

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0 - 49/70

RESIPIENTUNDERSØKELSE AV GRISEFJORDEN OG LAFJORDEN
VED FLEKKEFJORD

September 1970

Saksbehandler: Siv.ing. Jan-Inge Kveisengen
Rapporten avsluttet juli 1971

INNHALDSFORTEGNELSE:

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. GENERELL BESKRIVELSE AV OMRÅDET	6
2.1 Grisefjorden	6
2.2 Tjørsvågbukta	6
2.3 Flekkefjorden	7
2.4 Ferskvannstilførsel	8
2.5 Tidevann	9
2.6 Kloakkvannstilførsel	9
3. BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSEN	11
4. BEREGNINGER OG VURDERINGER AV OBSERVASJONSMATERIALET	15
4.1 Fjordens oksygentilstand	15
4.2 Eutrofieringsbetraktninger	16
4.3 Vannutskiftningsforhold	18
5. SAMMENFATTENDE DISKUSJON	23
6. KONKLUSJONER	26

TABELLFORTEGNELSE:

Tabell:	Side:
2.1 Morfometriske og hydrologiske data for Grisefjorden	6
2.2 Morfometriske og hydrologiske data for Tjørsvågbukta	7
2.3 Morfometriske og hydrologiske data for Flekkefjorden	8
2.4 Ferskvannstilførsel	8
2.5 Tidevannsvolum	9
2.6 Befolkningsprognose for Flekkefjord	10
3.1 Observerte parametre ved stasjon BG 1, Grisefjorden, 15/9 1970	11
3.2 Observerte parametre ved stasjon BF 1, Grisefjorden, 15/9 1970	12
3.3 Observerte parametre ved stasjon CF 2, Tjørsvågbukta, 15/9 1970	12
3.4 Observerte parametre ved stasjon DF 1, Flekkfjorden, 15/9 1970	13
3.5 Observerte parametre ved stasjon FG 1, Ytre fjord, 15/9 1970	13

- o -

FIGURFORTEGNELSE:

Figur:

3.1 Oversiktskart	14
-------------------	----

- o -

1. INNLEDNING

I brev av 26. februar 1970 fra Flekkefjord formannskap til Flekkefjord byingeniørkontor heter det:

"I formannskapets møte den 12. februar 1970 ble det besluttet å anmode byingeniøren å undersøke på hvilken måte og hvilke kostnader det vil medføre å få foretatt undersøkelser av i hvilken grad Grisefjorden, det indre havnebasseng og Lafjorden er forurenset og hvilke tiltak som eventuelt bør settes i verk for å hindre en total forurensning. Hvilket hermed meddeles til underretning og videre forføyning."

Fra Flekkefjord byingeniørkontor mottok Norsk institutt for vannforskning (NIVA) brev datert 31. mars 1970 hvor det bl.a. heter:

"Som det fremgår av vedlagte fotostatkopi av brev fra formannskapet ønsker dette en undersøkelse av indre fjord.

Statens institutt for folkehelse har henvist meg til Dem som mulig kunne påta seg undersøkelsen.

Jeg tør spørre om De kan gjøre dette og gi meg de opplysninger som formannskapet ber om, for at dette kan ta den endelige avgjørelse."

Svarbrevet fra NIVA til byingeniøren i Flekkefjord av 8. april 1970 er gjengitt nedenfor:

"Vi viser til Deres brev av 31. mars 1970 angående en undersøkelse av fjordsystemet ved Flekkefjord. Instituttet er for tiden sterkt engasjert i flere store prosjekter, og kan vanskelig utføre noe stort arbeid ved Flekkefjord i løpet av 1970. Det vil imidlertid være mulig å foreta en innledende befaring i løpet av året. På grunnlag av erfaringene fra en slik befaring kan et program for et eventuelt videre arbeid settes opp.

Omkostningene ved en befaring og utarbeidelse av et slikt program er vanskelig å beregne eksakt, men vi antar at den samlede sum ikke vil overskride kr. 7.000.-.

I forbindelse med befaringen vil det være nyttig å kjenne den belastning fjordsystemet mottar. Det vil være til stor hjelp om det lokalt kan fremlegges en oversikt over kjente kloakkutslipp med antall personer tilknyttet, industriutslipp samt utnyttelse av arealene rundt fjordene og langs de vassdrag som munner ut i fjordene.

Vi hører gjerne Deres kommentarer til forslaget. Skulle det av spesielle grunner være nødvendig med en raskere fremføring av saken, er det mulig å endre det foreslåtte opplegg."

I oppdragsbekreftelsen fra Flekkefjord byingeniørkontor til NIVA, datert 6. juni 1970, heter det:

"En viser til instituttets brev av 8/4-70, hvor De tilbyr en vurdering av Flekkefjorden, forurensningsmessig sett. Bystyret har nu stillet inntil kr. 7.000.- til disposisjon for en slik undersøkelse.

Jeg tør derfor be Dem foreta arbeidet, og hører gjerne fra Dem når De regner med arbeidet kan utføres."

Feltarbeidet ble utført på tokt 15. september 1970.

Observasjonsmaterialet er relativt beskjedent, men likevel tilstrekkelig til å trekke visse konklusjoner av avgjørende betydning. Innenfor en større kostnadsramme ville en mer detaljert undersøkelse kunne utføres.

Om det eventuelt skulle være nødvendig og ønskelig med en videre undersøkelse, må man komme tilbake til forslag til undersøkelsesprogram.

2. GENERELL BESKRIVELSE AV OMRÅDET

2.1 Grisefjorden

Grisefjorden er betegnelsen på det indre fjordbasseng fra Loga til Flekkefjord by. Dette indre fjordbasseng står i forbindelse med det ytre fjordsystem, i første rekke til Tjørsvågbukta, ved en relativt smal og grunn kanal gjennom byen. Dette vil bevirke en beskjedent vannutskifting mellom det indre og ytre fjordsystem.

Grisefjordens nedbørfelt er beregnet til 78 km^2 . Nedbørfeltet strekker seg nordover omlag 12 km mot Gråhei. Det er lite bebygget og er i alt vesentlig kledd med glissen skog.

De viktigste data over det indre basseng, Grisefjord, fremgår av tabell 2.1.

Tabell 2.1. Morfometriske og hydrologiske data for Grisefjorden.

Lengde	ca.	2.500	m
Midlere bredde	"	400	m
Vannoverflate	"	$10 \cdot 10^5$	m^2
Største dyp	"	32	m
Totalt vannvolum	"	$14 \cdot 10^6$	m^3
Terskeldyp utover	"	3	m
Vannvolum over terskeldyp	"	$3 \cdot 10^6$	m^3
Antatt midlere tidevannsvariasjon	"	13	cm
Midlere ferskvannstilførsel	"	3,5	m^3/s
		= 0,302	mill. m^3/d

2.2 Tjørsvågbukta

Tjørsvågbukta danner den nordre del av Lafjorden mellom Flekkefjord by og Grønnes. Bukta danner naturlig et midtre basseng i denne resipientundersøkelse. Sydover står bukta i forbindelse med Flekkefjorden ved sundet ved Grønnes hvor den andre terskel i fjordsystemet er.

Nedbørfeltet til Tjørsvågbukta er beregnet til 86 km^2 .

De viktigste data over det midtre basseng, Tjørsvågbukta, fremgår av tabell 2.2.

Tabell 2.2. Morfometriske og hydrologiske data for Tjørsvågbukta.

Lengde	ca.	1.000	m
Midlere bredde	"	700	m
Vannoverflate	"	$7 \cdot 10^5$	m^2
Største dyp	"	36	m
Totalt vannvolum	"	$10,5 \cdot 10^6$	m^3
Terskeldyp utover	"	8,7	m
Vannvolum over terskeldyp	"	$6 \cdot 10^6$	m^3
Antatt midlere tidevannsvariasjon	"	17	cm
Midlere ferskvannstilførsel	"	3,9	m^3/s
		$= 0,337 \text{ mill. m}^3/\text{d}$	

2.3 Flekkefjorden

Flekkefjorden danner det ytre fjordbasseng. I denne resipientundersøkelse omtales Flekkefjorden som fjordpartiet mellom terskelen ved Grønnes og terskelen ved Kjeøy. Terskelen ved Kjeøy er den siste terskel og således den siste alvorlige hindring til en god vannutskifting før det åpne havgapet.

Nedbørfeltet til Flekkefjorden, det ytre fjordbasseng, er beregnet til 116 km^2 .

De viktigste data over dette fjordparti fremgår av tabell 2.3.

Tabell 2.3. Morfometriske og hydrologiske data for Flekkefjorden.

Lengde	ca.	3.000	m
Midlere bredde	"	930	m
Vannoverflate	"	$28 \cdot 10^5$	m^2
Største dyp	"	109	m
Totalt vannvolum	"	$140 \cdot 10^6$	m^3
Terskeldyp utover	"	21	m
Vannvolum over terskeldyp	"	$59 \cdot 10^6$	m^3
Antatt midlere tidevannsvariasjon	"	17	cm
Midlere ferskvannstilførsel	"	5,2	m^3/s
	=	0,450 mill.	m^3/d

2.4 Ferskvannstilførsel

Basert på oppgaver fra Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE) over gjennomsnittlig spesifikke avløp for ulike deler av landet kan verdien passende settes til 45 l/s.km^2 .

I tabell 2.4 er beregnet midlere ferskvannstilførsel.

Tabell 2.4. Ferskvannstilførsel.

Ferskvannstilførsel til	Nedbørfelt km^2	Spes. avløp l/s.km^2	Ferskvannstilførsel	
			m^3/s	mill. $\text{m}^3/\text{år}$
Grisefjorden v/Flekkefjord by	78	45	3,5	110
Tjørsvågbukta v/Grønnes	86	45	3,9	122
Flekkefjorden v/Kjeøy	116	45	5,2	165

2.5 Tidevann

Ifølge tidevannstabellene utgitt av Norges Sjøkartverk er den midlere tidevannsvariasjon for Mandal omlag 17 cm. Vi antar at dette tall er representativt for Flekkefjordområdet. For det indre fjordbasseng, Grisefjorden, er antatt en dempningskoeffisient på 0,75, mens denne koeffisient settes til 1,0 for det øvrige fjordsystem. Den gjennomsnittlige tidevannsperiode er 12,8 timer.

I tabell 2.5 er beregnet tidevannsvolum som senere vil bli benyttet i vannutskiftningsberegningene.

Tabell 2.5. Tidevannsvolum.

Fjordparti	Antatt tidevannsvariasjon cm	Vann- overflate m ²	Tidevannsvolum	
			pr. tidevann m ³	pr. døgn mill.m ³
Grisefjorden	13	10.10 ⁵	1,3.10 ⁵	0,24
Tjørsvågbukta	17	7.10 ⁵	1,2.10 ⁵	0,23
Flekkefjorden	17	28.10 ⁵	4,8.10 ⁵	0,90

2.6 Kloakkvannstilførsel

Statistisk Sentralbyrås fremskrivning av folkemengden til år 1990 for Flekkefjord er vist i tabell 2.6.

Tabell 2.6 Befolkningsprognose for Flekkefjord.

År	Befolkning
1970	8.519
1975	8.369
1980	8.285
1990	8.358

På bakgrunn av denne prognose vil det i beregningene bli benyttet en dimensjonerende befolkningsmengde på 8.500.

Det antas at alt kloakkvann passerer gjennom mekanisk renseanlegg. I den mest primitive form består et mekanisk renseanlegg av en septiktank. Det antas videre at i dag benyttes Grisefjorden som resipient for 1/3 av Flekkefjords kloakkvann, og at Tjørsvågbukta benyttes for de resterende 2/3. Alt septikslammet blir i dag tømt i avløpssystemet som drenerer til Austadvika i Grisefjorden.

Vi har da denne personekvivalentbelastning (p.e.belastning):

Grisefjorden

Mekanisk rensset avløpsvann 8.500 p.e. (1/3)	2.800 p.e.
Slam fra mekanisk renseanlegg 8.500 p.e. (1)	8.500 p.e.

Tjørsvågbukta

Mekanisk rensset avløpsvann 8.500 p.e. (2/3)	5.700 p.e.
Slam fra mekanisk renseanlegg 8.500 p.e. (0)	-

Med en spesifikk hydraulisk belastning på 400 l/p.d. får vi disse avløpsmengder:

Grisefjorden

$$\frac{2.800 (400) (365)}{1000} \text{ m}^3/\text{år} = 0,41 \text{ mill.m}^3/\text{år} = 1.100 \text{ m}^3/\text{d}$$

Tjørsvågbukta

$$\frac{5.700 (400) (365)}{1000} \text{ m}^3/\text{år} = 0,82 \text{ mill.m}^3/\text{år} = 2.200 \text{ m}^3/\text{d}$$

3. BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSEN

Toktet ble foretatt 15. september 1970. Det ble benyttet båt utlånt av brannvesenet.

I figur 3.1 er vist de 5 observasjonspunktene. Hvilke parametre som ble registrert under toktet eller analysert på senere, fremgår av tabell 3.1 - 3.5. Ved stasjon BG 1 ble det registrert lukt og overflatekloakk, noe som stemmer overens med observasjonsmaterialet.

Tabell 3.1. Observerte parametre ved stasjon BG 1,
Grisefjorden, 15/9 1970.
Siktedyp: 2,9 m.

Dyp m	Oksygen mg O ₂ /l	Sulfid mg S/l	Salinitet ‰
0			3,5
1			11,2
2			27,7
3			28,5
4	6,1		28,8
8	0,15		29,6
12		1,22	31,2
20		5,64	

Tabell 3.2. Observerte parametre ved stasjon BF 1,
Grisefjorden, 15/9 1970.

Siktedyp: 4,4 m.

Dyp m	Total fosfor mg P/l	Temp. C°	Salinitet °/oo
0	0,012	14,0	4,0
1			7,6
2			25,0
4	0,020	14,2	28,7
8	0,032	12,4	29,9
12	0,054	12,1	31,5
20	0,098	9,2	32,3

Tabell 3.3. Observerte parametre ved stasjon CF 2,
Tjørsvågbukta, 15/9 1970.

Siktedyp: 9,0 m.

Dyp m	Oksygen mg O ₂ /l	Sulfid mg S/l	Total fosfor mg P/l	Temp. °C	Salinitet °/oo
0			0,012	14,2	11,5
1					23,5
2					27,5
4	7,81		0,014	14,0	30,4
8	7,41		0,015	13,8	31,0
12	5,75		0,022	9,3	33,5
20		1,12	0,144	6,8	34,0
30			0,320	6,7	34,0

Tabell 3.4. Observerte parametre ved stasjon DF 1,
Flekkefjorden, 15/9 1970.

Siktedyp: 11,5 m.

Dyp m	Oksygen mg O ₂ /l	Total fosfor mg P/l	Temp. °C	Salinitet °/oo
0		0,020	14,4	9,0
1				26,8
2				28,8
4	8,16	0,010	14,0	30,6
8	7,91	0,014	14,0	30,9
12	7,76	0,010	13,5	31,5
20	7,06	0,016	9,7	33,6
40	7,16	0,024	6,7	34,3
80	3,63	0,054	6,0	34,7
100	1,97	0,070	6,0	34,7

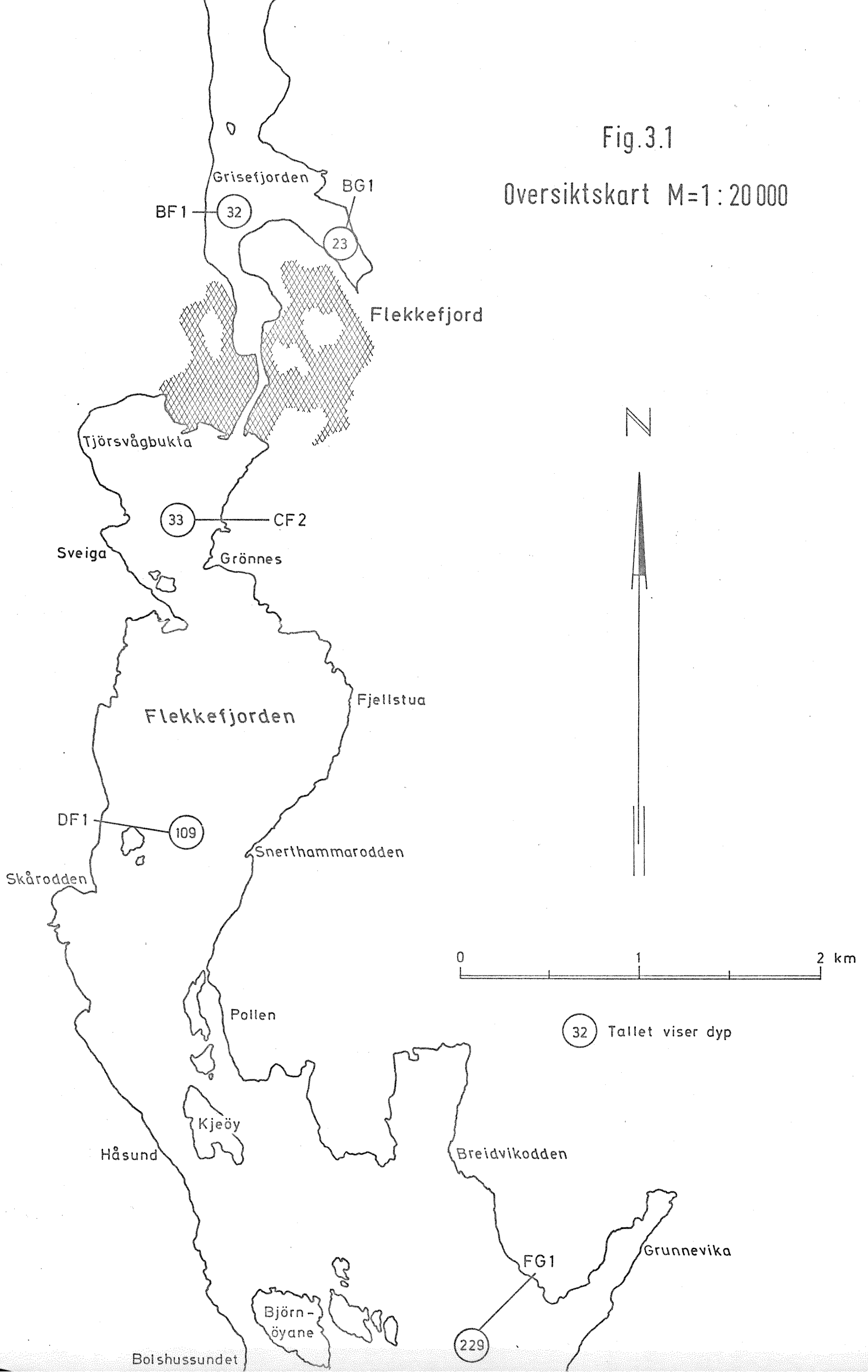
Tabell 3.5. Observerte parametre ved stasjon FG 1,
Ytre fjord, 15/9 1970.

Siktedyp: 20 m.

Dyp m	Oksygen mg O ₂ /l	Total fosfor mg P/l	Temp. °C	Salinitet °/oo
0			14,0	25,0
4	8,37	0,500		30,7
8	8,11	0,110	13,6	31,6
12	7,76	0,036	13,2	32,2
20	7,71	0,032	12,6	33,2
30	8,67	0,018	12,8	33,7
40	7,56	0,016	12,6	34,0
80	7,86	0,024		
120	7,36	0,026		34,5

Fig.3.1

Oversiktskart M=1:20 000



4. BEREGNINGER OG VURDERINGER AV OBSERVASJONSMATERIALET

4.1 Fjordens oksygentilstand

Oksygen uttrykt som mg O_2 /l angir vannets innhold av løst oksygen. Oksygeninnholdet vil variere i området 10 - 14 mg O_2 /l ved 100% metning, avhengig av temperatur og saltholdighet.

Av tabell 3.1 ser vi at Grisefjorden i praksis kan regnes som oksygenfri under 8 m dyp. Oksygenmålinger er ikke tatt ved stasjon BF 1, men den ventes ikke å være vesentlig annerledes her. Dette kritiske dyp må sees i sammenheng med terskeldypet mot Tjørsvågbukta som er 3 m. Det er her rimelig at vannutskiftningen gjør seg gjeldende i et fjordbasseng til dyp noe under terskelnivå. Vi ser videre at allerede mellom 8 - 12 m viser Grisefjorden, da spesielt Austadvika, innhold av svovel. Når vi samtidig vet at vanddypet i resipienten er 20 - 30 m, kan man forestille seg det alvorlige i den utvikling som Grisefjorden er inne i.

Fra tabell 3.3 ser vi videre at Tjørsvågbukta er i en noe bedre forfatning enn Grisefjorden idet svovel først opptrer i 20 m dybde. Dette sees igjen i sammenheng med terskeldypet på 8,7 m mot Flekkefjorden. Idet bukta stort sett har dybder på 20 - 33 m, forteller målingene at dyp-lagene har dårlig utskiftning.

Generelt kan sies at selv om omfanget av målinger og analyser er beskjedent for Grisefjorden og Tjørsvågbukta, forteller resultatene likevel at tilstanden for disse to fjordbasseng er alvorlig, og at kloakkbelastningen er langt større enn den som den naturlige renseeffekt og vannutskiftning tilsier.

Kommer vi ut i Flekkefjorden, ser vi at bildet er radikalt endret idet vi for stasjon DF 1's vedkommende finner normal grad av oksygenmetning ned til 40 m. Selv ikke på 100 m dyp finnes tegn til svovel. Dette er et forhold som man har erfart ved andre terskelfjorder, - nemlig at den første terskelen betyr en relativt beskjeden hindring for vannutskiftningen, mens den andre og eventuelt den tredje terskel skaper de store

problemer idet vannutskiftningen over disse er meget begrenset. Videre viser målinger helt ned til 120 m dyp ved stasjon FG 1 ikke tegn til oksygensvikt. Dette er naturlig idet fjorden er terskelfri syd for FG 1.

Denne serie av oksygenmålinger fra stasjonene BG 1, CF 2, DF 1 og FG 1 viser med all mulig tydelighet hvor hurtig forurensningstilstanden gjør seg gjeldende når man beveger seg innover i fjordsystemet.

4.2 Eutrofieringsbetraktninger

Vannforekomstene våre tilføres store mengder forurensninger som er meget komplekst sammensatt, og forurensningenes virkning på vannmassene er svært forskjellig, alt etter hvilken sammensetning forurensningene har, og hvordan vannforekomstenes natur er. Forurensningene kan blant annet føre til sterk vekst av bakterier, sopp, alger og høyere planter i resipienten. Vann, innsjøer og fjorder reagerer i denne henseende annerledes enn bekker og elver.

I bekker og elver skjer utskiftning av vannmassene hurtig, og ved den sterke turbulens vi vanligvis har i Norge, er oksygentilførselen god. Vi merker derfor forholdsvis sjelden særlig til oksygensvikt på grunn av utslipp og nedbrytning av organisk stoff. Likevel betyr utslipp av organisk stoff mest i disse resipienttypene.

I vann, innsjøer og fjorder skjer utskiftning av vannmassene langsomt. Her akkumuleres forurensningene, og næringsstoffer fører til vekst av organismer. Hvis denne utvikling er kommet langt, kalles resipienten eutrof eller næringsrik.

Eutrofe vannforekomster har flere karakteristiske trekk, og av disse særlig masseforekomst av alger. Resipientene blir i mange tilfeller tilført vesentlig større mengder organisk stoff ved nedbrytning av disse vekster enn den primære organiske belastning.

Fosfor- og nitrogenforbindelser synes å være de næringsstoffer som lettest kan bringes ned til slike konsentrasjoner i resipienten at sekundærproduksjonen kan reduseres.

De fleste er vel i dag av den oppfatning at man lettest har sjanse til å redusere problemene ved å begrense tilgangen på fosfor til resipienten. Enkelte mener at innflytelse av nitrogen vil være like stor, og at man i hvert enkelt tilfelle må undersøke om fosfor eller nitrogen eller begge deler må fjernes for å kunne begrense algeveksten.

For vanlig kommunalt avløpsvann kan det antas ut ifra undersøkelser som er foretatt, at fosforinnholdet i kloakkvannet er det viktigste.

Fosforbelastning

I Tyskland og Sverige regner man med et spesifikt avløp på henholdsvis 3,2 og 4 g P/person og døgn (P/p.d.), og at 50 - 60% kommer fra vaske-midlene. Man regner der med at man i løpet av de siste 10 år har fått en fordobling av fosforutslippet på grunn av de nye syntetiske vaske-midlene.

Sammensetningen av kommunalt avløpsvann har vært undersøkt i forbindelse med NIVA's Oslofjordutredning i 1962 - 1965. Der kom man til en gjen-nomsnittlig spesifikk belastning på ca. 2,5 g P/p.d., og at det fordelte seg med ca. 65% fra fækalier og urin og 25 - 30% fra syntetiske vaskemidler, resten fra andre kilder.

Undersøkelser har vist at allerede et fosforinnhold på 0,02 mg P/l kan gi anledning til grumsethet som følge av algevekst. Ved mekanisk ren-sing (f.eks. sedimentering i septiktank) antas det at ca. 15% av fosfor-komponentene fjernes fra avløpsvannet. Man kan videre anta at det ve-sentlige av fosforinnholdet i septikslammet vil være virksomt ved slam-deponering. Vi får da denne fosforbelastning:

Grisefjorden

$$0,0025 \left[(2800) (0,85) + (8500) (0,15) \right] \text{ kg P/d} = \underline{9,1 \text{ kg P/d.}}$$

Tjørsvågbukta

$$0,0025 (5700) (0,85) \text{ kg P/d} = \dots \dots \dots \underline{12,1 \text{ kg P/d.}}$$

Nitrogenbelastning

En stor del av det nitrogen som tilføres resipientene, kommer fra kommunalt avløpsvann. Andre kilder er gjødslete områder, dyrestaller og næringsmiddelindustrier.

For spesifikt avløp av nitrogen er det god overensstemmelse mellom undersøkelserne for Oslofjordutredningen og resultater fra Tyskland og Sverige. For Osloområdet har man funnet at det er realistisk å regne med spesifikt avløp på 12 - 13 g N/p.d. Ca. 70% av dette kommer fra urin og fækalier. Allerede ved et nitrogeninnhold på 0,3 mg N/l i en resipient kan uønsket stor algevekst inntreffe.

Vi ser at man kan vente at nitrogen - fosforinnholdet i kommunalt avløpsvann forholder seg som $(12 - 13) : 2,5 = \underline{5 : 1}$.

Samtidig ser vi at antatt faregrense for resipientens innhold av nitrogen og fosfor forholder seg som $0,3 : 0,02 = \underline{15 : 1}$.

Ut fra disse tall skulle fosforinnholdet i resipienten være minimumsfaktoren.

4.3 Vannutskiftningsforhold

De faktorer som i første rekke påvirker vannutvekslingen i fjorden, er tidevannspåvirkninger, ferskvannstilførsel, salinitetsforandringer i havet og vindpåvirkninger.

Tidevannspåvirkninger

Etter våre beregninger er den midlere tidevannsvariasjon i Flekkefjorden ca. 17 cm. i gjennomsnitt. For Grisefjorden er antatt en dempningsfaktor på 0,75, hvilket gir en antatt tidevannsvariasjon på ca. 13 cm. Dette resulterer ifølge tabell 2.5 i disse tidevannsvolum:

Grisefjorden	0,24 mill. m ³ /d
Tjørsvågbukta	0,23 " "
Flekkefjorden	0,90 " "

Ut ifra salinitetsmålingene kan antas disse dyp for sprangsjiktet:

Grisefjorden 3 m
Tjørsvågbukta 4 "
Flekkefjorden 4 "

Antar vi at tidevannet fordeler seg jevnt over tverrsnittet ved terskelpassering, kan vi anta denne fordeling:

Tidevannsvolum - mill. m³/d

	Over sprangsjiktet	Under sprangsjiktet
Grisefjorden	0,24	-
Tjørsvågbukta	0,20	0,03
Flekkefjorden	0,35	0,55

Nå vil imidlertid situasjonen være den at største delen av den vannmengden som fraktes inn i fjorden ved stigende vannstand, også vil føres ut av systemet ved synkende vannstand. Med andre ord er det bare den vannmengde som fraktes ut av systemet i løpet av en tidevannsperiode for aldri å vende tilbake, som representerer det tilgjengelige fortynningsvannet i fjorden.

Det vil ikke være mulig, på bakgrunn av det foreliggende materialet, å fastsette en mulig utnyttingsprosent av tidevannet; men dersom vi som et overslag antar en sannsynlig utnyttingsprosent på 25%, vil nyttbart utskiftningsvolum over sprangsjiktet på grunn av tidevann være omlag:

Grisefjorden $1/4 (0,24) \text{ mill. m}^3/\text{d} = 0,06 \text{ mill. m}^3/\text{d}$
Grisefjorden og
Tjørsvågbukta $1/4 (0,44) \text{ mill. m}^3/\text{d} = 0,11 \text{ mill. m}^3/\text{d}$
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden $1/4 (0,79) \text{ mill. m}^3/\text{d} = 0,20 \text{ mill. m}^3/\text{d}$.

På grunn av tidevannet kan gjennomsnittlig teoretisk utskiftningstid settes til:

Grisefjorden	$\frac{14,0 \text{ mill. m}^3}{0,06 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$	=	230 døgn
Grisefjorden og Tjørsvågbukta	$\frac{24,5 \text{ mill. m}^3}{0,12 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$	=	200 døgn
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden	$\frac{164,5 \text{ mill. m}^3}{0,34 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$	=	480 døgn

Vi har her regnet med hele fjordvolumet i utskiftningsprosessen. I virkeligheten vil utskiftningstiden være lavere i topplagene og høyere i bunnlagene.

Ferskvannspåvirkning

Forholdet mellom ferskvanns- og saltvannsmengden i området fra overflaten og ned til sprangsjiktets nedre begrensning betegnes C.

Dette forholdet kan uttrykkes som:

$$C = \frac{S \cdot L - \int_0^L s dz}{S \cdot L}$$

hvor

S kan betegnes indekssaliniteten og den salinitet som observeres umiddelbart under sprangsjiktets nedre begrensning,

L er dypet for sprangsjiktets nedre begrensning,

s er saliniteten ved dybde z og

z er dyp målt fra overflaten.

Basert på de observerte data er beregnet disse C - verdier:

		<u>L - m</u>	<u>C</u>
Grisefjorden,	BG 1	3	0,35
"	BF 1	3	0,43
Tjørsvågbukta	CF 2	4	0,19
Flekkefjorden,	DF 1	4	0,19

Som følge av fortynningen av den direkte tilførte ferskvannsmengde for å oppnå disse C-verdier, må fortynningsvannet trekkes fra det saltvannet som tilføres under sprangsjiktet, og må være lik ferskvannsmengden dividert med fortynningsforholdet.

Vi antar disse gjennomsnittlige C-verdier som er basert på vannvolumet over sprangsjiktet i de enkelte fjordavsnitt:

Grisefjorden	$(0,35 + 0,43) \frac{1}{2} =$	<u>0,39</u>
Grisefjorden og Tjørsvågbukta	$\frac{0,39 (3,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3) + 0,19 (2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3)}{5,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3} =$	<u>0,29</u>
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden	$\frac{0,39 (3,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3) + 0,19 (2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3 + 11,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3)}{17,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3} =$	<u>0,23</u>

Den fortynningsvannmengde som diffunderer opp gjennom sprangsjiktet (se tabell 2.1 - 2.3), er da:

Grisefjorden	$\frac{0,302}{0,39} \text{ mill. m}^3/\text{d} =$	<u>0,77 mill. m³/d</u>
Grisefjorden og Tjørsvågbukta	$\frac{0,337}{0,29} \text{ mill. m}^3/\text{d} =$	<u>1,16 mill. m³/d</u>
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden	$\frac{0,450}{0,23} \text{ mill. m}^3/\text{d} =$	<u>1,96 mill. m³/d</u>

Den minste fortynningsmengde som står til rådighet som følge av ferskvannstilførselen, skulle da være summen av ferskvannstilførselen og dennes fortynningsvann fra dyplagene. Det antas at forholdet mellom månedsmiddel og månedminimum i gjennomsnitt kan settes til 2,5. Videre antas en faktor på 2 for variasjoner innen de tørre sommermånedene. Følgelig regnes med disse fortynningsvannmengder som følge av ferskvannstilførselen:

Grisefjorden	$1/5 (0,77 + 0,30) \text{ mill. m}^3/\text{d} = \underline{0,21 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$
Grisefjorden og Tjørsvågbukta	$1/5 (1,16 + 0,34) \text{ mill. m}^3/\text{d} = \underline{0,30 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden	$1/5 (1,96 + 0,45) \text{ mill. m}^3/\text{d} = \underline{0,48 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$

Harvannspåvirkning

De variasjoner i salinitet som opptrer i havet utenfor Flekkefjorden, vil ha betydning for utskiftningen i fjordsystemet. Det er ikke mulig å beregne betydningen av denne utskiftningsmekanisme nøyaktig uten å ha observasjoner over et meget langt tidsrom, men vi har i det følgende forsøkt å gjøre et overslag for å indikere størrelsesorden av dette bidraget.

Ved å anta at Flekkefjordens vannmasser ned til et dyp av ca. 40 m kan utnyttas til fortynning ved å bruke effektive dypvannsutslipp for den fremtidige tilførsel av forurenset vann, utgjør det nyttbare volumet av fjordvann i Flekkefjorden ca. 100 mill. m³. Antas det en utskiftningsperiode for det aktuelle sjikt på 2 år, blir den midlere tilgjengelige fortynningsmengde:

$$\frac{100}{2 \cdot 365} \text{ mill. m}^3/\text{d} = \underline{0,14 \text{ mill. m}^3/\text{d}}$$

Vindpåvirkning

Det antas at vindstatistikken for Lista også kan anvendes på Flekkefjordområdet. Statistikken viser at 3,7% av årlige vindobservasjoner kan ventes å vise vind fra nord. Gjennomsnittlig styrke er omlag 4,0 m/s. Tilsvarende tall for vinder fra syd er henholdsvis 9,2% og omlag 7,0 m/s.

Både sydlige og nordlige vinder antas å ha betydning for utskiftning av vannmassene i fjorden. Med vind fra nord får vi en strøm ut fjorden i topplaget og en kompensasjonsstrøm inn fjorden i dyplagene. Omvendt blir forholdene med vind fra syd. Dess sterkere vinder, dess bedre utskiftning av dyplagene.

Å forsøke å kvantifisere en vanntransport i fjorden som følge av vindpåvirkning vil med de foretatte observasjoner ikke la seg gjøre. Den konklusjon man kan trekke, er kun at en relativt liten prosentdel av vindene er registrert som nordlige eller sydlige vinder. Dette kan bety at utskiftningsprosesser som følge av vindpåvirkning er beskjedne. Man kan således anta at den alt overveiende del av vanntransporten skyldes tidevannet og ferskvannstilførselen, og at vindpåvirkningen på grunn av de trange sund er liten.

Total vannutskiftning

Basert på de beregninger som er foretatt for tidevann og ferskvannstilførsel, settes den totale vannutskiftning av vannvolumene i og over sprangsjiktet til:

Grisefjorden	over 3 m	<u>0,27 mill. m³/d</u>
Grisefjorden og Tjørsvågbukta	over 3 - 4 m	<u>0,41 mill. m³/d</u>
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden	over 4 m	<u>0,68 mill. m³/d.</u>

5. SAMMENFATTENDE DISKUSJON

På bakgrunn av langvarige undersøkelser ved vårt institutt for å finne frem til hvilke kloakkvannsmengder som gir synbart utslag av algevekst i sjøvann, synes grensekonsentrasjonen å ligge i området 15 - 20 ml kloakkvann pr. liter sjøvann. Disse forsøkene er utført med sjøvann hentet fra ulike lokaliteter i ytre og indre Oslofjord, og ubehandlet kloakkvann hentet fra Skarpsno kloakkrensaneanlegg i Oslo.

Hvis vi benytter disse observasjoner som et kvalitetsgrunnlag og setter en fortykning på 150 (7 ml kloakkvann pr. liter sjøvann) som et rimelig krav, kan vi foreta følgende fortykningsberegning basert på de fortykningsvannmengdene som er beregnet i det foreliggende arbeid:

Den samlede innflytelse av tide- og ferskvannspåvirkning gir en samlet fortykningsvannmengde i de øvre 3 - 4 m på 0,68 mill. m³/d for hele

fjordsystemet nord for Kjeøy. Tilsvarende tall for vannmassene i Flekkefjorden under sprangsjiktet og ned til 40 m dyp er antydnet til omlag 0,14 mill. m³/d. Vi understreket at dette tall er meget usikkert, men antas å være på den konservative side. Antar vi at initialfortynningen i dyplaget 4 - 40 m er på 20 x ved bruk av dypvannsutslipp, vil det være den tilgjengelige fortynningsvannmengde i overflatelaget som danner begrensningen for hvilke avløpsmengder som kan tilføres fjorden. Vi kan da sette opp følgende likning:

$$\text{Fortynningsvann i overflaten} + \text{fortynningsvann i dyplag} = \text{total fortynningsvannmengde.}$$

Dvs.

$$680.000 + Q(20) = Q(150)$$

hvor Q = avløpsmengde i m³/d.

$$\text{Løsning: } Q = \frac{5.200 \text{ m}^3}{\text{d.}}$$

Den fortynningsvannmengde som trekkes fra dyplaget (4 - 40 m), vil være

$$5.200 \text{ m}^3/\text{d} (20) = 104.000 \text{ m}^3/\text{d} \text{ og utgjør således omlag}$$

$$\frac{104.000}{140.000} (100\%) = 74\% \text{ av den antatte fortynningsvannmengde som står}$$

til rådighet under sprangsjiktet.

Som følge av at det benyttede fortynningstall på 150 er basert på en spesifikk avløpsmengde på 260 l/p.d. ved Skarpsno renseanlegg, må vi nødvendigvis benytte dette tallet for å beregne antall personekvivalenter som kan belaste fjorden med avløpsvann. Dette er på grunn av at det ikke er avløpsmengden som skal fortynnes, men derimot forurensningene som avløpsvannet inneholder. Det forutsettes derfor at den spesifikke forurensningsmengden er den samme i Flekkefjordområdet som i Oslo.

Vi kan da beregne:

$$\text{Antall personekvivalenter} = \frac{5.200.000}{260} = \underline{20.000.}$$

Den beregning som her er gjennomført, støtter seg på en rekke usikre faktorer som følge av det beskjedne observasjonsmaterialet som foreligger.

Ved beregningen av de tilgjengelige fortynningsvannmengdene er det imidlertid ført inn så vidt stor sikkerhetsmargin at det beregnede tallet på omlag 20.000 utvilsomt ligger på den sikre siden.

Flekkefjorden har relativt bra oksygenforhold i dyplagene i motsetning til de to indre fjordbasseng. Kloakkslam vil derved brytes mer eller mindre hurtig ned, avhengig av hvor effektivt man kan oppnå en spredning av slammet. Ved en kunstig tilførsel av organisk stoff til bunnen, vil den eksisterende flora og fauna etterhvert forandres. Arter som er bedre tilpasset det endrede miljø, vil påskynde nedbrytning av den økende mengde organisk stoff.

Det finnes fra Norge ingen kvantitative observasjoner av hvor hurtig slike slamavsetninger volummessig reduseres; men rapporter fra utlandet påpeker at man ikke har kunnet påvise en statisk situasjon med kontinuerlig akkumulering av sedimentert materiale. Om man tillater sedimenterbart slam ført ut i fjorden, må en legge stor vekt på å fjerne den delen av kloakkslammet som er så lett at det kan flyte opp til overflaten.

Når det gjelder fosforbelastning og tilgjengelige fortynningsvannmengder, får vi utregnet disse tall:

Grisefjorden	$\frac{9,1 \text{ kg P/d}}{0,27 \text{ mill. m}^3/\text{d}} = 0,034 \text{ mg P/l}$
Grisefjorden og Tjørsvågbukta	$\frac{21,2 \text{ kg P/d}}{0,41 \text{ mill. m}^3/\text{d}} = 0,052 \text{ mg P/l}$
Grisefjorden, Tjørsvågbukta og Flekkefjorden	$\frac{21,2 \text{ kg P/d}}{0,68 \text{ mill. m}^3/\text{d}} = 0,031 \text{ mg P/l}$

Det er tidligere nevnt at allerede et fosforinnhold på 0,020 mg P/l kan gi anledning til grumsethet som følge av algevekst. Samtlige av de tre verdier ligger over denne grense. I virkeligheten ligger nok tallene noe lavere for det ytre fjordparti nord for Kjeøy, da dyplagene her vil ta del i utskiftning ved vindpåvirkning og havvannspåvirkning i sterkere grad enn tilfellet er med indre fjordparti. Sammenligner vi de beregnede tall med observasjonsdata, er overensstemmelsen ganske god.

Videre er det tydelig at vannutskiftning av topplaget sammen med diffusjon av fortynningsvann fra dyplagene opp gjennom sprangsjiktet ikke er en tilstrekkelig effektiv mekanisme til å hindre at fosforkonsentrasjonene, særlig i dyplagene, blir for høye. Grunnen til at verdiene i topplaget stort sett er lavere enn i bunnlagene, henger sammen med at algeproduksjonen skjer raskere i den lysrike sone, og derav følger at forbruket av næringsstoffer er større.

Siktedypet er en god parameter for å karakterisere en resipients generelle tilstand. Her viser observasjonene at siktedypet øker jevnt utover i fjordsystemet fra 2,9 m i Austadvika til 20 m i ytre fjord. Dette er ganske naturlig når man ser på dette fjordsystemet som overbelastet i indre parti.

6. KONKLUSJONER

1. Forurensningen av det indre fjordsystem med Grisefjorden og til dels Tjørsvågbukta er i dag for stor og kan ikke opprettholdes på lengre sikt. Typiske tegn på at eutrofieringen har passert akseptable grenser, er oksygensvikt i dyplagene med registrering av svovel. Videre viser dyplagene for høyt fosforinnhold. Flekkefjorden er lite forurenset. Terskelen ved Kjeøy hindrer således ikke en brukbar utskiftning av denne del av fjorden.
2. Det som på kort sikt bør gjøres, er
 - stoppe tilførsel av septikslam til Grisefjorden. Slammet bør føres til Flekkefjorden eller ytre fjord. Muligheten for infiltrasjonsanlegg for septikslammet bør vurderes.
 - alt avløpsvann føres til Tjørsvågbukta.
3. Det som på lengre sikt bør gjøres, er
 - etablere renseanlegg med dypvannsutslipp i Tjørsvågbukta. Velges dette alternativ, må graden av rensing være høy. Det kan antydes kjemisk eller kjemisk/biologisk. Graden av nødvendig rensing bør utredes som en sak for seg.Det andre alternativ er å føre avløpsvannet til Flekkefjorden ved

ledning eller tunnel og etablering av renseanlegg og dypvannsutslipp. Graden av nødvendig rensing blir her noe lavere enn ved utslipp i Tjørsvågbukta. Valget mellom disse alternativ er vesentlig et økonomisk spørsmål.

4. Det er antatt at en fortykning på 1 : 150 av kloakkvannet i sjøvannet ikke vil gi ulemper av betydning. Med de beregnede fortykningsvannmengder skulle Flekkefjorden tåle en belastning med avløpsvann tilsvarende inntil 20.000 personekvivalenter.
5. Det bør hvert år utføres et nærmere fastsatt observasjons- og analyseprogram for resipienten. Utredninger er gode å støtte seg til, men de må nødvendigvis bygges på mange antagelser. Ettersom man arbeider seg fremover i utbygningen av et mer hensiktsmessig og naturvennlig avløpssystem, bør resipientens tilstand holdes under observasjon. Kun ved en nøye kombinasjon av disse to faktorer kan man vente å utnytte resipientens fortykningsevne optimalt.

---o0o---