med 10-20% av disse tilførslene.

Det tilførte organiske stoff, og det som produseres ved algevekst p.g.a. tilførte næringssalter, blir i dag for en stor del nedbrutt i overflaten eller ført ut av fjorden p.g.a. den store gjennomrenningen av ferskvann, resten sedimenterer til dypere lag, og belaster oksygenforholdene der. Fiber vil avsettes midlertidig i elvene, men blir skylt ut med flom, og vil stort sett sedimentere i fjorden.

Ved en overføring til fjorden av utslippet fra Bamble Cellulose vil Herreelva, som i dag er sterkt preget av forurensning, få betydelig bedre forhold.

Samtidig vil en på grunn av rensingen også senke tilførslene til fjorden, for organisk materiale med noe under 1/3, for fiber med 55%. Den gjenværende belastning er imidlertid stor nok til at en uansett utslippsmåte vil få negative effekter.

Et utslipp til overflatevannet i fjorden vil gi sterke lokale forurensningsvirkninger omkring utslippsstedet, med misfarget og partikkelholdig vann, og avsetning av fiber rundt utslippsstedet, og vil ikke bidra til å bedre kvaliteten av overflatevannet i Herrebukta og resten av Frierfjorden eller senke påvirkningen på de ytre fjordområder. En slik løsning bør derfor unngås.

Et dyputslipp av avløpsvann, med innlagring under overflatelaget, vil ikke gi lokale forurensningsvirkninger i overflaten.

Det oppløste organiske stoffet vil akkumuleres i dyplagene og nedbrytes der. Det som når overflatelaget vil være minst 1500 ganger fortynnet, og mesteparten av det organiske stoffet vil være nedbrutt. Dette vil imidlertid tære på oksygenbeholdningen i dyplagene.

Vannet under brakkvannslaget i overflaten består grovt sett av to lag. Et mellomlag av ferskvannsblandet saltvann fra 5 ned til 25-30 meter har god utskiftning og bra oksygenforhold. Vann herfra trekkes opp og blandes inn i ferskvannsstrømmen, og erstattes av en kompensasjonsstrøm over Breviksterskelen. Under mellomlaget ligger et tetthetshomogent dyplag med dårligere utskiftning, preget av oksygenmangel, delvis med råttent vann.

Fortynnet avløpsvann fra et dyputslipp vil p.g.a. tetthetsforholdene lagres inn i mellomlaget for alle utslippsdyp større enn 10 meter. Et utslipp i dyplaget vil trekke fortynningsvann med lite oksygen og mye næringssalter opp i mellomlaget. Det vil altså forsterke virkningen av utslippet på oksygenforholdene i mellomlaget, og bidra noe til å øke sirkuleringen av næringssalter til overflaten fra dyplaget.

Utslippet bør derfor legges i selve mellomlaget. Et utslippsdyp på ca. 20 meter synes å være det beste. Det vil gi innlagring på ca. 15 meter i vanlige hydrografiske situasjoner, og gir god sikkerhet mot gjennombrudd til overflaten, samtidig som det gir minst oksygenreduksjon i mellomlaget, og antakelig mest effektiv innblanding i kompensasjonsstrømmen.

Det må imidlertid tilføyes at selv denne løsningen har en betydelig virkning på mellomlaget, selv om det ikke er noen katastrofal endring. Den teoretisk beregnede oksygenreduksjon er ca. 15-30% for hele mellomlaget, med full innblanding av avløpsvannet i kompensasjonsstrømmen.

Det innlagrede avløpsvann vil ha oksyngjeld, og en kan derfor få store lokale effekter i innlagringsdypet, dersom det organiske stoff brytes ned raskere enn avløpsvannet blandes inn i kompensasjonsstrømmen. Selv med et utslipp i Herrebukta vil denne innblandingen kunne skje på noen få dager, og de lokale effektene behøver derfor ikke bli særlig markerte. Hvor store de blir, avhenger av strømmønstre som ennå ikke er kartlagt. Foreløpig anbefales et utslipp direkte til Herrebukta.

Fiberavsetningene i fjorden vil bli minst like store ved et dyputslipp som ved et overflateutslipp. De vil imidlertid ligge dypere, og kanskje bli spredt over et større område, begge deler vil kunne gjøre dem mindre merkbare.

Andre komponenter i avløpsvannet vil ikke ha noen vesentlig betydning for forurensningssituasjonen.

Hvor stor bedring en kan få i overflaten i Herrebukta, avhenger av hvor stor del av forurensningene som i dag skyldes tilførsler fra Skienselva (bakevjeeffekter). En vet i dag lite om dette.

Med hensyn til den praktiske plassering og utforming av utslipp, er det ved befaring i Herrebukta bare funnet egnet bunn på østsiden av Herreelvas munning, hvor driftsproblemer kan oppstå p.g.a. synketømmer og barkavskrap. Dette vil muligens gjøre det nødvendig å føre ledningen ut mot Frierfjordens hovedbasseng av tekniske årsaker. Utformingen av diffusoren kan gjøres meget enkel med de vannmengder det er snakk om, en kan klare seg med et enkelt rør uten sidehull, men med mindre tverrsnitt enn selve ledningen.

Utslippshastigheten bør være så høy som mulig, for å gi best mulig fortykning. Hvis utslippet legges på anoksisk bunn, må det bygges opp iallfall 1,5-2 meter over bunnen, for å unngå medrivning av råttent bunnvann og løst

slam. Disse spørsmål forutsettes nærmere undersøkt i forbindelse med den konstruksjonstekniske utformingen av utslippet.

Den vurdering som er gjort, bygger i det vesentlig bare på data fra Herrebukta for 1974, og en vet ikke sikkert hvor typiske forholdene da har vært.

Det understrekes at den anbefalte løsningen er basert på en isolert vurdering av utslippet fra Bamble Cellulose, med uendrede utslippsforhold til fjorden ellers. Man må derfor ikke se bort fra at det kan bli behov for en revurdering i lys av de resultater den igangværende resipientundersøkelse vil gi om fjordens tilstand. Disse undersøkelser vil også gi grunnlag for å vurdere avlastningstiltak for fjorden totalt.

BBJ/LJA

15/7 1974

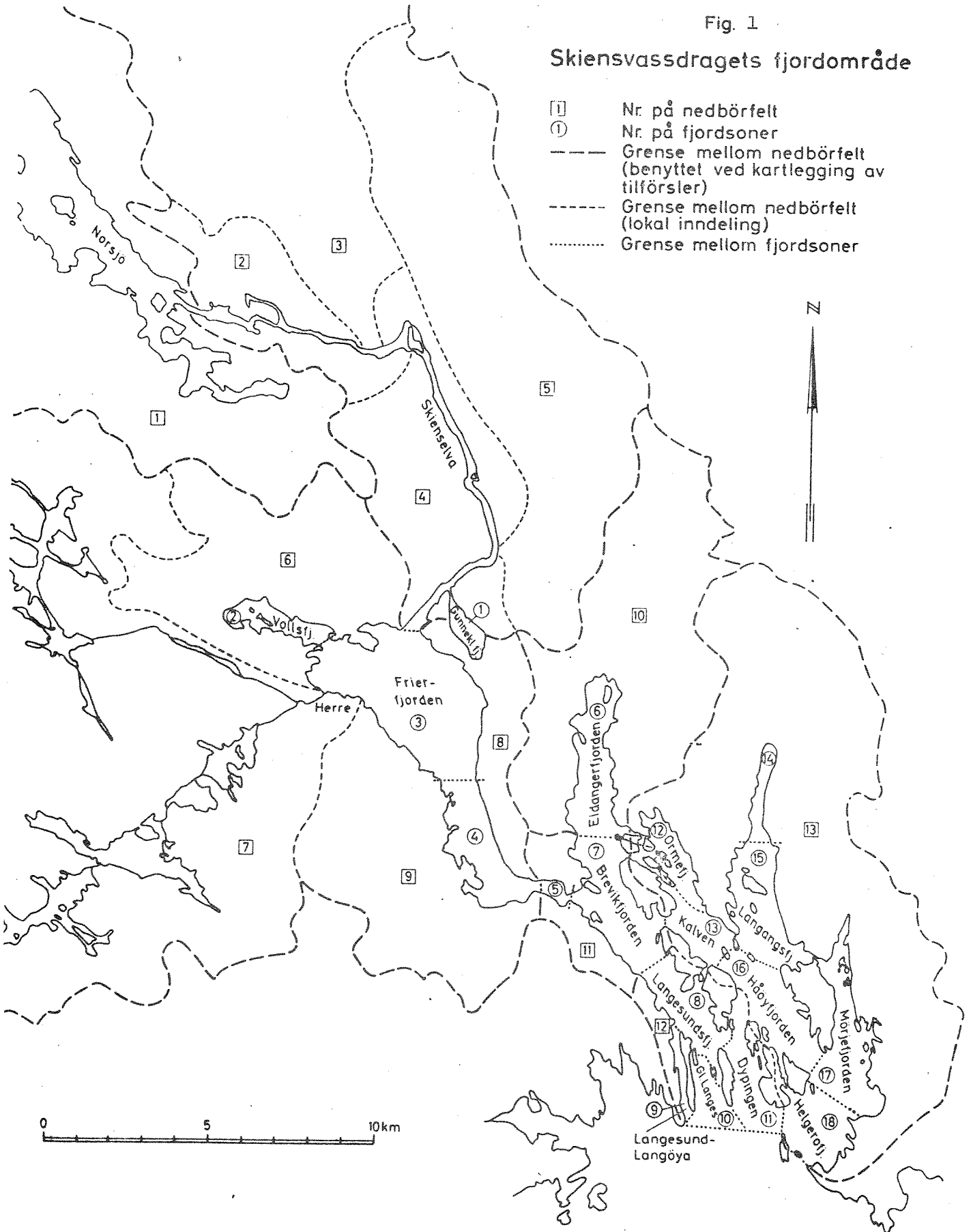
LITTERATURLISTE

- (1) Avløpsteknikk, kurskompendium utgitt av Den norske ing.forening, Norsk inst. for vannforskning og Inst. for vassbygging ved NTH, 1973.
- (2) Danielsen, D.S. & Føyn, L., 1973
Frierfjorden - en vurdering av fjordsystemets vannutskiftning.
Fisken og Havet. Serie B (1973) 6:1-19.
- (3) NIVA-rapport O-126/72. Mixing of a jet into a stratified environment.
NIVA/COMPUTAS juni 1973.
- (4) NIVA-rapport O-111/70. Resipientvurderinger av nedre Skienselva,
Frierfjorden og tilliggende fjordområder.
Tidligere undersøkelser - generelle forhold - forurensningstilførsler,
Rapport nr. 1, juli 1973.
- (5) Statens vann- og avløpskontor.
Tillatelse til utslipp av avløpsvann fra Bamble Cellulosefabrikk,
Bamble kommune, Telemark. Brev av 1. mars 1974 til A/S Follum
Fabrikker, ref. 6029/71-SVA-AVB/EP.

Fig. 1

SkienSVassdragets fjordområde

- 1 Nr. på nedbørfelt
- 1 Nr. på fjordsoner
- — — — — Grense mellom nedbørfelt (benyttet ved kartlegging av tilførsler)
- - - - - Grense mellom nedbørfelt (lokal inndeling)
- ⋯⋯⋯ Grense mellom fjordsoner



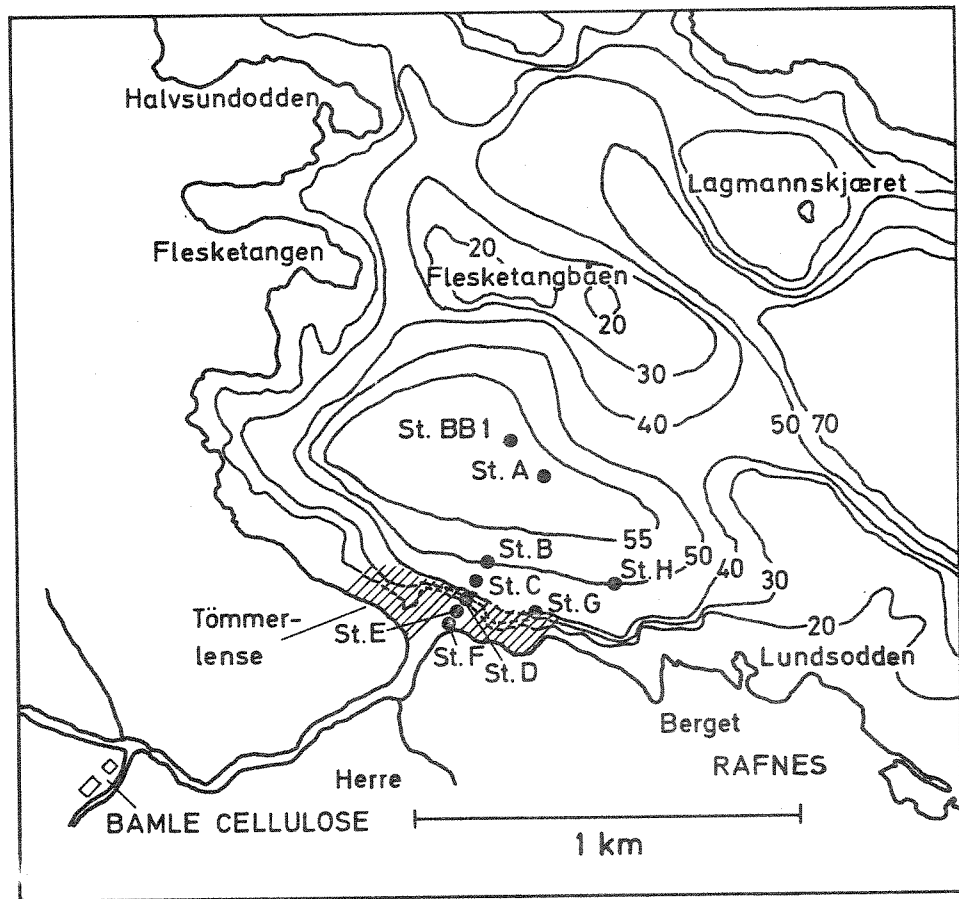


Fig. 2 Herrebukta

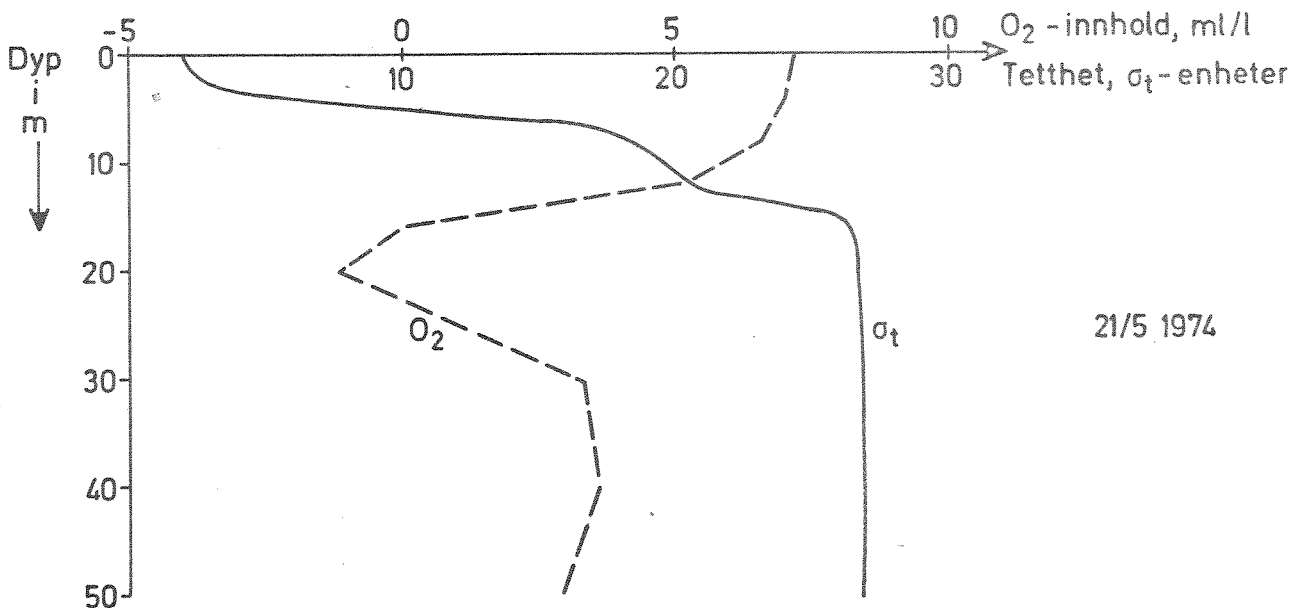
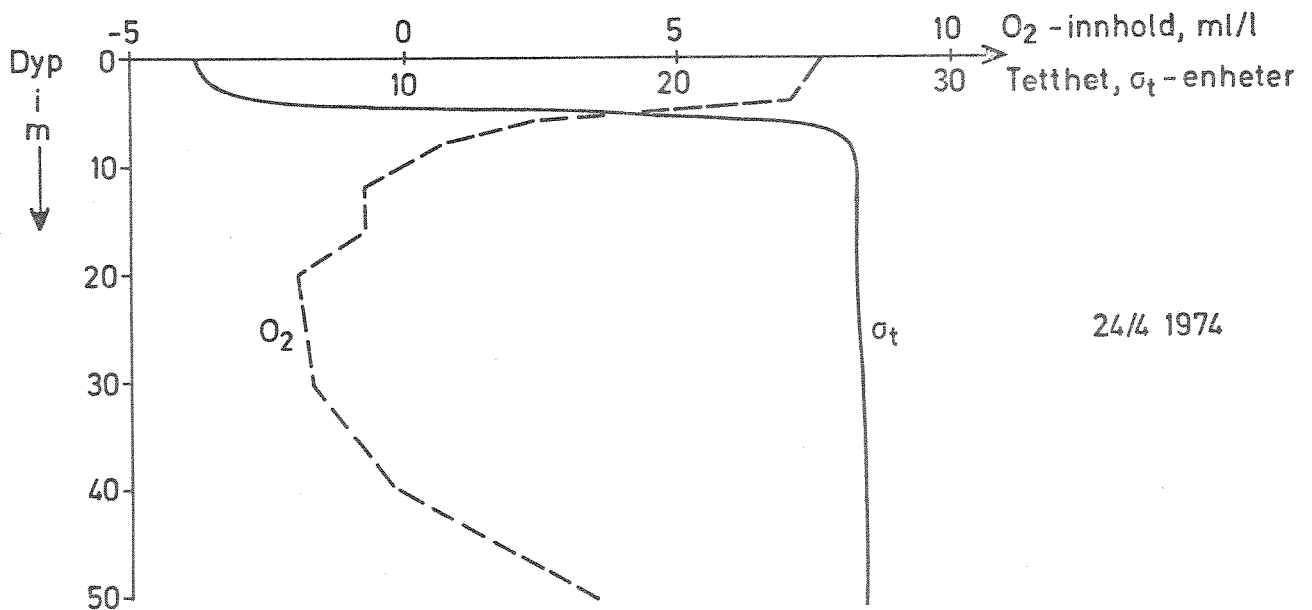
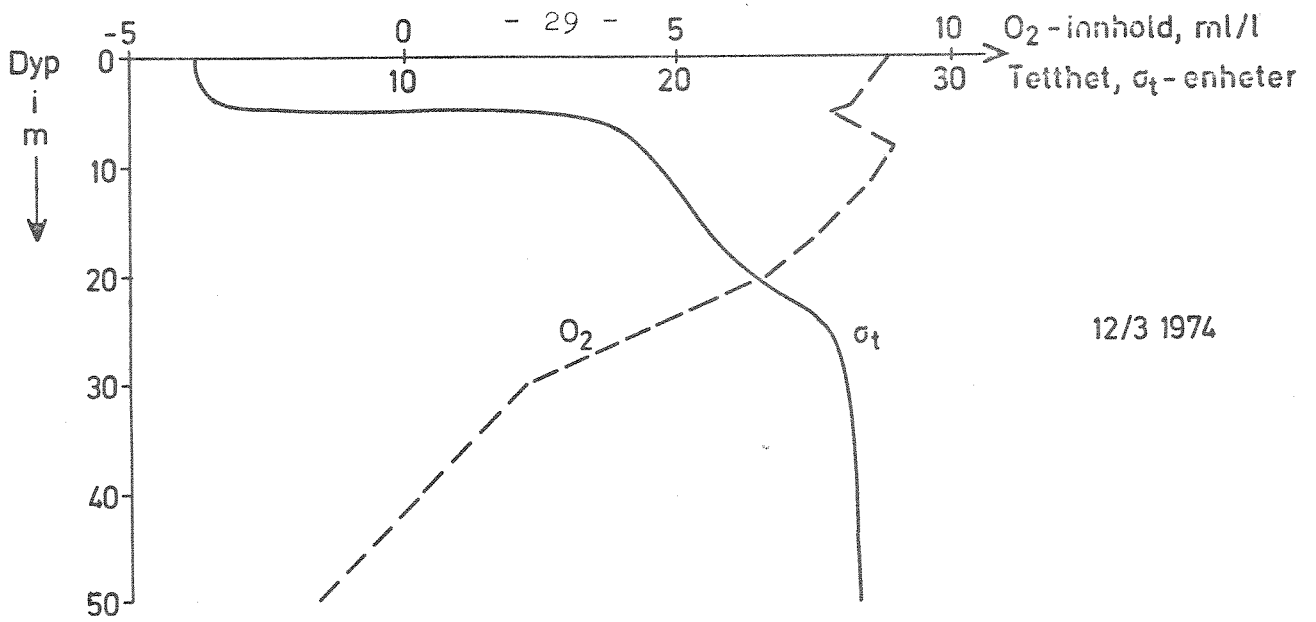


Fig. 3 Tetthets- og oksygenprofiler for stasjon EB-1, 1974
Tetthetsprofiler er basert på vannhenter og salinoterm, og glattet skjønnsmessig

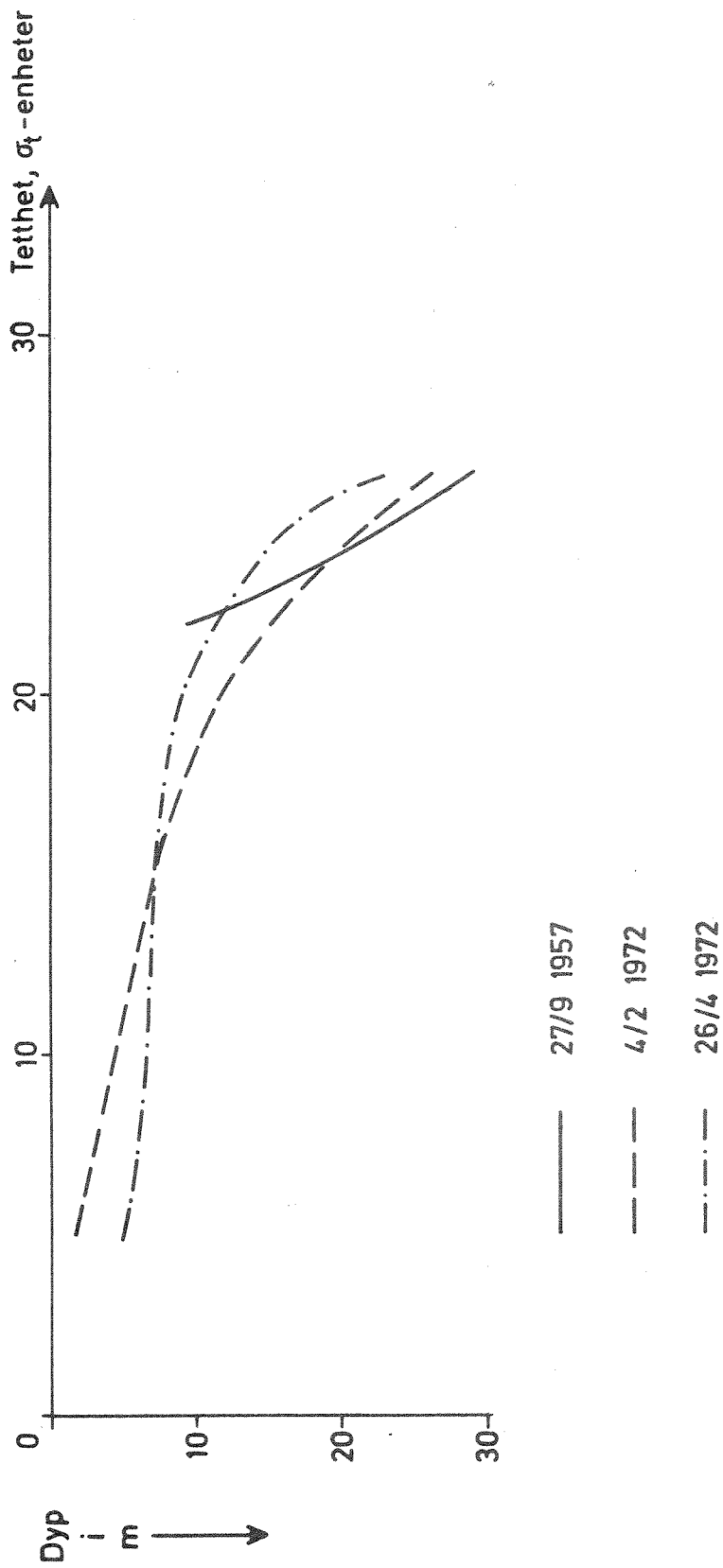


Fig. 4 Tetthetsprofiler fra tidligere undersøkelser, tatt i Frierfjorden ved Heröya