




O-93133

Virkninger av
planlagte tiltak for å
redusere overgjøsling i
Grenlandsfjordene

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-93133	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2908	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47 41) 43 033	Telefon (47 65) 76 752	Telefon (47 5) 32 56 40	Telefon (47 83) 85 280
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47 41) 44 513	Telefax (47 65) 76 653	Telefax (47 5) 32 88 33	Telefax (47 83) 80 509

Rapportens tittel: Virkninger av planlagte tiltak for å redusere overgjødning i Grenlandsfjordene	Dato: 25/6-93	Trykket: NIVA 1993
	Faggruppe: Marin eutrofi	
Forfatter(e): Anders Stigebrandt, Ancylus Jarle Molvær, NIVA	Geografisk område: Telemark	
	Antall sider: 18	Opplag: 50

Oppdragsgiver: Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelingen	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt:

En tidligere utviklet dose-responsmodell er nå gjort operativ for både nitrogen og fosfor. Det er beregnet virkninger av gjennomførte og planlagte utslippsreduksjoner i Grenlandsfjordene. Beregningene, som omfatter syv utslippsscenarier, viser for alle scenarier at fosfor begrenser planteveksten. Redusert utslipp av fosfor til fjordens overflatelag vil ha betydelige effekter på mengden brakkvannsplankton i Frierfjorden, men også i Eidanger-/Langesundsfjorden. Nitrogenrensing av kommunale avløp gir ikke noen forbedring av lokal vannkvalitet fordi tilførselen av nitrogen fra andre kilder er meget stor. Dypinnlagring kan ytterligere redusere planteveksten i overflatelaget. Store forbedringer av lokal vannkvalitet kan oppnås ved reduksjon av utslippene av farget og partikulært organisk materiale fra Union Bruk, samt ved rensing av Skiensselvas bunn.

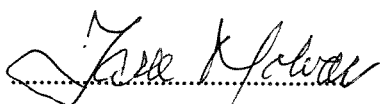
4 emneord, norske

1. Eutrofiering
2. Rensetiltak
3. Modellsimulering
4. Vannkvalitet

4 emneord, engelske

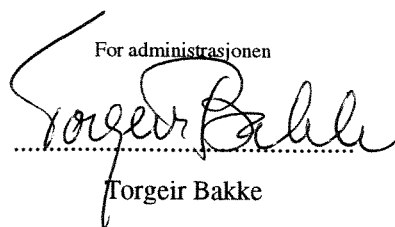
1. Eutrophication
2. Sewage treatment
3. Model simulation
4. Water quality

Prosjektleder



Jarle Molvær

For administrasjonen



Torgeir Bakke

ISBN82-577-2327-4

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

O-93133

VIRKNINGER AV PLANLAGTE TILTAK FOR Å REDUSERE OVERGJØDSLING I
GRENLANDSFJORDENE.

Göteborg/Oslo, 25/6 1993
Anders Stigebrandt, Ancylus
Jarle Molvær, NIVA

FORORD

I foreliggende rapport presenteres resultatene av et prosjekt som ble bestilt av Fylkesmannen i Telemark, Miljøvern avdelingen i mai 1993. En matematisk dose-responsmodell for Grenlandsfjordene ble tidligere utarbeidet under prosjektet "Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-1989" som var en del av den tiltaksorienterte overvåking i dette fjordområdet. Overvåkingen inngikk i Statlig program for forurensningsovervåking. Modellen ble brukt for å vurdere miljøeffekter av reduserte utslipp av næringsstoffet fosfor samt organisk materiale. Modellen er nå blitt gjort operativ for næringsstoffet nitrogen og har i foreliggende prosjekt blitt brukt for å vurdere om reduserte utslipp av nitrogen kan få betydning for algemengden og dermed vannkvaliteten i Grenlandsfjordene.

Professor Anders Stigebrandt, Göteborg har utført videreutvikling av modellen og beregningene. Jarle Molvær, NIVA har hatt ansvar for koordinering og prosjektledelse. Morten Johannessen har representert oppdragsgiver på en inspirerende og grei måte.

SAMMENDRAG.

Det er beregnet virkninger av gjennomførte og planlagte utslippsreducerende tiltak i Grenlandsfjordene i perioden 1989 til 1998. Spørsmålet gjelder nytte for lokal vannkvalitet av ulike tiltak. Beregningene omfatter sju utslippsscenarier.

For alle scenarier viser beregningene at fosfor begrenser planteveksten. Redusert utslipp av fosfor til fjordens overflatelag vil ha betydelige effekter på mengden brakkvannsplankton i Frierfjorden, men også i Eidanger/Langesundsfjorden.

Nitrogenrensing av kommunale avløp gir ikke noen forbedring av lokal vannkvalitet fordi tilførselen av nitrogen fra Skienselva og andre kilder er mye større. Nitrogenrensningen kan imidlertid ha betydning i større målestokk siden eksporten av nitrogen til kystområdene vil bli redusert.

Planktonveksten i overflatelaget kan ytterligere reduseres hvis en innlagrer utslippene av fosfor til Frierfjorden et godt stykke under overflatelaget. Dypinnlagring kan føre til flere positive effekter. Gjennom dypinnlagring av kloakk blir hygieniske forhold i overflatelaget forbedret fordi bakteriene blir innlagret på større dyp. Som følge av den sterke lagdelingen kan bakteriene ikke komme opp til overflatelaget inne i fjordsystemet. En annen positiv effekt er at oksygenforholdene forbedres over utslippsnivået i Frierfjordens dypvann som følge av den økte vannutsiftning som utslippsstrålen(e) medfører. Dyputslipp av store mengder ammonium (Hydro Porsgrunn) kan imidlertid gi dårlige oksygenforhold i et 5-10 meter tykt lag, sentrert omkring midlere innlagringsdyp (20 m) og med utbredelse over hele Frierfjorden.

Store forbedringer av lokal vannkvalitet kan oppnås ved reduksjon av utslippene av farvet oppløst og partikulært organisk materiale fra Union Bruk samt ved rensing av Skienselvas bunn.

Nivået på beregnede konsentrasjoner kan antyde at utslippene av næringsstoffer i 1989 var større enn oppgitt. Dette bør undersøkes.

1. BAKGRUNN.

I tidligere undersøkelser av overgjødning i Grenlandsfjordene er det fokusert på næringsstoffet fosfor og organisk materiale. Næringsstoffet nitrogen ble antatt å ha liten lokal interesse i Grenlandsfjordene fordi utslippsmengdene var så store at nitrogen fantes i overskudd og dermed ikke kunne antas å begrense algemengden. Utslippene av nitrogen er redusert vesentlig siden slutten av 80-åra, og Fylkesmannen i Telemark ønsker å få vurdert om nitrogen kan få betydning for algemengden og dermed vannkvaliteten i fjordsystemet. Den direkte foranledning er spørsmålet om det kan forventes lokal nytte av innføring av nitrogenrensing ved de kommunale renseanleggene.

Oppdraget fra Fylkesmannen innebærer en utvidelse av modellen for Grenlandsfjordene til å også omfatte beregning av omsetting av næringsstoffet nitrogen.

2. MODELLEN.

I prosjektet "Undersøkelser av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89" ble det utarbeidet en matematisk modell for hele fjordsystemet bestående av koplede modeller for hver av de fire hovedfjordene. Modellen er bygget opp av matematiske beskrivelser av fjordområdets topografi, de viktigste fysiske, kjemiske og biologiske prosessene samt utveksling av materiale og energi gjennom grenseflatene mot omgivelsene. Modellen ble brukt til å kvantitativt vurdere effektene som reduserte utslipp av næringsstoffer og farvet organisk materiale vil ha på overflatevannets egenskaper (næringsstoffkonsentrasjoner - algevekst - siktedyp), samt på oksygenforhold i bassengvannet.

3. SCENARIENE.

Det er beregnet virkninger av gjennomførte og planlagte utslippsreducerende tiltak i perioden 1989 til 1998, for seks scenarier.

- 1) 1989-situasjonen
- 2) 1993-situasjonen (nåsituasjonen)
- 3) 1998A-situasjonen - uten nitrogenrensing av kommunale avløp
- 4) 1998B-situasjonen - med nitrogenrensing ved 4 kommunale avløpsanlegg
- 5) 1998A-situasjonen - uten nitrogenrensing av kommunale avløp. Neddykket utslipp fra Knarrdalstrand renseanlegg med innlagring på ca. 20 meters dyp.
- 6) 1998A-situasjonen - uten nitrogenrensing av kommunale avløp. Neddykket utslipp fra Knarrdalstrand renseanlegg og fra Hydro Porsgrunn med innlagring på ca. 20 meters dyp.

Forurensingstilførsler for scenariene gis i Tabell 3.1. I figur 1 vises kart over Grenlandsfjordene med aktuelle stedsnavn.

Tabell 3.1. Utslipp av næringsstoffer til Grenlandsfjordene 1989-1998. Tallene er fra Fylkesmannen i Telemark, Miljøvern avdelingen (1993), unntatt for Skienselva hvor data er hentet fra Stigebrandt & Molvær (1990, 1991a). Nitrogen (N) og Fosfor (P) er gitt i tonn/år.

	1989		1993		1998A		1998B	
	N	P	N	P	N	P	N	P
FRIERFJORDEN								
Skienselva	2900	40	2900	40	2900	40	2900	40
Kommunale avløp								
A.Elstrøm rensedistrikt	84	3.9	84	3.9	84	3.9	31	3.9
B.Knarrdalstrand rensedistrikt	344	46.2	333	35	303	9.3	189	9.3
C.Herre rensedistrikt	7	0.1	7	0.1	7	0.1	7	0.1
Industri								
Hydro Porsgrunn	2665	12	1278	9	912	9	912	9
Union Bruk	18	7.3	51	5	51	5	51	5
Landbruk								
Børsesjøvassdraget	62	7.4	114	4.2	114	4.2	114	4.2
Øvrige landbruksområder	39	1.0	39	1.0	39	0.8	39	0.8'

Delsum:	6119	117.9	4806	98.2	4410	72.3	4243	72.3
EIDANGER/LANGESUNDSFJORDEN								
Kommunale avløp								
D.Heistad rensedistrikt	43	3.2	42	3.2	40	1.4	17	1.4
E.Langesund rensedistrikt	48	4.5	46	3.1	45	2.0	22	2.0
Landbruk								
	9	0.2	9	0.2	9	0.2	9	0.2

Delsum:	100	7.9	97	6.5	94	3.6	48	3.6
LANGANGS/HÅYFJORDEN								
Kommunale avløp								
F.Langangen rensedistrikt	2	0.3	2	0.3	2	0.3	2	0.3
Landbruk								
	2	0.04	2	0.04	2	0.04	2	0.04

Delsum:	4	0.34	4	0.34	4	0.34	4	0.34

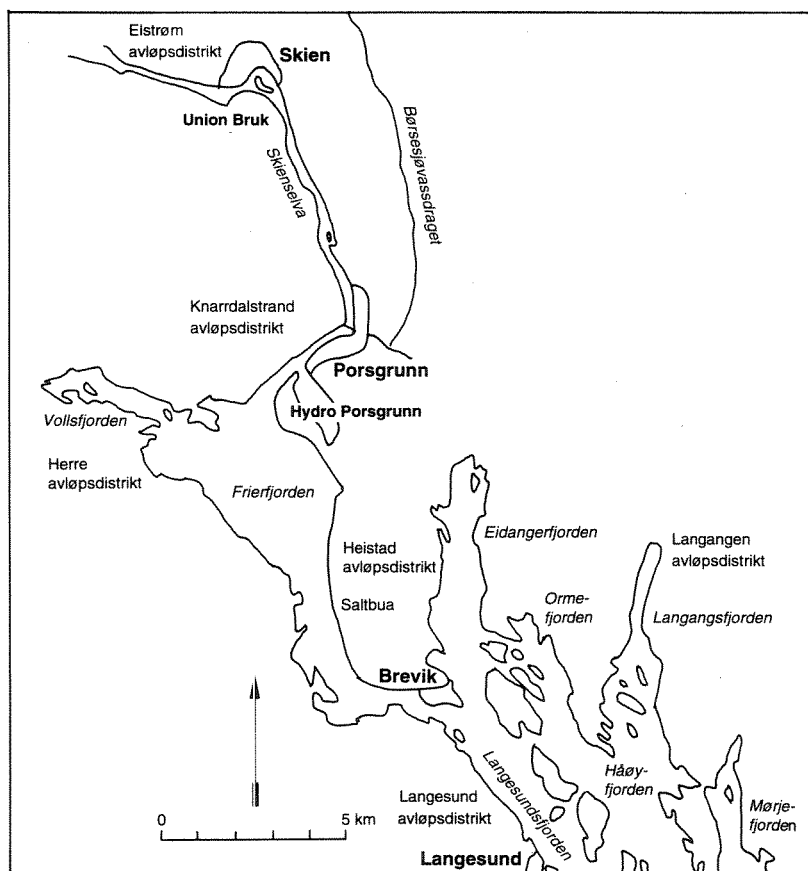
TOTAL:	6223	126	4907	105	4508	76	4295	76

I tillegg er det kjørt et sjuende scenarie

- 7) Alle utslipp fra kommune, industri og landbruk er satt lik null. Kun utslippene fra Skienselva oppstrøms Skotfoss er tatt med.

Beregningsresultatene for dette scenariet er ment å vise hva en teoretisk kan oppnå ved fullstendig rensing, og hvor nær denne tilstanden en vil komme for ulike grader av rensing.

Ved alle beregninger presenterte i denne rapporten er nitrogen- og fosformengdene tilført fra Skienselva oppstrøms Skotfoss holdt konstant på henholdsvis 2900 og 40 tonn/år. Dette er 1988-verdier og en regner ikke med at disse vil forandres særlig mye til 1998. Det vil ellers være vanskelig å skille virkninger av utslipp fra kommune og industri fra endringer i Skienselva. Nitrogentilførselen fra Skienselva kan muligens være lavere. Det er store variasjoner i nitrogentilførselen fra år til år knyttet til bl.a. avrenningens variasjoner. For sikkerhets skyld ble det derfor gjort simuleringer med lavere nitrogentilførsel (2000 tonn/år) fra Skienselva. Disse simuleringene ga imidlertid samme resultat for alle variabler, unntatt nitrogenkonsentrasjonene som selvfølgelig ble lavere, som beregningene med 2900 tonn/år og er derfor ikke presentert i denne rapporten. Beregningene med den lavere nitrogentilførselen ga en interessant belysning av spørsmålet om nitrogen som begrensende næringsstoff i Grenlandsfjordene og dette er diskutert i kap. 5.



Figur 1. Kart over Grenlandsfjordene.

4. MODELLBEREGNINGENE.

Modellen er blitt kjørt for de sju ulike scenariene som beskrevet ovenfor. Det er oppdragsgivers ønske at presentasjonen av beregningene er oversiktlig, enkel og visuell. Resultatene presenteres i en tabell for hvert fjordbasseng, Tabell 4.1 - 4.4 nedenfor. Forutsetninger og generelle kommentarer gis nedenfor. Hva beregningene forteller mht. effekter av ulike rensetiltak blir presentert i kap. 5.

4.1 Forutsetninger.

Ved simuleringene brukes i samtlige scenarier samme fysiske forhold som ble brukt i tidligere modellsimuleringer (perioden 10 mars - 24 september, 1988). Denne perioden er den eneste hvor datasett foreligger med tilstrekkelig dekning av tilstanden i fjord og kystvann, og bør gi et godt utgangspunkt for sammenligninger av effekter i fjordene av de ulike utslippsscenariene.

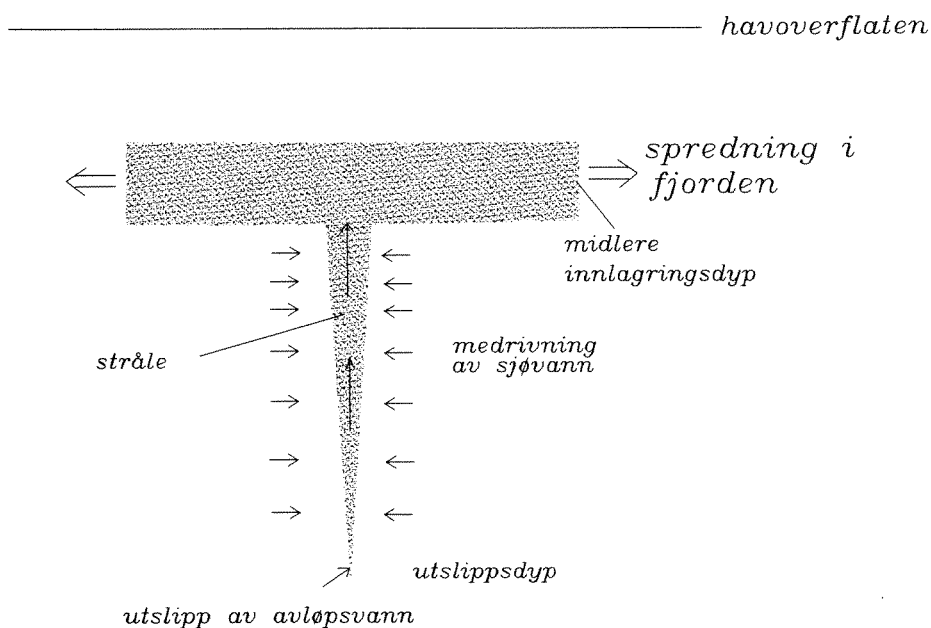
I prosjektet "Undersøkelser av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89" ble det vist at utslippene av farget oppløst og partikulært organisk materiale fra Union Bruk spiller en stor rolle for det dårlige siktedypet i Frierfjorden, noe som også er vist fra målinger foretatt under driftsstans ved Union Bruk i august 1991. Farget oppløst og partikulært organisk materiale bidrar sterkt til begrensning av planteproduksjonen under overflatelaget, særlig i Frierfjorden. Det er således av betydning for resultatene av modellberegningene hvilken lysbegrensende effekt en antar for utslippene fra Union Bruk. Det er valgt å sette disse til ca. 50% av utslippene i 1988. Dette gir et midlere siktedyp på ca. 4 meter, noe som er i samsvar med observerte siktedyp i Frierfjorden i 1989. Utslippene av lysbegrensende stoffer fra Union Bruk er holdt konstant på samme måte som utslipp ovenfor Skotfoss. Det blir ellers vanskelig å skille effektene av planlagte reduksjoner av fosfor- og nitrogenutslipp fra effekter fra andre forandringer. I scenarie 7 er dog utslippene fra Union Bruk lik null.

Det er valgt å holde utslipp fra kommunale avløp og industri konstant i tid. Det betyr at konsentrasjonen av nitrogen og fosfor i ferskvannet som kommer til fjordsystemet vil være høy ved lav vannføring og omvendt. For Skienselva oppstrøms Skotfoss er konsentrasjonene av nitrogen og fosfor holdt konstant. Siden utslippene fra industri og kommune vil variere med tiden, vil maksimums- og minimumsverdiene som modellen beregner være mindre ekstreme enn i virkeligheten.

For modellberegningene må en skille mellom nitrogen i form av nitrat og ammonium. For nitrogenet som kommer med Skienselva regner vi med 2800 og 100 tonn/år for henholdsvis nitrat og ammonium. Nitrogenet fra kommunal kloakk er i form av ammonium mens vi regner med at nitrogenet i utslippene fra industri er fordelt på 1/3 nitrat og 2/3 ammonium. Dette er samme fordeling mellom nitrat og ammonium som ble brukt i tidligere modellkjøringer.

Vi har valgt å legge dyputslippet fra Knarrdalstrand renseanlegg i scenariene 5 og 6 på 40 meters dyp. Gjennomsnittlig vannmengde fra renseanlegget i 1998 vil trolig være ca. 0.4 m³/s. I scenarie 6 blir dyputslippet fra Hydro Porsgrunn også lagt på 40 meters dyp med en antatt vannmengde på 3 m³/s. I begge scenariene blir avløpsvannet innlagret på ca. 20 meters dyp. Ved dypinnlagring blir utslippet ført ned til ønsket dyp (utslippsdypet) gjennom en rørledning. Herfra stiger det lette ferskvannet som en stråle oppover

gjennom sjøvannet. Derved blandes sjøvann inn i strålen og vannet i strålen får sin tetthet økt oppover. Hvis fjorden er lagdelt kan en ordne så at strålen får samme tetthet som omgivende vann et godt stykke under overflatelaget. Når vannet i strålen har oppnådd samme tetthet som omgivende vann vil vannet fra strålen innlagre seg på dette dypet (innlagringsdypet). Det innlagrede vannet sprer seg som regel over hele fjordbassenget, se prinsippskisse i figur 2.



Figur 2. Dypinnlagring av avløpsvann - prinsippskisse.

4.2. Generelle kommentarer til beregningsresultatene.

Ved tolkingen av modellresultatene er det viktig å vite at modellen beregner gjennomsnittsførhold i hver enkelt fjord. Det betyr at modellen beskriver forholdene i hoveddelen av fjorden. Lokalt, spesielt i beskyttede områder, kan f.eks. planktonkonsentrasjonene i overflatelaget være høyere og siktforholdene dårligere enn det modellen beskriver. Like ved større utslipp kan konsentrasjonene av stoffer være forhøyet sammenlignet med beregnede konsentrasjoner.

Modellen har nøyaktig bokføring av inngående stoffer. Beregnede konsentrasjoner av fosfat, nitrat og ammonium i overflatelaget er helt i samsvar med den oppgitte belastningen men er lavere enn hva NIVA målte i 1988/89. (Beregningene gir ca 75% av konsentrasjonene målt av NIVA. En usikkerhet i sammenligningen er dog at målte og beregnede midlere konsentrasjoner ikke gjelder samme periode. Vannføringen i simuleringsperioden var ca 30% høyere enn normalt, noe som gjør at beregnede konsentrasjoner er relativt lave.) Som diskutert i forbindelse med tidligere modellkjøringer er det mulig at målingene ikke er representative for midlere konsentrasjoner i fjordene. En kan heller ikke se bort fra at utslippene fra industri, kommune og landbruk i 1989 kan ha vært større enn oppgitt, dette er spesielt trolig hvis tilførselene fra Skienselva var mindre enn oppgitt i Tabell 3.1.

Planktonveksten i modellen reguleres av bl.a. tilgangen på plantenæringsstoffene fosfor og nitrogen. Veksten er i modellen proporsjonal med det tallmessig minste av følgende to uttrykk: $f_P = IP / (P_{1/2} + IP)$ og $f_N = IN / (N_{1/2} + IN)$, hvor IP er konsentrasjonen av fosfor bundet til ortofosfat og IN er summen av nitrogen i nitrat og ammonium. I beregningene er de såkalte halvmetningskonstantene $P_{1/2}$ og $N_{1/2}$ satt til henholdsvis $1.55 \mu\text{g P/l}$ og $7 \mu\text{g N/l}$. Hvis f.eks. $IP = 3, 6$ eller $9 \mu\text{g P/l}$, vanlige konsentrasjoner i fjordenes overflatelag, må IN være mindre enn henholdsvis $13.5, 27.0$ og $40.5 \mu\text{g N/l}$ for at nitrogen skal være begrensende for planktonveksten. Slike nitrogenkonsentrasjoner er mye lavere enn hva som er observert i overflatelagene i Grenlandsfjordene.

4.3 Forklaringer og kommentarer til resultattabellene.

Siktedypet er beregnet som beskrevet i Stigebrandt & Molvær (1990).

Oppgitte planktonkonsentrasjoner, basert på vertikale gjennomsnitt i henholdsvis brakkvannslag og intermediært lag, er gitt i mg klorofyll/m^3 ($= \mu\text{g klf/l}$).

Fosfatfosfor, vertikale gjennomsnittsverdier i respektive lag, er gitt i mg P/m^3 ($= \mu\text{g P/l}$).

Totalfosfor (TP), vertikale gjennomsnittsverdier for respektive lag av summen av fosfatfosfor og organisk bundet fosfor, er gitt i mg P/m^3 ($= \mu\text{g P/l}$).

Nitratnitrogen, vertikale gjennomsnittsverdier for respektive lag, er gitt i N/m^3 ($= \mu\text{g N/l}$).

Ammoniumnitrogen, vertikale gjennomsnittsverdier for respektive lag, er gitt i mg N/m^3 ($= \mu\text{g N/l}$).

Oksygenforbruket i terskelbassengene (opp til ca. 10 m under terskeldypet) er beregnet som

oksygenreduksjonen i tidsrommet fra 15 juni til 8 september (perioden er valgt fordi det ikke forekommer utskifting av bassengvann - NB! dette gjelder ikke i Frierfjorden for scenariene med dyputslipp). Oksygenforbruket er midlet både over tid og volum.

O_2 - midlere, midlere oksygenkonsentrasjon i terskelbassenget i tidsrommet fra 15 juni til 8 september.

O_2 - bunnvann, oksygenkonsentrasjonen 10 m over største dyp den 8 september.

Beregnet midlere tykkelse av overflatelaget angis i tabellene. Siden dette laget er velblandet er det samme konsentrasjoner i hele laget.

Det intermediære laget er definert som dypintervallet 5-15 m. I forbindelse med vurdering av vannutskifting blir ofte terskeldypet satt som nedre grense. For vannkvalitetsspørsmål er imidlertid nedre lysgrense for planteproduksjon (ca. 15 m i Frierfjorden) mer relevant. Maksimumsverdier av plankton i det intermediære laget er maksimumsverdier av de vertikale gjennomsnittsverdiene. Dette betyr at en kan forvente enda høyere maksimumsverdier på enkelte nivåer i det intermediære laget.

For å se på oksygenforholdene i Frierfjorden i et 5 meter tykt lag omkring midlere innlagingsdyp blir følgende størrelser beregnet:

O_2 - innlagring er midlere vertikalt gjennomsnitt av oksygenkonsentrasjonen i dybdeintervallet 17.5 - 22.5 meter.

O_2 - innl.min er minste vertikale gjennomsnittskonsentrasjon i dette laget under simuleringsperioden.

Tabell 4.1 RESULTAT AV MODELLBEREGNINGENE: FRIERFJORDEN

VARIABEL	SCENARIO NR						
	1 1989	2 1993	3 1998A	4 1998B	5 1998A	6 1998A Dypinl	7 Referanse tilstand
Siktedyp:							
midlere (m)	4.08	4.09	4.11	4.11	4.11	4.12	5.28
maksimum (m)	6.69	6.69	6.69	6.69	6.69	6.71	8.88
minimum (m)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.28
OVERFLATELAGET:							
Tykkelse, midlere (m)	2.91	2.92	2.91	2.91	2.91	2.91	2.92
Brakkvannsplankton							
midlere (mg Klf/m ³)	0.34	0.33	0.26	0.26	0.25	0.23	0.21
maksimum (mg Klf/m ³)	3.38	3.53	1.41	1.41	1.55	0.69	0.54
Marint plankton							
midlere (mg Klf/m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
maksimum (mg Klf/m ³)	0.12	0.18	0.10	0.10	0.19	0.08	0.17
Fosfat (mg P/m ³)	9.45	7.74	5.61	5.61	4.81	4.07	3.30
Totalfosfor (mg P/m ³)	9.81	8.11	5.92	5.92	5.11	4.36	3.45
Nitrat (mg N/m ³)	338	298	286	285	284	254	239
Ammonium (mg N/m ³)	189	114	92.6	79.0	67.8	18.5	8.40
INTERMEDIÆRE LAGET (5-15M):							
Marint plankton							
midlere (mg Klf/m ³)	1.54	1.51	1.48	1.48	1.59	1.63	1.45
maksimum (mg Klf/m ³)	5.10	4.91	4.68	4.66	6.78	8.36	5.70
Fosfat (mg P/m ³)	13.9	13.8	13.6	13.6	14.8	18.9	12.5
Totalfosfor (mg P/m ³)	15.5	15.3	15.1	15.1	16.3	20.4	13.7
Nitrat (mg N/m ³)	110	106	104	103	134	260	91.4
Ammonium (mg N/m ³)	7.30	5.52	4.99	4.68	7.61	9.60	2.77
DYPVANNET (>35M):							
Oksygenforbruk (ml/l/mnd)	0.33	0.32	0.32	0.32	0.34	0.50	0.31
O ₂ - midlere (ml/l)	0.92	0.92	0.93	0.93	0.98	1.57	0.83
O ₂ - bunnvann (ml/l)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.02
INNLAGRINGSSJIKTET (17.5 - 22.5M):							
O ₂ - innlagring (ml/l)	4.57	4.59	4.61	4.61	4.29	3.46	4.83
O ₂ - innl.min (ml/l)	3.73	3.73	3.73	3.73	3.42	2.10	3.69

Tabell 4.2 RESULTAT AV MODELLBEREGNINGENE: EIDANGER/LANGESUNDSFJORDEN

VARIABEL	SCENARIO NR						
	1 1989	2 1993	3 1998A	4 1998B	5 1998A	6 1998A Dypinl	7 Referanse Dypinl tilstand
Siktedyp:							
midlere (m)	7.05	7.07	7.10	7.10	7.11	7.10	7.85
maksimum (m)	8.58	8.58	8.58	8.58	8.58	8.59	9.59
minimum (m)	5.47	5.49	5.52	5.52	5.53	5.55	5.95
OVERFLATELAGET:							
Tykkelse, midlere (m)	3.13	3.12	3.16	3.16	3.14	3.16	3.14
Brakkvannsplankton							
midlere (mg Klf/m ³)	0.29	0.26	0.19	0.19	0.18	0.16	0.14
maksimum (mg Klf/m ³)	1.79	1.69	0.65	0.65	0.65	0.40	0.36
Marint plankton							
midlere (mg Klf/m ³)	2.17	2.14	2.10	2.10	2.08	2.11	2.05
maksimum (mg Klf/m ³)	10.1	10.1	9.86	9.86	9.79	9.69	9.40
Fosfat (mg P/m ³)	6.11	5.43	4.56	4.56	4.34	4.22	3.54
Totalfosfor (mg P/m ³)	7.88	7.16	6.22	6.22	5.97	5.86	5.08
Nitrat (mg N/m ³)	180	162	156	155	157	150	133
Ammonium (mg N/m ³)	78.7	50.8	43.0	36.3	32.4	14.4	9.50
INTERMEDIÆRE LAGET (5-15M):							
Marint plankton							
midlere (mg Klf/m ³)	8.54	8.49	8.40	8.40	8.44	8.68	8.59
maksimum (mg Klf/m ³)	18.8	18.7	18.5	18.5	18.6	18.7	18.4
Fosfat (mg P/m ³)	6.22	6.20	6.17	6.17	6.25	6.53	5.66
Totalfosfor (mg P/m ³)	12.4	12.3	12.2	12.2	12.3	12.7	11.8
Nitrat (mg N/m ³)	76.1	74.1	73.5	73.2	76.5	89.4	67.7
Ammonium (mg N/m ³)	4.41	4.01	3.91	3.81	3.83	3.64	3.46
DYPVANNET (> 65M):							
Oksygenforbruk (ml/l/mnd)	0.68	0.68	0.67	0.67	0.69	0.73	0.71
O ₂ - midlere (ml/l)	4.75	4.75	4.76	4.76	4.74	4.68	4.70
O ₂ - bunnvann (ml/l)	3.15	3.15	3.17	3.17	3.11	2.91	2.99

Tabell 4.3 RESULTAT AV MODELLBEREGNINGENE: ORMEFJORDEN

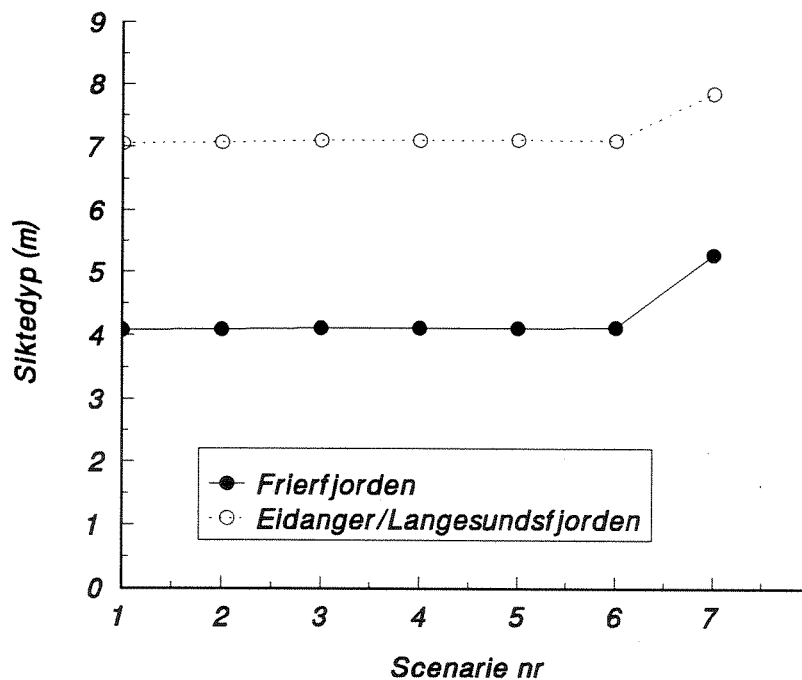
VARIABEL	SCENARIO NR						
	1 1989	2 1993	3 1998A	4 1998B	5 1998A	6 1998A Dypinl	7 Referanse Dypinl tilstand
Siktedyp:							
midlere (m)	7.77	7.80	7.84	7.84	7.85	7.85	8.47
maksimum (m)	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19	9.86
minimum (m)	5.67	5.67	5.68	5.68	5.68	5.70	5.70
OVERFLATELAGET:							
Tykkelse, midlere (m)	3.50	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.49
Brakkvannsplankton							
midlere (mg Kl/m ³)	0.16	0.14	0.10	0.10	0.10	0.08	0.07
maksimum (mg Kl/m ³)	1.11	0.80	0.35	0.35	0.32	0.24	0.24
Marint plankton							
midlere (mg Kl/m ³)	2.21	2.15	2.08	2.08	2.06	2.05	1.96
maksimum (mg Kl/m ³)	8.95	8.92	8.88	8.88	8.84	8.77	9.06
Fosfat (mg P/m ³)	3.61	3.37	3.05	3.05	2.98	2.94	2.65
Totalfosfor (mg P/m ³)	5.30	5.00	4.60	4.60	4.51	4.45	4.08
Nitrat (mg N/m ³)	110	101	98.1	97.4	98.7	95.4	86.0
Ammonium (mg N/m ³)	36.1	24.5	21.6	18.9	17.5	10.2	8.61
INTERMEDIÆRE LAGET (5-15M):							
Marint plankton							
midlere (mg Kl/m ³)	6.49	6.42	6.28	6.28	6.27	6.33	6.09
maksimum (mg Kl/m ³)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.1	23.2
Fosfat (mg P/m ³)	4.29	4.29	4.26	4.27	4.26	4.27	4.03
Totalfosfor (mg P/m ³)	8.95	8.88	8.75	8.75	8.74	8.79	8.36
Nitrat (mg N/m ³)	63.8	62.2	61.8	61.5	62.4	66.1	58.2
Ammonium (mg N/m ³)	3.94	3.59	3.56	3.48	3.45	3.25	3.24
DYPVANNET (>30M):							
Oksygenforbruk (ml/l/mnd)	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22
O ₂ - midlere (ml/l)	-5.20	-5.19	-5.18	-5.18	-5.18	-5.21	-5.21
O ₂ - bunnvann (ml/l)	-13.1	-13.1	-13.1	-13.1	-13.1	-13.1	-13.2

Tabell 4.4 RESULTAT AV MODELLBEREGNINGENE: HÅØYFJORDEN

VARIABEL	SCENARIO NR						
	1 1989	2 1993	3 1998A	4 1998B	5 1998A	6 1998A Dypini	7 Referanse Dypini tilstand
Siktedyp:							
midlere (m)	7.89	7.91	7.94	7.94	7.95	7.95	8.39
maksimum (m)	9.33	9.33	9.33	9.33	9.34	9.34	9.84
minimum (m)	5.99	6.03	6.09	6.09	6.10	6.10	6.41
OVERFLATELAGET:							
Tykkelse, midlere (m)	3.23	3.26	3.23	3.23	3.24	3.24	3.25
Brakkvannsplankton							
midlere (mg Klf/m ³)	0.12	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
maksimum (mg Klf/m ³)	0.76	0.62	0.27	0.27	0.23	0.22	0.20
Marint plankton							
midlere (mg Klf/m ³)	2.02	1.99	1.94	1.94	1.92	1.93	1.87
maksimum (mg Klf/m ³)	8.83	8.67	8.43	8.43	8.35	8.30	7.97
Fosfat (mg P/m ³)	3.41	3.17	2.88	2.88	2.79	2.75	2.47
Totalfosfor (mg P/m ³)	4.93	4.65	4.31	4.31	4.20	4.16	3.82
Nitrat (mg N/m ³)	106	96.8	94.6	93.9	93.9	90.1	81.2
Ammonium (mg N/m ³)	35.3	24.3	21.9	19.3	17.9	11.1	9.69
INTERMEDIÆRE LAGET (5-15M):							
Marint plankton							
midlere (mg Klf/m ³)	6.91	6.84	6.77	6.77	6.76	6.86	6.66
maksimum (mg Klf/m ³)	19.2	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.1
Fosfat (mg P/m ³)	4.29	4.29	4.27	4.27	4.28	4.29	4.09
Totalfosfor (mg P/m ³)	9.22	9.17	9.08	9.08	9.08	9.17	8.81
Nitrat (mg N/m ³)	60.6	59.4	59.0	58.9	59.9	63.1	56.4
Ammonium (mg N/m ³)	4.48	4.21	4.23	4.16	4.13	4.00	3.96
DYPVANNET (> 45M):							
Oksygenforbruk (ml/l/mnd)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
O ₂ - midlere (ml/l)	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.73
O ₂ - bunnvann (ml/l)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44

5. HVA FORTELLER BEREGNINGENE?

Midlere siktedyp i Frierfjorden blir stort sett upåvirket av rensetiltakene i scenariene 1 til 6 (figur 3). Det skyldes at siktedypet er nedsatt av farvet oppløst og partikulært organisk materiale fra Union Bruk og av partikulært materiale fra Skiensselvas bunn i flomsituasjoner. Forbedringen av midlere siktedyp i scenarie 7 skyldes at utslippene av organisk materiale fra Union Bruk i dette scenariet er lik null. De dårligste siktforholdene i Frierfjorden oppstår ved flom og ikke ved tilfeller med maksimum planktonkonsentrasjon i overflatelaget. Hvis en vil oppnå større siktedyp i fjordsystemets overflatelag må utslippene av farvet oppløst og partikulært organisk materiale fra Union Bruk reduseres og Skiensselvas bunn bør om mulig renses opp.

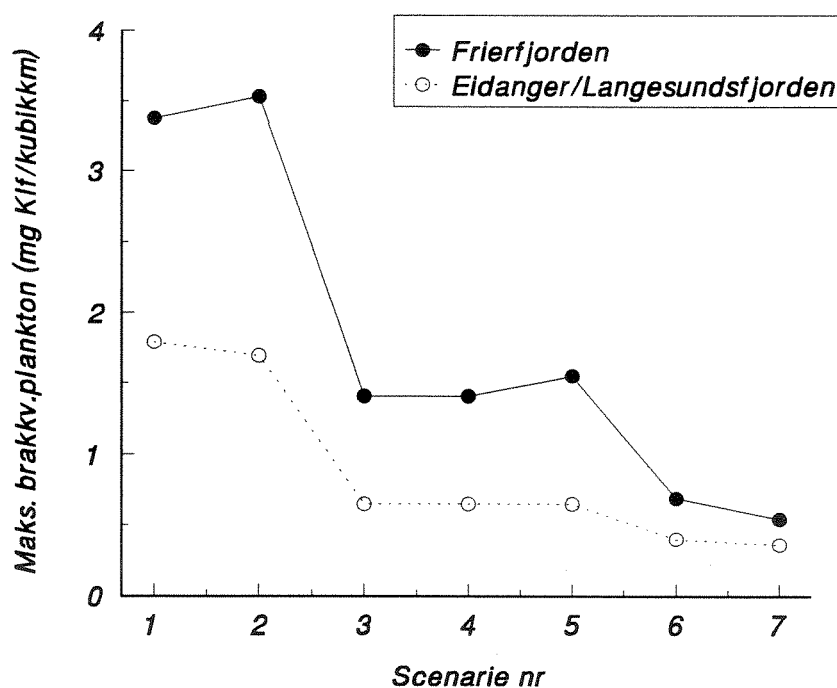


Figur 3. Midlere siktedyp i Frierfjorden og Eidanger/Langesundsfjorden for scenariene 1 til 7.

I samtlige scenarier gir reduserte utslipp av næringssaltet fosfor størst effekter på planktonkonsentrasjoner i overflatelaget. At det er fosfor og ikke nitrogen som begrenser planteproduksjonen blir vist nedenfor. I det intermediære laget er planktonkonsentrasjonene allerede nå nær hva en forventer i en situasjon uten lokale utslipp av næringssalter. Årsaken er at dette laget er sterkt influert av kystvannet som følge av god vannutskifting.

Effektene av fosforrensing er størst for brakkvannsplankton i Frierfjordens overflatevann men også i Eidanger/Langesundsfjorden er effektene av betydning. I øvrige fjorder er effektene mindre. Veksten i

overflatelaget har vært og vil fortsatt være preget av fosforbegrensning. Gjennomførte og planlagte tiltak vil gjøre at tilførselen av fosfor til overflatelaget i 1998 er redusert med 40-54% i forhold til 1989, mens nitrogentilførselen kan reduseres med 30-47% i samme periode. Som en følge av dette vil fosforbegrensningen bli enda mer utpreget og de positive effekter i form av redusert algevekst en får i overflatelaget skyldes reduksjonen av fosforutslippene. Dette illustreres både av tabellene og av figur 4 som viser maksimale konsentrasjoner av brakkvannsplankton i Frierfjordens og Eidanger/Langesundsfjordens overflatelag for samtlige scenarier.



Figur 4. Maksimale konsentrasjoner av brakkvannsplankton i Frierfjordens og Eidanger/Langesundsfjordens overflatelag for scenariene 1 til 7.

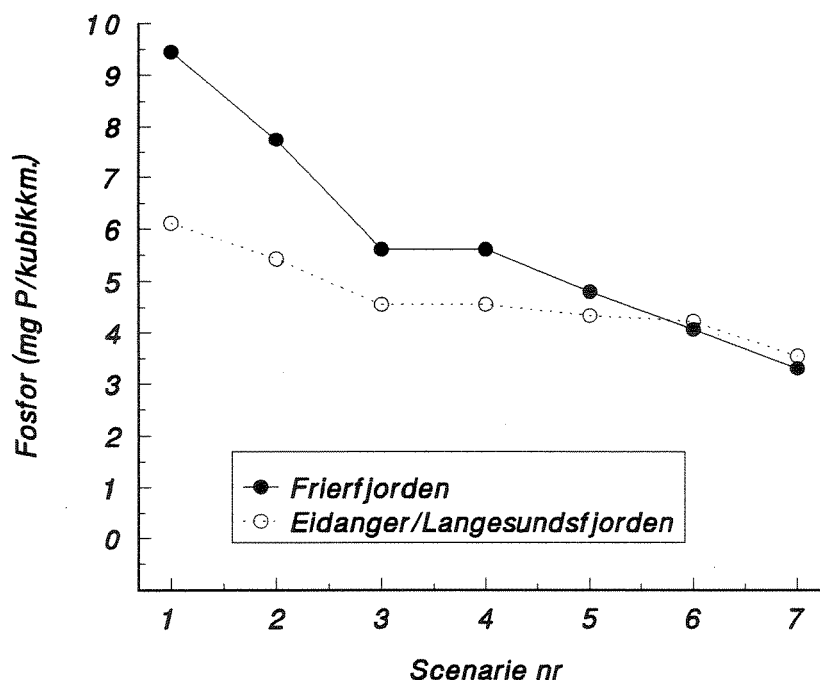
Bakgrunnsnivået av nitrogen med vannet i Skienselva medfører at de planlagte reduksjonene av nitrogenbelastningen ikke gir opphav til direkte merkbare effekter i Grenlandsfjordene siden tilgang til lys og fosfor er de faktorer som begrenser planteproduksjonen. Dette illustreres av resultatene for scenarie 4 med nitrogenrensing ved fire kommunale renseanlegg. Sammenligning med resultatene for scenarie 3 viser at den eneste signifikante effekten av nitrogenrensingen er at ammoniumkonsentrasjonene i overflatelag og intermediært lag reduseres, men noen effekt på planktonkonsentrasjoner og dermed på lokal vannkvalitet kan ikke spores i beregningsresultatene.

Fordi den i Tabell 3.1 oppgitte nitrogentilførselen fra Skienselva oppstrøms Skotfoss kan være altfor høy ble det for sikkerhets skyld gjort simuleringer for samtlige scenarier hvor nitrattilførselen til Skienselva ble

reduisert med 900 tonn/år, dvs fra 2800 til 1900 tonn/år. Selv denne store nitratreduksjonen ga ingen reduksjon i konsentrasjonene av brakkevannsplankton eller marint plankton for noen av scenariene. Bare konsentrasjonene av nitrat ble redusert som følge av redusert tilførsel. Disse beregningene bekrefter at selv med store reduksjoner i nitrogenutslippene, vil fosfor og ikke nitrogen fortsatt begrense plantonproduksjonen i Grenlandsfjordene.

Tiltakene med reduksjon av nitrogenutslippene kan imidlertid ha betydning i større målestokk siden eksporten av nitrogen til kystområdene utenfor Grenlandsfjordene vil bli redusert.

Konsentrasjonene av plantenæringssaltene nitrogen og fosfor i fjordenes overflatelag vil bli redusert med reduserte utslipp og dypinnlagring. Figur 5 viser konsentrasjonen av fosfat-fosfor og figur 6 konsentrasjonen av summen av nitrat-nitrogen og ammonium-nitrogen i Frierfjordens og Eidanger/Langesundsfjordens overflatelag for de ulike scenariene.



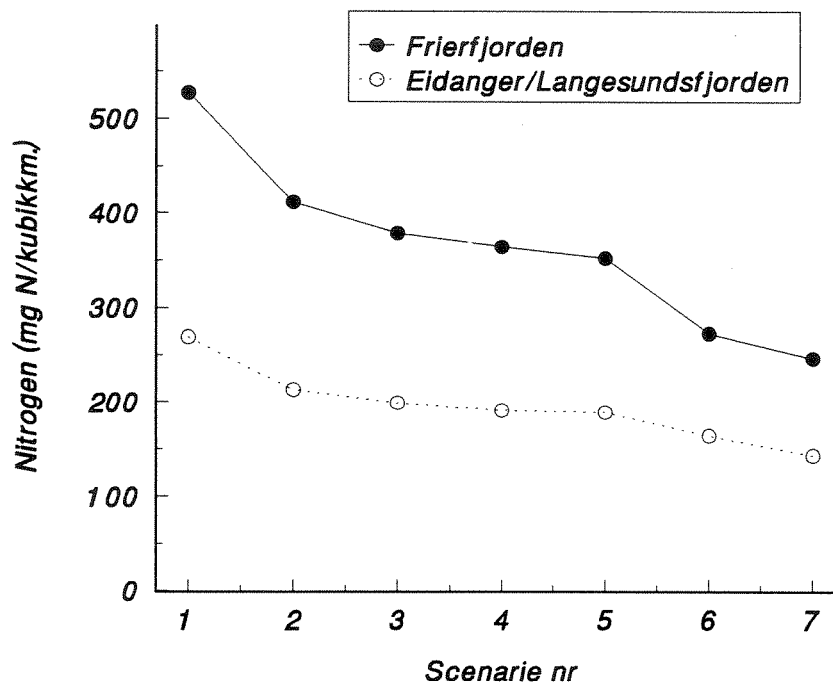
Figur 5. Midlere konsentrasjon av fosfat-fosfor i Frierfjordens og Eidanger/Langesundsfjordens overflatelag for scenariene 1 til 7.

Dypinnlagringen av avløpet fra Knarrdalstrand gir en reduksjon av fosfortilførselen til overflatelaget, og derfor en reduksjon både av midlere- og maksimumskonsentrasjonen av brakkevannsplankton, særlig i Frierfjorden. Dypinnlagringen medfører dog en viss økning av konsentrasjonene av fosfor og marint plankton i det intermediære laget. Dypinnlagring av avløpet fra Hydro Porsgrunn gir en ytterligere reduksjon av brakkevannsplankton i overflatelaget på grunn av redusert fosfortilførsel. I dette scenariet (6)

oppstår det en relativ kraftig økning av konsentrasjonen av marint plankton i det intermediære laget i Frierfjorden, og dermed en økt belastning med organisk materiale i dypvannet. Med hensyn til oksygenforholdene blir imidlertid den økte belastningen kompensert ved øket vannutskiftning som følge av dyputslippet. Oksygenforholdene i Frierfjordens dypvann ovenfor utslippsdypet blir derfor bedre i dette enn i de øvrige scenariene.

Dyputslipp av avløpene fra Knarrdalstrand og Hydro Porsgrunn medfører at store mengder av ammonium blir innlagret i Frierfjorden. Hoveddelen av innlagret ammonium blir oksydert til nitrat inne i Frierfjorden hvorved oksygen blir forbrukt (nitrifikasjon - en mikrobiell prosess). Oksygenforholdene i et 5-10 m tykt lag, sentrert omkring innlagringsdypet og med utbredelse over hele Frierfjorden, blir på grunn av dette i perioder dårligere enn i øvrige scenarier, særlig i scenarie 6 hvor Hydro Porsgrunns avløp blir innlagret. En må således være forsiktig med å innlagre store mengder ammonium. Det kan være en fordel å innlagre ammoniet litt høyere oppe i vannsøylen hvor vannutskiftningen er bedre. Hvis det i framtiden blir aktuelt å innlagre store ammoniumutslipp bør flere modellberegninger utføres for å finne beste utslippsmåte.

Som vist i prosjektet "Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89" er utviklingen av tilstanden under overflatelaget i høy grad bestemt av forholdene i kystvannet og i mindre grad av lokale forhold. Mye tyder på at innholdet av organisk materiale i kystvannet har økt med ca. 50% siden omtrent 1980. Videre utvikling i kystvannet gjør derfor at det er usikkert hvordan forholdene i vannlag under overflatelaget i fjordene kommer til å bli når de planlagte tiltak er gjennomført.



Figur 6. Midlere konsentrasjon av summen av nitrat-nitrogen og ammonium-nitrogen i

6. LITTERATUR.

- Aure, J. & Danielssen, 1993: Terskelbasseng på Sørlandskysten. Organisk belastning og vannutskiftning. Fisken og Havet, Nr 1 1993.
- Johannessen, M., 1991: Union Bruk A/S, driftstans august 1991. Vannkvaliteten i Skienselva. Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernadv. Rapport nr. 12/91.
- Molvær, J., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 9. Overvåkingsrapport 474/91. NIVA-rapport nr 2697. Oslo.
- Stigebrandt, A. & Molvær, J., 1990: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 2. Modell for miljøeffekter fra utslipp av næringssalter, oppløst og partikulært materiale. Overvåkingsrapport nr. 428/90. NIVA-rapport nr 2534. Gøteborg/Oslo.
- Stigebrandt, A. & Molvær, J., 1991a: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 6. Modellberegninger av miljøeffekter i Eidangerfjorden - Langesundsfjorden. Overvåkingsrapport nr. 476/91. NIVA-rapport nr 2692. Gøteborg/Oslo.
- Stigebrandt, A. & Molvær, J., 1991b: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 7. Modellberegninger av miljøeffekter i Ormefjorden. Overvåkingsrapport nr. 477/91. NIVA-rapport nr 2691. Gøteborg/Oslo.
- Stigebrandt, A. & Molvær, J., 1991c: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 6. Modellberegninger av miljøeffekter i Håøyfjorden. Overvåkingsrapport nr. 478/91. NIVA-rapport nr 2693. Gøteborg/Oslo.

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2327-4