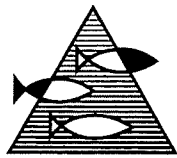


PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesparken 2 Postboks 1870 5024 Bergen

Tlf.: 55 23 85 00 Fax: 55 23 85 31

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 01 05 80

Fax: 37 01 05 15

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Fax: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Fax: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

10.08.1

Oppdragsgiver(e):

Statens Forurensingstilsyn

Oppdragsgivers referanse:

(SFT) prosjekt nr. 95403

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 28 - 1995

Tittel:

NUMERISK MODELLERING AV TRANSPORT AV
NÆRINGSSALTER OG PRIMÆRPRODUKSJON I SKA-
GERRAK/KATTEGAT OG YTRE OSLOFJORD

Senter:

Marint miljø

Seksjon:

Kjemisk oseanografi

Forfatter(e):

Einar Svendsen, Gro Eriksrød og Morten Skogen

Antall sider, vedlegg ekskl.:

12

Dato:

05.12.1995

Sammendrag:

Den koblede fysiske, kjemiske, biologiske numeriske havmodellen NORWECOM er kjørt for årene 1988 og 1993 for å kvantifisere naturlige forskjeller i langtransporterte næringsalter til Oslofjorden og primærproduksjon i Skagerrak og Oslofjorden, samt å kvantifisere effekter av reduserte norske næringsstilførsler.

Til tross for dobbelt så store tilførsler av Tyskebukt vann til Oslofjorden i 1988, var primærproduksjonen vesentlig større i 1993 både i fjorden og i hele Skagerrak. Dette skyldes i hovedsak kraftigere innstrømning av næringsrikt atlantisk vann i 1993 i de øvre vannlag. Innstrømningen av næringsalter var jevnere i 1993 og hadde ikke signifikant lavere verdier om sommeren som i 1988.

Kjøringene uten nitrogen- og fosfortilførsler fra de norske elvene i Skagerrak gir en nedgang i primærproduksjonen i Oslofjorden på ca. 10 gCm⁻²år⁻¹, og små endringer for Skagerrak som helhet. Reduksjonene gir klare effekter i det nordøstlige Skagerrak, men effekten er vesentlig mindre enn naturlige variasjoner fra år til år.

Emneord - norsk:

1. Modellering
2. Primærproduksjon
3. Ytre Oslofjord

Emneord - engelsk:

1. Modelling
2. Primary production
3. Outer Oslofjord

Prosjektleder

Senterleder

R 4011

SAMMENDRAG

Den koblede fysiske, kjemiske, biologiske numeriske havmodellen NORWECOM er kjørt for årene 1988 og 1993 for å kvantifisere naturlige forskjeller i langtransporterte næringssalter til Oslofjorden og primærproduksjon i Skagerrak og Oslofjorden, samt å kvantifisere effekter av reduserte norske næringstilførsler.

Til tross for dobbelt så store tilførsler av Tyskebukt vann til Oslofjorden i 1988, var primærproduksjonen (både av diatomer og flagellater) vesentlig større (totalt 40-50 gCm⁻²år⁻¹) i 1993 både i fjorden og i hele Skagerrak. Dette skyldes i hovedsak kraftigere innstrømning av næringsrikt atlantisk vann i 1993 i de øvre vannlag. Innstrømningen av næringssalter var jevnere i 1993 og hadde ikke signifikant lavere verdier om sommeren som i 1988.

Modellert primærproduksjon i overkant av 200 gCm⁻²år⁻¹ (i 1993) langs den nordlige svenske vestkyst, stemmer godt med tilsvarende estimater fra ti års observasjoner fra munningen av Gullmarsfjorden.

Kjøringer uten nitrogen- og fosfortilførsler (henholdsvis 11.5 og 0.12 kTonn/år) fra de norske elvene i Skagerrak gir en nedgang i primærproduksjonen i Oslofjorden på ca. 10 gCm⁻²år⁻¹, og små endringer for Skagerrak som helhet. Reduksjonene gir klare effekter i det nordøstlige Skagerrak, men effekten er vesentlig mindre enn naturlige variasjoner fra år til år. De naturlige variasjonene kan være større enn det som er presentert hvis man i tillegg tar hensyn til reelle mellomårlige lysvariasjoner.

SUMMARY

A coupled physical, chemical and biological numerical ocean model NORWECOM has been run for two different years, 1988 and 1993 in order to quantify natural differences in nutrient transport to the Oslofjord and primary production in the Skagerrak and the Oslofjord, together with quantifying the effects of reduced nutrient supply from norwegian sources.

In spite of twice as large supply of German Bight water to the Oslofjord in 1988, the primary production (both of diatoms and flagellates) was significantly larger during 1993 both in the fjord and the Skagerrak. This is due mainly to a stronger surface inflow of nutrient-rich atlantic water in 1993. Nutrient supply was also more steady in 1993 and did not show as low levels as in 1988.

Modelled primary production levels just about $200 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in 1993 along the northwestern swedish coast fits well with similar estimates carried out during a 10 years period in the entrance to the Gullmarfjord.

Modellruns carried out without nitrogen and phosphorus supply from the norwegian rivers showed a reduction in primary production of about $10 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ and only small changes for the Skagerrak as a whole. The reduction results in clear effects in the northeastern Skagerrak, but these are smaller than natural variations found from one year to another. The natural variations can be even larger if in addition consideration to the actual year to year variations in the light field are taken into account.

INNLEDNING

Det er fremdeles store usikkerheter omkring de miljømessige effektene av reduserte næringstilførsler til Skagerrak. Høsten 1995 skal rensing av nitrogen opp til politisk behandling i Norge, og SFT har i denne sammenheng fått utført/utfører prosjektet "Vannutskiftning og næringssaltbudsjetter i ytre Oslofjord". Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI) og Havforskningsinstituttet (HI) har utredet ulike aspekter av prosjektet. I denne sammenheng har HI (Svendsen et al. 1995) modellert/ kvantifisert tilførslene av de langtransporterte og tildels forurensede vannmassene fra Tyskebukta og Østersjøen. Dette blir benyttet som bakgrunnsmateriale for "å fremskaffe næringssaltbudsjetter for ulike deler av ytre Oslofjord med så stor presisjon som mulig innenfor den aktuelle projektrammen basert på dagens kunnskapsnivå og tilgjengelig modellverktøy". Grunnet den horisontale oppløsning i HI's nåværende modellsystem, inkluderes ikke resultater fra selve Oslofjorden. Dette tas hånd om av DNMI som benytter et finskala modelloppsett for fjorden knyttet til større skala simuleringer for Skagerrak og Nordsjøen.

Som en videreføring av dette arbeidet har vi i denne rapporten gått ett skritt videre ved å kjøre et fullt koblet fysisk-kjemisk-biologisk modellsystem for å beregne primærproduksjon og transport av næringssalter.

HI, DNMI og Universitetet i Bergen (Institutt for Fiskeri- og Marinbiologi (IFM) og Matematisk Institutt) har et utstrakt samarbeide innen numerisk havmodellering. Felles for dette samarbeidet er den hydrodynamiske havmodellen POM (Princeton Ocean Model, også kalt ECOM3D). Ved DNMI blir modellen benyttet rutinemessig for varsler av stormflo og strøm. DNMI har også benyttet modellen i en rekke simuleringer av historiske situasjoner (Martinsen, 1995).

HI har meget lang erfaring med miljøstudier i Skagerrak. I den senere tid har HI i samarbeid med IFM også vært hovedentreprenør for utviklingen av "the NORwegian ECOlogical Model system" NORWECOM som var benyttet i utarbeidelsen av North Sea Quality Status Report (Anon., 1993). Likeledes har instituttet vært aktiv deltager i forskningsprogrammet SKAGEX (Dybern et al., 1994), som er det største oseanografiske eksperiment gjort i Skagerrak/Kattegat.

MATERIALE OG METODER

NORWECOM er et koblet fysisk-kjemisk-biologisk modellsystem (Skogen, 1993) som er operasjonell for Nordsjøen og Skagerrak med en horisontal oppløsning i Skagerrak på 4*4 km² og 11 lag fra overflaten til bunnen. Av det vi kjenner til er dette det eneste modellsystem av denne art som opereres (og tildels er validert) over hele Nordsjøen (og omliggende områder). De kjemisk/biologiske prognostiske variablene er:

- inorganisk nitrogen (som f.eks. nitrat og ammonium)
- inorganisk fosfor (fosfat)
- inorganisk silisium (silikat)
- detritus (dødt organisk materiale)
- diatoméer
- flagellater
- lys/turbiditet

Modellsystemet drives med realistisk (hver sjettede time) vindpådrag og atmosfærisk trykk stilt til rådighet fra DNMI (Eide et al., 1985, Reistad og Iden, 1995), realistisk månedsmidlet ferskvanns- og næringsstofftilførsler fra Elben, Ems og Weser, klimatologisk månedsmidlet ferskvanns- og næringsstofftilførsler fra de øvrige største europeiske elvene (Baliño, 1993), og modellert tetthetsfordeling og utstrømning fra Østersjøen. I tillegg er ekstra ferskvannstilførsler sluppet ut fra svenskegrensen og langs norskekysten til Lindesnes i henhold til klimatiske sesongvariasjoner (Egenberg, 1993). Lysinnstråling ved overflaten er gitt som funksjon av tid på døgnet og året og breddegrad i henhold til Skartveit og Olseth (1986, 1987). I tillegg har vi i dette arbeidet justert lyset i henhold til målinger ved Taastrup, Danmark (Anon, 1991). En del anvendelsesområder og validering er beskrevet av: Berntsen et al., (1994), Skogen et al. 1994, Aksnes et al., 1995), Svendsen et al., (1995), Skogen et al. (1995). På den åpne grenseflaten som er lagt noe utenfor Skagerrak i den østlige Nordsjøen, får modellen input fra et tilsvarende storskala modellsystem som er kjørt for hele Nordsjøen og omliggende områder. Dette for å sikre relativt realistisk transportutveksling med Nordsjøen, som er den viktigste drivkraft for sirkulasjonen i Skagerrak.

Den fullstendige NORWECOM er kjørt for årene 1988 og 1993. Disse to årene er valgt på bakgrunn av kjøringene av den fysiske modulen for de seks vinterhalvårene 87/88 - 92/93 (Svendsen et al. 1995). Resultatene viste at mengdene av vann fra Tyskebukta som tilførtes Skagerrak og spesielt Ytre Oslofjord var om våren størst i 1988 og minst i 1993 (sammen med 1990).

Storskalamodellen for Nordsjøen og Skagerrak er kjørt fra 15. november til 31. desember året etter, mens finskalamodellen for Skagerrak/Kattegat er kjørt fra 1. februar til 1. november. I tillegg er finskalamodellen kjørt de to årene totalt uten tilførsler av fosfor og nitrogen fra Norge. For alle kjøringene har vi benyttet identiske lysforhold (justert i forhold til målinger i 1990).

I dette arbeidet er NORWECOM utvidet med to variable (som også var inkludert i det relaterte arbeidet av Svendsen et al. 1995) som separerer vannmasser knyttet til avrenning fra kontinentet til Nordsjøen og vannmasser fra Østersjøen. På den sørlige grenseflaten (mot Tyskebukta), har vi merket det innstrømmende vannet i henhold til modellert saltinnhold. Vann med saltinnhold på 31 psu karakteriseres som 100 % Tyskebukt vann med en lineær reduksjon til 0 % ved saltinnhold på 34.5 psu og høyere. Fra denne grenseflaten og nordover inn i Skagerrak blir konsentrasjonen av Tyskebukt vannet (C_{TB}) betraktet om en passiv "tracer" som spres og uttynnes på grunn av den modellerte sirkulasjon og horisontal og vertikal diffusjon. (Underveis har vi altså ingen videre kobling mellom saltinnhold og C_{TB}).

Tilsvarende merkes alt vann som kommer inn til Kattegat gjennom Øresund og Storebelt som 100 % Østersjøvann, og dette behandles videre tilsvarende som Tyskebukt vannet. Alt resterende vann er definert som Nordsjøvann (som i hovedsak består av Atlanterhavsvann).

RESULTATER

De fleste resultatene er vist som integrerte verdier for områdene Skagerrak, Kattegat, Oslofjorden (nord for linjen Larvik-Koster), og for vertikalsnittet Larvik-Koster (Figur 1). Figur 2 viser tydelig at vindforholdene i de to årene som her presenteres var ganske forskjellige. I 1988 var det i syv av de ni månedene en signifikant månedsmidlet vindkomponent fra sør, mens dette kun var tilfelle i april (og tildels i mars) i 1993.

Primærproduksjon

Den årlige (mars-oktober) produksjonen i Skagerrak/Kattegat av diatoméer, flagellater og summen av disse (total produksjon) er vist i Figur 3. Diatomé-produksjonen var klart høyere i 1993 enn i 1988, spesielt i områdene vest av Skagerrak hvor typiske produksjonsverdier er 30-50 $gCm^{-2}år^{-1}$ i 1988 og 30-75 $gCm^{-2}år^{-1}$ i 1993, og i de sentrale deler av Skagerrak med

30-35 gCm⁻²år⁻¹ i 1988 og 40-55 gCm⁻²år⁻¹ i 1993. Figurene viser tydelig at de høyeste verdiene for diatome-produksjon er knyttet til innstrømningen av atlantisk vann fra vest med rikt innhold av silikat. (I motsetning til flagellater er diatoméer avhengig av silikat for å produsere biomasse).

I de vestlige og sentrale områdene av Skagerrak er også flagellat-produksjonen adskillig høyere i 1993 enn i 1988 med typiske produksjonsverdier på 90-120 gCm⁻²år⁻¹ i 1988 og 130-150 gCm⁻²år⁻¹ i 1993.

Høye verdier av flagellatproduksjon (150-250 gCm⁻²år⁻¹) er knyttet til Tyskebukt vannet på vestkysten av Danmark, men disse høye verdiene blir brutt omtrent ved Hanstholmen. Dette skyldes delvis sterk innblanding/fortynning med vann fra sørlige/sentrale Nordsjøen med relativt lav produksjon, og sannsynligvis de meget sterkt reduserte tidevannsstrømmer nord for Hanstholmen.

Meget høye og urealistiske verdier (> 500 gCm⁻²år⁻¹) av flagellater i det sørlige Kattegat er knyttet til tilførselene av Østersjøvann og manglende sedimenteringsrutiner i modellen. Østersjøvannet er gitt uorganiske næringskonsentrasjoner i henhold til typisk sesongvariasjon fra målinger mottatt fra ICES. Imidlertid opprettholdes totalmengder av nitrogen og fosfor gjennom året ved å addere detritus til dette vannet når de uorganiske næringsstoffene reduseres til nær null om våren og hele sommeren. Realismen i en slik rutine er hittil ikke validert mot målinger, og vi antar at dette kan være én årsak til de høye produksjonsverdiene. (Tidligere benyttet vi kun målte verdier for uorganiske næringsstoffer i det innstrømmende vannet fra Østersjøen, noe som gav altfor lav produksjon i Kattegat (K.Ritchardson, pers. kom.)). Imidlertid er sannsynligvis manglende sedimenteringsrutiner i modellen kanskje den viktigste årsak. Pr. idag synker (når lite turbulens) detritus (og alger) ned i det nederste laget i modellen, omsettes gradvis til uorganisk næring, og i grunne områder blir dette lett hvirvlet opp og gir nytt tilskudd til den totale produksjonen. En annen viktig årsak til de urealistiske resultatene kan være at kun deler av den totale næringen er tilgjengelig for primærproduksjon (N.Høyerslev, pers.kom.) De høyeste totale produksjonsverdiene (vi kjenner til) som er estimert utfra målinger i sørlige Kattegat er 370 gCm⁻²år⁻¹ (Skjoldal, pers.kom.), noe som bekrefter en meget høy produksjon i området.

Modellresultatene for den totale produksjonen langs den nordlige delen av svenskekysten i 1993 stemmer godt overens med tidligere estimat fra målinger gjennom året. Modellresultatene (Figur 3, nederst) viser i overkant av 200 gCm⁻²år⁻¹. Lindahl (1995) har

utført intensive målinger og estimert den årlige primærproduksjonen ved munningen av Gullmarsfjorden i perioden 1985 til 1994. Han fant år til år variasjoner fra 180 til 340 gCm⁻²år⁻¹ med en median årlig produksjon på 230 gCm⁻²år⁻¹. Våroppblomstingen i perioden februar-april sto for nærmere 20% av den årlige produksjonen, mens sommerproduksjonen (mai-september) bidrog med nærmere 70%. Primærproduksjonen i august alene var 18% av den årlige produksjonen. Eldre målinger og årlige produksjonsestimat på ulike steder langs den svenske vestkysten viser en variasjonsbredde på 80 - 230 gCm⁻²år⁻¹ (Olsson, pers. kom.).

Figur 4 viser beregnede diatomé-, flagellat- og totalproduksjon for hver måned integrert i henhold til den geografiske inndelingen i Figur 1. I tabellen under er disse dataene summert til årlig produksjon for Oslofjorden og Skagerrak. Her ser vi at produksjonen av diatoméer er størst i Skagerrak, mens den for flagellater er størst i Oslofjorden. Totalproduksjonen er både i Oslofjorden og i Skagerrak 32-33% større i 1993 enn i 1988. Tilsvarende er flagellatproduksjonen ca. 30% større i 1993 i begge områdene, mens for diatoméer var i Oslofjorden produksjonen 46% større og i Skagerrak 39% større i 1993 enn i 1988. Tilsvarende som Lindahl (1995) fant fra 10 år med målinger, finner vi at våroppblomstringen står for i underkant av 20% av årsproduksjonen (i vårt tilfelle kun 8 måneder) i Oslofjorden, og at sommerproduksjonen (mai-september) utgjør ca. 80%.

Den daglige produksjonen av diatoméer og flagellater er vist i Figur 5. Spesielt ser vi at flagellat-produksjonen i juli er adskillig høyere i 1993 enn i 1988 både i Oslofjorden og i Skagerrak. Gjennom stort sett hele året har vi større tilførsler av nitrat til Ytre Oslofjord i 1988 enn i 1993 knyttet til Tyskebukt vannet (Figur 9b). Imidlertid er de totale vannmassene som tilføres fra Nordsjøen minst 10 ganger større enn mengdene fra Tyskebukta. Disse mengdene er klart større i 1993 enn i 1988, spesielt i perioden juni/juli (Figur 9b) hvor forskjellen er ca. 0.25x10¹²m³, mer enn mengdene av Tyskebukt vann som tilføres totalt i hele perioden mars-oktober. Dette passer godt med at juli er den måneden med størst forskjell i produksjon. I 1993 ble det i april også registrert meget høye saltholdigheter helt opp mot overflaten nær Hanstholmen (Danielssen, pers.komm.), noe som tyder på at større mengder atlantisk vann ble tilgjengelig for primærproduksjon, og som spesielt kan forklare den høyere produksjon av diatoméer i 1993.

I Figur 5 ser en også at særlig for flagellatene er de daglige variasjonene forholdsvis små frem til midten av mai, mens de utover sommeren kan variere mye i løpet av få dager. Dette indikerer at meget store usikkerheter vil være tilstede i årlige produksjonsestimat basert på sporadiske målinger.

Daglig modellerte konsentrasjoner (midlet i de øvre 30 meter og over Oslofjorden, Skagerrak og Kattegat) av uorganisk nitrogen, fosfor og silikat, flagellater og diatoméer er vist i Figur 6 a og b for henholdsvis 1988 og 1993. I Oslofjorden er fosfor- og nitrogenkonsentrasjonene høyere i -93 enn i -88 fra slutten av mars til august. Spesielt skiller -93 seg ut fra -88 med relativt høye verdier fra slutten av juni og ut juli som etterfølges av en økning av flagellat-konsentrasjonen i juli og deler av august til samme nivå som i begynnelsen av mai.

I Kattegat (nederst Figur 6) ser vi følgene av sannsynligvis for store tilførsler av total nitrogen- og fosfor og manglende sedimentering i modellen (beskrevet tidligere). Dette medfører svært urealistisk høye konsentrasjoner av nitrogen og fosfor om høsten som igjen forklarer den for høye produksjonen av flagellater (også beskrevet tidligere). Dette har ingen innvirkning på diatoméene ettersom silikat ikke regenereres i modellen og silikat er den begrensende produksjonsfaktor.

Som eksempler vises i Figur 7 vertikalfordelingen av diatomé- og flagellatkonsentrasjoner på enkelte dager langs snittet Larvik-Koster som utgjør yttergrensen for området definert som Ytre Oslofjord. 1 april 1993 var diatomékonsentrasjonen maksimal, og denne dagen ser vi en meget markert maksimum konsentrasjon mellom 10 og 20 meters dyp. Konsentrasjonene er markert høyere i -93 enn i -88. I begge årene finnes de høyeste konsentrasjonene nær Koster, noe man også kan se fra Figur 3 hvor det rundt Koster lokalt er kraftig produksjon. Flagellatkonsentrasjonene 1. juni og 1. august viser høyeste verdier i overflaten med lokale maxima nær Koster og et stykke fra land på nordsiden.

Transporter til Oslofjorden

I Figur 8b vises de kumulative transportene til Ytre Oslofjord av uorganisk nitrogen og fosfor samt total mengde nitrogen (summen av uorganisk nitrogen, detritus, flagellater og diatoméer). Alle tre transportene er størst i 1993 (i løpet av de 8 månedene mars-oktober) med 380 kT uorganisk nitrogen, 68 kT fosfat og 520 kT total nitrogen. De tilsvarende daglige transportvariasjonene (Figur 8a, bortsett fra de høye høstverdiene) er: 0.5-2.5 kT/dag, 0.08-0.5 kT/dag og 0.8-4.0 kT/dag. Det som først og fremst skiller de to årene er at i 1993, i tillegg til å være både jevnere og høyere om våren, avtar ikke transporten vesentlig i mai-juli som i 1988. I august og begynnelsen av september er imidlertid transporten i 1988 høyest.

Den kumulative transporten (mars-oktober) av Tyskebukt vann er nesten dobbelt så høy i

1988 ($0.22 \times 10^{12} \text{m}^3$) som i 1993 ($0.12 \times 10^{12} \text{m}^3$) (Figur 9b). For Nordsjøvannet (og tildels Østersjøvannet) er imidlertid forholdet omvendt med høyeste transporter i 1993 ($2.85 \times 10^{12} \text{m}^3$) i forhold til 1988 ($2.6 \times 10^{12} \text{m}^3$). Denne forskjellen skyldes hovedsaklig reduserte tilførsler av Nordsjøvann i juni-juli 1988, men forskjellen utgjør mer enn de totale mengdene av tilført vann fra Tyskebukta i -88. (Imidlertid inneholder Tyskebukt vannet rundt 3 ganger mer totalnitrogen enn vannet fra Nordsjøen, og større deler av Nordsjøvannet ligger for dypt i Oslofjorden til å være direkte tilgjengelig for produksjon).

Ved å studere transportene inn til Skagerrak av vann med saltholdighet høyere enn 35 psu. (atlantisk vann), finner vi at dette utgjør dobbelt så mye i 1993 som i 1988. Ser vi i tillegg på transportene av dette atlantiske vannet i de øvre 50 metrene, utgjør mengdene i 1993 ca. 3 ganger så mye som i 1988. Dette viser at innstrømningene av atlantisk vann til Skagerrak var mye kraftigere og skjedde nærmere overflaten i 1993 enn i 1988 (noe som også bekreftes av saltmålinger, Danielssen, pers.kom.), og at innstrømningene i 1988 i større grad bestod av vann fra den sørlige og sentrale nordsjøen med lavere innhold av næringsstoffer.

Figur 9a viser tydelig hvilke store variasjoner som forekommer i daglige transporter av de ulike vannmassene. (Legg merke til at skalaen for Nordsjøvann (nederst) er i Sverdrup = $10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$). I 1988 er det en klar sesongvariasjon i transporten av Tyskebukt- og Nordsjøvann, noe som ikke er tilfelle i 1993. Det er verdt å merke seg at transportvariasjonene av Nordsjøvann i 1993 nærmest er identiske med variasjonene i næringssalttransporter i Figur 8a (bortsett fra i oktober).

Reduserte næringssalttilførsler

Som tidligere nevnt er modellen også kjørt totalt uten nitrogen- og fosfortilførsler fra de norske elvene i Skagerrak; Enningdalselva, Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva og Otra. Dette utgjør tilsammen 11.5 og 0.12 kTonn/år av henholdsvis uorganisk nitrogen og fosfor. I Figur 10 er månedlig primærproduksjon for 1988 vist med og uten norske tilførsler, og dette er summert til årlig produksjon i tabellen under. For diatoméene er som ventet endringene ubetydelige, mens det for flagellatene er en nedgang i produksjonen på 7% i Oslofjorden og 1% i Skagerrak. Den største nedgangen skjer i juni og juli med rundt 10%. Tilsvarende resultat finner vi i 1993 (Figur 11), med noe større reduksjon i Oslofjorden og noe mindre i Skagerrak. Denne reduksjonen på rundt $10 \text{ gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$ for Oslofjorden (med det totalt urealistiske scenariet å fjerne alle næringsstofftilførsler fra Norge) kan sammenlignes

med den naturlige forskjellen i flagellatproduksjon mellom 1993 og 1988 på ca. 35 gCm⁻²år⁻¹.

Figur 12 viser hvordan den reduserte produksjonen fordeles i Skagerrak i juni, måneden med størst effekt av de reduserte utslippene. Videre viser Figur 13 hvordan reduksjonen påvirker den daglige produksjonen i Oslofjorden.

Det bør presiseres at det i modellen ikke er tatt hensyn til organiske tilførsler av næring, og at kun 90% av nitrogenet og 50% av fosforet i elvene er gjort tilgjengelig for produksjon.

REFERANSER

- Aksnes, D., Ulvestad, K.B., Baliño, B., Berntsen, J., Egge, J. and Svendsen, E., (1995). *Ecological Modelling in Coastal Waters: Towards Predictive Physical-Chemical-Biological Simulation Models*. OPHELIA 41: 5-36
- Anon. (1991). *Solar radiation and radiation balance data, 1990*. The world radiation data centre
- Anon. (1993). *North Sea Quality Status Report*. North Sea Task Force.
- Aure, J., Danielssen, D.S., and Svendsen E. (1995). *The impact of Southern North Sea Water on the nutrient conditions in the Skagerrak in late spring 1988-1994*. In prep.
- Baliño, B. (1993). *Nutrient inputs to the North Sea, Skagerrak and Kattegat. River concentrations and loads from 1980 to 1990*. Tech. rep. HOV senteret, Høyteknologisenteret, Bergen, Norway.
- Berntsen J., D.W. Skagen and E. Svendsen. (1994). *Modeling the transport of particles in the North Sea with reference to Sandeel larvae*. Fish. Oceanogr. 3: 2, 81-89, 1994.
- Danielssen, D.S., Davidsson, L., Edler, L., Fogelquist, E., Fonselius, S.H., Føyn, L., Hernroth, L., Håkansson, B., Olsson, I. and Svendsen, E., (1991). *SKAGEX: Some Preliminary Results*. International Council for the Exploration of the Sea. CM 1991/ C:2, 14 pp.
- Danielssen, D.S., Edler, L., Fonselius S, Hernroth, L., Ostrowski, M. and Svendsen, E., (1995). *Oceanographic variability in Skagerrak/ northern Kattegat, May-June 1990*. Submitted to ICES J. Mar. Sci.
- Dybern, B.I., Danielssen, D.S., Hernroth, L. and Svendsen, E. (1994). *The Skagerrak Experiment-Skagex Report 1988-1994*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen. ISBN 92-9120-565-6, ISSN 0908-6692
- Eide, L.I., Reistad, M. and Guddal, J., (1985). *Database for estimated wind and wave parameters for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea*. (in Norwegian). DNMI report.

- Egenberg, B. (1993). *The relationship between hydrographical variability in coastal water and meteorological and hydrological parameters*. M.Phil. thesis, Geophysical inst., Univ. of Bergen, Norway. (in Norwegian).
- Lindahl, O. 1995. *Long-term studies of primary phytoplankton production in the Gullmar fjord, Sweden*. In press in proceedings from the MARE NOR symposium; Ecology of Fjords and Coastal Waters, in Tromsø, Norway, Desember 1994.
- Martinsen, E.A. and Engedahl, H., (1987). *Implementation and testing of a lateral boundary scheme as an open boundary condition in a barotropic ocean model*. Coastal Engineering, 11, 603-627.
- Martinsen, E. (1995). *Hindcast of Ocean Currents. Summary Report*. DNMI Research Report No.7. ISSN 0332-9879.
- North Sea Task Force, (1993). *North Sea Subregion 8 Assessment Report*. State Pollution Control Authority, Oslo, Norway. ISBN 82-7655-157-2.
- Reistad, M. And Iden, K.A. (1995). *Updating, correction and evaluation of a hindcast data base of air, pressure, winds and waves for the North Sea, Norwegian Sea and the Barents Sea*. DNMI Research Report No.9.
- Skartveit, A. and Olseth, J.A. (1986). *Modelling slope irradiation at high latitudes*. Solar Energy, 36(4), 333-344.
- Skartveit, A. and Olseth, J.A. (1987). *A model for the diffuse fraction of hourly global radiation*. Solar Energy, 37(4), 271-274.
- Skogen M.D. (1993) *A User's guide to NORWECOM, The Norwegian Ecological Model System*. ISSN 0804-2128. Rep. nr. 6, Center for Marine Environment, Institute of Marine Research, Bergen, Norway
- Skogen M., J. Berntsen, E. Svendsen, D. Aksnes and K. Ulvestad, (1995). *Modeling the primary production in the North Sea using a coupled 3-dimensional physical chemical biological ocean model*. Accepted in Estuarine, Coastal and Shelf Science, June 1994.
- Skogen, M., Svendsen, E., Ostrowski, M. (1995). *Quantifying Volume and Nutrient, Transports and Primary Production with the Norwegian Ecological Model system (NORWECOM)*. (submitted to Cont. Shelf Res.).
- Svendsen, Einar (1995). *Havstrømkart og Biologi i Skagerrak*. Rapport fra Havforskningsinstituttet
- Svendsen, E., Berntsen, J., Skogen, M., Ådlandsvik, B., Martinsen, E. (1995). *Model Simulation of the Skagerrak Circulation and Hydrography during Skagex*. (Accepted in J. Mar. Syst.)
- Svendsen, E., Eriksrød G., Skogen M.D. (1995). *Kvantifisering av langtransporterte vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til Ytre Oslofjord*. Fisken og Havet, nr. 15. Havforskningsinstituttet.

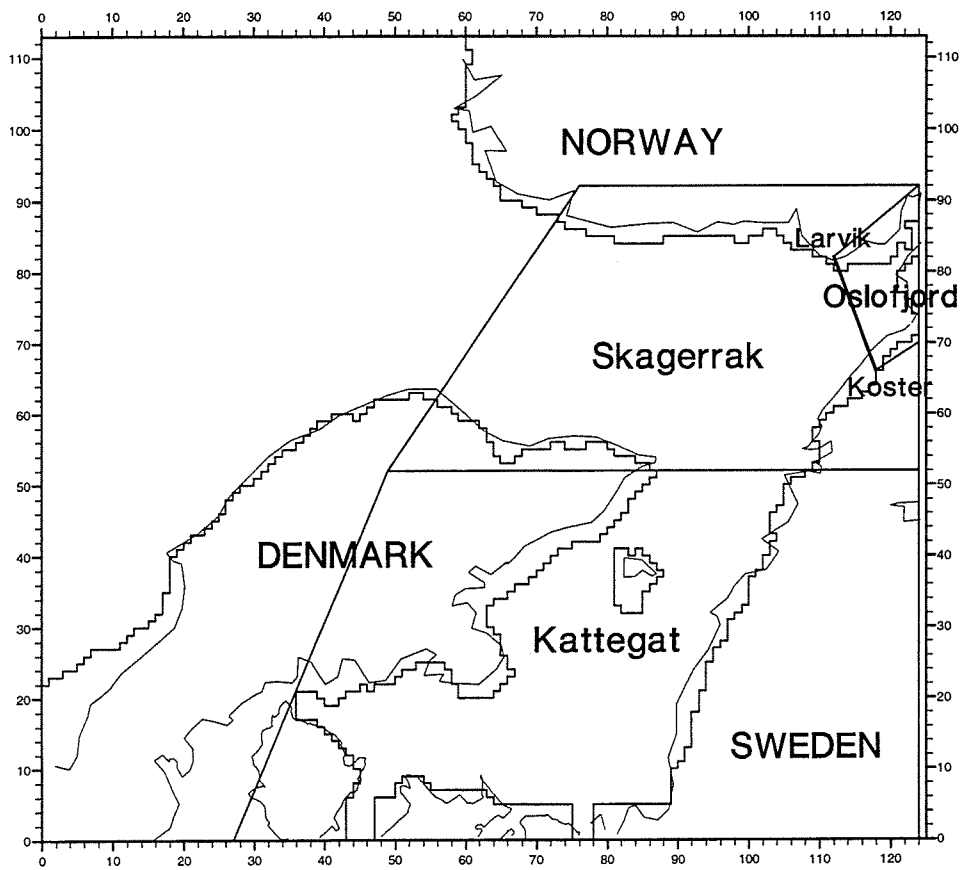


Fig. 1 Kart over modellområdet med landkonturer og modellens konturer inntegnet.
Map of model area showing contours of land and the model contours.

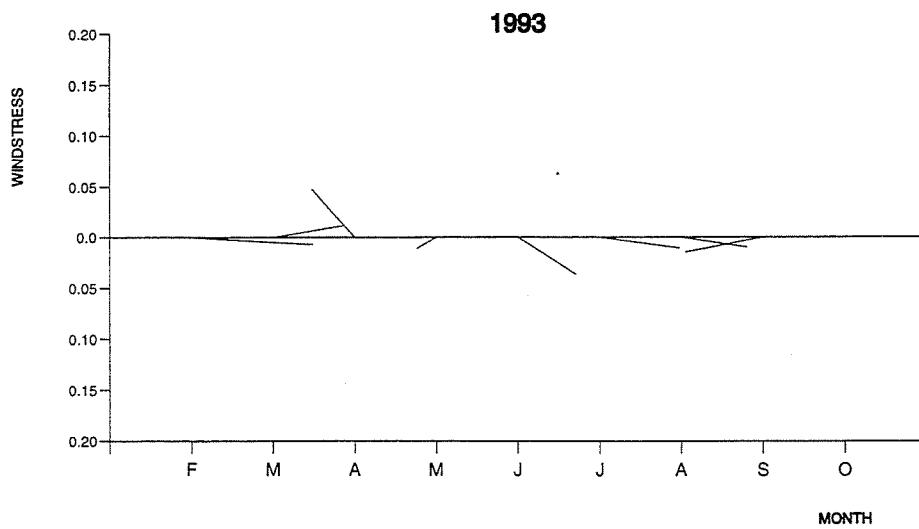
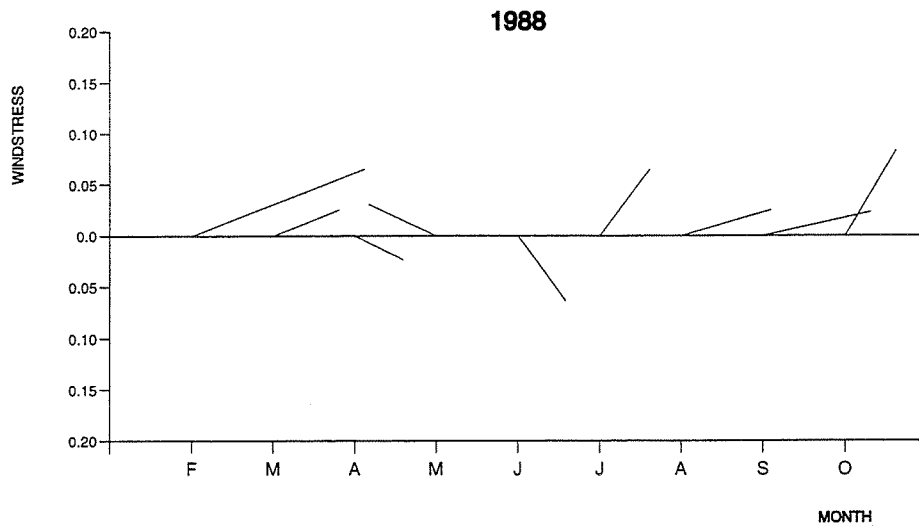


Fig. 2 Midlere månedlig vindspenning vest af Danmark i 1988 og 1993.
Monthly averaged windstress west of Denmark in 1988 and 1993.

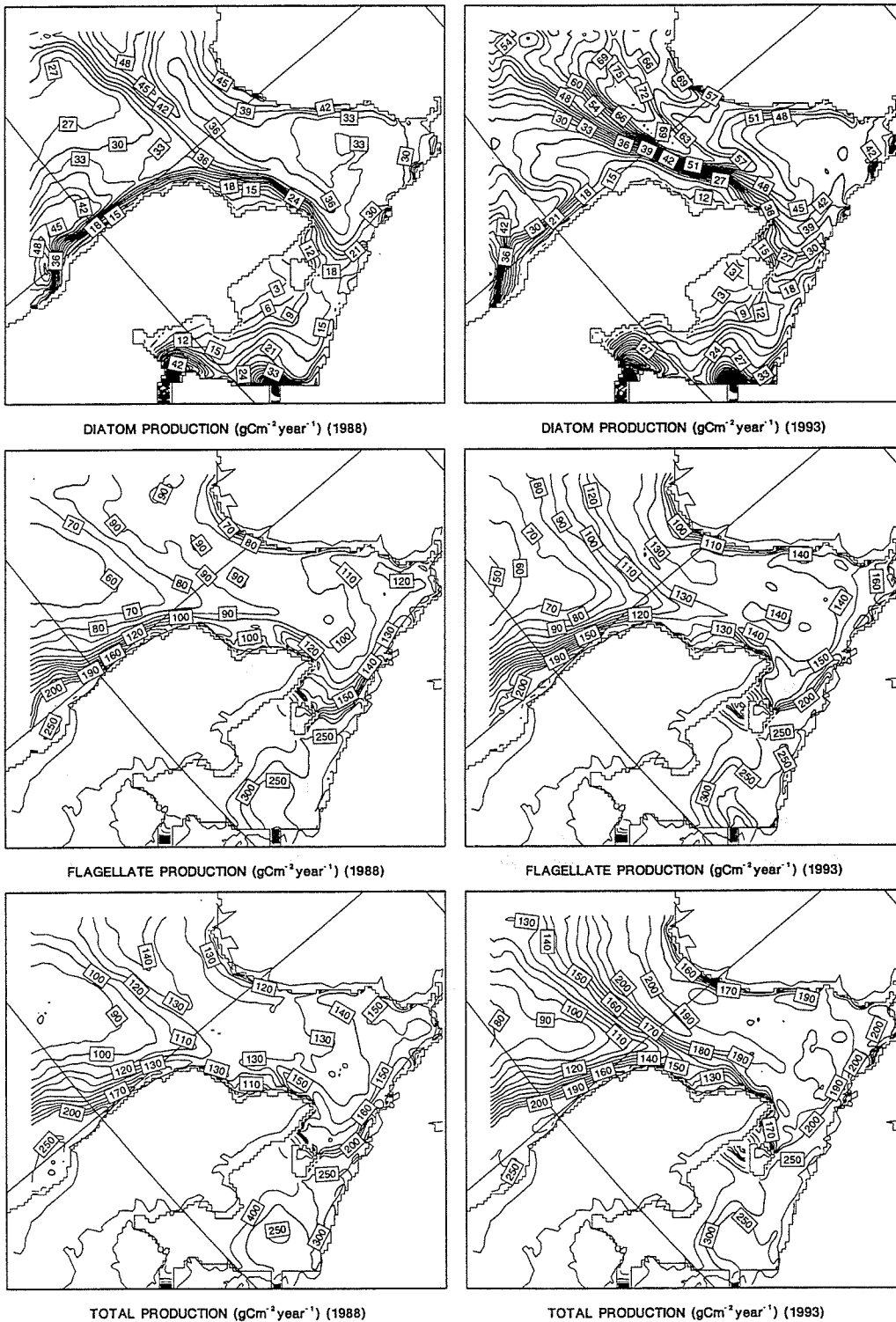


Fig. 3 Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med modellert årlig diatomé-, flagellat- og totalproduksjon i 1988 og 1993.
Fine scale model area of Skagerrak and Kattegat showing modelled annual diatom, flagellate and total production in 1988 and 1993.

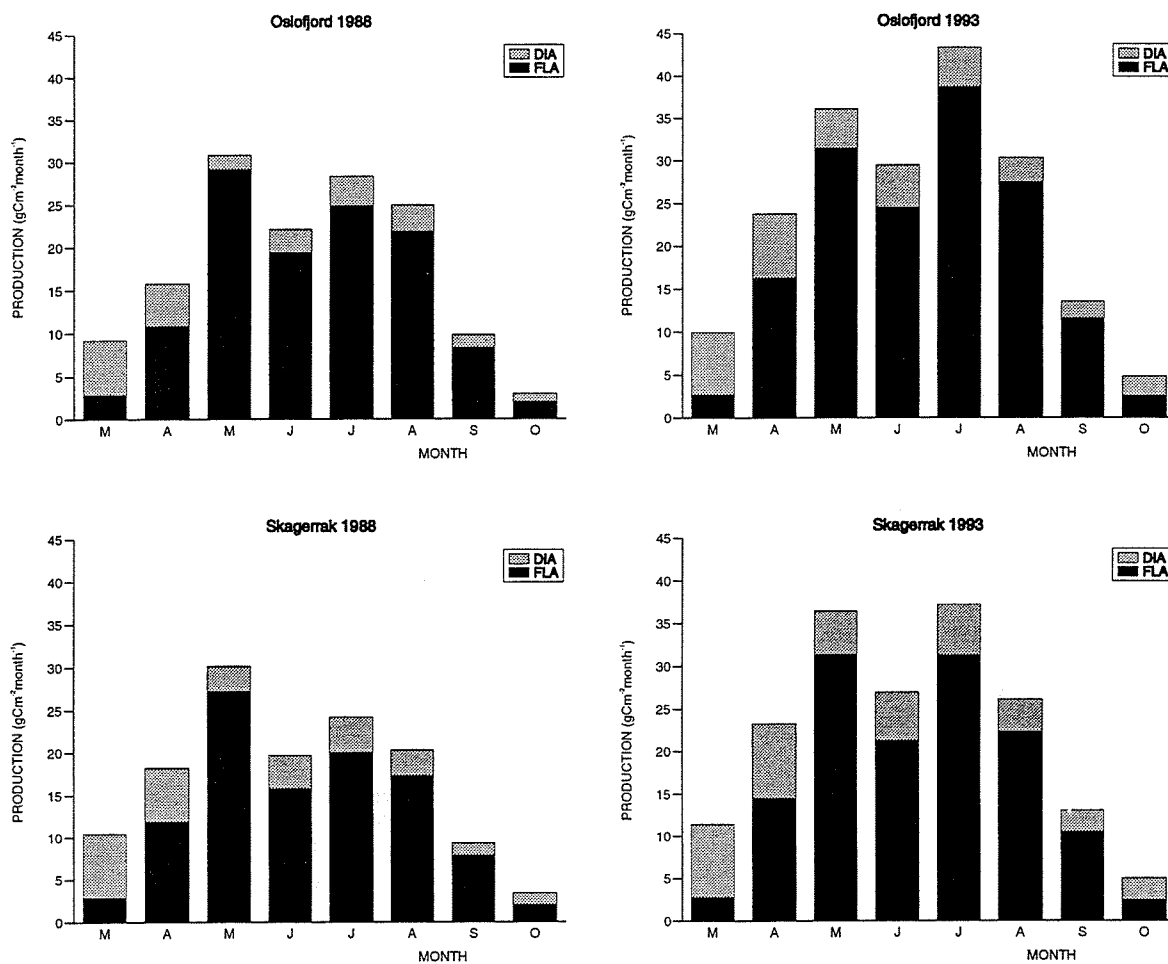


Fig. 4 Modellert månedlig produksjon (gC/m^2) av flagellater og diatomer i Oslofjorden og Skagerrak i 1988 og 1993. *Modelled monthly production (gC/m^2) of flagellates and diatoms in the Oslofjord and Skagerrak in 1988 and 1993.*

	Oslofjord		Skagerrak	
	1988	1993	1988	1993
Dia	25	36	31	43
Fla	119	155	105	136
Tot	144	191	136	179

Modellert årlig (mndr. gitt ovenfor) produksjon (gC/m^2) i Oslofjorden og Skagerrak.

Modelled annual production (gC/m^2) in the Oslofjord and Skagerrak.

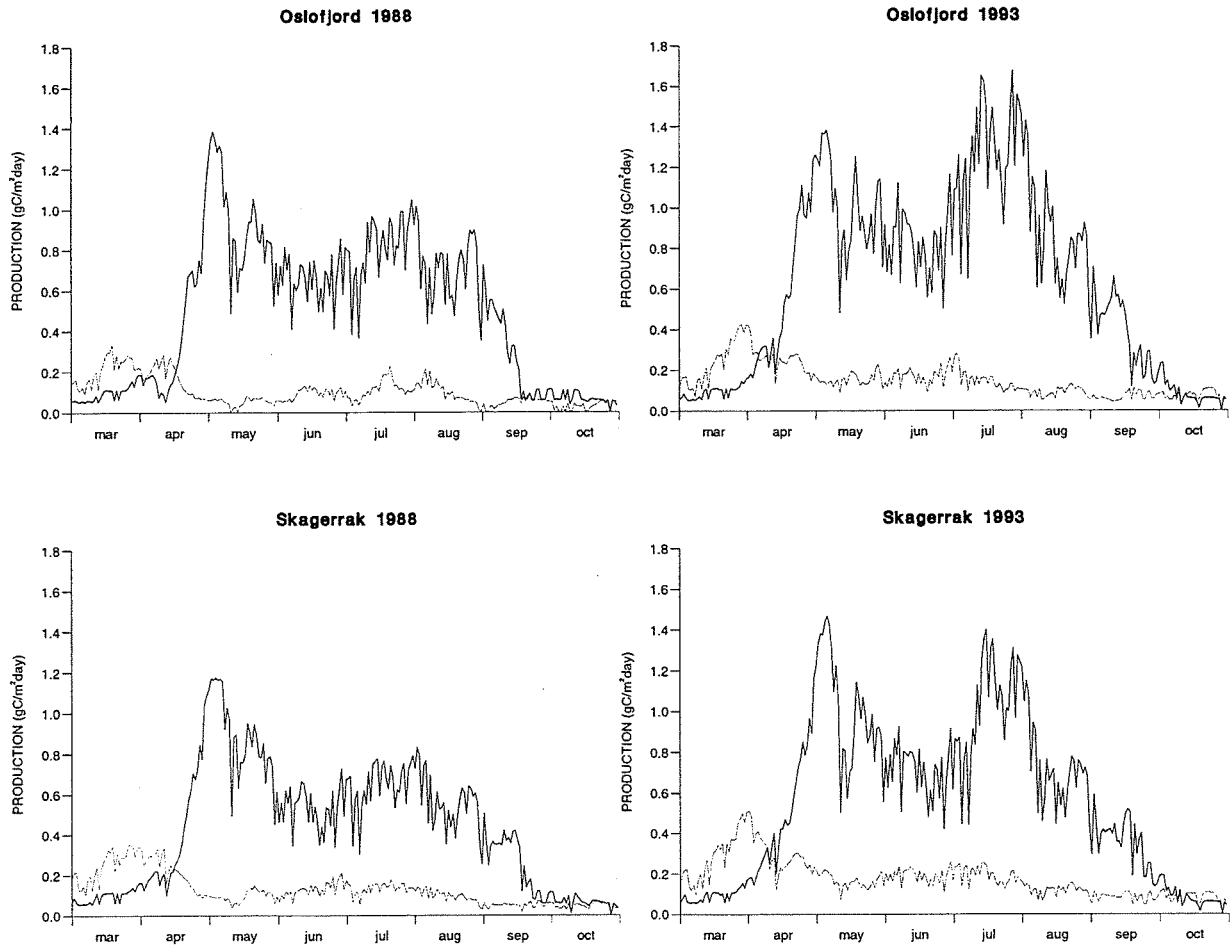


Fig. 5 Modellert daglig produksjon (gC/m^2) av flagellater (heltrukket kurve) og diatoméer (stiplet kurve) i Oslofjorden og Skagerrak i 1988 og 1993.

Modelled daily production (gC/m^2) of flagellates (solid line) and diatoms (stippled) in the Oslofjord and Skagerrak in 1988 and 1993.

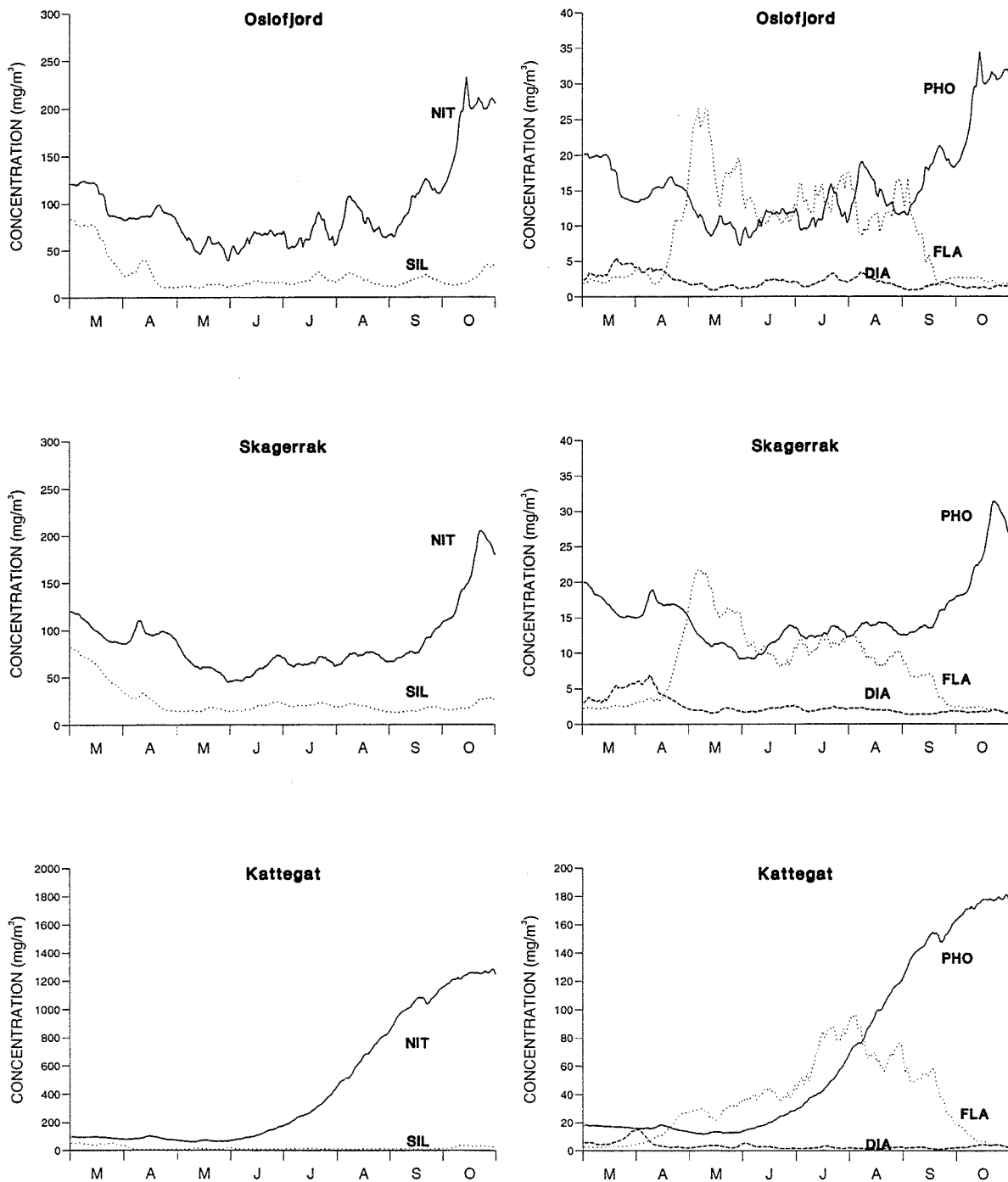


Fig. 6a Tidsutvikling av modellerte daglige midlere konsentrasjoner (øvre 30m) av uorganisk nitrogen (mgN/m^3), fosfor (mgP/m^3) og silisium (mgS/m^3) og av flagellater (mgN/m^3) og diatoméer (mgN/m^3) i 1988. Temporal development of modelled daily mean concentrations (upper 30 meters) of inorganic nitrogen, phosphorus and silicon and of flagellates and diatoms in 1988.

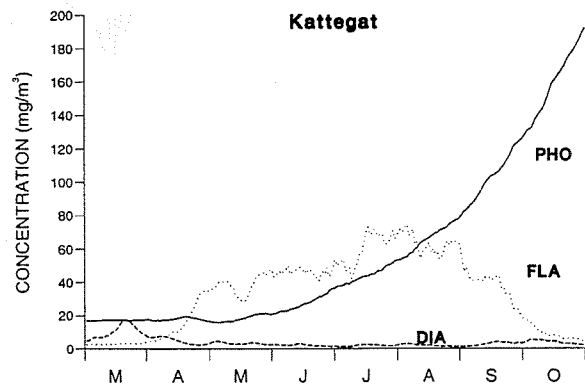
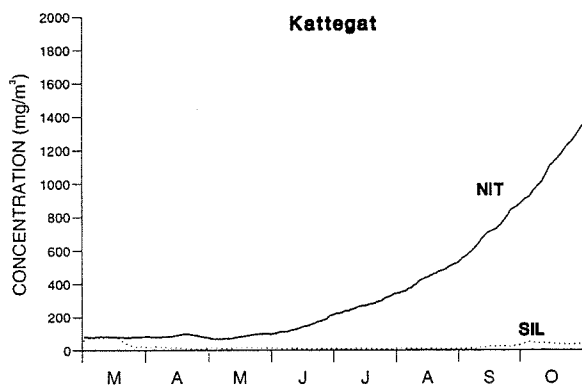
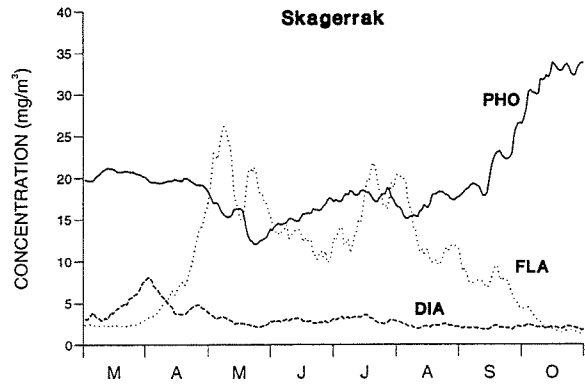
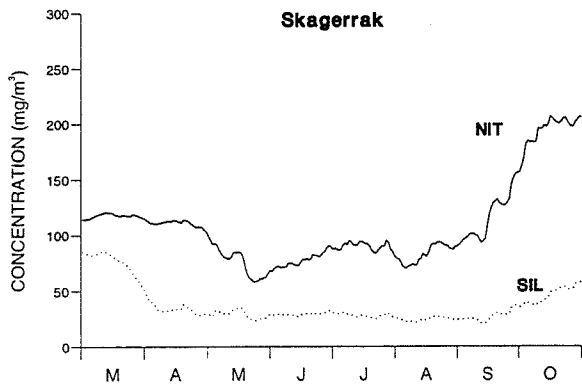
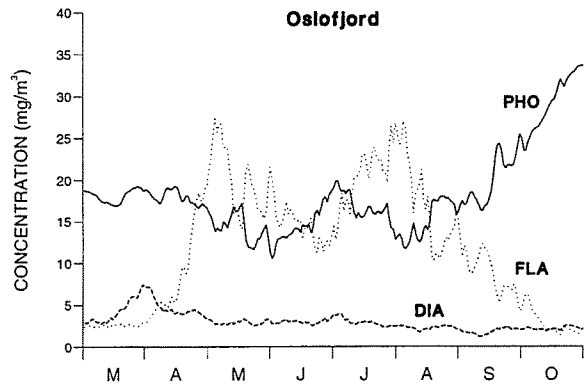
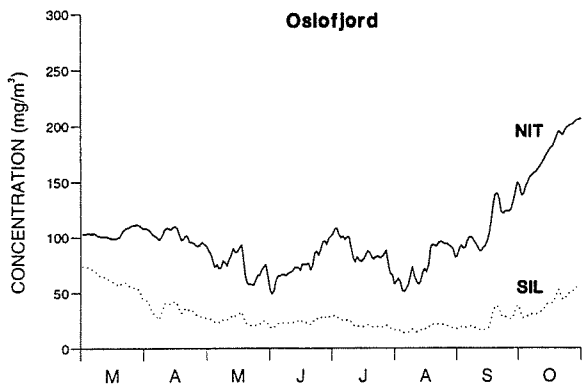


Fig. 6b Tidsutvikling av modellerte daglige midlere konsentrasjoner (øvre 30m) av uorganisk nitrogen (mgN/m^3), fosfor (mgP/m^3) og silisium (mgS/m^3) og av flagellater (mgN/m^3) og diatoméer (mgN/m^3) i 1993.
Temporal development of modelled daily mean concentrations (upper 30 meters) of inorganic nitrogen, phosphorus and silicon and of flagellates and diatoms in 1993.

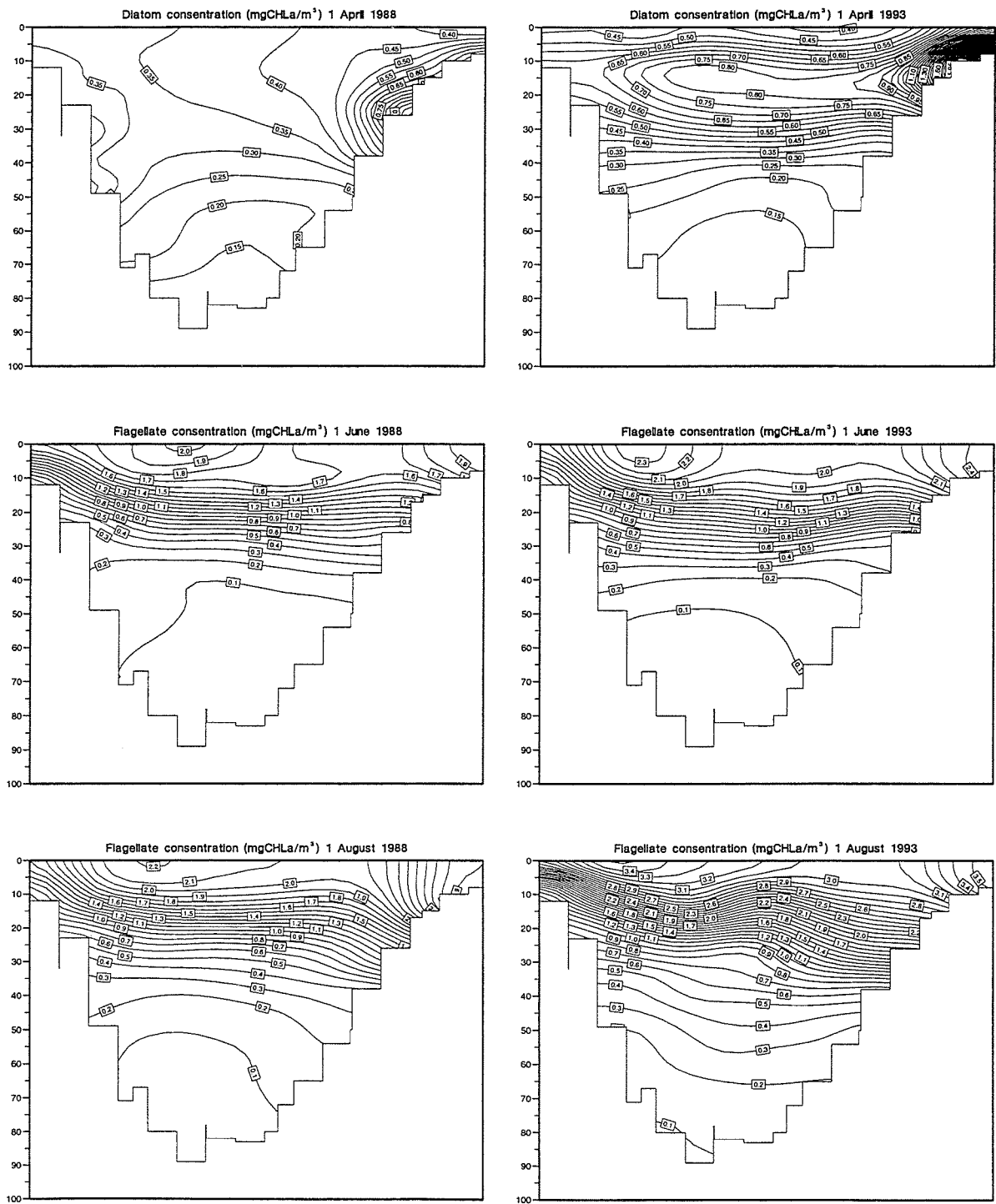


Fig. 7 Modellerte midlere konsentrasjoner av diatoméer og flagellater i Larvik-Koster snittet i 1988 og 1993.
Modelled mean concentrations of diatoms and flagellates in the Larvik-Koster section in 1988 and 1993.

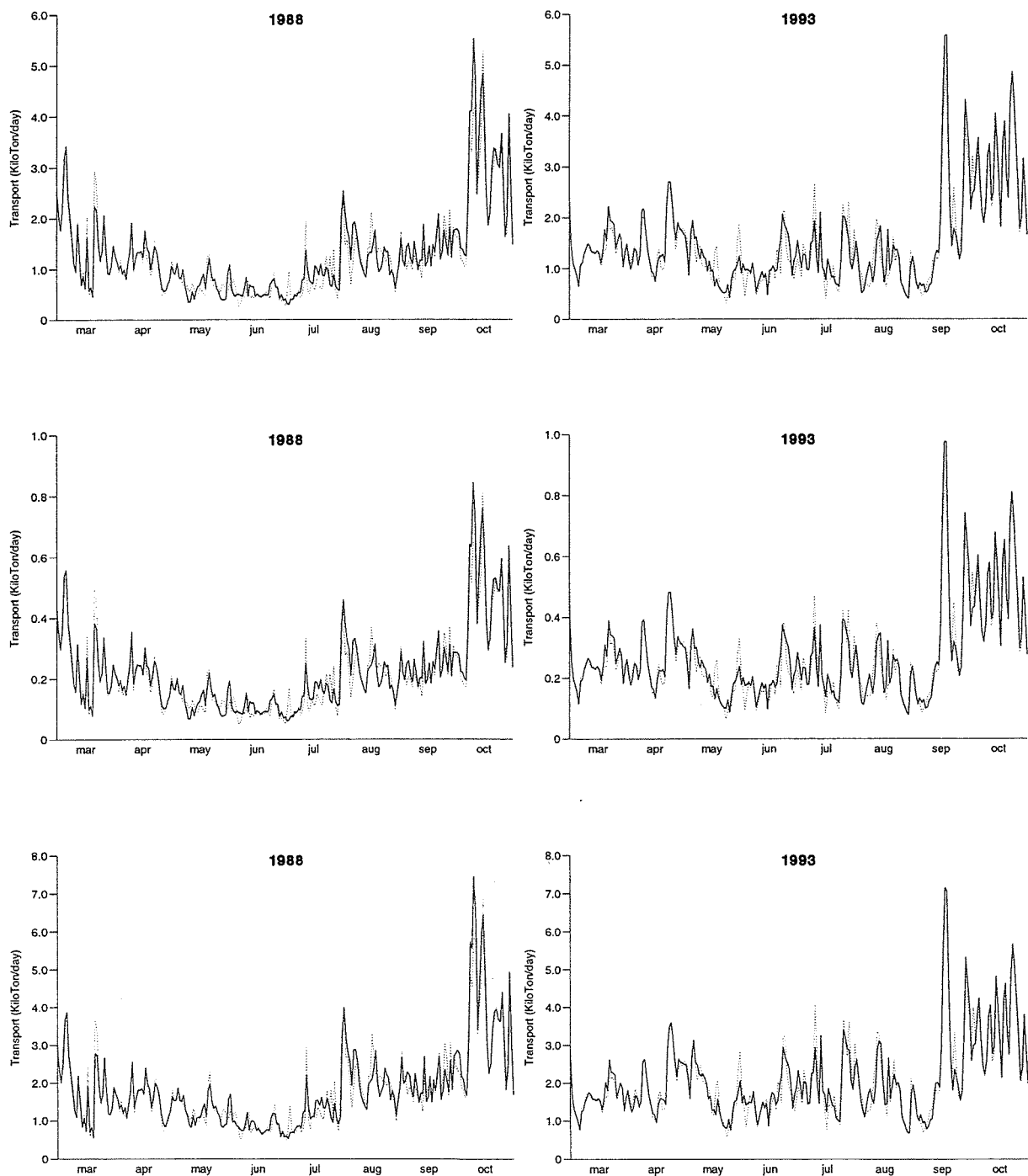


Fig. 8a Modellerte midlere transporter av nitrat (øverst), fosfat og total mengde nitrogen gjennom snittet Larvik-Koster i 1988 og 1993. *Modelled mean transports of nitrate (upper panel), phosphate and total amount of nitrogen through the Larvik-Koster section in 1988 and 1993.*

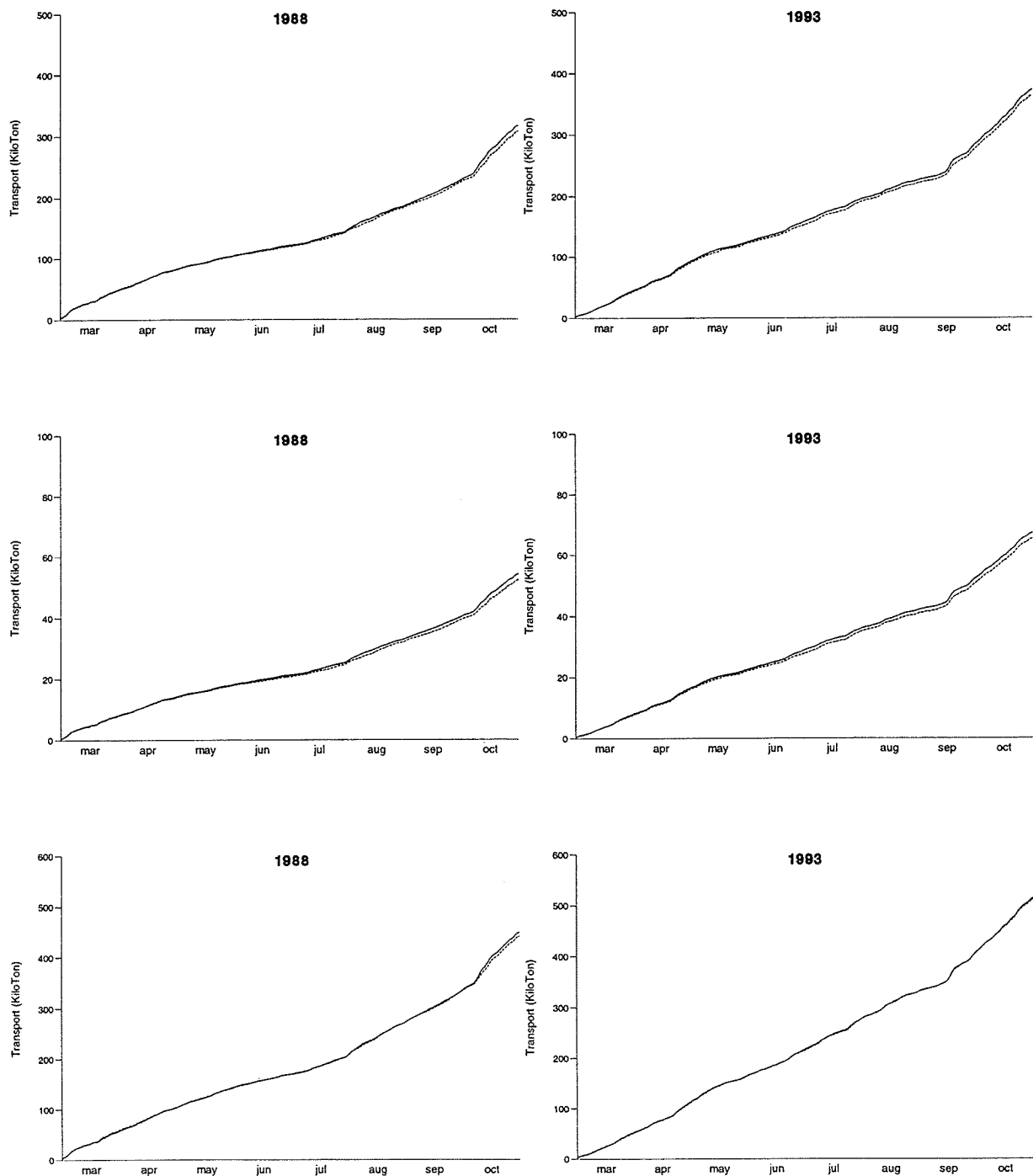


Fig. 8b Modellerte kumulative transporter av nitrat (øverst), fosfat og total mengde nitrogen gjennom snittet Larvik-Koster i 1988 og 1993. (Heltrukket kurve er transport inn i fjorden)
Modelled cumulative transports of nitrate (upper panel), phosphate and total amount of nitrogen through the Larvik-Koster section in 1988 and 1993. (Solid line denotes transport into the fjord)

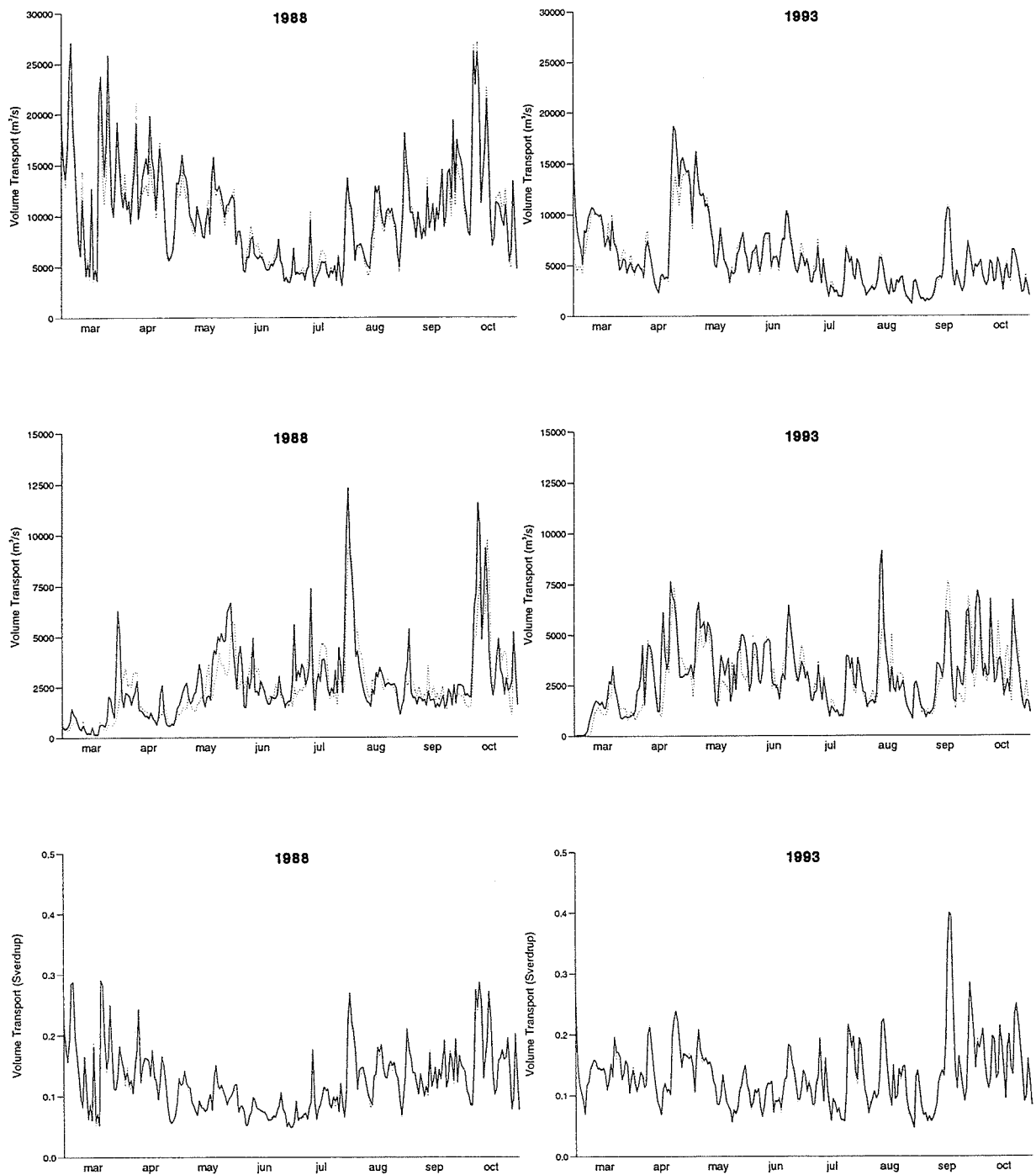


Fig. 9a Modellerte midlere volumtransporter av Tyskebukt-, Østersjø- og Nordsjøvann gjennom snittet Larvik-Koster i 1988 og 1993.
Modelled mean volume transports of German Bight, Baltic Sea and North Sea water through the Larvik-Koster section in 1988 and 1993.

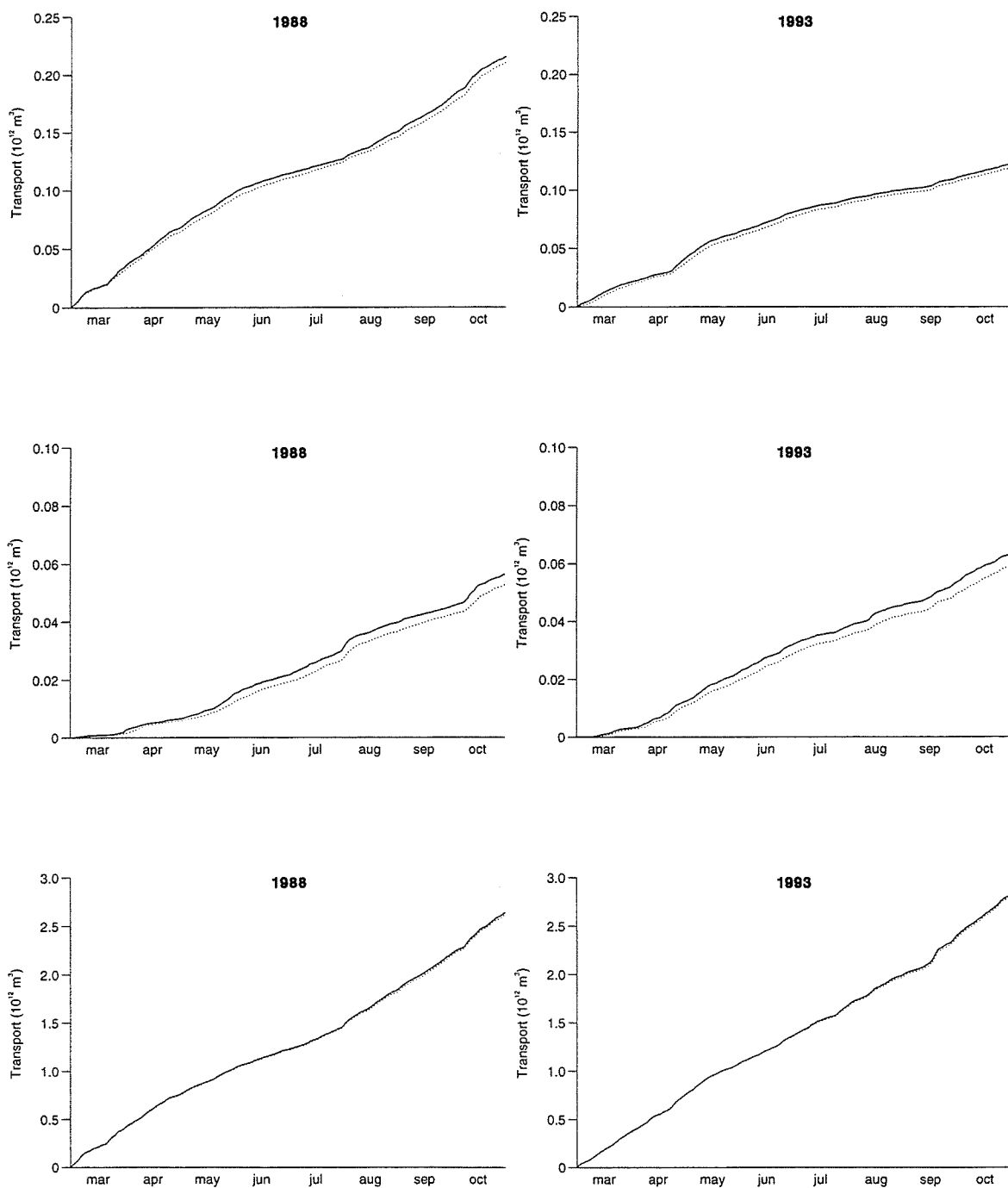


Fig. 9b Modellerte kumulative volumtransporter av Tyskebukt-, Østersjø- og Nordsjøvann gjennom snittet Larvik-Koster i 1988 og 1993. (Heltrukket kurve er transport inn i fjorden)
Modelled cumulative volume transports of German Bight, Baltic Sea and North Sea water through the Larvik-Koster section in 1988 and 1993. (Solid line denotes transport into the fjord)

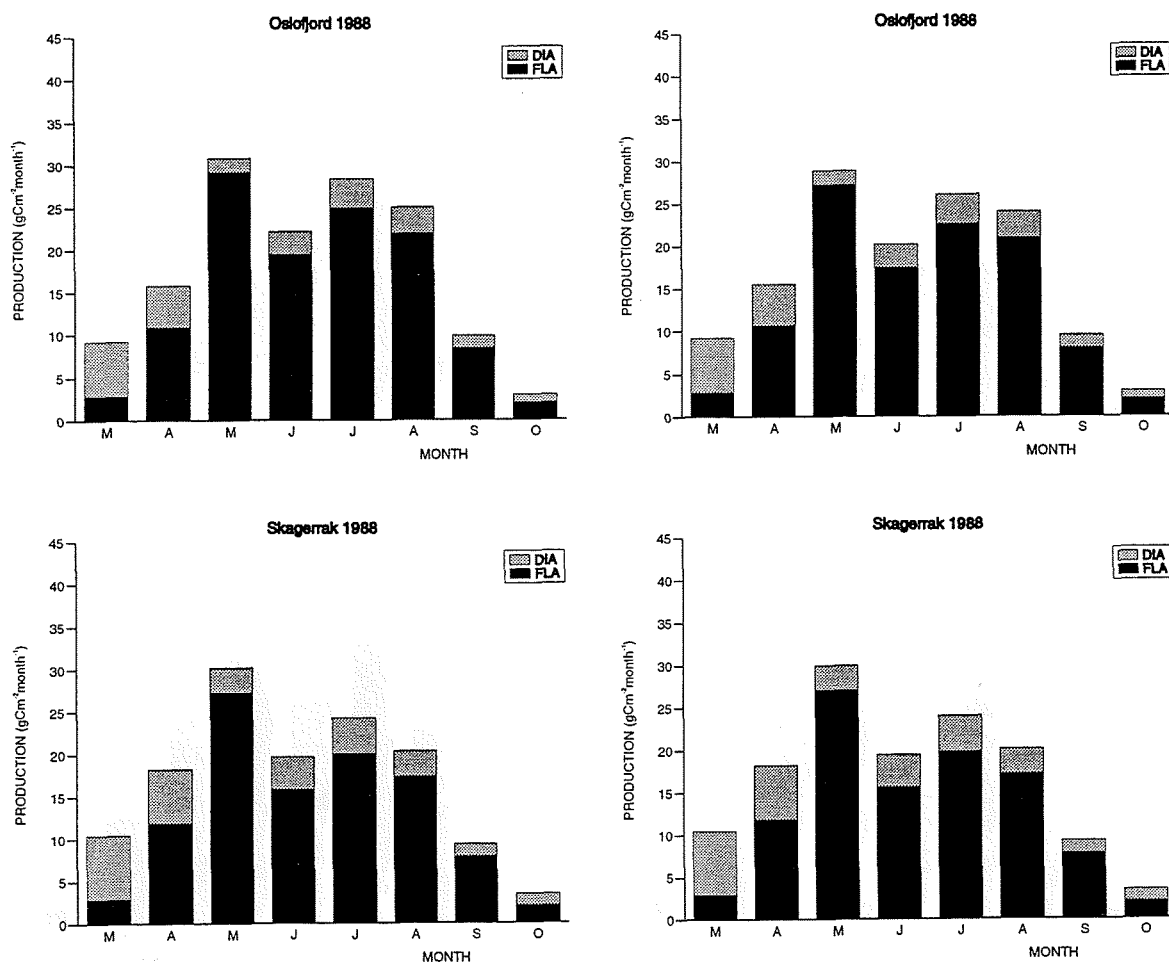


Fig. 10 Modellert månedlig produksjon (gC/m^2) av flagellater og diatoméer i Oslofjorden og Skagerrak i 1988 med (til venstre) og uten nitrogen- og fosfortilførsler fra norske elver. *Modelled monthly production (gC/m^2) of flagellates and diatoms in the Oslofjord and Skagerrak in 1988 with (left panels) and without supply of nitrogen and phosphorus from Norwegian rivers.*

	Oslofjord		Skagerrak	
	1988	1988*	1988	1988*
Dia	25	25	31	31
Fla	119	111	105	104
Tot	144	136	136	135

Modellert årlig (mndr. gitt ovenfor) produksjon (gC/m^2) i Oslofjorden og Skagerrak (* = ingen nitrogen- og fosfortilførsel fra norske elver). *Modelled annual production (gC/m^2) in the Oslofjord and Skagerrak (* = no supply of nitrogen and phosphorus from Norwegian rivers).*

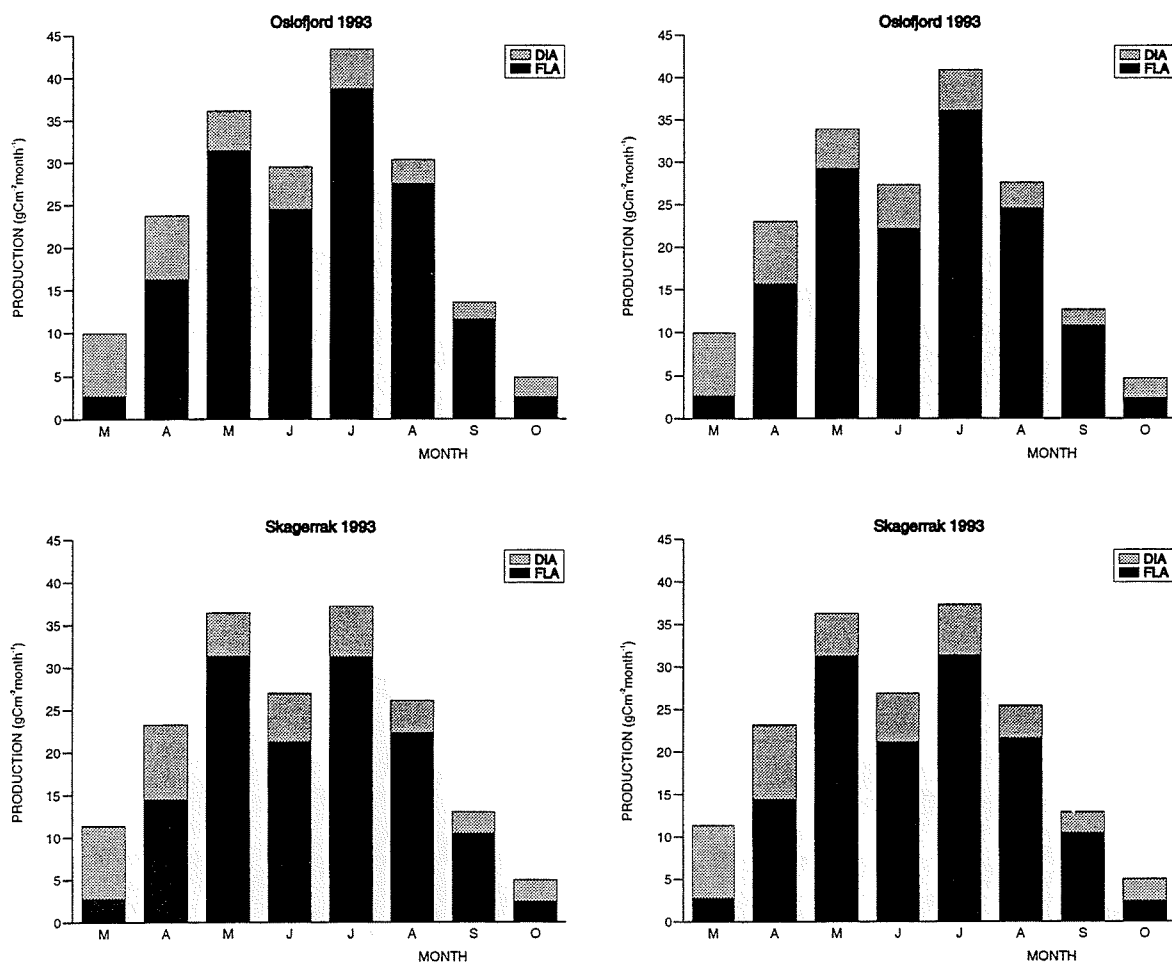


Fig. 11 Modellert månedlig produksjon (gC/m^2) av flagellater og diatoméer i Oslofjorden og Skagerrak i 1993 med (til venstre) og uten nitrogen- og fosfortilførsler fra norske elver. *Modelled monthly production (gC/m^2) of flagellates and diatoms in the Oslofjord and Skagerrak in 1993 with (left panels) and without supply of nitrogen and phosphorus from Norwegian rivers.*

	Oslofjord		Skagerrak	
	1993	1993*	1993	1993*
Dia	36	36	43	43
Fla	155	144	136	135
Tot	191	180	179	178

Modellert årlig (mndr. gitt ovenfor) produksjon (gC/m^2) i Oslofjorden og Skagerrak (* = ingen nitrogen- og fosfortilførsel fra norske elver). *Modelled annual production (gC/m^2) in the Oslofjord and Skagerrak (* = no supply of nitrogen and phosphorus from Norwegian rivers).*

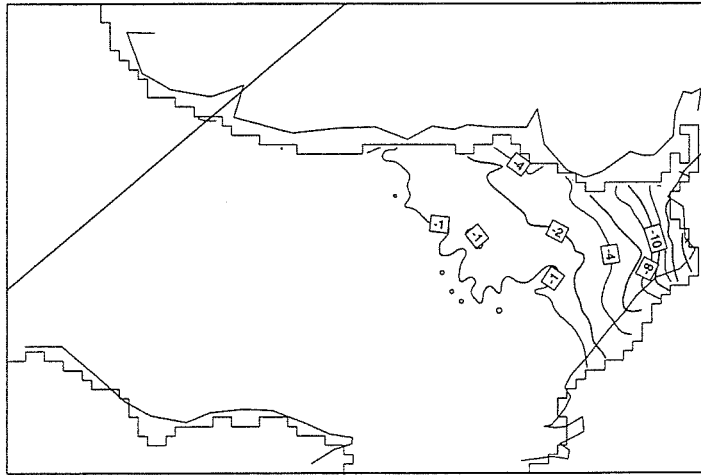


Fig. 12 Prosentvis reduksjon i flagellatproduksjonen uten nitrogen- og fosfortilførsler fra norske elver vist i Skagerrak i juni 1988.
Reduction (in percentage) in production of flagellates without supply of nitrogen and phosphorus from Norwegian rivers displayed in Skagerrak in June 1988.

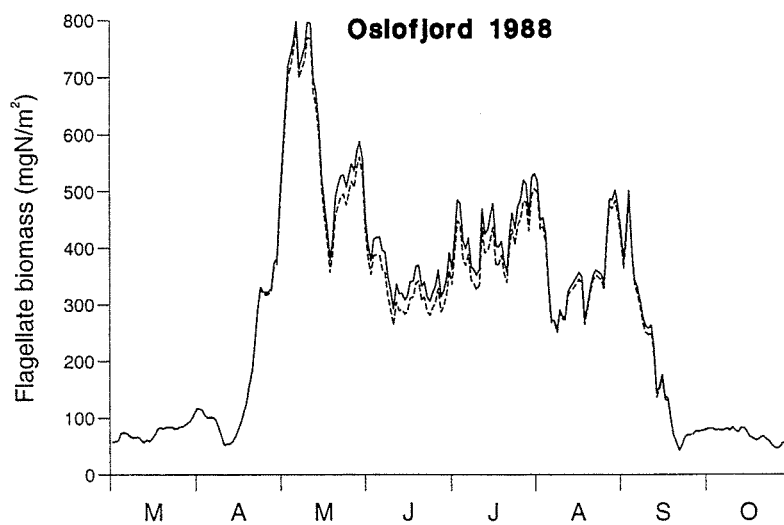


Fig. 13 Tidsutvikling i flagellatbiomasse i Oslofjorden i 1988. Heltrukket kurve er med nitrogen- og fosfortilførsler fra norske elver.
Temporal development of flagellate biomass in the Oslofjord in 1988. Solid line is with supply of nitrogen and phosphorus from Norwegian rivers.