

RAPPORT LNR 3424-96

# **F**lomtunnel Øyeren - Bunnefjorden

En første vurdering av  
konsekvensene for indre Oslofjord  
ved en overføring av vann fra  
Glomma til Bunnefjorden

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-96044	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3424-96	Fri

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b>
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
Flomtunnel Øyeren - Bunnefjorden. En første vurdering av konsekvensene for indre Oslofjord ved en overføring av vann fra Glomma til Bunnefjorden.	26.2.1996	NIVA 1996
	Faggruppe:	
	MØ	
Forfatter(e):	Geografisk område:	
Birger Bjerkeng Tor Bokn Bjørn Faafeng Jan Magnusson	Oslo- Akershus	
	Antall sider:	Opplag:
	21	50

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
Norges vassdrag- og energiverk	T. Johnson

Ekstrakt:
Rapporten gir en første grovvurdering av mulige konsekvenser ved en eventuell overføring av vann fra Glomma til Bunnefjorden i indre Oslofjord. Overføringen kan bli aktuell som et ledd i en flomsikring av elven. To scenarier er brukt: storflom (600 m <sup>3</sup> /s i 14 dager) - som vil inntreffe omtrent hvert 50. år- og normalår med en mindre tilførsel (ca. 100 m <sup>3</sup> /s) gjennom hele året. Både i storflomår og normalår vil forholdene i indre Oslofjord forandres betydelig. Størst forandring vil bli i overflatelaget, hvor økt tilførsel av ferskvann, partikler, humus, næringssalter (spesielt nitrogen og silikat) og organisk stoff vil gi dels en forandring i overflatelagets organismeliv (utrydding av enkelte av de eksisterende arter), større dominans av f.eks. grønske (grønnalger), samt en økt belastning på fjordens dypvann (oksygenforholdene vil bli dårligere). Overføringen vil redusere effekten av gjennomførte og planlagte rensetiltak. Det vil også få negative konsekvenser både for friluftslivet og yrkesfisket i fjorden.

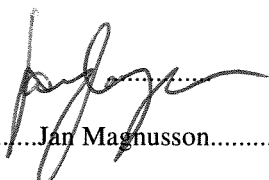
4 emneord, norske

1. Ferskvannstilførsel
2. Eutrofi
3. Glomma
4. Indre Oslofjord

4 emneord, engelske

1. Fresh water discharge
2. Eutrophication
3. Glomma
4. Inner Oslofjord

Prosjektleder

  
.....Jan Magnusson.....

For administrasjonen

  
.....Bjørn Braaten.....

ISBN 82-577-2958-2

O-96044

## Flomtunnel Øyeren - Bunnefjorden

En første vurdering av konsekvensene for indre Oslofjord ved en  
overføring av vann fra Glomma til Bunnefjorden

26.2.1996

Birger Bjerkeng  
Tor Bokn  
Bjørn Faafeng  
Jan Magnusson

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

## *Forord*

*Ved Kgl.res. 13.6.1995 ble det oppnevnt et utvalg til å foreta en gjennomgang av flomtiltak i vassdrag. Utvalget har bedt Norges Vassdrag og Energiverk (NVE) å lede flere delutredninger i forbindelse med sitt arbeid. En av dem er en tunnel fra Øyeren til Bunnefjorden med sikte på overføring av vann for flomavlastning, kombinert med noe kraftproduksjon. Som en del av denne utredningen er NVE bedt om å gjøre en grov vurdering av miljøkonsekvenser i Indre Oslofjord ved en overføring av vann fra Glomma. NVE bad Norsk institutt for vannforskning å foreta en slik grov vurdering (brev av den 15.12.1995.) Foreliggende rapport er utarbeidet som følge av denne forespørsel.*

*Oslo den 26.2. 1996*

*Jan Magnusson*

## Innhold

1. Innledning .....	5
2. Forutsetninger .....	5
3. Problemanalyse .....	5
4. Tilførsler av næringssalter, organisk stoff og partikler ved en overføring av Glommavann til indre Oslofjord.....	7
5. Mulige effekter av en overføring av Glommavann til indre Oslofjord. ....	10
5.1 Modellberegninger .....	10
5.1.1 Beregningsforutsetninger m.h.t. tilførsler og utslippsarrangement .....	11
5.1.2 Beregnede situasjoner. ....	12
5.1.3 Fysiske virkninger.....	12
5.1.4 Næringssalter og primærproduksjon.....	14
5.1.5 Oksygenforhold i dypvannet.....	14
5.2 Biologiske effekter.....	15
5.2.1 Den pelagiske primærproduksjonen. ....	15
5.2.2 Gruntvannssamfunnene.....	16
5.2.3 Dyrelivet på dypere vann og på bunn. ....	18
5.3 Forurensningsforhold.....	18
5.4 Rekreasjon.....	18
6. Konklusjoner.....	19
7. Litteratur. ....	20

## Tabeller

Tabell 1. Aktuelle ferskvannsmengder til indre Oslofjord som skal vurderes i følge NVE.....	5
Tabell 2. Antatte konsentrasjonsnivåer ved de ulike scenarier (min. - maks). 1: Konsentrasjoner under ekstremflommen i 1995, dvs. verdier fra juni. 2: Antatte verdier for en mer representativ "sommerperiode" (enn i 1995) 1.5-1.8. 3: Representative verdier for resten av et normalår: 1.8-1.5.....	7
Tabell 3. Tilførte mengder (tonn) ved de ulike alternativer av ferskvannstilførsel i tabell 1. ....	8
Tabell 4. Tilførsler med Glommavann ved en overføring til indre Oslofjord og dagens tilførsler (1994), dvs. før nitrogenrensing på renseanleggene.....	8
Tabell 5. Tilførsler ved en overføring av vann fra Glomma i storflomår (scenario I) og i normalår (scenario II) sammenlignet med dagens tilførsler (1994). ....	9
Tabell 6. Tilførsler ved en overføring av Glomma storflomår (scenario I) og normalår (scenario II) sammenlignet med tilførsler etter nitrogenrensing. ....	9
Tabell 7. Tilførsel av fosfat og nitrat ved en overføring av Glommavann til indre Oslofjord sammenlignet med antatt utslipp av biotilgjengelig fosfor og nitrogen til fjordens overflatelag etter at nitrogenrensing er innført på renseanleggene. ....	10
Tabell 8. Utslipps-situasjoner i Bunnefjorden som det er kjørt modellberegninger for.....	12
Tabell 9. Resultatet av modellkjøringer - endring i salinitet og temperatur i overflatelaget i Bunnefjorden p.g.a. overføring av Glommavann. ....	13
Tabell 10. Resultatet av modellkjøringer - reduksjon i oksygeninnhold i dypere lag p.g.a. overføring av Glommavann.....	15

## 1. Innledning

For å unngå at Glomma ved en ny storflom skal forårsake store skader i bl.a. Lillestrøm-området og andre områder rundt Øyeren, er et aktuelt tiltak å lede deler av flomvannet i en tunnel fra Øyeren til Bunnefjorden (mellom Nordby ved Øyeren og Nordstrand ved Bunnefjorden). En tunnel vil i dette tilfelle bli bygget med en kapasitet på 600 m<sup>3</sup>/s. Tunnelen vil også kunne brukes som kraftverks-tunnel med et kraftverk ved Nordstrand som vil bli drevet som et effektkraftverk for det sentrale Østlandsområdet. Utenom storflommene er det tenkt å lede 100 m<sup>3</sup>/s gjennom tunnelen til bruk i kraftverket. Tabell 1 viser de aktuelle ferskvannsmengdene.

## 2. Forutsetninger.

NVE har bedt NIVA om å foreta en første grovvurdering av miljøkonsekvensene for indre Oslofjord ved overføring av de ferskvannsmengder som fremgår av tabell 1. Enkelte forutsetninger bygger også på SINTEFs notat (1995), hvor det er gjort en del beregninger av fortykning og utskiftning av overflatelaget, se kap. 5.1.1.

Tabell 1. Aktuelle ferskvannsmengder til indre Oslofjord som skal vurderes i følge NVE.

NVEs alt.	Ferskvannsmengde (m <sup>3</sup> /s)	Varighet	I tidsrom	Merknad
1	inntil 600*	2 uker	15.5 -15.7	Flomavledning
2	100	6 uker	1.5 - 1.8	Energiproduksjon
3	100	kl. 8-16 ma.-fr.	1.8 - 1.5	Effektproduksjon

\* opptrer hvert 50. år

Ferskvannsmengdene i tabell 1 gir to scenarier for indre Oslofjord. Scenario I er et flomår hvor det i 14 dager tilføres 600 m<sup>3</sup>/s i to uker og deretter 100 m<sup>3</sup>/s i 4 uker i tidsrommet 1.5 til 1.8., samt 100 m<sup>3</sup>/s mellom kl. 0800-1600 mandag til fredag i tidsrommet 1.8-1.5. Dette scenariet vil opptre hvert 50. år. Scenario II er et "normalår" med overføring av 100 m<sup>3</sup>/s i 6 uker om sommeren og 100 m<sup>3</sup>/s kl. 0800-1600 mandag til fredag i tidsrommet 1.8 -1.5. Dette scenariet vil bli årlig.

## 3. Problemanalyse.

Ved å overføre Glommavann til indre Oslofjord forventes følgende forhold å bli påvirket.

### Fysiske forhold.

Indre Oslofjord har i dag en gjennomsnittlig ferskvannstilførsel på ca. 25 m<sup>3</sup>/s. En økt tilførsel av ferskvann av den aktuelle størrelse vil gi lavere overflatesaltholdigheter og større saltholdighetsfluktuasjoner. Den estuarine sirkulasjonen vil også bli endret ved at det blir en mer kontinuerlig utstrøm av overflatevann (kortere oppholdstid) og kanskje også en mer utviklet kompensasjonsstrøm. Ettersom dagens forhold til tider (spesielt sommerhalvåret) er omvendt (Gade, 1967), vil sirkulasjonen forandres betydelig. Dette vil, unntatt i nærsone til utløpet, også øke muligheten for islegging. En tvungen innblanding av ferskvannet vil dessuten kunne forstyrre sjiktningen i fjorden.

Strømforholdene ved Drøbaksterskelen vil bli forandret og dette kan muligens påvirke dypvannsfornyelsen ved at det vinterstid, når slike utskiftninger er mest vanlige, vil være en større transport i overflatelaget ut fjorden som derved kan virke begrensende på innstrøm av nytt dypvann til fjorden. Forandringer i vanntemperatur og endrede lokalklimatiske forhold kan også tenkes, men vil ikke bli behandlet i denne rapporten. Det er heller ikke vurdert hvilke forandringer som kan gi endrede navigasjonsforhold for skipsfarten p.g.a. endrede strømforhold f.eks. i Drøbaksundet og islegging.

#### **Tilførsel av partikler og organisk stoff.**

Bortsett fra i nærområdene til elvene og i spesielle flomperioder er det i dag marint materiale som dominerer partikkelmengden i fjordens overflatelag. Ved en overføring av Glommavann tilføres indre Oslofjord en økt mengde mineralske partikler og humusholdig vann. Dette vil føre til minket siktedyp og farging av vannet. Samtidig vil sedimentasjonen av partikler i fjordens bassenger øke. Ved en overføring vil også transporten av organisk stoff (TOC) øke. Både partikler og organisk stoff vil felles ut i indre Oslofjord i betydelige mengder i det grensesjiktet hvor ferskvannet møter sjøvann (flokkulering).

#### **Biologiske forhold - planteplanktonproduksjon.**

Et velutviklet estuarint strømsystem vil gi et endret transportmønster for næringssalter, og tilførselen av næringssalter til overflatelaget vil øke. Fjorden vil bli tilført et relativt fosforfattig og nitrogenrikt vann gjennom flomtunnelen, når det gjelder det som er direkte tilgjengelig for algevekst (fosfat og nitrat). Samtidig vil det skje en tilførsel av fremfor alt fosfor fra underliggende vannmasser (*entrainment*). Forholdene kan da bli mer lik de som i dag er vanlige i Drammensfjorden og Hvalerområdet, med et årlig overskudd i tilførsel av nitrogen (N) og et underskudd av fosfor (P) i forhold til kravet på næringssaltforhold for marint planteplankton. Planteplanktonproduksjonen kan forventes å bli mer fosforbegrenset, mens den i dag også til tider er nitrogenbegrenset (Paasche og Erga, 1988). Både lavere saltholdighet, økt N/P-forhold og økte tilførsler av silikat kan gi andre planktonarter enn de som er vanlige nå.

#### **Biologiske forhold - gruntvannssamfunn.**

De klart største forandringer i gruntvannssamfunnene forventes å komme som følge av lavere saltholdighet, redusert siktedyp og økt tilførsel av partikler (nedslamming av gruntvannsområdene). Lavere saltholdighet kan innebære en reduksjon i det marine artsmangfold. Dårligere siktedyp betyr at nedre voksegrense for alger blir redusert og dette vil påvirke annet liv som er avhengig av denne samfunnstype som oppvekstområde. Økt nedslamming vil også kunne påvirke livskvaliteten til organismer i gruntvannssamfunnene. Dette er særlig akutt for kimplanter og yngelstadier.

#### **Biologiske forhold - dyrelivet på dypere vann og bunn.**

Den største forandringen vil bli en økt sedimentasjon av partikler og organisk stoff, men dette er vanskelig å kvantifisere. Det vil også bli en endring i kvalitet på det sedimenterende materialet. Effekten av dette kan til dels bli positiv ved en større utfelling med partikler på bunnen, slik at dagens forhøyede konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentene raskere blir begravd og fortynnet av mindre forurenset materiale. Også bunnssubstratet kan bli noe bedre for bunnfauna. Dette vil, om oksygenforholdene tillater det, gi gunstigere forhold for reetablering av bunnfauna. Imidlertid foreligger også en mulighet for økt tilførsel av miljøgifter, spesielt i storflomår. Resultater fra storflommen 1995 viste økte tilførsler av miljøgifter i Hvalerområdet (Helland, m.fl. pers medd.), men ettersom disse observasjoner også omfatter totalførsler nedenfor Øyeren, er det usikkert i hvilken grad dette vil skje med vann som vil bli ledet ut i fjorden fra Øyeren.



Økt tilførsel av organisk materiale vil belaste de nå kritiske oksygenforholdene i fjorden og derved ha en negativ effekt på livet ved bunnen.

### Forurensningsforholdene.

Det er siden 1970-tallet iverksatt forskjellige forurensningsbegrensende tiltak i indre Oslofjord og flere er under planlegging. Bygging av renseanlegg for fjerning av næringssalter er gjennomført (primærfelling) og arbeid for å fjerne nitrogen er igang. Gjennom 1900-tallet ble fjordens forurensningssituasjon gradvis forverret, men med en foreløpig kulminasjon på 1970-tallet. Forringelsen skyldes en overgjødning av fjorden ved økte mengder næringssalter (fosfor og nitrogen) samt organisk stoff. Overgjødningen har ført til økt planteplanktonproduksjon som i sin tur har påvirket hele fjordens økosystem med bl.a. dårligere oksygenforhold i de dypere vannmassene. Store deler av dypvannet i Bunnefjorden er i dag tidvis anoksisk og mangler da høyerestående liv (se f.eks. Beyer og Indrehus, 1995, Magnusson m.fl., 1995, Olsgaard, 1995). På tross av en positiv utvikling i overflatelaget (delvis som følge av rensetekniske tiltak), er tilstanden fortsatt klart dårligere i deler av fjordens dypere vannmasser sammenlignet med tilstanden f.eks. før annen verdenskrig. En økt tilførsel av næringssalter til fjorden vil derfor motvirke de rensetekniske tiltakene. Hele bedømningsgrunnlaget for de rensetekniske tiltakene blir annerledes.

### Vurderinger i denne rapport.

Ikke alle de nevnte faktorene kan kvantifiseres eller på annen måte dimensjoneres i en første meget grovvurdering. Hensikten med denne første grove vurderingen er heller ikke å gi en fullstendig beskrivelse av mulige effekter, men å ta for seg noen sider av problematikken. Det er dels brukt enkle overslagsberegninger (f.eks. tilførsler), dels modellsimuleringer, men mye bygger også på faglig basert skjønn.

## 4. Tilførsler av næringssalter, organisk stoff og partikler ved en overføring av Glommavann til indre Oslofjord.

Tilførsler av næringssalter, organisk stoff og partikler med Glommavann er beregnet ut fra konsentrasjoner i Øyeren målt på ANØs stasjon omtrent midt i innsjøen. Videre er observasjoner fra Øyeren i juni 1995 blitt brukt som anslag for konsentrasjoner under storflom. Tabell 2. viser i grove trekk de konsentrasjoner som kan være representative ved de tre ulike vannføringene og tidspunkter som NVE har angitt ( tabell 1 ). Det er relativt sparsomt med data fra tidligere flomperioder, og det må derfor tas forbehold om hva som er representativt for en flomsituasjon.

Tabell 2. Antatte konsentrasjonsnivåer ved de ulike scenarier (min. - maks).

- 1: Konsentrasjoner under ekstremflommen i 1995, dvs. verdier fra juni.
- 2: Antatte verdier for en mer representativ "sommerperiode" (enn i 1995) 1.5-1.8.
- 3: Representative verdier for resten av et normalår: 1.8-1.5.

NVEs alt.	Tot-P µg/l	PO <sub>4</sub> -P µg/l	Tot-N µg/l	NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> -N µg N/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	TOC mg/l	SS* mg/l
1	75-150	3-15	400-600	150-350	3-5	5-7	60-140
2	20-75	2-7	400-600	150-350	1-5	5-7	15-75
3	6-15	0.5-3	600-700	250-500	0.5-5	5-7	1.5-5

\*SS = Suspendert stoff (partikler)

Tilført mengde av næringssalter og partikler til indre Oslofjord er beregnet ut fra konsentrasjonsintervallene i tabell 2 for de tre alternative ferskvannsmengdene i tabell 1 og resultatene er vist i tabell 3.

Tabell 3. Tilførte mengder (tonn) ved de ulike alternativer av ferskvannstilførsel i tabell 1.

Tallene gjelder for de varigheter som er oppgitt i tabell 1.

NVEs alt.	Tot-P (tonn)	Fosfat (tonn)	Tot-N (tonn)	Nitrat (tonn)	Silikat (tonn)	Organisk stoff (tonn)	Suspendert stoff (tonn)
1	54 - 109	2 - 11	290 - 435	109 - 254	1018 - 1696	3600 - 5000	43500 - 101600
2	7 - 27	1 - 3	145 - 218	54 - 127	170 - 848	1800 - 2500	5400 - 27200
3	3 - 8	0 - 2	337 - 393	140 - 281	113 - 565	1200 - 1700	840 - 2800

Tabell 4 gir beregnet årstilførsel i et storflomår (NVEs alternativer 1-3) og et mer normalt år (NVEs alternativ 2 og 3). Videre viser tabellen målte (tot-N og tot-P) og beregnede (organisk stoff (TOC) og suspendert stoff) tilførsler i dag (1994). De beregnede tilførsler av partikler (SS) og organisk stoff (TOC) er dels basert på data fra middelverdi i Osloelvene (Wold, 1995) anvendt på en midlere ferskvannstilførsel på 25 m<sup>3</sup>/s, samt observasjoner fra de to største renseanleggene (VEAS og BRA) på inngående avløpsvann og overløp.

Tabell 4. Tilførsler med Glommavann ved en overføring til indre Oslofjord og dagens tilførsler (1994), dvs. før nitrogenrensing på renseanleggene.

Scenario nr.	Tot-P (tonn)	Fosfat (tonn)	Tot-N (tonn)	Nitrat (tonn)	Silikat (tonn)	Organisk stoff (tonn)	Suspendert stoff (tonn)
I Storflomår	63 - 135	3 - 14	724 - 974	286 - 619	1260 - 3570	7600 - 10700	48000 - 122600
II Normalår	11 - 36	1 - 4	482 - 611	195 - 408	300 - 2200	4600 - 6500	6300 - 30000
Dagens tilførsler (1994)	155*		4000*		? (370- 1800)	7634**	ca 15800**

\* fra Wivestad (1995)

\*\* beregnet med data fra Wold (1995) og VEAS (1995).

I tabell 5 er dagens tilførsler og de to scenariene sammenlignet for enkelte av variablene i tabell 4. Tabellen viser at det blir en betydelig økning i tilførsler av næringssalter, organisk stoff (TOC) og partikler (SS) til indre Oslofjord ved en overføring av Glommavann.

Tabell 5. Tilførsler ved en overføring av vann fra Glomma i storflomår (scenario I) og i normalår (scenario II) sammenlignet med dagens tilførsler (1994).

	Tot-P	Tot-N	TOC	SS
Dagens utslipp (1994) tonn/år	155	4000	7634	15800
Scenario I tonn/år	63 - 135	720 - 975	7600 - 10700	48000 - 122600
Scenario II tonn/år	11 - 36	480 - 610	4600 - 6500	6300 - 30000
Scenario I/dagens tilførsler (%)	40 - 87	18 - 24	100 - 140	303 - 775
Scenario II/dagens tilførsler (%)	7 - 23	12 - 15	62 - 88	40 - 190

Imidlertid er det planlagt nitrogenrensing i de største renseanleggene. Dette betyr en økt rensegrad for nitrogen, fosfor, organisk stoff og partikler. Rensetiltakene vil gjennomføres i løpet av 1995-1997. Inkluderes disse tiltakene, blir tilførslene som i tabell 6.

Tabell 6. Tilførsler ved en overføring av Glomma storflomår (scenario I) og normalår (scenario II) sammenlignet med tilførsler etter nitrogenrensing.

	Tot-P	Tot-N	TOC
Utslipp til fjorden i dag etter nitrogenrensing	120	2200	5300
Scenario I	63 - 135	720 - 975	7600 - 10700
Scenario II	11 - 36	480 - 610	4600 - 6500
Scenario I/dagens tilførsler (%)	52 - 112	33 - 44	140 - 200
Scenario II/dagens tilførsler (%)	9 - 30	20 - 28	85 - 123

Fjerning av næringssalter gjennomføres i hovedsak for å begrense planteplanktonproduksjonen. I denne sammenheng er det ikke alt fosfor og nitrogen som tilføres fjorden som vil være direkte tilgjengelig for ny produksjon. Hvor mye som egentlig vil gi direkte eller etter tid indirekte vekst er foreløpig ikke godt kjent.

I tabell 6 er det regnet med totaltilførsler uten å ta i betraktning biotilgjengelighet, og det er regnet som om alt nitrogen og fosfor tilføres direkte til fjordens overflatelag i dag. Det er heller ikke tatt i betraktning at N-tilførslene til fjorden er i ferd med å minske p.g.a. nitrogenrensing på renseanleggene (se kap. 5.3)

En alternativ beregning er vist i tabell 7, der disse tingene er forsøkt tatt hensyn til. Tabellen viser resultatet av en grov beregning av tilførsler av direkte biotilgjengelig N og P til fjordens overflatelag etter at nitrogenrensing er innført på renseanleggene. Det er også tatt hensyn til at en stor del av tilførslene som slippes ut fra renseanleggene (den rensede delen av avløpsvannet) i virkeligheten blir dypinnlagret. Den direkte tilførselen til overflatelaget i dag vil derfor være mindre enn totaltilførselen.

Når det gjelder biotilgjengelighet er det i tabell 7 arbeidet med følgende antakelser: ca. 70 % av tot-P og 80 % av tot-N i overløpene fra avløpsnett er direkte biotilgjengelig og ca. 25 % av tot-P og 50 % av tot-N er direkte biotilgjengelig av det som kommer fra elver, naturlig avrenning etc. Konsentrasjoner fra Osloelvene er hentet fra Wivestad (1995) og anvendt på alle elver ved en gjennomsnittlig ferskvannstilførsel på 25 m<sup>3</sup>/s. For Glommavann er det brukt fosfat og nitratverdier.

Tallene i tabell 7 er muligens underestimert for Glommavann, ettersom det her bare er regnet med observerte verdier av fosfat og nitrat fra Øyeren, mens det er antatt en grad av biotilgjengelighet på f.eks. vassdragstilførslene til fjorden som kan gi for høye tall for dagens tilførsler. Selv med en slik underestimering viser tallene at en overføring av Glommavann vil gi en klar økning i tilførselen av nitrogen til fjorden også i normalår, og i storflomår også en betydelig tilførsel av fosfor.

Tabell 7. Tilførsel av fosfat og nitrat ved en overføring av Glommavann til indre Oslofjord sammenlignet med antatt utslipp av biotilgjengelig fosfor og nitrogen til fjordens overflatelag etter at nitrogenrensing er innført på renseanleggene.

	Biotilgj. fosfor	Biotilgj. nitrogen
	(tonn/år)	(tonn/år)
Til fjordens overflatelag (etter nitrogenrensing)	50	670
Scenario I (fosfat og nitrat)	3 - 14	286 - 619
Scenario II (fosfat og nitrat)	1 - 4	195 - 408
Scenario I/til fjordens overflatelag (%)	6 - 28	42 - 151
Scenario II/til fjordens overflatelag (%)	2 - 8	30 - 60

## 5. Mulige effekter av en overføring av Glommavann til indre Oslofjord.

### 5.1 Modellberegninger

Økt ferskvannstilførsel til indre Oslofjord vil gi en lavere saltholdighet i fjordens overflatelag. Når det går vann i tunnelen vil det alltid være en stor nærsone med svært lave saltholdigheter, mens det ellers i indre Oslofjord vil være store horisontale variasjoner i tid og rom avhengig av vindens fordeling av brakkvannet. Fjorden vil kunne få et mer markert estuarint sirkulasjonsmønster med utgående brakkvann i overflatelaget og en inngående kompensasjonsstrøm under denne. Denne mekanismen er i dag forholdsvis svakere utviklet p.g.a. den lave ferskvannstilførselen. Det gjelder spesielt om sommeren, da den til tider kan være omvendt, dvs mindre salt vann strømmer inn i fjordens overflatelag fra Drøbaksundet og saltere vann strømmer ut under dette lag (Gade, 1967). Ferskvannet fra Glomma kan også få virkning for utskiftningen av dypvannmassene i fjorden. I tillegg til dette kommer endringer i den biologiske omsetningen p.g.a. økte tilførsler av næringsalter med ferskvannet, og de følger dette får bl.a. for oksygenforholdene i dyplagene.

For å vurdere virkningene nærmere er det gjort kjøring med NIVAs eutrofieringsmodell for fjorder (Bjerkeng, 1994-1995, Kirkerud og Bjerkeng, 1995). Denne modellen beskriver fysisk transport, vertikalblanding og biologisk omsetning i fjorden med oppdeling i de to hovedbassengene Bunnefjorden og Vestfjorden. Bassengene er delt i h.h.v. 20 og 19 lag, med de øvre lagene ca. 2 m tykke. Utvekslingen mellom bassengene beskrives med den samme lagoppdelingen, ved trykkdrevne strømmer bestemt av vannstand og tetthetsprofiler, og med tidsopløsning av tidevannsperioden. Modellen skal derfor være istand til å beskrive hvordan hovedtrekkene i sirkulasjonsmønsteret endrer seg, også når det gjelder endringer i tidevannsrelatert strøm.

Alle resultater nedenfor gjelder innenfor hvert basseng som en helhet, altså med full horisontal midling. Modellen kan forventes tilnærmet å representere virkningen i hoveddelen av vannmassene. Noe avhengig av utslippsarrangement og utslippssted må det ventes en ganske stor nærsone hvor

virkningene i overflatelaget er vesentlig sterkere. Det må tas i betraktning ved en vurdering av de biologiske effekter.

### 5.1.1 Beregningsforutsetninger m.h.t. tilførsler og utslippsarrangement

Beregninger er gjort for noen ulike situasjoner mht. bruken av flomtunnelen og utslippsarrangementet, og resultatene er sammenlignet med modellkjøringer for en situasjon uten overføring av vann fra Glomma og med tilførsler tilsvarende 1985-90.

For ferskvannet fra Glomma er brukt de tallene som er vist i kapittel 4. De tallene som er brukt for andre tilførsler av N, P og organisk stoff er det redegjort for i Bjerkeng (1994-1995); de avviker noe fra de tallene som er gjengitt i kap. 4 i denne rapporten, men ikke vesentlig. For alle kjøringene med flomtunnel er andre tilførsler, samt randbetingelser ved Drøbaksundet, holdt uendret. Også når det gjelder andre beregningsforutsetninger henvises til Bjerkeng (1994-1995).

Modellen beskriver som nevnt også den biologiske omsetningen i fjorden. Når det gjelder biotilgjengelighet av N og P skiller det i modellen mellom uorganiske næringssalter, som regnes som direkte biotilgjengelig, og organisk partikulært bundet P og C som antas å synke ut og akkumulere på bunn, hvor det organiske stoffet bare langsomt blir nedbrutt og frigjort som næringssalter. Modellen inkluderer også næringssalter, partikulært stoff og silikat i ferskvannet fra Glomma, ut fra de tallene som er presentert ellers i dette arbeidet.

Temperatur i flomvannet er bare helt grovt beskrevet. I modellen er det lagt inn en forutsetning om at vannet følger lufttemperaturen i °C, som gitt av meteorologiske data, med en faktor på 0.8, men selvsagt alltid på minst 0 °C. I storflomperioder er det lagt inn en temperaturreduksjon på 4 °C i forhold til dette. Det bygger på data fra flommen i 1995, da ferskvannet i Glomma holdt ned mot 11 °C midt i juni. En kunne legge inn temperaturdata fra Øyeren i simuleringen, og derved få et bedre bilde av temperatureffekten, men det har ikke vært mulig innenfor prosjektrammen.

Når det gjelder vannføringen i tunnelen er det brukt to alternativer for et årsforløp, innenfor de spesifikasjoner som er gitt i tabell 1:

Normalår	Vannføring 100 m <sup>3</sup> /s som spesifisert, dvs. bare mellom kl. 8 og 16, 5 dager i uken fra 1.8 til 1.5, og kontinuerlig i 6 uker om sommeren, fra 1.5.
Flomår	600 m <sup>3</sup> /s i 14 dager fra ca. 1.6 istedet for de vanlige 100 m <sup>3</sup> /s, ellers som normalår.

For utslippsarrangementet er det brukt tre ulike alternativer i beregningene:

1. Ferskvannet fra Glomma tilføres det øverste modellaget (0-2 m), og blandet ned ved de naturlige blandingsprosesser.
2. Ferskvannet fra Glomma tilføres vannsøylen jevnt fordelt fra 0 til 5 m dyp. Dvs. at det antas en kraftigere blanding i nærsone ved utslippet.
3. Utslipp av ferskvannet fra Glomma dykkes til 20 m dyp via 20 hull av 1.5 m diameter, dvs. med hastigheter fra 3 til 20 m/s avhengig av vannføring. Utslipet vil stort sett havne i overflatelaget, men rive med seg og blandes med vann fra ned mot 20 m dyp ved strålefortynning.

Alternativ 2 og 3 er et forsøk på å oppnå etterlignende omtrent de innblandingsforhold som er skissert av SINTEF (1995).

### 5.1.2 Beregnede situasjoner.

De forskjellige alternativene for vannføring og utslippsarrangement som er skissert i kap 5.1.1 er kombinert til de situasjonene som er vist i tabell 8, hvor det også er gjort alternative antagelser om stoffkonsentrasjon i ferskvannet fra Glomma.

Tabell 8. Utslipps-situasjoner i Bunnefjorden som det er kjørt modellberegninger for.

	Vannføring	Utslippsarrangement	Stoffkonsentrasjoner
A.	Normalår	Til overflaten	Maksimalverdier
B.	Normalår	Fordelt fra 0 til 5 m dyp.	Minimalverdier
C.	Normalår	Dykket til 20 m dyp	Maksimalverdier
D.	Flomår	Til overflaten	Maksimalverdier
E.	Flomår	Fordelt fra 0 til 5 m dyp.	Minimalverdier
F.	Flomår	Dykket til 20 m dyp	Maksimalverdier

For hvert av de tre normalår-scenariene samt for referansesituasjonen er modellen først kjørt over 20 år, med utgangspunkt det samme settet av startbetingelser, og også med identisk mønster for ytre påvirkning (meteorologi, ferskvann utenom flomtunnelen og randbetingelser i Drøbaksundet), slik at alle forskjeller vil være et resultat av ferskvannet fra Glomma. Deretter er slutttilstanden fra disse kjøringene brukt som startbetingelser for 7 parallelle simuleringer over 4 år. Dels er de samme 4 situasjonene simulert videre i 4 år, og dels er det gjort 4 års kjøring av de tre storflomsituasjonene med utgangspunkt i slutttilstanden fra den normalårskjøringen som har samme utslippsarrangement, dvs. at situasjon D, E og F tar utgangspunkt i 20-års simulering for hhv. situasjon A, B og C. Resultatene av de 7 simuleringene over 4 år kan så sammenlignes med hverandre og viser direkte hva som er virkningen for de ulike situasjonene.

Resultatene vil derfor belyse de langsiktige endringer av tiltaket. For storflom-situasjonene er det selvsagt ikke realistisk med 4 år på rad, men storflommen gir i hovedsak en nokså sterk kortvarig effekt, og har liten virkning på den permanente tilstanden. Et unntak kan være oksygeninnholdet i dypvannet kap. 5.1.5), som er en integrert effekt, her kan tilleggseffekten av et storflomår bli noe overdrevet. Som meteorologiske data er brukt 4 års historiske data syklisk repetert, så en 4 års modellkjøring gir et visst statistisk bilde av hvordan virkningen kan variere med de naturgitte forhold fra år til år.

### 5.1.3 Fysiske virkninger.

Resultatene for saltholdighet og temperatur i Bunnefjorden er oppsummert i tabell 9. Med sommerperioden menes her den tiden innenfor 1.5 - 1.8 hvor ferskvannet kjøres ut kontinuerlig. Tabellen viser endringen i forhold til en situasjon uten flomtunnel. Fordi modellkjøringene bare gir et ufullstendig bilde av de naturlige variasjonene i saltholdighet, er det for vurdering av de biologiske effekter i kap. 5.2 valgt å se på de beregnede endringene i forhold til de reelle observerte saltholdigheter i fjorden, ut fra hydrofysiske data samlet over en årrekke. Det kan imidlertid nevnes at modellkjøringen for referansesituasjonen gir midlere overflatesaltholdigheter (0 - 2 m) som om

sommeren vanligvis varierer i området 18 - 23 PSU, men som vil kunne bli ned mot 15. Tallene i tabell 9 blir da typisk endringer i forhold til en utgangsverdi på ca. 20 PSU, men en må da ta i betraktning at det vil være en del naturlige variasjoner rundt den verdien en da kommer fram til.

Tabell 9. Resultatet av modellkjøringer - endring i salinitet og temperatur i overflatelaget i Bunnefjorden p.g.a. overføring av Glommavann.

	Reduksjon av salinitet (PSU) i overflatelaget		Endring av temperatur i overflatelaget (0-2 m) om sommeren
	0-2 m	5-10 m	
A.	5 til 7 om sommeren, 2 til 3 ellers	0.5 - 1.0, mest om sommeren.	Reduksjon 1 - 1.5 °C
B.	2.5 - 3.5 om sommeren, 1.5 - 2.5 ellers	1.2 - 2.5 om sommeren <1 ellers	Reduksjon 1.5 - 2 °C
C.	1 om sommeren 1.5 - 2.5 rundt årsskiftet	2-4 om sommeren 0.5 ellers	Reduksjon 0.5 - 1.5 °C
D.	15-20 i flomperioden, ellers som A	2-3 i flomperioden ellers som A	Reduksjon på 4-8 °C i flomperioden, ellers som A.
E.	ca. 10 i flomperioden 2-3 ellers i året.	5-8 i flomperioden <2 ellers i året	Reduksjon på 4-5 °C i flomperioden.
F.	Innenfor 1-2	4 - 6 i flomperioden	Reduksjon innenfor 1-2 °C i overflaten, 3-6 rundt 10 m dyp

I Vestfjorden (som horisontalt gjennomsnitt over bassenget) kan en grovt sett regne at virkningen på saltholdigheten blir omtrent 50 - 60 % av det en har i Bunnefjorden, bedømt ut fra modellresultatene.

Når det gjelder simulering av dykket utslipp av ferskvannet fra Glomma til 20 m (situasjon C og F) beregnes strålefortynning og innlagring av modellen, men det er ikke tatt hensyn til begrensninger i tilgjengelig fortynningsvann. Det er usikkert om dette er et realistisk alternativ. Dette scenariet gir forholdsvis liten virkning på saliniteten i overflaten selv i flomperioden, men en reduksjon på 4-6 PSU rundt 5-10 m dyp, slik at det blir et dypere overflatelag med svakere sjiktning i overflaten, men sterkere sjiktning lenger ned. Tilsvarende vil temperaturen i flomperioden, ifølge modellforutsetningene, bli lite redusert i overflaten (1-2 °C) og noe mer (3-6 °C) rundt 5-10 m. Utenom flommen, det vil også si i normalår, vil endringene i salinitet bli forholdsvis små for et slikt utslipp, bedømt ut fra modellresultatene.

Modellen beregner vannets oppholdstid som den tid vannet i middel har oppholdt seg innenfor Drøbaksterskelen, uansett hvilket dyp det har befunnet seg i. Etter denne definisjonen vil oppholdstiden i overflatelaget variere mellom 0.8 og 1.4 år i Vestfjorden, mens den er 1 - 2 måneder lengre enn dette i Bunnefjorden. I et normalår vil oppholdstiden i Vestfjordens overflatelag bli redusert med ca. 2 måneder i vårperioden, og med ca. 3 måneder i Bunnefjorden. På mellomdyp (30 m) vil oppholdstiden bare bli litt redusert i Bunnefjorden (med 2-3 %, eller ca. 7-14 dager) og noe mer i

Vestfjorden (med mellom 14 dager og 1.5 måneder). Siden oppholdstiden er definert som en integrert variabel vil endringer i gjennomstrømningshastighet bare gradvis gi reduksjon av oppholdstiden.

Under overflatelaget vil en kompensasjonstrøm transportere vann inn i fjorden. Ved Drøbaksterskelen vil et to-veis strømsystem med tidevannsrelaterte variasjoner i strømrretningen i dag være velutviklet hele året og en større ferskvannstilførsel kan tenkes å påvirke utskiftningsprosessene negativt ved at det vinterstid kan begrense nytt dypvann i å trenge inn i fjorden uhindret. Ut fra modellresultatene ser det imidlertid ut til at endringene først og fremst ligger i en større og ferskere utstrømning i overflatelaget, og at strømbildet i nedre del av strømningstverrsnittet (13 m dyp) ikke påvirkes særlig. Utstrømningen får større volum, uten å føre med seg en større salttransport ut av fjorden. En foreløpig konklusjon blir derfor at vannfornyelsen utenfra ikke påvirkes særlig hverken i negativ eller positiv retning. Det kan imidlertid ikke utelukkes at disse transportene kan bli endret, slik at vannutveksling og dypvannsfornyelser blir påvirket.

Andre effekter som ikke er tatt opp i denne rapporten er forandrede temperaturforhold i overflatelaget, risiko for økt islegging og navigasjonstekniske konsekvenser ved forandrede strømforhold i f.eks. Drøbaksundet.

#### 5.1.4 Næringsalter og primærproduksjon

Ifølge modellberegningene ser det ut til at innholdet av næringsalter i overflatelaget (0-5 meter) i Bunnefjorden vil øke vesentlig, særlig for nitrogen og silikat. Total nitrogen-innholdet i overflaten kan ventes å bli 50 - 100 µg/l høyere om sommeren. Ut fra modellresultatene ser det ut til at primærproduksjonen i ennå større grad enn i dag blir P-begrenset, idet fosfat fortsatt vil være oppbrukt i store deler av sommeren i overflatelaget, mens det vil være opptil 100-200 µgN/l ubrukt nitrat, og store mengder ubrukt silikat i Bunnefjorden. Det betyr at tilførsene vil realiseres som algevekst ettersom ferskvannsmengdene spres utover i fjorden. Dette er med i modellen, og vil være en viktig del av årsaken til at utslippet for såpass store virkninger på dyplagene i Vestfjorden (se kap 5.1.5). Innholdet av uorganiske partikler og lav salinitet kan hemme algeveksten der påvirkningen er størst. Dette er ikke med i modellen slik den er pr. i dag, og virkningene av økt næringssalttilgang kan derfor komme lenger ut i fjordsystemet enn beregnet her, f.eks. med større virkninger i Vestfjorden.

#### 5.1.5 Oksygenforhold i dypvannet

Modellberegningene forutsier også at overføringen av Glommavann vil ha en vesentlig negativ virkning på oksygenforholdene i dypvannet både i Bunnefjorden og i Vestfjorden. For 60 - 100 m dyp blir oksygenreduksjonen større jo lenger tid det er gått fra siste dypvannsinnstrømning, mens det i 30 m dyp er en mer vedvarende effekt. Årsakene kan være sammensatt; dels kan det være økt belastning av organisk stoff og næringsstoffer, som gir produksjon og nedsynking av organisk materiale, dels kan det være minsket vertikalblanding p.g.a. sterkere sjiktning.

Tabell 10 viser hvilke endringer en kan vente for de periodene da oksygeninnholdet fra før er lavest. I Vestfjorden gjelder det hver høst før den årlige dypvannsfornyelsen, da oksygeninnholdet i dag kommer ned i 1 - 3 ml/l. I Bunnefjorden kan det gå flere år mellom innstrømningene, og før en innstrømning kan det være opptil 1 ml/l oksygen i vannmassene, men også ofte hydrogensulfid. Særlig for Bunnefjorden må det tas forbehold om at simuleringer over 4 år bare gir et usikkert bilde av hvilke virkninger som kan opptre.



Tabell 10. Resultatet av modellkjøringer - reduksjon i oksygeninnhold i dypere lag p.g.a. overføring av Glommavann.

Reduksjon av oksygeninnhold i dypere lag før dypvannsfornyelser. (ml/l)				
	Bunnefjorden		Vestfjorden	
	rundt 30 m dyp	60-100 m dyp	rundt 30 m dyp	60-100 m dyp
A.	0.2 - 0.4	0.3 - 0.6	0.1 - 0.5	0.2 - 0.3
B.	0.2 - 0.3	0.3 - 0.5	0.1 - 0.3	0.1 - 0.25
C.	0.3 - 0.5	0.5 - 1.0	0.3 - 0.4	0.15 - 0.4
D.	0.4 - 0.6	0.3 - 0.8	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5
E.	0.3 - 0.5	0.4-0.6	0.2 - 0.4	0.2 - 0.4
F.	0.3 - 0.8	0.6 - 1.2	0.2 - 0.5	0.3 - 0.5

I hovedsak kan en vente rundt 0.5 ml/l lavere oksygenminima med overføring av Glommavann enn uten, men med en del variasjoner mellom alternativene. I Vestfjorden vil det bli en reduksjon av oksygeninnhold som fra før er kritisk lave (1 - 3 ml/l), og i Bunnefjorden kritisk lavt oksygeninnhold høyere opp i vannmassene enn før, og også økt hyppighet og utbredelse av sulfidholdige vannmasser. Virkningen ses i hovedsak å være resultat av de normale tilførsle (A,B,C), mens tilleggsvirkningen av 14 dagers økte tilførsler ved en storflom er mindre (forskjell D-A, E-B, F-C). Siden alternativene D, E og F er beregnet for 4 års storflom på rad, mens det i praksis vil opptre med mange års mellomrom, kan denne tilleggseffekten også være noe overdrevet. Variasjonene mellom de alternative utslippsarrangementene bør betraktes som uttrykk for generell usikkerhet i resultatene, og ikke som presise anslag for relativ virkning av de ulike arrangementene.

Blåskjell er med i modellen, men de negative virkninger for blåskjell av store saltholdighets-reduksjoner er ikke tatt hensyn til. Siden blåskjell ser ut til å kunne bidra til å fange opp endel av primærproduksjonen og derved minske både partikkelinnholdet i vannet og mengden organisk stoff som belaster dypvannet, kan de negative virkningene i ekstremtilfellene bli sterkere enn beregnet her.

## 5.2 Biologiske effekter.

### 5.2.1 Den pelagiske primærproduksjonen.

Lavere saltholdighet, økt N/P-forhold, økt silikattilførsel og redusert oppholdstid samt redusert siktedyp vil være faktorer som vil forandre produksjonsforholdene i fjorden kvantitativt og kvalitativt (artsforandring). Det har ikke vært hensikten å beskrive i detalj forandringer i planteplanktonproduksjonen, men modellresultatene tyder på en økt primærproduksjon. De økte silikattilførsle vil sannsynligvis gi en større dominans av diatomeer i fjorden enn i dag. Økt primærproduksjon vil sammen med økte tilførsler av partikler og humus redusere siktedypet, som i sin tur vil begrense fotosyntese-sonens vertikale utbredelse.

## 5.2.2 Gruntvannssamfunnene

### Innledning

Glomma vil tilføre Bunnefjorden store mengder ferskvann, såvel ved flomår som i normalår, og ferskvannet inneholder partikulært materiale av ulik kvantitet og kvalitet (Næs, 1983). Disse tilførselene virker stort sett negativt på de fleste marine organismer, og gjør dem mer ømfintlige for andre endringer i livsmiljøet enn organismer som lever i vann med høyere saltholdighet (Bokn, 1984). Partikkelinnholdet fører til øket turbiditet i vannet, som reduserer lysgjennomtrenging, hvilket reduserer siktedypet, som igjen influerer på algenes nedre voksedyp. Stort partikkelinnhold i relativt stillestående vann resulterer i økt nedslamming, som påvirker livskvaliteten til organismene. Særlig vil dette være akutt for kimplanter og yngelstadier.

De fleste marine alger og dyr har et visst minstekrav til saltholdigheten i vannmassene. Det er derfor rimelig at artsantallet av fastsittende alger reduseres når innflytelsen av Glommavannet blir stor. Lav saltholdighet eller svært næringsrikt vann gir normalt stort prosentvis innslag av hurtigvoksende grønnalger/ "grønske" (Bokn, 1979). Det er ofte grønnalgeslektene *Enteromorpha* - tarmgrønske - og *Cladophora* - grønndusk - som kan vokse i betydelige mengder ved slike miljøforhold. Slike store bestander brukes gjerne som kriterium på forurensede vannmasser. Dette er bl.a. dokumentert for Frierfjorden i Nedre Telemark (Bokn og medarb., 1977).

Den vanlige brune tangen, som er representert med fem arter i indre Oslofjord, er relativt tolerant for nedsatt saltholdighet. Men under 3-5 PSU saltholdighet er det lite rimelig å finne noen arter. Grisetang er den minst tolerante og forsvinner fra strendene vanligvis ved 8-10 PSU (Wachenfeldt, 1975). Denne arten har generelt også vanskelig for å reetablere seg (Rueness, 1973, Bokn og medarb., 1992).

Ifølge Rosenberg & Rosenberg (1973) trives *Littorina littorea* - strandsnegl - dårlig i vannmasser med saltholdighet under 10 PSU og overlever ikke under 8 PSU. Dette synes å stemme godt overens med brakkvannstoleransen til *Balanus balanoides* - fjærerur. Campbell (1976) refererer til innergrense i 1971 i vestlige del av Østersjøen, hvor saltholdigheten varierte mellom 7,5 og 8,5 PSU (Kullenberg, 1981). *Mytilus edulis* - blåskjell - synes å tolerere noe lavere saltholdighet. I Finskebukten vokser de i 4-5 PSU saltholdighet (Bayne og medarb., 1976). Dette synes å være i overensstemmelse med blåskjellpopulasjonenes toleranse i Glommaestuaret (Bokn, 1984).

I tillegg til nedsatt saltholdighet vil følgende faktorer ha innflytelse på miljøet til de fleste arter som lever på hardbunnslokaliteter:

- Lystilgang
- Bunnens beskaffenhet
- Isskuring
- Nedslamming
- Partikkelskuring
- Artenes forhistorie
- Artsavhengighet
- Forurensning

Betydelige økninger i suspendert stoff kan føre til redusert lystilgang til de fastsittende algene. Organismene på bunn vil bli nedslammet i ulik grad alt avhengig av bunnens beskaffenhet, helningsvinkel og strømeksponeering (Cimberg og medarb., 1973). Kimplanter og yngelstadier vil være utsatt for partikkelskuring, og dette vil kunne ha en hemmende effekt på etableringen av fastsittende organismer (Murray & Littler, 1979). Hyppige ferskvannspåvirkninger med ulike konsentrasjoner av partikulært materiale vil føre til øket sensitivitet overfor forskjellige former for antropogen påvirkning. Nedsatt saltholdighet vil føre til økt isdannelse og hyppigere isskuring. Alle

disse påvirkninger fører til reduserte organismesamfunn. Det er påvist et skifte fra flerårige, stabile alger til stress-tolerante og opportunistiske arter (Seapy & Littler, 1982).

Konkurransen mellom artene om voksested og nedbeiting av fastsittende alger er vanligvis ikke av særlig betydning i fattige gruntvannssamfunn, som er vanlig i Bunnefjorden. Imidlertid er det registrert en kraftig beiting av strandsnegl på kimplanter og voksne planter av *Fucus evanescens* - gjelvtang (Bokn og medarb.1992). Eksperimentelle registreringer er startet for å se på arts-avhengighet i relasjon til det fysisk-kjemiske miljø i Bunnefjorden (Moy & Bokn in prep.). I denne sammenheng er det viktig å kjenne artenes forhistorie når en arts utbredelse i et fjordområde skal vurderes.

### *Vurderinger*

I kap. 5.1.2 er det satt opp noen beregnede situasjoner, og i tabell 9 finnes beregninger for saltholdighet og temperatur. Ut fra observasjoner fra overvåkingsprogrammet er saltholdigheten for hver måned i ulike dyp beregnet for tidsrommet 1973-93 i Bunnefjorden og Vestfjorden. Ut fra de observerte data er situasjonen etter de beregnede saltholdighetsreduksjonene (tabell 9) ved en overføring vurdert.

Situasjon D. *Flomår med utslipp til overflaten* vil kunne drepe i hovedsak alt marint liv i overflatelaget og strandsonen i Bunnefjorden. I ekstremisituasjon vil hele overflatelaget i Bunnefjorden være ferskt i 14 dager av de tre aktuelle måneder. I beste fall vil saltholdigheten være 7-12 PSU. Også disse konsentrasjoner er faretruende nær eller over toleransegrensen for flere marine arter. P.g.a. lavere saltholdighet i Vestfjorden enn i Bunnefjorden, vil Glommavann forårsake store saltholdighetseffekter på gruntvannssamfunnene i Vestfjorden selv om saltholdighetsreduksjonen kun er ca. halvparten i Vestfjorden i forhold til reduksjonen i Bunnefjorden. Ved ekstremisituasjoner er det ytterst få marine arter som kan overleve, men også ved gjennomsnittskonsentrasjoner er nivåene noe lave.

Selv i normalår (situasjon A) vil marine gruntvannsorganismer i Bunnefjorden få problemer med saltholdighetsnivåene. I Vestfjorden vil saltholdigheten ligge 1-2 PSU høyere, uten at dette er noen garanti for å unngå dødelighet.

Situasjon E. *Flomår med utslipp fordelt fra 0 til 5 m dyp* gir mindre brakkvannseffekter enn overflateutslipp, men like fullt vil flomår kunne ødelegge oppvekstområder for flere marine arter både i Bunnefjorden og Vestfjorden. Normalår vil neppe kunne forårsake slike effekter.

De økede næringssaltkonsentrasjoner vil sannsynligvis endre konkurranseforholdene mellom artene, og grønsken vil igjen kunne innta strendene i indre Oslofjord. I tillegg er grønsken meget ferskvannstolerant. Det er vanskelig å kvantifisere lysreduksjonen, som forårsaker begrenset areal for de fastsittende alger, men med de store partikkelmengder som vil bli tilført fjordsystemet er det høyst sannsynlig at bestanden (populasjonene) reduseres. I tillegg vil partikkelmengden føre til direkte nedslamming av såvel dyr som alger.

### *Konklusjoner*

Ut fra de foreliggende beregninger om nedsatt saltholdighet, øket partikkeltransport og økede nivåer av næringssalter i Bunnefjorden og Vestfjorden er det liten tvil om at Glommavannet vil ha en negativ effekt på organismene som lever på hardbunn i fjorden. Sannsynligvis vil de største ferskvannsmengdene utrydde flere arter som idag lever i Bunnefjorden.

### 5.2.3 Dyrelivet på dypere vann og på bunn.

Dyrelivet på bunn og i dypvannet vil totalt sett få dårligere livsbetingelser, når oksygenforbruket i dypvannet øker og minimumsnivåene for oksygen om høsten blir lavere. De mulige positive effekter ved økt sedimentering, som tildekking av forurensede sedimenter (miljøgifter), vil i denne sammenheng være av underordnet betydning, spesielt i flomår da risikoen for økte tilførsler av miljøgifter også foreligger.

## 5.3 Forurensningsforhold.

Indre Oslofjord har gjennom 1900-tallet blitt stadig mer overgjødset i hovedsak ved utslipp av avløpsvann fra husholdningskloakk. Tilførslene kulminerte på 1970-tallet og har deretter blitt redusert som følge av rensetekniske tiltak. Reduksjonen har vært størst for fosfor, men nå er det også igang arbeid med en bedre rensning av nitrogen. Tiltakene har som mål å begrense effekten av overgjødningen (høy plante- planktonproduksjon med en forringelse av fjordens plante- og dyreliv, se f.eks, Beyer og Indrehus, 1995, Olsgaard, 1995 og Magnusson m.fl., 1995). Det kan derfor ha interesse å se hvor store tilførsler av næringssalter en overføring av Glommavann vil gi sammenlignet med de tiltak som eksisterer eller planlegges for å forbedre forholdene i fjorden.

Ved VEAS ble det fjernet ca. 290 tonn fosfor og 420 tonn nitrogen i 1994. Fra og med 1995 er det satt igang utprøving av nitrogenrensing på VEAS, anlegget vil fra nå av fjerne opp mot 1000 tonn nitrogen pr. år. En overføring av Glommavann vil i et normalår (scenario II) bety at tilførslene av fosfor øker med 11 - 36 tonn og nitrogen med 480 - 610 tonn. De økte tilførslene av nitrogen vil tilsvare omtrent halvparten av det som VEAS fjerner etter at nitrogenrensing er gjennomført. I år med storflom vil tilførselen av nitrogen fra Glommavann være 720 - 975 tonn, dvs. omtrent samme mengde som VEAS vil rense. Siden Glommavannet tilføres overflatevannet, mens utslippet fra VEAS lagres inn under den sonen hvor det er direkte tilgjengelig for algevekst, vil en vente at den relative betydningen av Glommatilførslene blir større. En overføring av Glommavann vil derfor minst oppveie de rensetekniske tiltak som er besluttet. Modellberegninger viser også en økt planteplanktonproduksjon i fjordens overflatelag og større oksygenreduksjon i dypvannet (kap. 5.1.4. og 5.1.5)

Følgene for fjorden blir dårligere forhold enn det som er tenkt. Hva som vil skje i detalj vil her ikke bli berørt. Imidlertid vil fjordens tilstand forandres så mye i forhold til dagens situasjon at hele renseltaksproblematikken må revurderes i forhold til den nye situasjonen. Dette ligger utenfor ambisjonen til dette arbeidet.

## 5.4 Rekreasjon.

En overføring av Glommavann til indre Oslofjord vil også kunne få betydning for friluftslivet i fjorden. Her skal bare nevnes perioder med kaldere badevann i overflaten, spesielt i storflomår, dårligere siktedyp og økt begroing med grønnalger. Lavere oksygenkonsentrasjoner i dypvannet kan også få konsekvenser for såvel yrkesfiske som fritidsfiske.

## 6. Konklusjoner.

En overføring av Glommavann til indre Oslofjord med opp til  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  i flomår (gjentakelsesintervall hvert 50. år), vil forårsake store forandringer i fjorden i den aktuelle tiden (forsommeren). Med en økt ferskvannstilførsel på ca.  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  også resten av året hvert år vil det også bli permanente forandringer. Tilførsel av næringsalter (spesielt nitrogen og silikat), organisk stoff og partikler vil øke, strømsystem og saltholdighetsregime samt oppholdstiden på fjordens overflatelag vil forandres. Dette vil resultere i et forandret økosystem på grunt vann, som er tilpasset den nye situasjon og som vil ligne på brakkvannsområder som deler av Hvalerområdet og Drammensfjorden. Enkelte algearter vil kunne forsvinne, mens forekomsten av grønske (grønnalger), som ofte forekommer i forurensede områder, vil øke. Økt primærproduksjon og økt tilførsel av organisk stoff vil resultere i en økt belastning av oksygenforbrukende materiale på fjordens dypvann. Oksygenreduksjonen vil kunne bli betydelig (ca.  $0.5 \text{ ml/l}$ ). Dette betyr i sin tur mindet livsrom for dyrelivet i disse vannmasser (f.eks. bunnfauna og fisk). Videre vil eksisterende og planlagte rensetiltak, som baserer seg på dagens forhold, måtte revurderes, og sammenlignet med den planlagte reduksjonen av næringsalter vil antagelig mye av de forventede virkningene av tiltakene bli redusert ved en overføring av Glommavann.

## 7. Litteratur.

- Bayne, B.L., Thompson, R.J. & Widdows J., 1976. Physiology: I. in *Marine mussels: their ecology and physiology*. (ed. B.L. Bayne): 121-206. London. 506 pp.
- Beyer, F. og Indrehus.J, 1995. Overvåking av forurensnings situasjonen i indre Oslofjord. Effekter av forurensning og dypvannsutskiftning på faunaen langs bunnen av Oslofjorden basert på materiale samlet siden 1952. Biologisk institutt, Universitetet i Oslo. SFT-rapport nr 621/95.
- Bjerkeng, B., 1994-1995. EUTROFIMODELL FOR INDRE OSLOFJORD; En modell for omsetning av organisk stoff og næringssalter i innelukkede fjorder med vertikal sjiktning. Norsk institutt for vannforskning:  
 Rapport 1: Praktisk utprøving på indre Oslofjord. NIVA-rapport lnr. 3112.  
 Rapport 2: Faglig beskrivelse av innholdet i modellen NIVA-rapport lnr. 3113  
 Rapport 3: EDB-teknisk beskrivelse og praktisk bruker-veiledning. NIVA-rapport lnr. 3114  
 Rapport 4: Fysiske prosesser. Litteraturstudium og dataanalyse. NIVA-rapport lnr. 3115  
 Rapport 5: Fytoplankton-prosesser - et litteraturstudium. NIVA-rapport lnr. 3116
- Bokn, T., 1979. Use of Benthic Algae Classes as Indicators of Eutrophication in Estuarine and Marine Waters. - Pp 138-146 in *The use of ecological variables in environmental monitoring*. (ed. H. Hytteborn). Naturvårdsverket, report 1151.
- Bokn, T., 1984. Basisundersøkelser i Hvalerområdet og Singlefjorden. Gruntvannsorganismer 1980-1982. NIVA-rapport 1615. 49 s.
- Bokn, T., Kirkerud, L., Kvalvågnes, K. & Rygg, B., 1977. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 6. Fremdriftsrapport fra de biologiske undersøkelsene mars 1974 - mai 1976. NIVA-rapport, O-70111, 234 s.
- Bokn, T.L., Murray, S.N., Moy, F.E. & Magnusson, J.B., 1992. Changes in fucoid distributions and abundances in the inner Oslofjord, Norway: 1974-80 versus 1988-90. *Acta Phytogeogr. Suec.* 78: 117-124.
- Campbell, A.C., 1976. *The Hamlyn Guide to the Seashore and Shallow Seas of Britain and Europe*. Norsk bearbeidelse (red. M. Rueness, I. Gjermundsen og B. Gjermundsen). Planter og dyr i grunne farvann. 1977. Gyldendal Norsk Forlag A/S. 320 s.
- Cimberg, R., Mann, S. & Straughan D., 1973. A reinvestigation of southern California rocky intertidal beaches three and one-half years after the 1969 Santa Barbara oil spill: a preliminary report. *In Proceedings of joint conference on prevention and control of oil spills*. American Petroleum Institute, Washington D.C., 697- 702.
- Gade, H.G., 1967. Hydrografi. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. I undersøkelsen 1962-1965. Delrapport 2. Norsk institutt for vannforskning.
- Kirkerud, L. og Bjerkeng, B., 1995. EUTROFIMODELL FOR INDRE OSLOFJORD; En modell for omsetning av organisk stoff og næringssalter i innelukkede fjorder med vertikal sjiktning. Norsk institutt for vannforskning: Rapport 6: Filtrering og vekst hos blåskjell som funksjon av miljøforhold. NIVA-rapport lnr. 3117.
- Kullenberg, G., 1981. Physical Oceanography in *The Baltic Sea* (ed. A. Voipio) Elsevier Oceanography Series, 30: 135-181. Amsterdam. 418 pp.

Magnusson, J., Lømsland, E.R. og Johnsen, T., 1995. Overvåking av forurensnings situasjonen i indre Oslofjord 1994. Norsk institutt for vannforskning. SFT-rapport nr 626/95.

Moy, F.E. & Bokn, T.L. in prep. Hindrer sneglbeiting gjenvekst av tang i Bunnefjorden? (tentativ tittel).

Murray, S. N. & Littler, M.M., 1979. Assessments of the distribution, abundance, and community structure of rocky intertidal organisms near Whites Point, Los Angeles. In: Littler, M.M. (Ed.) *The distribution, abundance, and community structure of rocky intertidal and tidepool biotas in the Southern California Bight*, Bureau of Land Management, Department of the Interior, Washington D.C., Report 1.4, 1-47.

Næs, K., 1983. Basisundersøkelse i Hvalerområdet og Singlefjorden. Løste metaller og suspendert materiale i overflatevann og kjemisk sammensetning av bunnsedimentene, 1981-81. NIVA-rapport 1553. 100 s.

Olsgaard, F., 1995. Overvåking av forurensnings situasjonen i indre Oslofjord. Undersøkelser av bløtbunnsfauna 1993. Biologisk institutt, Universitetet i Oslo. SFT-rapport nr. 622/95.

Paasche, E. og Erga, S.R., 1988. Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton in the inner Oslofjord (Norway). *Sarsia*, 73, 229-243.

Rosenberg, R. & Rosenberg, K., 1973. Salinity tolerance in three Scandinavian populations of *Littorina littorea* (L.) (Gastropoda). *Ophelia*, 10: 129-139.

Rueness, J., 1973. Pollution effects on littoral algal communities in the inner Oslofjord, with special reference to *Ascophyllum nodosum*. - *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 24:446-454.

Seapy, R.R. & Littler, M.M., 1982. Population and species diversity fluctuations in a rocky intertidal community relative to severe aerial exposure and sediment burial. *Mar. Biol.*, 71: 87-96.

SINTEF, 1995: Tiltak for å unngå oversvømmelse ved neste storflom. Prosjektforslag nr. 18/95, Trondheim 23/6-95.

VEAS, 1995. Årsmelding 1994. Vestfjordens avløpsselskap.

Wachenfeldt, T. von, 1975. *Marine benthic algae and the environment in the Øresund*. Thesis 1-3. 328 pp. Lund.

Wivestad, T.M., 1995. Forurensningstilførsler i Oslo og Akershus. Rapport nr. 4 - 1995. Fylkesmannen i Oslo og Akershus. Miljøvern avdelingen.

Wold, T., 1995. Vassdrag i Oslo 1994. Status for elvene. Oslo- vann og avløpsverk.

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3424-96

ISBN 82-577-2958-2