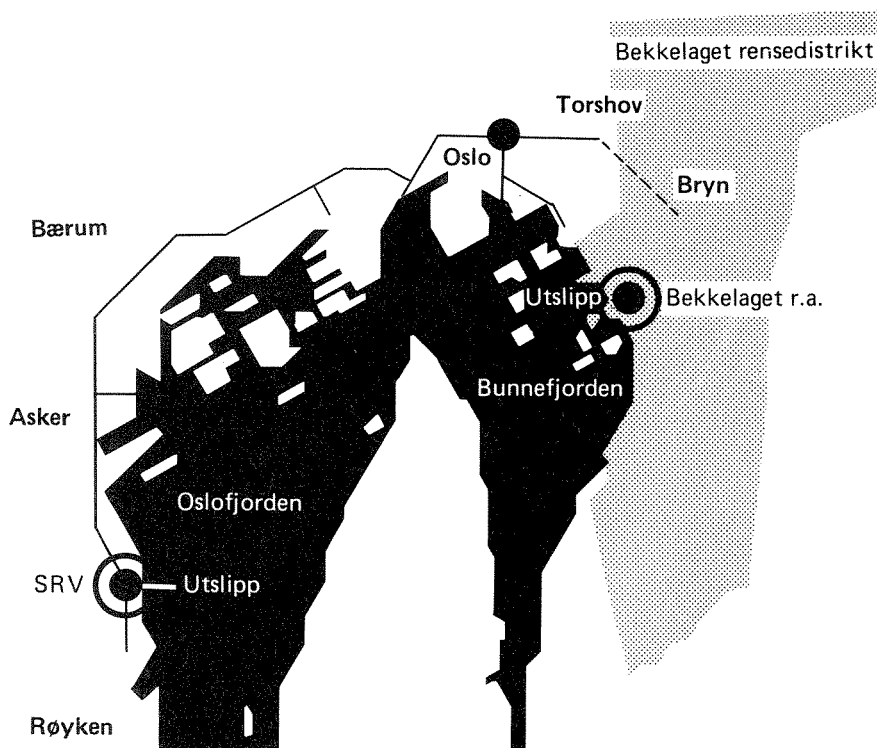


0-
85147

O-85147

Overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt til Sentralrenseanlegg Vest, SRV

En vurdering av konsekvensene
for forholdene i indre Oslofjord



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor Postboks 333 0314 Oslo 3 Telefon (02)23 52 80
Sørlandsavdelingen Grooseveien 36 4890 Grimstad Telefon (041)43 033
Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065)76 752
Vestlandsavdelingen Breiviken 2 5035 Bergen - Sandviken Telefon (05)25 53 20

Prosjektnr.:	0-85147
Undernummer:	
Løpenummer:	1798
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:	Dato:
OVERFØRING AV AVLØPSVANN FRA BEKKELAGETS RENSEDISTRIKT TIL SENTRALRENSEANLEGG VEST, SRV. En vurdering av konsekvensene for forholdene i indre Oslofjord.	19. desember 1985
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Jan Magnusson Birger Bjerkeng	0-85147
	Faggruppe:
	Hydroøkologisk
	Geografisk område:
	Indre Oslofjord
	Antall sider (inkl. bilag):
	61

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
Oslo Kommune, Teknisk rådmann.	

Ekstrakt:
Vurderingen legger særlig vekt på oksygenforholdene i Vestfjorden under sprangsjiktet. Det sikreste tiltaket ser ut til å være en ombygging av Bekkelaget R.A. til kjemisk rensing. Overføring til SRV vil gi økt direkte utslipp av oksygenforbrukende stoff til Vestfjorden. For overføring av 1/3 av avløpsvannmengden er det mulig at dette oppveies av minsket belastning fra organisk produksjon i overflaten. Overføringer på 2/3 og 3/3 ser ut til å gi uakseptable konsekvenser for oksygenforholdene i Vestfjorden.

4 emneord, norske:
1. Forurensningstilførsler
2. Dyputslipp
3. Oksygenforhold
4. Oslofjorden

4 emneord, engelske:
1. Load of pollution
2. Depth discharge
3. Oxygen conditions
4. Oslofjord

Prosjektleder:

Jan Magnusson
Prosjektleder

For administrasjonen:

Tor Bokn
Avd. leder

ISBN 82-577-0994-8

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

0-85147

OVERFØRING AV AVLØPSVANN FRA BEKKELAGETS RENSEDISTRIKT
TIL SENTRALRENSANLEGG VEST, SRV

En vurdering av konsekvensene for forholdene i indre Oslofjord

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
Forord	
1 INNLEDNING	1
2 TILFØRSLER FRA SRV OG BEKKELAGET RA. I ULIKE ALTERNATIVE SITUASJONER	2
2.1 Oversikt over alternative situasjoner	2
2.2 Tilførsler av fosfor, nitrogen og organisk stoff ved ulike alternativer	2
2.3 Endringer i tilførsel i forhold til dagens situasjon . . .	5
2.3.1 Delkonklusjon ut fra utslippstall for renseanlegg . . .	7
3 SAMLEDE FOSFORTILFØRSLER TIL FJORDEN	8
4 EFFEKT PÅ FJORDEN VED FJERNING AV FOSFOR	11
4.1 Delkonklusjon ut fra fosfortilførsler til fjorden	15
5 EFFEKT PÅ OKSYGENFORHOLDENE I VESTFJORDENS DYPVANN VED DE ULIKE AKTUELLE RENSETILTAK	17
5.1 Effekt på oksygenforholdene i innlagringsdyp til avløpsvannet fra SRV i Vestfjorden i 1984-85- en analyse av observasjoner fra 1973-1985	17
5.1.1 Datamaterialet	18
5.1.2 Virkninger av utslippet til SRV på Vestfjordens oksygenforhold.	18
5.1.3 Beregning av oksygenforbruk og transport under sprangsjiktet i Vestfjorden før og etter etableringen av SRV.	23
5.1.4 Beregning av oksygentransport - beskrivelse av modellen.	24

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>	
5.1.5	Resultater av beregninger av oksygenforbruk i 30 meters dyp før og etter etableringen av utslippet til SRV	27
5.1.6	Resultater av beregninger av oksygenforbruk under 25 meters dyp og mellom 25 og 55 meters dyp før og etter etableringen av utslippet til SRV	29
5.1.7	Oksygenforbruk i Vestfjorden - en statistisk analyse av forholdene før og etter etableringen av SRV	30
5.1.8	Oksygenforholdene i Vestfjorden før og etter etableringen av SRV - ytterligere utvalg fra observasjonsmaterialet .	36
5.1.9	Oksygenforholdene i vestfjorden før og etter etableringen av SRV - statistisk analyse av redusert datamateriale. .	37
5.1.10	Fysiske effekter på Vestfjorden fra utslippet til SRV. .	43
5.1.11	Delkonklusjon ut fra analyse av hydrografiske data	45
5.2	Beregning av oksygenforholdene i Vestfjorden ved overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt	46
5.2.1	Beregnet oksygen-behov i avløpsvann før og etter fortynning	46
5.2.2	Reduksjon av oksygen-konsentrasjoner i Vestfjorden pga. overføringer	47
5.2.3	Beregning av oksygen-underskudd ved enkel diffusjonsmodell	48
5.2.4	Sammenfatning	52
6	MULIGE BIOLOGISKE KONSEKVENSER	54
7	SAMLET KONKLUSJON	56
8	ANBEFALINGER	59
Litteratur		60

Forord

Denne rapport er utarbeidet på oppdrag av Teknisk Rådmann i Oslo, etter avtale inngått på møte den 19.8.85 og bekreftet i brev av 18.9.85. Oppdraget bestod i:

1. Å beregne endringer i tilførsler og VA-tekniske konsekvenser ved ulike overføringsmengder fra Bekkelaget rensedistrikt til Sentralrenseanlegg Vest.
2. Å vurdere de ulike aktuelle tiltakenes virkning på forurensnings situasjonen i fjorden.

Den første deloppgaven er behandlet i egen rapport:

"Overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt til Sentralrenseanlegg vest SRV. Noen vurderinger av VA-tekniske konsekvenser." (Saksbehandler: L.Vråle, NIVA (1985)).

Den foreliggende rapport bygger på data fra den første rapporten og behandler konsekvensene for fjorden.

Målet med arbeidet var å undersøke hva en enkel gjennomgang av eksisterende materiale kunne gi av informasjon for å bedømme virkningen av en hel eller delvis overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt til Sentralrenseanlegg Vest. Det ble forutsatt at arbeidet skulle utføres innen en begrenset tid (midten av oktober).

Rapporten bærer preg av den raske fremdriften og av at det ikke har vært tid til en nøyere gjennomgang av datamaterialet. Det har dessuten vært en begrensning at det ikke har vært tilgang til samtlige data fra nærundersøkelsen av SRV, utført ved Universitetet i Oslo, som har hatt som spesielt mål å klarlegge virkningene av SRV-utslippet.

Rapporten kan leses i sin helhet, eller en kan nøye seg med å lese konklusjonskapitlene, dvs. kap 2.1, 4.1, 5.1.11, 5.2.4, 6, 7 og 8.

Ved NIVA har Birger Bjerkgeng og Jan Magnusson arbeidet med rapporten. Lasse Vråle og Kjell Baalsrud har bidratt med verdifulle kommentarer i løpet av arbeidet og i gjennomlesing av sluttutkast.

Oslo oktober 1985

Jan Magnusson

1 INNLEDNING

Målet med dette arbeidet har vært å bedømme effektene på Oslofjorden ved ulike overføringsmengder av avløpsvann fra Bekkelaget til Sentralrenseanlegg Vest.

Vurderingene er basert på utslippstall beregnet i en egen rapport (Vråle 1985), og på en analyse av foreliggende data om forholdene i fjorden.

2 TILFØRSLER FRA SRV OG BEKKELAGET RA. I ULIKE ALTERNATIVE SITUASJONER

2.1 Oversikt over alternative situasjoner

I korthet arbeider vi med følgende hoved-alternativer:

1984 A : Utslippsmengder fra Bekkelaget renseanlegg og SRV beregnet etter observasjoner ved de to anleggene.

1984 B : Antatt forbedret renseseffekt ved de to anleggene ved omlegning av renseprosessen på Bekkelaget (kjemisk rensing) og ved modifikasjoner i renseprosessen på SRV. Dessuten forutsettes kapasiteten ved Bekkelaget ra. utvidet slik at hele avløpsvannmengden renses.

1/3 overf.

2/3 "

3/3 " : Overføring av avløpsvann fra Bekkelagets rensedistrikt til SRV med henholdsvis 1/3, 2/3 og 3/3 av vannmengene. Her er det forutsatt at simultanfellingprosessen ved Bekkelaget beholdes og at alt overløpsvann renses.

For hvert hoved-alternativ er det for SRV brukt to alternative rensegrader: En "lav" (1), tilsvarende dagens situasjon, som i alternativ 1984 A, og en høy rensegrad (2), som i alternativ 1984 B. Det siste er den rensegrad VEAS mener å kunne oppnå (se vedlegg 6 i Vråle 1985B).

Forskjellen mellom de to alternativer beskrives av Vråle (1985).

2.2 Tilførsler av fosfor, nitrogen og organisk stoff ved ulike alternativer

Tabell 1-4 gir tilførselsmengder til Oslofjorden ved ulike rensegrader og overføringsmengder fra Bekkelaget ra. til SRV slik som skissert i forrige avsnitt. En nærmere forklaring er gitt i Vråle (1985).

Vi vil påpeke at vi i tabellene nedenfor har brukt tallene fra tilførselsrapporten direkte (Vråle, 1985B) uten å avrunde til realistisk nøyaktighet. Dette er gjort for at det skal være lettere å kjenne dem igjen.

Tabell 1. Tilførsel av fosfor (tonn P/år) fra SRV og Bekkelaget ra i 1984 (A), som i 1984 med forventet økt renseeffekt (B) (2= høy rensegrad ved SRV, 1= lav rensegrad ved SRV) og 1/3 til 3/3 overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt.

TOT-P	1984 A	1984 B	1/3 overf.	2/3 overf.	3/3 overf.
Fra SRV 1:	34	21	34	48	66
2:	34	15	22	31	40
Fra Bekkel.	44	20	20	8	0
Overløp	35	2	4	6	8
Sum (inkl. overløp) 1:	113	43	58	62	74
2:	113	37	46	45	48

Samlet utslippsmengde av fosfor fra de to anleggene vil altså maksimalt kunne bli redusert fra ca 115 til ca 40 tonn/år, dvs. en reduksjon på ca. 75 tonn/år, ved alternativ 1984 B. Hovedgevinsten skjer ved forbedret rensing ved SRV og ved overgang til kjemisk felling og eliminering av overløp ved Bekkelaget.

Overføringsalternativene vil ikke gi like gode resultater fordi det her er forutsatt å beholde simultanfellingsprosessen ved Bekkelaget. 1/3-dels til 2/3-dels overføring vil stille seg gunstigere en 3/3-dels overføring ved lav rensegrad for SRV. Ved høy rensegrad i SRV vil det ikke være noen avgjørende forskjell mellom overføringsalternativene.

Ser vi på utslippet fra SRV alene innebærer overføring av inntil 1/3 ingen forandring fra dagens situasjon ved antatt lav rensegrad ved SRV. Med høy rensegrad ved SRV kan det overføres inntil 2/3 fra Bekkelaget uten at fosfor-utslippet fra SRV øker i forhold til dagens situasjon.

Tabell 2. Tilførsel av nitrogen (tonn N/år) fra SRV og Bekkelaget r.a. i 1984 (A), som i 1984 med forventet økt renseeffekt (B), 1/3- 3/3 overføring av avløpsvann fra Bekkelaget.

TOT-N	1984 A	1984 B	1/3 overf.	2/3 overf.	3/3 overf.
Fra SRV	1171	1152	1441	1735	2033
Fra Bekkel.	842	595	588	302	0
Overløp	179	9	19	29	38
Sum (inkl. overløp)	2192	1993	2117	2074	2071

Den totale nitrogen-tilførselen blir omtrent lik for alle alternativer. Utslipet fra SRV vil øke med ca. 20% ved 1/3-dels overføring og med ca. 50 % ved 2/3-dels overføring.

Tabell 3. Tilførsel av organisk stoff (tonn C/år) fra SRV og Bekkelaget r.a. i 1984 (A), som i 1984 med forventet økt renseeffekt (B), 1/3 - 3/3 overføring av avløpsvann fra Bekkelaget.

TOC	1984 A	1984 B	1/3 overf.	2/3 overf.	3/3 overf.
Fra SRV	1866	1767	2773	3030	3338
Fra Bekkel.	1102	1240	620	258	0
Overløp	531	25	62	104	151
Sum (inkl. overløp)	3499	3032	2955	3392	3489

For organisk stoff blir total tilførsel redusert ved alternativ 1984B samt ved 1/3 og 2/3 overføring. Utslipet fra SRV vil øke med ca. 20% ved 1/3 overføring og med ca 60% ved 2/3 overføring.

Tabell 4. Utslipp av oksygenforbrukende stoff (tonn O/år) fra SRV og Bekkelaget r.a. i 1984 (A), som i 1984 med forventet økt renseseffekt (B), 1/3- 3/3 overføring av avløpsvann fra Bekkelaget.

	1984 A	1984 B	1/3 overf.	2/3 overf.	3/3 overf.
Fra SRV	7500	7279	9196	11158	13162
Fra Bekkel.	5074	5205	3593	1646	0
Overløp	1501	74	167	269	374
Sum (inkl. overløp)	14048	12558	12956	13073	13536

Samlet oksygenbehovet i avløpsvannet fra SRV og Bekkelaget vil reduseres ved alternativ 1984 B og opp til 2/3-dels overføring. Utslippet fra SRV vil øke med ca. 20% ved 1/3-dels overføring og betydelig mer ved ytterligere overføringer (50-75%).

2.3 Endringer i tilførsel i forhold til dagens situasjon

Tabell 5 viser en sammenstilling av forandringer ved de aktuelle overføringsalternativer samt alternativet med bedre rensing ved SRV og Bekkelaget. Utgangspunktet for sammenligningen er alternativ 1984 A, dvs. dagens situasjon.

Tabell 5. Prosentvis reduksjon (-) eller økning (+) av tilførsler til fjorden fra SRV og Bekkelaget (S+B) og SRV (S) for ulike overføringsgrader av avløpsvann fra Bekkelaget ra. til SRV sammenlignet med tilførsler i 1984. (1 = lav rensegrad ved SRV, 2 = høy rensegrad ved SRV)

		Alternativ 1984 B	Overføringsgrader fra Bekkelaget ra. til SRV		
			1/3	2/3	3/3
<u>TOT-P</u>	S+B	-60	-48	-45	-35
1.	S	-38	0	+41	+94
<u>TOT-P</u>	S+B	-58	-59	-60	-34
2.	S	-55	-35	-9	+18
<u>TOT-N</u>	S+B	-9	-3	-5	-5
	S	-2	+23	+48	+74
<u>TOC</u>	S+B	-13	-15	-3	0
	S	-5	+49	+62	+79
Oksygen- behov	S+B	-4	-8	-7	-3
	S	-3	+23	+48	+75

Når en ser på samlet utslipp fra SRV og Bekkelaget (S+B) viser tabellen følgende:

Fosfor-tilførsel vil minske for alle alternativer. Med høy rensegrad ved SRV vil alternativ 1984 B og 1/3 til 2/3 overføring være mest gunstig. Med lav rensegrad ved SRV fremstår alternativ 1984 B (altså med ombygging til kjemisk rensing ved Bekkelaget) som klart gunstigst, spesielt sammenlignet med alternativet hel overføring. Det er en ubetydelig forskjell mellom 1/3-dels overføring og 2/3-dels overføring.

For nitrogen er forskjellen mellom de ulike alternativene liten og trolig ikke av betydning sett i forhold til tallmaterialets nøyaktighet.

For organisk stoff vil alternativ 1984 B gi en forbedring, og det samme gjelder ved 1/3-dels overføring av avløpsvann fra Bekkelaget ra. til SRV.

Samlet utslipp av oksygen-forbrukende stoff fra de to anleggene blir litt redusert, men vil være omtrent det samme for alle alternativene.

Når en ser på utslippene fra SRV til Vestfjorden (S) blir bildet annerledes:

Fosfor-utslippet vil øke ved 2/3 overføring med lav rensegrad ved SRV og for 3/3 overføring uansett rensegrad. Alternativ 1984 B gir de gunstigste resultater.

For de øvrige utslippsparametre vil utslippet fra SRV øke for alle overføringsalternativene, unntatt ved alternativ 1984 B.

Spesielt ugunstig kan det være å få et økt utslipp av oksygen-forbrukende materiale.

2.3.1 Delkonklusjon ut fra utslippstall for renseanlegg

Ut fra en isolert vurdering av tilførselsdata og rensegrad for de to renseanleggene ser det ut til at den tryggeste løsningen som kan anbefales for Indre Oslofjord er å øke rensegraden ved omlegging fra simultanfelling til kjemisk felling ved Bekkelaget renseanlegg etter alt. 1984 B, siden dette gir reduksjon i tilførslene til både Vestfjorden og Bunnefjorden. Det er forutsatt at kapasiteten ved Bekkelaget utvides slik at alt avløpsvann renses..

En overføring av 1/3 fra Bekkelagets rensedistrikt til SRV, forutsatt høy rensegrad ved SRV, vil gi omtrent samme resultat for det samlede utslipp fra de to anleggene når simultanfelling ved Bekkelaget beholdes. Belastningen på Vestfjorden av oksygenforbrukende materiale fra SRV's dyputslipp vil øke med omtrent 20 % ved 1/3 overføring.

De øvrige alternativer vil gi et økt oksygenbehov på 50-75% i dyp-utslippet fra SRV til Vestfjorden.

3 SAMLEDE FOSFORTILFØRSLER TIL FJORDEN

Det foreligger ikke ajourførte beregninger av totaltilførslene til Indre Oslofjord. Den nyeste beregning av fosfortilførselen er fra 1983, og for nitrogen og organisk stoff må vi tilbake til 1981 (Nicholls 1982).

Tabell 6 viser fosfortilførsler beregnet av miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Oslo og Akershus. Det bør understrekes at direkte utslipp, lekkasjer og arealavrenninger er beregnet teoretisk ut fra spesifikke tall. NIVA's siste erfaringer viser at disse spesifikke tallene bør vurderes på ny (Vråle 1985).

Tall for lekkasjer, areal-avrenning og vassdrag kan være for høye, fordi ulike beregningsmåter for de forskjellige delene gjør at samme mengde kan være regnet med dobbelt. Hvis dette er uavhengig av overføringsalternativene, slik som antatt i tabellen, vil det bare få betydning for den relative størrelsen av forskjellene mellom alternativene. Det vil ikke snu konklusjonene.

For 1983 viser tabellen et utslipp på 425 tonn fosfor/år. Det tilsvarer utslippsmengden omkring år 1960. Ved alternativ 1984B og ved overføringsalternativene vil utslippene reduseres til ca. 270-300 tonn/år, og dette er nær utslippsmengden omkring år 1950 (beregnet til ca. 270 tonn/år, Bergstøl m.fl 1981). Den store forskjellen i forhold til tidligere er, foruten at avløpsvannet nå blir rensset før utslipp, at det også slippes ut på dypt vann slik at overflatelaget avlastes i større grad. Det er imidlertid fortsatt uklart hvor bra Bekkelagets utslipp fungerer i dette henseende.

I tabellen er det antatt at innlagringen fra Bekkelaget er 50% effektiv, dvs. at halvparten av utslippet blandes inn i overflate-laget. Dette er bare antatt helt grovt, og er en forenkling: Ifølge opplysninger fra VA-verket i Oslo kommune får en idag innlagring under sprangskiktet om sommeren ved hjelp av sjøvannsinnblanding. Om vinteren slippes vannet ut uten sjøvannsinnblanding, nettopp for å få det opp i overflatelaget, slik at forurensningene kan fraktes ut av fjorden. NIVA har ikke vurdert hvordan dette vil virke.

Tabell 6. Fosfortilførsler (tonn/år) til indre Oslofjord beregnet etter tall fra miljøvern avdelingen, Fylkesmannen i Oslo og Akershus.

Tall i parentes angir verdier ved "lav" rensegrad på SRV. Ifølge VEAS er det de andre tallene, ved "høy" rensegrad, som viser hva en kommer til å oppnå.

Kilder	1983	1984 A	1984 B	Overføringer fra Bekkel.		
				1/3	2/3	3/3
Renseanlegg:						
Bekkelaget	65	44	20	20	8	0
Festningen	37	0	0	0	0	0
Skarpsno	7	0	0	0	0	0
SRV	30	34	15(21)	22(34)	31(48)	40(66)
Resten	7	7	7	7	7	7
Direkte utslipp	18	18	18	18	18	18
Overløp						
Bekkelaget	55	33	0	0	0	0
Lysaker	1	2	2	4	6	8
Lekkasjer	113	113	113	113	113	113
Arealeavrenning	20	20	20	20	20	20
Vassdrag	73	73	73	73	73	73
TOTALT:	427	344	268(274)	277(289)	276(293)	279(305)
<u>Til fjordens overflatelag</u> (Antatt utslipp fra Bekkel.50% til overflatel.)	364	288	243	245	241	239
Til vannet under sprangskiktet	63	56	25(31)	32(44)	44(52)	40(66)
TOTALT:	427	344	268(274)	277(289)	285(293)	279(305)

Det er vist i tidligere NIVA-rapporter at innlagring av avløpsvann under sprangskiktet i Oslofjorden ikke er 100% effektiv, fordi diffusjonsprosesser og advektive transporter vil tilføre overflatelaget noe fosfor fra midlere dyp. Direktetilførslene fra land til fjordens overflatelag er idag (1984) nede på samme nivå som omkring år 1950 og vil avta ytterligere ved de tiltak som blir aktuelle å gjennomføre. Her vil alle aktuelle rensetiltak bety en forbedring, men det blir ingen forskjell mellom hel eller delvis overføring av avløpsvann fra Bekkelaget til SRV og alternativ 1984 B.

Fosfor-tilførsler fra dyputslipp er allerede små sammenlignet med direkte-utslipp til overflatelaget, og ytterligere reduksjon her vil ha begrenset betydning. Det er viktigere å overføre fosforutslipp fra overflaten til midlere dyp, eventuelt kombinert med rensning. En fullstendig dypinnlagring av Bekkelagets avløpsvann kan bety en del i denne sammenheng, men det må vurderes i forhold til innlagringsforholdene i dag, og de har vi ikke vurdert nærmere. Innlagringsforholdene ved Bekkelaget vil ha størst betydning ved omtrent uendrede utslippsforhold eller liten overføring til SRV.

Tabell 6 viser at fosfortilførslene til fjorden ved overføring av 1/3 til 3/3 av Bekkelagets avløpsvann til SRV blir omtrent like. Samlet vil alternativ 1984 B gi lavest utslipp, men bedømt ut fra fosfortilførsel til overflatelaget blir det ingen forskjell mellom de ulike alternativene.

Vi mangler desverre en tilsvarende oversikt for totalnitrogen og organisk stoff, og dette må være en viktig oppgave ved fremtidige beregninger av tilførsler. Tilførsel av nitrogen er trolig omtrent uendret (lav renseeffektivitet på renseanleggene) og det er i første rekke av betydning å få fordelingen på kilder klarlagt. Det samme gjelder organisk stoff.

4 EFFEKT PÅ FJORDEN VED FJERNING AV FOSFOR

Valg av rensemetode for anleggene ved indre Oslofjord har som et hovedmål å begrense tilgangen av fosfor i fjordens overflatelag. Dette oppnås ved felling av fosfor i renseanleggene og innlagring av de rensede utslippene i dypere vannmasser. Fosfor forutsettes å bestemme den pelagiske algebiomassen (planteplanktonbiomassen) i Oslofjorden.

En begrensning av et av de to viktigste næringsaltene for produksjon av plankton (fosfor og nitrogen) vil gjøre dette nærings salt til biomasseregulerende faktor. NIVAs anbefaling fra 1970 var kjemisk rensing for å fjerne fosfor, og derved gjøre fosfor i fjordens overflatelag til biomasse-regulerende faktor. Det ble også konkludert med at denne anleggstype var gunstig å bygge hvis det senere skulle bli behov for å redusere utslipp av nitrogen.

Ved fjerning av nitrogen eller fosfor vil algeveksten reduseres og derved også sekundærbelastningen av organisk stoff på fjordens dypvann. Dette bygger på undersøkelsene fra Oslofjordprosjektet 1962-65 som viste at utslippene av nærings salter førte til en produksjon av organisk stoff i fjordens overflatelag som var 5-10 ganger så stor som den organiske stoffmengde avløpsvannet direkte førte med seg i samme tidsrom (NIVA 1970). En reduksjon av den organiske belastningen på fjordens dypvann var et av de viktigste målene for en renere Oslofjord ettersom de kritiske oksygenforholdene og dannelse av hydrogenulfidholdige vannmasser truet fjordens liv.

Imidlertid er tilførsel og produksjon av organisk stoff i overflate- laget ikke nødvendigvis lik den endelige belastningen på fjordens dypvann. Sluttresultatet er avhengig av transportprosessene i fjorden og de kjemiske og biologiske prosesser i overflatelag og dypvann.

I 1970 manglet det teknikk for en totalberegning av effekter. Det ble brukt fysisk-kjemiske modeller for å beregne effekter av rensing, innlagringsdyp og geografisk plassering av utslipp. En empirisk fosformodell ble utviklet i begynnelsen av 1970-årene (0-185/71 "Enkel empirisk modell for fosforomsetninger i indre Oslofjord", 1972). Rapporten konkluderte med at "den gunstigste beliggenhet for et dypvannsutslipp synes å være Vestfjorden." Den positive effekt ble størst for Bunnefjorden og forbedringen i Vestfjorden så liten at de falt innenfor de beregningsmessige usikkerhetene. Det ble derfor tatt forbehold når det gjaldt utsikten til reell forbedring i Vestfjorden. Rapporten påpekte også behovet for å vurdere oksygenforholdene under sprangskiktet på en mer tilfredsstillende måte enn det som ble gjort i sammenheng med fosfor-modellen.

Den løsning som ble valgt (1.4.B) forutsatte kjemisk rensing og dyputslipp ved to større anlegg med omtrent like stor forurensningstilførsel og med utslipp til Bunnefjorden og Vestfjorden. Alle beregninger som la grunnlaget for disse konklusjoner baserte seg på forhold i fjorden og på land som ble studert under Oslofjordprosjektet 1962-65.

Overvåkingsprogrammet for Indre Oslofjord (start 1973) og senere tilførselsberegninger har vist at fjorden ikke var så forurenset i 1962-65 som den ble i 1973-76, fordi forurensningstilførslene økte i dette tidsrom. Forutsetningene for de modell-beregningene som før er gjort er således ikke lenger oppfylt, og derved er heller ikke nødvendigvis konklusjonene like gyldige for dagens situasjon. Dette gjelder spesielt belastningen på fjordens dypvann av organisk stoff og resulterende oksygenforhold i disse vannmasser.

Det pågår dessuten for tiden en diskusjon av om fjordens planteplanktonproduksjon i realiteten er blitt fosforbegrenset (Paasche 1983).

På tross av gjennomførte rensetiltak (Bekkelaget ra. og SRV mm.) har ikke oksygenforholdene foreløpig forbedret seg så mye at man idag trygt kan se frem mot bedre forhold uten ytterligere rensetiltak.

Andre positive effekter er konstatert, bl.a. bedre overflatevann og forhold i spesielt Bærumsbassenget og øvrige avlastede områder, men ettersom det aktuelle spørsmålet i hovedsak vil berøre oksygenforholdene i vannet under sprangskiktet vil vi se bort fra dette i denne rapport.

Spørsmålet vi må stille oss idag er således:

Tåler Vestfjordens dypvann ytterligere direktebelastning av oksygenforbrukende avløpsvann, eller har vi nådd en balanse mellom den gevinst en avlastning på fjordens overflatelag forutsettes å ha på dypvannet i Vestfjorden og den lokale effekten på oksygenforholdene en ytterligere tilførsel av avløpsvann til dypvannet får på Vestfjorden?

For å avgjøre dette spørsmål må det utvikles en bedre modell enn den tidligere fosformodellen. En ny modell bør omfatte fordeling av innlagret avløpsvann i fjorden og beskrive oksygenforandringer i flere skikt, først og fremst innlagringsdyp til avløpsvannet fra Bekkelaget ra. og SRV. Fortsatt mangler kunnskap om influensområdet til de to anleggene. Transportsystemet mellom deler av fjorden og mot ytre Oslofjord må også beskrives forenklet i en slik modell.

Foreløpig må vi holde oss til enklere overslagsberegninger for å bedømme effekten av de ulike aktuelle tiltakene. Slike overslagsberegninger er en måte å kvantifisere noe som bare kan kalles for et (kvalifisert) skjønn og det må etterprøves før endelige løsninger velges. Det er slike enkle beregninger som er utført i denne rapport.

Hvis vi forutsetter at fosfor er begrensende faktor for planktonproduksjonen i indre Oslofjord idag vil vi få en teoretisk reduksjon av organisk stoff i fjorden som vist i tabell 7.

Tabell 7. Produksjon av organisk stoff (tonn C/år) som alger beregnet på direkteutslipp av fosfor til fjordens overflatelag (tabell 6) etter Redfield- forholdet. ^fotnote= Redfield-forholdet angir mengde-forholdet mellom karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) i plankton-alger. Her er brukt C:P-forholdet, som er 106:1 på mol-basis, dvs. 41:1 på vekt-basis. For detaljer, se f.eks. (Rayton 1980)

	1983	1984 A	1984 B	Overføringer til SRV		
				1/3	2/3	3/3
Organisk stoff:	14900	11800	10000	10000	9900	9800
Endring fra 1984 A:			-1800	-1800	-1900	-2000

I tabell 8 er så oksygenbehovet til det organiske stoffet beregnet ut fra tallene i tabell 7 ved å anta at det organiske stoffet i gjennomsnitt har samme sammensetning som sukker, og at det nedbrytes fullstendig. Det kan beskrives ved reaksjons-ligningen:



Tabell 8. Sammenligning for ulike alternativer av:

- A. Oksygenbehovet (tonn O/år) for organisk stoffmengde (planktonbiomasse) i fjordens overflatelag beregnet teoretisk ut fra tabell 7 ved fullstendig nedbrytning.
- B. Tilførsler av oksygenbehovet (tonn O/år) i avløpsvann fra Bekkelaget og SRV til fjordens dypvann.

	1983	1984 A	1984 B	Overføringer til SRV			
				1/3	2/3	3/3	
A	Oksygen- behov	39800	31500	26600	26800	26300	26100
	Endring fra 1984 A:			-4900	-4700	-5200	-5400
B1	Endring i utslipp fra SRV og Bekkelaget. (av tabell 4, avrundet)			-1500	-1100	-1000	-500
A+B1	Sum endringer:			-6500	-5800	-6200	-5900
B2	Endringer i SRV's utslipp til Vestfjordens dypvann (tabell 4):			-200	+1700	+3700	+5700

Tabell 8 viser det teoretiske oksygenbehovet som følge av en fosforbegrenset planktonproduksjon i fjordens overflate lag. Det er klart at utskiftninger av overflatevann med ytre Oslofjord gir en transport ut fjorden og tilsvarende mindre belastning på dypvannet i indre fjord. Det er ikke kjent hvor stor del av planktonbiomassen som sedimenterer innenfor Drøbaksterskelen og derved belaster dypvannet. Observasjoner i Østersjøen har vist at mellom 20-40% av det organiske stoffet fra primærproduksjonen sedimenterer (Forsskåhl et. al. 1982), og det meste vi kan regne med i Oslofjorden er kanskje 50-60%.

Overvåkingsprogrammet har dessuten vist at vi i beste fall kan regne med ca. 70-80 % fosforbegrensning i produksjonssesongen. Mangel på fosforbegrensning til visse tider øker trolig belastningen på dypvannet som følge av at nitrogentilførslene ikke er forholdsvis like mye redusert.

Endelig vil den større vertikaldiffusjonen i Vestfjorden gjøre innlagringen av næringsalter mindre effektiv enn ved en innlagring i Bunnefjorden.

Disse feilkildene vil bidra til å gjøre overføring mer risikabel med hensyn til forholdene i Vestfjordens dypere vannmasser enn hva som fremgår av tabell 8.

Til gjengjeld vil utslipp i Bunnefjorden kunne gi større belastning på fjorden totalt, fordi transporten ut av fjorden må gå gjennom Vestfjorden. Dette vil trekke resultatet motsatt vei.

Dersom en tok hensyn til disse prosessene er det mulig at resultatet ville bli forandret, men å vurdere dette er et betydelig større arbeid enn det som er forutsatt for denne rapport.

Ut fra tallene i tabell 8 ser det ut til at ved hel overføring av avløpsvann fra Bekkelaget til SRV vil økningen i den lokale belastningen av oksygenforbrukende materiale på Vestfjorden bli like stor som den samlede teoretiske gevinsten for hele fjorden. Det er derfor sannsynlig at dette samlet vil få negativ innvirkning på Vestfjordens dypvann i forhold til dagens situasjon.

Når vi tar hensyn til at bare en del av organisk materiale fra algeproduksjon sedimenterer i indre Oslofjord, vil også en redusert overføring til 2/3 av Bekkelagets avløpsvann være tvilsom. Det henger sammen med at bare en del av den teoretiske gevinsten som er gitt i tabell 8 vil slå ut i redusert oksygenforbruk under sprangskiktet.

Således vil hverken 2/3 eller 3/3 overføring gi noen gevinst sammenlignet med alternativ 1984 B og 1/3 overføring, ut fra de beregningene vi har gjort her.

4.1 Delkonklusjon ut fra fosfortilførsler til fjorden

Endringer i samlet tilførsel av fosfor til hele fjorden vil være gunstige ved alternativene 1984 B og 1/3-dels overføring av avløpsvann fra Bekkelagets rensedistrikt til SRV. Ytterligere overføringer vil ikke ha noen ytterligere gunstig effekt på totaltilførselen eller totalbelastningen på fjorden.

Det bør vurderes om dypinnlagringen av avløpsvannet fra Bekkelaget renseanlegg er effektiv. Forbedringer her kan ha betydning.

Teoretisk kan en overføring av 1/3-del av avløpsvannet fra Bekkelagets renseanlegg til SRV gi positive effekter på oksygenforholdene i fjordens dypvann, basert på fosforbegrensende planteplanktonproduksjon. Ytterligere overføringer kan ikke trygt anbefales ut fra hensynet til den økte lokalbelastningen på Vestfjorden.

Forutsetningen for en overføring av 1/3-del av avløpsvannet fra Bekkelaget ra. til SRV og Vestfjorden må være at oksygenforholdene i vannet på innlagringsnivå i Vestfjorden ikke forverres betydelig i forhold til dagens situasjon.

Virkingen av å overføre avløpsvann fra Bekkelaget til SRV er her vurdert kun ut fra hensynet til oksygenforholdene i Vestfjordens vannmasser under sprangskiktet.

Vurderingen bygger på beregnede tilførselstall som er beheftet med betydelige usikkerheter, og på en grov sammenligning av virkingen av fosfor-reduksjon i overflaten og økt oksygen-behov i utslippet når det gjelder netto oksygenbelastning på dypvannet.

Vurderingen bygger på enkle overslagsberegninger, og det er flere forhold som vi ikke har kunnet beregne effekten av innenfor rammen av dette arbeidet.

Det er antagelig bare delvis fosfor-begrensning av algeveksten, og bare endel av biomassen vil sedimentere i fjorden. Dette reduserer betydningen av fosfor-fjerning fra overflaten og gjør overføring mindre gunstig. Samme vei trekker også forskjell i vertikal-diffusjon mellom Bunnefjorden og Vestfjorden.

Motsatt vei trekker det at utslipp i Bunnefjorden vil belaste fjorden sterkere på grunn av lengre oppholdstid før transport ut av indre fjord. Vi har bare sett på utslippsmengder, og ikke vurdert transporten mellom fjordbassengene og ytre fjord.

5 EFFEKT PÅ OKSYGENFORHOLDENE I VESTFJORDENS DYPVANN VED DE ULIKE AKTUELLE RENSSETILTAK

I de foregående kapitler er det konkludert med at en overgang til kjemisk felling ved Bekkelaget ra. er det rensetekniske tiltak som gir den sikreste forbedringen av forurensingssituasjonen i indre Oslofjord.

Alternativet vil være å beholde simultanfelling på Bekkelaget og overføre deler av Bekkelagets avløpsvann til SRV. Ut fra tilførselsberegninger i foregående kapitler vil da tilførsel av oksygenforbrukende stoff til Vestfjordens dypvann øke i forhold til situasjonen i 1984.

Økningen i belastningen vil ikke kompenseres av lavere fosfortilførsel til overflatelaget ved full overføring av avløpsvann og antagelig heller ikke ved 2/3 overføring. Også ved 1/3 overføring vil belastningen på Vestfjordens dypvann øke med vel 20% , men her vil fjorden totalt sett kunne gi en kompensasjon på grunn av mindre produksjon av organisk stoff i overflatelaget.

Ut fra dette vil vi heretter konsentrere oss om å vurdere effekten av 1/3-dels overføring av avløpsvann fra Bekkelaget ra. til SRV på oksygenforholdene i Vestfjorden. Fjordens kompliserte dynamikk gjør at vi ikke kan ta hensyn til de gunstige effekter på Vestfjorden av en fosforavlastning på fjordens overflatelag utover det som tidligere er beregnet i denne rapport, dvs. i tabell 8.

Vi skal altså foreta en risiko-vurdering, dvs. vi skal se på hva en kan risikere ved en overføring dersom de indirekte gunstige virkningene er små.

5.1 Effekt på oksygenforholdene i innlagingsdyp til avløpsvannet fra SRV i Vestfjorden i 1984-85- en analyse av observasjoner fra 1973-1985

I det følgende vil vi ta for oss observasjoner fra 1973-83 og sammenligne med observasjoner fra 1983-85 for å undersøke eventuelle effekter på oksygeninnholdet i Vestfjorden som følge av utslippet til SRV.

5.1.1 Datamaterialet

Vurderingene nedenfor er basert på observasjoner fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord (1973-august 1985) samt de resultater som foreløpig foreligger fra etterundersøkelsen ved SRV.

Resultater fra etterundersøkelsen er beskrevet i en foreløpig rapport til Vestfjordens avløpsselskap august 1985, avdeling for Marin Zoologi og Marin Kjemi ved Universitetet i Oslo. Fra samme sted foreligger også en Statusrapport til VEAS om prosjekt "Bunndyrsamfunn og påvirkning fra renseanlegget august 1985" ved A.M.Skullerud. Det finnes også en foreløpig rapport fra E. Aas ved Geofysisk Institutt fra "Forprosjekt for kartlegging av kloakkutslippet fra SRV i Vestfjorden" (oktober 1985).

Overvåkingsprogrammet er i de senere år blitt redusert, og det er idag bare 1 stasjon i Vestfjorden (Steilene DK 1) mot tidligere 3. Bare denne stasjonen kan derfor benyttes i våre beregninger.

5.1.2 Virkninger av utslippet til SRV på Vestfjordens oksygenforhold.

For å beregne virkningen av økt utslipp av oksygenforbrukende stoff til Vestfjorden vil det være av betydning å se hvilken virkning utslippet har hatt på Vestfjorden etterat det ble satt i full drift sommeren 1983. Det gjelder å avgjøre hvor stor eventuell nedgang i oksygenkonsentrasjon på innlagringsdyp i Vestfjorden som direkte skyldes utslippet samt hvor stor del av fjorden som er influert av utslippet.

Foreløpig foreligger noen data fra nærundersøkelsen til SRV fra 1985 som viser innlagringen av avløpsvann observert ved optiske målinger (transmisjon) og analyser av oksygen og ammonium på bl.a. innlagringsdyp (notat av E.Aas 1985). Observasjonene viser at avløpsvannet innlagres mellom 25-35 meters dyp, noe høyere over diffusorene og dypere på lengre avstand. Selve innlagringsdypet har også tidligere blitt observert med transmisjonsmålinger ved flere tilfeller av E.Ass og NIVA og det synes som om 25-35 meters dyp er normalt innlagringsdyp.

Hvor stort område som blir influert av det innlagrede avløpsvannet er derimot vanskeligere å vite ut fra foreliggende observasjoner. Aas's observasjoner viser at avløpsvannet påvirker hele området mellom utslippsted og Steilene (DK1) og at konsentrasjonen av oksygen er omtrent lik på alle stasjoner på innlagringsdyp. Derimot er det variasjoner i ammoniumkonsentrasjonen, med de høyeste konsentrasjoner

nærmest utslippet.

Ut fra ammoniumkonsentrasjonen kan vi anslå avløpsvannets fortykning til mellom 50-70 ganger, som er i underkant, men innenfor variasjonsområde for teoretisk beregnet fortykning på (60-100 ganger senterfortyning). Siden fortykningen varierer med vannføring i utslippet og skiktningsforhold i fjorden er en observasjon for lite til å beregne reell fortykning.

De hydrokjemiske undersøkelsene til Avdeling for Marin Zoologi og Marin Kjemi ved Universitetet i Oslo viser overkonsentrasjoner av ammonium på 20-30 meters dyp i hele midtre Vestfjord fra Ildjernet i nord til Langåra i sør. Den sørlige grensen er uklar ettersom det ikke er tatt observasjoner tilstrekkelig langt sør. Dessuten er observasjonene vanskelige å tolke når de er tatt på standard-dyp 20 og 30 meter uten at avløpsvannets innlagringsdyp først er undersøkt. Aas's observasjoner viser hvor viktig det er å lokalisere innlagringsnivået til avløpsvannet for å kunne tolke kjemiske observasjoner og relatere disse til spredning og influensområde.

Ut fra de foreliggende observasjoner kan vi anta at avløpsvannets influensområde strekker seg over mer enn halvparten av Vestfjorden i sommerhalvåret med varierende fordeling over tid, og at det innlagres mellom 25 og 35 meters dyp.

Figur 2 viser noen oksygenobservasjoner fra Aas (1985) den 2.9.85 samt en observasjon fra overvåkingsprogrammet den 20.8.85. Stasjonene er vist i figur 1. Observasjonene viser liten forskjell i oksygenkonsentrasjonen mellom stasjonene.

Tilsvarende data for ammonium viser derimot en klar gradient, hvor konsentrasjonen avtar med økende avstand fra utslippsområdet. Med forbehold om at dette bygger på kun en observasjon tyder dette på at Steilene (DK1) er påvirket av avløpsvannet og at observasjoner fra denne stasjon kan brukes for å vurdere eventuelle effekter av avløpsvannet fra SRV. Imidlertid er det uklart hvor representativ stasjonen er.

En effekt av avløpsvannet fra SRV på oksygenkonsentrasjonene ved DK1 bør altså kunne slå ut ved en sammenligning av oksygenforholdene før etableringen av SRV og observasjoner fra 1984 og 1985. Figur 3 viser en slik sammenligning av oksygendata hvor observasjoner fra 1984 og 1985 er sammenlignet med gjennomsnittet for 1973-82.

August måned viser at selve profilen skiller seg i 1984 og 1985 fra gjennomsnittet før etableringen av SRV. I 1984 var vannutskiftningen meget god sammenlignet med tidligere observasjoner (1973-83) og oksygenverdiene i august ligger over gjennomsnittet. I 1985 ligger de lavere enn gjennomsnittet på 30-50 meters dyp. Oktober 1984 gir samme

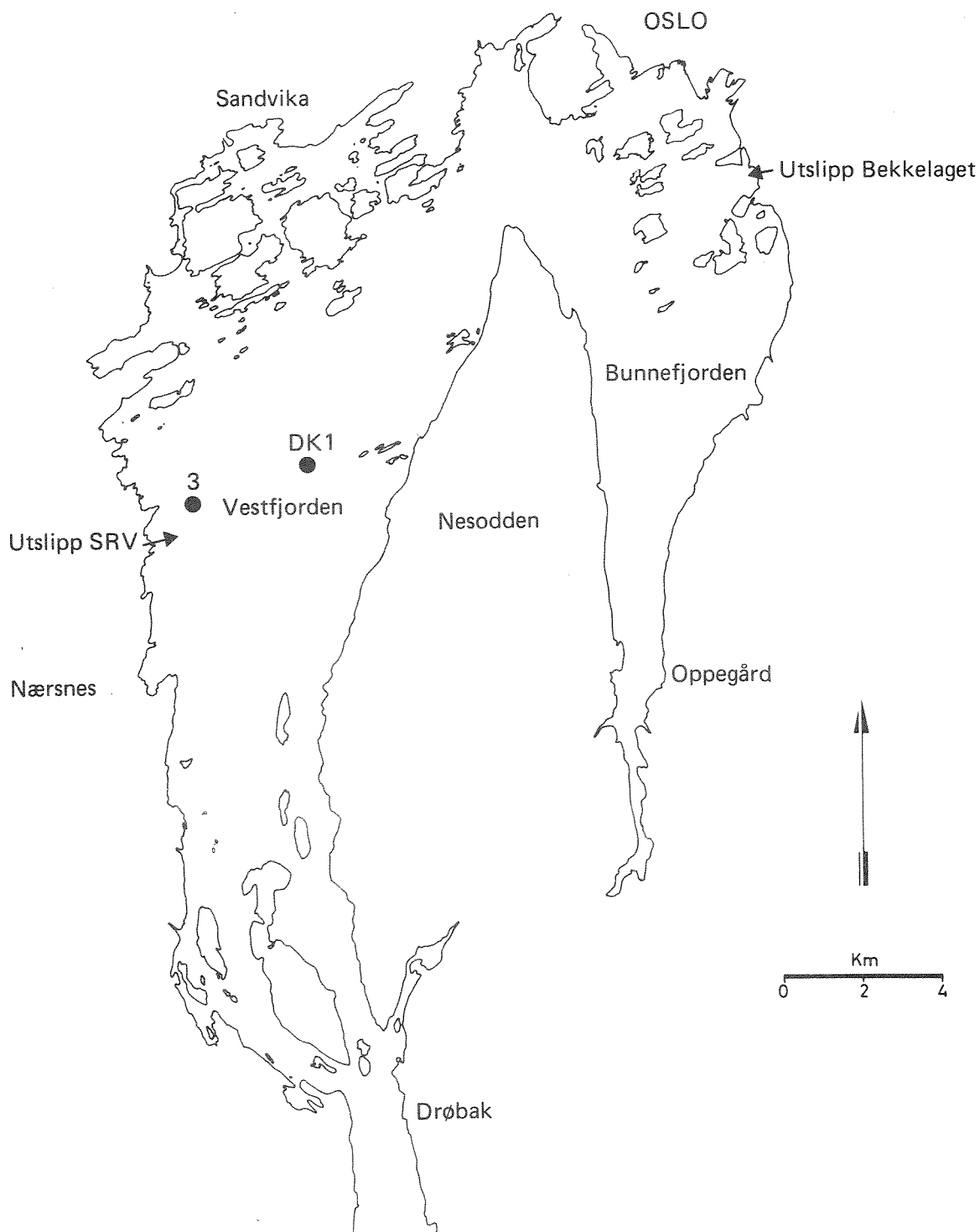


Fig. 1. Hydrografiske stasjoner i Vestfjorden og utslippssteder for avløpsvann fra Bakkelaget rensesanlegg og SRV.

bilde med lavere oksygenkonsentrasjoner enn gjennomsnittet i 30-50 meters dyp.

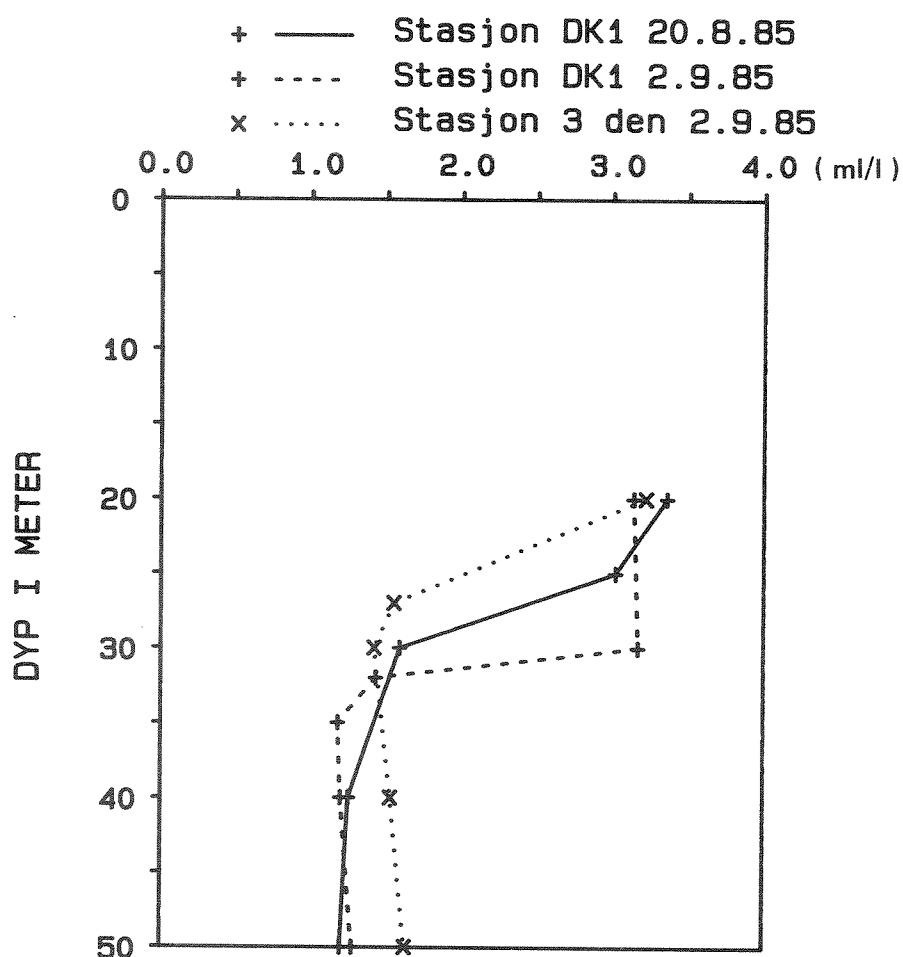


Fig. 2. Oksygenobservasjoner i Vestfjorden august (NIVA) og september (E.Aas) 1985.

Ser vi på oksygenvariasjonen på 30-50 meters dyp i hele perioden 1973-85 for august måned (figur 4) har vi også tidligere i perioden lave oksygenkonsentrasjoner, for eksempel i 1975 og 1978. Forskjellen er at i perioden 1983-1985, dvs. etter etableringen av SRV-utslippet, følger konsentrasjonene på 30-50 meters dyp hverandre bedre enn tidligere.

Dette kan tolkes som at utslippet bidrar til en homogenisering av forholdene og at konsentrasjonsprofilen viser en effekt av avløpsvannet på oksygenforholdene i Vestfjorden. Det vil trenge observasjoner fra flere tidspunkter for å se om dette er tilfeldig

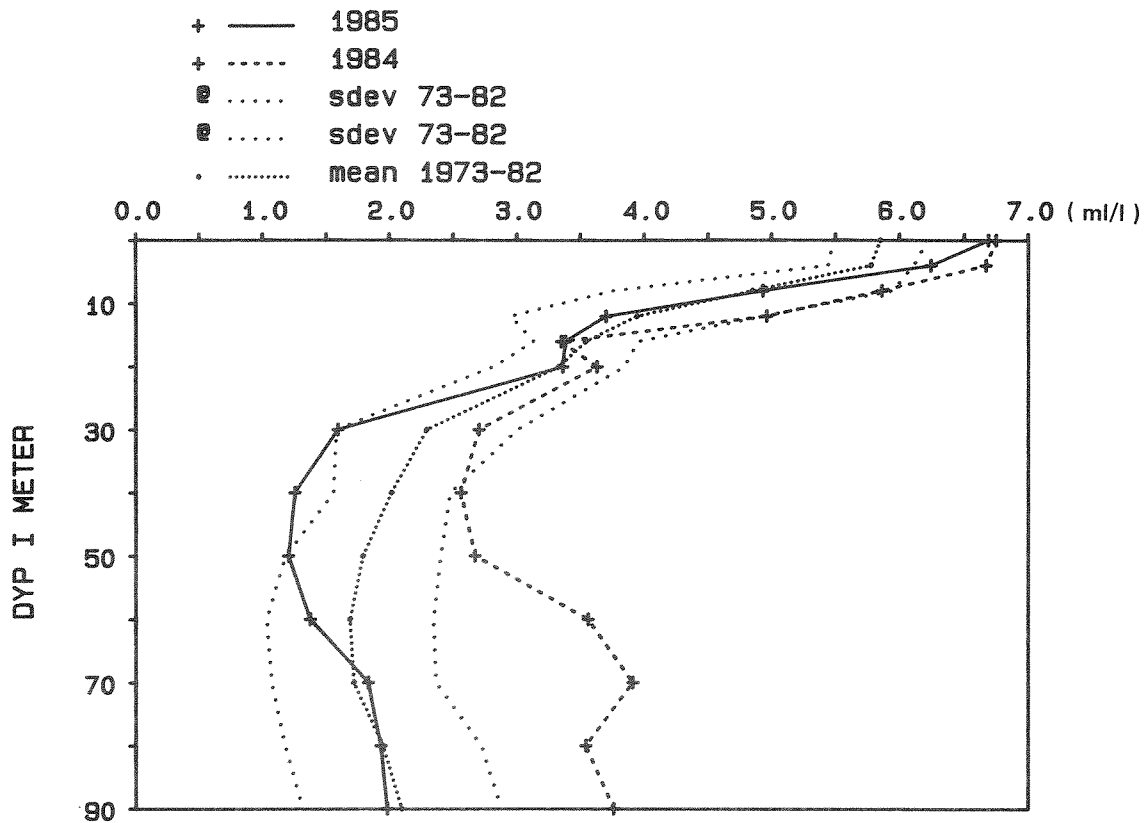


Fig. 3. Gjennomsnitt og standard-avvik for oksygenobservasjoner i Vestfjorden (Dk1) i august måned 1973-1982, sammen med oksygenprofiler for august 1984 og 1985.

eller om det er en virkning av utslippet.

Den direkte virkningen av et økt dyp-utslipp fra SRV vil avhenge både av fortynnings- og innlagringsprosessen, og av transporter og vannutskiftninger i fjordens vannmasser generelt. Det konsentrasjonsnivå vi observerer er et resultat av disse prosesser. For å beregne den reelle effekten av SRV på Vestfjorden må andre prosesser enn selve avløpsvannets innvirkning helst kunne elimineres.

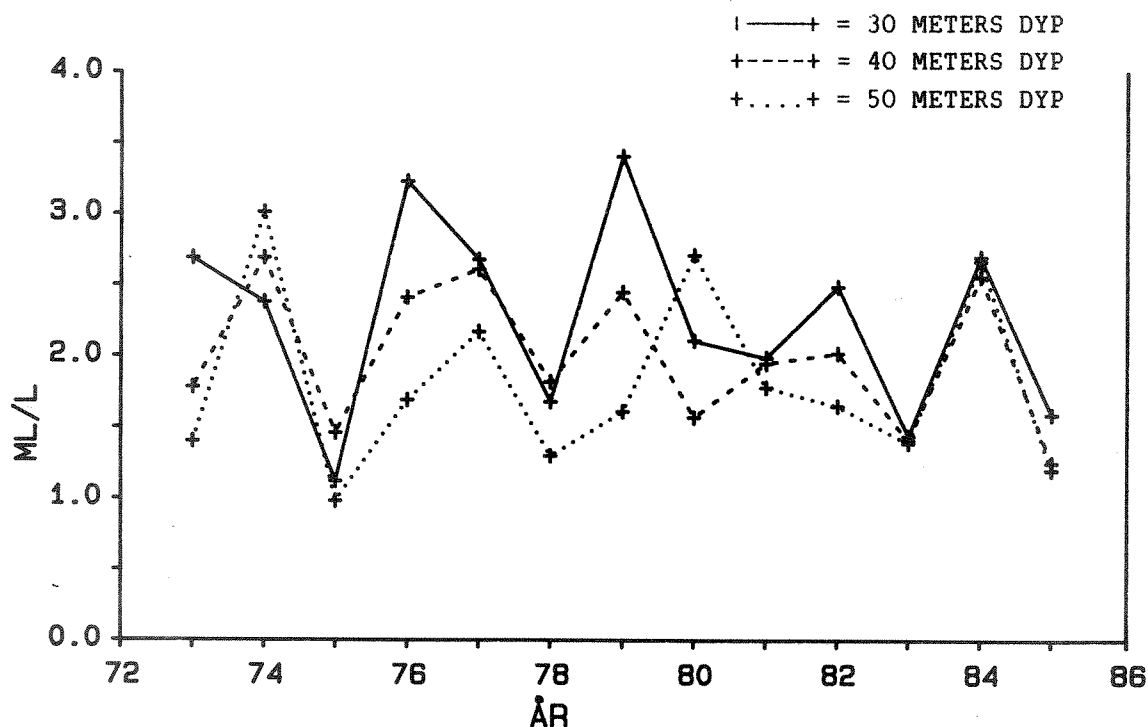


Fig. 4. Oksygenkonsentrasjoner på 30,40 og 50 meters dyp i Vestfjorden (DK1) i august måned 1973-85.

Konklusjon: Avløpsvannet sprer seg over en stor del av Vestfjorden over et dybde-intervall på fra 25 til 35 m. Stasjon DK1 ser ut til å kunne vise virkningene av utslippet.

5.1.3 Beregning av oksygenforbruk og transport under sprangsjiktet i Vestfjorden før og etter etableringen av SRV.

Endringer over tid i oksygen-forholdene i dypere lag i Oslofjorden vil dels skyldes variasjoner i oksygen-behovet, dvs. endringer i den biologiske produksjon i fjorden og i mengden oksygenforbrukende stoff i utslippene. Endringene kan imidlertid også skyldes at vann-utskiftningsforholdene varierer.

Oksygenforbruk vil vise seg ved at oksygeninnholdet i dypvannmassene avtar. Vertikal blanding av vannmasser vil motvirke dette ved transport av oksygen til oksygenfattige vannmasser fra lag med høyere konsentrasjoner. Dessuten vil vannutskiftninger - spesielt terskeloverskyllinger ved Drøbaksterskelen - gi en tilførsel av oksygen. For å beregne oksygenforbruket i vannmassene må vi prøve å korrigere for slike transporter.

5.1.4 Beregning av oksygentransport - beskrivelse av modellen.

Vi har beregnet oksygentransporten under sprangskiktet ved hjelp av en enkel modell for vertikal-diffusjon.

Beregningene er basert på data fra en enkelt stasjon DK1, ved Steilene. Det antas at denne stasjonen er representativ for hele Vestfjorden, dvs at horisontale forskjeller kan neglisjeres. Dette er trolig en grov tilnærming over korte tidsrom, men blir bedre over lengre tidsrom. Imidlertid gjør de årlige vannutskiftningene at modellen ikke kan brukes for tidsrom på mer enn noen måneder.

I beregningen går vi ut fra at alle endringer i innhold av salt under et gitt dyp kan beskrives som et resultat av en vertikal blandingsprosess med vann med lavere saltholdighet (egenvekt) høyere opp.

Vi kan da ved hjelp av salinitets-data beregne en empirisk vertikal blandings-koeffisient (diffusjons-koeffisient).

Diffusjonskoeffisienten uttrykker forholdet mellom vertikal transport pr. horisontal flate-enhet og vertikalgradienten i konsentrasjonsprofilen og er gitt av ligningen:

$$D(z,t) = - \frac{dM(z,t)/dt}{A(z) * dS(z,t)/dz}$$

hvor $D(z,t)$ = diffusjonskoeffisient i dyp z

$M(z,t)$ = mengde salt under dyp z

$A(z)$ = horisontal areal i dyp z

$S(z,t)$ = Saltholdighet i dyp z

z = Dyp

t = tid

Gradientene blir beregnet midt mellom to måledyp $i, i+1$ og midt mellom to observasjonspunkter $k, k+1$, dvs. i punktene:

$$z_{i+1/2} = \frac{(z_i + z_{i+1})}{2}$$

$$t_{k+1/2} = \frac{(t_k + t_{k+1})}{2}$$

etter formlene:

$$\frac{dM(z_{i+1/2}, t_{k+1/2})}{dt} = \frac{M(z_i, t_{k+1}) + M(z_{i+1}, t_{k+1}) - M(z_i, t_k) - M(z_{i+1}, t_k)}{2 (t_{k+1} - t_k)}$$

$$\frac{dS(z_{i+1/2}, t_{k+1/2})}{dz} = \frac{S(z_{i+1}, t_k) + S(z_{i+1}, t_{k+1}) - S(z_i, t_k) - M(z_i, t_{k+1})}{2 (z_{i+1} - z_i)}$$

Apenbare feil i data, dvs. tilfelle hvor salt-gradienten er negativ på større dyp, er da først rettet ved integrasjon i salt-profilene.

I tidsintervaller hvor saltinnholdet øker pga. innstrømming av nytt vann over terskelen vil vi kunne få negativ diffusjons-koeffisient. I slike tidsintervaller kan modellen ikke anvendes.

Utvelgelse av tidsintervaller hvor modellen kan være brukbar ut fra beregning av diffusjonskoeffisient er gjort etter følgende metode:

1. Diffusjonskoeffisienten er beregnet ut fra tre vertikale-gradienter for salt:
 - midlere vertikal-gradient i perioden (formel ovenfor)
 - gradient i starten av perioden,
 - gradient i slutten av perioden,
2. Hvis alle tre verdier for diffusjonskoeffisienten er positive brukes den verdien som er beregnet for midlere vertikalgradient, og de to andre verdiene brukes til å anslå en usikkerhet for den beregnede diffusjonskoeffisienten.
3. Hvis en av verdiene er negative forkastes perioden, og data herfra benyttes ikke.

For de tidsintervaller hvor diffusjonskoeffisienten er entydig positiv antas at vertikal oksygen-transport skjer på samme måte som for salt, dvs. med samme diffusjonskoeffisient midlet over hele Vestfjorden.

Når oksygen-konsentrasjonene, og derved vertikal-gradienten, er gitt, kan da oksygen-transporten bestemmes:

$$dO_2/dt = - D(z,t) * dO_2/dz$$

hvor O_2 = oksygenkonsentrasjonen

Ved å summere beregnet oksygen-transport inn til et vannvolum og observert endring i oksygen-innholdet i vannvolumet kan vi anslå det reelle forbruket av oksygen for tidsintervallet mellom to observasjoner.

Selv i tidsintervaller med positiv diffusjonskoeffisient kan imidlertid ikke beregnings-resultatene brukes uten videre.

Oksygen-konsentrasjonene svinger opp og ned. Det er en generell tendens til avtagende oksygen-konsentrasjoner i sommer-halvåret, med fornyelser ved innstrømninger om vinteren, men det er forstyrrelser i dette bildet:

- Det kan forekomme mindre innstrømninger av vann, som lagrer seg inn der det hører hjemme ut fra salt-innhold (egenvekt). Dette behøver ikke gi negativ diffusjons-koeffisient midlet over hele perioden. Innstrømmningene innvirker på oksygen-konsentrasjonene, som regel ved å heve dem, slik at beregnet oksygen-forbruk blir redusert, evt. også kan bli negativt (oksygenkonsentrasjonen kan variere ved samme saltholdighet i innstrømmende vann).
- Advective bevegelser i vannmassene forbundet med endringer i lufttrykk og vind kan bidra til tilfeldige svingninger i resultatet fra en periode til en annen når bare data fra en stasjon benyttes (svingninger i grenseflater).
- Med data fra bare en stasjon kan dessuten horisontale forskjeller i oksygenforholdene medføre feil: vi antar i beregningen at salt-transport og oksygen-transport har samme relative variasjon horisontalt. Det er ikke nødvendigvis tilfelle.

Disse feil-kildene kan medføre feil av både tilfeldig og mer systematisk karakter, og betyr at det som beregnes som oksygenforbruk delvis er et resultat av bevegelser og utskiftning av vannmasser ved andre prosesser enn vertikal-diffusjon (apparent vertikal diffusjon).

Dette tilsier en ytterligere begrensning i hvilke tidsintervaller hvor modellen kan benyttes. Dette behandles videre i kap 5.1.8. Først vil vi vise data fra alle tidsintervaller med positiv diffusjonskoeffisient.

5.1.5 Resultater av beregninger av oksygenforbruk i 30 meters dyp før og etter etableringen av utslippet til SRV

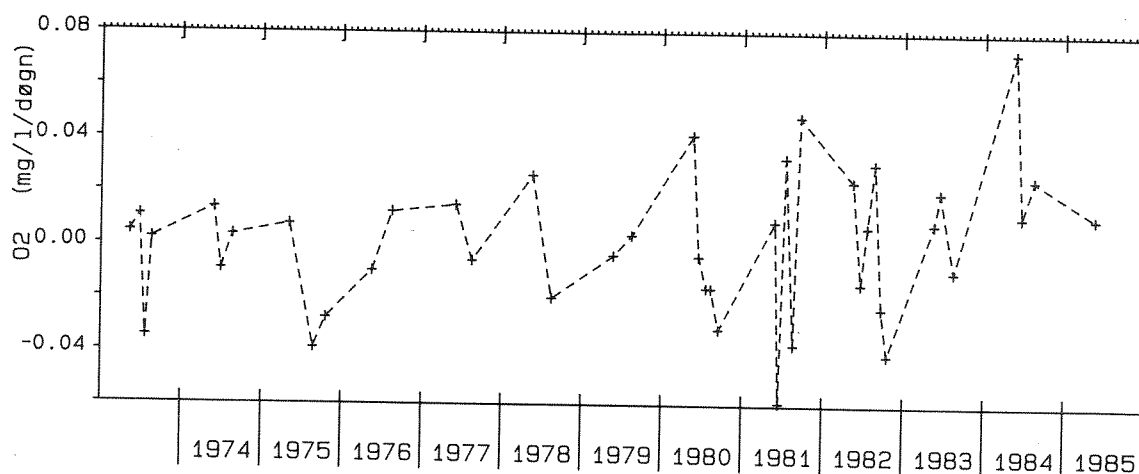


Fig. 5. Reduksjon i oksygen-konsentrasjon i Vestfjorden, stasjon DK1, på 30 meters dyp.

Figur 5 og 6 viser henholdsvis reduksjon i oksygen-konsentrasjon og beregnet oksygenforbruk i 30 meters dyp ut fra data for stasjon DK1 1973-1985. Størrelsesordenen for usikkerhet i resultatet er anslått ut fra usikkerhet i diffusjons-koeffisienten.

Figurene illustrerer hvordan feilkildene nevnt ovenfor forstyrrer resultatet: I mange av de periodene hvor diffusjonskoeffisienten er positiv blir det beregnet negativt forbruk av oksygen, dvs. tilførsel av oksygen.

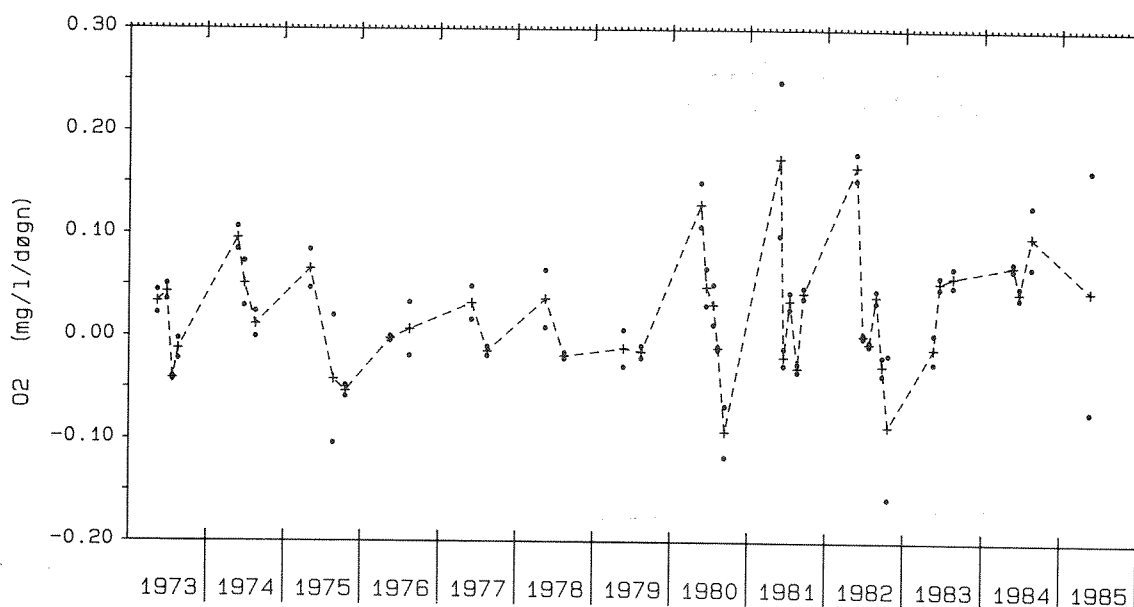


Fig. 6. Beregnet oksygen-forbruk i Vestfjorden, stasjon DK1, på 30 meters dyp. Usikkerhet i diffusjons-transport er avmerket med størrelsesorden for ett standard-avvik, grovt anslått.

Når det gjelder beregnet oksygen-forbruk kan det se ut som resultatet i perioden etter at SRV ble satt i drift avviker fra perioden før, dels ved mindre variasjon i resultatet, og dels ved høyere gjennomsnitt. Senere skal vi imidlertid vise at denne tilsynelatende endringen kan skyldes at modellen ikke tar hensyn til de transportprosesser som dyputslippet er årsak til. Hvis det er riktig kan det ikke påvises noen reell økning i netto oksygenforbruk på grunn av utslippet.

Samtidig sees at bildet også tidligere kan variere sterkt fra en tre-årsperiode til neste. Perioden 1980 til 1982 avviker fra perioden 1977 til 1979. Disse variasjonene kan dels skyldes tilfeldige feil, dels endring i observasjons-hyppighet (lange tidsintervaller vil jevne ut tilfeldige feil), og dels reelle variasjoner i forholdene i fjorden.

5.1.6 Resultater av beregninger av oksygenforbruk under 25 meters dyp og mellom 25 og 55 meters dyp før og etter etableringen av utslippet til SRV

Figur 5 og 6 viser enkelt-resultater for et bestemt dyp, med mulighet for store tilfeldige feil. Hvis vi ser på større vannvolumer vil dette kanskje bli dempet, slik at det i større grad er reelle variasjoner som vises i resultatene.

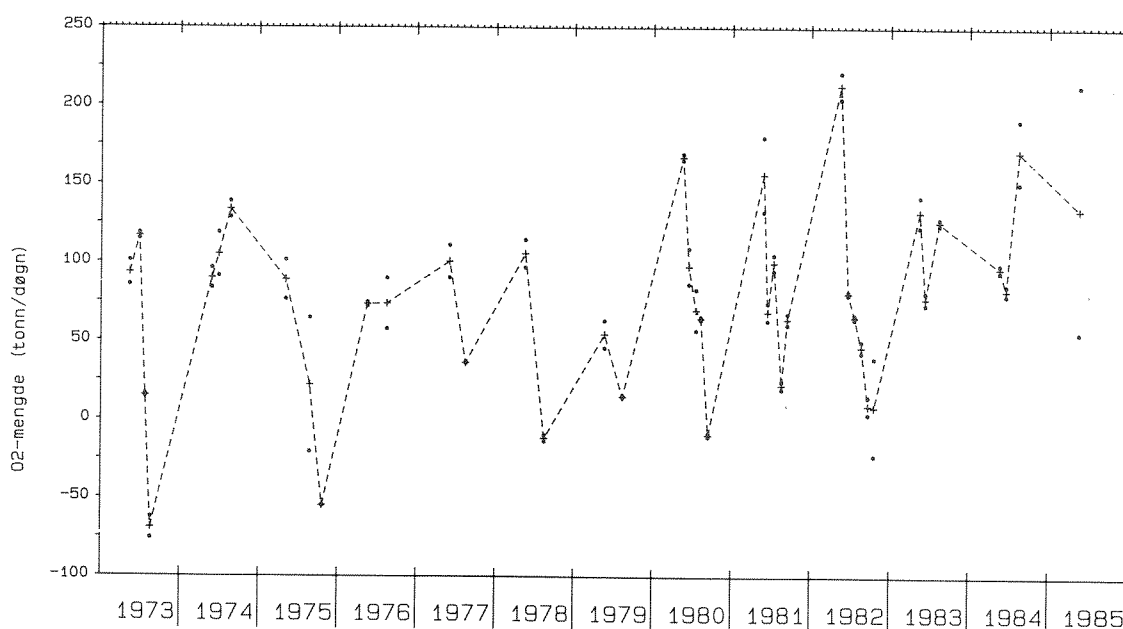


Fig. 7. Beregnet oksygen-forbruk i Vestfjorden ut fra stasjon DK1, i volumet under 25 meters dyp. Usikkerhet i diffusjons-transport er avmerket med størrelsesorden for ett standard-avvik, grovt anslått.

Fig. 7 viser beregnet oksygen-forbruk i det samlede vannvolumet under 25 meter, og fig. 8 i vannvolumet mellom 25 og 55 meter. Det siste er et naturlig skikt å betrakte i forbindelse med SRV-utslippet, som trekker fortynnings-vann ned til 50 meters dyp, og innlagres på 25 til 35 meter.

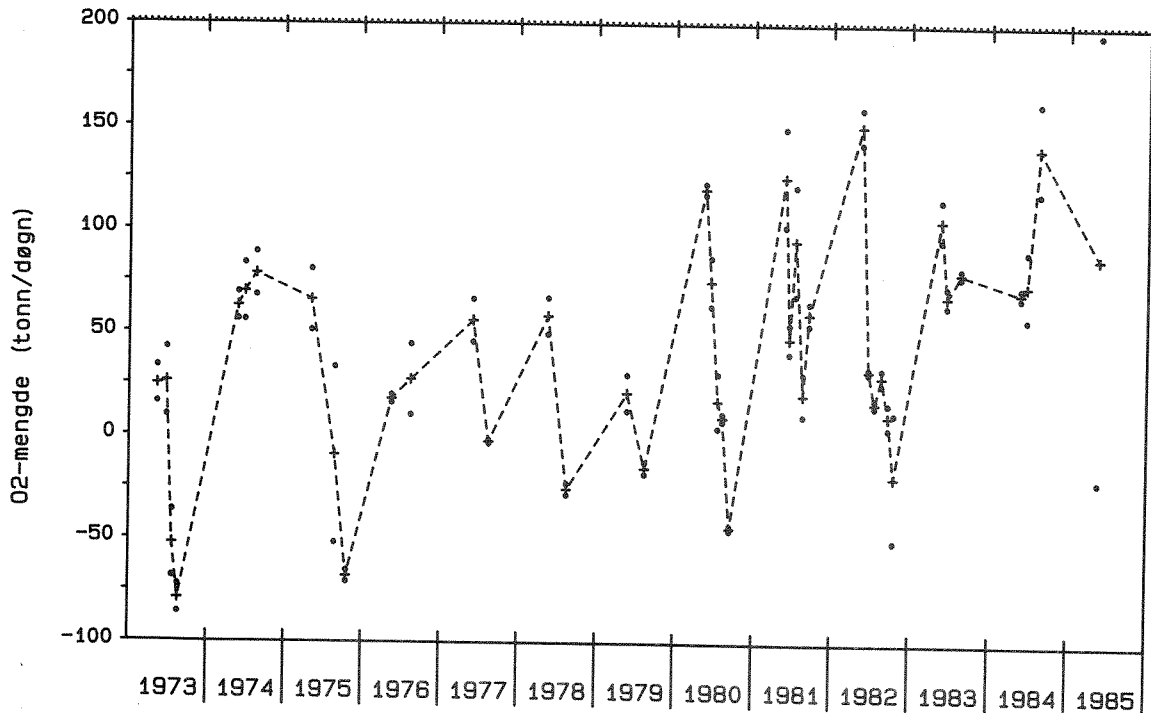


Fig. 8. Beregnet oksygen-forbruk i Vestfjorden ut fra stasjon DK1, i volumet fra 25 til 55 meters dyp. Usikkerhet i diffusjons-transport er avmerket med størrelsesorden for ett standard-avvik, grovt anslått.

Disse figurene viser kanskje en noe klarere økning i oksygen-forbruket etter 1983 sammenlignet med perioden før, men det er fortsatt store svingninger. Det er imidlertid også store forskjeller mellom perioden 1973-1979 og perioden 1980-1982.

Negative verdier er mindre hyppige her enn i figur 5 og 6, og det er naturlig, fordi tilfeldige feil må forventes å bli mindre i tall som er midlet over større vannvolumer.

5.1.7 Oksygenforbruk i Vestfjorden - en statistisk analyse av forholdene før og etter etableringen av SRV

For å kunne antyde noe om variasjonene over tid er reelle eller tilfeldige har vi gjort en enkel statistisk analyse av dataene.

Vi har delt inn tidsrommet fra 1983 til 1985 i tre perioder:

1. Fra 1973 til 1979
2. Fra 1980 til mai 1983
3. Fra august 1983 til 1985

Perioden fra juni 1983 til august 1983 omfatter tidspunktet for full tilkobling til SRV, og er derfor ikke tatt med i noen av gruppene.

De statistiske resultater som presenteres må ikke tas for bokstavelig. Vi har beregnet konfidens-intervaller og signifikansnivåer på et materiale hvor forutsetningene for beregningene ikke kan ventes å være godt oppfylt:

- Beregningene forutsetter enten forholdsvis mange verdier, eller at verdiene er tilnærmet normal-fordelt. Vårt materiale er ikke særlig stort, og det er få verdier i hver periode, spesielt i periode 3. Det heller ingen grunn til å tro at verdiene skal være normal-fordelt.
- Det forutsettes dessuten at verdiene skal være stokastisk uavhengig av hverandre. Siden de verdier vi bruker er hentet fra et reelt tidsforløp, og siden data fra et tidspunkt benyttes i beregningen både for tidsintervallet før og etter, vil det være sammenheng mellom nabo-verdier.

Dette betyr at de beregnede signifikansnivåer og konfidens-intervaller tildels vil være systematisk feilaktige, og tildels vil være meget usikre.

Beregningene må derfor mer sees som en måte å beskrive data-materialet og antyde mulige tendenser enn som en tradisjonell statistisk analyse.

Vi har undersøkt om det er tegn til forskjeller mellom de tre periodene sett samlet, og vi har også sett på om perioden etter at SRV ble startet adskiller seg fra gjennomsnittet for de to andre periodene. Resultatet er gitt i tabell 9,10 og 11 nedenfor.

Det må presiseres at det som oppgis som forbruk av oksygen er en beregnet størrelse, ut fra forutsetninger som ikke kan forventes å være oppfylt i alle tidsintervaller. Dette er drøftet tidligere. Forskjell i verdiene fra en periode til en annen kan derfor like gjerne skyldes at de forstyrrelser og feilkilder vi har omtalt slår ulikt ut, som at det er reelle forskjeller i de størrelsene vi har forsøkt å beregne.

Det gjelder også forskjeller som ser ut til å være forholdsvis tydelige.

Tabell 9. Forbruk, reduksjon og vertikal-transport av oksygen i Vestfjorden i 3 tidsperioder, beregnet ut fra stasjon DK1. Gjennomsnitt med standardavvik på middelverdien og enkeltverdi for ulike perioder og variable.

Alle tidsintervall med positiv diffusjonskoeffisient.

	Periode 1 1973-80		Periode 2 1980-83		Periode 3 1983-85	
Antall obs.:	17		18		5	
	<u>Snitt</u> (st.avv. snitt)	st.avv. enkelt- verdi	<u>Snitt</u> (st.avv. snitt)	st.avv. enkelt- verdi	<u>Snitt</u> (st.avv. snitt)	st.avv. enkelt- verdi
I 30 meters dyp mg O ₂ /l/døgn:						
Reduksjon	<u>-0.0028</u> (0.0042)	0.018	<u>-0.0023</u> (0.0075)	0.031	<u>0.022</u> (0.014)	0.031
Forbruk	<u>0.0090</u> (0.0094)	0.040	<u>0.0230</u> (0.0184)	0.076	<u>0.064</u> (0.0098)	0.022
Under 25 meter, tonn O ₂ /døgn:						
Forbruk	<u>51.9</u> (13.8)	59	<u>79.9</u> (14.6)	60	<u>122.4</u> (15.4)	34
=						
Reduksjon	<u>43.7</u> (13.0)	55	<u>65.1</u> (13.6)	56	<u>99.8</u> (9.8)	22
+						
Transport	<u>11.2</u> (2.1)	9	<u>14.8</u> (3.3)	14	<u>22.6</u> (15.3)	34
I 25-55 meter, tonn O ₂ /døgn:						
Forbruk	<u>14.2</u> (11.4)	48	<u>50.2</u> (13.2)	54	<u>90.7</u> (12.8)	29
=						
Reduksjon	<u>11.0</u> (8.6)	37	<u>26.6</u> (10.6)	44	<u>55.1</u> (9.9)	22
+						
Transport	<u>3.2</u> (4.6)	20	<u>23.6</u> (5.4)	22	<u>35.6</u> (16.8)	38

For alle de beregnede størrelsene er det en økning i gjennomsnitt fra periode 1 til 2, og fra periode 2 til 3. Eksempelvis har beregnet oksygen-forbruk i skiktet mellom 25 og 55 meter økt fra 14 tonn/døgn i periode 1 til 50 tonn/døgn i periode 2, og videre til 90 tonn/døgn i periode 3. Forbruk er en sum av reduksjon og transport, og økningen skyldes delvis en sterkere reduksjon i oksygen-innholdet, (fra 11 til

55 tonn/døgn) og delvis en økning i beregnet diffusiv transport (fra 3 til 36 tonn/døgn)

Forskjellen fra periode 2 til 3 er stort sett større enn fra 1 til 2.

Det må bemerkes at de 8 beregnede størrelsene ikke er uavhengige av hverandre, men i stor grad er varianter beregnet av det samme datamaterialet, eller direkte funksjoner av andre størrelser i tabellen. Det er altså ikke slik at vi har mange uavhengige indikasjoner på endringer.

Verdiene viser ganske stor spredning, idet standard-avviket på enkeltverdier ofte er omtrent like stort som gjennomsnittet for en periode. Periode 3 skiller seg ut ved mindre spredning, altså mer konstante verdier, enn i de to første periodene.

Det er utført statistiske tester for å se om forskjellene er klare, dvs. om det er grunn til å tro at de er reelle, og ikke bare skyldes tilfeldigheter. Resultatet av testene er vist i tabell 10.

Tabell 10. Statistisk signifikans på forskjeller mellom perioder. Signifikans-nivåer er bare helt grove antydninger, forbundet med store feil.

Alle tidsintervall med positiv diffusjonskoeffisient.

	T: forutsatt lik varians i alle perioder. (t-test) W: Uten forutsetning om lik varians (Welch test)							
	Med oppdeling i tre perioder Simultant test-nivå angitt						Med oppdeling i to perioder: 3 mot 1&2	
	2 vs. 1		3 vs. 1		3 vs. 2		T	W
	T	W	T	W	T	W	T	W
I 30 meters dyp mg O ₂ /l/døgn:								
Reduksjon	-	-	-	-	-	-	10%	-
Forbruk	-	-	-	3%	-	-	10%	0.5%
Under 25 meter, tonn O ₂ /døgn:								
Forbruk	-	-	5%	3%	-	-	10%	2%
Reduksjon	-	-	-	3%	-	-	10%	1%
Transport	-	-	-	-	-	-	-	-
I 25-55 meter, tonn O ₂ /døgn:								
Forbruk	10%	-	1%	0.3%	-	-	5%	1%
Reduksjon	-	-	5%	3%	-	-	10%	2%
Transport	3%	3%	2%	-	-	-	10%	-

I tabellene er oppgitt signifikans-nivå, som viser sannsynligheten for å få så store forskjeller som observert dersom det ikke er noen reell forskjell.

Materialet er testet både for oppdeling i tre perioder som ovenfor, og med oppdeling i to perioder, dvs. at periode 1 og 2 er slått sammen.

For oppdeling i tre perioder er det gjort parvise tester, og det er angitt simultane signifikans-nivåer (etter Scheffes metode og fra multippel t-test). Simultant signifikans-nivå skal vise hvor stor sannsynlighet det vil være for å få et resultat som det observerte for minst en av de parvise testene dersom det ikke er noen reelle forskjeller.

Testene er gjort både som vanlig t-test, med antatt lik spredning i alle perioder (vanlig t-test), og når en antar at det ikke er tilfelle (Welch-test). Dette gir store forskjeller i signifikans-nivå. For sammenligning av periode 3 med andre perioder gir Welch-test sterkest signifikans. Det skyldes at det i denne perioden, som har færrest data, også er minst spredning i enkelt-verdiene. Siden vi ikke har noen grunn til å anta at spredningen skal være den samme, bør vi kanskje legge mest vekt på kolonnene merket W.

Som nevnt tidligere bygger testene på antagelser som ikke kan ventes å være godt oppfylt, og beregnede signifikansnivåer vil derfor ha både systematiske og tilfeldige feil. Konklusjonene må ses i lys av dette, og anvendes med forsiktighet.

Med forbehold for nøyaktige test-nivå kan vi altså antyde at det er reelle forskjeller mellom periode 3 og 1, og også for periode 3 sett i forhold til periode 1 og 2 samlet. Det er ikke tegn til reelle forskjeller mellom periode 3 og 2 når en ser periode 1, 2 og 3 i sammenheng.

At vi ser en utvikling fra periode 1 via periode 2 og videre til periode 3 kan synes påfallende, og eventuelt tyde på at forskjellen mellom periode 3 og 2 dels skyldes en trend som også har gjort seg gjeldende fra periode 1 til 2. Det kan imidlertid også være en tilfeldighet.

Tabell 11 nedenfor viser gjennomsnitt og 90% konfidens-intervaller for forskjell mellom periodene som er sammenlignet i tabell 10. Simultane konfidens-intervaller innebærer at vi med 90% sikkerhet kan si at alle de tre parvise forskjeller ligger innenfor angitte intervaller samtidig. I dette tilfelle er som nevnt konfidens-intervallene bare grove anslag, beheftet med store feil.

Vi ser at selv for de forskjeller som ser ut til å være tydelige er beregnet usikkerhet stor i forhold til estimert verdi.

Forskjellene mellom periode 3 og de andre periodene er større enn forskjellen mellom periode 1 og 2. Når vi ser på periode 1 og 2 under ett, og sammenligner med periode 3 fremtrer forskjellen for de fleste størrelsene som signifikant. Det kan tas som tegn på at periode 3 skiller seg ut fra de andre periodene, men det må igjen understrekes at dette ikke er noen stringent statistisk analyse.

Tabell 11. Sammenligning av forbruk, reduksjon og vertikal-transport av oksygen i Vestfjorden for 3 tids-perioder, beregnet ut fra stasjon DK1.

Gjennomsnitt og 90% konfidens- intervall, forutsatt lik varians i alle perioder. Konfidens-intervallene er bare grove anslag, beheftet med både systematiske og tilfeldige feil.

Alle tidsintervall med positiv diffusjonskoeffisient.

Perioder →	Simultane 90% konfidens-intervaller.			3 vs. 1&2 <u>Snitt</u> (90% konf.)
	2 vs. 1 <u>Snitt</u> (90% konf.)	3 vs. 1 <u>Snitt</u> (90% konf.)	3 vs. 2 <u>Snitt</u> (90% konf.)	
I 30 m dyp mg O ₂ /l/døgn:				
Reduksjon	<u>0.0005</u> (-0.02;0.02)	<u>0.0248</u> (-0.003;0.05)	<u>0.0243</u> (-0.004;0.05)	<u>0.0245</u> (0.004;0.05)
Forbruk	<u>0.0140</u> (-0.03;0.06)	<u>0.0550</u> (-0.006;0.12)	<u>0.0410</u> (-0.021;0.11)	<u>0.048</u> (0.002;0.094)
Under 25 m tonn O ₂ /døgn:				
Forbruk	<u>28</u> (-13;69)	<u>71</u> (9;131)	<u>43</u> (-19;104)	<u>55</u> (9;102)
Reduksjon	<u>21</u> (-16;59)	<u>56</u> (-1;112)	<u>35</u> (-22;91)	<u>46</u> (3;88)
Transport	<u>4</u> (-8;15)	<u>11</u> (-5;28)	<u>8</u> (-9;25)	<u>10</u> (-3;22)
I 25-55 m, tonn O ₂ /døgn:				
Forbruk	<u>36</u> (-1;71)	<u>77</u> (24;129)	<u>41</u> (-13;94)	<u>59</u> (17;101)
Reduksjon	<u>16</u> (-12;43)	<u>44</u> (3;85)	<u>29</u> (-13;70)	<u>37</u> (5;68)
Transport	<u>20</u> (4;37)	<u>32</u> (7;57)	<u>12</u> (-14;38)	<u>23</u> (2;43)

5.1.8 Oksygenforholdene i Vestfjorden før og etter etableringen av SRV - ytterligere utvalg fra observasjonsmaterialet

Som nevnt tidligere kan observasjonsmaterialet i kap. 5.1.7. inneholde data hvor det er store feil, eller hvor modellen ikke er gyldig. Vi har derfor prøvd å luke ut tidsintervaller hvor resultatet tyder på at

den enkle diffusjonsmodellen ikke er tilstrekkelig for å beregne oksygen-transporter. Følgende tidsintervaller er luket ut:

- tidsintervaller hvor oksygen-mengden øker, eller hvor beregnet forbruk er negativt for en av følgende vannvolumer:

for volumet under 25 meter
for volumet under 55 meter
for volumet mellom 25 og 55 meter.

- tidsintervaller hvor reduksjon i mengde er større enn beregnet forbruk, dvs. hvor det er beregnet en positiv transport ut av volumet:

for volumet under 25 meter
for volumet mellom 25 og 55 meter.

Vi sitter da igjen med 19 verdier, hvor vi kan forvente at forstyrrende transport-prosesser gjør seg mindre gjeldende enn for de 40 verdiene vi så på ovenfor.

Den måten vi har luket ut verdier på, medfører at tidsintervaller hvor oksygenforbruket er beregnet for lavt vil lukes ut med større sannsynlighet enn perioder hvor oksygenforbruket er beregnet for høyt. Dette kan rettferdiggjøres dersom det er slik at for feil i retning av for lave verdier forekommer oftere og er større enn feil i retning av for høye verdier. Fordi vann-innstrømninger stort sett kan ventes å gi feil av den første typen mener vi at dette kan være berettiget.

Advektive bevegelser i vannmassene kan imidlertid gi feil begge veier når beregningene baserer seg på en stasjon, og det er derfor mulig at beregnet gjennomsnitt blir for høyt etter en reduksjon av datasettet som beskrevet ovenfor.

Hadde vi hatt flere stasjoner i Vestfjorden ville det vært mulig å minske feil pga. advektive bevegelser, og vi ville da muligens fått et klarere bilde av hvordan oksygenforbruket i fjorden har utviklet seg.

5.1.9 Oksygenforholdene i vestfjorden før og etter etableringen av SRV - statistisk analyse av redusert datamateriale.

Når det gjøres en fornyet statistisk analyse på dette materialet får vi det resultat som er vist i tabell 12, 13 og 14. Vi har her bare sett på data for større vannvolumer. Dessuten har vi tatt med data for diffusjonskoeffisient og O_2 -gradient i 25 m dyp.

Når det gjelder signifikansnivåer og konfidensintervaller må vi ta samme forbehold som tidligere: På grunn av at statistiske forutsetninger ikke er oppfylt, og fordi data-settet er lite, må vi vente at beregningene er beheftet med både systematiske og store tilfeldige feil.

En sammenligning av tabell 12 med tabell 9 viser:

For periode 1 og 2 er beregnet gjennomsnitt for alle størrelser størst i tabell 12, økningen fra tabell 9 varierer fra 50 til 300%. Standard-avviket for enkelt-verdier er minst i tabell 12, mellom 30 og 50% av tilsvarende verdier i tabell 9.

Dette er ikke overraskende, siden de kriterier vi brukte som tegn på forstyrrelser nettopp var lave eller negative tall for oksygenforbruk, oksygenreduksjon eller for beregnet diffusiv oksygentilførsel.

For periode 3 gjelder generelt det samme, men i mindre grad, og ikke konsekvent for alle størrelser. Gjennomsnittsverdi øker for 4 av 6 størrelser, og endringen ligger fra -20% til +100%. Standard-avviket avtar også for 4 av 6 størrelser, og er fra 60 til 120% av verdiene i tabell 9.

Det ser altså ut til at feil og forstyrrelser i forutsetningene for beregningsmodellen har gjort seg sterkere gjeldene i periode 1 og 2 enn i periode 3.

Det bidrar til å sannsynliggjøre at forskjellene mellom periodene i tabell 9, 10 og 11 skyldes forskjeller i vannbevegelser, hyppighet og omfang av vannutskiftninger etc.

Tabell 12. Forbruk, reduksjon og vertikal-transport av oksygen i Vestfjorden i 3 tidsperioder, beregnet ut fra stasjon DK1. Gjennomsnitt med standardavvik på middelverdien og enkeltverdi for ulike perioder og variable.

Bare tidsintervall uten tegn til forstyrrelser.

	Periode 1 1973-80		Periode 2 1980-83		Periode 3 1983-85	
Antall målinger:	7		9		3	
	<u>Snitt</u> (st.avv. snitt)	st.avv. enkelt- verdi	<u>Snitt</u> (st.avv. snitt)	st.avv. enkelt- verdi	<u>Snitt</u> (st.avv. snitt)	st.avv. enkelt- verdi
Under 25 meter, tonn O ₂ /døgn:						
Forbruk	<u>92</u> (10)	25	118 (18)	53	144 (14)	24
Reduksjon	<u>79</u> (9)	24	100 (17)	51	100 (17)	30
Transport	<u>16</u> (1.3)	3	19 (4)	11	44 (14)	25
I 25-55 meter, tonn O ₂ /døgn:						
Forbruk	54 (8)	22	87 (15)	44	103 (20)	35
Reduksjon	32 (6)	15	53 (13)	39	44 (11)	19
Transport	22 (4)	11	34 (7)	20	59 (14)	24
I 25 meters dyp, Diff.koeff	1.43 (0.15)	0.41	1.69 (0.25)	0.75	2.8 (0.46)	0.79
O ₂ -gradient	-0.133 (0.016)	0.042	-0.131 (0.02)	0.056	-0.16 (0.04)	0.061

Når vi har fjernet data hvor det er tegn til slike forstyrrelser kan vi vente at periodene skal bli mer sammenlignbare, men det kan fortsatt være forskjeller. Hvilken vei de trekker er imidlertid usikkert. Det kan tenkes at forstyrrelsene i periode 3 er mindre og hyppigere, slik at de ikke lukes ut i så stor grad, men det kan også tenkes at det fortsatt er mest feil igjen i data fra periode 1 og 2.

Tabell 14. Sammenligning av forbruk, reduksjon og vertikal-transport av oksygen i Vestfjorden for 3 tids-perioder, beregnet ut fra stasjon DK1. Gjennomsnitt og 90% konfidens- intervall, forutsatt lik varians i alle perioder. Konfidens-intervallene er bare grove anslag, beheftet med både systematiske og tilfeldige feil.

Bare tidsintervall uten tegn til forstyrrelser.

	Simultane 90% konfidens-intervaller			3 vs. 1&2 <u>Snitt</u> (90% konf.)
	2 vs. 1 <u>Snitt</u> (90% konf.)	3 vs. 1 <u>Snitt</u> (90% konf.)	3 vs. 2 <u>Snitt</u> (90% konf.)	
Under 25 m, tonn O ₂ /døgn: Forbruk	<u>26</u> (-20;72)	<u>52</u> (-12;115)	<u>26</u> (-36;87)	<u>37</u> (11;63)
Reduksjon	<u>20</u> (-24;65)	<u>21</u> (-41;82)	<u>0</u> (-59;59)	<u>10</u> (-34;54)
Transport	<u>2</u> (-11;16)	<u>28</u> (10;46)	<u>26</u> (8;43)	<u>27</u> (-17;70)
I 25-55 m, tonn O ₂ /døgn: Forbruk	<u>32</u> (-8;72)	<u>48</u> (-6;103)	<u>16</u> (-37;69)	<u>30</u> (-12;72)
Reduksjon	<u>20</u> (-13;53)	<u>12</u> (-34;57)	<u>-9</u> (-52;35)	<u>0</u> (-33;34)
Transport	<u>12</u> (-8;32)	<u>37</u> (9;64)	<u>25</u> (-2;51)	<u>30</u> (10;50)
I 25 m dyp, Diff.koeff	<u>0.26</u> (-0.46;0.99)	<u>1.35</u> (0.4;2.3)	<u>1.1</u> (0.1;2.1)	<u>1.2</u> (0.5;0.02)
O ₂ -gradient	<u>0.002</u> (-0.06;0.06)	<u>-0.03</u> (-0.1;0.05)	<u>-0.03</u> (-0.11;0.04)	<u>0.03</u> (-0.9;0.02)

Når en tar med alle tidsintervaller som har positiv diffusjonskoeffisient (tabell 10 og 11) ser det ut til å være tydelig forskjell mellom periodene både når det gjelder forbruk, reduksjon og transport. Forskjellene er spesielt klar for vannvolumet mellom 25 og 55 meter. Både oksygen-forbruk og diffusjonskoeffisient øker fra en periode til en annen. Størst forskjeller er det mellom periode 3 og de andre periodene, men det er også forskjeller mellom periode 1 og 2.

Når vi reduserer data-settet ved å fjerne tidsintervaller med åpenbare forstyrrelser, blir bildet litt annerledes: Det er nå særlig for diffusiv transport at det virker som det er signifikant forskjell, og hvor periode 3 skiller seg klart ut fra periode 1 og 2.

Det gjelder både transport ned gjennom 25 meter og for transport inn til volumet mellom 25 og 55 meter.

Derimot er økningen i beregnet oksygen-forbruk bare knapt signifikant større i periode 3 for dyp under 25 meter, og ikke for intervall 25-55 meter.

Reduksjon i mengden under 25 meter eller mellom 25 og 55 meter varierer ikke signifikant mellom periodene.

Reduksjon i oksygen-mengde er det som observeres direkte. Det er et netto-resultat av oksygen-forbruk og tilførsler, både mer eller mindre jevnt ved blandingsprosesser, og som større og mindre vannutsiktninger over kortere tidsrom.

At forskjellen i oksygen-reduksjonen forsvinner når vi fjerner de perioder hvor det er tegn til andre oksygen-tilførsler enn diffusjon kan tolkes slik at forskjellen mellom periodene først og fremst gjelder forskjeller i hyppighet og omfang av vannutskiftninger. Slike forskjeller kan gjøre at den fremgangsmåte som er valgt for å luke ut tidsintervaller fungerer ulike godt.

Oksygen-transport er beregnet ut fra salt-diffusjon, og kan betraktes som stort sett statistisk uavhengig av reduksjon i oksygen-mengde. Her blir forskjellene klarere når en luker ut tidsintervaller hvor det er tegn til forstyrrelser. Dette styrker antagelsen om at det først og fremst er transport-forholdene som fremtrer vesentlig annerledes i periode 3.

Det må bemerkes at det er svært få tidsintervaller i periode 3, og det er derfor ikke sikkert at de observerte forskjeller er representative for det en vil få med data fra en lengre periode etter at SRV startet opp.

Beregnet oksygen-forbruk er beregnet som summen av observert reduksjon og beregnet transport, og samvariasjon mellom transport og forbruk er derfor ikke forsterkende for konklusjonene.

For å se på hva som kan ligge bak eventuelle forskjeller i beregnet oksygen-transport er det i det følgende gjort beregninger på utslippets fysiske effekter på fjorden.

5.1.10 Fysiske effekter på Vestfjorden fra utslippet til SRV.

Tabell 14 viser en ganske klar økning i beregnet diffusjonskoeffisient på 25 meters dyp, mens O_2 -gradienten ikke har økt vesentlig. Diffusjonskoeffisienten er beregnet ut fra endring i saltmengde under 25 meters dyp.

Dyp-utslippet fra SRV kan tenkes å påvirke beregningen av diffusjonskoeffisienten på to måter:

- A. Ved å tilføre blandings-energi som gir reell økt vertikal-blanding i innlagringsdyp, når energien dissiperes idet strålene bryter sammen
- B. Ved økt reduksjon i salt-innhold pga. tilførsel av ferskvann i utslippet. Dette vil representere en feil i beregningen av diffusjonskoeffisienten, slik at diffusjon, og dermed O_2 -transport, blir beregnet for høyt.

Vurdering av alternativ A:

Med en trykkehøyde på ca. 1.7m i diffusorene ved en vannmengde på ca. $3 \text{ m}^3/\text{s}$ er energi-tilførselen i utslippet ca. 50 $\text{tonn(m/s)}^2/\text{s}$.

Den energi som kreves for å overvinne gravitasjons-feltet ved en diffusjon på $0.13 \text{ cm}^2/\text{s}$ i et 10 meter tykt skikt fra 20 til 30 meter, med en salt-gradient på ca. 0.1 o/oo /m, er for hele Vestfjorden samlet (areal 90 mill. m^2):

$$E_{\text{diff}} = A * D * g * \Delta\rho = 86 \text{ tonn(m/s)}^2 \text{ s.}$$

med

horisontalt areal $A = 90 \text{ mill m}^2$

diffusjonskoeffisient $D = 0.13 \text{ cm}^2/\text{s}$

tyngdens akselerasjon $g = 9.82 \text{ m/s}^2$

vertikal tetthetsgradient $\Delta\rho = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ tonn/m}^3$

Siden bare en del av blandings-energien kan forventes å bli lagret som potensiell energi, og en del av energien i utslippet brukes til å trekke tyngre vann opp til innlagrings-nivå, virker det lite sannsynlig at energien i utslippet skal forklare mer enn en liten del av den fordobling av diffusjonskoeffisienten vi har i periode 3.

Vurdering av alternativ B:

SRV-utslippet tilfører fjordens dypvannmasser en ferskvannsmengde på ca. $3 \text{ m}^3/\text{s}$, dvs. ca. $260.000 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Det betyr en minskning i saltinnhold på $8.5 \cdot 10^6 \text{ o/oom}^3/\text{døgn}$ når dette ferskvannet antas å fortrenge vann med 33 o/oo salinitet.

Til sammenligning er reduksjonen i saltinnhold under 25 meters dyp for hele Vestfjorden beregnet til å være 10 til 20 mill $\text{o/oom}^2/\text{døgn}$ som en typisk verdi.

Virkingen av SRV-utslippet for salt-tapet er altså av samme størrelses-orden som beregnet salt-tap for diffusjon, og kan derfor godt forklare økningen i diffusjonskoeffisienten for periode 3 i tabell 12 og 14. I såfall er den økning i oksygen-transport (og oksygen-forbruk) vi har beregnet ikke reell, og det betyr at den modell vi har brukt er for enkel til å sammenligne perioder før og etter igangsettingen av SRV-utslippet. For å gjøre det måtte en ta hensyn til utslippet i den masse-balanse som er beregnet i modellen.

Dersom vi antar at det er ferskvannstilførselen i SRV-utslippet som ligger bak økningen i diffusjons-koeffisient fra periode 1&2 til 3, må vi anta at den reelle diffusjonen er omtrent uendret. Det er ikke signifikante tegn til økt oksygenvinn i dypvannet i tabell 14: Periode 3 ligger høyere enn periode 1, men likt med eller lavere enn periode 2. Det kan bety at den direkte tilførselen av oksygen-behov til dypvannet er oppveid av en minskning i belastningen på oksygeninnholdet fra overflate-produksjon av organisk stoff.

Siden dette ikke kan sies å være noe etablert faktum, må vi imidlertid også regne med andre muligheter.

I såfall virker det riktigst å gå ut fra forbruks-tall i tabell 12 og 14, og anta at SRV-utslippet har gitt en reell økning i oksygenbehovet i dypvannet. Dette vil da representere et ugunstig tilfelle når det gjelder virkingen av en ytterligere økning av utslippet til SRV.

Beregnet for hele Vestfjorden er sannsynlig økning etter etableringen av SRV ca. 30 tonn/døgn (tabell 14). Tallet er usikkert men ligger i samme størrelse-orden som beregnet oksygenbehov i utslippet (20 tonn/døgn). Går vi ut fra at noe over halve Vestfjorden er berørt av utslippet, og at DK1 er representativ for denne halvdel, vil det stemme godt overens i størrelse. Dette stemmer også bra med de foreløpige resultater fra nærundersøkelsen til SRV.

5.1.11 Delkonklusjon ut fra analyse av hydrografiske data

Det er gjort forsøk på å beregne oksygen-forbruk i Vestfjorden før og etter start av SRV ved hjelp av data fra stasjon DK1 ved Steilene.

En statistisk analyse er foretatt for å se om det er tegn til at observerte forskjeller er reelle. Resultatet av denne analysen gir ikke noe entydig svar på om virkningen av SRV kan spores i form av økt netto oksygenforbruk under sprangskiktet. Sviktende statistiske forutsetninger gjør dessuten at resultatene er usikre og beheftet med feil.

Uavhengig av den statistiske analysen ser det likevel ut til at vi kan konkludere med følgende ut fra de beregninger som er foretatt:

Totalt oksygen-forbruk i dypvannet i hele Vestfjorden ligger i området 50-100 tonn/døgn for skiktet 25-55 meter. For halve Vestfjorden blir oksygenforbruket mellom 25-50 tonn/døgn. Mulige systematiske feil gjør at dette kan ligge noe høyt.

Diffusiv transport av oksygen dekker maksimalt 50% av forbruket og beregnet reduksjon i oksygen-mengde mellom 25 og 55 meter er ca. 30 til 50 tonn/døgn for hele Vestfjorden og 15-25 tonn/døgn for halve Vestfjorden.

Vi har ikke greid å påvise klart hvordan SRV-utslippet påvirker oksygen-forholdene. Til det har vi brukt en for enkel modell, og hatt for lite data.

Oksygen-behovet i utslippet er så stort (20 tonn/døgn) at det isolert sett må ventes å ha stor innvirkning på forholdene i dypvannet. Hvorvidt en bedring i overflatelaget oppveier dette er det vanskelig å si ut fra de data vi nå har.

En mulig tolkning av resultatene av den statistiske analysen er at det ikke er noen klar økning i totalt oksygenforbruk, og at en beregnet økning i oksygentransport ned gjennom sprangskiktet bare skyldes at modellen ikke tar hensyn til ferskvanns-påvirkningen fra dyputslippet ved beregning av diffusjonskoeffisient. Usikkerheten i resultatene gjør imidlertid en slik konklusjon noe spekulativ.

På tross av at beregningene ikke har avdekket et direkte økt oksygenforbruk i Vestfjorden etter etableringen av SRV, viser de samtidig at det ikke er usannsynlig med en økning av oksygenforbruket av samme størrelse som oksygenbehovet i avløpsvannet til SRV.

Fordi det er en faktisk mulighet for en slik innvirkning, og fordi de øvrige tendenser i observasjonsmaterialet peker på økt oksygenforbruk opp til 20 tonn/døgn i 25-55 meters dyp, vil vi bruke dette resultat som et ugunstig tilfelle ved vurderingen av hvilken virkning det kan få å overføre avløpsvann fra Bekkelaget til SRV og Vestfjorden.

5.2 Beregning av oksygenforholdene i Vestfjorden ved overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt

Ved beregning av hvordan et økt utslipp av oksygenforbrukende stoff vil innvirke på oksygenkonsentrasjonen i Vestfjorden har vi tatt utgangspunkt i at det ikke er usannsynlig at utslippet har hatt en effekt etter etableringen i 1983 som ligger i samme størrelse som beregnet oksygenbehov i avløpsvannet (tabell 4).

Med de tall som er vist i tabell 4 skal vi i det følgende ved overslagsberegninger estimere resulterende oksygenminking i Vestfjorden. Det vil ikke bli tatt hensyn til positive effekter som følge av redusert fosfortilførsel i overflatelaget. Beregningene representerer således et ugunstig tilfelle om enn ikke det verst tenkelige.

Det tas utgangspunkt i dagens situasjon, og beregningene viser hva overføringsgrad 1/3, 2/3 og 3/3 fra Bekkelaget til SRV kan medføre i forhold til dette.

5.2.1 Beregnet oksygen-behov i avløpsvann før og etter fortykning

Dagens situasjon kan oppsummeres slik:

Oksygen-behov i avløp SRV:	7500	tonn/år
Vannføring:	3	m ³ /s
Konsentrasjon av oksygen-behov i avløp:	80	mg/l
Etter fortykning 60 ganger:	1.3	mg/l
100 ganger:	0.8	mg/l

Oksygen-konsentrasjon i avløp fra kjemiske fellingsanlegg er ca. 5-6 mg/l, og altså uvesentlig i forhold til oksygenbehovet.

Ved økt overføring antas at vannmengden øker tilsvarende, og at fortykning og dermed innlagringsforhold er uendret. Det er ikke vurdert nærmere om det er realistisk.

I såfall vil fortynnet avløpsvann ved innlagring fortsatt ha et oksygen-behov på 0.8-1.3 mg/l, men vannmengdene er større, slik at innvirkningen på fjordens vannmasser kan øke.

Målinger har vist at ammonium, som utgjør en stor del av oksygen-behovet, finnes i overkonsentrasjoner (Aas 1985) langt unna utslippet. Det tyder på at oksygen-behovet ikke realiseres før avløpsvannet er blandet inn i et stort volum. Heller ikke oksygen-data tyder på at en stor del av oksygen-behovet realiseres nær utslippsstedet.

5.2.2 Reduksjon av oksygen-konsentrasjoner i Vestfjorden pga. overføringer

Mulige oksygen-reduksjoner er beregnet som akkumulert reduksjon over 1, 3 og 5 måneder, med ulike fortynningsvolumer. Tallene angir hvilken reduksjon en kan vente i tillegg til den reduksjon som kan observeres idag.

I tabell 15 er beregnet virkningen av avløpsvannet hvis det akkumuleres i volumet fra 25 til 35 meters dyp over henholdsvis hele og halve Vestfjorden. Det er ikke tatt hensyn til endringer i oksygen-tilførsler.

Tabell 15. Akkumulering av oksygen-behov i 25-35 meters dybde-skikt i h.h.v halve og hele Vestfjorden, uten hensyn til tilførsler.

Akkumulering i		Overføringsgrad:		
		1/3	2/3	3/3
Volum 10^6 m^3	Tid (mndr)			
415 (halve Vestfj.)	1	0.34 mg/l	0.7 mg/l	1.1 mg/l
	3	1.1 "	2.2 "	3.3 "
830 (hele Vestfj.)	1	0.17 "	0.34 "	0.51 "
	3	0.5 "	1.1 "	1.6 "

Med en fortyning på 60-100 ganger vil hele Vestfjorden mellom 25 og 35 meter i virkeligheten være fylt opp i løpet av 1 til 2 måneder. Deretter vil det spre seg videre, og antagelig tildels resirkuleres som fortyningsvann. Tabell 15 inkluderer derfor ikke 5 måneder.

I tabell 16. er beregnet virkningen av avløpsvannet blandet inn i hele Vestfjordens vannvolum mellom 25 og 55 meters dyp. Vi antar da at innlagret avløpsvann resirkuleres som fortyningsvann. Fortsatt er det ikke tatt hensyn til endret oksygentilførsel.

Tabell 16. Akkumulering av oksygen-behov i 25-55 meters dybde-skikt, hele Vestfjorden, uten hensyn til tilførsler:
Vannvolum: 2000 mill. m³

Akkumulering i tidsintervall:	Ved overføringsgrad:		
	1/3	2/3	3/3
1 mnd.	0.08 mg/l	0.15 mg/l	0.23 mg/l
3 mndr.	0.22 "	0.45 "	0.68 "
5 mndr.	0.38 "	0.75 "	1.13 "

5.2.3 Beregning av oksygen-underskudd ved enkel diffusionsmodell

Det er også mulig å anslå reduksjonen i oksygen-konsentrasjonen under sprangskiktet for ulike oksygen-behov ved hjelp av en grov modell som omfatter vertikal-diffusjon.

Begrunnelsen er at minskende oksygen-innhold under sprangskiktet vil gi økning i diffusiv oksygentilførel ovenfra under ellers like forhold, i tidsintervaller uten vannutskiftninger. Dette motvirker etter hvert nedgangen i oksygen-innhold, og gjør at en på lang sikt vil oppnå en likevekt, hvor tilførsler oppveier forbruk. I virkeligheten vil vannutskiftninger hindre at en kommer ned i en slik likevekts-konsentrasjon av oksygen.

Viktigheten av diffusive transporter ved endringer i oksygen-forbruket avhenger av hvor store de er fra før. Hvis diffusive transporter er svært små, vil de ikke øke, og økt oksygen-behov vil da gi utslag bare i lavere konsentrasjoner. Hvis diffusive transporter dominerer, vil en

liten reduksjon i oksygen-innhold være tilstrekkelig til å balansere økt forbruk med økte tilførsler.

Tabell 12 tyder på at diffusjons-transport i tidsintervaller uten vannutskiftninger kan tilsvare opp mot 40% av oksygen-forbruket i volumet under 25 meters dyp. (Det antas da at periode 1 og 2 gir riktig diffusjonskoeffisient også etter at SRV ble igangsatt, dvs. at den tilsynelatende økningen skyldes ferskvannstilførsel fra SRV.)

Siden hverken reduksjon i mengde eller tilførsel dominerer klart, må forløpet beregnes ved hjelp av en differensial-ligning i tid, slik at begge faktorer kan tas hensyn til.

Ligningen skrives:

$$-dM(t)/dt = F - k(M_0 - M(t))/V$$

hvor $M(t)$ = mengde oksygen i et gitt volum under 25 meters dyp

F = oksygen-forbruk, antatt konstant i tid

k = transport-konstant, proporsjonal med diffusjons-koeffisient og horisontalt areal.

M_0 = den mengde som tilsvarer likevekt med overflatelaget, dvs. ingen oksygen-transport.

V = det vannvolum vi betrakter.

Det siste leddet på høyre side representerer oksygentransporten ned gjennom 25 meter dyp. Modellen gjelder bare for tidsintervall uten vannutskiftninger.

Løsningen på ligningen er:

$$M(t) = M(t=0)e^{-kt/V} + (M_0 - FV/k)(1 - e^{-kt/V})$$

Virkingen av en økning ΔF i F er da at konsentrasjonen $c(t) = M(t)/V$ minsker med Δc gitt ved

$$\Delta c = -(1 - e^{-kt/V})\Delta F/k$$

De beregninger som før er referert viser at oksygen-mengde under 25 meters dyp i mai kan variere mellom 13.000 og 23.000 tonn. I et volum $V=3400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ tilsvarer den største av disse mengdene en konsentrasjon på 6.8 mg/l, og dette tas som den konsentrasjon hvor overflatelag og dypere lag er i likevekt.

Koeffisienten k i ligningen over kan beregnes som forholdet mellom oksygen-transport gjennom 25 meters dyp beregnet ut fra salt-diffusjon og differanse mellom M_0 og målt oksygenmengde. Data for de 19 tidsintervall hvor det antas at diffusjonsmodellen er tilstrekkelig gir en gjennomsnitts-verdi for k :

$$k = 6.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$$

Oksygen-forbruket F er tidligere anslått til:

$$F = 50 \text{ til } 100 \text{ tonn/døgn}$$

Overføring av 1/3, 2/3 eller 3/3 av vannet fra Bekkelaget til SRV gir et mulig tillegg i oksygen-forbruket på henholdsvis 5, 10 eller 15 tonn/døgn.

Modellen er ovenfor utledet og kalibrert for hele vannvolumet under 25 meters dyp, idet det er antatt at det er like oksygen-forhold i hele dette volumet. Dette ser grovt sett ut til å være holdbart når en ser på totalt oksygenforbruk.

Når det gjelder oksygenbehovet i SRV-utslippet kan den samme modellen brukes for flere alternative antagelser:

Volum V:

1. Akkumulering i 25-35 meters dyp:	$830 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
2. Akkumulering i 25-55 meters dyp:	$2000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
3. Akkumulering i hele volumet under 25 meter:	$3400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Det forutsettes at den største barrieren for vertikal vann-utveksling ligger over 25 meter, slik at diffusjonen først og fremst er styrt av oksygen-innholdet i vannet i 25-35 meters dyp. Ved alternativ 1 og 2 neglisjeres diffusiv transport fra dypere lag, det gjør at beregnede oksygen-reduksjoner kan bli for store i forhold til det en reelt vil få i disse volumene.

Tabell 17 nedenfor viser resultatet av beregning etter modellen ovenfor, både for antatt total-forbruk i dag, og for tillegg ved overføring. For total-forbruket er det bare beregnet for hele volumet under 25 meter, mens virkningen av SRV med eventuelle overføringer er beregnet også for de mindre volumene.

Tabell 17. Reduksjon av oksygen-innhold under 25 meters dyp i hele Vestfjorden, som funksjon av tid og oksygen-forbruk, beregnet etter grov diffusjonsmodell.

F, ΔF gitt i tonn/døgn.
Oksygen-innhold beregnet som mg/l.

Akkumulering i		Dagens situasjon			Tillegg ved overføringsgrad		
		Totalt		Herav mulig virkning av SRV	1/3	2/3	3/3
		F=50	F=100		$\Delta F=5$	$\Delta F=10$	$\Delta F=15$
Volum 10^6 m^3	Tid (mdr.)						
830	1				0.16	0.33	0.49
	3				0.39	0.78	1.16
2000	1				0.07	0.14	0.22
	3				0.20	0.39	0.59
	5				0.30	0.60	0.89
3400	1	0.4	1.0	0.2	0.04	0.09	0.13
	3	1.2	2.5	0.5	0.12	0.25	0.37
	5	2.0	4.0	0.8	0.2	0.4	0.6

Resultatene for total-forbruket fordelt i hele volumet stemmer i størrelsesorden med det som kan observeres.

Beregnet virkning av SRV ligger innenfor det som kan skjules av tilfeldige svingninger i det spinkle data-materialet vi har etter at SRV ble satt i drift.

Det er derfor ikke usannsynlig at en kan få virkninger av en størrelsesorden som er angitt i tabell 17 også for en videre overføring av avløpsvann fra Bekkelaget til SRV.

Det må igjen presiseres at disse beregningene er gjort uten å ta i betraktning en mulig indirekte forbedring på grunn av ytterligere fjerning av fosfor fra overflatelaget.

5.2.4 Sammenfatning

Avløpsvannet fra Sentralrenseanlegg Vest slippes ut på ca. 50 meters dyp og innlagres etter fortykning på ca. 25-35 meters dyp. Det fortyknede avløpsvannet sprer seg videre ut over Vestfjorden. Oksygenforbrukende prosesser (nedbrytning av organisk stoff og nitrifikasjon) skjer trolig fordelt over iallfall halve Vestfjorden og påvirker ikke bare innlagringsdypet men også vannmassen mellom utslippsdyp og innlagringsdyp.

Oksygenreduksjonen i Vestfjorden som følge av økt dyputslipp av avløpsvann fra SRV er beregnet som akkumulert minskning over tid i ulike innlagringsvolumer etter to ulike metoder:

- A. Avløpsvannet blandes inn i et avgrenset vannvolum, og utveksling med andre vannmasser neglisjeres.
- B. Avløpsvannet blandes inn i et vannvolum avgrenset av bestemte dyp, fordelt over hele Vestfjorden. Utveksling med overflatelaget inkluderes i beregningen.

Metode A gir de største reduksjonene og metode B de laveste.

Beregningen er gjort for overføring til SRV av henholdsvis 1/3, 2/3 og 3/3 av avløpsvannet fra Bekkelagets rensedistrikt.

Vi ser her bare isolert på virkningen av SRV-utslippet. Vi har ikke tatt i betraktning den indirekte virkningen av at fosfor fjernes fra overflatelaget, og av at belastningen på Bunnefjorden blir mindre ved overføring til SRV. Resultatene må derfor betraktes som uttrykk for hva en kan risikere dersom det er slik at de indirekte virkningene er små. Dette er nærmere drøftet i kapittel 4.

Hvis oksygenreduksjonen realiseres i vannvolumet 25-35 meters dyp i halve Vestfjorden vil disse overføringer på 3 måneder gi en oksygenreduksjon på ca. 1.0, 2.0 og 3.0 mg/l etter metode A. Fordelt i hele Vestfjorden på samme dyp blir reduksjonene halvert.

Med en fortykning av avløpsvannet fra SRV på 60-100 ganger vil imidlertid hele Vestfjorden mellom 25 og 35 meters dyp være fylt opp i løpet av 1-2 måneder og innlagret avløpsvann vil da antagelig for en stor del sirkuleres som fortykningsvann og blandes inn mellom 25-55 meters dyp i hele Vestfjorden. Gjennomsnittlig oksygenreduksjon etter metode A blir da 0.2, 0.5 og 0.7 mg/l på 3 måneder, eller 0.4, 0.8 og 1.1 mg/l på 5 måneder, for overføringsgrad henholdsvis 1/3, 2/3 og 3/3. Fordelingen i dyp vil imidlertid bli ujevn med den største

reduksjonen på 25-35 meters dyp.

Tar vi hensyn til vertikalblanding med overflatelaget (metode B.) og betrakter hele Vestfjorden som influensområde (område med aktivt oksygenforbruk som følge av utslippet) vil vi få lavere oksygenreduksjon (i tillegg til reduksjon får vi nå også en tilførsel av oksygen ved diffusive transporter). På 3 måneder vil reduksjonen i 25-35 meters dyp bli ca. 0.4, 0.8 og 1.2 mg/l for en overføring av 1/3, 2/3 respektive 3/3-dels overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt. Gjennomsnittlig reduksjon for vannmassene mellom 25-55 meters dyp vil være 0.3, 0.6 og 0.9 mg/l på 5 måneder for overføringer på 1/3, 2/3 respektive 3/3-deler fra Bekkelagets rensedistrikt til SRV.

Beregningsresultatene kan sammenfattes slik:

En overføring av 1/3-del av Bekkelagets avløpsvann til SRV vil kunne gi oksygenreduksjon i Vestfjordens vannmasser rundt innlagringsdyp på mellom 0.4-1.0 mg/l (0.3-0.7 ml/l) akkumulert over 5 måneder (f.eks. mai-september). Den høyeste reduksjonen representerer et lokalt verste tilfelle.

For overføringer på 2/3 og 3/3 kan oksygenreduksjonen bli 0.8-2 mg/l (0.6-1.4 ml/l) respektive 1.2-3 mg/l (0.8 -2.1 ml/l).

De beregnede reduksjoner i oksygenkonsentrasjon ved ulike overføringsgrader vil komme i tillegg til dagens situasjon.

Det må igjen presiseres at disse beregninger er gjort uten å ta i betraktning en mulig indirekte forbedring på grunn av ytterligere fjerning av fosfor fra overflatelaget.

6 MULIGE BIOLOGISKE KONSEKVENSER

En reduksjon av oksygenkonsentrasjonen på mellomnivåer i Vestfjorden vil ha virkning både på livet i de frie vannmasser og på bunnfauna i dypintervallet. Bunnen mellom 30 og 50 meters dyp representerer et areal på vel 30% av det totale bunnarealet under 30 meters dyp. Et kritisk oksygennivå for bunnfauna ligger ved ca. 1.5 ml/l og et slikt nivå er ikke uvanlig idag.

En ytterligere reduksjon av oksygenkonsentrasjonen vil få direkte konsekvenser i en reduksjon av artsantall, individantall og biomasse (Rosenberg 1980). I de frie vannmassene vil effekten av lav oksygenkonsentrasjon variere for ulike dyrearter. Hos torsk er det registrert akutt dødelighet ved 0.8 ml/l og subletale effekter ved 2.7 ml/l. Brisling har vist seg relativt tolerant og er i Oslofjorden funnet i naturlig bestand ned til 0.5-1.5 ml/l. Raudåte (Calanus finmarchicus) trives ikke i Oslofjorden og en av årsakene til dette kan være at den krever relativt oksygenrikt vann. Den har vist redusert stoffomsetning i eksperimenter ved 2-4 ml/l og akutt dødelighet ved 0.7 ml/l. Andre zooplanktonarter er funnet i naturlig bestand i Oslofjorden ned til 0.2 ml/l (Se Kirkerud m.fl. 1984).

Et mellomlag med lave oksygenkonsentrasjoner har vist seg å kunne fungere som en barriere mellom overflatelag og dypere lag, dvs. begrense vertikalbevegelser til fisk og zooplankton med konsekvenser for vekst og formering (se f. eks. Hovde 1972).

For kaldtvannsarter, både av fisk og zooplankton, har vannmassene i ca. 20-50 meters dyp hittil kunnet fungere som et tilfluktssted når forholdene blir uholdbare i dypet. En forverring av oksygenforholdene i 20-50 meters sonen vil redusere denne funksjon, og derved kunne bidra til en mer omfattende skade på fjordens fauna.

Ved siden av de praktiske konsekvenser en skade på fjordens fauna har for fisket, skal nevnes at fiskedød i ruser allerede er registrert som et problem i den innerste del av Vestfjorden (Bjerkøya, Gåsøya, Kirkerud pers. medd.). Årsakene er ikke klarlagt, men det kan tenkes å henge sammen med lavt oksygeninnhold i midlere dyp.

Det kan også tenkes andre biologiske konsekvenser. Observasjoner av bunnsediment og bløtbunnsfauna i indre Oslofjord på ca. 100 meters dyp antyder at forholdene her er blitt forverret etter 1983, uavhengig av oksygen-konsentrasjonene (Fredrik Beyer, UiO, pers. medd.). Tidligere har bunnfaunaen vist store variasjoner både med tid og sted, og variasjonene har stort sett kunnet forklares med variasjoner i oksygen-nivå. En bedring av oksygenforholdene har vanligvis vært fulgt

av en ganske rask restaurering av bunnfaunaen.

I 1984 var imidlertid sedimentene og bunnfaunaen jevnt dårlig på stasjoner fordelt over hele Vestfjorden, selv om oksygenforholdene var bra, og hadde vært det en stund. Om dette er representativt for dagens situasjon, og hva det eventuelt kan skyldes, er foreløpig uklart.

7 SAMLET KONKLUSJON

De vurderinger og beregninger som er gjort i denne rapporten har gitt følgende resultat:

Vurdert bare ut fra tilførselsberegninger ser det ut til at den tryggeste løsningen for hele fjorden, dersom den lar seg realisere, vil være en ombygging av Bekkelaget renseanlegg, slik at alt avløpsvann blir kjemisk rensset og dypinnlagret.

Effektiviteten til dyputslippet ved Bekkelaget bør vurderes, og eventuelt forbedres.

En overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt til SRV på opp til 1/3-del vil også kunne gi gunstige effekter på hele indre Oslofjord. De andre overføringsalternativer med forutsatte rensprosesser (se kap 2 og Vråle 1985B) ser ikke ut til å gi noen gunstig tilleggseffekt vurdert ut fra utslippsmengder.

For Vestfjordens del vil en overføring av avløpsvann fra Bekkelagets rensedistrikt gi økt direkte belastning på vannet under sprangskiktet, spesielt på oksygenforholdene i de dybdeskikt som berøres av utslippet (25-55 meters dyp). Ut fra tilførselsberegninger vil oksygenbehovet i utslippet øke med vel 20% i forhold til situasjonen i 1984 ved 1/3-dels overføring og med 75% ved 3/3-dels overføring.

En analyse av datamateriale fra DK1 har ikke gitt klare svar på om SRV har endret oksygenforholdene i Vestfjorden under sprangskiktet.

Det er gjort forsøk på en statistisk analyse for å se hvor usikre resultatene er, men de statistiske forutsetningene er dårlig oppfylt, slik at resultatene bare er grove antydninger.

Observasjonene kan tolkes slik at det netto ikke har vært noen forverring, men resultatene er usikre, og viser på den annen side at det ikke er usannsynlig at den direkte effekten på Vestfjorden i 25-55 meters dyp tilsvare det teoretiske oksygenbehovet i avløpsvannet fra SRV. Derfor vil et verst mulig tilfelle kunne beregnes ut fra at den direkte effekten av økt dyputslipp fra SRV vil tilsvare teoretisk beregnet oksygenbehov. Det er det som er gjort i avsnitt 5.2 i denne rapporten.

Ut fra foreliggende observasjoner synes det som oksygenforbruket er fordelt over iallfall halve Vestfjorden.

Når en beregner den direkte virkningen av SRV-utslippet på vannmassene mellom 25 og 55 meter i stagnante perioder fås følgende resultat:

Ved en overføring av 1/3-del av avløpsvannet fra Bekkelagets rensedistrikt kan overført avløpsvann fra Bekkelaget til SRV redusere oksygeninnholdet på innlagringsdypet med ytterligere omkring 0.3 ml/l i løpet av 5 måneder under ellers like forhold. Det er risiko for en mer geografisk avgrenset reduksjon opp mot ca. 0.7 ml/l. Med de gunstige effekter som i dette tilfelle kan tenkes å bli oppnådd ved en fjerning av fosfor fra overflatelaget, er det en mulighet for at konsekvensene for Vestfjordens vannmasser under sprangskiktet totalt sett kan bli akseptable (se tabell 8). Dette må ses i lys av påvist usikkerhet i våre beregninger.

Ved en overføring av 2/3-del av avløpsvannet fra Bekkelaget rensedistrikt kan oksygeninnholdet på innlagringsdyp bli redusert i forhold til dagens situasjon med ca. 0.6 ml/l i løpet av 5 måneder, med risiko for en mer geografisk avgrenset reduksjon på ca. 1.4 ml/l. Den positive effekt som følge av en avlastning av overflatelaget (tabell 8) vil i dette tilfelle antagelig ikke bli stor nok til å oppveie økt oksygenbehov i dypets utslippet. Konsekvensene for Vestfjorden vil da antagelig ikke bli akseptable.

Ved en overføring av 3/3-del av avløpsvannet fra Bekkelaget rensedistrikt kan oksygeninnholdet på innlagringsdyp bli redusert i forhold til dagens situasjon med ca. 0.8 ml/l i løpet av 5 måneder med risiko for en mer geografisk avgrenset reduksjon på ca. 2.1 ml/l. Tilførselsberegninger viser at vi ikke kan få en tilsvarende stor reduksjon som følge av fosforfjerning i overflatelaget. Konsekvensene for Vestfjorden vil ikke bli akseptable.

De biologiske effekter som i verste tilfelle kan risikeres på grunn av endrede oksygenforhold ved en delvis overføring, vil være reversible dersom påvirkningen ikke varer for lenge (flere år). Under denne forutsetningen vil en stans i tilførslene gi relativt rask tilbakegang til før-situasjonen, antagelig i løpet av en vannutskiftningsperiode eller to.

Ovenstående konklusjoner bygger på et usikkert grunnlagsmateriale og inneholder en god del skjønn. Vi har valgt relativt ugunstige betingelser og data sett ut fra Vestfjordens oksygensituasjon.

Vi har bare sett på hva en kan risikere under ugunstige forhold når det gjelder utviklingen av oksygen-situasjonen under sprangskiktet i Vestfjorden. Virkningen er ikke vurdert ut fra en modell for fjorden som helhet. Den positive virkningen på oksygenforholdene av å fjerne

fosfor fra overflatelaget er bare beregnet helt grovt, og muligens overdrevet.

På den annen side har vi ikke tatt hensyn til at utslipp i Vestfjorden er gunstig for transporten ut av fjorden, og at bedring i Bunnefjorden også kan få betydning for Vestfjorden.

Alt i alt er vurderingen beheftet med usikkerhetsfaktorer som trekker begge veier, men totalt bedømmer vi det som lite trolig at forholdene blir dårligere enn beskrevet her ved de ulike overføringsalternativer.

Ytterligere en begrensning ligger i våre konklusjoner. De er konsentrert om oksygenforholdene i Vestfjorden og tar ikke opp økt tilførsel av partikulært materiale dvs. nedslamming og økt oksygenforbruk i sedimenter. Observasjoner fra før/etter-undersøkelsen til SRV utslippet i Vestfjorden vil kunne gi informasjon om dette. Dette materiale foreligger ikke idag. Derfor må vi ta forbehold for hva disse observasjoner kan komme til å bety.

I vurderingen av overføringsalternativene er det forutsatt at SRV beholdes som et kjemisk renseanlegg, omenn noe forbedret. Dersom SRV utvides med biologisk rensetrinn og fjerning av ammonium, vil hele problemet med oksygenbelastningen under sprangskiktet i Vestfjorden stilles i et nytt lys.

8 ANBEFALINGER

Ut fra de beregninger som er gjort i denne rapport ser det ut til at den sikreste løsning for Oslofjorden og spesielt Vestfjorden er å ikke overføre ytterligere avløpsvann til Sentralrenseanlegg Vest, men istedet å bygge ut Bekkelaget renseanlegg slik at anlegget kan ta hånd om den totale mengden som produseres i distriktet i dag.

Alternativt kan opp til 1/3 av avløpsvannet overføres til SRV under følgende betingelser:

1. Det foretas en prøveoverføring i en sommerperiode. I prøveperioden må avløpsvannets spredning og primære influensområde kartlegges, og effekten av de kjemiske prosesser som er av betydning for nedbrytning av organisk stoff og nitrifikasjonen måles. Resultatene må bearbeides i en modell for stoffomsetning som vil være en videreutvikling av den diffusjonsmodell som er brukt i denne rapport. Den må imidlertid omfatte hele indre Oslofjord, og derved også inkludere de totale antatte positive effekter av minsket samlet fosforutslipp til overflatelaget, og se på transportsystemet mellom delene av fjorden.
2. At etterundersøkelsen (nærundersøkelsen til SRV) viser at miljøet ikke er blitt alvorlig forverret.

Både resultatet fra en prøveoverføring samt resultatet fra nærundersøkelsen til SRV kan komme til å konkludere med at den foreslåtte overføringen ikke bør gjennomføres permanent. Det er ikke sannsynlig at resultatene fra en undersøkelse under en prøveperiode vil bli helt entydige, sannsynligvis må de også bygge på en del skjønn. Imidlertid vil informasjonsgrunnlaget bli forbedret, dels ved at ytterligere ett års observasjoner foreligger (overvåkingsprogrammet), og dels fordi nærundersøkelsen (før/etter-undersøkelsen) til SRV da ventes å foreligge.

LITTERATUR

- Anon. (1985): Foreløpig rapport til Vestfjorden avløpsselskap august 1985. Avdeling for Marin Zoologi og Marin Kjemi, Universitetet i Oslo.
- Bjerkeng, B. (1972): Enkel empirisk modell for fosforomsetninger i indre Oslofjord. Norsk institutt for vannforskning (O-185/71).
- Bergstøl, P.O., Feldborg, D. og Olsen, J.G., (1981): Indre Oslofjord Forurensningstilførsler 1920-80. Tilførsler av fosfor. Norsk institutt for vannforskning (O-7808403).
- Forsskåhl, M., Laakonen, A. and Leppanen, J.M., (1982): Seasonal cycle of production and sedimentation of organic matter at the entrance of the Gulf of Finland. Netherlands Journal of Sea Research 16, 290-299.
- Hovde, H.R., (1972): Forandringer i planktonfaunaen i Indre Oslofjord de senere decennier. Hovedfagsoppgave. universitetet i Oslo, Oslo.
- Kirkerud, L., Knutzen, J., Magnusson, J., Ormerod, K. og Rygg, B. (1984): Vurdering av renskrav for sjøresipienter, rapport nr. 7. Effekter av tilførsler av plantenæringsstoffer og organisk stoff. Norsk institutt for vannforskning (O-81116).
- Nicholls, M. og Lingaard, T.A., 1982: Forurensningstilførsler til Indre Oslofjord 1981. Norsk institutt for vannforskning (O-78084).
- Norsk institutt for vannforskning (1970): Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. Del 2. Utredning av tekniske løsninger.
- Paasche, E. (1983): Planktonveksten i fjorder: Styres den av nitrogen eller av fosfor? Vann no. 3.
- Rayton, J.E.G (1980): Plankton and Productivity in the Oceans, 2.ed., volume 1: Phytoplanton p.57.
- Rosenberg, R., (1980): Effect of oxygen deficiency on benthic macrofauna in fjords. In: Fjord Oceanography. Eds: Freeland, H.J., Farmer, D.M. and Levings, C.D. Plenum Publ. Corp. New York.
- Skullerud, A.M., (1985): Statusrapport til VEAS om prosjekt "Bunndyrsamfunn og påvirkning fra rensenanlegget". Avdeling for Marin Zoologi og Marin Kjemi, Universitetet i Oslo (notat).
- Vråle, L. (1985A): Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger fra Sydslogen-feltet og ANØ-området. Norsk institutt for vannforskning (O-8413102).

Vråle, L. (1985B): Overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt til sentralrenseanlegg Vest SRV. Noen vurderinger av VA-tekniske konsekvenser. Norsk Institutt for Vannforskning (rapport O-85147).

Aas, E.,(1985): Forprosjekt for kartlegging av kloakkutslippet fra SRV i Vestfjorden. Foreløpig rapport.