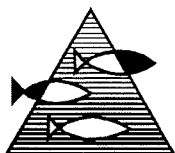


PROSJEKTRAPPORT

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.:

0108-95

Oppdragsgiver(e):

Statens

Forurensningstilsyn

Oppdragsgivers referanse:

SFT prosjektnr. 95425

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 4 - 1996

Tittel:

FLOMVANN FRA GLOMMA OG MILJØFORHOLDENE I SKAGERRAK SOMMREREN 1995. (The Glomma flood and the environmental conditions in the Skagerrak in the summer 1995)

Senter:

Seksjon: Forskningsstasjonen
Flødevigen

Forfatter(e):

D. S. Danielssen, M. Skogen, J. Aure, og E. Svendsen

Antall sider, vedlegg inkl.:

37

Dato:

05.02. 1996

Sammendrag:

Storflommen på Øslandet i mai-juni 1995 resulterte i de laveste saltholdigheter som har vært observert i overflatelaget i Skagerrak i juni måned siden 1958. Store næringssalttilførsler førte til en unormal stor blomstring av diatomeen *Skeletonema costatum* i juni i indre Skagerrak. Ubetydelige konsentrasjoner av uorganiske næringssalter i overflatelaget indikerer at de tilførte næringssaltene hurtig ble omsatt i algeproduksjon. Observasjoner av gulstoff ga et godt bilde av horisontalutbredelsen av "Glomma brakkvann" i indre Skagerrak. Observasjoner og modellsimuleringer viste at flomvannet fra Glomma spredte seg i pulser sørvestover langs den norske Skagerrakkysten og langs den svenske vestkysten til kystområdet mellom Koster og Väderö. I samsvar med observasjoner viste modellsimuleringer at flommen hovedsakelig medførte økt produksjon av diatomeer fra begynnelsen av juni til første del av juli 1995.

Emneord - norsk:

1. Hydrografi
2. Hydrokjemii
3. Planteplankton

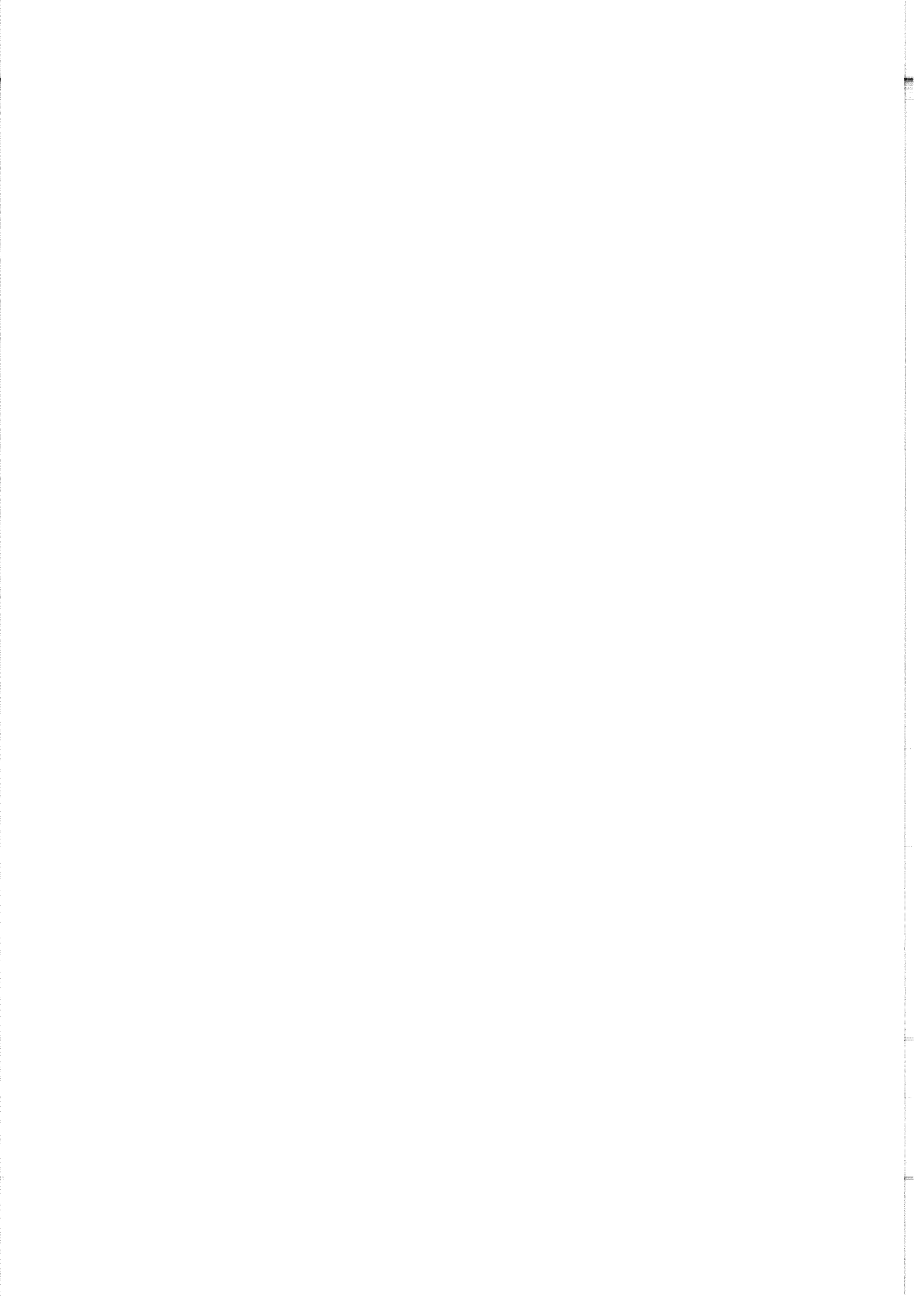
Emneord - engelsk:

1. Hydrography
2. Hydro chemi
3. Phytoplankton

Prosjektleder

Seksjonsleder

K 4227



FLOMVANN FRA GLOMMA OG MILJØFORHOLDENE I SKAGERRAK SOMMEREN 1995

*(THE GLOMMA FLOOD AND THE ENVIRONMENTAL
CONDITIONS IN THE SKAGERRAK IN THE SUMMER 1995)*

Av

D. S. Danielssen, M. Skogen, J. Aure, og E. Svendsen

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
SUMMARY	5
1. MILJØFORHOLDENE I JUNI-JULI 1995	6
1.1 Hydrografi	6
1.2 Næringssalter	12
1.3 Klorofyll og alger	12
1.4 Gulstoff	18
2. MODELLERING AV MILJØSITUASJONEN	23
2.1 Modellen	23
2.2 Modellresultater	25
3. KONKLUSJONER	34
4. LITTERATUR	36

FORORD

Undersøkelsen ble utført på oppdrag fra Statens Forurensningstilsyn (SFT) med bakgrunn i de store mengder ferskvann og næringssalter som ble tilført nordøstre Skagerrak i forbindelse med storflommen på Østlandet i juni 1995. Hensikten med undersøkelsen var å finne ut i hvilken grad flomvannet ville påvirke miljøforholdene i indre Skagerrak og langs Sørlandskysten og om det eventuelt kunne oppstå en unormal algesituasjon. Feltundersøkelsen ville dessuten også gi verdifulle data for å kunne modellere utviklingen i området ved hjelp av Havforskningsinstituttet's numeriske havmiljømodell (NORWECOM).

SAMMENDRAG

Ferskvannspåvirkningen fra flommen i juni 1995 til indre Skagerrak skapte der et uvanlig og meget ferskt overflatelag med en kraftig lagdeling i saltholdighet. Påvirkningen av vannmasser med uvanlig lave saltholdigheter ble i tillegg registrert langs hele den norske Skagerrakkysten, østover mot kystområdet mellom Koster og Väderø på den svenske vestkysten og helt over mot kysten av nord-Jylland på dansk side. Store ferskvannstilførsler fra Østersjøen/Kattegat og Gøtaelven har trolig også påvirket forholdene. Det ble observert ubetydelige konsentrasjoner av ortofosfat og nitrat i det ferske overflatelaget. I midten av juni ble noe silikat funnet i overflatelaget på hele snittet mellom Jomfruland og Koster, mens det i juli bare ble registrert nær Jomfruland. Totalfosfor og nitrogenkonsentrasjonene i overflatelaget ved Jomfruland i første del av juli lå imidlertid betydelig over langtidsmiddelet 1990--94. Store klorofyllkonsentrasjoner ble registrert i "Glomma" brakkvann langs snittet Jomfruland-Koster i midten av juni og det var fremdeles noe klorofyll igjen i begynnelsen av juli. Klorofyllkonsentrasjonene og beregnet produksjonen i Jomfruland-Koster snittet økte med en faktor på omlag 3 under flomperioden i juni. Det var også i "Glomma" brakkvann, i indre del av Skagerrak og videre nedover langs kysten mot Risør, hvor uvanlige store konsentrasjoner av diatomeen *Skeletonema costatum* ble registrert. Større konsentrasjoner av denne algen var fremdeles tilstede i dette kystområdet i begynnelsen av juli. Det ble for øvrig bare funnet ubetydelige konsentrasjoner av potensielt skadelige alger i undersøkelsesperioden.

Glommavann var "merket" med relativt høye gulstoffkonsentrasjoner i forhold til ferskvann (brakkvann) tilført fra elver langs den svenske vestkysten og Kattegat/Østersjøen. Gulstoff gav derfor et godt bilde av horisontalutbredelsen av "Glomma brakkvann" i indre Skagerrak.

De høye konsentrasjonene av totalnitrogen, totalfosfor og klorofyll, sammen med de lave konsentrasjoner av uorganiske næringssalter mellom 8.juni og 8.juli, viser at tilførte uorganiske næringssalter fra Glomma og andre vassdrag meget hurtig ble omsatt i algeproduksjon i indre Skagerrak. Overskuddet av silikat i det tilførte ferskvannet medførte at algeproduksjonen hovedsakelig var dominert av diatomeer.

Vi har sett hvordan merkingen av vannmasser i modellsystemet NORWECOM har gitt en unik mulighet til å vise spredningen og fortynningen av flomvannet fra Glomma til Skagerrak, noe som ville vært vanskelig kun basert på sporadiske målinger i naturen. Modellen viser klart hvordan flomvannet fra Glomma spredte seg langs Skagerrakkysten i pulser fra ytre Oslofjord. Ved å sammenligne simuleringene med og uten flomvann, får en også et bilde på hvordan flomvannet påvirket primærproduksjonen. I samsvar med målingene viste modellen at flommen hovedsakelig medførte økt produksjon av diatomer fra begynnelsen av juni til første del av juli.

SUMMARY

The fresh-water influence from the flood in June, 1995 to the eastern Skagerrak created an unusual and very fresh surface layer with a strong halocline. The surface water with extremely low salinities was detected all along the Norwegian coast within Skagerrak, east to the shore between Koster and Väderö on the Swedish west-coast, and south to the coast of Denmark (northern Jutland). The surface layer in Skagerrak was probably also affected by increased freshwater supplies from the Baltic/Kattegat and the Gøta River. Concentrations of orthophosphate and nitrate were observed close to zero in the fresh surface layer, except from some low concentrations near Koster in the middle of June and close to Jomfruland in July. Low concentrations of silicate were found in the brackish layer in the Jomfruland-Koster section in June and close to Jomfruland in July. In the first part of July the total phosphorous and nitrogen concentrations in the surface layer at Jomfruland were significantly above the mean from the five year period 1990-1994.

*High concentrations of chlorophyll in the brackish "Glomma water" were observed along the Jomfruland-Koster section in the middle of June, and still some chlorophyll was left in the beginning of July. The chlorophyll concentrations and the estimated primary production in the Jomfruland-Koster section increased with a factor of about 3 during the flood in June. Brackish "Glomma water" were also found in the inner part of the Skagerrak and further down the coast to Risør, where unusual high concentrations of the diatom *Skeletonema costatum* were observed. The cause for a diatom to dominate the plankton community was probably due to the excess of silicate in the surface layer. Relatively high concentrations of this algae were still present in this coastal area in the beginning of July. Insignificant amounts of potential harmful algae were found during the investigation period.*

By marking of the flood-water from Glomma in the NORWECOM model system, a unique possibility to study the dispersion and dilution of this water is demonstrated, which is not possible by sporadic in situ measurements. The model shows clearly how the "Glomma" water spread in pulses from the outer Oslofjord along the Norwegian Skagerrak coast. By comparing model simulations both with and without flood water, estimates are given in space and time on how the flood also affected the primary production. In agreement with the data, the simulations show that the flood mainly led to an increased diatom production from the beginning of June to the first part of July.

1. MILJØFORHOLDENE I JUNI-JULI 1995

Det ble gjennomført tokt 13.-17.juni og 5.-9. juli som dekte det nordøstre Skagerrak utenfor Oslofjorden (fig.1). I tillegg ble det 8. juni, før de største ferskvannsmengdene ble tilført området, foretatt et snitt utenfor ytre Oslofjord mellom Koster og Jomfruland. Det ble observert temperatur, saltholdighet, ortofosfat, nitrat, nitrit, silikat, klorofyll, siktedyp og telling av alger. På toktene 13.-17.juni og 5.-9. juli ble det tatt målinger av gulstoff og på det siste toktet i juli ble det også foretatt analyser av totalt fosfor og nitrogen. Bunntopografien i Nordsjøen og Skagerrak er vist i fig.15. Vannføringen i Glomma ved Solbergsfoss i perioden fra januar til august 1995 sammen med månedsmidler for 1990 er vist i fig.16. I juni var ferskvannstilførselen til indre Skagerrak fra Glomma maksimalt ca $3500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ noe som er omlag 3.5 ganger større en "normal" vannføring. Tilførsel av brakkvann fra Østersjøen og ferskvann fra Gøtaelven var også betydelige i juni og juli 1995 (pers. kom. Bjørn Sjøberg, SMHI).

1.1 Hydrografi

Vannmassene i Skagerrak deles inn i tre hovedvannmasser: Atlantisk vann har saltholdighet over 35.0 psu, Skagerrakvann med saltholdighet mellom 32.0 og 35.0 psu og Skagerrak kystvann med saltholdighet mellom 25.0 og 32.0 psu (Miljørapport HI, 1995). I tillegg er vann med saltholdighet mindre enn 25.0 definert som brakkvann.

Brakkvannet i indre Skagerrak hadde i juni-juli en tykkelse på 5-10 m med et markert spranglag mellom brakkvannet og de underliggende vannmasser (fig.2). I begynnelsen av juni, før flomvannet gjorde seg gjeldende (se fig.16), varierte saltholdigheten i brakkvannet mellom 21 og 25. Omlag en uke senere (16. juni), da flommen i Glomma var på sitt største, ble det observert markert lavere saltholdigheter (17-19 psu) over store områder av indre Skagerrak (fig.3). I første del av juli, etter at flommen i Glomma var over, var saltholdighetene i brakkvannslaget igjen tilbake til det mer normale for årstiden og horisontalutbredelsen av brakkvann med saltholdigheter under 25.0 var betydelig redusert.

Figur 5 viser at saltholdighetene i de øvre 5-10 m i Skagerrak mellom Torungen og Hirtshals lå betydelig under det normale for årstiden i slutten av juni. Selv i siste del av juli, 2-3 uker etter at flommen på Østlandet var over, var det fremdeles relativt lave saltholdigheter i overflatelaget tvers over Skagerrak. Sist gang det ble observert så lave saltholdigheter i overflatelaget på Torungen -Hirtshals snittet var i 1958. I begynnelsen av juni var overflatetemperaturene på snittet Jomfruland -Koster 12-13 °C og 7-8 °C mellom overflatelaget og 50m dyp (fig.4). Frem til begynnelsen av juli

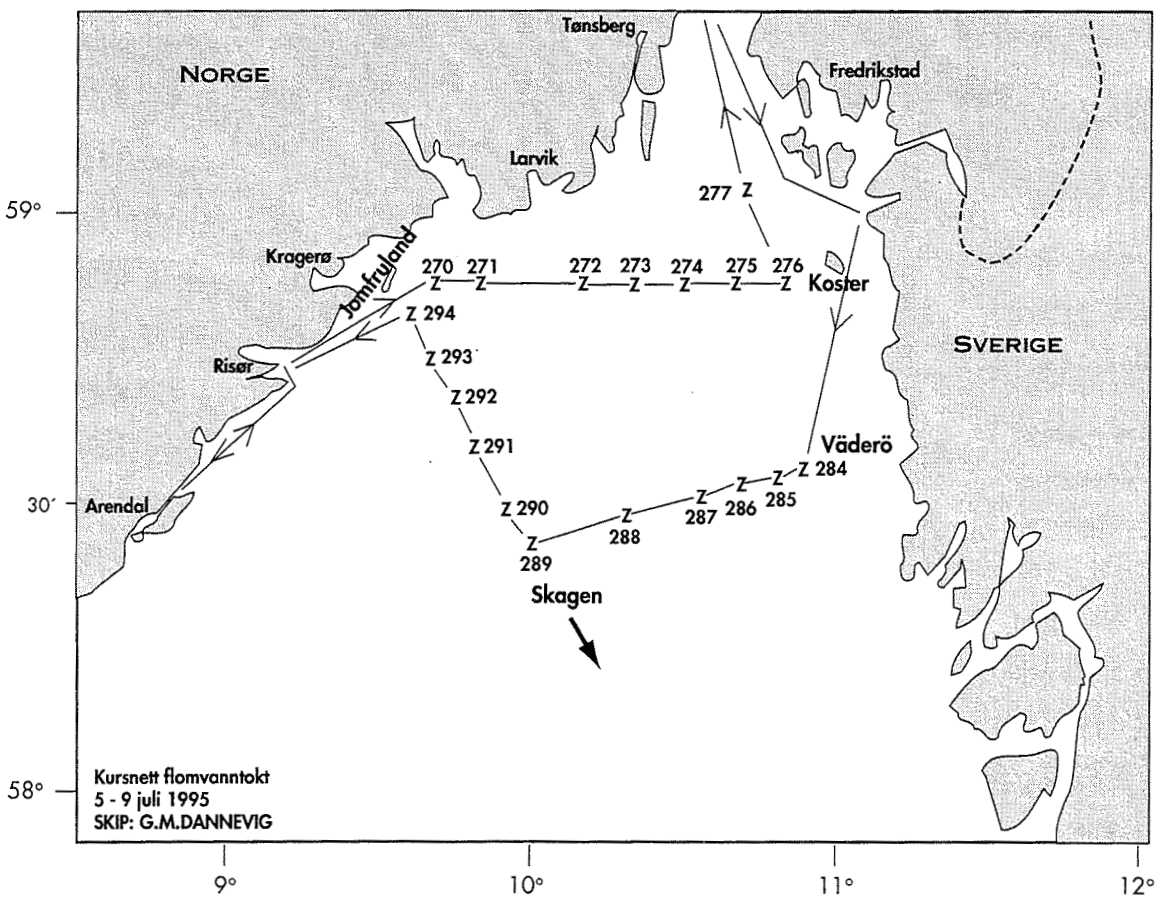
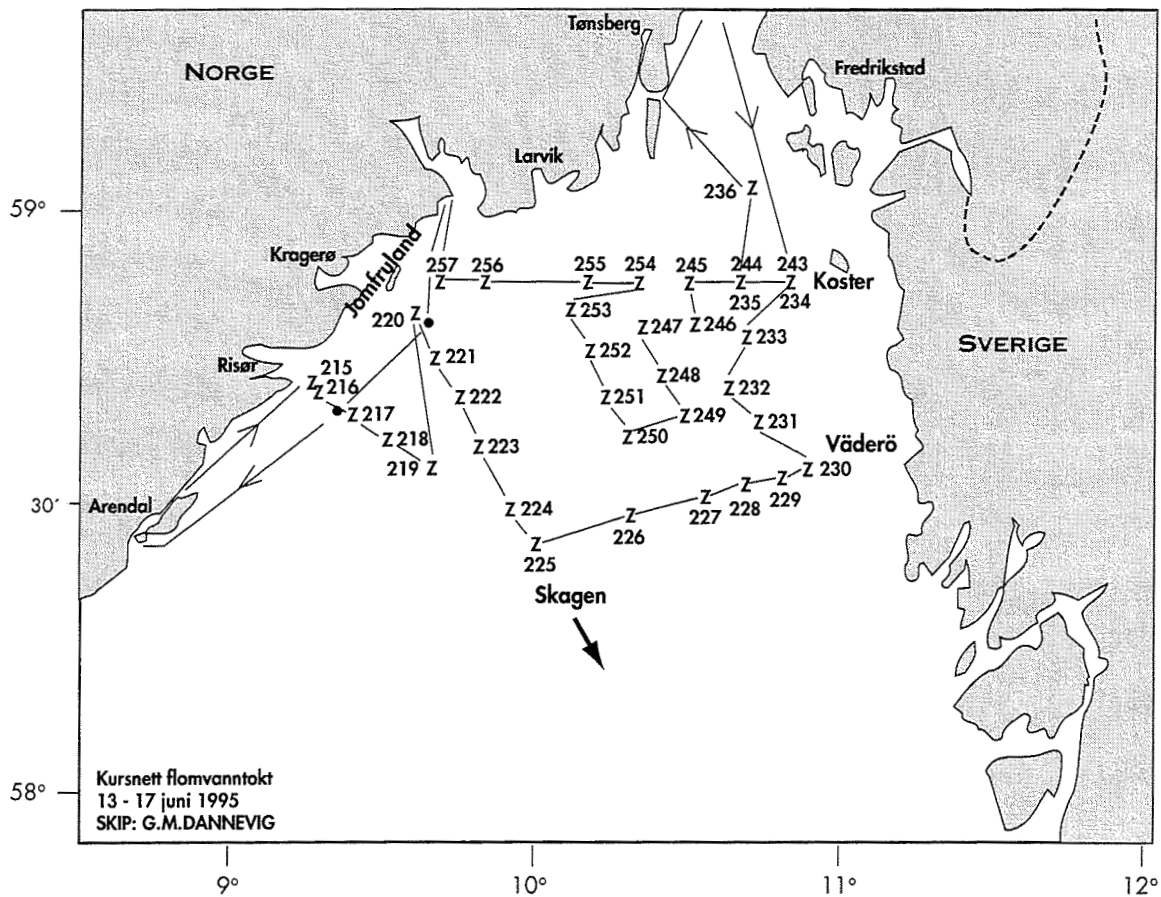


Fig. 1. Stasjonsnett på toktene 13-17 juni og 5-9 juli 1995.
Positions of stations in June and July 1995.

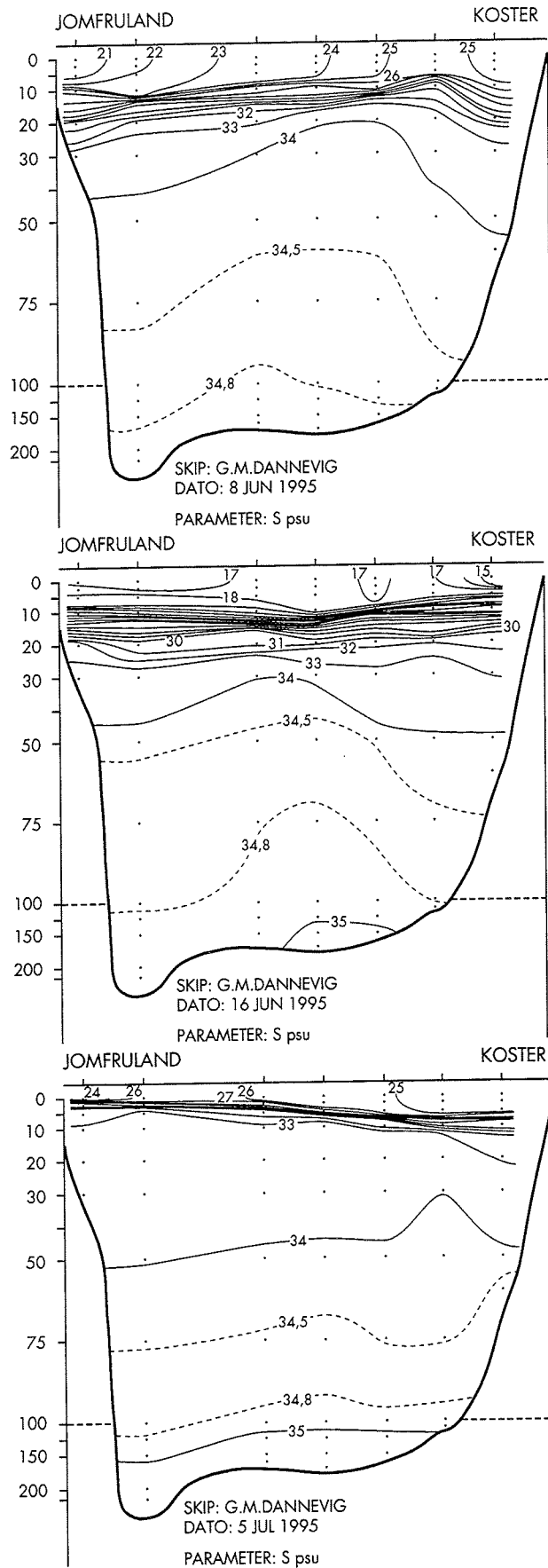


Fig. 2. Saltholdighetsforhold på snittet Jomfruland-Koster 8 juni, 16 juni og 5 juli 1995 (Salinity along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995)

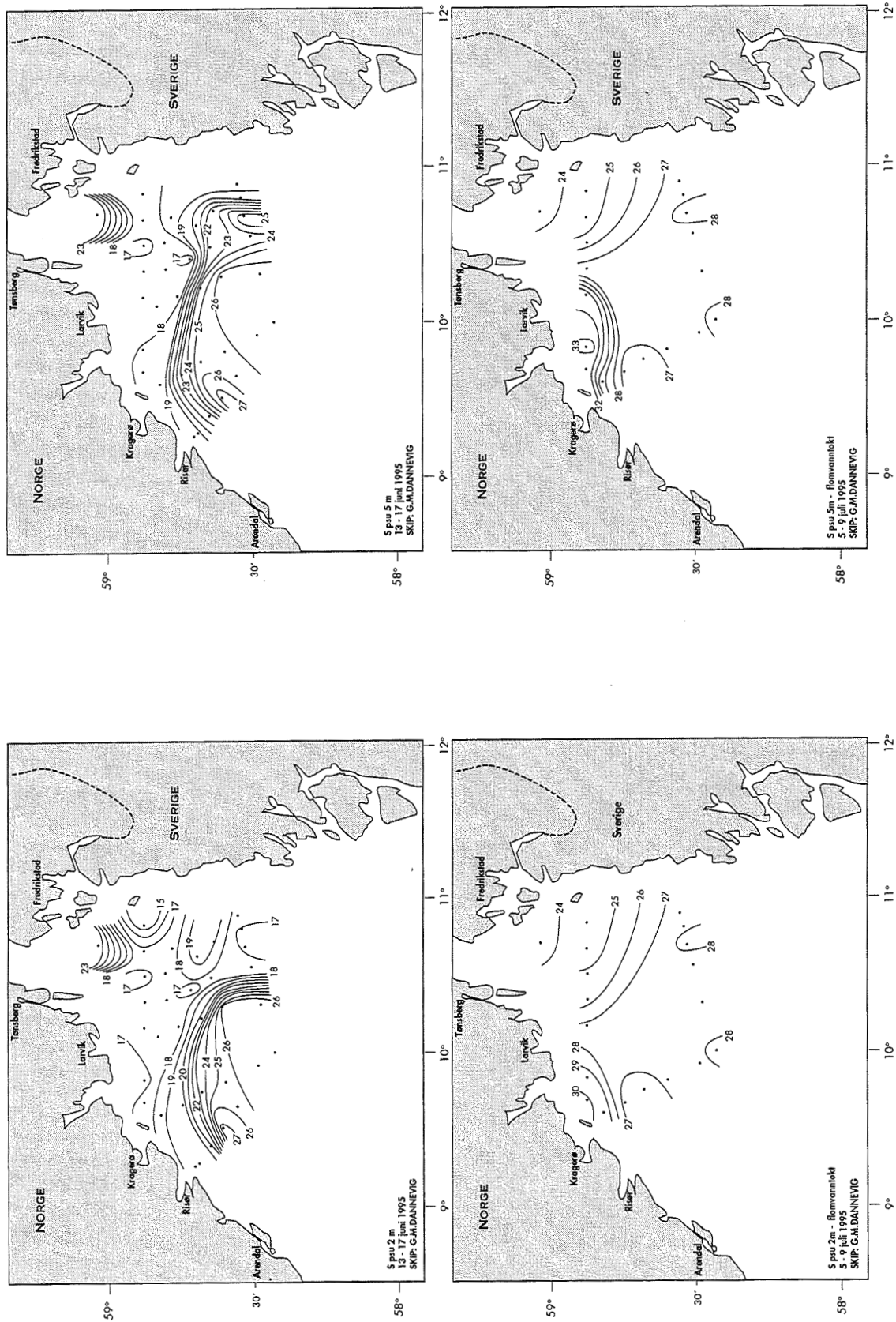


Fig. 3. Saltholdighetsfordelingen i 2 og 5 m dyp i nordøstre Skagerrak 13-17 juni og 5-9 juli 1995 (*Salinity at 2 and 5 m depth in the northeastern part of the Skagerrak in June and July 1995*)

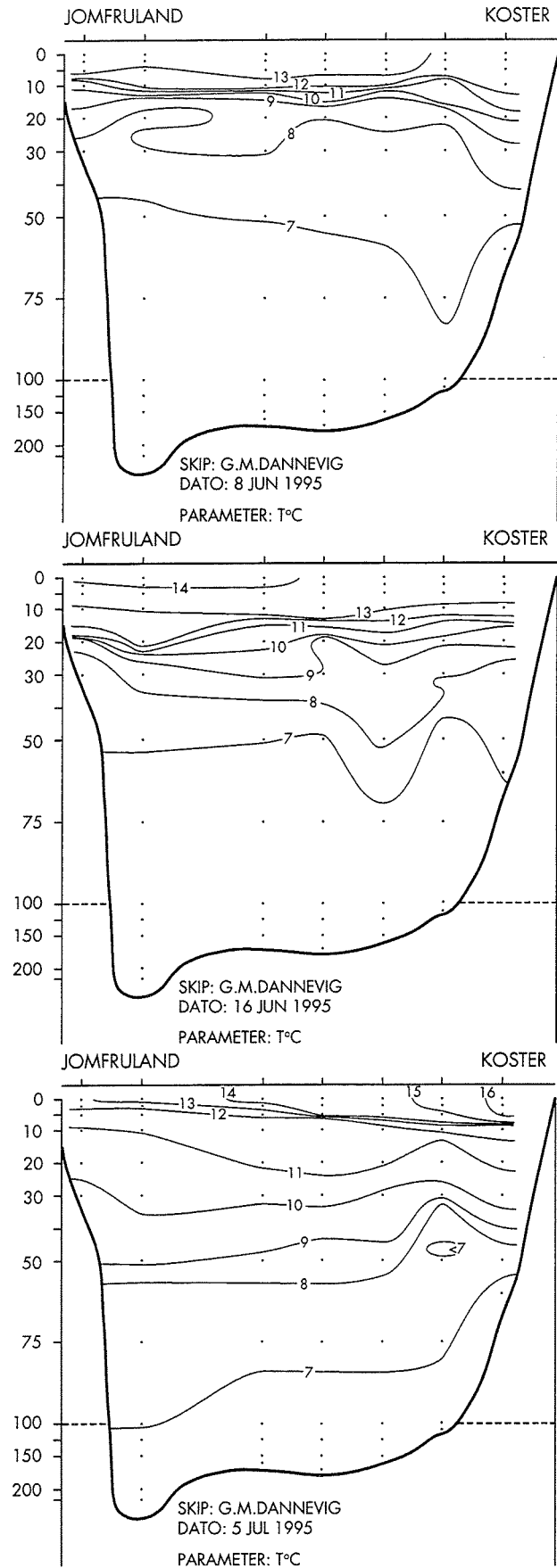


Fig. 4. Temperaturforhold på snittet Jomfruland-Koster 8 juni, 16 juni og 5 juli 1995 (Temperatures along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995)

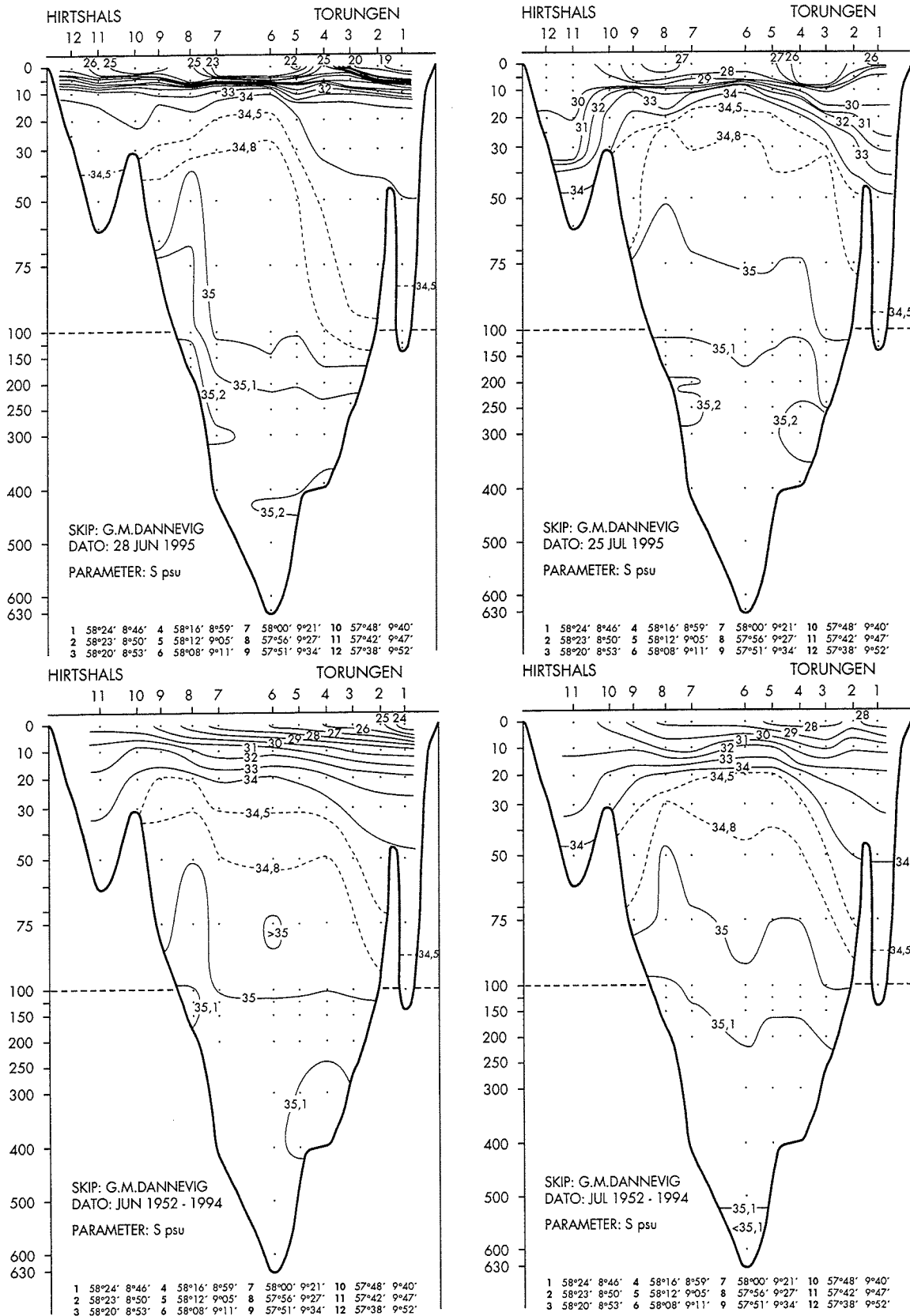


Fig. 5. Saltholdighetsfordelingen på snittet Torungen-Hirtshals i juni og juli 1995 og gjennomsnittlig saltholdighetsfordeling i perioden 1952-1994 i samme området (*Salinity along the transect Torungen-Hirtshals in June and July 1995 together with the mean salinity in the period 1952-1994*)

økte temperaturen 2-3 grader i de øverste 50 m. Termoklinen lå i begynnelsen av juni på ca 10 m dyp over størstedelen av snittet, men var mindre utpreget inn mot Koster. I midten av juni var den presset noe dypere ned (10-20 m), mens den i begynnelsen av juli lå i 5-10 m dyp.

1.2 Næringsalter

Det var ubetydelige mengder ortofosfat og nitrat i overflatelaget (brakkvannet) langs hele snittet Jomfruland-Koster mellom 8. juni og 8.juli 1995 (fig.6 og 7). I første del av juni og juli ble det imidlertid observert forhøyete silikat konsentrasjoner i brakkvannet ved Jomfruland (fig.8). Under flomtoppen i midten av juni var det også forhøyete silikatkonsentrasjoner ($2-3 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) over hele snittet mellom Jomfruland og Koster. Det var også tilsvarende silikatforhold i overflatelaget (brakkvannet) på snittene Jomfruland-Skagen og Väderö (ikke vist her). Som normalt for årstiden, var det en gradvis økning av nærings salt konsentrasjonene mot dypere vannlag.

Observasjoner av næringsalter langs kysten utenfor Arendal viste ubetydelige mengder ortofosfat og nitrat i overflatelaget i undersøkelsesperioden mens det også i disse målingene ble observert et lite overskudd av silikat i juni (Statlig Program for Forurensningsovervåkning, HI-Forskningsstasjonen Flødevigen). Dette viser at silikat ikke synes å ha vært det begrensende nærings salt mhp planteplanktonproduksjon under flommen i juni måned.

Målte konsentrasjoner av totalfosfor i overflatelaget i indre Skagerrak i første del av av juli varierte mellom 0.3 og 0.7 μM med de høyeste konsentrasjonene nær Jomfruland (fig.9). Til sammenligning var midlere totalfosforkonsentrasjon i overflatelaget i juli ved Jomfruland i perioden 1990-94 omlag 0.2 μM (Statlig Program for Forurensningsovervåkning, HI-Forskningsstasjonen Flødevigen). Konsentrasjonene av totalnitrogen i overflatelaget ved Jomfruland (17-29 μM) lå også tildels betydelig over middelverdien på 13 μM for perioden 1990-94 (fig.10).

1.3 Klorofyll og alger

Konsentrasjonene av klorofyll i brakkvannet økte betydelig fra begynnelsen til midten av juni på snittet Jomfruland-Koster, med de høyeste konsentrasjonene nærmest Jomfruland og i midtre del av snittet (fig. 11). I begynnelsen av juli var klorofyllkonsentrasjonene lavere, men fortsatt markert høyere enn i begynnelsen av juni før flomvannet gjorde seg gjeldende i indre Skagerrak. I hele perioden foregikk planteplanktonproduksjonen i brakkvannet, med høyest klorofyllnivå over sprangsjiktet i ca 10 m dyp. På snittene Jomfruland-Skagen og Väderö (ikke vist her) ble det registrert noe lavere konsentrasjoner inn mot kysten, og i overflatelaget lenger ute i Skagerrak betydelig lavere enn på snittet Jomfruland-Koster.

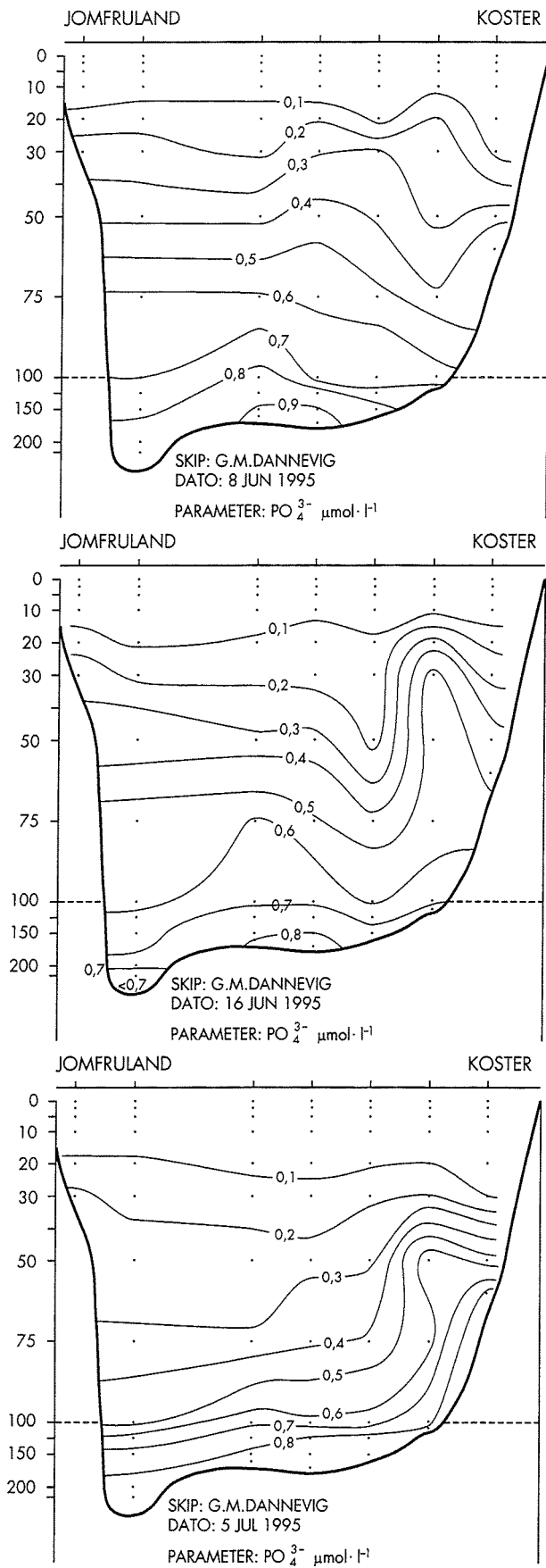


Fig. 6. Ortofosfatfordelingen på snittet Jomfruland-Koster 8 juni, 16 juni og 5 juli 1995 (*Orthophosphate concentrations along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995*)

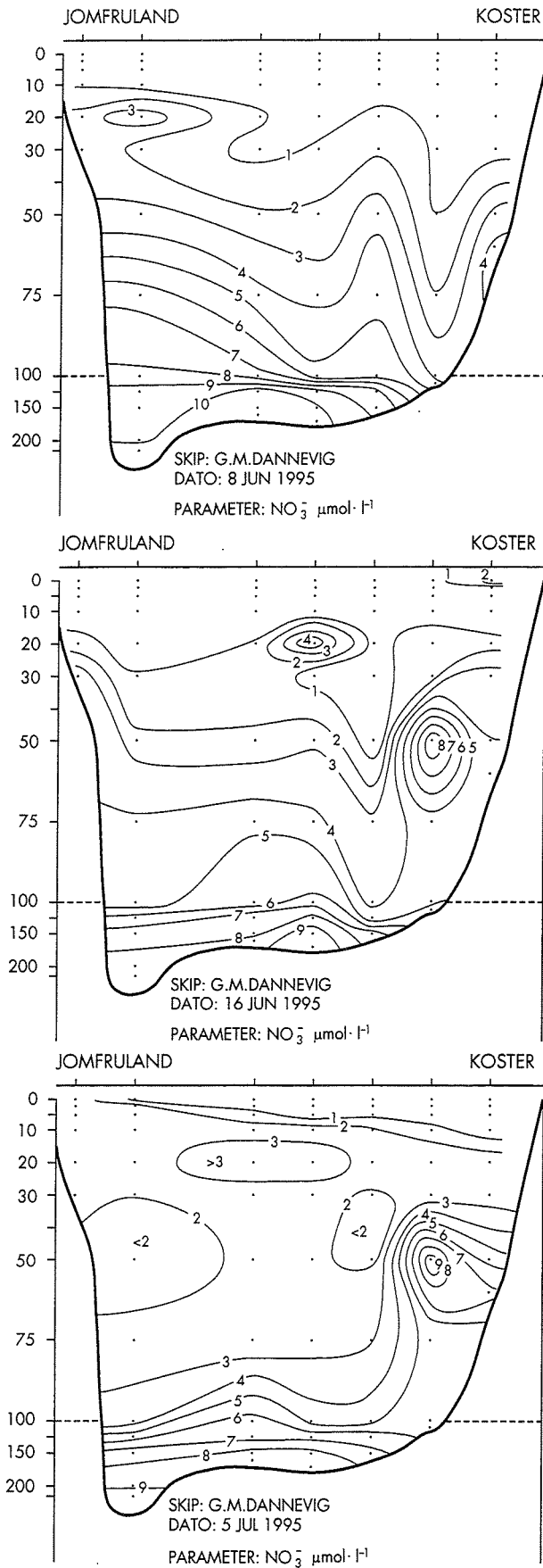


Fig. 7. Nitratfordelingen på snittet Jomfruland-Koster 8 juni, 16 juni og 5 juli 1995 (Nitrate concentrations along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995)

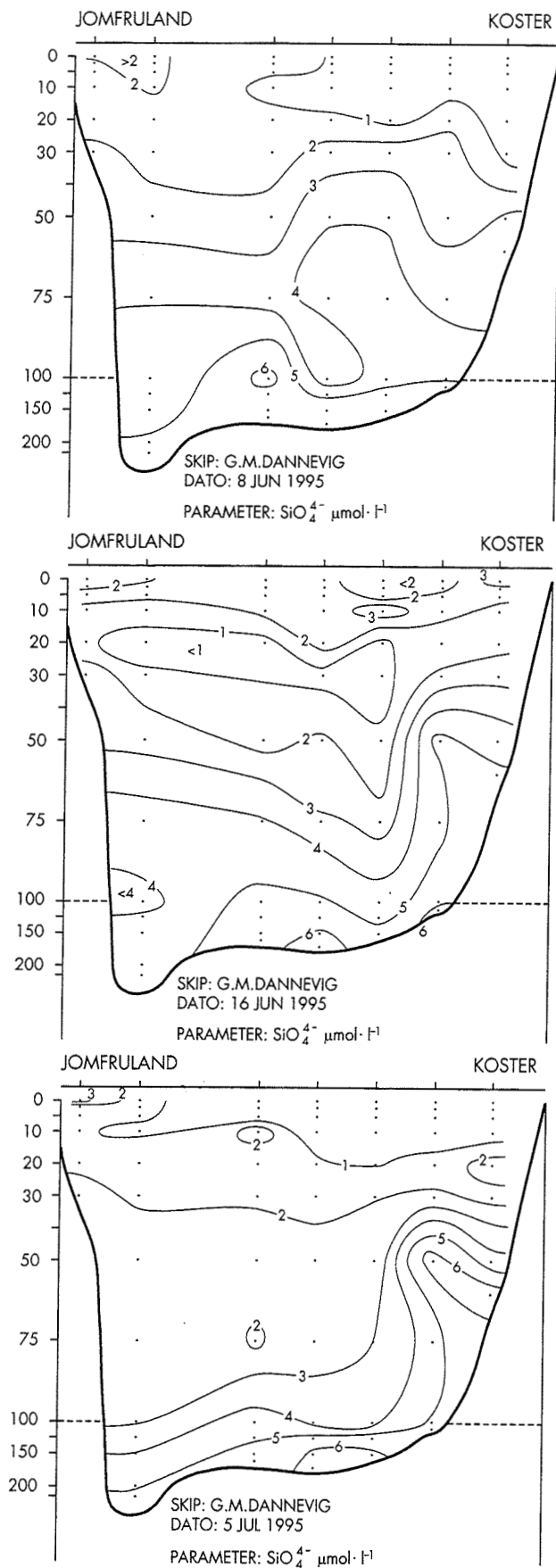


Fig. 8. Silikatfordelingen på snittet Jomfruland-Koster 8 juni, 16 juni og 5 juli 1995 (*Silicate concentrations along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995*)

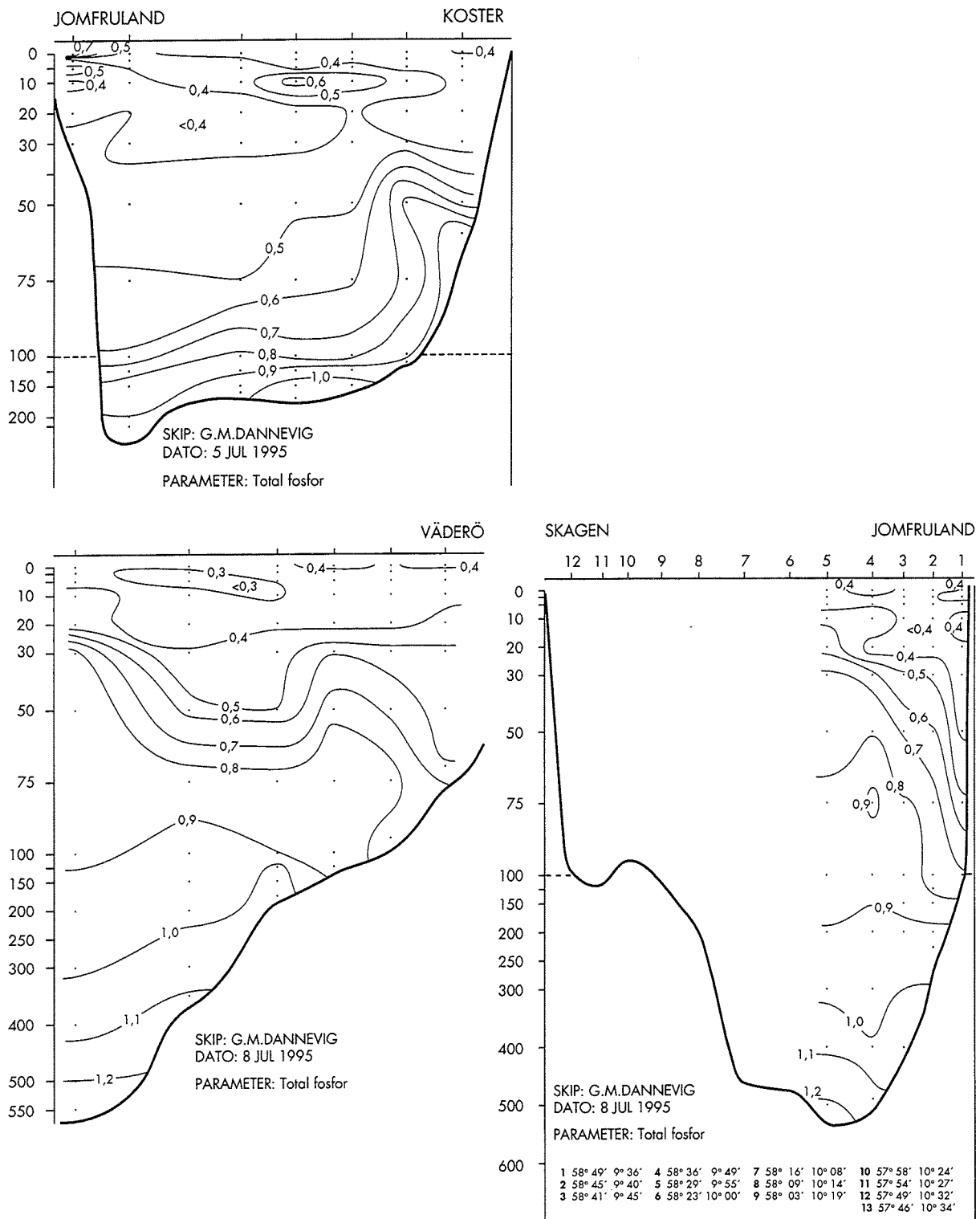


Fig. 9. Totalfosforfordelingen på snittene Jomfruland-Koster, Jomfruland-Skagen og Väderö 5 og 8 juli 1995 (Concentrations of Total-P along the transects Jomfruland-Koster, Jomfruland-Skagen and Väderö in June and July 1995)

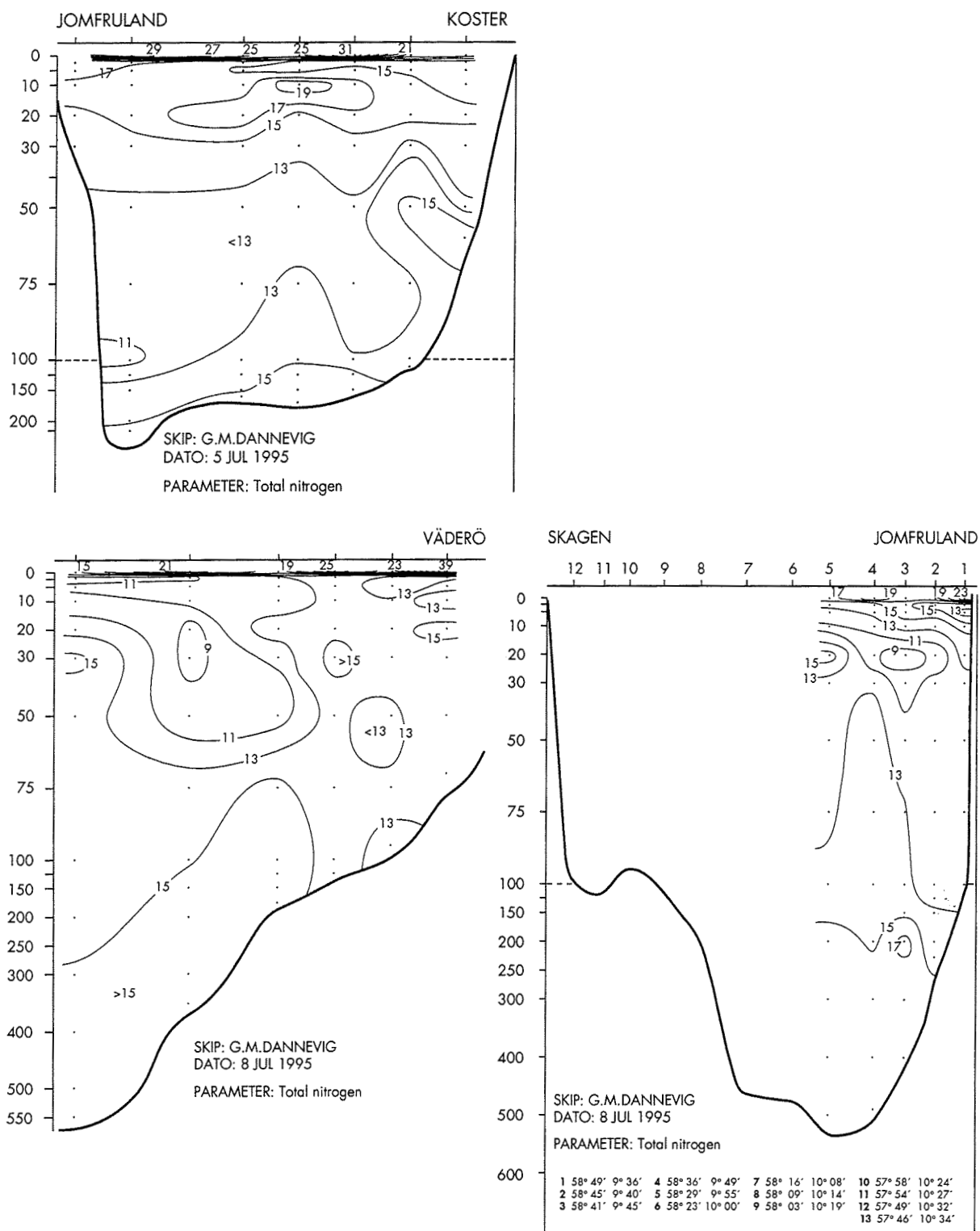


Fig. 10. Totalnitrogenfordelingen på snittene Jomfruland-Koster, Jomfruland-Skagen og Väderö 5 og 8 juli 1995.
(Concentrations of Total-N along the transects Jomfruland-Koster, Jomfruland-Skagen and Väderö in June and July 1995)

Sammenlignet med midlere klorofyll-konsentrasjon i øvre lag for juni 1990-94 (Statlig Program for Forurensningsovervåkning, HI-Flødevigen Forskningsstasjon) var klorofyllkonsentrasjonene i begynnelsen av juni, før flomvann ble tilført indre Skagerrak, tilnærmet normale for årstiden. Midlere klorofyllkonsentrasjon i øvre lag økte med en faktor på omlag 3 langs Jomfruland-Koster snittet i første del av juni. Under forutsetning av at det var omlag like lysforhold i første halvdel av juni, representerte økningen i integrert klorofyll mellom 0 og 20 meter dyp omlag en tredobling av planteplanktonproduksjonen i Jomfruland -Koster snittet i samme tidsrom (Morel og Berton, 1989)

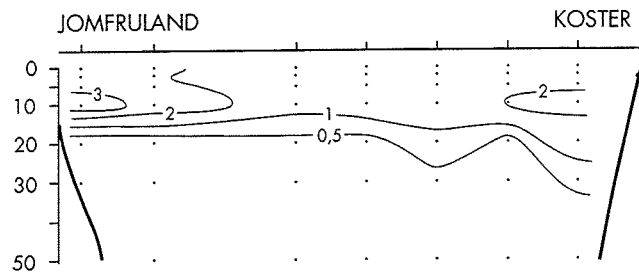
Diatomeen *Skeletonema costatum* ble funnet i meget store mengder og dominerte helt algesamfunnet i brakkvannet i indre Skagerrak i midten av juni (fig.12). Dette var også tildels tilfelle nærmest kysten i begynnelsen av juli. Lenger ut i Skagerrak var denne algen forsvunnet helt i begynnelsen av juli. Av andre alger ble det i juni registrert noe av kalkflagellaten *Emiliana huxleyi*. I juli ble det registrert økte mengder av *Emiliana huxleyi* innenfor snittet Jomfruland -Koster og denne arten var på dette tidspunkt mer dominerende enn *Skeletonema costatum*. Av andre arter, som feks de potensielt skadelige artene *Gyrodinium aureolum* og *Chrysochromulina spp*, ble det bare funnet små mengder. I juni og juli var det små algekonsentrasjoner under brakkvannslaget.

De høye konsentrasjonene av totalnitrogen, totalfosfor og klorofyll, sammen med de lave konsentrasjoner av uorganiske næringssalter mellom 8.juni og 8.juli, viser at tilførte uorganiske næringssalter fra Glomma og andre vassdrag meget hurtig ble omsatt i algeproduksjon i indre Skagerrak. Overskuddet av silikat i det tilførte ferskvannet medførte at algeproduksjonen hovedsakelig var dominert av diatomeer.

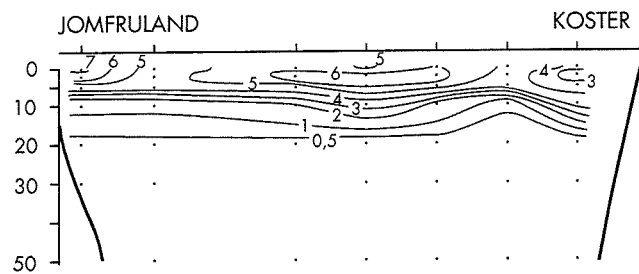
1.4 Gulstoff

Vertikalfordelingen av gulstoff på snittet Jomfruland-Koster 16.juni viser at det var betydelig høyere konsentrasjoner i brakkvannet i forhold til de dypere liggende vannmasser (fig. 13). I første del av juli, etter at flommen fra Glomma var avtatt, var konsentrasjonene i snittet redusert og de høyeste konsentrasjonene ble funnet nærmest overflaten. På Väderö-snittet var gulstoffkonsentrasjonene i brakkvannet i midten av juni betydelig lavere enn i indre del av Skagerrak. Dette vises også tydelig i horisontalfordelingen av gulstoff i 2m dyp i juni og tildels i juli måned (fig.14). Særlig i juni, under den største flompåvirkningen, var det markert høyere konsentrasjoner i indre Skagerrak nord for Väderø og nordøst for Jomfruland, med markerte fronter i gulstoffkonsentrasjonene. Brakkvann med saltholdigheter under 20 ved Väderø og sydvest for Jomfruland hadde imidlertid betydelig lavere gulstoffkonsentrasjoner enn tilsvarende brakkvann innenfor "frontsonen" (fig.3 og 14). Dette tyder på at Glommavann er "merket" med relativt høye gulstoffkonsentrasjoner (>1.0) i forhold til ferskvann (brakkvann) tilført fra elver langs den svenske vestkysten og Kattegat/Østersjøen. Sørensen og Aas, 1994

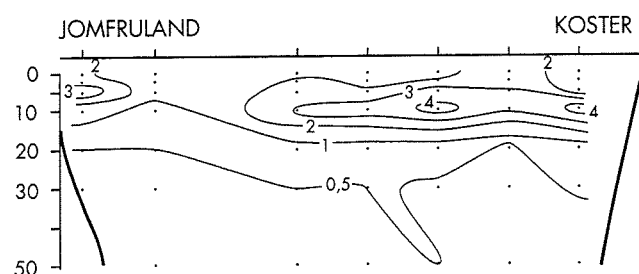
observerte også gulstoffkonsentrasjoner over ca 1.0 i brakkvannet i ytre deler av ytre Oslofjord. Gulstoff ser derfor ut til å gi et godt bilde av horisontalutbredelsen av "Glomma" brakkvann i indre Skagerrak. De høyeste konsentrasjonene av *Skeletonema costatum* (og klorofyll) ble i midten av juni observert innenfor sonen med "Glomma" brakkvann.(fig.3, 12 og 14)



SKIP: G.M.DANNEVIG
 DATO: 8 JUN 1995
 PARAMETER: CHLOROPHYLL $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (Syrekorrigert)



SKIP: G.M.DANNEVIG
 DATO: 16 JUN 1995
 PARAMETER: CHLOROPHYLL $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (Syrekorrigert)



SKIP: G.M.DANNEVIG
 DATO: 5 JUL 1995
 PARAMETER: CHLOROPHYLL $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$

Fig. 11. Klorofyllfordelingen på snittet Jomfruland-Koster 8 juni, 16 juni og 5 juli 1995 (*Chlorophyll-a* along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995)

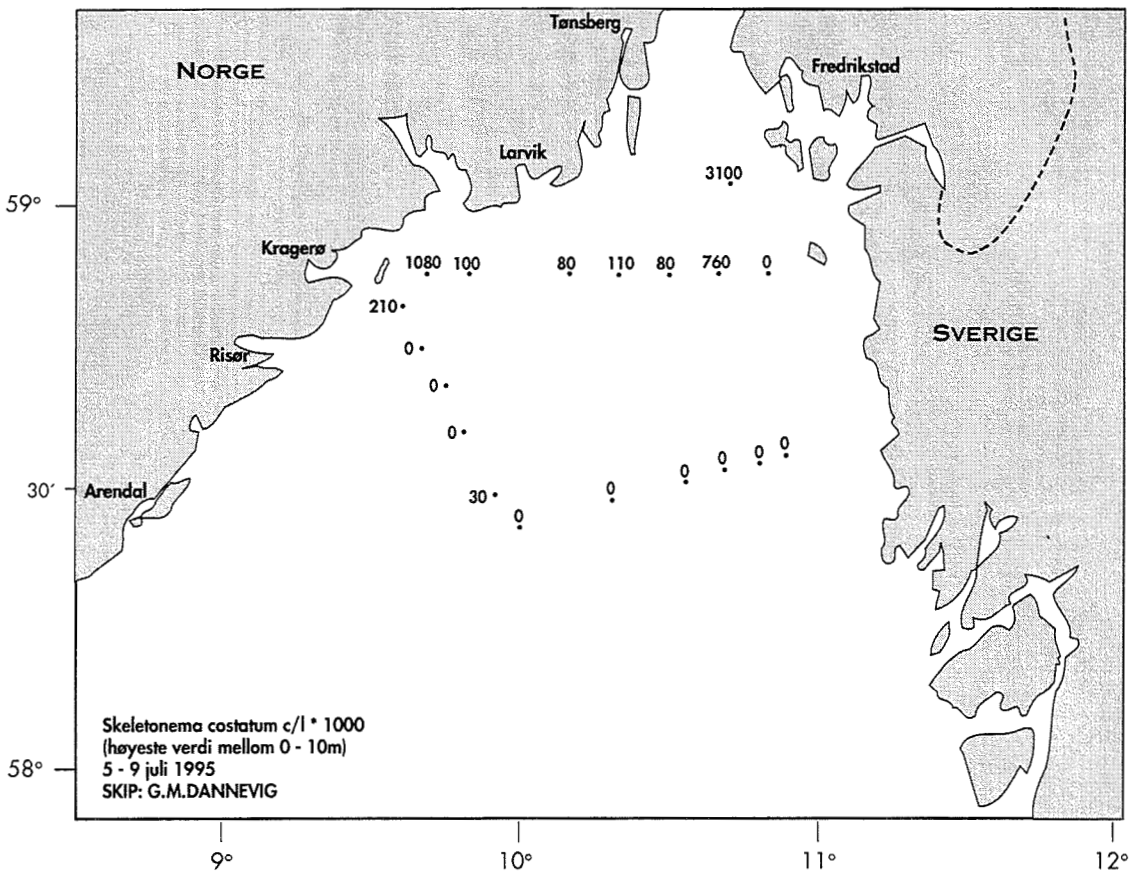
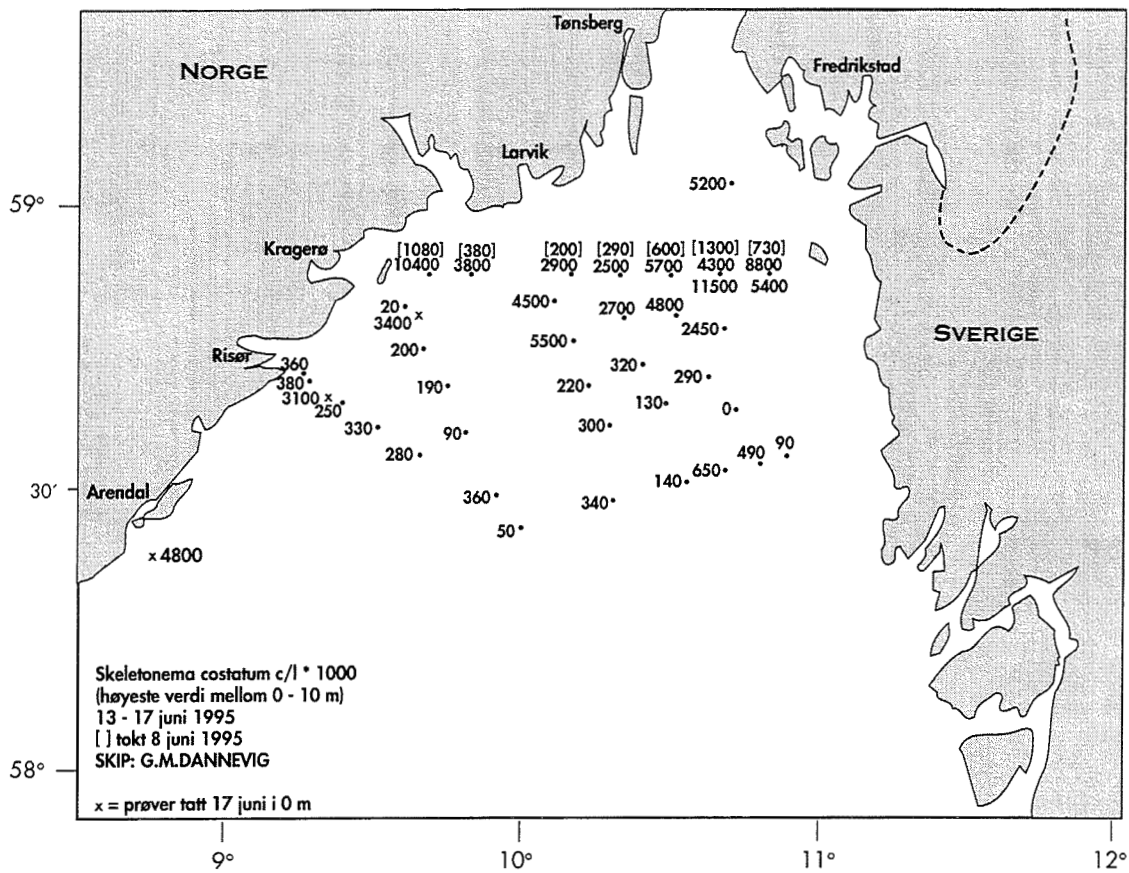


Fig. 12. Høyeste antall av *Skeletonema costatum* celler $l^{-1} \cdot 1000$ som ble observert mellom 0 og 10 m dyp på toktene 13-17 juni og 5-9 juli 1995 (Maximum recordings of *Skeletonema costatum* (cells $l^{-1} \cdot 1000$) between 0 and 10 m depth in the northeastern Skagerrak in June and July 1995)

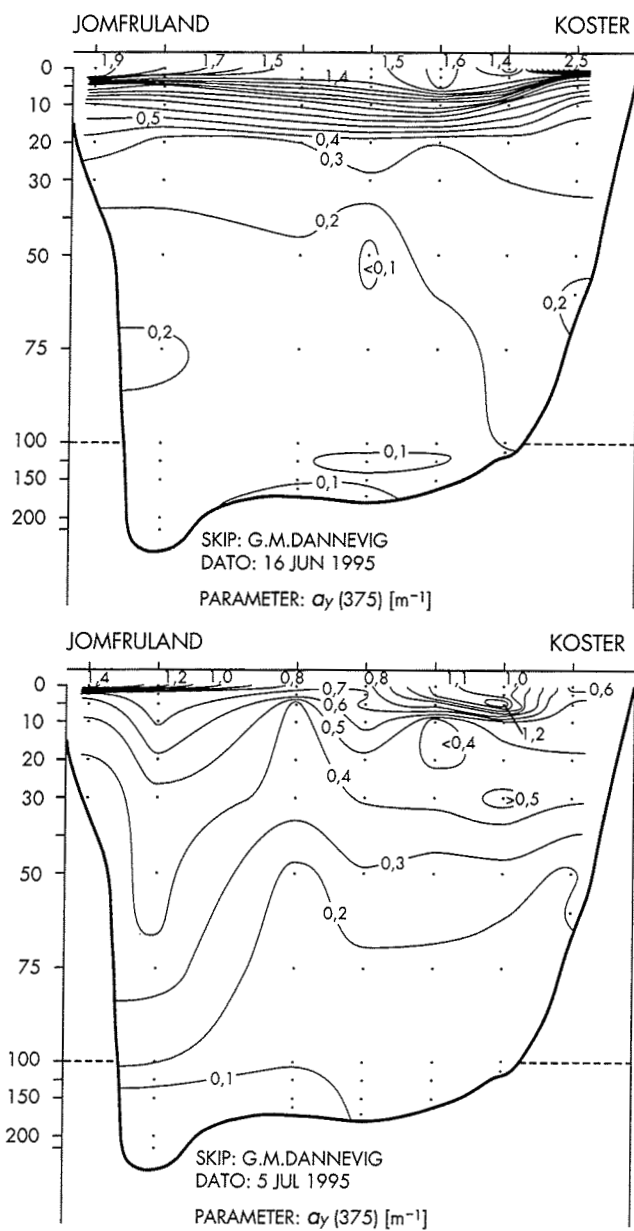


Fig. 13. Gulstoff-fordeling på snittet Jomfruland-Koster 16 juni og 5 juli 1995 (*Distribution of yellow substances along the transect Jomfruland-Koster in June and July 1995*)

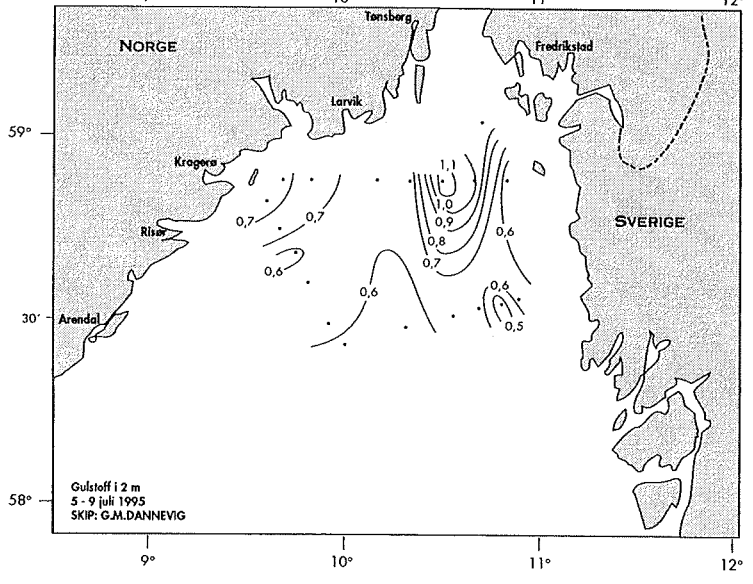
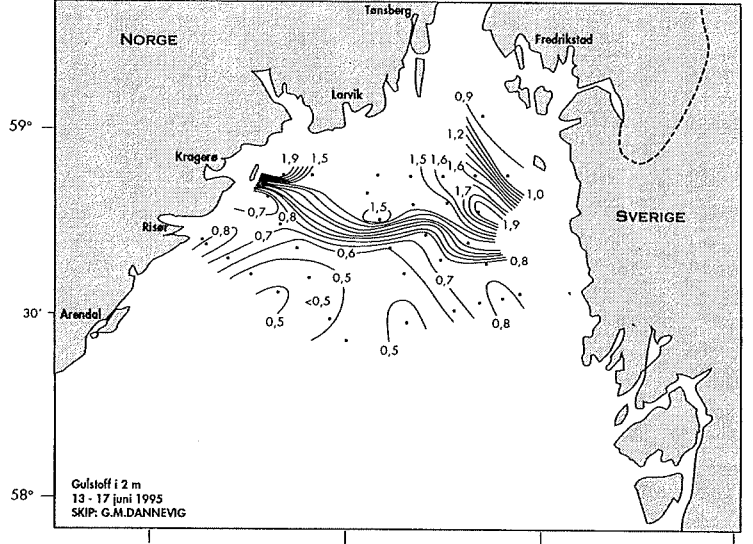
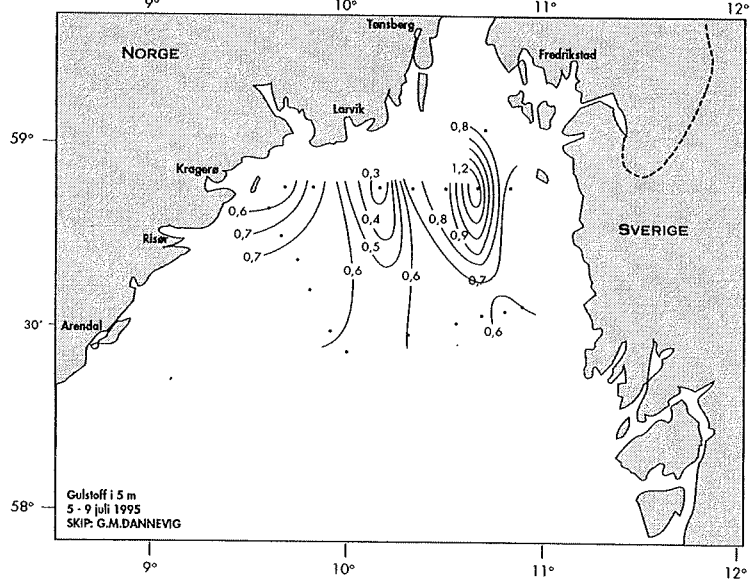
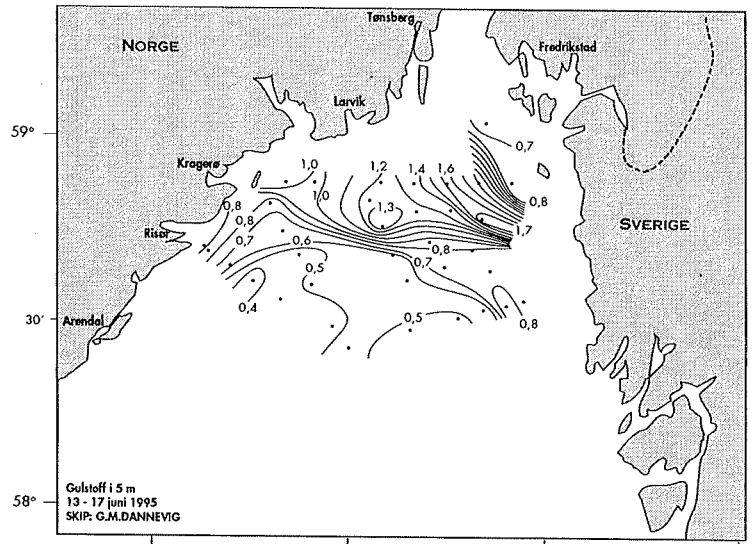


Fig. 14. Gulstoff-fordeling i 2 og 5 m dyp I området 13-17 juni og 5-9 juli 1995 (Distribution of yellow substances at 2 and 5 m depth in the northeastern part of the Skagerrack in June and July 1995)

2. MODELLERING AV MILJØSITUASJONEN

Havforskningsinstituttet (HI) har vært hovedentreprenør for utviklingen av The NORWegian ECOlogical Model system (NORWECOM), som var sentral i utarbeidelsen av North Sea Quality Status Report (1993). Likeledes var modellen sentral under forskningsprogrammet SKAGEX (Dybern *et al.*, 1994), som er det største oseanografiske eksperiment som er gjort i Skagerrak-Kattegat. Modellen er blitt brukt i flere ulike studier (Berntsen *et al.*, 1994, Skogen *et al.*, 1995a, Svendsen 1995, Svendsen *et al.* 1995a, Svendsen *et al.*, 1995b, Skogen *et al.*, 1995b).

Som et supplement til feltundersøkelsene har vi forsøkt å modellere utviklingen av flomsituasjonen i juni og juli 1995, basert på avrenningsdata fra flommen, og de aktuelle vindforholdene. For å gi en ide om de store vannmengdene som ble tilført indre Skagerrak i juni er avrenningsdata for Glomma i 1995 gitt i fig.16, sammen med månedsmidler for 1990.

2.1 Modellen

NORWECOM (Skogen,1993) er et fysisk-kjemisk-biologisk modellsystem som blant annet blir kjørt koblet for Nordsjøen og Skagerrak. I Skagerrak er den horisontale oppløsningen 4x4 kilometer, mens det vertikalt er 11 lag. På den åpne grenseflaten mot Nordsjøen får modellen randverdier fra en tilsvarende 20x20 kilometer modell som omfatter hele Nordsjøen og omliggende områder (se fig.15). Dette er gjort for å sikre en relativt realistisk transportutveksling med Nordsjøen som er den viktigste drivkraften for sirkulasjonen i Skagerrak. Modellsystemet drives ellers med realistisk vindpådrag (Eide *et al.*,1985, Reistad og Iden,1995), de modellerte tetthetsfordelinger, utstrømningen fra Østersjøen samt ferskvannstilførsler fra en lang rekke Europeiske elver.

Storskalamodellen for Nordsjøen er kjørt fra 15.januar til 1.august, mens finskalamodellen (Skagerrak) ble startet 15.mars med interpolerte (i rommet) startbetingelser hentet fra Nordsjømodellen. For bedre å kunne vurdere effektene av flommen, er Skagerrakmodellen kjørt to ganger. Første gang uten flomvannføring i elvene, mens det i den andre kjøringen er brukt daglige verdier for ferskvannsavrenning for Drammenselva, Numedalslågen og Glomma, stilt til rådighet av Norges Vassdrags og Energiverk (NVE). I den første kjøringen er konstante verdier på henholdsvis 282, 98 og 798 m³ s⁻¹ (gjennomsnitt 1990) brukt, mens datane fra NVE varierer i intervallene 242-1450, 117-559 og 325-3570 m³ s⁻¹. På grunn av lite tilgjengelige data på næringssaltinnholdet i flomvannet, er konstante verdier for gjennomsnittlige konsentrasjoner (mgm⁻³) fra 1990 benyttet. For Glomma er det brukt NO₃ = 301, PO₄ = 8 og SiO₂ = 2700.

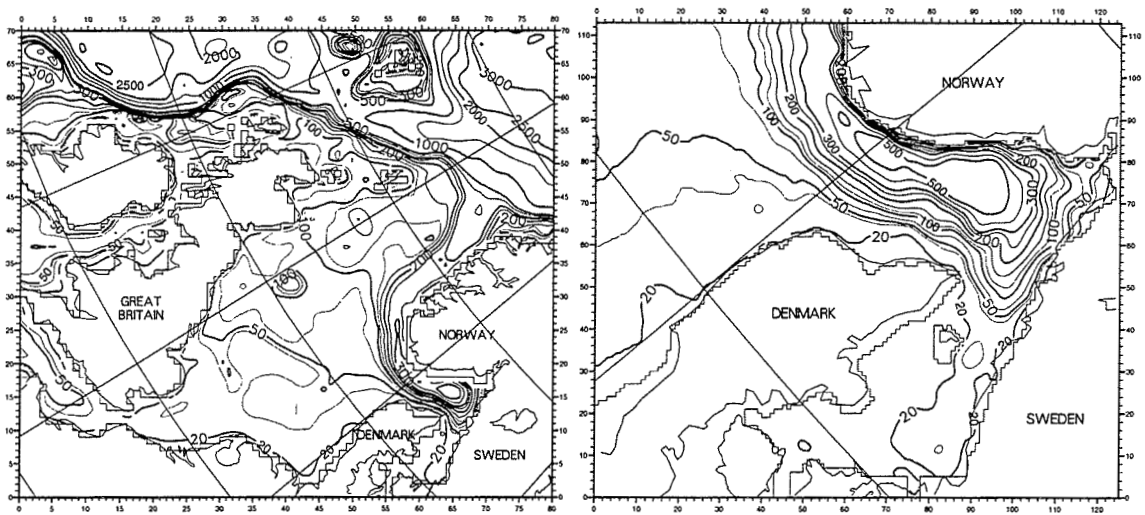


FIG. 15. Bunn topografi for Nordsjøområdet (venstre) og Skagerrak (høyre) (*Bottom topography. Coarse grid North Sea (left) and fine grid Skagerrak domain (right)*)

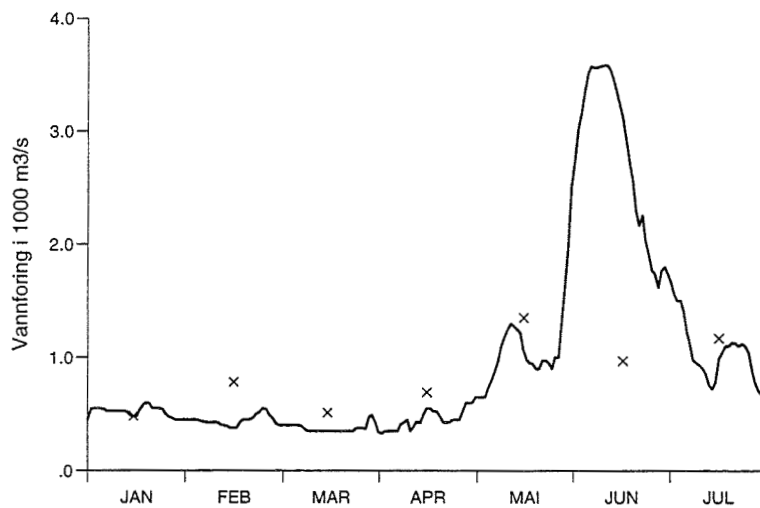


FIG. 16. Vannføringen i Glomma ved Solbergfoss (utløpet av Øyeren) våren 1995 (kilde NVE), sammen med månedsmidler for 1990 (kryss) (*Daily freshwater runoff from Glomma (1995), together with monthly means (crosses) from 1990*)

Variasjonen i tilførselene av næringssalter blir således direkte proporsjonal med ferskvannsavrenningen. Ferskvannsavrenningen er karakterisert av et stort overskudd henholdvis av silkat i forhold til nitrat og fosfat, og nitrat i forhold til fosfat. Ellers er rand og initialbetingelser og drivkrefter identiske i de to kjøringene. For å studere spredningen og uttynningen av vannet fra Glomma er dette vannet merket med konsentrasjonen 1. Konsentrasjonen blir så betraktet som en passiv tracer som spres og uttynnes på grunn av den modellerte sirkulasjonen og horisontal og vertikal diffusjon.

2.2 Modellresultater

Resultatene fra modellkjøringene kan deles i to. I den første delen har vi sammenlignet modellresultater med målinger. I den andre delen har vi brukt modellen til å se på spredningen av det merkede Glommavannet, samt forsøke å si noe om mulige effekter på alge- produksjonen.

G.M.Dannevigs første tokt startet og sluttet med snittet Jomfruland - Koster i Ytre Oslofjord. To av snittene i fig.2 er tatt henholdsvis 8. og 16.juni, og viser klart hvordan overflatelaget har blitt betydelig ferskere i løpet av en uke. De samme to snittene er tatt ut fra modellen og gjengitt i fig. 17. Vi legger her først og fremst merke til at modellen ikke klarer å reprodusere det meget ferske (ca. 10 m tykke) overflatelaget 16.juni. Målingene denne datoen gir verdier på ca. 17-18 psu langs hele snittet. Modellen derimot gir overflateverdier mellom 22 og 24 psu bortsett fra utenfor Jomfruland der overflatesaltholdigheten synker mot 18.5 psu. Dette kan ha flere årsaker. Dersom en studerer overflatekart for saltholdighet 13-17 juni (fig.3), kommer det tydelig frem at det er registrert lave saltholdigheter også langt nedover Svenskekysten. Modellsimuleringene gir ingen indikasjon på at vann fra Glomma har spredd seg så langt mot sydøst (se også fig 22). Modellerte hastigheter viser riktignok en kraftig transport sydover utenfor Koster fra 13. - 15. juni, men langs Väderø snittet viser modellen ingen tegn til denne transporten. At denne transporten møter vannmasser fra sør og bøyer av mot vest, blir bekreftet av gulstoffmålingene i fig. 14, som viser en kraftig front i denne perioden mellom de to nevnte snitt. Det er derfor sannsynlig at også flomvannsføring i Svenske elver og/eller utstrømning fra Østersjøen kan ha bidratt til de lave saltholdighetene. Dette er drivkrefter som modellen mangler tilstrekkelige data om. I tillegg vil det alltid være et problem med begrenset vertikal (og horisontal) oppløsning i denne type modeller. Den kraftige pyknoklinen som ble observert (mellom 10 og 20 ms dyp), skal i modellen forsøkes oppløses av 1-2 punkt. Sammen med en sigma-koordinat modell og sterkt skrånende bunn, vil alt dette være bidrag som fører til økt vertikalblanding, og dermed vanskeligheter med å reprodusere slike ekstreme situasjoner.

Ser vi bort i fra de øvre 20 m er imidlertid modell og målinger i god overenstemmelse. Plasseringen av både 30, 34 og 34.8 isolinjene for saltholdighet viser brukbart samsvar begge dager. I tillegg viser også modellen tydelig at overflatelaget blir ferskere fra 8. til 16.juni samt at sjiktingen blir skarpere og at vi får et innslag av saltvann under ca. 75 m i løpet av denne

perioden.

En lignende sammenligning kan også gjøres på snittet Torungen - Hirtshals (se fig 5). Målingene her viser svært lave saltholdigheter i overflaten helt over til danskekysten, mens det normale bare er lave saltholdigheter inn mot Norskekysten. I fig.18 har vi modellert saltholdighet for 15.mai og 28.juni. Også for dette snittet ser vi tydelig at saltholdighetene i overflaten er for høye. Den ekstreme situasjonen hvor et ferskt overflatelag sprer seg langs hele snittet er imidlertid godt representert. Resultatene for 15.mai er i god overenstemmelse med målinger fra samme dato med lave saltholdigheter inn mot Norskekysten, mens modellen har etablert et ferskere overflatelag langs hele snittet 28.juni. Modellen viser også lave saltholdigheter tvers over snittet i slutten av juli (ikke vist), i overenstemmelse med målingene (fig.5). For de dypere vannmasser legger vi merke til at innslaget av Atlanterhavsvann (saltholdighet over 35 psu) er noe lavere i modellen enn i målingene. Dette vannet, som vi finner fra rundt 100 m den 28.juni i målingene, må vi ned på drøyt 200 m for å finne i modellen.

For å se hvordan flomvannet spres langs Norske-kysten, har vi sett på transporten av det merkede Glommavannet gjennom to snitt, Jomfruland - Koster og Jomfruland - Skagen. Døgnmidlet transport gjennom disse snittene er gitt i fig. 19. Den heltrukne linjen viser den modellerte transporten for 1995, mens den stiplede linjen viser transporten uten flomvannsføringen. Vi ser en rimelig god overenstemmelse mellom transporten gjennom snittene og ferskvannsavrenningen i fig.16 i april og mai. I juni viser imidlertid transporten stor variabilitet med et maksimum på nesten $8000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Jomfruland - Skagen). Grunnen til disse kraftige pulsene er en forutgående oppstuvning av Glommavann i forbindelse med blokkering av overflatevannet (Jomfruland - Koster ca.5. og 15.juni). Pulseringen og opphopingen later til å være vinddrevet (fig.20). Sammenligner vi vindretningen med transporten av Glommavann gjennom Jomfruland - Koster (fig.19), ser vi tydelig hvordan vinder fra sør (3.-9. juni og 14.-18. juni) er i stand til å stuve Glommavannet opp i ytre Oslofjord, mens vinder fra nord (ca. 11. og 20. juni) faller sammen med maksimum for utstrømningen.

At variabiliteten gjennom Jomfruland - Skagen er noe mindre (og maximum noe høyere) skyldes mest sannsynlig en mer eller mindre permanent resirkulering som finner sted her (Rydberg,1993, Skogenet *al.*,1995b). Vi legger også merke til at de kraftige pulsene som forventet når Jomfruland - Skagen noe senere enn Jomfruland - Koster.

Tar vi utgangspunkt i den første kraftige pulsen gjennom Jomfruland - Koster (maximum 11.juni), kan vi følge signalet sørover langs Norskekysten. På snittet Jomfruland - Skagen finner vi maksimum en dag senere (12.6), Torungen - Hirtshals (13.6), Kristiansand - Hanstholm (14.6), mens transporten forbi Lindesnes får et foreløpig maksimum på $1800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ den 15.juni etter å ha vist en stigende tendens i omtrent en uke.

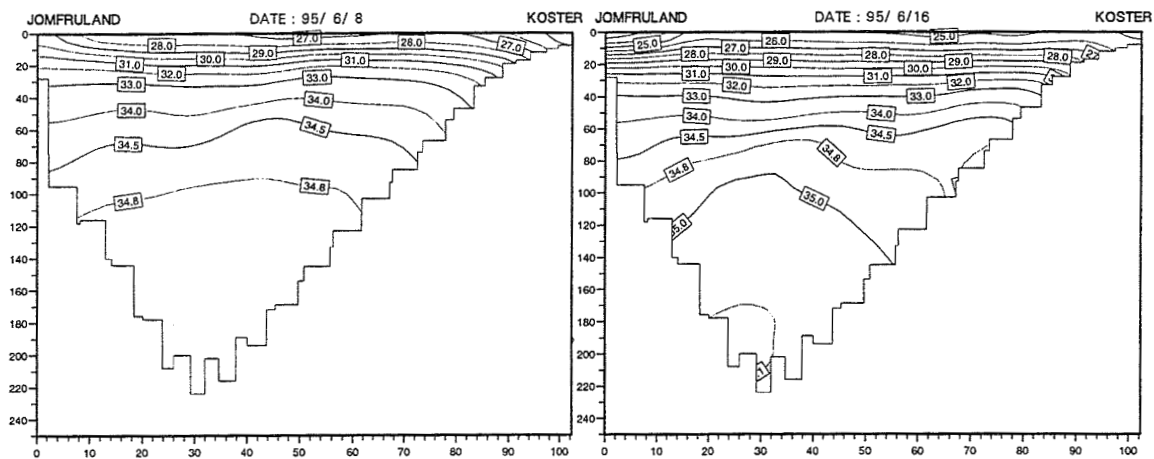


FIG. 17. Modellert saltholdighet på snittet Jomfruland - Koster 8. og 16. juni (Modeled salinity at the Jomfruland - Koster section on June 8 and 16)

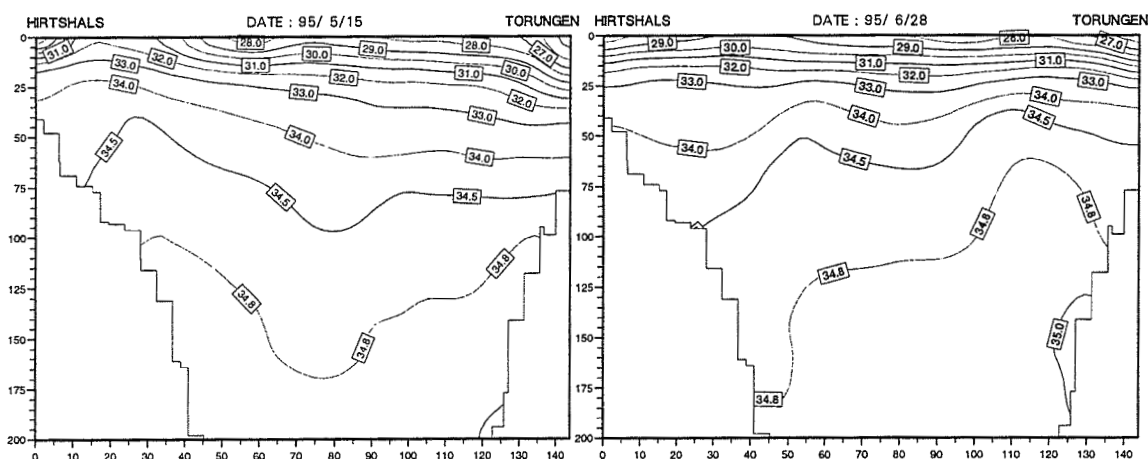


FIG. 18. Modellert saltholdighet (øvre 200 meter) på snittet Torungen - Hirtshals 15.mai og 28.juni (Modeled salinity at the Torungen - Hirtshals section on May 15 and June 28)

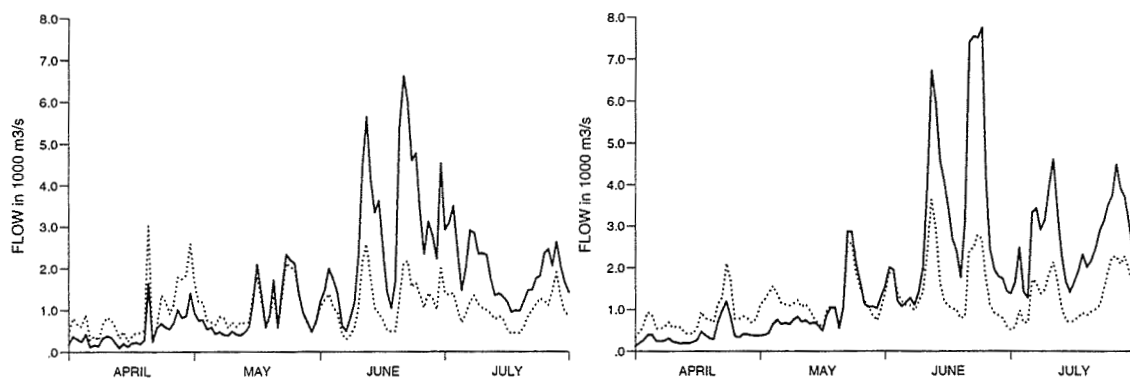


FIG. 19. Modellert transport av Glommavann gjennom Jomfruland - Koster (venstre) og Skagen - Jomfruland (høyre). Heltrukken linje med flomvannføring og stiplet linje uten flomvannføring (Modeled transport of Glomma-water through Jomfruland - Koster (left) and Skagen - Jomfruland (right). Solid line with 1995 freshwater runoff, dotted line with mean 1990 runoff)

Avstanden Jomfruland - Lindesnes er omlag 225 kilometer, noe som gir en gjennomsnittshastighet på godt og vel 50 cm s⁻¹. Vi kan sammenligne dette med data fra *Chrysochromulina polylepis* oppblomstringen i mai 1988 (Aksnes *et al.*, 1989a, Maestrini og Graneli, 1991, Skjoldal og Dundas, 1991). Den gang spredte fronten seg langs Sørlandskysten med en hastighet av 40 - 50 km dag⁻¹ (45-55 cm s⁻¹) (Aksnes *et al.*, 1995). Målinger av saltholdighet på HT's faste hydrografiske stasjon på Utsira 19.juni viste ekstremt lave saltholdigheter. På 10 ms dyp ble det målt 28 psu mot normalt 32 psu. Den modellerte hastigheten gir en god indikasjon på at dette er signalet fra storflommen på Østlandet.

Vi har plottet hastighetsprofiler (3D), sammen med konsentrasjonen av Glommavann, i Larvik - Koster snittet for seks utvalgte dager (fig.21). De seks dagene er ment å falle sammen med tre lokale maksima (1.6, 11.6 og 20.6) og tre lokale minima (4.6, 16.6, og 24.6) for transporten (se fig 19). Vi ser tydelig hvordan "plumen" med Glommavann flytter seg langs snittet, og er nært knyttet til områdene med høye hastigheter ut (sør) gjennom snittet. Glommavannet ser i hovedsak ut for å være fordelt i de øvre 10-15 metrene, untatt ved kraftige utstrømninger langs Norskekysten der det til tider delvis blandes ned til over 30 meters dyp.

I fig.22 har vi også plottet fordelingen av Glommavann for endel utvalgte dager i mai (1,6,...,26) og juni (1,3,5,...,29). Enheten her er m³ m⁻², som tilsvarer høyden i m av rent Glommavann integrert over dypet i hver gridboks. Skalaen er lineær fra 1 til 10 m med steg på 1 m. De seks første figurene (mai) er godt forut for flommen, og skulle (dersom vi sammenligner med avrenningen for 1990 i fig.16) gi et godt inntrykk av situasjonen i et normalår. Fra månedsskiftet mai-juni øker imidlertid mengden av Glommavann kraftig. Dette ser vi tydelig i de seks neste figurene (1.6 - 11.6) der først ytre Oslofjord, men etterhvert også kysten ned mot Agder fylles opp av store mengder ferskvann fra elvene. Rundt 13.juni skjer det imidlertid en endring. Vann fra sør begynner å presse fronten av Glommavann nordover. Dette vannet bryter igjennom i nærheten av Larvik ca. 15.juni, slik at en stor mengde av Glommavannet blir dekket og transportert videre langs kysten. Dette er klimaks etter noen dager med vinder fra sør (fig.20) og det faller sammen i tid med den kraftige reduksjonen i transport av Glomma- vann gjennom Jomfruland - Koster (fig.19) i midten av juni. Fra 13. til 15. juni (med kraftig transport sørover utenfor Koster), legger vi merke til at fronten trekker noe sørover langs svenskekysten, men det er først den 27.6 at Glommavannet når så langt syd som til Väderø. Vi legger også merke til hvordan signalet (både fronten og tyngdepunktet) fra den første pulsen med Glommavann langsomt transporteres videre langs Skagerrakkysten, og hvordan konsentrasjonene i ytre Oslofjord avtar ettersom flommen i Glomma er på retur.

Et av hovedmålene med prosjektet har vært å kartlegge hvordan flommen eventuelt ville påvirke algesituasjonen. I fig.23 har vi plottet den modellerte dybdeintegreerte produksjonen for hele

Oslofjordområdet (begrenset av snittet Larvik - Koster). Observasjonene viser at det var en diatome, *Skeletonema costatum*, som dominerte overflatelaget i indre del av Skagerrak under flommen. Vi har derfor valgt både å plote totalproduksjonen (venstre) og produksjonen av diatomeer (høyre). Vi legger merke til at referansekjøringen gir noe høyere produksjon første del av perioden, mens denne har større ferskvannsavrenning, og at bildet er motsatt under flommen. Vi ser at det er en signifikant økning av produksjonen under flommen. Totalproduksjonen i dette området viser en økning på rundt 15 - 20 % i store deler av juni måned. Begrenser vi oss til diatomeer, ser vi tydelig at det er disse som har profittert på flommen. Sammenlignet med referansekjøringen er diatomeproduksjonen under flommen beregnet å være omlag 2 ganger større enn det normale for juni som tilsvarer så godt som hele økningen av totalproduksjonen. Produksjonsmaksimum i modellperioden finner vi imidlertid i andre halvdel av mai. Vinddata viser at det har vært en del kraftig vind fra nord i denne perioden, noe som indikerer "upwelling". Modellert saltholdighet viser også en "upwelling" utenfor Vestfold med maksimum ca. 21.mai.

En lignende sammenligning kan gjøres lokalt langs hele Skagerrakkysten. Vi har sammenlignet produksjonen i alle modeltpunkt i begge simuleringene (med og uten flomvannføring). Endringen i prosent for hele modelperioden (15.mars til 1.august) og for flommåneden (juni) er vist i fig.24. Vi registrerer at endringene for hele perioden (høyre siden i fig.24) er forholdsvis små, mellom +/- 2 %, med et maksimum på noe over 5% i ytre Oslofjord. Dersom vi begrenser oss til juni måned er imidlertid endringene betydelige. Vi har allerede sett at gjennomsnitt for Oslofjorden er på 15-20 %. Et maksimum på nær 50 prosent finner sted i fjorden utenfor Glommas utløp, og nedover langs hele Skagerrakkysten er økningen over store områder i intervallet 5-10 prosent. Vi legger også merke til at produksjonen reduseres med over 5 prosent i et område mellom Kristiansand og Arendal. En tilsvarende reduksjon finner også sted i samme området i mai måned, noe som kan tyde på at endringene i ferskvannsavrenningen fra Drammen, Numedal og Glomma har påvirket sirkulasjonen lokalt på Sørlandskysten.

Som nevnt foran er vertikalblandingen av vann og dermed også transporten av næringssalter til øvre lag for høy i modellen. Observasjonene av uorganiske næringssalter langs Koster-Jomfrulandsnittet i juni -juli (fig. 6-8) viser også at konsentrasjonene av uorganiske næringssalter under brakkvannet var meget lave, noe som ytterligere vil redusere transport av næringssalter mot overflatelaget. Beregnet totalproduksjon i modellen er derfor trolig for høy i perioden juni-juli 1995. Under flommen i juni ble derimot øvre lag tilført store mengder "nye" næringssalter og som vist foran resulterte dette i en massiv blomstring av diatomeer (silikatforbrukende alger). Det er derfor trolig at det meste av produksjonsøkningen i juni var forårsaket av de silikatrike næringssalttilførslene fra land og ikke fra tilførsler av næringssalter fra underliggende vannmasser gjennom vertikal blanding. Avviket i beregnet diatome-

produksjon (fig. 23, høyre), med og uten flom i Glomma og andre vassdrag, gir trolig et realistisk bilde av flommens innvirkning på produksjonsforholdene i indre Skagerrak. Dette stemmer også godt med observasjoner, da økningen i midlere klorofyllkonsentrasjonen på snittet Koster-Jomfruland i juni økte med en faktor på ca 3 mens beregnet midlere diatomeproduksjon innenfor snittet økte med en faktor på omlag 2.

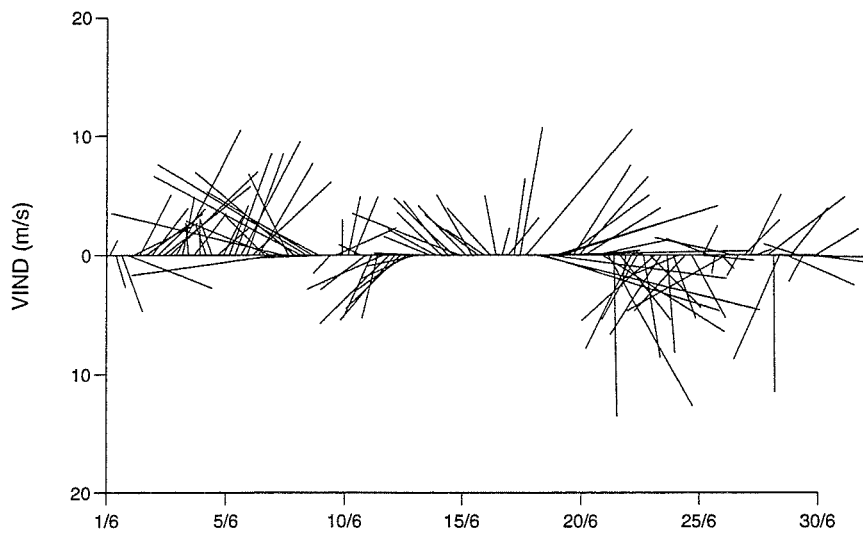


Fig. 20. Vind (ms^{-1}) Ytre Oslofjord, $59^{\circ}\text{N}, 10.5^{\circ}\text{E}$, juni 1995. Retning på pilene viser nord og øst komponenten (retning mot) til vinden (*Wind in the outer Oslofjord, June 1995*)

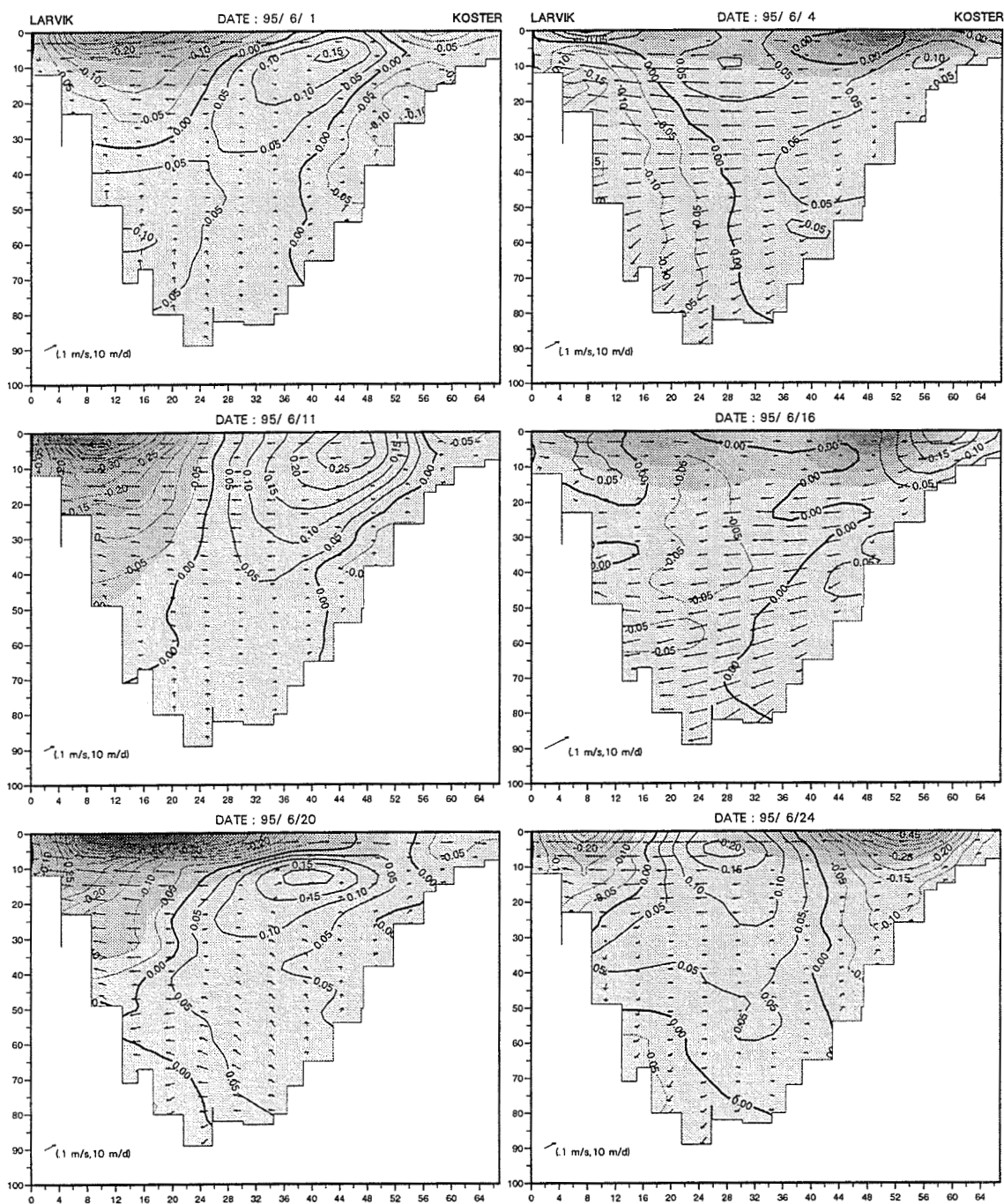


FIG. 21. Daglige middelkonsentrasjoner av Glommavann i snittet Larvik - Koster 1., 4., 11., 16., 20. og 24. juni, samt tilsvarende hastighetsprofiler inn gjennom snittet (heltrukket linje (ms^{-1})), ut (stiplet linje) og på langs og vertikalt (piler). Konsentrasjonen av Glommavann er gitt i prosent, 10, 20, ..., og vist med gråtonene (*Daily mean concentration of Glommawater (grayscale) on the Larvik - Koster section June 1, 4, 11, 16, 20 and 24, together with the corresponding velocities. Solid line (ms^{-1}) into the paper. The grayscale indicates percentages (10, 20, ...)*)

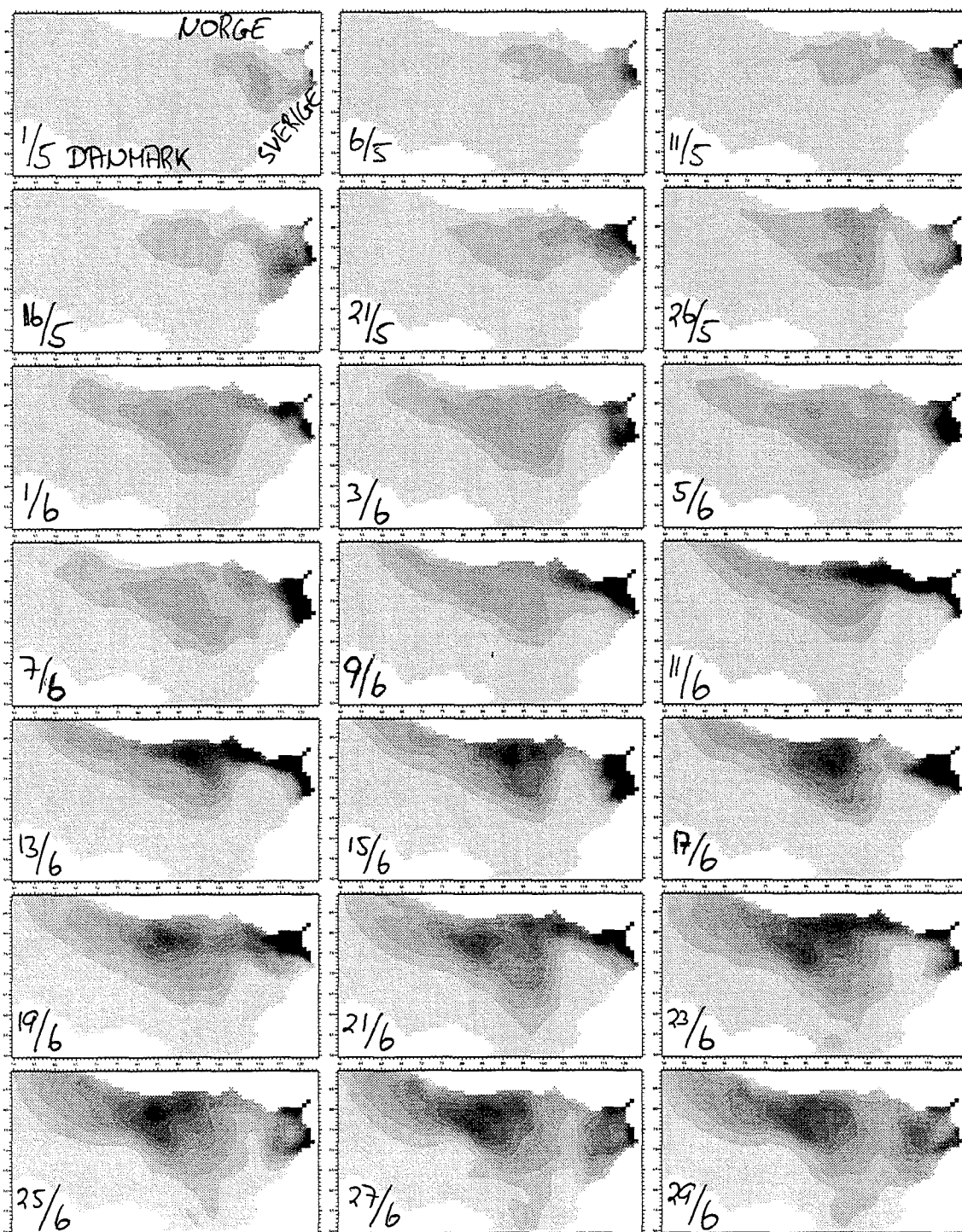


FIG. 22. Fordeling av Glommavann (m^3/m^2) 1., 6., ..., 26. mai, samt 1, 3, 5, 7, ..., 29. juni
 (Distribution of Glommawater (m^3/m^2) on May 1, 6, ..., 26 and June 1, 3, 5, ..., 29)

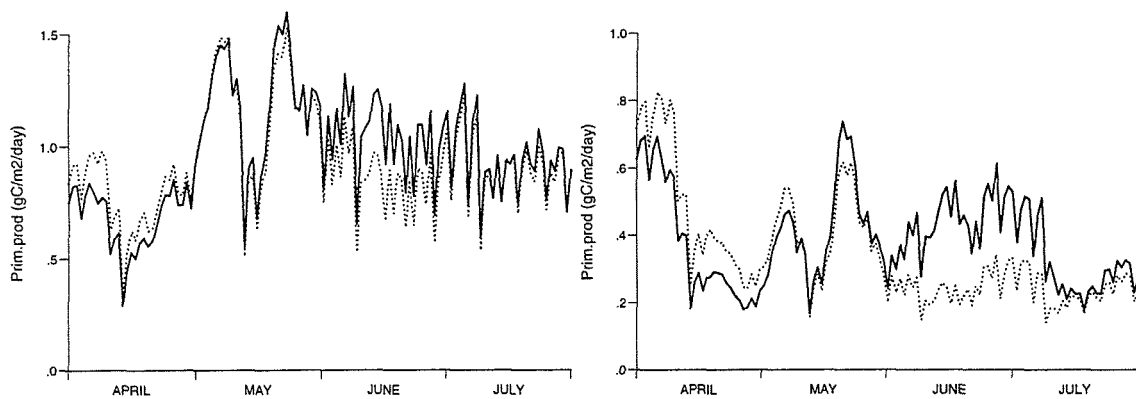


FIG. 23. Primærproduksjon ($gC/m^2/dag$) for Oslofjorden innenfor snittet Larvik - Koster. Totalproduksjonen (venstre) og produksjonen av diatomeer (høyre). Med flomvannsføring (heltrukken) uten flomvannsføring (stiplete) (Average daily mean primary production ($gC/m^2/day$) for the Oslofjord area. Total production (left) and diatoms (right). Including the flood (solid line), without (dotted line))

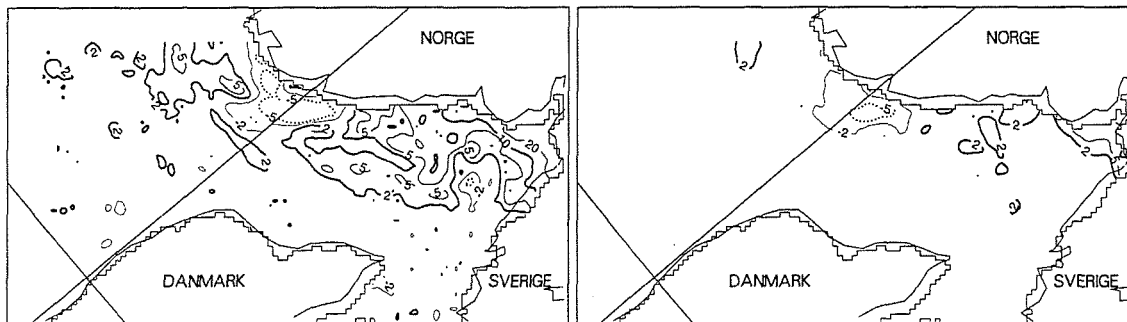


FIG. 24. Prosentvis endring i primærproduksjon med flomvannsføring for juni måned (venstre) og hele modell perioden (høyre) (Change in primary production (percentage) with and without the flood. June left, and the whole model period (March 15 to August 1) right)

3. KONKLUSJONER

* Ferskvannspåvirkningen fra flommen til indre Skagerrak, som hadde sitt maksimum i juni 1995, skapte et uvanlig og meget ferskt overflatelag med en kraftig lagdeling i saltholdighet. Påvirkningen av vannmasser med uvanlig lave saltholdigheter ble registrert langs hele den norske Skagerrakkysten og sydover til Väderø på den svenske vestkysten. Det var også overflatesaltholdigheter langt under det normale helt over mot danskekysten både i juni, juli og august. Stor ferskvannstilførsel fra Østersjøen/Kattegat og Gøtaelven har trolig også påvirket dette forholdet.

* Konsentrasjonene av ortofosfat og nitrat var ubetydelige i det ferske overflatelaget, bortsett fra lave konsentrasjoner innerst ved Koster i midten av juni og ved Jomfruland i juli. I midten av juni ble noe silikat funnet i overflatelaget i hele området, mens det i juli bare ble registrert nær Jomfruland. Konsentrasjonene totalfosfor og totalnitrogen i overflatelaget ved Jomfruland i første del av juli lå imidlertid betydelig over langtidsmiddelet for juni 1990--94 .

* Unormalt høye klorofyllkonsentrasjoner ble registrert i "Glomma" brakkvann langs snittet Jomfruland-Koster i midten av juni og det var fremdeles noe klorofyll igjen i begynnelsen av juli. Klorofyllkonsentrasjonene (og primærproduksjonen) i Jomfruland-Koster snittet økte med en faktor på omlag 3 under flomperioden i juni. Det var også i dette området og videre nedover langs kysten mot Risør hvor uvanlig store konsentrasjoner av diatomeen *Skeletonema costatum* ble registrert i "Glomma" brakkvann. Større konsentrasjoner av denne algen var fremdeles tilstede i dette området i begynnelsen av juli. Det ble for øvrig bare funnet ubetydelige konsentrasjoner av potensielt skadelige alger i undersøkelsesperioden. De høye konsentrasjonene av totalnitrogen, totalfosfor og klorofyll, sammen med de lave konsentrasjoner av uorganiske næringssalter mellom 8.juni og 8.juli, viser at tilførte uorganiske næringssalter fra Glomma og andre vassdrag meget hurtig ble omsatt i algeproduksjon i indre Skagerrak. Overskuddet av silikat i det tilførte ferskvannet medførte at algeproduksjonen hovedsakelig var dominert av diatomeer.

* Glommavann var "merket" med relativt høye gulstoffkonsentrasjoner i forhold til ferskvann (brakkvann) tilført fra elver langs den svenske vestkysten og Kattegat/Østersjøen. Gulstoff gav derfor et godt bilde av horisontalutbredelsen av "Glomma brakkvann" i indre Skagerrak.

* Tidligere erfaringer har vist at modellsystemet NORWECOM gir en relativt høy grad av realisme anvendt på Skagerrak, men den kraftige lagdelingen og de lave saltholdighetene observert i juni 1995 har imidlertid vist seg vanskelig å simulere. Selv om absolutte verdier

ikke alltid er korrekte, vil imidlertid relative forskjeller gi et realistisk bilde av variabiliteten i systemet. Vi har sett hvordan merkingen av vannmasser gir en unik mulighet til å bruke modellsystemet til å vise spredningen og fortynningen av flomvannet fra Glomma til Skagerrak, noe som ville vært vanskelig kun basert på sporadiske målinger i vannsøylen. Modellen viser klart hvordan flomvannet fra Glomma spredte seg langs Skagerrakkysten i pulser fra ytre Oslofjord. Ved å sammenligne simuleringene med og uten flomvann, får en også et bilde på hvordan det flomvannet påvirket primærproduksjonen. I samsvar med målingene viste modellen at flommen hovedsakelig medførte økt produksjon av diatomeer fra begynnelsen av juni til første del av juli.

4. LITTERATUR

Aksnes, D.L., Aure, J., Furnes, G.K., Skjoldal, H.R. and Sætre, R. 1989. Analysis of the *Chrysochromulina Polyepis* Bloom in the Skagerrak, May 1988, Environmental Conditions and Possible Causes. Tech. rep1. *Bergen Scientific Centre*.

Aksnes, D.L., Ulvestad, K.B., Balino, B., Berntsen, J., J., Egge, og Svendsen, E. 1995. Ecological modelling in coastal waters: Towards predictive Physical-Chemical - Biological simulation models. *Ophelia*, 41, 5--36.

ANON. 1993. North Sea Subregion 8, Assessment report, NSTF. *State Pollution Control Authority*, Oslo, Norway. ISBN 82-7655-157-2.

Berntsen, Jarle, Skagen, Dankert W. og Svendsen, Einar. 1994. Modeling the transport of particles in the North Sea with reference to Sandeel larvae. *Fisheries Oceanography*, 3(2), 81--91.

Dybern, B.I., Danielssen, D.S., Hernroth, L., og 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., & Guddal, J. 1985. Database av beregnede vind og bølgeparametre for Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. *DNMI report*.

Maestrini, S.E. og Graneli, E. 1991. Environmental Conditions and Ecophysiological mechanisms which led to the 1988 *Chrysochromulina polylepis* bloom and hypothesis. *Oceanologica Acta*, 14(4).

ANON, 1995. MILJØRAPPORT 1995. Fisken og Havet, Særnr.2-1995, Havforskningsinstituttet, 85s

Morel, A. og Berton, J.F. 1989. Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1545-1562.

Reistad, M. og 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. Tech.

Rep 9. *Det Norske Meteorologiske Institutt.*

Rydberg, Lars. 1993. On the Skagerrak circulation and the supply of water from the southern North Sea to the Skagerrak. Tech. rep 53. Dept. of Oceanography, *University of Gothenburg*, Box 4038, S-400 40 Gothenburg.

Skjoldal, H.R. og Dundas, I. 1991. The *Chrysochromulina polylepis* bloom in the Skagerrak and the Kattegat in May - June 1988. Environmental conditions, possible causes and effects. Tech. rep. ICES cooperative research report 175. *International Council for the exploration of the Sea*, Copenhagen, Denmark.

Skogen, Morten D. 1993. A User's guide to NORWECOM, the NORWegian ECOlogical Model system. Tech. rep 6. *Institute of Marine Research*, Division of Marine Environment, Pb.1870, N-5024 Bergen.

Skogen, Morten D., Svendsen, Einar, Berntsen, Jarle, Ulvestad, Kåre B. og Aksnes, Dag. 1995a. Modelling the primary production in the North Sea using a coupled 3 dimensional Physical Chemical Biological Ocean model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41, 545--565.

Skogen, Morten D., Svendsen, Einar og Ostrowski, Marek. 1995b. Quantifying Volume and Nutrient Transports and Primary Production with the NORWegian ECOlogical Model system (NORWECOM). Submitted to *Continental Shelf Research*.

Sørensen, K. og Aas, E. 1994. Remote sensing of coastal water quality. Proceedings from the *SPIE's Internatioal Conferance on Ocean Optics XII*. 13-15 june 1994, Bergen, Norway.

Svendsen, E. 1995. Havstrømkart og biologi i Skagerrak. *Oppdragsrapport NOE*.

Svendsen, E., Eriksrød, G. og Skogen, M.D. 1995a. Kvantifisering av langtransporterte vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til ytre Oslofjord. *Fisken og Havet*, 15. *Havforskningsinstituttet*, Pb.1870, N-5024 Bergen, Norway.

Svendsen, E., Berntsen, J., Skogen, M.D., Ådlandsvik, B. og Martinsen, E. 1995b. Model simulation of the Skagerrak circulation and hydrography during SKAGEX. Accepted in *J. of Mar. Syst.*, Apr.95.