

0-50/76

RESIPIENTMÆSSIG VURDERING AV DE KOMMUNALE  
OG REGIONALE AVLØPSPLANER I  
GRENLANDSREGIONEN

Blindern, den 31. august 1976

Instituttstjef: Kjell Baalsrud  
Saksbehandler: Jarle Molvær,  
cand.real.

MOL/EDA

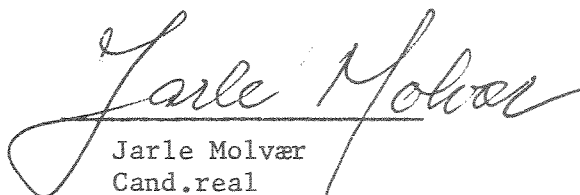
## F O R O R D

Dette arbeidet er utført etter oppdrag fra Fylkesmannen i Telemark, ved Utbyggingsavdelingen.

Formålet med rapporten er å gi en vurdering av de resipientmessige konsekvenser av de alternativene som er fremlagt i den regionale avløpsplan for Grenland, datert 15.3.1973, og i de kommunale avløpsplaner for Porsgrunn og Skien.

Foruten de nevnte avløpsplaner har en ved utarbeidelsen av foreliggende rapport benyttet resultater fra de undersøkelsene som Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for tiden gjennomfører i Skienselva og Grenlandsfjordene, og opplysninger om industriutslipp fra Statens Forurensningstilsyn.

Blindern, den 31. august 1976

  
Jarle Molvær  
Cand.real

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	1
1. GENERELT OM UTSLIPP AV KOMMUNALT AVLØPSVANN TIL FJORDOMRÅDER	4
1.1 Forurensningsvirkninger	4
1.2 Rensing og utslipp til resipient	6
2. BESKRIVELSE AV SKIENSELVA OG FRIERFJORDEN SOM RESIPIENTER FOR KOMMUNALT AVLØPSVANN	7
2.1 Topografi og ferskvannstilførsel	7
2.2 Forurensningstilførsler	7
2.3 Beskrivelse av vannutskiftning og vannkvalitet i Skienselva	10
2.3.1 Vannutskiftning	11
2.3.2 Vannkvalitet	15
2.4 Beskrivelse av vannutskiftning og vannkvalitet i Grenlandsfjordene	17
2.4.1 Vannutskiftning	17
2.4.2 Vannkvalitet	19
3. RESIPIENTMESSIG VURDERING AV DE REGIONALE OG KOMMUNALE AVLØPSPLANER	22
3.1 Alternativene i den regionale avløpsplanen	22
3.2 De kommunale avløpsplaner	29
4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	31
Referanser	33
Figurer	
Tabellfortegnelse	3

TABELLFORTEGNELSE

Side:

Tabell 1.	Oversikt over organisk stoff, nitrogen og fosfor tilført Skienselva mellom Norsjø og Friierfjorden, omregnet til person-ekvivalenter (etter NIVA 1973)	8
Tabell 2.	Oversikt over organisk stoff, nitrogen og fosfor tilført Friierfjorden før Brevik, omregnet til personekvivalenter (etter NIVA 1973)	9
Tabell 3.	Antatt tilførsel av organisk stoff, fosfor og nitrogen til Friierfjorden i 1985	10
Tabell 4.	Målinger av saltholdighet i Skienselva 1975-76	12
Tabell 5.	Beregnet transport i overflatelaget og i saltvannskilen i Skienselvas nedre del	14
Tabell 6.	Oversikt over alternativer i avløpsplanen for Grenland	23
Tabell 7.	Innlagringsberegninger for dyputslipp i Friierfjorden. Horisontalt rettet stråle, utgangshastighet 4 m/s	27

## 1. GENERELT OM UTSLIPP AV KOMMUNALT AVLØPSVANN TIL FJORDOMRÅDER

### 1.1 Forurensningsvirkninger

De forurensninger fra avløpsvann og avrenning fra nedbørfeltene som i dag synes å være av størst betydning for fjordområder, kan etter virkningen på vannet og fjordens planter og dyr deles i 4 grupper:

1. Nedbrytbare organiske stoffer
2. Næringssalter eller gjødselstoffer
3. Giftstoffer
4. Partikulært materiale, søppel og olje.

Ved rensing av kommunalt avløpsvann tar man primært sikte på å redusere de virkninger forurensningene av gruppene 1, 2 og 4 har på resipienten. En nærmere beskrivelse av de virkninger stoffene i gruppe 1 og 2 har på vannets kvalitet er gitt nedenfor.

#### Nedbrytbare organiske stoffer

Organiske stoffer tilføres fjordene hovedsakelig fra kommunal kloakk, industriutslipp og jordbruk. I tillegg kommer den naturlige tilførselen av organisk materiale gjennom avrenningen fra nedbørfeltene.

Disse forbindelser utnyttes av heterotrofe organismer (bakterier, sopp, dyr) som næring. Nedbrytningen medfører forbruk av oksygen. Hvis belastningen av organiske stoffer fra avrenning og fra utslipp av forurenset vann er stor, vil det frie oksygen i vannet helt eller delvis kunne forbrukes. Dette kan føre til at nesten alle organismer i vannet dør ut. Forsviner oksygenet helt, fås "råttent" vann, idet enkelte spesialiserte bakterier vil fortsette nedbrytningen av organisk materiale under anaerobe forhold (uten tilgang på fritt oksygen). Under de anaerobe nedbrytningsprosesser dannes forråtnelsesgasser som ammoniakk, metan og hydrogen sulfid som gjør miljøet giftig.

I elver, bekker og ellers nær utslipp av betydelige mengder organisk stoff vil det kunne vokse fram iøynefallende slimete begroings-samfunn av mikroorganismer. Slike begroingssamfunn vil kunne dekke bunnen over større områder.

#### Næringssalter eller gjødselstoffer

Planteorganismer som formerer seg og vokser trenger en rekke nærings-salter eller gjødselstoffer. Kildene er, foruten direkte utslipp av løste salter, organiske stoffer som frigjør næringssalter ved ned-brytning. Avløpsvann og utløp fra visse typer kjemisk industri, tre-foredlingsindustri og næringsmiddelindustri er ofte rikt på både løste næringssalter og organiske stoffer. Likeledes vaskes næringssalter ut fra jordbruksområder.

I overflaten, avhengig av gunstige temperatur- og lysforhold, vil næringssaltene kunne gi grunnlag for en intens vekst av organismer, først og fremst alger. Overproduksjonen av alger i overflatelaget t blir betegnet som eutrofiering, og antas i dag å utgjøre den mest utbredte, om enn ikke den farligste forurensing av våre vassdrag og fjorder. Høy produksjon av planteplankton gir vannet en brun eller grønn farge med et grumset og uestetisk utseende. Næringssaltene i vannet vil også kunne medføre en øket vekst av fastsittende alger og høyerestående planter i strandsonen. Algeoppblomstring medfører produksjon av organisk stoff, som senere synker ned i dypere vannlag hvor det nedbrytes under forbruk av oksygen. På denne måten bidrar også utslipp av næringssalter til å øke faren for "døde" eller "råtne" vannmasser i dypet, særlig i områder med dårlig vannutskiftning.

Som eksempel nevnes at i indre Oslofjord kan den produserte mengde organisk stoff ved alger, som følge av tilførsler av næringssalter til overflatelaget, anslås til 5 - 10 ganger større enn den direkte tilførsel av organisk stoff i utslippene (NIVA 1967). De næringssalter som vanligvis har størst effekt i norske fjorder, er nitrogen- og fosforforbindelser.

## 1.2 Rensing og utslipp til resipient

Ved en algeoppblomstring forbrukes helt eller delvis de tilgjengelige fosfor- og nitrogenforbindelser i vannet. Det av disse to stoffene som først tar slutt, vil da være en begrensende faktor for algeveksten, forutsatt at veksten ikke begrenses av andre forhold. Kjemisk rensing tar i dag sikte på å redusere fosformengdene fra avløpsvannet for derved å gjøre fosfor til en begrensende faktor for algeveksten.

Overflateutslipp av avløpsvannet er teknisk-økonomisk fordelaktig, men kan gi synlige forurensningseffekter i form av øket algevekst i overflatevannet. Spesielt gjelder dette nærsonen rundt utslippet. Virkningen blir mindre hvis strømforholdene er slik at avløpsvannet raskt transporteres ut av området, men synlige effekter i nærsonen kan vanligvis aldri helt unngås. På den annen side vil et overflateutslipp føre til en bedre overvåkning av forurensningseffekter fra det rensede avløpsvann.

Ved dyputslipp føres avløpsvannet ned på dypt vann. I de fleste fjorder ligger det i de øverste metrene et brakkvannslag, som er en blanding av ferskvann og sjøvann. Dette laget er lettere enn sjøvann på større dyp. Mellom disse lagene finnes et sjikt hvor saltholdigheten og tettheten avtar sterkt med minskende dyp (sprangsjiktet). Avløpsvannet som slippes ut vil blande seg med sjøvann, øke i tetthet og volum og stige opp mot overflaten til det når et nivå hvor tettheten (egenvekten) i resipienten blir mindre enn tettheten i det fortynnede avløpsvannet. Omkring dette nivået, som gjerne ligger i underkant av sprangsjiktet, blir avløpsvannet innlagret i et sjikt.

Ved dyputslipp kan man minske transporten av forurensninger til overflatelaget og dermed i stor grad hindre at næringssaltene kommer opp i den lysrike sonen hvor algeproduksjonen foregår. Virkningen blir best hvis en kan benytte seg av strømmen i dypere lag, som kan føre avløpsvannet ut av fjorden. Dyputslipp vil gi større fortynning enn et overflateutslipp.

Dypinnlagring må i de fleste tilfeller sees som et supplement til rensemetoder, og betyr vanligvis ikke at man kan senke renskravene ved utslipp i fjordområder.

## 2. BESKRIVELSE AV SKIENSELVA OG FRIERFJORDEN SOM RESIPIENTER FOR KOMMUNALT AVLØPSVANN

### 2.1 Topografi og ferskvannstilførsel

Et oversiktskart over Skienselva og Grenlandsfjordene er vist på figur 1. Skienselva på strekningen Skien-Frierfjorden er ca. 10 km lang. På elvestrekningen fins flere dype bassenger, med 32 m dyp ved Porsgrunn bybro som største dyp. Minste dyp er ca. 7 m. Skiensvassdraget er sterkt regulert, og det aritmetiske middel av vannføringen i Skienselva for tidsrommet 1937-67 er  $270 \text{ m}^3/\text{s}$  ifølge opplysninger fra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen. Vannføringen er karakterisert av en vårflom i tidsrommet april-juni, og vanligvis minimum vannføring i tidsrommet juli-august. Ukemidler av vannføringen målt ved Skotfoss i tidsrommet januar 1972 - desember 1975 er vist i figur 2.

Frierfjorden består av et relativt vidt og dypt (maks. dyp ca. 98 m) fjordbasseng som i sør smalner av og har forbindelse med de ytre fjordområder gjennom Brevikstrømmen.

Innerst inne i fjorden ligger Herrebukta med et største dyp på ca. 58 m. Mellom Herrebukta og selve Frierfjorden ligger et grunt område (25-40 m) som er gjennomskåret av en smal renne med største dyp 53 m.

I den smale Brevikstrømmen ligger terskelen til Frierfjorden. Terskelen har et største dyp på ca. 23 m, men er i dette dyp så smal at den effektive gjennomstrømningen trolig skjer fra ca. 20 m og høyere.

Frierfjorden får det alt vesentlige av sin ferskvannstilførsel fra Skienselva.

### 2.2 Forurensningstilførsler

I NIVA (1973) er gitt en oversikt over organisk stoff, nitrogen og fosfor tilført Skienselva mellom Norsjø og Frierfjorden, samt til Frierfjorden innenfor Brevik. Utslippene er omregnet til personekvivalenter (p.e.) under antakelse om at 1 p.e. tilsvarer:



Biokjemisk oksygenforbruk BOF <sub>7</sub> :		75 g O/døgn
Total nitrogen TOT N :		12 g N/døgn
Total fosfor Tot P :		3 g P/døgn

Resultatene er gjengitt i tabellene 1 og 2. Med unntak av utslippene fra Norsk Hydro, som refererer seg til 1975, stammer tallene fra tidsrommet 1972-73. Man antar imidlertid at utslippene totalt sett ikke har endret seg vesentlig siden den tid.

Tabell 1. Oversikt over organisk stoff, nitrogen og fosfor tilført Skienselva mellom Norsjø og Frierfjorden, omregnet til personekvivalenter (etter NIVA 1973)

Kilde	Organisk stoff omregnet til p.e.	Total nitrogen omregnet til p.e.	Total fosfor omregnet til p.e.
Befolkning	64 900	64 900	64 900
Fyllplass i Porsgrunn	1 407	2 318	192
Union Bruk	231 480	14 467	722
Skotfoss Bruk	25 920	1 620	11 250
Myren Tresliperi	5 920	370	2 667
Div. annen industri	7 683	785	2 351
Avrenning fra jord, skog og annet areal	-	22 300	1 900
Siloer og halmluting	3 180	400	400
Sum	340 490	105 080	84 380

Tabell 2. Oversikt over organisk stoff, nitrogen og fosfor tilført Frierfjorden før Brevik, omregnet til personekvivalenter (etter NIVA 1973)

Kilde	Organisk stoff omregnet til		Total nitrogen omregnet til		Total fosfor omregnet til	
	p.e.	%	p.e.	%	p.e.	%
Skienselva fra tabell 1	340 490	= 87,3%	105 080	= 6,9%	84 380	= 38,8%
Befolkning	1 360	= 0,4	1 360	= 0,1	1 360	= 0,6
Bamble Cellulose	48 146	= 12,3	3 010	= 0,2	6 940	= 3,2
Norsk Hydro A/S x)	-		1 395 800	= 91,8	123 300	= 56,7
Avrenning fra jord, skog og annet areal	-		15 720	= 1,0	1 570	= 0,7
Siloer	187	-	40	-	40	-
Sum:	390 183	= 100%	1 521 010	= 100%	217 590	= 100%

x) Midlere utslipp i 1975

I følge opplysninger fra Statens Forurensingstilsyn skal industriens utslipp av organisk stoff, fosfor og nitrogen reduseres vesentlig frem til 1980. Kort kan nevnes at utslippene av organisk materiale regnet som BOF<sub>7</sub> fra Union Bruk skal reduseres med ca. 40% til ca. 140 000 p.e., og utslippene av fosfor og nitrogen fra Norsk Hydro A/S skal reduseres med henholdsvis 95% (til ca. 6 000 p.e.) og 55% (til ca. 630 000 p.e.) En regner med at utslippene fra de øvrige treforedlingsbedriftene i området vil bli redusert i samme grad som for Union Bruk.

I avløpsplanen for Grenlandsregionen er rensegraden på de kommunale anleggene ikke fastlagt, men alternativene mekanisk og mekanisk/kjemisk rensing etter primærfellings-metoden er vurdert. I det etterfølgende vil en forutsette primærfelling på alle anleggene ved Skienselva, som da får en belastning på ca. 84 000 p.e., se tabell 6. Antas en rensegrad på 80% for fosfor, tilsvarer fosfor-utslippene etter rensing ca. 17 000 p.e. Med en rensegrad på 70% for organisk stoff, tilsvarer utslippene etter rensing ca. 25 000 p.e. Under forutsetning av at de kommunale renseanleggene vil være i drift i 1985, vil utslippene av organisk stoff, fosfor og nitrogen til Skienselva da være av størrelses-

orden:

Organisk stoff ca. 200 000 p.e. (25 000 p.e. eller ca. 12,5%)  
Total fosfor ca. 35 000 p.e. (17 000 p.e. eller ca. 48 %)  
Total nitrogen ca. 125 000 p.e. (84 000 p.e. eller ca. 67 %)

De kommunale utslipp er satt i parentes.

Tilsvarende er den totale belastning på Frierfjorden satt opp i tabell 3.

Tabell 3. Antatt tilførsel av organisk stoff, fosfor og nitrogen til Frierfjorden i 1985. De kommunale utslipp står i parentes.

	Organisk stoff omregnet til		Total fosfor omregnet til		Total nitrogen omregnet til	
	p.e.	%	p.e.	%	p.e.	%
Fra Skienselva	200 000 p.e.= 87 (25 000 p.e.= 11)		35 000 p.e.= 70 (17 000 p.e.= 34)		125 000 p.e.= 16 (84 000 p.e.= 11)	
Direkte utslipp	30 000 p.e.= 13 ( 2 000 p.e.= 1)		15 000 p.e.= 30 ( 1 000 p.e.= 2)		650 000 p.e.= 84 ( 6 000 p.e.= 1)	
Sum:	230 000 p.e.= 100% (27 000 p.e.= 12%)		50 000 p.e.=100% (18 000 p.e.= 36%)		775 000 p.e.=100% (90 000 p.e.=12%)	

Det er her forutsatt at driften av Bamble Cellulose vil fortsette, med en viss reduksjon av utslippene.

### 2.3 Beskrivelse av vannutskiftning og vannkvalitet i Skienselva

Siden mai 1974 har NIVA fire ganger pr. år samlet inn vannprøver ved Klosterfoss (st. S-1) og Porsgrunn bybro (st. S-2).

Fram til juni 1975 ble vannprøver tatt fra overflatelaget, mens en i september og desember 1975 samt mars 1976 også tok vannprøver fra sjøvannslaget. Vannføringen i Skienselva har variert i området ca. 120 - 400 m<sup>3</sup>/s ved prøvetakingen.

### 2.3.1 Vannutskiftning

Skienselva mellom Skien og Frierfjorden er karakterisert av et hurtig strømmende ferskvann- eller brakkvannslag og et underliggende sjøvannslag. Sjøvannslaget beveger seg langsomt opp elva for å erstatte det sjøvann som rives med av ferskvannslaget, innblandes i dette og dermed transporteres ut i fjordområdene. Et eksempel på denn lagdelingen er vist i figur 3.

Tykkelsen av overflatelaget - og dermed sjøvannslaget - vil variere med vannføringen i Skienselva og også endre seg langs elvestrekningen.

Tabell 4 gir et visst inntrykk av dette. I tillegg kan nevnes at ved målinger utenfor Porsgrunn Havnevesens kai den 21.8.1974 var brakkvannslaget ca. 3 m tykt med midlere saltholdighet på ca. 7 o/oo. Vannføringen i elva var da  $62 \text{ m}^3/\text{s}$ , målt ved Skotfoss.

Måleresultatene viser at sjøvannet trenger seg som en kile opp gjennom elva. Sjøvannskilen er tykkest i elvas nedre del. Det må understrekes at man ikke har målinger fra en typisk flomsituasjon.

Da det ikke er utført strømmålinger i Skienselva, må beregninger av overflatelagets og sjøvannslagets oppholdstider baseres på vannføringsmålinger og målinger av saltholdighet. De resultater som således fremkommer vil inneholde en betydelig usikkerhet, men gir allikevel en pekepinn om hvilke størrelser det dreier seg om.

Den midlere strømhastighet i overflatelaget kan grovt beregnes ved å dividere gjennomstrømningsarealet med volumtransporten (ferskvannstiltførsel pluss innblandet sjøvann). Volumtransporten  $V_0$  i overflatelaget kan grovt beregnes ut fra to forutsetninger:

- a) Mengden av salt i elvevannet (overflatelag og sjøvannslag) regnes som konstant under hver måleserie
- b) Volumet av elvevannet er konstant under hver måleperiode.

Tabell 4. Målinger av saltholdighet i Skienselva 1975-76

Dato	Klosterfoss				Porsgrunn bybro			
	Vannføring m <sup>3</sup> /s	Tykkelse br.vannslag m	Midlere salth. br.vannslag °/oo	Salth. i 10 m dyp °/oo	Tykkelse br.vannslag m	Midlere salth. br.vannslag °/oo	Salth. i 10 m dyp °/oo	
11.6.1975	202	6	1,3	24,5				
18.9.1975	144	5	2,2	28,7				
18.12.1975	243	8	0,5	25,0	2,5	2,7	32,6	
17.3.1976	219	8	1	22,2	3	1,7	29,2	

Disse to forutsetningene kan uttrykkes ved ligningene:

$$V_o \cdot \rho_o \cdot S_o = V_s \cdot \rho_s \cdot S_s \quad (1)$$

$$V_o = V_s + R \quad (2)$$

der  $V_o$  = Volumtransporten i overflatelaget

$V_s$  = Volumtransporten i sjøvannsstrømmen

$\rho_o$  = Vannets egenvekt i overflatelaget

$\rho_s$  = Vannets egenvekt i sjøvannsstrømmen

$S_o$  = Midlere saltholdighet i overflatelaget

$S_s$  = Midlere saltholdighet i sjøvannsstrømmen

$R$  = Netto ferskvannstilførsel

Av lign. (1) og (2) fåes:

$$V_o = \frac{S_s}{S_s - S_o} \cdot R \quad (3)$$

Resultatene av beregningene er vist i tabell 5.

Tabell 5. Beregnet transport i overflatelaget og i saltvannskilen i Skiensselvas nedre del.

Dato	Ferskvannstilførsel	Volumtransport ( $m^3/s$ )	
	$m^3/s$	Overflatelag	Saltvannskile
21.8.1974	62	95	33
18.12.1975	243	265	22
17.3.1976	219	233	14

Nedenfor Borgestad er Skiensselva jevnt over ca. 200 m bred. Bredden av elveløpet vil i noen grad avta med dypet. Forutsettes at overflatelaget på denne strekningen var ca. 3 m tykt i desember 1975 og mars 1976, kan en anslå gjennomstrømningsarealet for overflatelaget til ca.  $550 m^2$ . Midlere strømhastighet i overflatelaget ved de to tidspunktene blir da ca. 0.45 m/s. I flomsituasjonen må en vente at strømhastigheten kan nå 1 m/s samtidig som tykkelsen av overflatelaget øker.

Med en strømhastighet på 0,45 m/s har overflatelaget en oppholdstid på ca. 3 timer over strekningen Borgestad - Frierfjorden. Det er trolig realistisk å anta at oppholdstiden vil variere mellom ca. 2 timer og 8 timer avhengig av vannføringen.

De tre måleseriene en har fra området ved Porsgrunn bybro og Klosterfoss tyder på at ved midlere og lave vannføringer i Skiensselva blir sjøvannslaget på denne strekningen tappet for 10-30  $m^3/s$ . Forutsettes at volumet av sjøvannskilen er noenlunde konstant, må et tilsvarende volum av sjøvann transporteres oppover elva.

Volumet av den delen av sjøvannslaget som påvirkes av sjøvannsstrømmen kan vanskelig beregnes nøyaktig. Dette skyldes at en verken kjenner hvordan dypet av overflatelaget øker oppover elva, eller hvor dypt sjøvannsstrømmen går på strekningene mellom de grunneste partiene på ca. 7 dyp. Men måleresultatene tyder på at man ved en vannføring på 200-250  $m^3/s$  kan anta en midlere øvre grense på 4 m dyp for sjøvannslaget på strekningen Porsgrunn - Skien. Antas videre at sjøvannslaget fra 4-8 m blir fornyet av sjøvannsstrømmen, og at bredden av laget er ca. 100 m, blir volumet ca.  $4 \cdot 10^6 m^3$ .

Med en volumtransport på 10-30 m<sup>3</sup>/s i sjøvannsstrømmen, fornyes da sjøvannslaget med 2-4 døgns mellomrom. Man skal imidlertid være oppmerksom på at sjøvannsstrømmen vil være sterkest like under sprangsjiktet og at utskiftningen av den dypeste delen av sjøvannslaget kan foregå vesentlig langsommere.

I bassengene med dyp på 15-30 m fornyes vannmassene trolig bare når sjøvannsstrømmen iblant transporterer særlig tungt vann (salt og kaldt) opp elva.

I de relativt smale og grunne partier av elva kan det tenkes at overflatelaget vil fortrenge sjøvannslaget i flomsituasjoner.

### 2.3.2 Vannkvalitet

#### Oksygenforhold

De utførte målinger i overflatelaget viser jevnt over tilfredsstillende oksygenforhold. Årsaken er at vannmassene på grunn av turbulens er i god kontakt med atmosfæren.

Det underliggende sjøvannslag er åpenbart hardt belastet med organisk stoff som nedbrytes under forbruk av oksygen. I september 1975 ble målt 0,44 ml H<sub>2</sub>S/l på 10 m dyp ved Klosterfoss. På samme dyp ved Porsgrunn bybro var oksygeninnholdet 4 ml O<sub>2</sub>/l, d.v.s ca. 70% oksygenmetning.

I desember 1975 var oksygenkonsentrasjonene på 12 m dyp ved Klosterfoss og Porsgrunn bybro henholdsvis 1,6 ml O<sub>2</sub>/l (ca. 24 % metning) og 2,5 ml O<sub>2</sub>/l (ca. 40% metning).

I mars 1976 var oksygenkonsentrasjonene i 10 m dyp ved Klosterfoss og Porsgrunn bybro henholdsvis 5,1 ml O<sub>2</sub>/l og 5,6 ml O<sub>2</sub>/l, som tilsvarer 60 - 70% metning. Siden målingene i desember 1975 hadde det åpenbart skjedd en vesentlig fornyelse av sjøvannslaget. Bunn-dypet på begge stasjonene er ca. 15 meter.

Måleresultatene viser at vannutskiftningen i sjøvannslaget i Skienselva er for dårlig til at man kan unngå kritiske oksygenverdier, med de nåværende belastninger med lett nedbrytbart organisk stoff.



### Fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner

Resultatene av NIVAs målinger av total fosfor (Tot P) og total nitrogen (Tot N) i Skienselvas overflatelag er vist på figurene 4a, c. Både ved Klosterfoss og ved Porsgrunn bybro ligger fosforkonsentrasjonene i området 6-30  $\mu\text{g P/l}$ , med ca. 12  $\mu\text{g P/l}$  som aritmetisk middel over måleperioden (8 måleserier).

Nitrogenkonsentrasjonene ligger meget høyt, 310-1600  $\mu\text{g N/l}$  målt som total nitrogen, med ca. 750  $\mu\text{g N/l}$  som aritmetisk middel over måleperioden.

Verken for fosfor eller nitrogen kan en se noen generell økning i konsentrasjonene mellom Skien og Porsgrunn bybro.

Resultatene tyder på en markert kloakkvannsbelastning over hele elvestrekningen fra Skien til Porsgrunn..

Fra sjøvannslaget har en tre måleserier, tatt i september og desember 1975 samt mars 1976. Dette er for lite materiale til å bygge noen konklusjoner på, men for de tre måleseriene lå fosforkonsentrasjonene i sjøvannslaget klart over konsentrasjonene i overflatelaget, henholdsvis 16-46  $\mu\text{g P/l}$  i sjøvannslaget og 8-16  $\mu\text{g P/l}$  i overflatelaget, målt som totalt fosfor. Konsentrasjonene i sjøvannslaget passer med konsentrasjonene 4-12 m dyp i Frierfjorden, d.v.s. den vannmassen som sjøvannsstrømmen bringer opp i Skienselva.

Resultatene tydet også på en viss økning av fosforkonsentrasjonene i sjøvannslaget nedover elva.

Relativt til overflatekonsentrasjonene lå nitrogenkonsentrasjonene i sjøvannslaget langt lavere, i området 50-415  $\mu\text{g N/l}$  regnet som totalt nitrogen. Ved to av de tre måleseriene var nitrogenkonsentrasjonene ved Klosterfoss høyere enn ved Porsgrunn bybro. Som for fosfor stemmer konsentrasjonene av total nitrogen i Skienselvas sjøvannslag noenlunde med konsentrasjonene i 4-12 m dyp i Frierfjorden.

## Organisk materiale

Analyseresultatene for total organisk karbon (TOC), suspendert tørrstoff (STS) og suspendert gløderest (SGL) for overflatelaget ved Klosterfoss og Porsgrunn bybro er vist i figurene 4 a - d.

Det fremgår at innholdet av total organisk karbon og suspendert tørrstoff i overflatelaget jevnt over avtar noe nedover elva. Verdiene for suspendert gløderest viser derimot oftest en økning, noe som skyldes at mengden av organisk materiale avtar. Det er da nærliggende å trekke den slutning at reduksjonen i de to første parametre skyldes at mye organisk materiale fra utslipp fra blant annet treforedlingsindustri og kommunal kloakk på strekningen Skien - Porsgrunn synker ned i saltvannskilen og nedbrytes, mens det langsomt transporteres oppover elva igjen eller sedimenterer. At måleresultatene fra sjøvannslaget ligger like høyt eller høyere enn for overflatelaget, synes å bekrefte dette. På bunnen er påvist tilslamming av store mengder trefiberholdig materiale samt hydrogensulfidholdige råtne sedimenter (NIVA 1976 b).

### 2.4 Beskrivelse av vannutskiftning og vannkvalitet i Grenlandsfjordene.

#### 2.4.1 Vannutskiftning

I NIVA (1975) og NIVA (1976a) er redegjort for resultatene av de undersøkelser av vannutskiftningsforholdene som til nå er utført i Frierfjorden. Her vil en helt kort gjengi noen av resultatene.

Vannmassene i fjordområdene kan generelt inndeles i fire lag (figur 5) - et overflatelag, et overgangslag (sprangsjikt) mellom overflatelaget og det underliggende intermediære sjøvannslag og dypvannet.

Overflatelaget i Frierfjorden og de utenforliggende fjordområder er ca. 1-7 m tykt, med saltholdighet på ca. 0,5-10 o/oo, varierende med ferskvannstilførselen.

Denne brakkvannsmassen strømmet raskt ut gjennom fjordområdene. For Frierfjorden som helhet vil teoretisk oppholdstid for brakkvannet være i området 1,5 - 5 døgn, avhengig av ferskvannstilførselen.

For selve brakkvannsstrømmen vil oppholdstiden være betydelig kortere enn dette, trolig 8-20 timer, og dermed betydelig lengre i områdene med svakest strøm (Herrebukta og østsiden av Frierfjorden).

For strekningen Brevik - Langesundsbukta er oppholdstiden beregnet til mellom 5 og 20 timer, avhengig av ferskvannstilførselen.

I Frierfjorden begynner det intermediære vannlag oftest i 6-8 m dyp og når ned til ca. 30 m. I fjordområdene utenfor Brevik opptrer vanligvis et intermediært vannlag mellom 6-8 m og ca. 50 m dyp.

Utskiftningen av det intermediære vannlag i fjordområdene er i hovedsaken resultat av tidevann, den estuarine kompensasjonsstrøm og mer sporadiske innstrømninger av nytt vann over tersklene ved Kjørtingen og Brevik.

Ved en midlere tidevannsvariasjon på 0,25 m og et fjordareal på ca. 20 km<sup>2</sup>, vil et vannvolum på ca.  $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  bli transportert ut og inn gjennom Brevikstrømmen to ganger i døgnet. Antas at ca. 30% av dette vannvolumet fornyes ved hver tidevannssyklus, medgår ca. 100 døgn i før hele vannmassen mellom ca. 6 m og 25 m dyp i Frierfjorden er utskiftet gjennom ren tidevannsfornyning.

Beregninger av volumtransporten ved den estuarine kompensasjonsstrømmen viser at dennes bidrag til vannutskiftningen trolig kan være betydelig større enn tidevannsutskiftningen, sannsynligvis i området  $5-40 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$ . Det må presiseres at beregningene er beheftet med store usikkerheter. Imidlertid gir resultatene en pekepinn på størrelsen av disse transportene.

Det er videre viktig å være oppmerksom på at den estuarine kompensasjonsstrømmen trolig er konsentrert om de områder hvor brakkvannsstrømmen er sterkest og ventelig bidrar lite til utskiftningen i Herrebukta og på Frierfjordens østside.

Større innstrømninger av nytt vann fra Skagerrak til de ytre fjordområdene medfører vanligvis en innstrømning over Brevikterskelen og dermed til delvise fornyelser av det intermediære vannlag i Frierfjorden. Dette synes å foregå tre - fem ganger pr. år.

Dypvannet i Frierfjorden ligger vanligvis mellom ca. 30 m og bunn. Det skiller seg fra det overliggende intermediære vannlag ved at det oftest er nokså homogent hva temperatur og saltholdighet angår, og periodevis er helt stagnant.

Dypvannet i Eidanger-, Brevik- og Langesundsfjorden ligger oftest mellom 60 - 70 m og bunn. Det er imidlertid mindre homogent og fornyes oftere enn Frierfjordens dypvann.

Dypvannet i fjordområdene fornyes under større innstrømninger av tungt vann fra Skagerrak. Ved disse innstrømmingene fornyes dypvannet i fjordområdene utenfor Brevik 1 - 2 ganger pr. år. Terskelen ved Brevik hindrer oftest tilsvarende utskiftninger av Frierfjordens dypvann, og de foreliggende resultatene tyder på at dypvannet har stagnante perioder på 1 - 2 år.

Graden av fornyelse vil imidlertid variere fra gang til gang, med 70 - 75% fornyelse som maksimum, og kanskje 10 - 15% som minimum.

#### 2.4.2 Vannkvalitet

##### Oksygenforhold

Oksygenforholdene i Frierfjorden og tilliggende fjordområder er omtalt i blant annet Brækken (1966), Danielsen og Føyn (1973) og NIVA (1976a, c).

I brakkvannslaget og sprangsjiktet er oksygenforholdene tilfredsstillende, med vanligvis mer enn 90% oksygenmetning.

I Frierfjordens intermediære vannlag mellom ca 8 og ca 30 m vanligvis, vil oksygenforholdene variere som følge av tidevannsstrømmer, sporadiske terskeloverskyllinger og fornyelsen ved den estuarine kompensasjonsstrømmen. I figur 6 er vist oksygenvariasjonene på en stasjon midt i Frierfjorden for tidsrommet mars 1974 - desember 1975 (etter NIVA 1976a). Foruten tidsvariasjonene som skyldes de nevnte fysiske prosesser, fremgår også at oksygenforholdene under ca. 25 m dyp jevnt over var under 3 ml O<sub>2</sub>/l, som må kalles mindre tilfredsstillende for marine organismer.

Med unntak av tidsrommet umiddelbart etter en større dypvannsfornyelse (mars-april 1974) må oksygenforholdene i dypvannet betegnes som kritiske. Det opptrer lange perioder da hele vannmassen under ca. 40 m dyp er nærmest fri for oksygen, eller bare inneholder hydrogen-sulfid (råttent vann).

Også i fjordområdene utenfor Brevik, og da spesielt Eidangerfjorden, blir dypvannets oksygeninnhold betydelig redusert gjennom nedbrytning av organisk materiale.

Vannmassene i Eidangerfjorden har trolig relativt lang oppholdstid, og man kan således forestille seg fjorden som et slags "sedimenteringsbasseng" der dypvannet blir særlig utsatt for stor belastning med forurensninger. Både i 1974 og 1975 ble det om høsten observert oksygenverdier i området,  $2,6 - 3,0 \text{ ml } O_2/l$  nær bunnen av fjorden.

Dette vitner om periodevis dårlige oksygenforhold.

#### Fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner

Overflatelaget i Frierfjorden mottar utslipp av store mengder fosfor og nitrogen fra kommunal kloakk og industri (tabell 2).

En undersøkelse i 1971-72 (NIVA 1973 a) viste at fjorden var overgjødslet, og gjødsel-påvirkningen kunne gjøre seg gjeldende helt til Langesund. Målingene viste også at innholdet av fosfat var hovedbestemmende for vannets evne til å underholde en høy planktonbestand.

NIVAs undersøkelser i 1974-75 bekrefter dette bilde (NIVA 1976 c), men viste også at konsentrasjonene av ortofosfat i overflate-

laget sommeren 1975 var lavere enn i 1974. Dette kan ses i sammenheng med at gjennomsnittlig fosfatutslipp fra Norsk Hydro A/S var redusert fra 0,55 tonn P/døgn siste halvår i 1974 til 0,37 tonn P/døgn i 1975. Resultatene kan videre tyde på at en i 1975 var kommet til en grense der ytterligere reduksjon av fosforutslippene vil gi en reduksjon av planteplankton-produksjonen i Frierfjorden.

I det intermediære vannlag er konsentrasjonene av fosfor- og nitrogenforbindelser klart lavere enn i overflaten. Dette skyldes at tilførslene er langt mindre, samt at vannutskiftningen er relativt god på grunn av tidevannsstrømmer, meteorologisk genererte strømmer, den estuarine kompensasjonsstrømmen og mer sporadiske terskeloverskyllinger.

I dypvannet opptrer meget høye konsentrasjoner av ortofosfat (opptil 220 µg P/l) i perioder når dypvannet er stagnant. Likeledes opptrer høye konsentrasjoner av nitrogenforbindelsene nitrat + nitritt mens vannmassen er oksisk, og ammonium når dypvannet er anoksisk.

Også fjordområdene utenfor Brevik og særlig Eidangerfjorden er hardt belastet med plantenæringssalter. En betydelig del av forurensningene i Eidangerfjorden må en anta skyldes at brakkvann fra Frierfjorden tar veien inn fjorden.

### 3. RESIPIENTMESSIG VURDERING AV DE REGIONALE OG KOMMUNALE AVLØPSPLANER

Da rensegraden ved anleggene ikke er fastlagt, vil en i de etterfølgende vurderingene ta utgangspunkt i mekanisk/kjemisk rensing etter primærfellingsmetoden. Primærfelling gir 80 - 85% reduksjon av fosforutslippene og ca. 70% reduksjon i utslippene av nedbrytbart organisk stoff.

Det er viktig å være klar over at rensingen i seg selv vil bety en bedring for alle resipienter i forhold til dagens situasjon. Dette gjelder uavhengig av utslippssted og utslippsdyp.

#### 3.1 Alternativene i den regionale avløpsplanen

En oversikt over de forskjellige alternativene er gitt i tabell 6. (etter Grenland Regionplanråd. Avløpsplan, Del 2, 1973). I det etterfølgende vil en vurdere de virkninger renseanleggene og utbyggingsalternativene vil få på resipienten.

##### Alternativ 1.

Renseanlegg RS 1 (17 100 p.e.) ved Elstrøm er ikke vurdert da det er felles for alle alternativer, og en mangler kjennskap til de kjemiske og biologiske forhold i utslippsområdet.

Renseanlegg RP 2 ( 6 000 p.e.) ved Herøya er planlagt med utslipp til Gunnekleivfjorden. Man har i dag ingen belastningstall for dette området, og sett i lys av de store industriutslippene til fjorden er det uvisst om en rensing av det kommunale avløpsvann vil medføre noen merkbar bedring av vannkvaliteten. Ved en eventuell hel eller delvis gjenfylling av Gunnekleivfjorden bør avløpsvannet overføres til Frierfjorden i form av et dyputslipp.

Etter vedtak i Porsgrunn kommune skal renseanlegg RP 3 (15 000 p.e.) ved Nystrand slåes sammen med renseanlegg RP 4 ved Heistad. Denne sammenslåingen er resipientmessig gunstig, idet det betyr en avlastning på den indre del av Eidangerfjorden. Mulighetene for fortynning og videretransport av avløpsvannet er også bedre i

Tabell 6. Oversikt over alternativer i avløpsplanen for Grenland

Alternativ	Renseanlegg	Belastning p.e.	Beliggenhet	Resipient	Kommentar
1	RS1 RF1  RP2 RP3  RP4	17 100 67 000  6 000 15 000  16 200	Elstrøm Knardals- strand Herøya Nystrand  Heistad	Skienselva "  Frierfjorden Eidanger- fjorden "	{ Utslipp på Kote -7 m i Skienselva
1.1	RF1  RS1 RP2 RP3 RP4	67 000  } Som ved alternativ 1	Knardals- strand	Frierfjorden	
1.2	RS1 RF1 RP4 RP5	} Som ved alternativ 1  21 000	Frierfj. østside	Frierfjorden	Erstatter RP2 og RP3
1.3	RS1 RF1 RP5 RP4	} Som ved alternativ 1.2  16 200	Heistad	Brevik- strømmen	
1.4	RS1 RF1 RP2 RP4	} Som ved alternativ 1  31 200	Heistad	Eidanger- fjorden	RP3 overføres til RP4
1.5	RS1 RF1 RP2 RP4	} Som ved alternativ 1.4  31 200	Heistad	Brevik- strømmen	
3	RS1 RF3	17 100 111 100	Elstrøm Trosvik	Skienselva Brevik- strømmen	{ Fellesanlegg for Skien, Porsgrunn Bamble kommune
3.1	RS1 RF3	17 100 104 000	Elstrøm Trosvik	Skienselva Brevik- strømmen	{ Fellesanlegg for Skien og Porsgrunn kommune



fjordens ytre deler. Renseanlegg RP 3 faller dermed ut, og renseanlegg RP 4 vil bli vurdert under alternativ 1.4.

For renseanlegg RF 1 (67 000 p.e.) ved Knardalsstrand angir alternativ 1 utslipp til Skienselva. Dette kan foregå som utslipp til elvas overflatelag eller utslipp til sjøvannslaget.

Ved overflateutslipp til Skienselva fra RF 1 vil avløpsvannet relativt raskt bli ført med brakkvannsstrømmen ut gjennom Frierfjorden og til de ytre fjordområder. Avløpsvannets innhold av plantenæringsssalter vil være direkte tilgjengelig for plankton i overflatelaget, og således bety en fortsatt gjødsling av fjordområdets overflatelag. Med den størrelsen tilførselene av fosfor og nitrogen til Frierfjorden vil ha i 1985 (se tabell 3), er det en mulighet for at plantenæringssaltene vil bli forbrukt inne i Frierfjorden og således ikke direkte bidra til planktonoppblomstringer i de ytre fjordområder. Man må imidlertid likevel regne med at brakkvannsstrømmen fra Frierfjorden vil tilføre Brevik-, Eidanger- og Langesundsfjordene betydelige mengder plankton som vil kunne prege overflatelaget i disse områdene.

Alternativ 1 forutsetter utslipp fra RF 1 på kote -7 i Skienselva. Dette er i sjøvannslaget hvor saltholdigheten ifølge målinger i Frierfjorden og høyere oppe i Skienselva vil variere i området ca. 25 - 32 o/oo. I overflatelaget vil saltholdigheten ventelig variere med vannføringen innenfor området 0.5 - 8 o/oo. De to vannmasser vil oftest være noenlunde homogene og skilt av et markert sprangsjikt.

Ved et utslipp fra RF 1 på kote -7 i Skienselva vil trolig avløpsvannet på grunn av innblanding av sjøvann bli for tungt til å holde seg i overflatelaget, men innlagres i sprangsjiktet eller i sjøvannslaget like under dette. Det er derfor sannsynlig at avløpsvannet ved et slikt utslipp blir fanget opp av den inngående sjøvannsstrømmen og ført oppover elva.

Også ved en slik innlagring vil avløpsvannet etterhvert bli innblandet i overflatelaget og transportert nedover elva igjen. Effektiviteten av en slik transport-mekanisme og forventede konsekvenser for kvali-

teten av sjøvannslag og overflatelag kan best vurderes ved en teoretisk modell.

Det er imidlertid klart at den delen av avløpsvannet som vil bli transportert oppover i elva må medføre en tilleggs-belastning på både sjøvannsmassen og overflatelaget i dette området. Dette er lite ønskelig, da Skienselva også i fremtiden vil bli utsatt for blant annet store utslipp av organisk materiale, jfr. tabell 3.

Et annet vesentlig moment å ta i betraktning ved utslipp på kote -7 er at avløpsvannet ikke må virke hindrende for sjøvannsstrømmen da denne har avgjørende betydning for fornyelsen av sjøvannslaget i elva.

#### Alternativ 1.1

Dette alternativ skiller seg fra alternativ 1 ved at avløpsvannet fra renseanlegg RF 1 slippes ut i Frierfjorden.

For et overflateutslipp til Frierfjorden gjelder de samme betraktninger som nevnt for overflateutslipp fra RF 1 til Skienselva, og det kan ikke ansees som en god løsning.

Ved et utslipp fra RF 1 på dypt vann i Frierfjorden vil en oppnå at avløpsvannet innlagres under overflatelaget hvor planteplankton produksjonen foregår. Dette er en vesentlig fordel, idet gjødsling av overflatelaget unngås. Vanskeligheten ved et slikt utslipp er å unngå at deler av det innlagrede avløpsvannet transporteres opp gjennom Skienselva ved sjøvanns-strømmen. Ved dette alternativ bør en derfor velge et utslippsdyp og et utslippsarrangement som lar avløpsvannet bli innlagret under sjøvannsstrømmen (trolig under ca. 15 m dyp). Innlagres avløpsvannet mellom ca. 15 meter og 25 meter, vil det også befinne seg i et nivå hvor forbindelsen med vannmassene utenfor Brevik er relativt god, slik at fortykning og videretransport ut gjennom fjordområdene oppnås.

En annen fordel ved dyputslipp i Frierfjorden er at en vil oppnå en "lufting" av vannmasser hvor oksygenforholdene i dag jevnt over er dårlige (under ca. 3 ml O<sub>2</sub>/l). Dette er aktuelt for området på

30 - 50 meter, se figur 6.

For å se om en slik innlagring i Frierfjorden er gjennomførbar, har en utført innlagringsberegninger for tre forskjellige vertikale tetthetsprofiler som trolig representerer det området tettheten vil variere innenfor (fig. 7).

Beregningene er utført for utslippsdyp på 30, 40 og 50 meter, med effektiv utstrømningsdiameter i diffusorhullene på 0,05, 0,1 og 0,2 meter. Som utgangshastighet for strålen er valgt 4 m/s.

Resultatet av beregningene er gjengitt i tabell 7. Den viser at en innlagring av avløpsvannet i 15 - 25 meters dyp er fullt ut mulig. Videre fremgår at tetthetsprofil 3 gir de dårligste innlagringsforhold, og at det da kreves et utslippsdyp på ca. 30 - 35 meter for å oppnå den ønskede innlagring. Fortynningen i strålens sentrum vil da være 40 - 80 ganger.

Man vil imidlertid understreke at ved et eventuelt dyputslipp til Frierfjorden må det reelle innlagringsdypet beregnes ut fra data om det aktuelle utslippsarrangement og den hydrauliske belastningen på dette. I disse innlagringsberegningene bør også et større antall vertikale tetthetsprofiler behandles. Det bør også vurderes om en undersøkelse av strømforholdene i 10 - 30 meters dyp må gjennomføres i utslippsområdet, da kunnskapen idag om disse er mangelfull.

#### Alternativ 1.2

Dette alternativ skiller seg fra alternativ 1 ved at RP 2 og RP 3 slås sammen til ett renseanlegg RP 5 (21 000 p.e.) på Frierfjordens østside. Da det allerede er avgjort at RP 3 skal slås sammen med RP 4, vurderes ikke dette alternativet.

#### Alternativ 1.3

Også dette alternativ innbefatter renseanlegg RP 5 og blir av den grunn ikke vurdert.

Tabell 7. Innlagringsberegninger for dyputslipp i Frierfjorden.  
Horisontalt rettet stråle, utgangshastighet 4 m/s.

Utslippsdyp (m)	Profil	Effektiv diameter (m)	Innlagringsdyp (m)	Max. opptrengning (m)	Senter- fortynning ved innlagring
30	1	0.05	27 - 28	24	31
		0.1	26 - 27	22	23
		0.2	25 - 26	18	15
	2	0.05	26 - 27	22	41
		0.1	25 - 26	19	29
		0.2	22 - 24	15	21
	3	0.05	22 - 23	14	79
		0.1	18 - 20	9	57
		0.2	14 - 16	6	38
40	1	0.05	31 - 32	27	88
		0.1	28 - 30	24	56
		0.2	28 - 30	20	28
	2	0.05	31 - 32	26	86
		0.1	28 - 30	23	56
		0.2	27 - 29	18	32
	3	0.05	33 - 34	25	69
		0.1	30 - 32	18	51
		0.2	25 - 27	10	37
50	1	0.05	37 - 39	29	136
		0.1	34 - 36	26	80
		0.2	30 - 33	23	51
	2	0.05	36 - 38	28	151
		0.1	34 - 36	24	88
		0.2	30 - 33	20	54
	3	0.05	38 - 40	29	142
		0.1	35 - 37	23	78
		0.2	32 - 35	14	47

#### Alternativ 1.4

Dette alternativ skiller seg fra alternativ 1 ved at det bygger på en overføring av RP 3 til RP 4 (31 200 p.e.) ved Heistad, med dyp-utslipp til Eidangerfjorden. Avløpsvannet skal innlagres under fotosyntesesesonen, og en vil få en vesentlig reduksjon både av de direkte tilførsler av næringssalter til fjordens overflatelag og av belastningen på fjordens dypvann av organisk materiale.

Som nevnt under kap. 2.4.2, antar en at store mengder plantenærings-salter og organisk materiale i dag tilføres Eidangerfjorden ved brakkvann fra Frierfjorden. Ved rensetiltakene langs Skienselva og ved Frierfjorden vil også disse forurensningstilførslene bli vesentlig redusert, men ventelig fortsatt merkbare i Eidangerfjorden.

#### Alternativ 1.5

Dette alternativ skiller seg fra alternativ 1.4 ved at avløpsvannet fra RP 4 slippes ut i Brevikstrømmen. Alternativet representerer således en bedre løsning for Eidangerfjorden enn alternativ 1.4. Etter rensing vil imidlertid fosfor-utslippet fra RP 4 tilsvare ca. 6 000 p.e., og det må ansees som usikkert om dette etter dyp-innlagring i Eidangerfjorden vil gi merkbar forringelse av vannkvaliteten der i forhold til et utslipp ved Brevik. Man vil i begge tilfeller også ha påvirkningen fra Frierfjordens brakkvann.

#### Alternativene 3 og 3.1

Disse to alternativer baseres på et felles renseanlegg RF 3 (104 - 111 000 p.e.) for Porsgrunn, Skien (Alt. 3.1) og Bamble (Alt. 3) ved Trosvik med utslipp til Brevikstrømmen samt RS 1 ved Elstrøm.

Alternativene fremtrer som resipientmessig gunstige, idet en unngår renseanlegg med tilhørende utslipp både ved Frierfjorden og Eidangerfjorden. Relativt til alternativ 1.4 vil en oppnå en reduksjon av de direkte fosforutslippene til Frierfjorden fra ca. 50 000 p.e. til ca. 35 000 p.e. (ca. 30%), - av nitrogenutslippene fra ca. 775 000 p.e. til ca. 700 000 p.e. (ca. 10%), og av organisk stoff (målt som biokjemisk

oksygenforbruk) fra ca. 230 000 p.e. til ca. 210 000 p.e. (ca. 10%).

Her er ikke tatt hensyn til bidragene av fosfor, nitrogen og organisk stoff fra nedbørfeltet ovenfor Norsjø. Disse er ikke forsøkt beregnet, men det er rimelig å anta at bidragene er forholdsvis små.

Med unntak av fosfor er reduksjon i forurensningstilførslene til Frierfjorden relativt små. Det er uvisst i hvilken grad alternativene 3 - 3.1 vil gi en større forbedring av vannkvaliteten enn f.eks. alternativ 1.1, med dyputslipp til Frierfjorden.

For Eidangerfjorden vil alternativene 3 - 3.1 medføre en reduksjon av de direkte tilførslene av fosfor, nitrogen og organisk stoff på ca. 6 000 p.e. Det er også sannsynlig at tilførslene til fjordens overflatelag av fosfor, nitrogen og organisk stoff via brakkvann fra Frierfjorden, blir noe redusert i forhold til alternativene 1.4 og 1.5. Man må imidlertid fortsatt regne med en viss diffus tilførsel av forurensninger fra nedbørsfeltet rundt fjorden.

### 3.2 De kommunale avløpsplaner

Den vesentligste forskjellen mellom de kommunale avløpsplaner for Skien og Porsgrunn og avløpsplanen for Grenlandsregionen er at de kommunale planer bygger på et renseanlegg for Skien ved Borgestad (RS 4, 40 500 p.e.) og et renseanlegg for Porsgrunn ved Knardalsstrand eller Frednes (RP 1, 26 750 p.e.) i stedet for et fellesanlegg ved Knardalsstrand (RF 1, 67.000 p.e.)

Skienselva er i dag meget hardt belastet med utslipp av blant annet organisk stoff og plantenæringsalter. Dette setter et merkbart preg på elvas overflatelag, med lukt-ulemper, turbid vann, mye suspendert materiale og begroing. I sjøvannslaget opptrer perioder med kritiske oksygenforhold, og i blant hydrogensulfidholdig (råttent) vann.

Fra et renseanlegg RP 1 (26 750 p.e.) ved Frednes eller Knardalsstrand gjelder de samme vurderinger som for renseanlegg RF 1, og en henviser til disse.

Som for renseanlegg RF 1 ved Knardalsstrand vil en ved utslipp fra RS 4 til Skienselva ha valget mellom direkte utslipp i elvas overflatelag eller innlagring i sjøvannslaget.

Sett på bakgrunn av de kritiske oksygenforholdene som med dagens utslipp kan oppstå i sjøvannslaget, og at belastningen av organisk stoff også i fremtiden blir høy, vil en innlagring av avløpsvannet i sprangsjiktet eller i selve sjøvannslaget ikke være å anbefale.

Et overflateutslipp fra RS 4 (midlere utslipp ca. 250 l/s, maksimalt utslipp ca. 650 l/s) vil gi en lavere belastning av sjøvannslaget enn et dyputslipp. Det må imidlertid vurderes om et overflateutslipp er forenlig med de estetiske og hygieniske krav til elvevannet som man gjennom de planlagte rensetiltak tar sikte på å oppfylle.

I kapittel 2.3.1 ble overflatelagets oppholdstid på strekningen Borgestad - Frierfjorden anslått til å variere mellom 2 - 8 timer, avhengig av vannføringen. Det er liten grunn til å tro at elvevannet over dette tidsrommet gjennomgår noen selvrensning av betydning. Man må derfor anta at virkningen på Frierfjordens overflatelag av et overflateutslipp ved Borgestad i hovedsaken vil bli som ved overflateutslipp ved Knardalsstrand.

Etter de kommunale avløpsplaner vil de fremtidige utslipp av organisk stoff, fosfor og nitrogenforbindelser til Skienselva fremdeles være store (se side 10), og ventelig sette et klart preg på elvevannet. Ved en sammenslåing av RS 4 og RP 1 til RF 1 vil en oppnå å redusere belastningen på elvestrekningen fra Borgestad til Frierfjorden med:

Total fosfor	8 000 p.e. eller ca. 25%
Total nitrogen	40 000 p.e. eller ca. 80%
Organisk stoff	12 000 p.e. eller ca. 5%

relativt til belastningen ved renseanlegg både ved Elstrøm og Borgestad. Det er grunn til å tro at en slik belastningsreduksjon vil gi en merkbar forbedring av vannkvaliteten i elva.

#### 4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

- I. Som et ledd i arbeidet med valg av alternativ i avløpsplanen for Grenland, er det utført en resipientmessig vurdering av de fremlagte utbyggingsalternativ samt de kommunale avløpsplanene for Porsgrunn og Skien. Vurderingene er i hovedsaken bygget på resultater fra de undersøkelser som NIVA for tiden utfører i Grenlandsfjordene, samt opplysninger fra Statens Forurensningstilsyn.
  
- II. Skienselva mellom Skotfoss og Frierfjorden samt Grenlandsfjordene mottar i dag tilførsler av store mengder forurensende stoffer gjennom kommunalt og industrielt avløpsvann. Det gjelder blant annet plantenæringsstoffer som fosfor- og nitrogenforbindelser og organisk stoff. Omregnet til personekvivalenter (p.e.) mottar Frierfjorden i dag ca. 390 000 p.e. organisk stoff, ca. 1.5 million p.e. nitrogen og ca. 217 000 p.e. fosfor. Gjennom industrielle og kommunale rensetiltak regner man i 1985 å ha redusert disse utslippene til ca. 230 000 p.e. organisk stoff, 775 000 p.e. nitrogen og 50 000 p.e. fosfor.
  
- III. Tilførslene av forurensninger setter et markert preg på vannmassene og de biologiske forhold både i Skienselva, Frierfjorden og fjordområdene utenfor Brevik. I Skienselva har overflatelaget et turbid, uestetisk utseende med høyt innhold av suspendert materiale. I det underliggende sjøvannslaget oppstår kritiske oksygenforhold som følge av belastningen med lett nedbrytbart organisk stoff. På bunnen er påvist tilslamming med store mengder trefiberholdig materiale samt hydrogensulfidholdige (råtne) sedimenter. I Frierfjorden medfører de store tilførslene av plantenæringsstoffer i en overgjødsling av overflatelaget med sterk planktonvekst i sommerhalvåret som resultat. Som følge av de direkte utslipp av organisk materiale og bidraget fra planktonproduksjonen tappes fjordens dypvann for oksygen. I lange perioder kan det observeres hydrogensulfid (råttent vann) fra bunn og opp til ca. 40 m dyp og meget dårlige oksygenforhold mellom ca. 25 m og 40 m. I likhet med Frierfjorden er også Eidangerfjorden, Brevikfjorden



og Langesundsfjorden preget av tilførsler til overflatelaget av plantenæringsalter og organisk stoff både fra Frierfjorden og lokalt. Dette resulterer blant annet i planktonoppblomstringer i sommerhalvåret og periodevis dårlige oksygenforhold i dypvannet.

- IV. Ved en vurdering av alternativene i avløpsplanen for Grenland, med utgangspunkt i resipientforholdene, utpeker alternativene 3 - 3.1 seg som gunstige, idet en unngår renseanlegg med tilhørende utslipp både til Frierfjorden og Eidangerfjorden. Det er imidlertid usikkert om dette vil gi en merkbart større forbedring i Frierfjordens vannkvalitet enn det som kan oppnås ved dyputslipp fra renseanlegg RF 1.

Av de øvrige alternativer i avløpsplanen peker alternativene 1.4 og 1.5 seg ut som gunstige. Man vil imidlertid anbefale at avløpsvannet fra renseanlegg RF 1 ved Knardalsstrand føres til Frierfjorden i form av et dyputslipp med innlagring på ca. 15 - 25 m. dyp.

- V. De resipientmessige konsekvensene av bygging av et renseanlegg RS 4 ved Borgestad med utslipp til Skienselva er vurdert. Man finner det tvilsomt om dette utslippet vil gi den reduksjonen av Skienselvas og Frierfjordens forurensnings-belastning, som bør tilstrebes, og relativt til alternativene 1.4 og 1.5 i avløpsplanen for Grenland må et renseanlegg ved Borgestad ansees som mindre gunstig.

REFERANSER

Brækken, A., 1966:

Hydrografiske undersøkelser i Frierfjorden, Hovedfagsoppgave i geografi (limnologi), Universitetet i Oslo, høsten 1966.

Det mat. nat. fak. sekretariatet, Blindern. Stensilert, 175s (Unpubl.)

Danielsen, D.S. & Føyen, L., 1973:

Frierfjorden - en vurdering av fjordsystemets vannutskiftning.

Fisken og Havet. Serie B (1973) 6:1-19.

Grenland regionplanråd. Avløpsplan, Del 2. 1973.

NIVA, 1967:

0-201 Oslofjorden og dens forurensningsproblemer I. Undersøkelsen 1962-1965. Delrapport nr. 10. En eksperimentell undersøkelse av fjordvannets gjødslingspåvirkning og den resulterende algevekst. 78 pp. (Saksbehandlere J.Kotai og O.M. Skulberg.)

NIVA, 1973a:

0-162/71 En undersøkelse av gjødslingspåvirkning i Frierfjorden. (Saksbehandlere: S.T. Källquist, P. Brettum og O.M. Skulberg.) Stensilert 37s. April 1973.

NIVA, 1973b:

0-111/70 Resipientvurderinger av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 1. Tidligere undersøkelser - Generelle forhold - Forurensningstilførsler. (Saksbehandlere: Ø. Johansen, S. Kolstad, T. Bokn og B. Rygg.) Stensilert 93s. Juli 1973.

NIVA, 1975:

0-112/75 Strøm- og sjiktningmålinger i Frierfjorden. Rapport nr. 2. Måleresultater mai-juni 1975 - Sammenfattende vurderinger. (Saksbehandler: Jarle Molvær.) 25s. + figurer. 23.10.1975.

NIVA, 1976a:

0-111/70 Resipientundersøkelse av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 4. Fremdriftsrapport fra undersøkelse av vannutskiftningen i fjordområdene mars 1974 - desember 1975. (Saksbehandler: Jarle Molvær.) 49s. + figurer. 18.5.1976.

NIVA, 1976b:

0-111/70 Resipientundersøkelse av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 3. Fremdriftsrapport fra de sedimentgeokjemiske undersøkelsene i juli 1975. (Forfatter: J. Skei) 60 s. 19.5.1976.

NIVA, 1976c:

0-111/70 Resipientundersøkelse av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 5. Fremdriftsrapport fra de hydrokjemiske undersøkelser i mars 1974 - desember 1975. (Saksbehandlere: L. Kirkerud, J. Molvær og J. Skei) Under forberedelse.

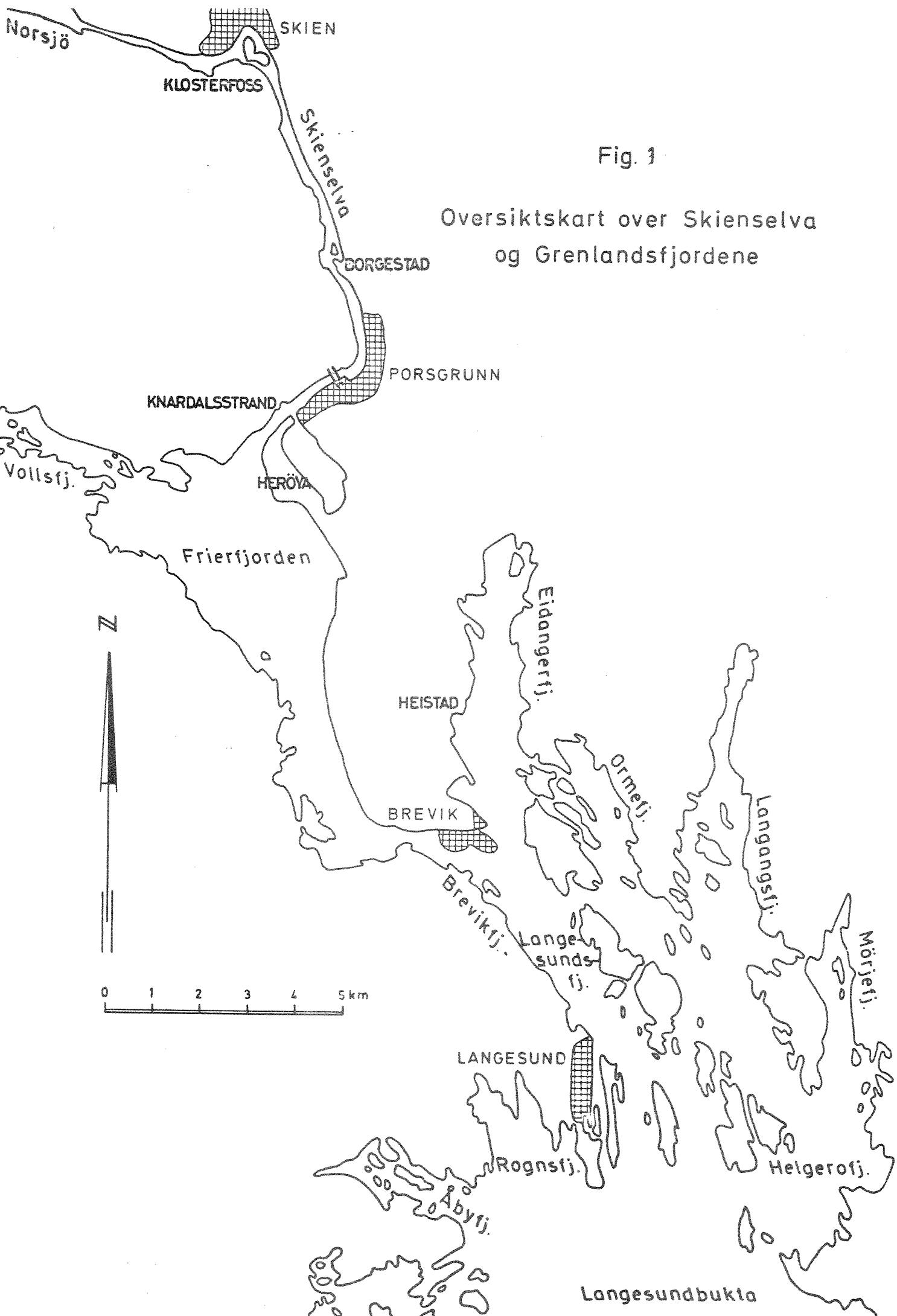


Fig. 1

Oversiktskart over Skienselva og Grenlandsfjordene

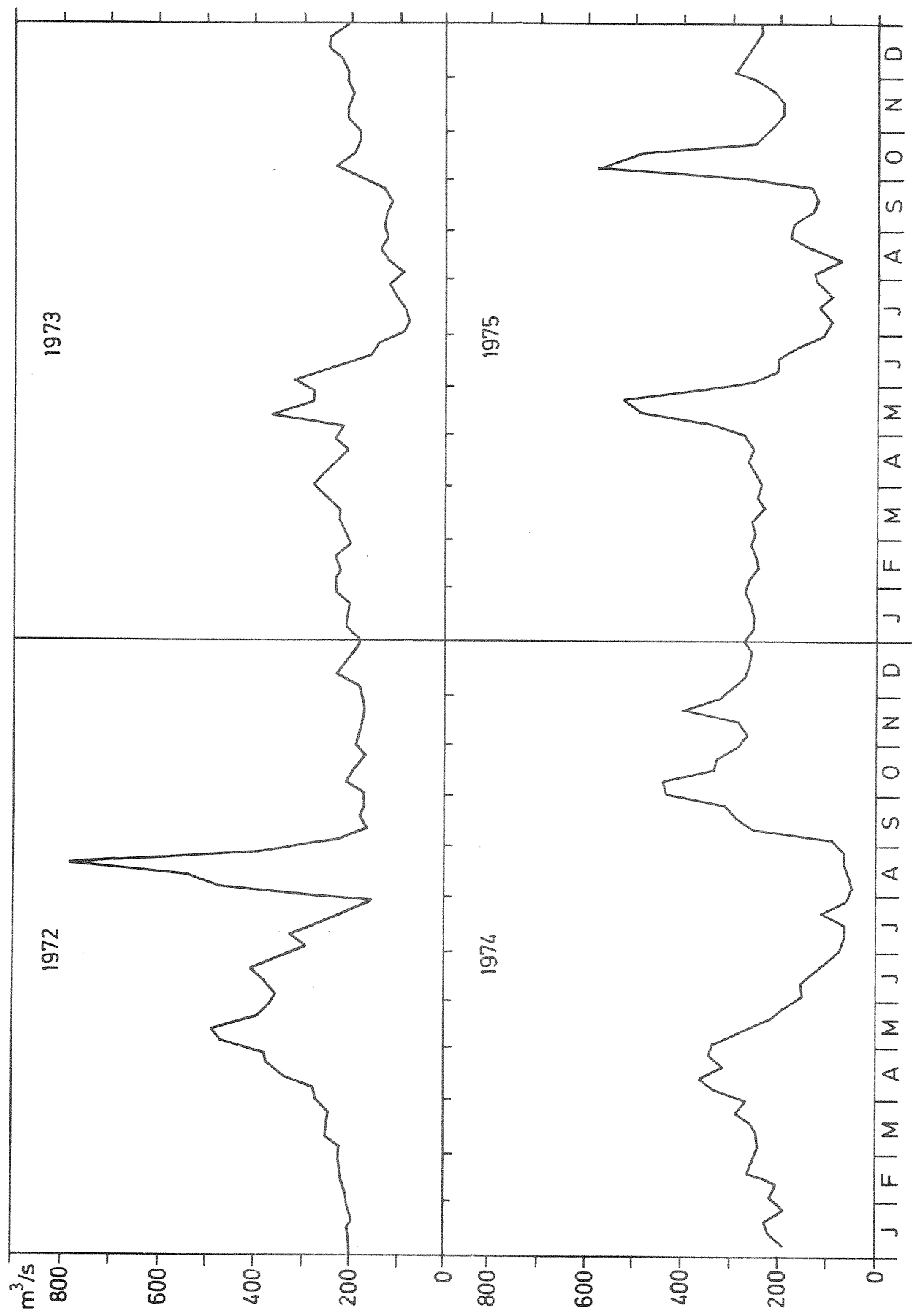


Fig.2 Ukevidler av vannføring ved Skotfoss januar 1972 - desember 1975.

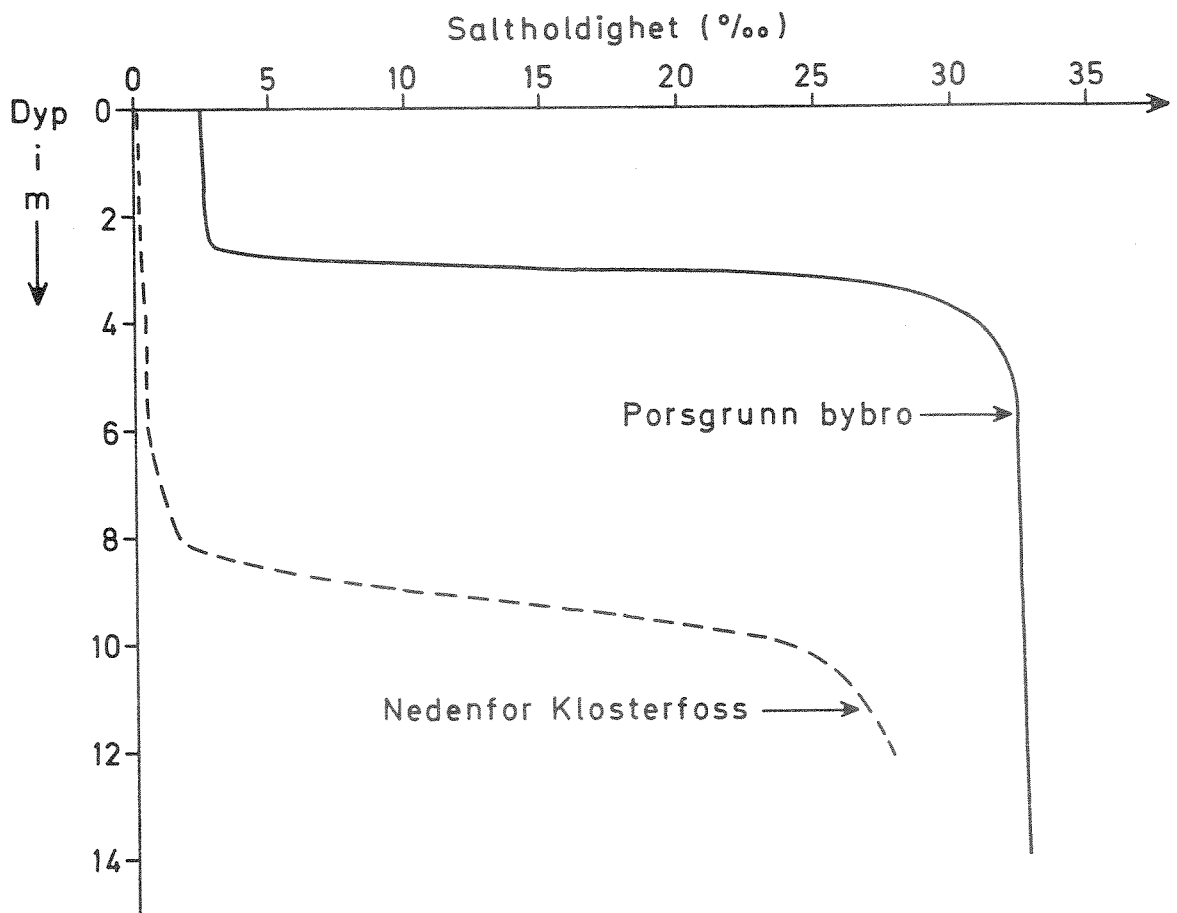


Fig. 3 Vertikale saltnighetsprofiler i Skienselva 18.12.1975. Vannføring ca. 250m<sup>3</sup>/s

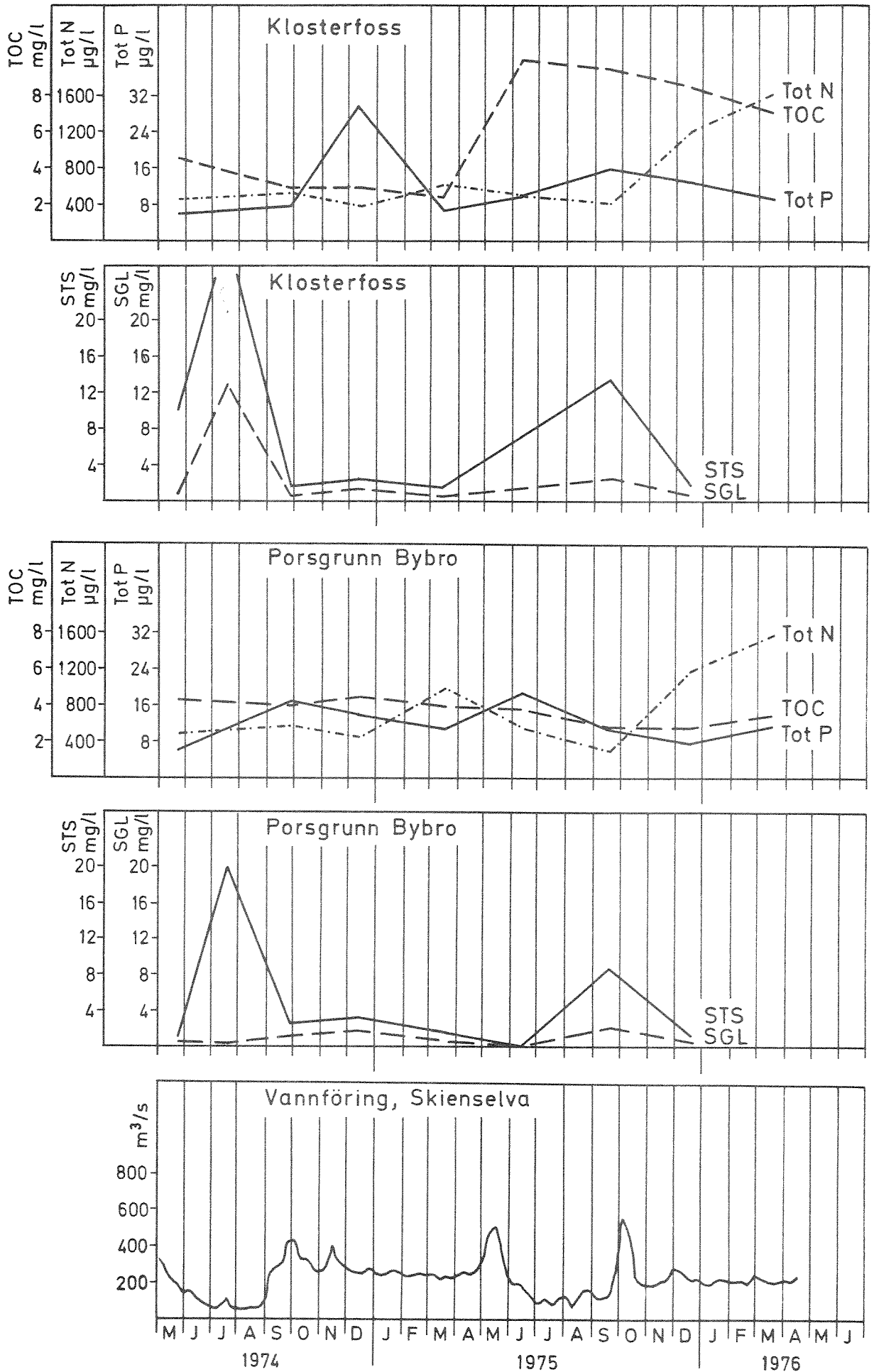


Fig. 4 Hydrokjemiske måleresultater fra overflatelaget ved Klosterfoss og Porsgrunn bybro mai 1974 - mars 1976

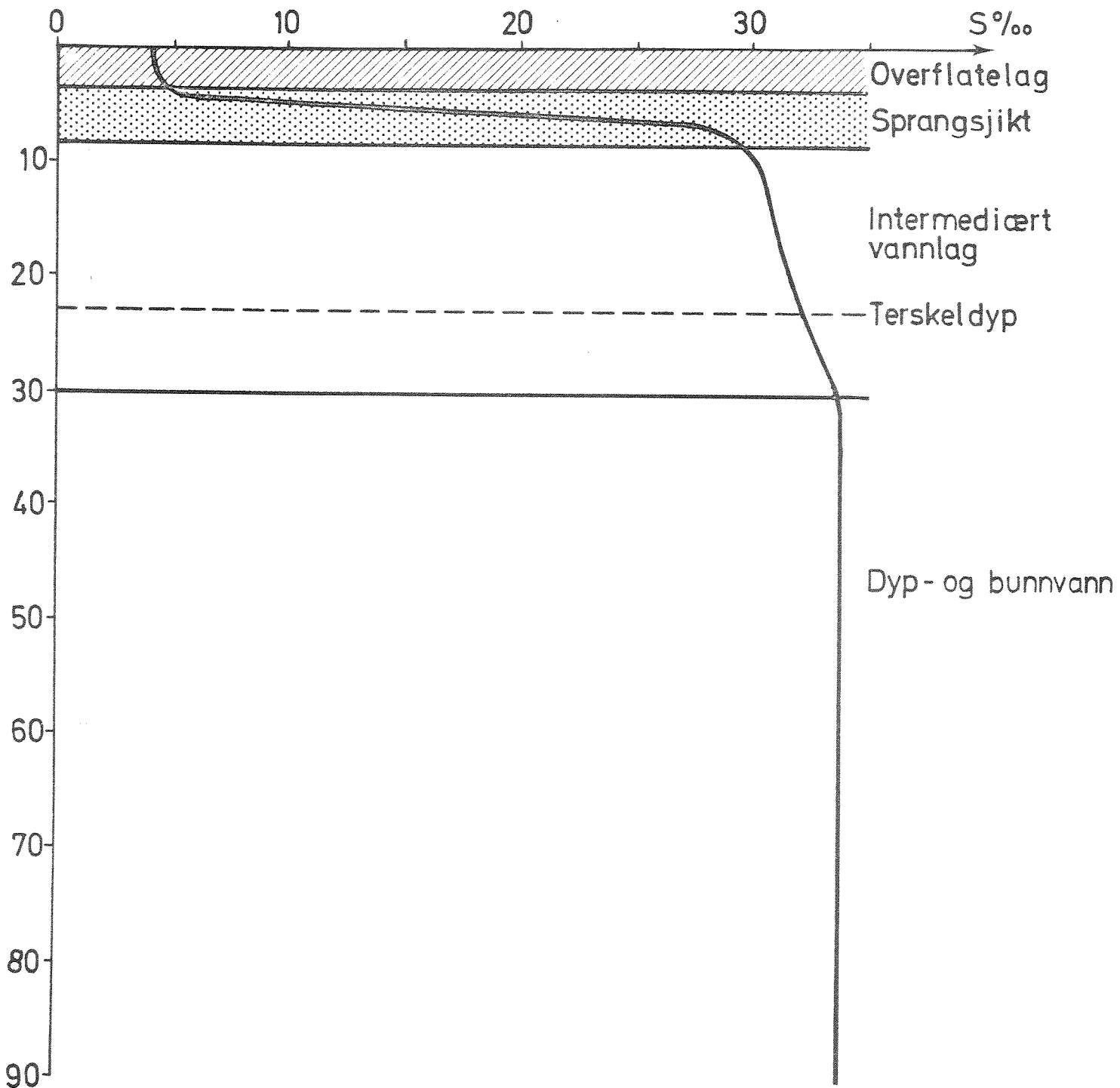


Fig. 5. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser.



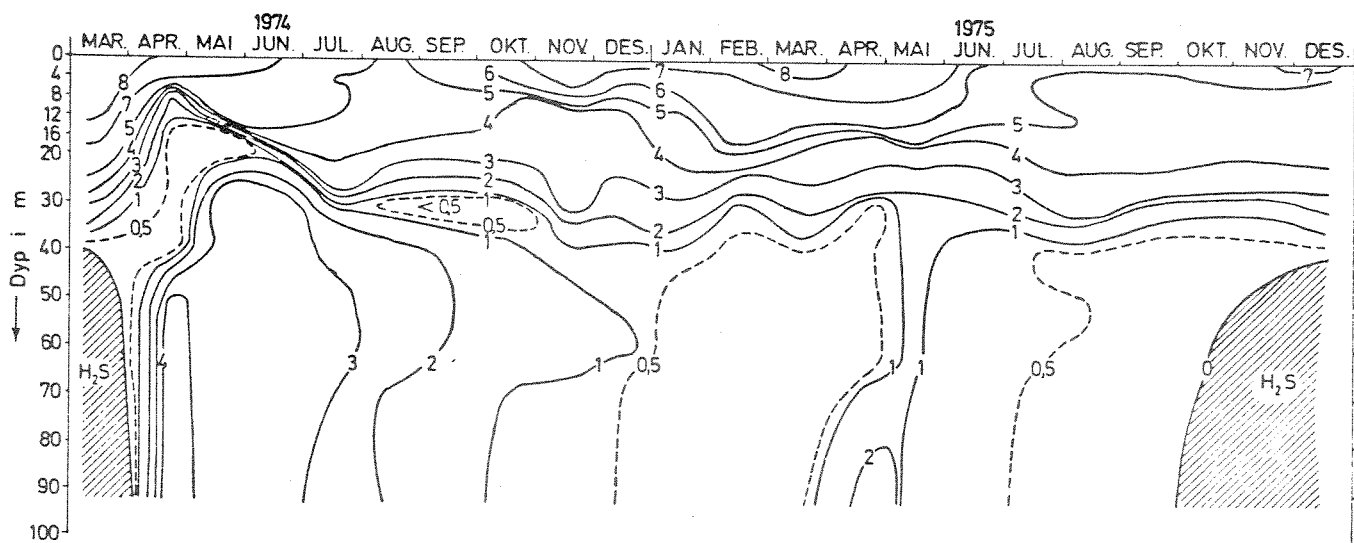


Fig. 6 Frierfjorden. Oksygenvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

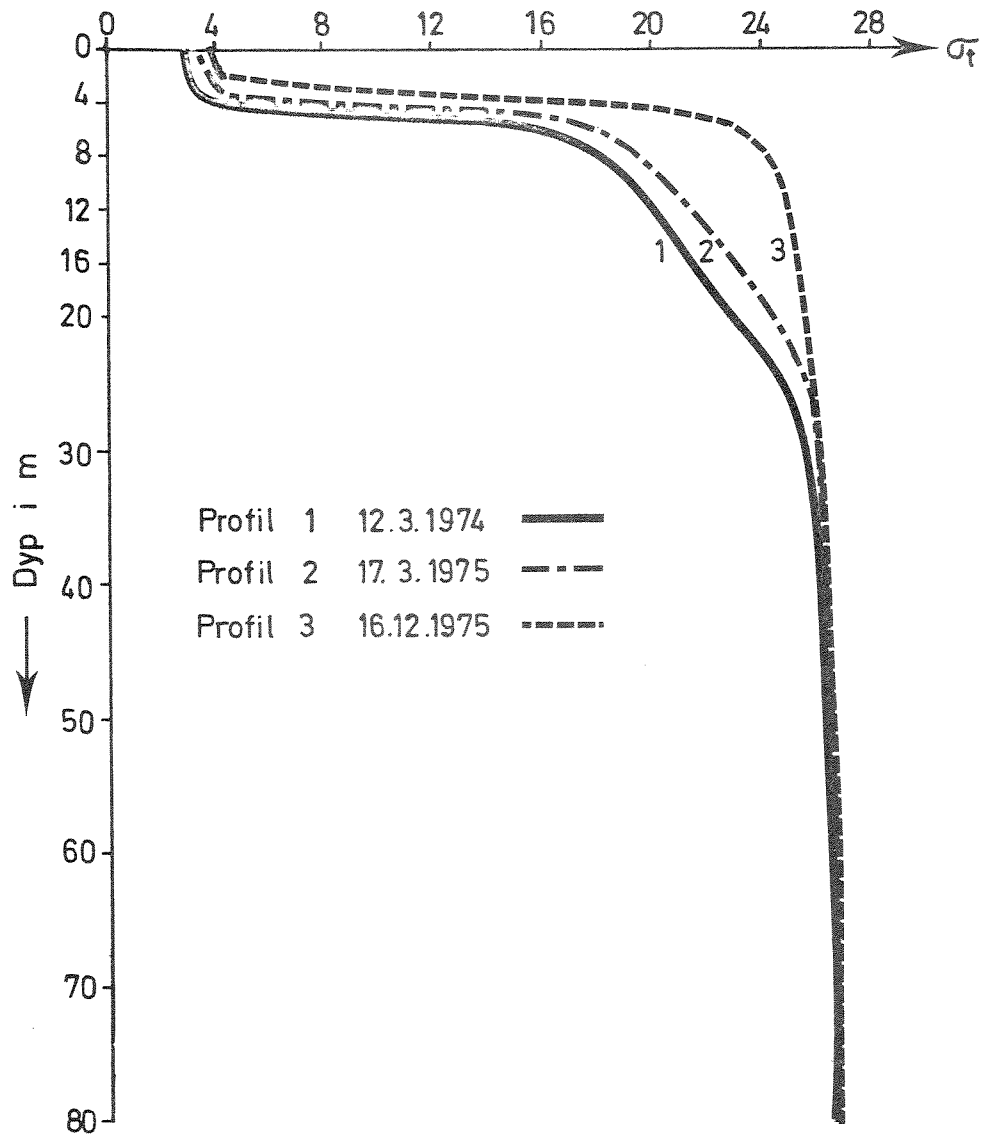


Fig. 7 Vertikale tetthetsprofiler fra Frierfjorden.

$\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$ , er  $\rho$  er vannmassens egenvekt (tetthet).