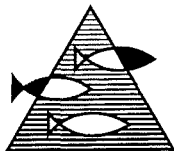


PROSJEKTRAPPORT

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.:

01.06.1

Oppdragsgiver(e):

Statens Forurensingstilsyn

Oppdragsgivers referanse:

SFT nr. 95324

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 15 - 1995

Tittel:

KVANTIFISERING AV LANGTRANSPORTERTE VANN-
MASSER FRA TYSKEBUKTA, ØSTERSJØEN OG
NORDSJØEN TIL YTRE OSLOFJORD

Senter:

Marint Miljø

Seksjon:

Fysisk oseanografi og akustikk

Forfatter(e):

Einar Svendsen, Gro Eriksrød og Morten Skogen

Antall sider, vedlegg inkl.:

69

Dato:

20. september, 1995

Sammendrag:

For vinter/vår sesongen i årene 1987/88 til 1992/93 har vi simulert og kvantifisert variasjoner i mengdene av vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen som transporteres til ytre Oslofjord. Resultatene er i stor grad gitt i henhold til et vertikalt snitt mellom Larvik og Kosterøyene der det også vises til årlige variasjoner i den horisontale og vertikale fordelingen av strøm og vannmasser i april hvert år. Transportberegningene av Tyskebukt vann og Østersjøvann viser meget store korttidsvariasjoner, opp til 10.000 m³s⁻¹ i løpet av få dager, samt store variasjoner fra måned til måned og fra år til år. Midlere maksimale konsentrasjoner av Tyskebukt vann i Skagerrak ved ytre Oslofjord i april er typisk 1-2%, mens Østersjøvannet har konsentrasjoner på 3-6%.

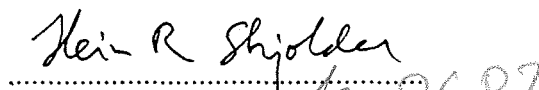
Emneord - norsk:

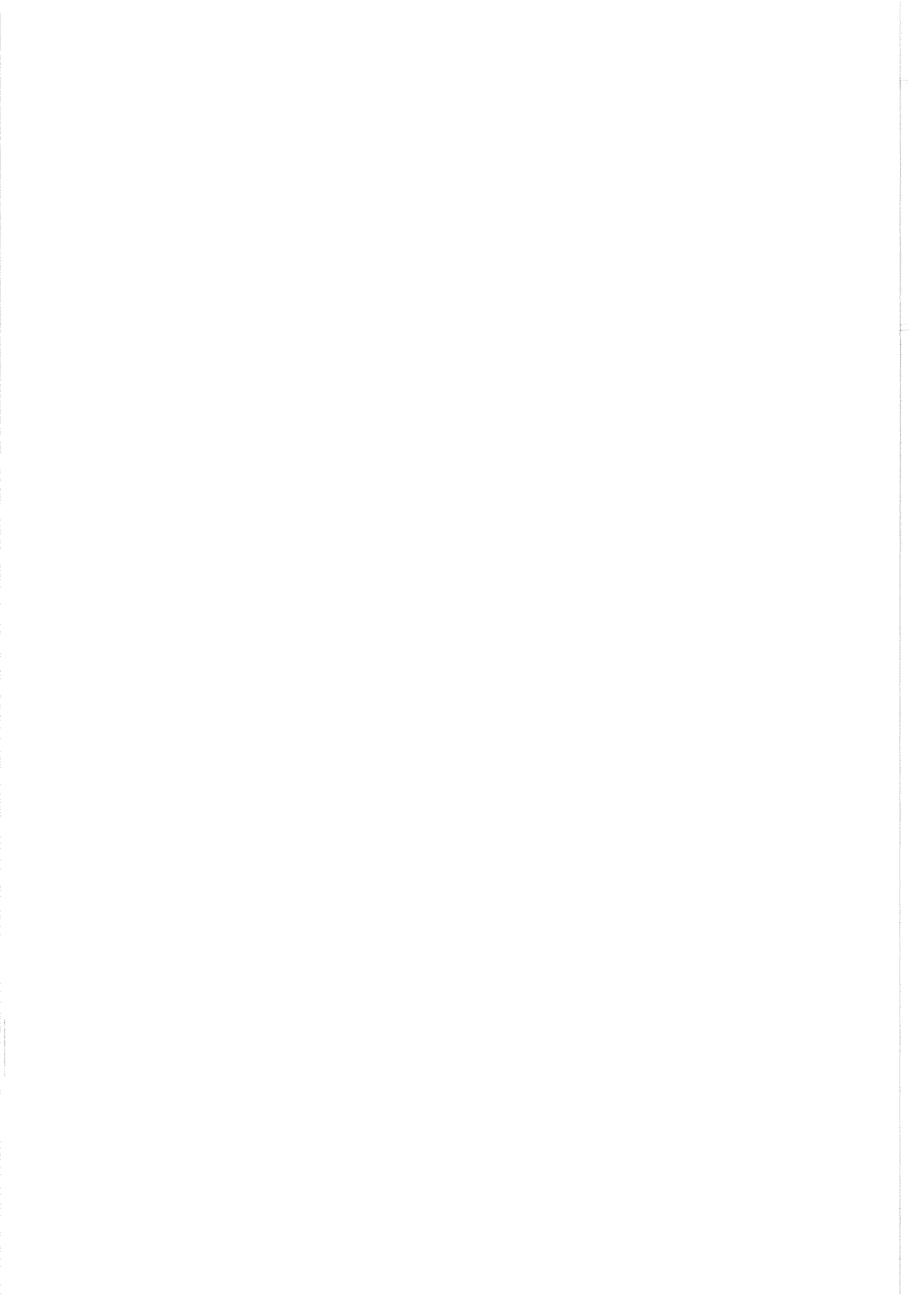
1. Langtransporterte vannmasser
2. Modellering
3. Skagerrak

Emneord - engelsk:

1. Transport of watermasses
2. Modeling
3. Skagerrak


Prosjektleder


Senterleder *10 3687*



KVANTIFISERING av LANGTRANSPORTERTE VANNMASSER fra TYSKEBUKTA, ØSTERSJØEN og NORDSJØEN til YTRE OSLOFJORD

av

Einar Svendsen, Gro Eriksrød og Morten Skogen
Havforskningsinstituttet i Bergen

etter oppdrag fra Statens Forurensingstilsyn (SFT) tilknyttet prosjektet:

Vannutskiftning og nærings saltbudsjetter i ytre Oslofjord

Prosjektleder v/HI: Einar Svendsen, Havforskningsinstituttet (HI)

Medarbeidere: Gro Eriksrød, Morten Skogen (HI)

Samarbeidende institusjoner: Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI)

Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

SAMMENDRAG

For vinter/vår sesongen i årene 1987/88 til 1992/93 har vi simulert og kvantifisert variasjoner i mengdene av vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen som transporteres til ytre Oslofjord. Resultatene er i stor grad gitt i henhold til et vertikalt snitt mellom Larvik og Kosterøyene der det også vises til årlige variasjoner i den horisontale og vertikale fordelingen av strøm og vannmasser i april hvert år. Transportberegningene av Tyskebukt vann og Østersjøvann viser meget store korttidsvariasjoner, opp til $10.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ i løpet av få dager, samt store variasjoner fra måned til måned og fra år til år. Midlere maksimale konsentrasjoner av Tyskebukt vann i Skagerrak ved ytre Oslofjord i april er typisk 1-2%, mens Østersjøvannet har konsentrasjoner på 3-6%. De beregnede transportene er også fordelt i henhold til saltholdighet. Dette viser i hovedsak at vannet fra Østersjøen og tildels også fra Tyskebukta transporteres gjennom Larvik-Koster snittet i vann med saltholdighet mindre enn 32 psu, som her typisk forekommer i de øverste 15 til 35 metre av vannsøylen.

Mål

Kvantifisere år til år variasjoner i tilførsler av vann fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til ytre Oslofjord.

Bakgrunn

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 satt igang prosjektet "Vannutskiftning og nærings saltbudsjetter i ytre Oslofjord". Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI) og Havforskningsinstituttet (HI) utreder ulike aspekter av prosjektet. Denne rapporten dekker resultatene fra HI's aktiviteter, som er knyttet til modellering/ kvantifisering av tilførslene av de langtransporterte og tildels forurensede vannmassene fra Tyskebukta og Østersjøen. Dette vil bli benyttet som bakgrunnsmateriale for å nå prosjektets hovedmål som er "å fremskaffe nærings saltbudsjetter for ulike deler av ytre Oslofjord med så stor presisjon som mulig innenfor den aktuelle prosjektrammen 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.

HI og DNMI 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 også vært hovedentreprenør for utviklingen av "the NORWegian ECOlogical Model system" NORWECOM som var sentral i utarbeidelsen av North Sea Quality Status Report (1993). Likeledes har instituttet vært aktiv deltager i forskningsprogrammet SKAGEX (Dybern et al., 1994), som er det største oseanografiske eksperiment som er gjort i Skagerrak/Kattegat.

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. Modellsystemet drives med realistisk (hver sjettede time) vindpådrag stillt til rådighet fra DNMI (Eide et al., 1985, Reistad og Iden, 1995), realistisk månedsmidlet ferskvannstilførsel fra Elben, Ems og Weser, klimatologisk månedsmidlet ferskvannstilførsel fra de øvrige største Europeiske elvene, og modellert tetthetsfordeling og utstrømning fra Østersjøen. En del anvendelsesområder 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.

Etter ønske fra NIVA (som har ansvaret for den avsluttende analyse av hele prosjektet), har vi etter deres spesifikasjoner inkludert en rekke modellresultater i Appendix.

Gjennomføring

Den storskala sirkulasjonsmodulen for Nordsjøen er kjørt fra 1. juni til 1. juli året etter med samme initialbetingelser (1. juni) for alle år, mens den finskala Skagerrak-modulen er kjørt fra 1. september til 4. mai året etter. (Heretter er det kun snakk om Skagerrak modulen).

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 vann (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 Kattegatt gjennom Øresund og Storebelt som 100 % Østersjøvann, og dette behandles videre tilsvarende som Tyskebukt vann. Alt resterende vann er definert som Nordsjøvann (som i hovedsak består av Atlanterhavsvann).

Grunnet den meget korte tidsramme på prosjektet er kun den fysiske del av modellsystemet (utvidet med de merkede vannmassene) kjørt og presentert her. Ut fra disse resultatene har vi valgt å kjøre den fullstendige NORWECOM for to ganske forskjellige år (1988 og 1993 mhp. mengder av Tyskebukt vann i Skagerrak) for å se hvilken betydning dette eventuelt har for primærproduksjonen i ytre Oslofjord og for mer realistiske beregninger av transport av næringsalter. Dette vil bli rapportert i begynnelsen av oktober 1995.

Resultat

De følgende resultater er altoverveiende knyttet til det vertikale snittet Larvik-Koster, som vi her har karakterisert som den sørlige grense for ytre Oslofjord (Fig.1). Det er lagt vekt på å beskrive modellresultatene uten i større grad å forklare årsakene til de sterkt variable forhold som i utgangspunktet er drevet av de variable atmosfæriske kreftene på ulik tid- og lengdeskala (se Appendix). De fleste resultatene som vises er tidsmidler for 15-30 april i årene 1988-1993. Situasjonen i april er spesielt interessant fordi man da typisk har overgangen

fra de ikke-skadelige diatomé-alger til flagellater hvorav som kjent man har en del skadelige arter. I denne perioden har HI også målinger hvert år slik at modellresultatene kan evalueres.

Horisontalfordeling Tyskebukt vann

Figur 1 viser modellområdet for Skagerrak/ Kattegatt og demonstrerer modellerte fordelinger (tidsmidlet for siste halvdel av april) av vertikalt integrerte mengder ($m^3m^{-2} = m$ (tykkelse)) av "rent" Tyskebukt vann i årene 1988-1993. Resultatene viser god overrensstemmelse med næringssaltfordelinger målt årlig av HI (Flødevigen) i samme periode, og estimerte totale mengder nitrogen knyttet til Tyskebukt vann i Skagerrak beregnet av Aure et al. (1995) (se Apendix, Fig. A3). For flere av årene ser vi typisk større vertikal-integrerte mengder (ikke konsentrasjoner) av Tyskebukt vann i det sentrale Skagerrak enn sør mot Tyskebukta. Dette er en klar indikasjon på at vannet oppsamles (og spres vertikalt) over de dypeste områdene i Skagerrak, knyttet til høy grad av resirkulasjon og generelt meget spesielle strømforhold i området (bl.a. Danielssen et al., 1991, Danielssen et al. 1995, Skogen et al., 1995, Svendsen et al., 1995, Svendsen 1995). Selv om innstrømningen (og utstrømningen) av Tyskebukt vann til (fra) Skagerrak er klart større om vinteren enn om våren, er det ikke gjennomgående større totale mengder av dette vannet tilstede om vinteren enn om våren (Appendix, Fig. 1b og c). I Appendix vises også til sammenligning fordelinger av konsentrasjoner (i 5 og 20 m dyp) både av Tyskebukt vann og Østersjøvann (Fig. 1 d-i).

Tidsserier vanntransport

Ettersom vi starter med å introdusere Tyskebukt vann og Østersjøvann 1. september henholdsvis ca. 500 km og 350 km fra Oslofjorden, vil det ta en tid før disse vannmassene når Oslofjorden. Med en gjennomsnittshastighet på rundt 10 km/dag ($\approx 10 \text{ cms}^{-1}$) skulle det ta Tyskebukt vannet ca 50 dager å nå Oslofjorden. Figur 2 viser tidsserier for de ulike årene av transport inn og ut gjennom Larvik-Koster snittet av de ulike vannmassene. De første (modellerte) vannpartiklene fra Tyskebukten (Fig. 2a) strømmer inn rundt begynnelsen av oktober etter ca. 30 dager, (tilsvarende 17 km/dag), mens den fulle tyngde av Tyskebukt vannet først er oppnådd fra midten av oktober til midten av november (etter ca. 45 - 75 dager) for de ulike år. Dette betyr at hovedforflytningen om høsten av vann fra Tyskebukta til Oslofjorden skjer med midlere hastigheter på ca. 7-11 km/dag. (Grunnet initialiseringen bør verdier før november ikke tas i betraktning).

Typiske transportverdier ligger i området 2000-7000 m^3s^{-1} med ekstremverdier på 10000-15000 m^3s^{-1} . Til sammenligning er Glommas vannføring rundt 1000 m^3s^{-1} . Typiske nitrat konsentrasjoner for "rent" Tyskebukt vann er 40 $\mu\text{mol/l}$. Med en volumtransport på 4000 m^3s^{-1} , gir dette om vinteren en nitrat-N transport på ca. 200 tonn/dag. På årsbasis kan dette tilsvare tilførsler av totale nitrogenmengder (inkludert organisk) på rundt 70.000 tonn/år fra Tyskebukta. (Dette vil bli nærmere studert/modellert for to utvalgte år knyttet til

fullstendige kjøring med NORWECOM). Imidlertid er mye av Tyskebukt vannet blandet ned til bunns i dette området og alle næringssaltene er derfor ikke direkte tilgjengelig for primærproduksjon. Store transportvariasjoner opp mot $10.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ skjer i løpet av få dager. Vi ser en meget nær kobling mellom inn- og utstrømning, noe som tyder på at hovedmengdene av det innstrømmende Tyskebukt vannet relativt raskt strømmer ut igjen og ikke transporteres langt inn i Oslofjorden. Under økende innstrømning er det ofte en tidsforsinkelse på det utstrømmende vannet på 2-3 dager, noe som ikke kommer fram under reduserende innstrømning. Dette indikerer lengre oppholdstid på vannet ved økende innstrømning, men realistiske verdier kan kun oppnås ved en høypopløselig Oslofjordmodell.

Tilsvarende som for Tyskebukt vannet viser Fig. 2b tidsseriene for transporten av Østersjøvann gjennom Larvik-Koster snittet. Midlere hastighet (7-9 km/dag) om høsten på vannet fra Øresund/Storebelt til Oslofjorden er svært lik hastigheten på Tyskebukt vannet. Korttidsvariabilitet og ekstremverdier er også tilsvarende som for Tyskebukt vannet, og typiske transporter er mellom nær 0 og $7000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. De lange perioder med tilnærmet null transport indikerer at dette vannet til tider passerer sør for snittet. I korte perioder er det noe større avvik mellom inn- og utstrømning av Østersjøvann enn av Tyskebukt vann, noe som kan tyde på at Østersjøvannet til tider har noe lengre oppholdstid. Dette må ha sin årsak i ulik romlig fordeling av vannmassene, men en videre utredning må studeres med en finskala modell for Oslofjorden.

De største vanntransportene gjennom snittet er representert av Nordsjøvann. Tidsseriene av transportene (Fig. 2c) viser typiske variasjoner mellom 100.000 og $300.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (0.1-0.3 Sverdrup), uten store år til år variasjoner. Grunnet de store transportene er det ingen signifikant tidsforskyvning mellom inn- og utstrømning, noe som raskt ville gitt urealistiske vannstander i Oslofjorden.

Transportverdiene midlet for 15-30 April for de ulike årene og vannmassene er vist i Fig. 3. For Tyskebukt vannet varierer dette mellom 800 og $2700 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, for Østersjøvannet gir de ulike år fra 3000 til $6500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, og transporten av Nordsjøvannet varierer fra 110.000 til $160.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Mens det gjennom vinteren og våren grovt sett ser ut til å komme noenlunde like store mengder fra Østersjøen som fra Tyskebukten (Fig. 2a og b), ser vi at en god del større vannmengder fra Østersjøen når Larvik-Koster snittet i april.

Hastighetsstruktur

Figur 4 viser hvordan hastighetsstrukturen (midlet 15-30 april) gjennom Larvik-Koster snittet kan være forskjellig fra år til år (større variasjoner forekommer også på korte tidsskalaer). Det eneste trekket som går igjen alle år er en transport vestover i de dypere vannlag (under 50 m). Ellers varierer de midlere maksimale innstrømningshastighetene mellom 4 og 14 cms^{-1} for de ulike år.

Vannmassefordeling

Vi har også sett på hvordan de ulike vannmassene fordeler seg langs snittet i april de ulike årene. Igjen ser vi i Figur 5 store forandringer fra år til år. Enkelte år kan de høyeste konsentrasjonene av Tyskebukt vann (Fig.5a) overstige 2%, mens andre år når maksimalt 0.6%.

Noe høyere konsentrasjoner av Østersjøvann observeres (Fig. 5b) med maksimale konsentrasjoner fra under 3% til over 6%. Det er en viss likhet i strukturen fra år til år med de høyeste konsentrasjonene vanligvis nær Koster.

Mens konsentrasjonene av Tyskebukt vann (C_{TB}) og Østersjøvann (C_{\emptyset}) vanligvis øker mot overflaten, vil konsentrasjonen av Nordsjøvann (C_N) (Fig. 5c) avta mot overflaten ettersom: $C_N = 100 - (C_{TB} + C_{\emptyset})$.

Den midlere modellerte saltholdighetsfordelingen (Fig. 5d) viser også store variasjoner fra år til år. Grunnet tidsmidling og store korttidsvariasjoner er de vertikale gradienter tildels utsmurte. Delvis skyldes dette også at elveutslipp bl.a. Glomma) kan (avhengig av bunndyp) blandes homogent ned til 15 m, noe som i realiteten ofte er for dypt og vil medføre et for salt overflatelag.

Fordeling av vannmassetransport

Ved å multiplisere daglig modellerte konsentrasjoner (midlet i Fig. 5) med daglig modellerte hastigheter normalt på snittet (midlet i Figur 4), får vi et bilde av strukturen på transporten (pr. flateenhet) inn og ut av snittet av de ulike vannmassene (Fig. 6). Dette er altså den samlede effekt av vannmassefordeling og strøm, og viser tydelig hvor de største transportene av de ulike vannmassene forekommer om våren. Ettersom alle vannmassene tildels er blandet i dette området, er strukturen i transportmønstrene for de ulike vannmassene gjennom snittet ganske lik og følger mye av strukturen i hastighetsfeltene (Fig. 4).

Konklusjon

Flere arbeider som nå er publisert eller akseptert for publisering i internasjonale journaler, og nye resultater under bearbeiding, har vist at simuleringer med modellsystemet (NORWECOM) anvendt på Skagerrak gir en relativt høy grad av realisme. Selv om absolutte verdier ikke alltid er korrekte, vil relative forskjeller til ulike tider og fra år til år gi et realistisk bilde av variabiliteten i systemet.

Meget store variasjoner i tid og rom forekommer i de langtransporterte vannmassene fra Tyskebukta og fra Østersjøen til ytre Oslofjord. Dette gjør det i praksis meget vanskelig (nærmest umulig) å estimere slike transporter ut fra sporadiske målinger, i tillegg til at det er problematisk ut fra målinger å bestemme de ulike vannmassenes konsentrasjoner. Merking av vann fra forskjellige områder er meget enkelt i modellsammenheng, og dette gir oss en unik mulighet til å studere påvirkningen i våre farvann av ulike langtransporterte vannmasser. Forutsetningen er at modellsystemet er basert på

realistiske simuleringer av sirkulasjon og spredning.

Variasjoner i løpet av få dager på 5000-10.000 m³s⁻¹ i transportene av Tyskebukt vann og Østersjø vann gjennom Larvik-Koster snittet ser ut til å forekomme, mens år til år variasjoner i midlere (15-30 april) transporter om våren av Tyskebukt vann varierer fra 800 til 2700 m³s⁻¹, og for Østersjø vann fra 3000 til 6500 m³s⁻¹,

Noe uventet finner vi at hvor hoved inn- og utstrømningene gjennom snittet forekommer er svært forskjellig fra år til år, og vi antar at dette også skjer på kort tidsskala.

I dette arbeidet har vi hovedsaklig kvantifisert transporten av de ulike vannmassene fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til ytre Oslofjord, og knyttet dette til noen grove beregninger for nitrogentransport. For å gi mer realistiske verdier for langtransporterte næringssalter til ytre Oslofjord, vil NORWECOM bli kjørt (for to ulike år) med full biologimodul, som samtidig vil gi et estimat for hvilken effekt variasjoner i disse langtransporterte næringssaltene kan ha for primærproduksjonen i Skagerrak og spesielt i ytre Oslofjord.

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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.)

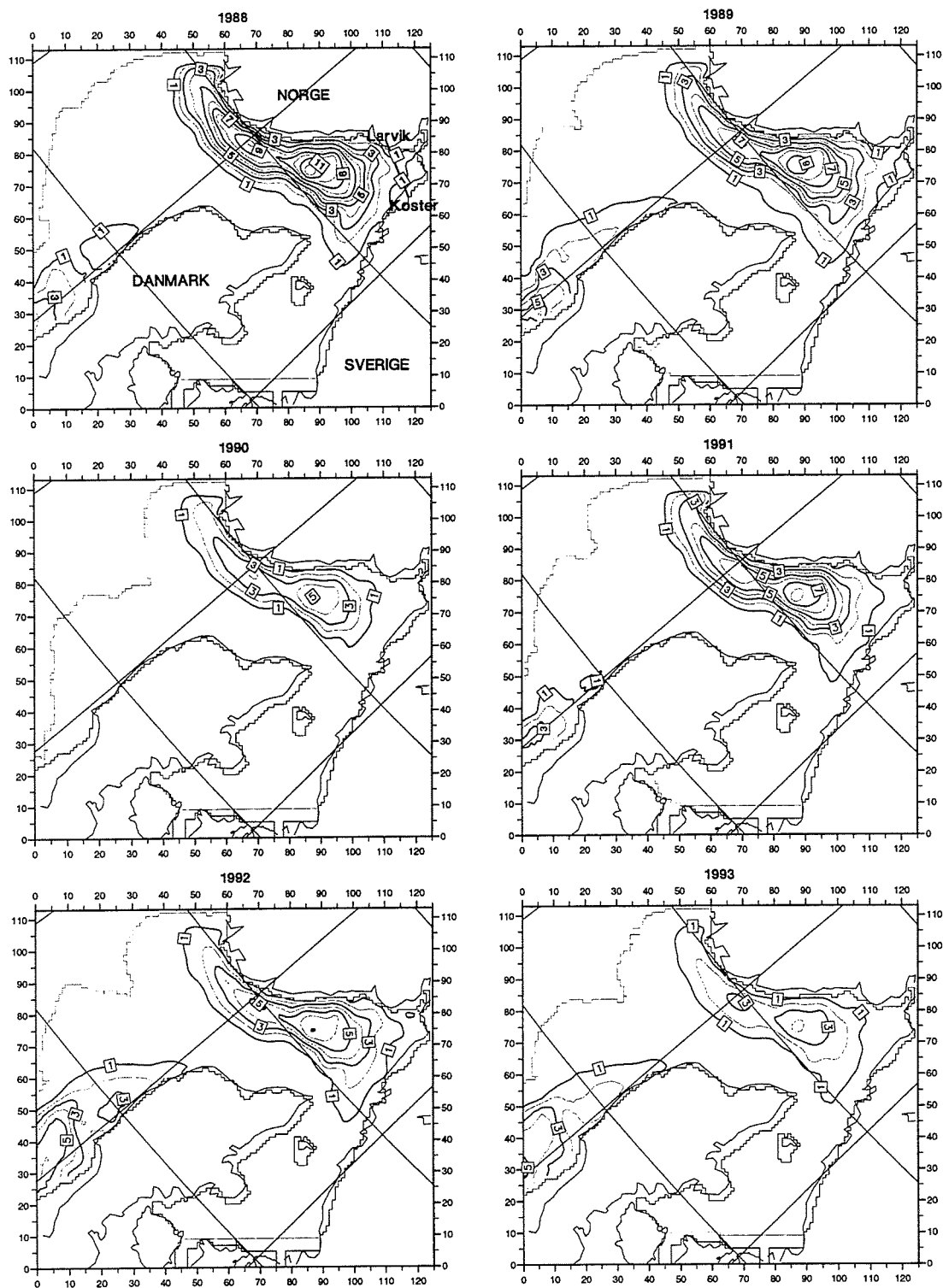


Fig. 1 Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede (15-30 april) modellerte fordelinger for seks ulike år (1988-1993) av vertikalintegreerte vannmengder fra Tyskebukta gitt som "rent" Tyskebuktvann [$m^3/m^2 = m$]. Snittet Larvik-Koster er tegnet inn på figuren øverst til venstre.

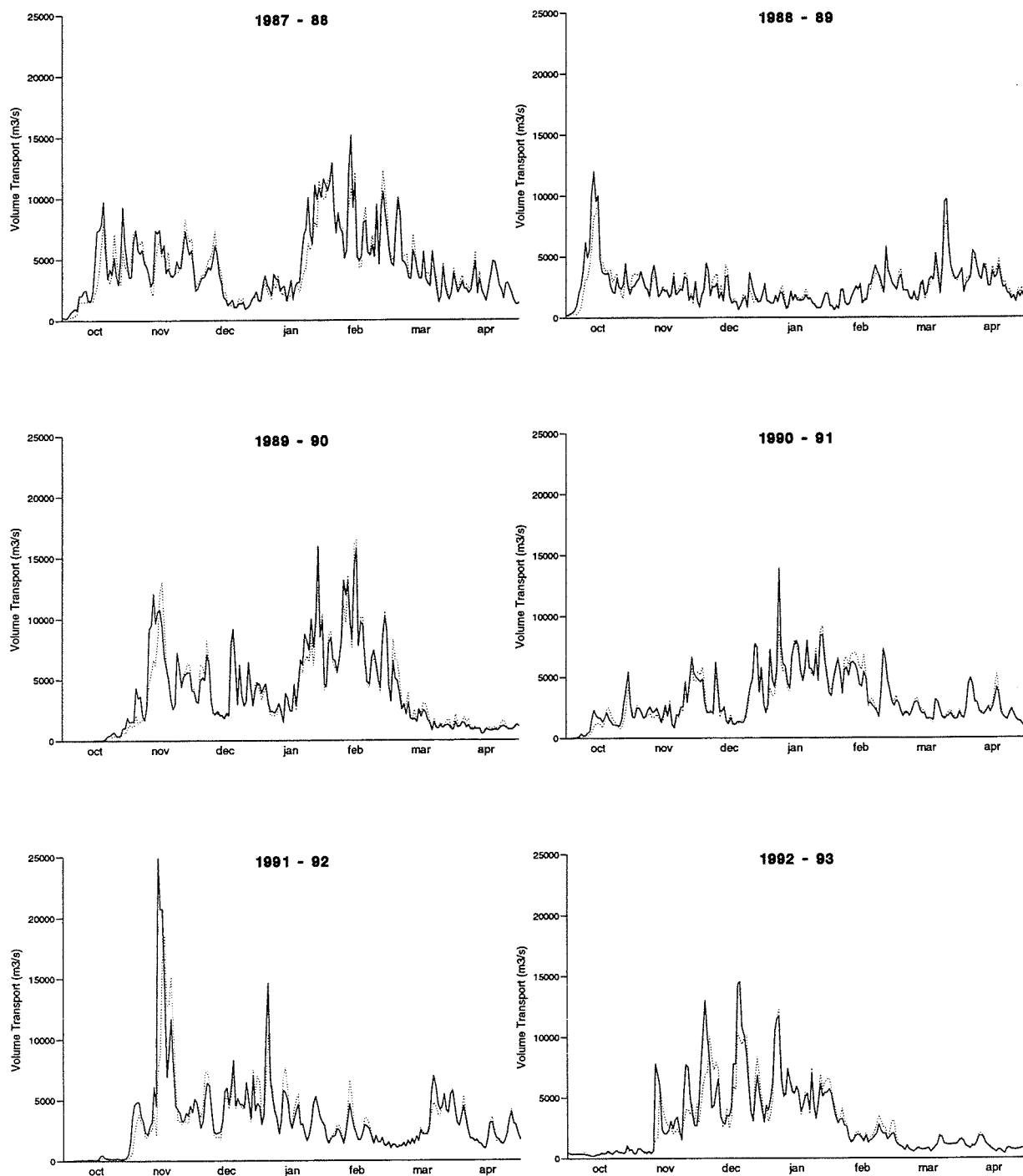


Fig. 2a Modellerte tidsserier av volumtransporter av Tyskebukt vann inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

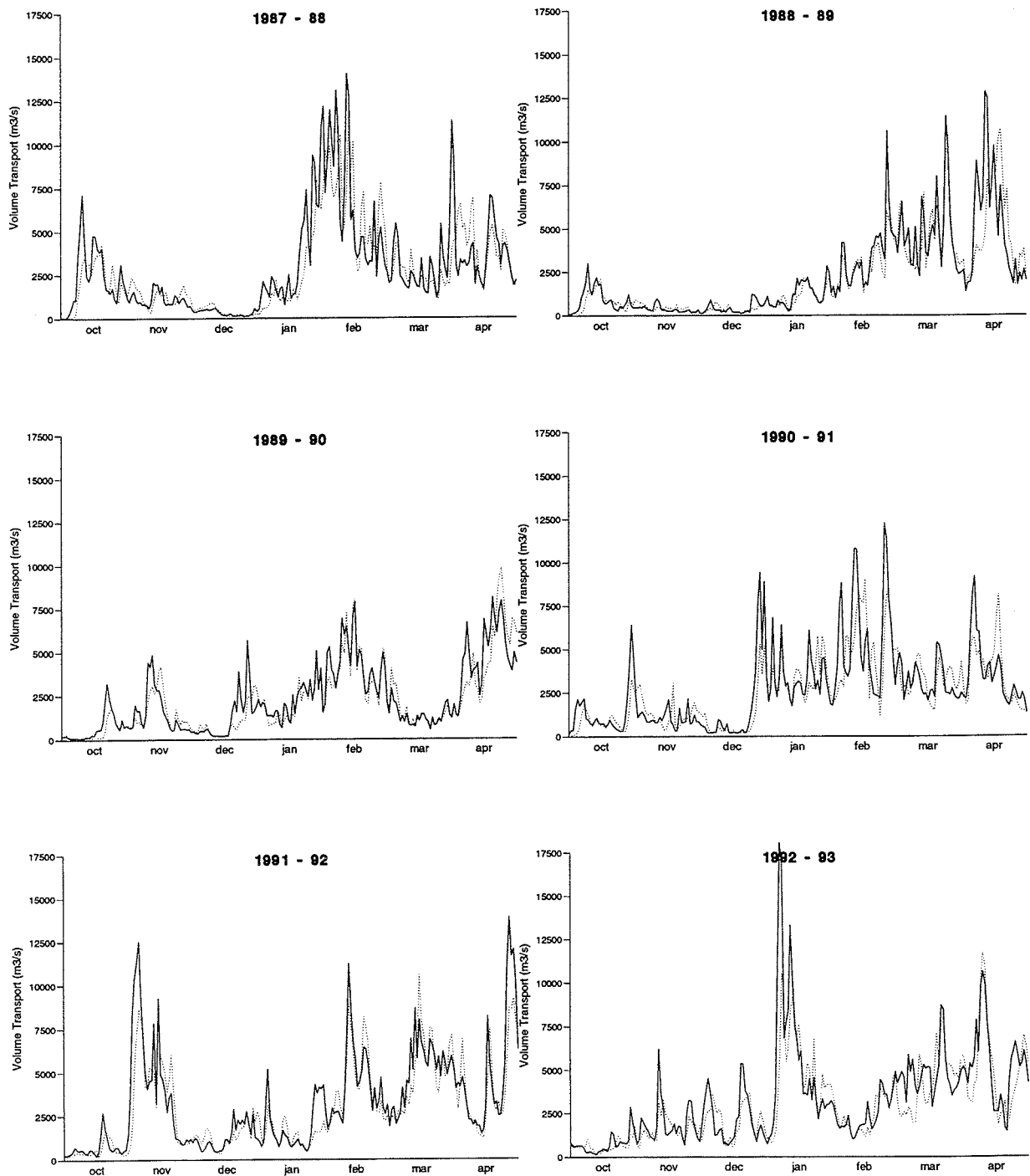


Fig. 2b Modellerte tidsserier av volumtransporter av Østersjøvann inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

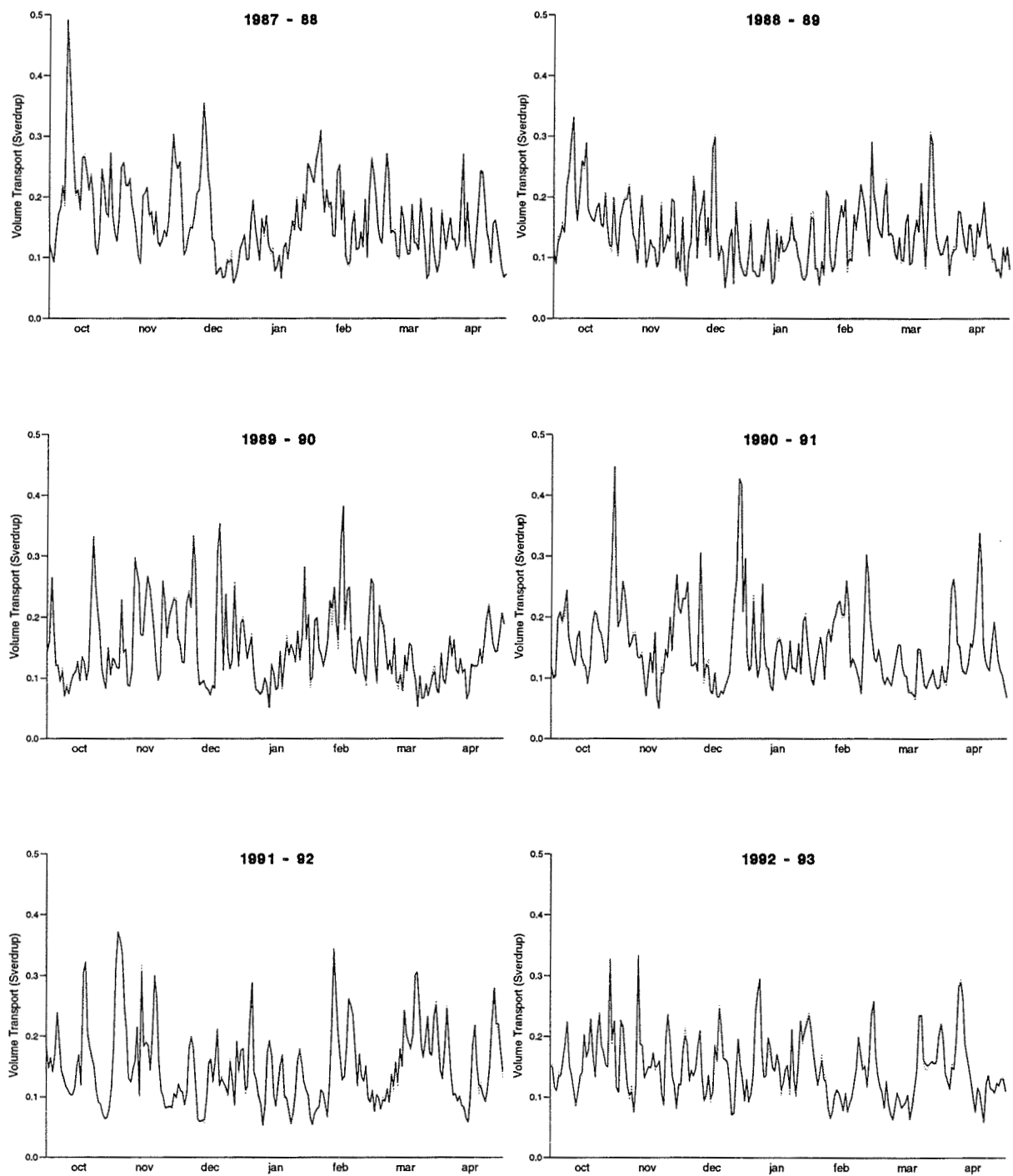


Fig. 2c Modellerte tidsserier av volumtransporter av Nordsjøvann inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

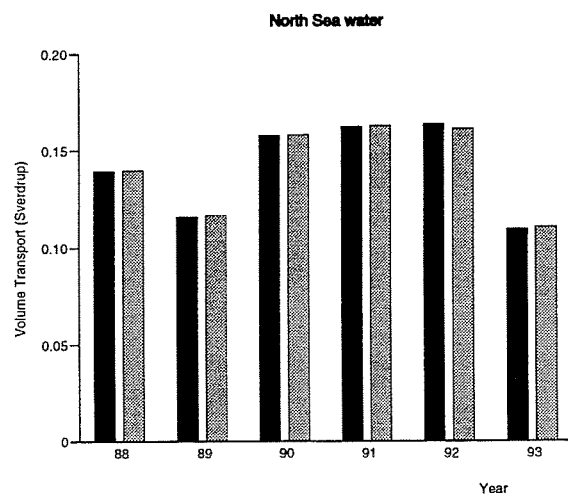
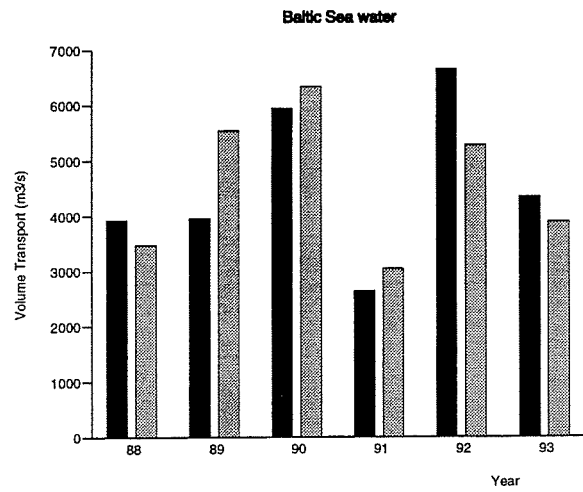
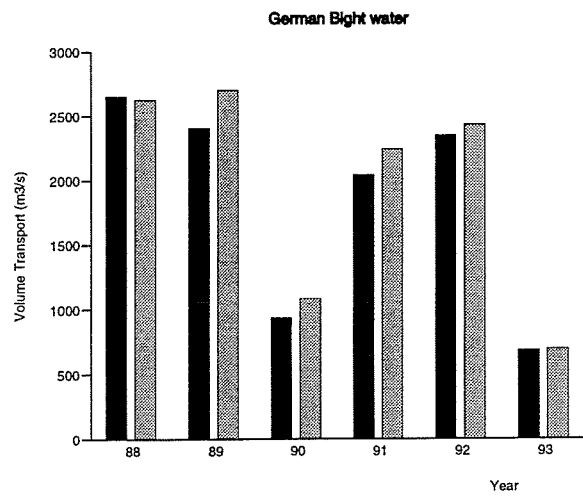


Fig. 3 Modellerte midlere (15-30 april) transporter [m^3s^{-1}] av Tyskebukt vann, Østersjøvann og Nordsjøvann inn (sort) og ut (grått) av Larvik-Koster snittet for årene 1988-1993.

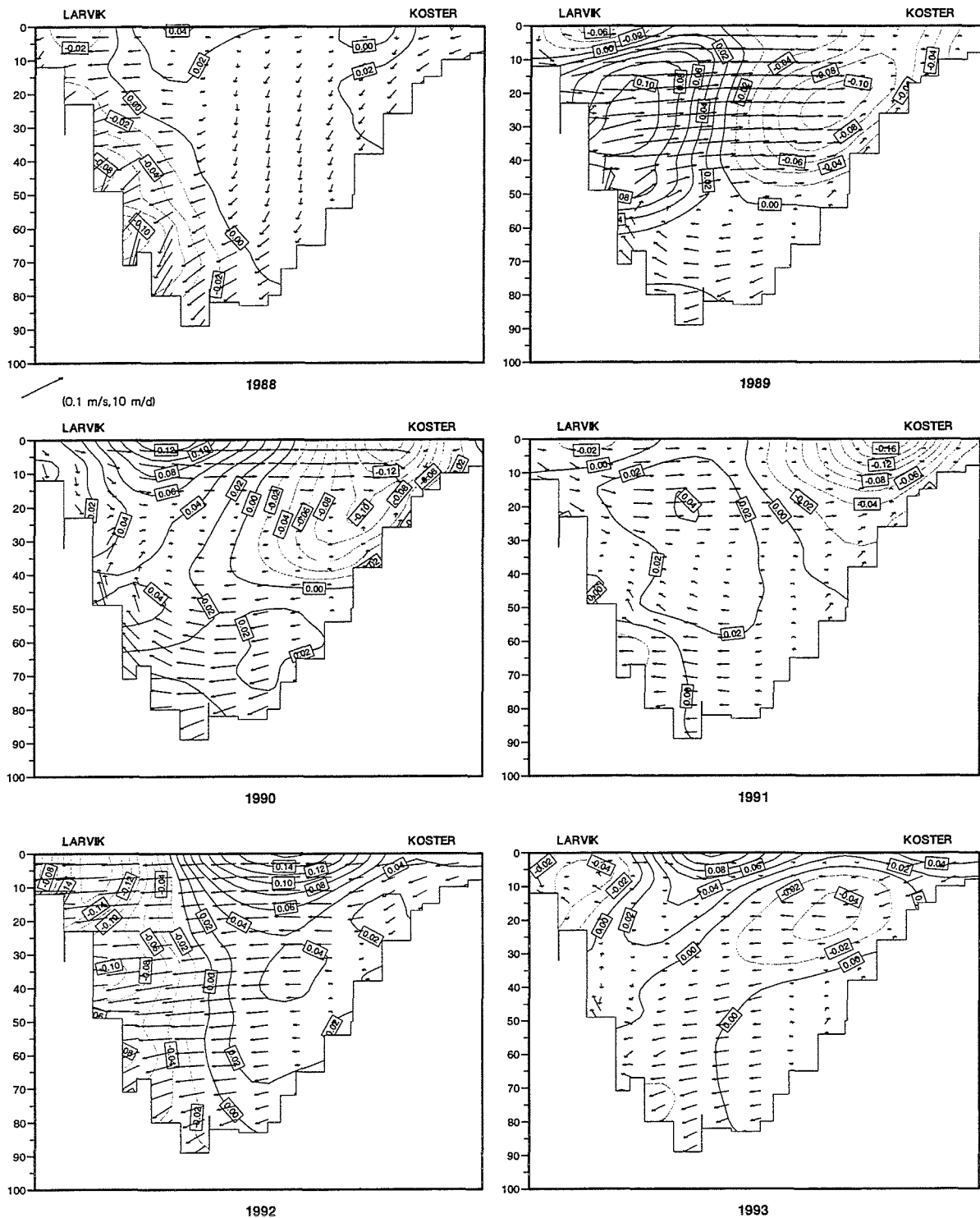


Fig. 4 Modellerte midlere (15-30 april) hastigheter på tvers (isolinjer, heltrukket inn [$m \cdot s^{-1}$]), langs (pilskala 10 $cm \cdot s^{-1}$) og vertikalt (pilskala 10 $m \cdot dag$) i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.

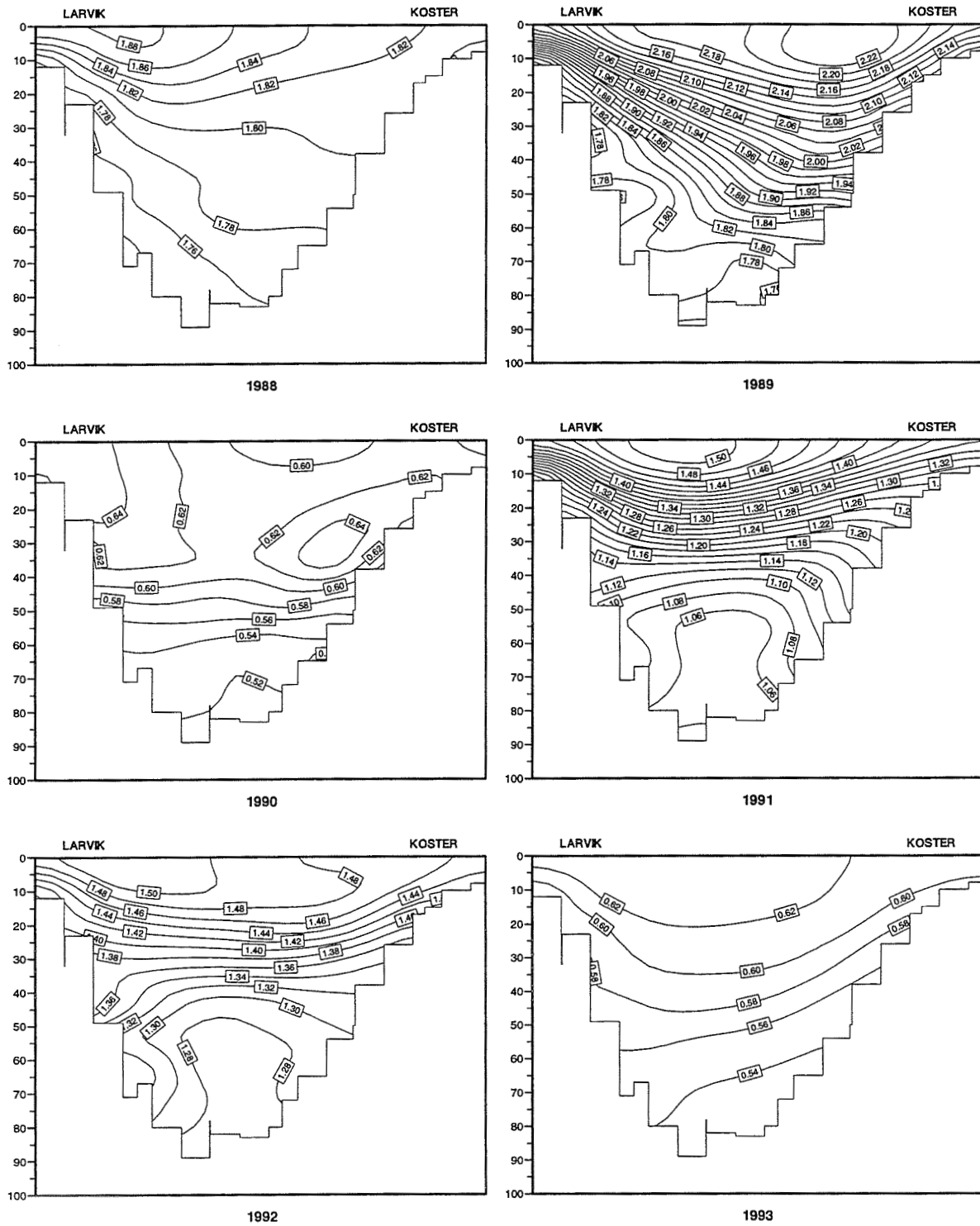


Fig. 5a Modellerte midlere (15-30 april) konsentrasjoner [%] av Tyskebukt vann i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.

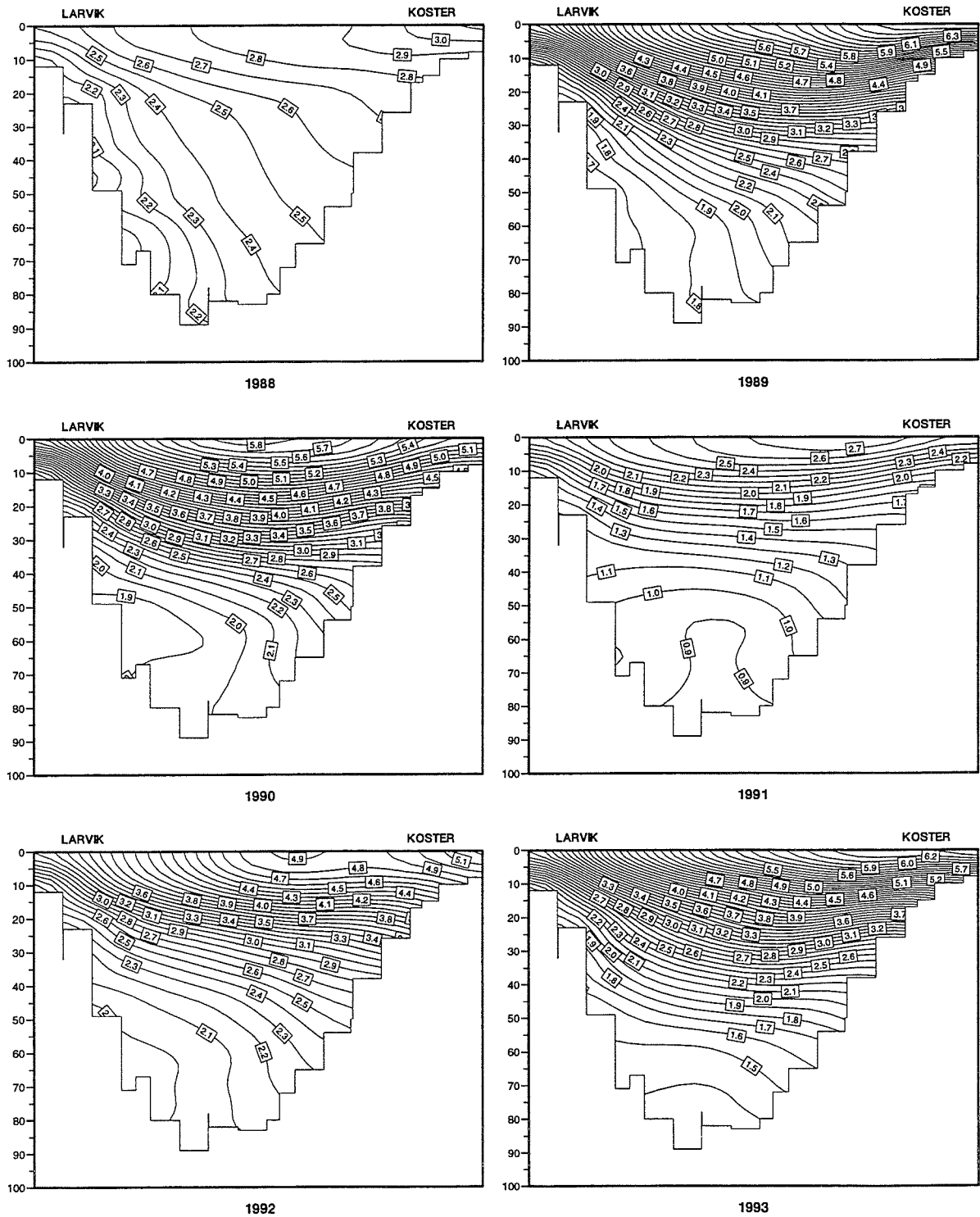


Fig. 5b Modellerte midlere (15-30 april) konsentrasjoner [%] av Østersjøvann i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.

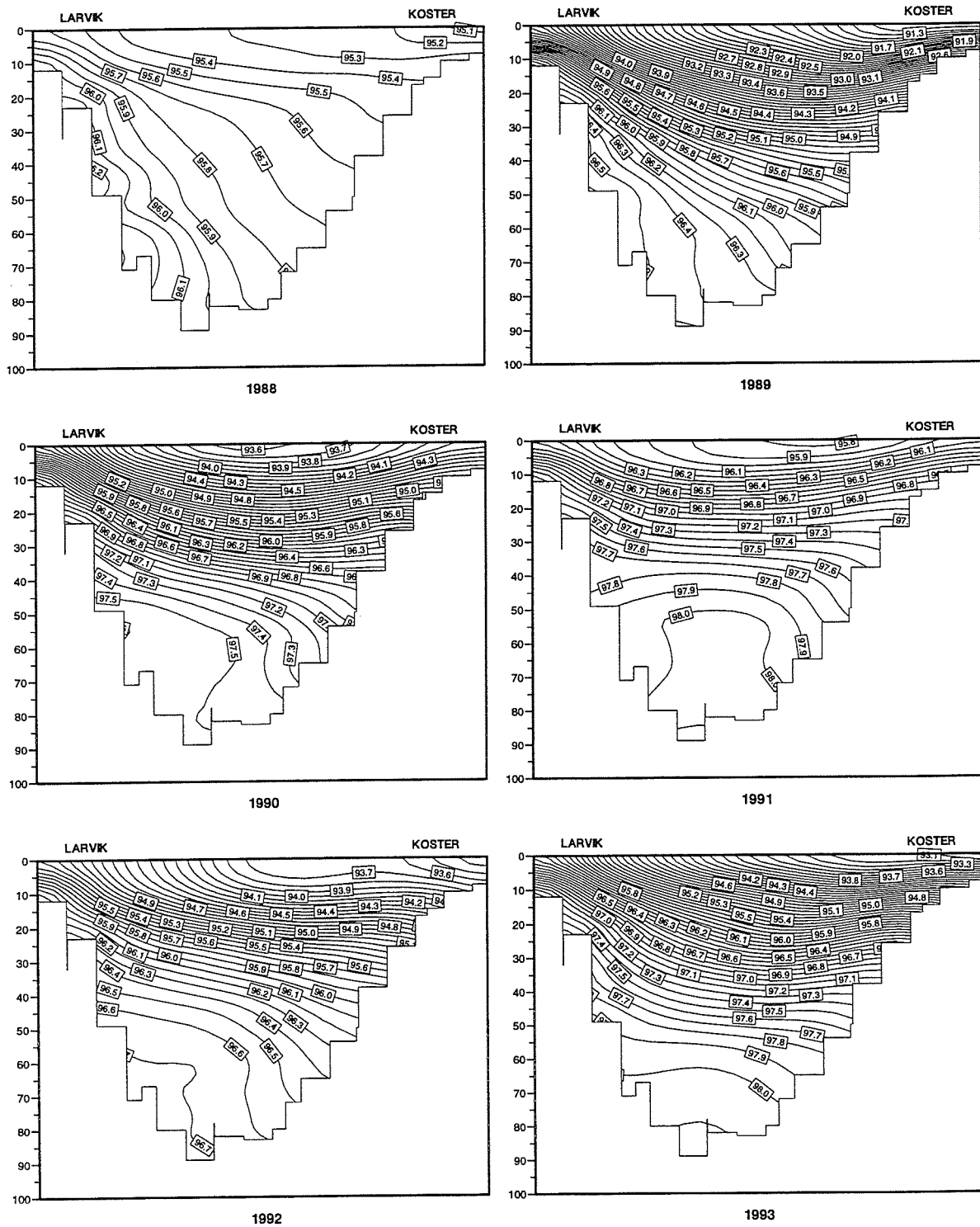
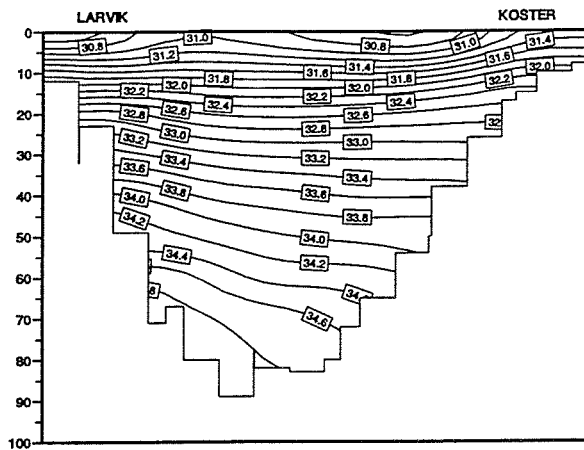
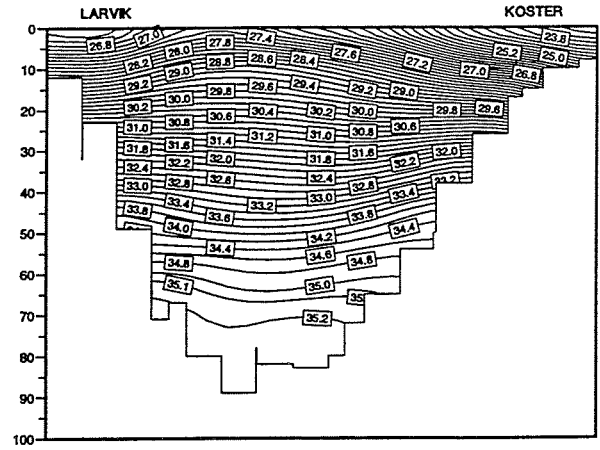


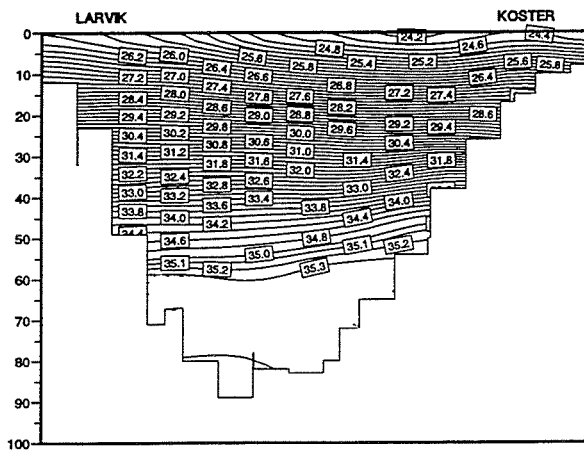
Fig. 5c Modellerte midlere (15-30 april) konsentrasjoner [%] av Nordsjøvann i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.



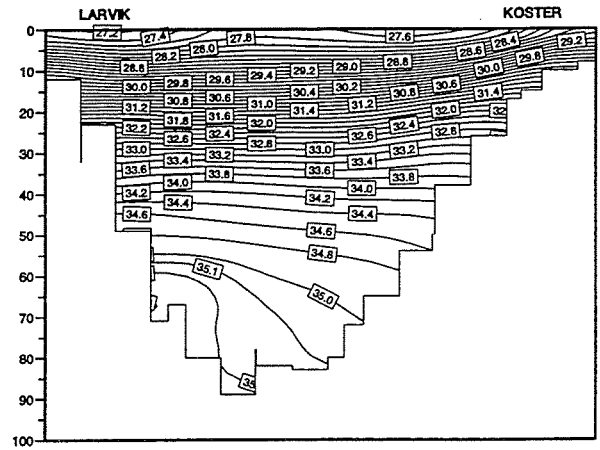
1988



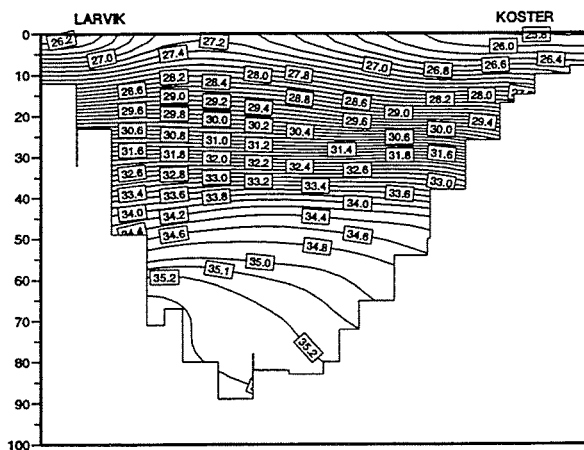
1989



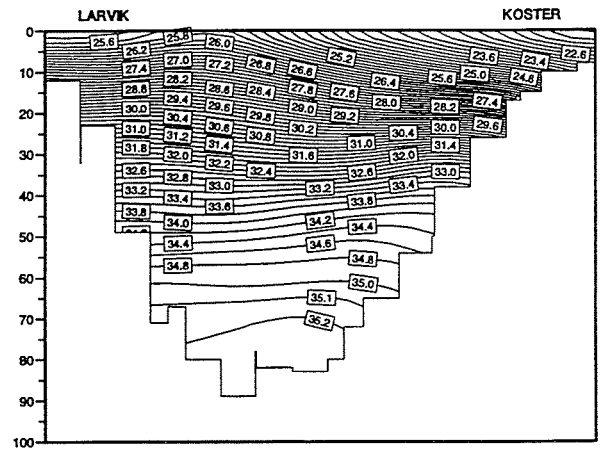
1990



1991



1992



1993

Fig. 5d Modellerte midlere (15-30 april) saltholdighet gjennom snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.

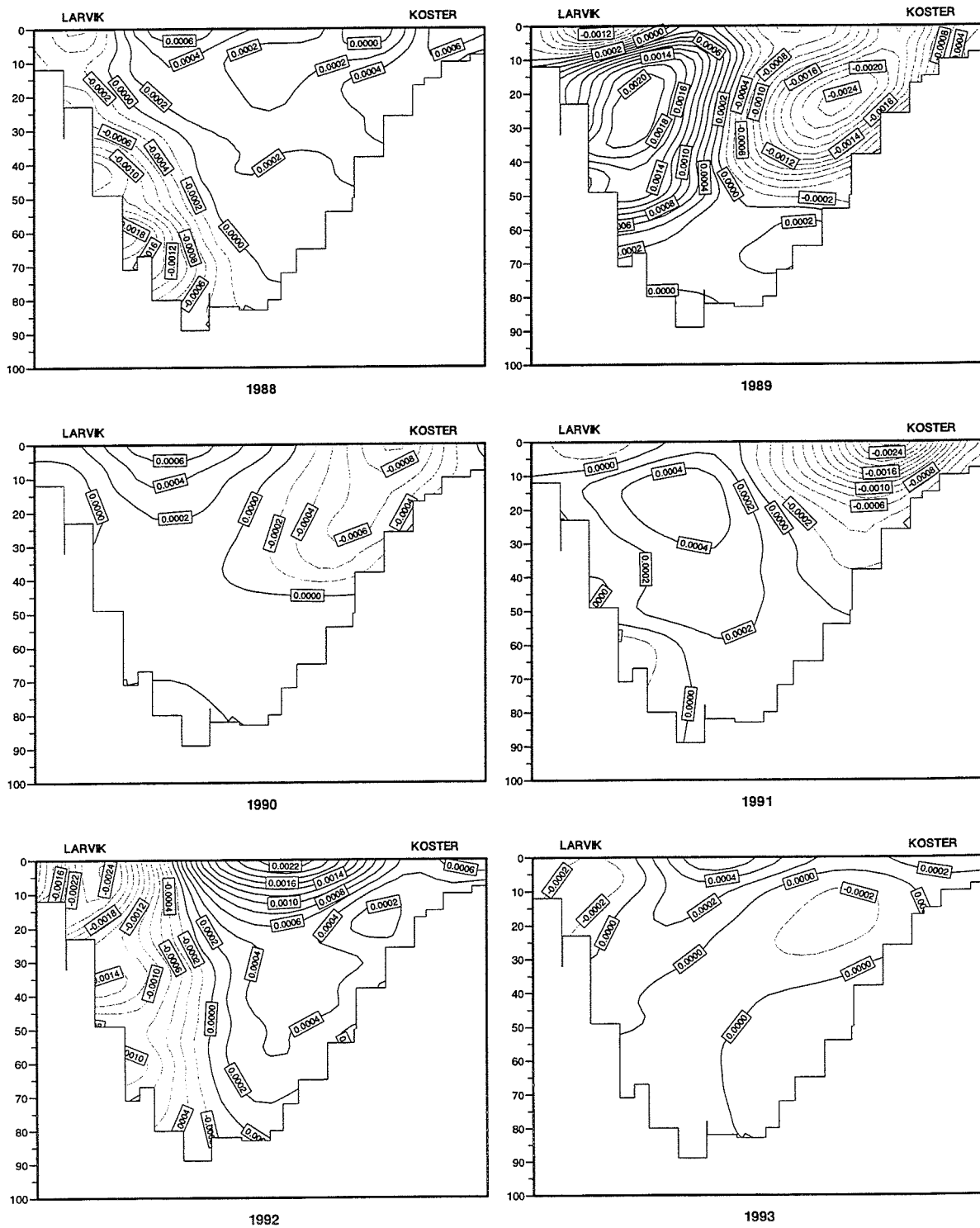


Fig. 6a Modellerte midlere (15-30 april) transporter pr. flateenhet [$m^3 s^{-1} m^{-2} = m s^{-1}$] av Tyskebukt vann i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.

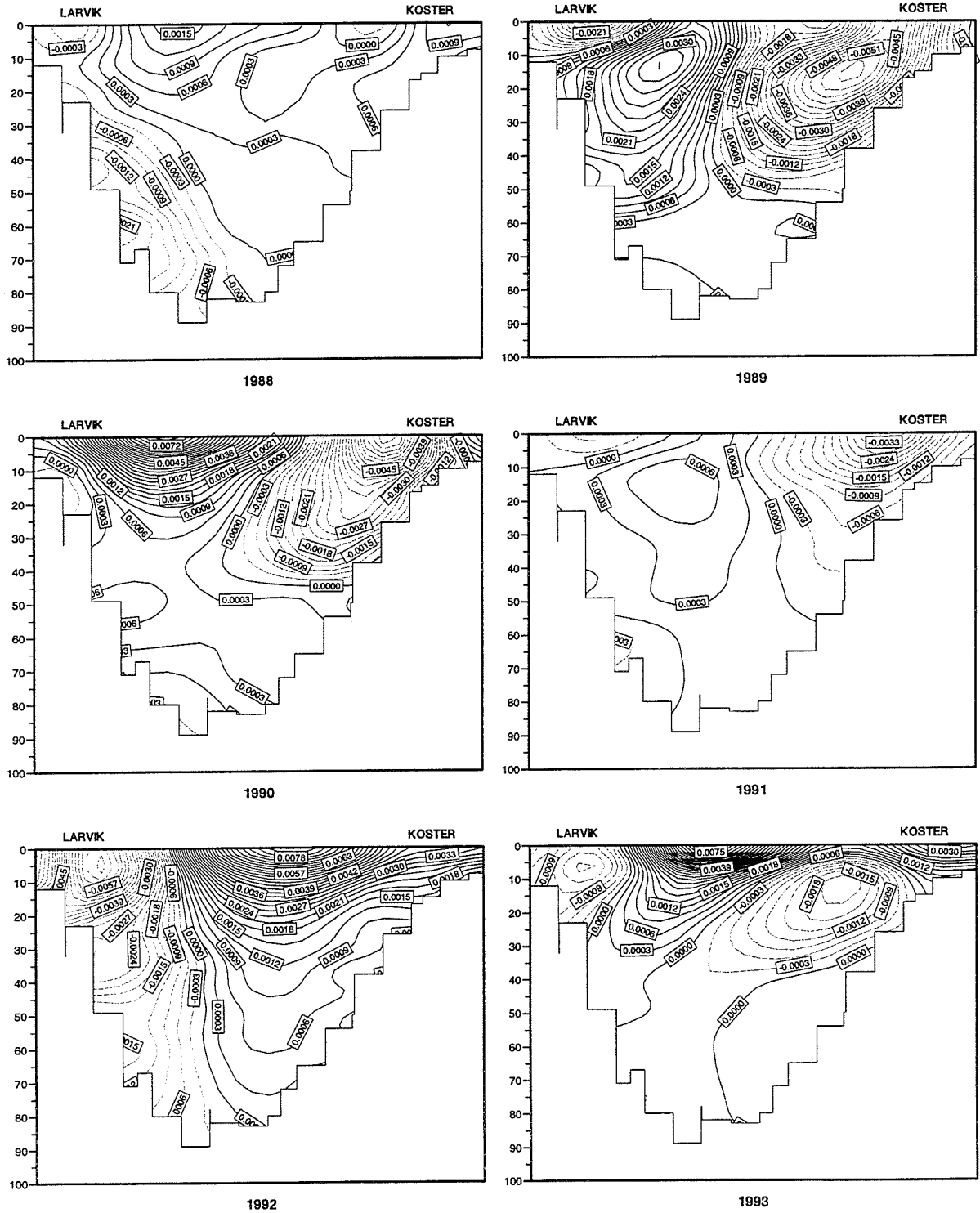


Fig. 6b Modellerte midlere (15-30 april) transporter pr. flateenhet [$m^3 s^{-1} m^{-2} = m s^{-1}$] av Østersjøvann i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.

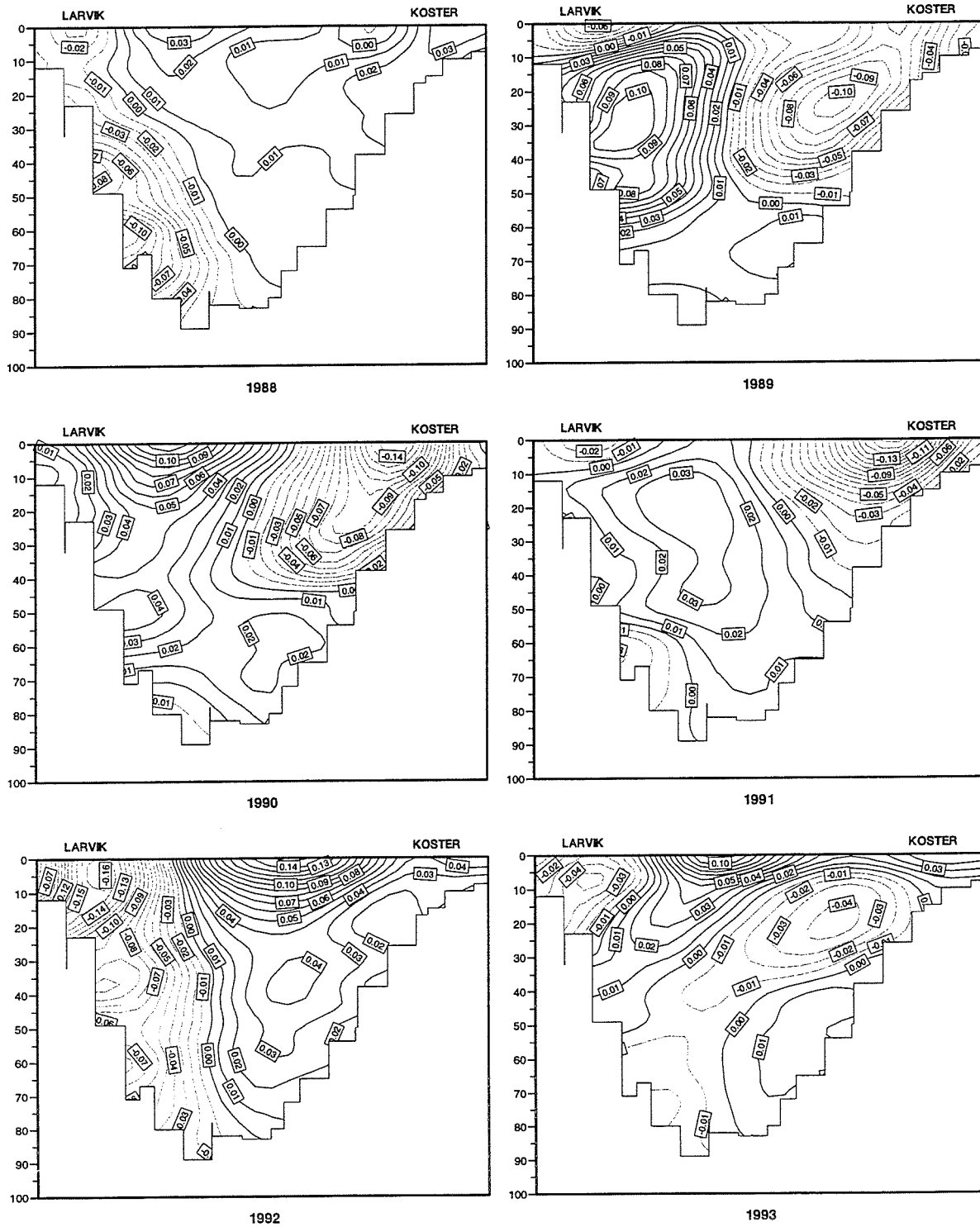
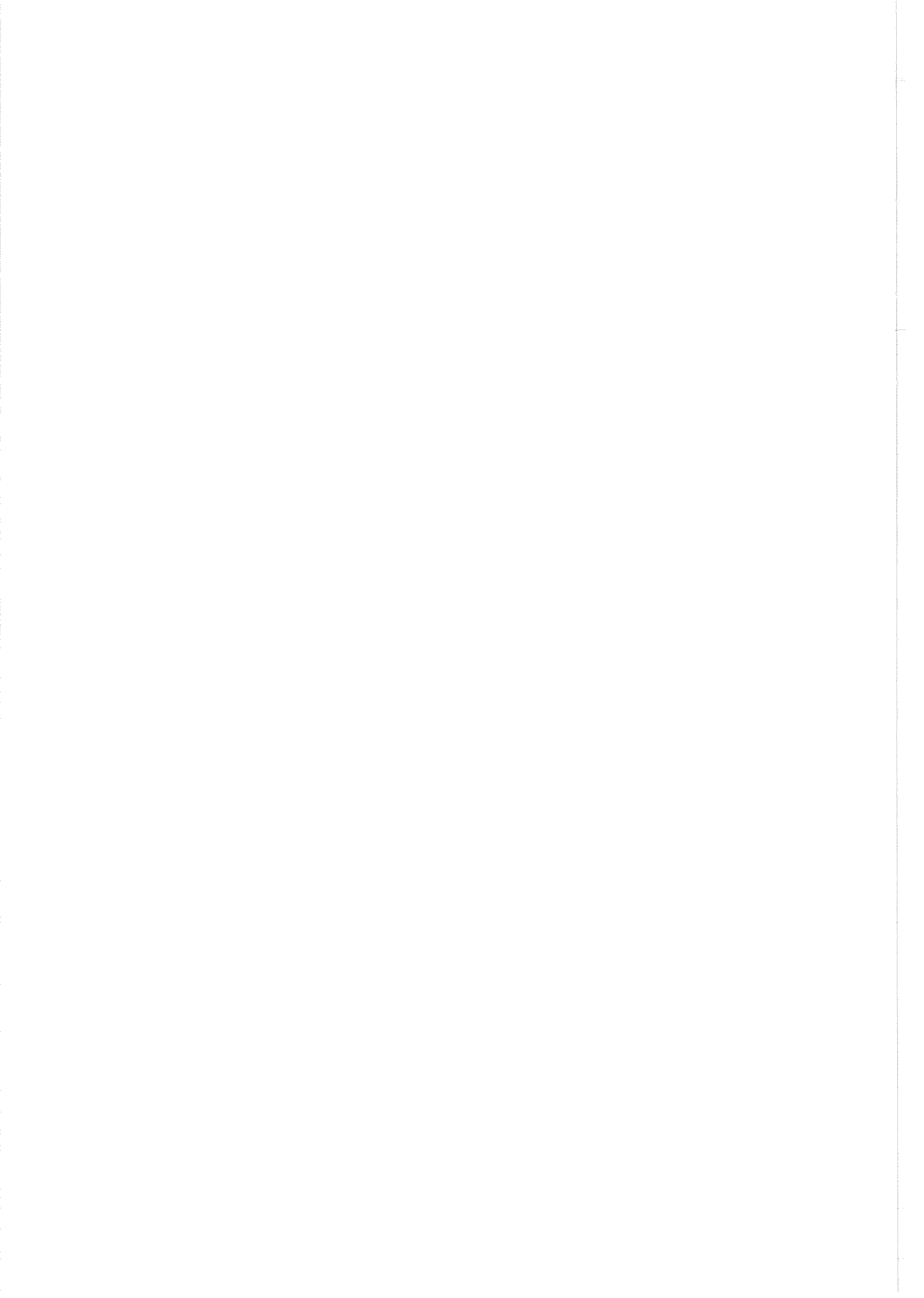


Fig. 6c Modellerte midlere (15-30 april) transporter pr. flateenhet [$m^3 s^{-1} m^{-2} = m s^{-1}$] av Nordsjøvann i snittet Larvik-Koster for årene 1988-1993.



APPENDIX

APPENDIX

På oppfordring fra NIVA inneholder dette Appendix i hovedsak en mengde ekstra modellresultater koblet til hovedteksten.

Figur A1 viser dybdeforholdene i de to koblede modellområdene for Nordsjøen og Skagerrak/Kattegat. De ytterste 7 gridrutene langs de åpne grenseflatene benyttes i FRS sonen (Flow Relaxation Scheme, Martinsen et al. 1987) og gir ikke realistiske resultat.

En enkel oversikt (Fig. A2) over år til år variasjoner i vindforholdene er vist ved midlere vindstress for januar, februar, mars vest av Danmark og for april like sør for ytre Oslofjord.

Sammenligning av beregnede nitratmengder i Skagerrak (med opphav fra Tyskebukta) ut fra HI's årlige tokt i siste halvdel av april, med tilsvarende modellerte resultat er vist i Figur A3. I modellen har vi kun beregnet det totale volum av "rent" Tyskebukt vann tilstede i Skagerrak, og grovt omregnet dette til nitratmengder ved å sette Tyskebukt vannets nitratkonsentrasjon fast til 40 $\mu\text{mol/l}$. De uavhengige beregningene basert på målinger er hentet fra Aure et al. 1995. Modellen gir realistiske absolutte verdier, og det er tildels en klar samsvar i variasjoner fra år til år. Ettersom Tyskebukt vannet ikke er entydig definert utfra de tiggjengelige måleparametre, er beregningene beheftet med store usikkerheter (Aure, pers. samtale). I tillegg er beregningene basert på instantane skipsmålinger i løpet av to uker, mens modellresultatene er et middel over de samme ukene, (samt at en del nitrat er forsvunnet med vår oppblomstringen og man har i modellen antatt den samme nitratkonsentrasjonen på Tyskebukt vannet hvert år, noe som ikke er tilfelle). Utfra dette kan man ikke forvente en god korrelasjon mellom målinger og modellresultat.

Horisontalfordeling

Fordelingen av Tyskebukt vannet i januar og mars er vist i Fig. 1 b-c, som et tillegg til fordelingen i siste halvdel av april (Fig. 1) i hovedteksten. Mengdene varierer mellom de ulike månedene, men det er ikke noen entydig sesongmessig forskjell mhp. totale mengder Tyskebukt vann tilstede inne i Skagerrak. Den eneste klare forskjellen er at det om vinteren (januar) er adskillig større mengder Tyskebukt vann tilstede i innstrømningsområdet langs Jylland.

Til sammenligning med de vertikalt integrerte mengdene av Tyskebukt vann (Fig.1, hovedtekst), viser konsentrasjonene i 5 og 20 m dyp (Fig. 1 d og 1 h) et helt annet fordelingsmønster. Dette bekrefter at Tyskebukt vannet oppholdes og blandes vertikalt over de sentrale og dype områdene i Skagerrak. Nordvest av Jylland (nær Hanstholm hvor det meste av vann fra Nordsjøen møtes) uttynnes Tyskebukt vannet kraftig og slippes inn i Skagerrak i høye konsentrasjoner kun i korte pulser. Modellen gir nærmest identiske

konsentrasjoner i 5 og 10 m dyp.

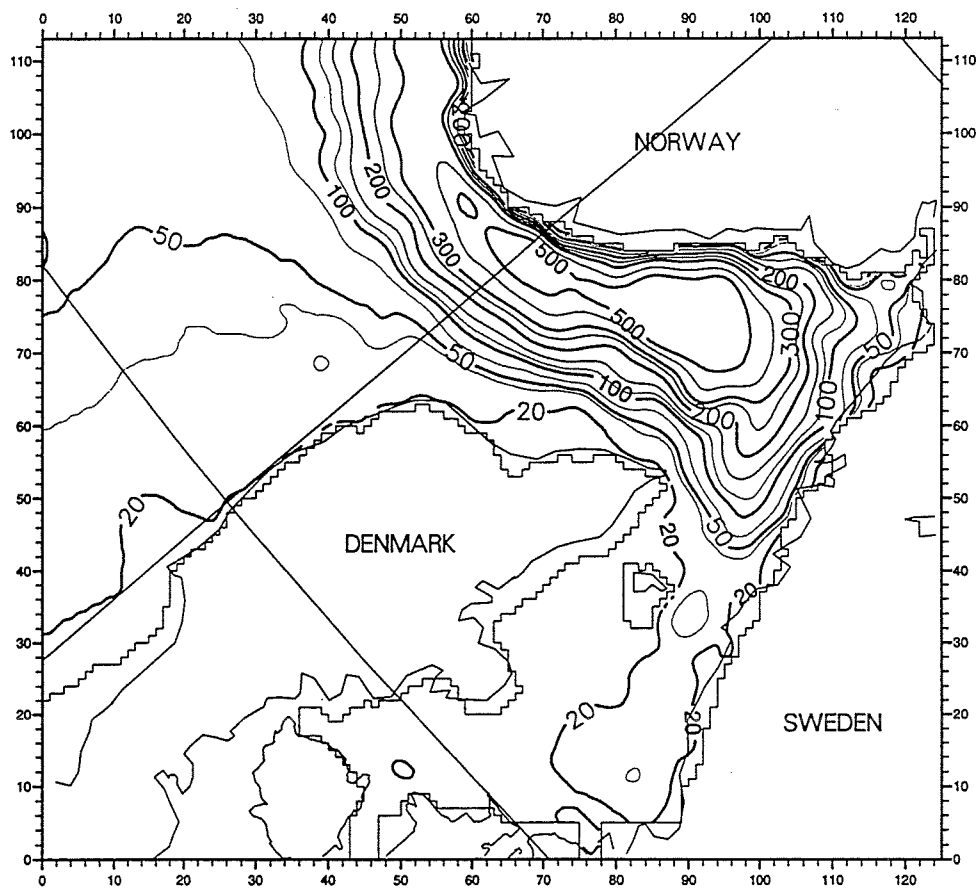
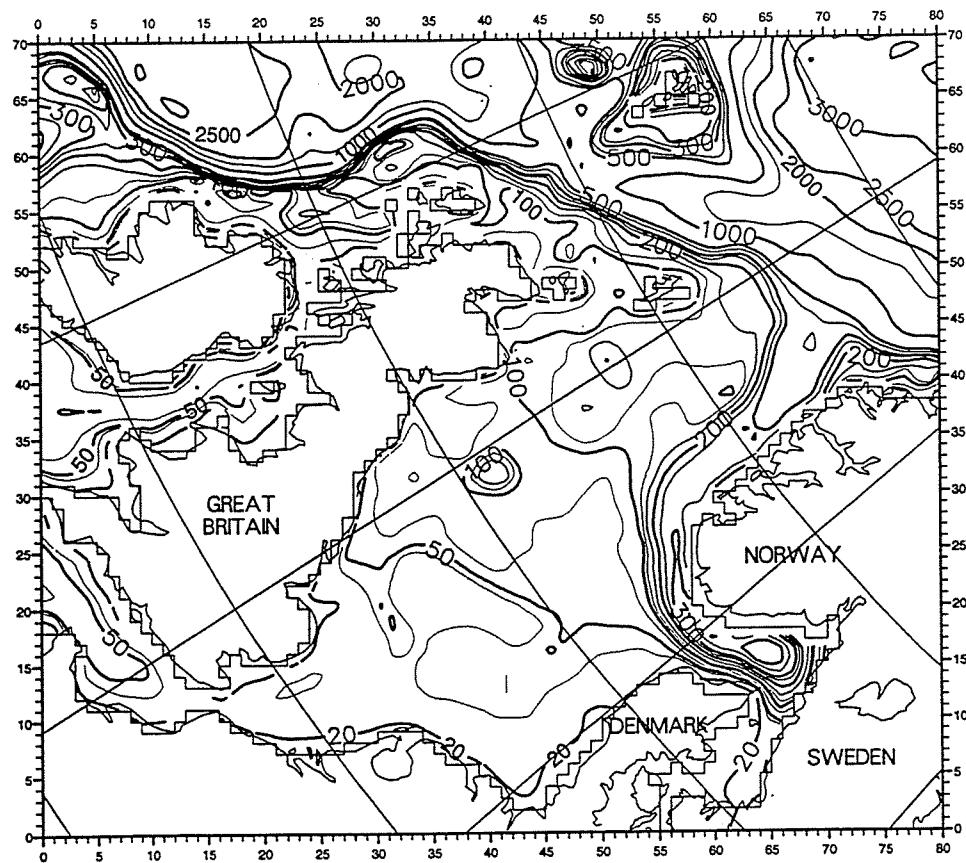
I Figur 1 f og 1 i er også konsentrasjonene av Østersjøvann i 5 og 20 m dyp vist. Her ser man tydelig den kraftige yttynningen som forekommer i Kattegat.

Tidsserier vanntransport

Som et supplement til Figur 2a i hovedtekst (og etter klart ønske fra NIVA) er volumtransportene av Tyskebukt vann gjennom (hele) snittet delt opp i henhold til saltholdighet ($S < 29.5$, $29.5 \leq S < 32.0$, $32.0 \leq S \leq 34.5$, $S > 34.5$) (Fig. 2a-1 til 2a-4). Dette viser klart at de største transportene skjer i de relativt ferske vannmassene, noe som betyr at det er en meget signifikant medrivning av Tyskebukt vann opp i det ferskere overflatevannet fra Østersjøen/Kattegat.

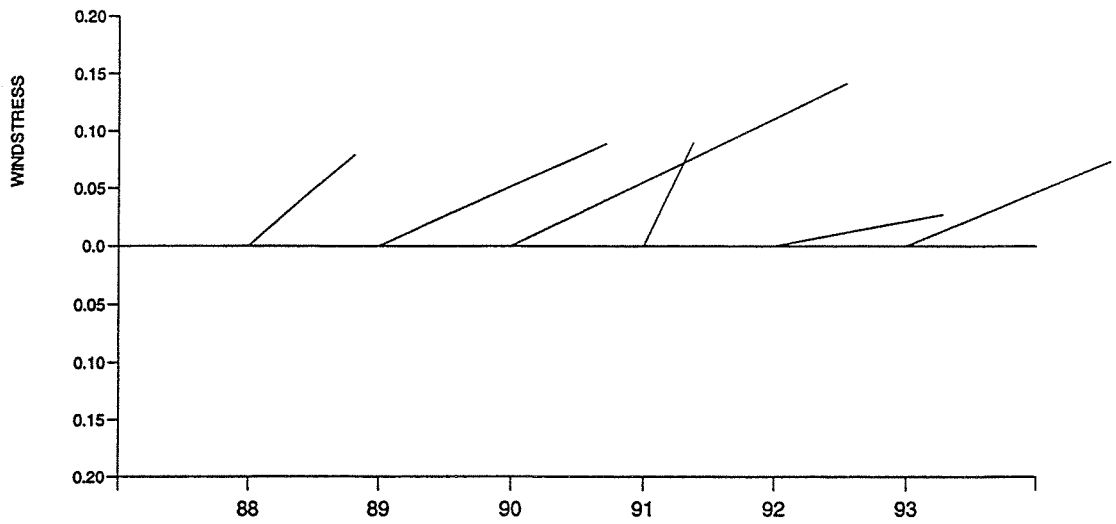
Med tilsvarende oppdeling etter saltholdighet, er også transportene gjennom snittet delt opp i en vestre og østre del der delingslinjen er plassert over (i østre kant av) det dypeste punkt på snittet (Fig. 2a-5 til 2a-12). Her ser man som forventet større forskjeller mellom inn- og utstrømning ettersom volumbalanse ikke er påkrevd.

Tilsvarende som for Tyskebukt vannet er transportene for Østersjøvann (Fig. 2b-1 til 2b-12) og Nordsjøvann (2c-1 til 2c-12) inndelt i henhold til saltholdighet og østre-vestre del av snittet. I ennå større grad enn for Tyskebukt vannet er transporten av Østersjøvannet som forventet koblet til de ferskeste vannmassene.

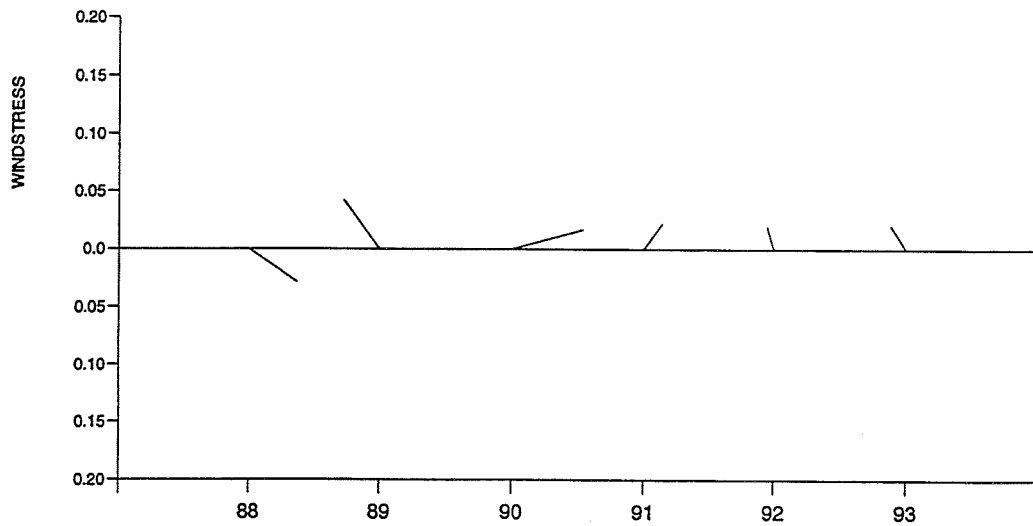


Figur A1 Dybdeforholdene [m] i de to koblede modellområdene for Nordsjøen (øverst) og Skagerrak/Kattegat.

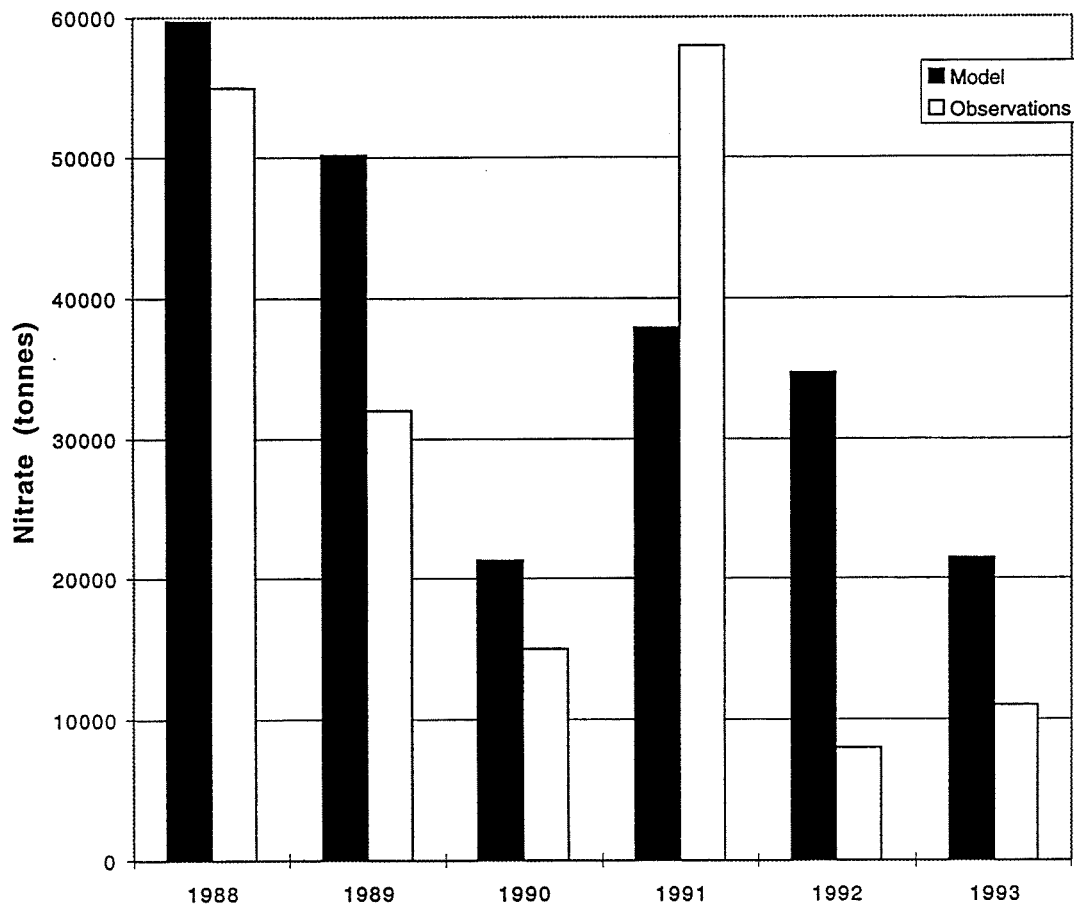
MEAN WIND STRESS WEST OF DENMARK (Jan-Feb-Mar)



MEAN WIND STRESS IN SOUTHERN OSLOFJORD (April)



Figur A2 År til år variasjoner av midlere vindstress for januar, februar, mars vest av Danmark (øverst) og for april like sør for ytre Oslofjord.



Figur A3 Sammenligning av beregnede nitratmengder i Skagerrak (med opphav fra Tyskebukta) ut fra HI's årlige tokt i siste halvdel av april, med tilsvarende modellerte resultat.

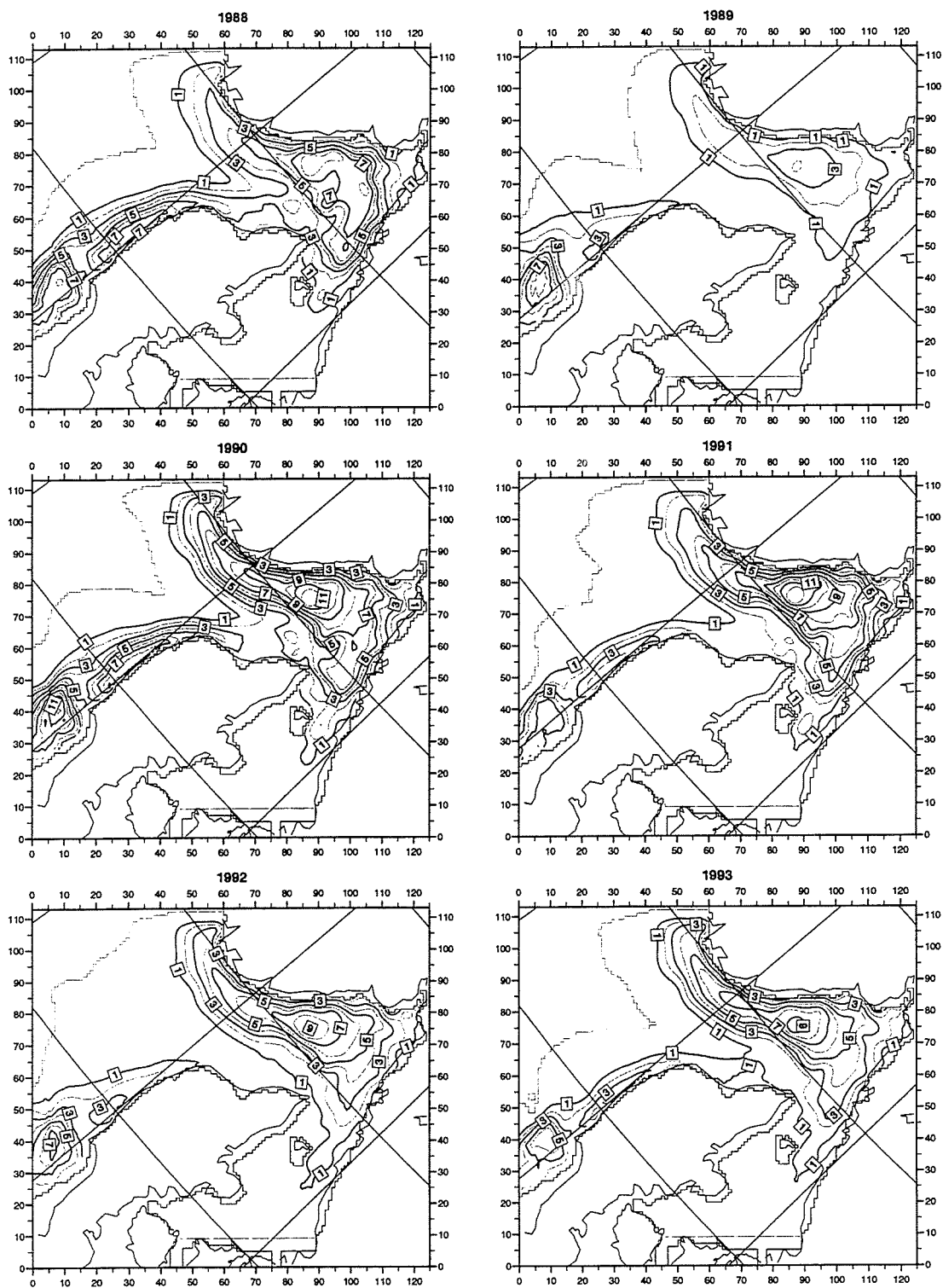


Fig. 1b Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede modellerte fordelinger i januar for seks ulike år (1988-1993) av vertikalintegreerte vannmengder fra Tyskebukta gitt som "rent" Tyskebukt vann [$m^3/m^2 = m$].

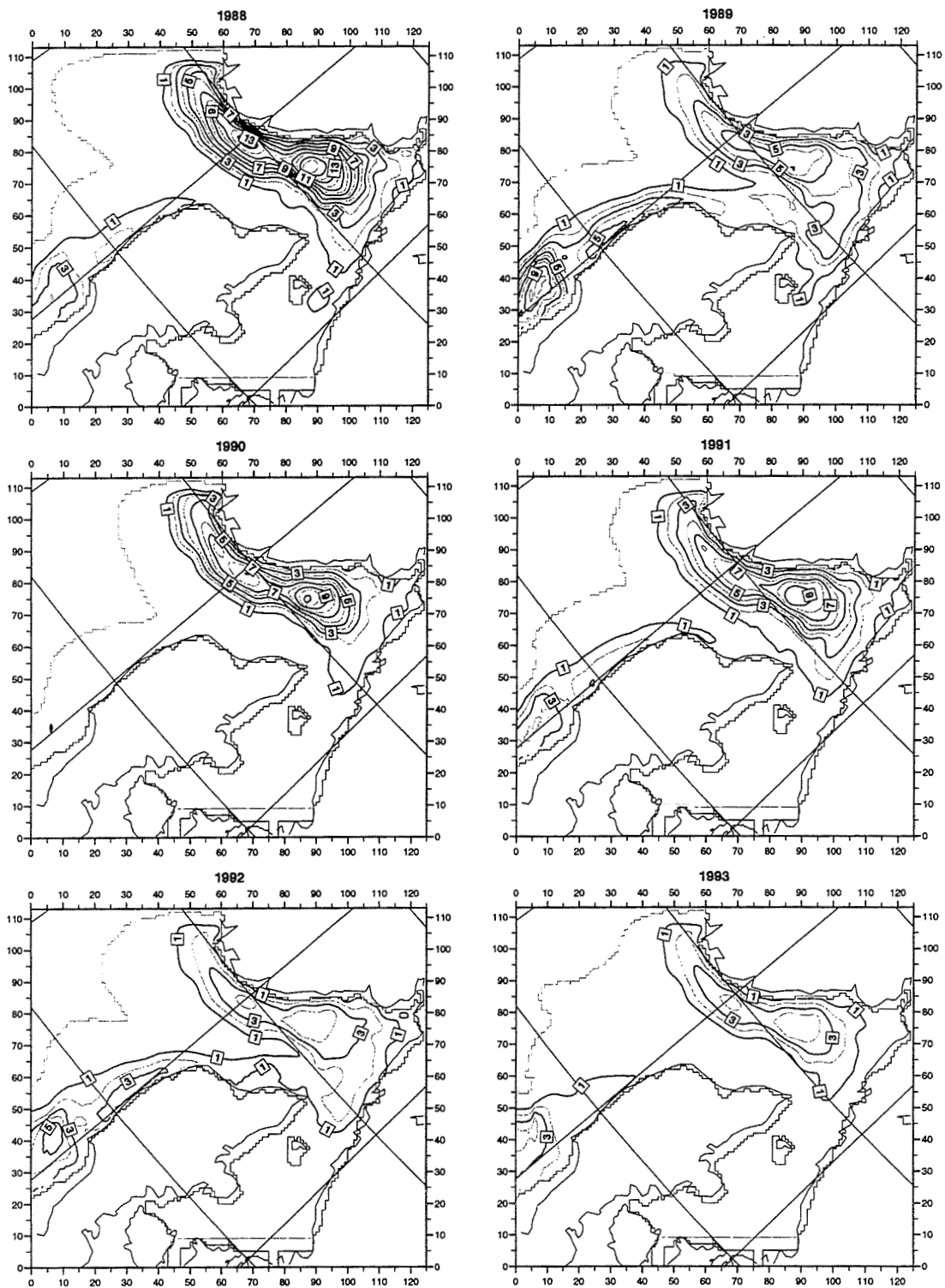


Fig. 1c Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede modellerte fordelinger i mars for seks ulike år (1988-1993) av vertikalintegreerte vannmengder fra Tyskebukta gitt som "rent" Tyskebuktvann [$m^3/m^2 = m$].

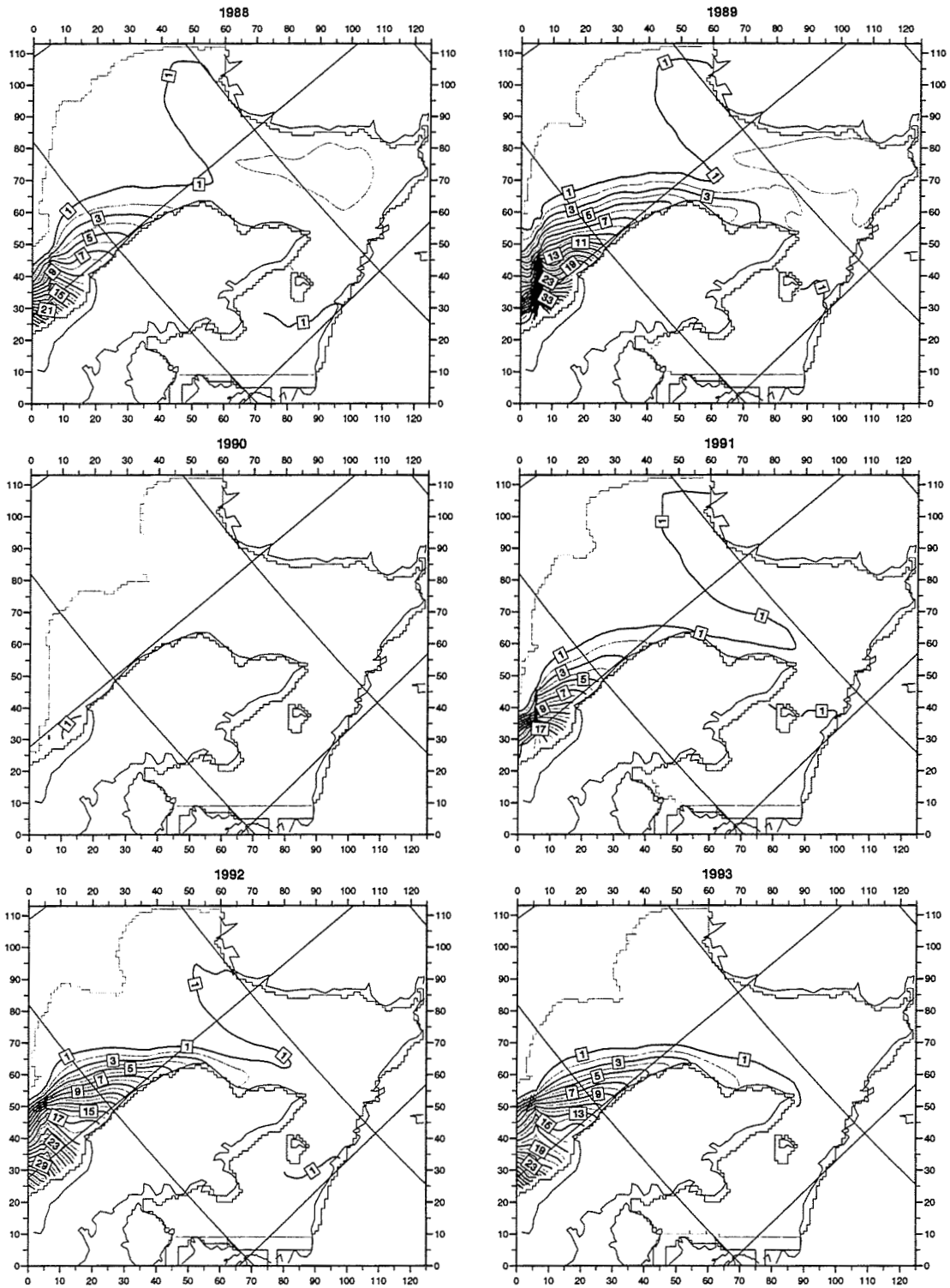


Fig. 1d Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede (15. -30. april) modellerte konsentrasjoner (%) av Tyskebukt vann i 5 m for seks ulike år (1988-1993).

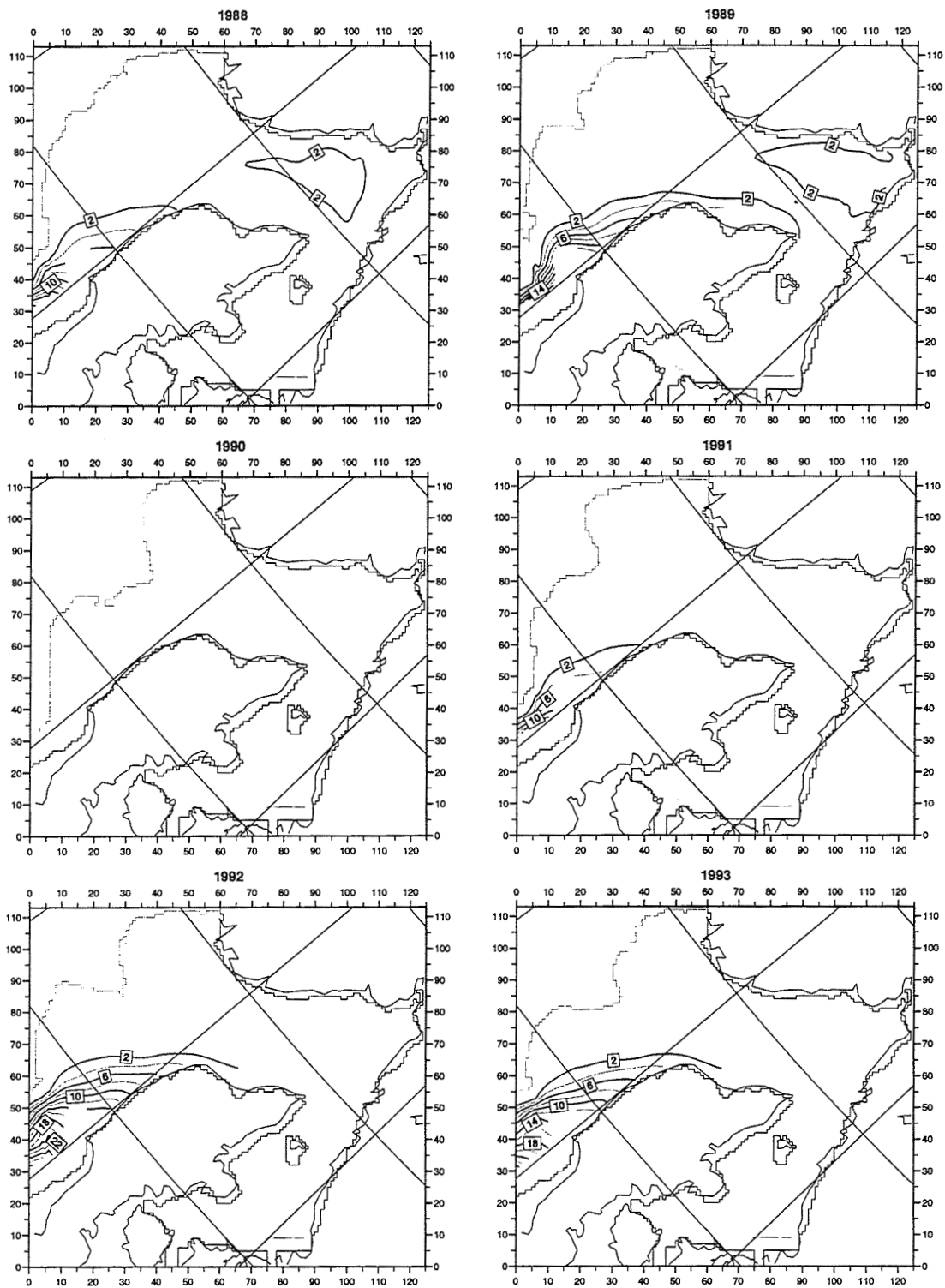


Fig. 1h Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede (15. -30. april) modellerte konsentrasjoner (%) av Tyskebukt vann i 20 m for seks ulike år (1988-1993).

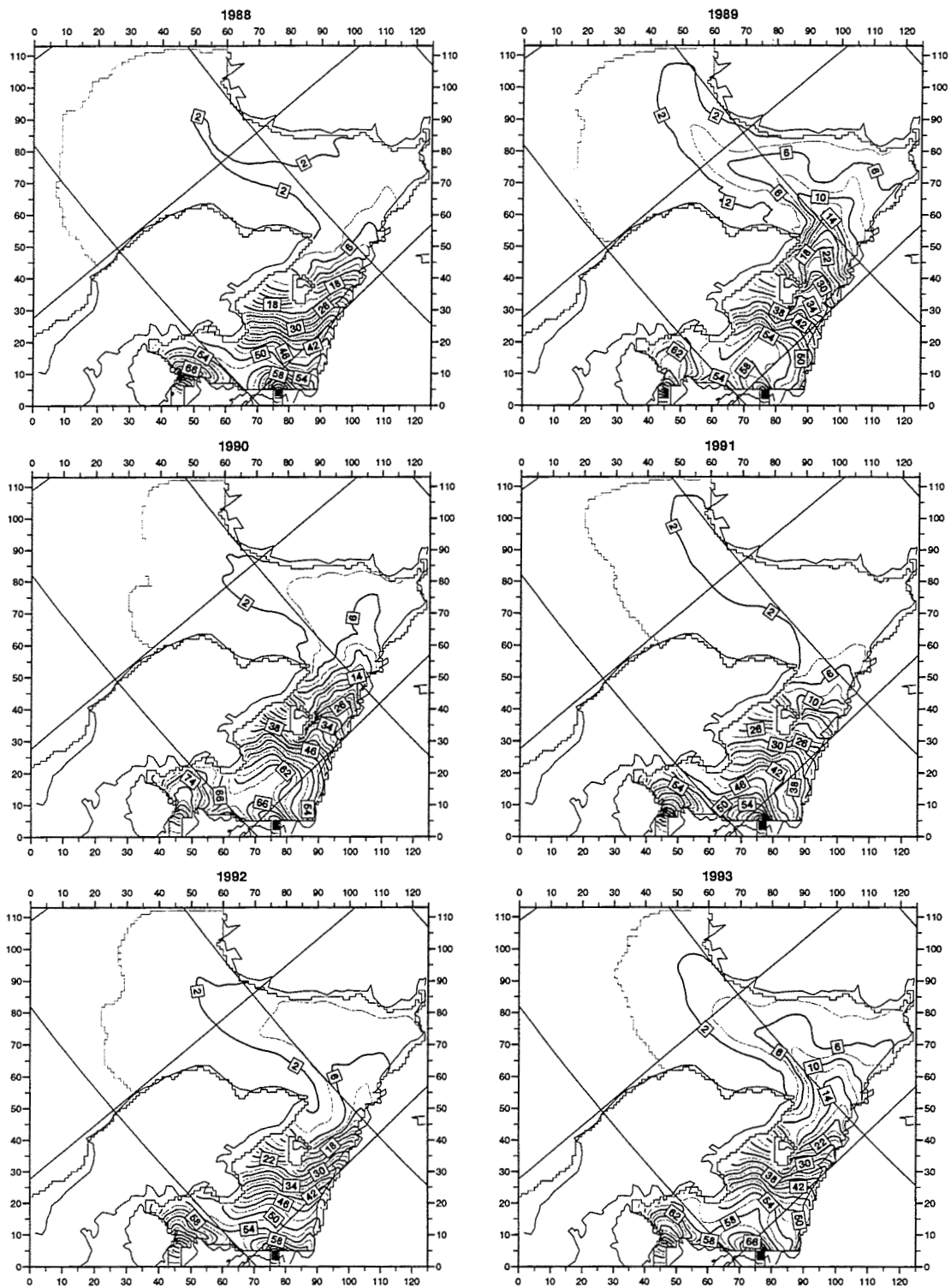


Fig. 1f Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede (15. -30. april) modellerte konsentrasjoner (%) av Østersjøvann i 5 m for seks ulike år (1988-1993).

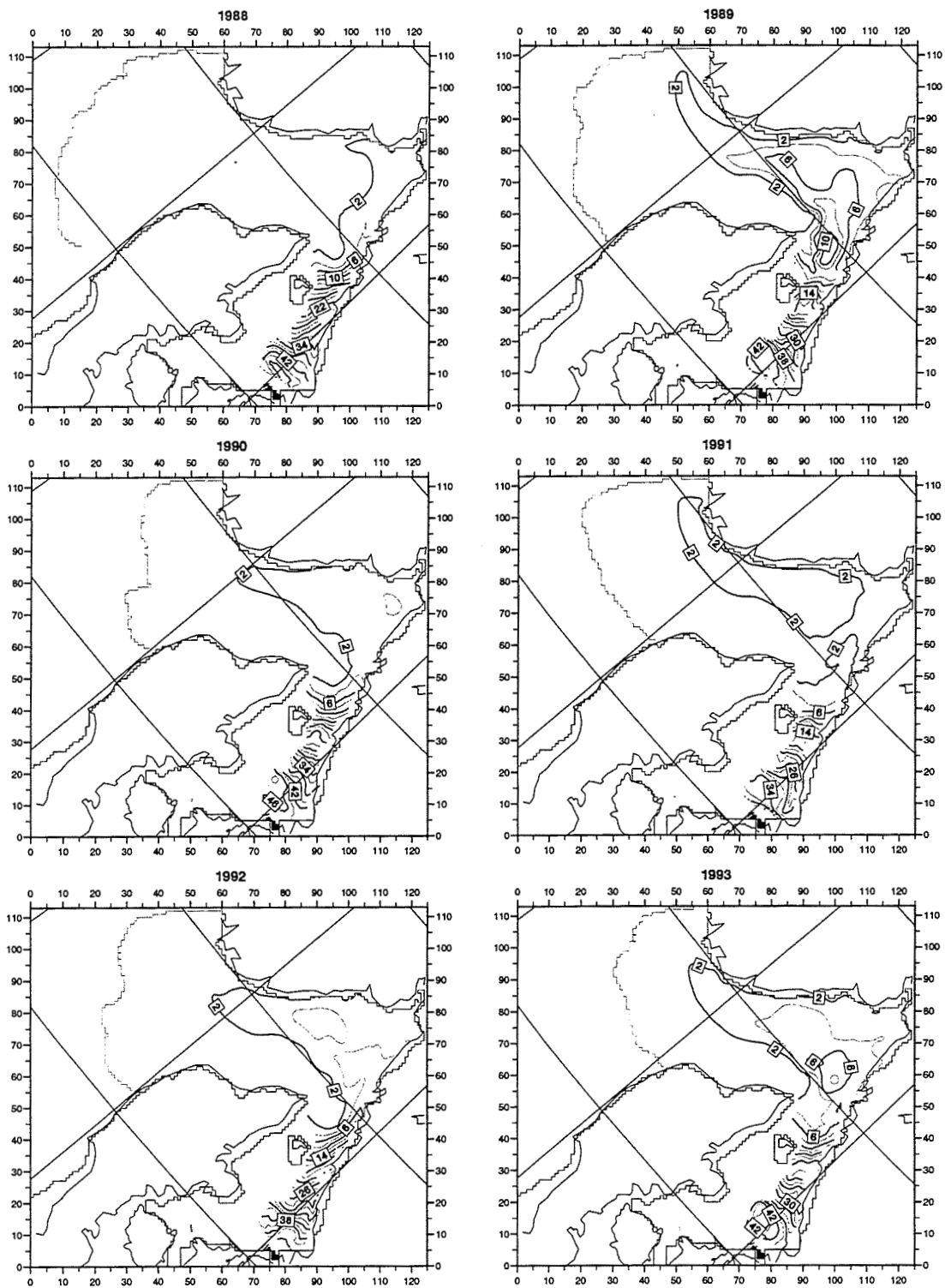


Fig. 1i Finskala modellområde av Skagerrak og Kattegatt med tidsmidlede (15. -30. april) modellerte konsentrasjoner (%) av Østersjøvann i 20 m for seks ulike år (1988-1993).

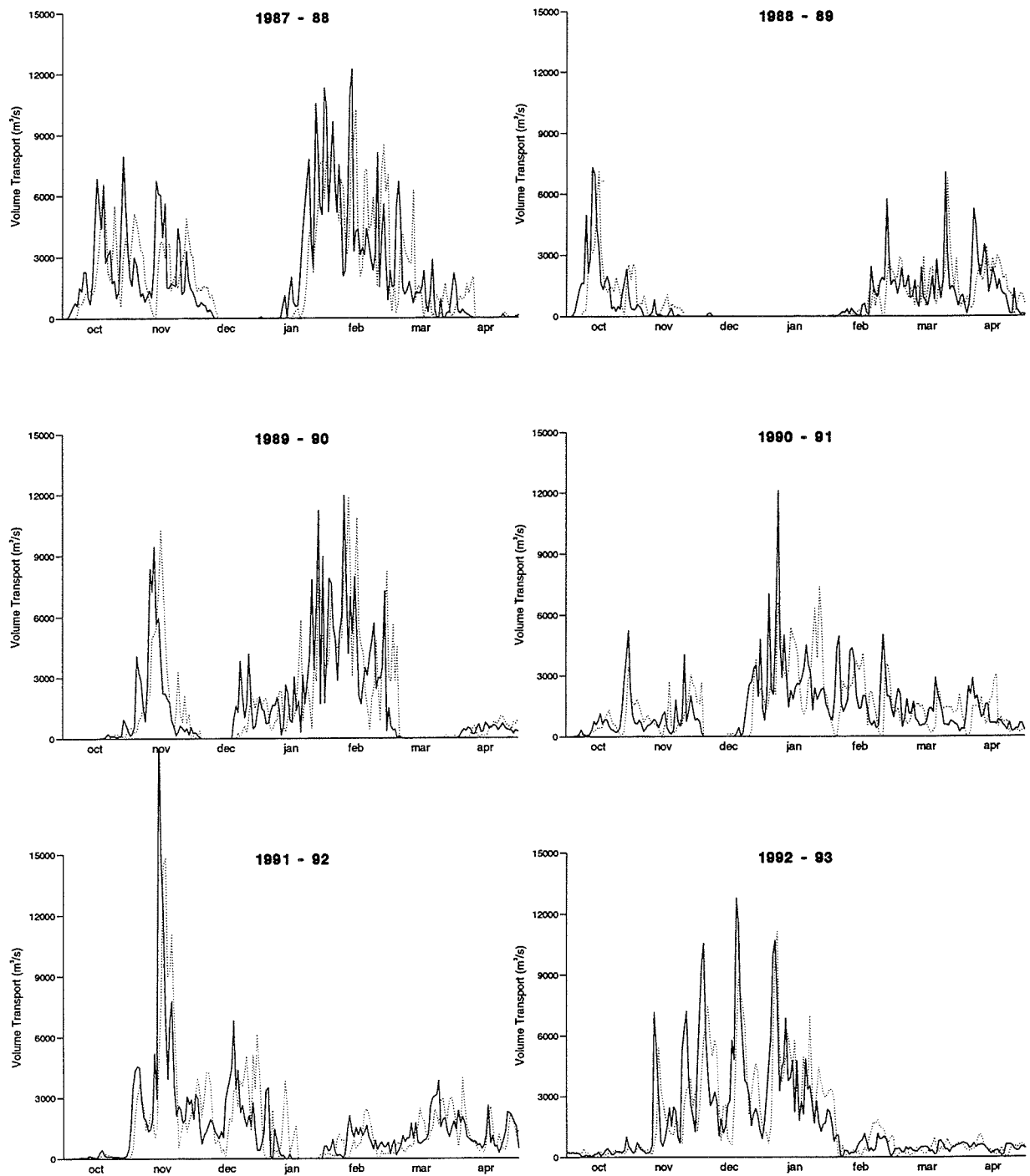


Fig. 2a-1 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebuktvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

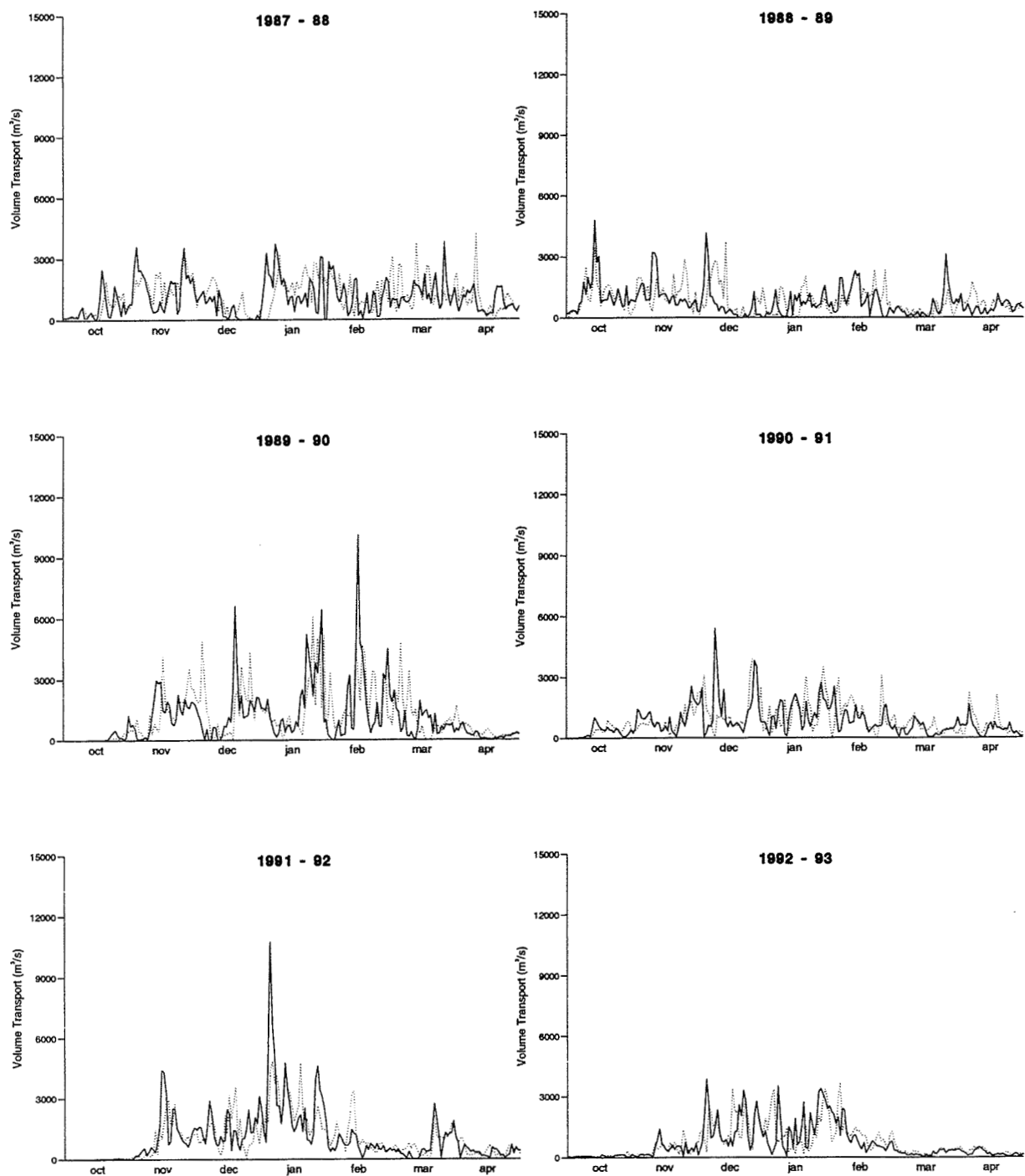


Fig. 2a-2 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

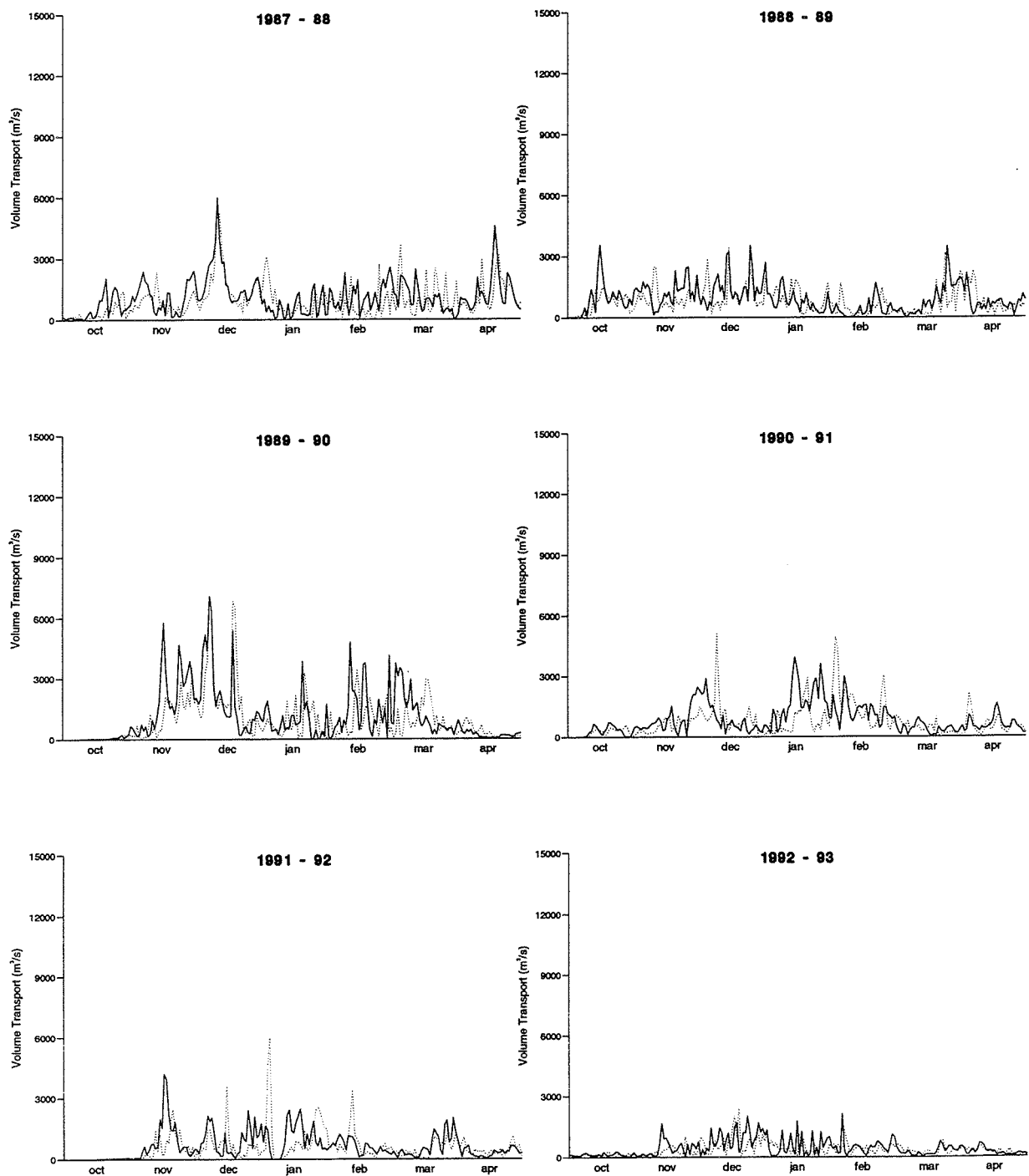


Fig. 2a-3 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

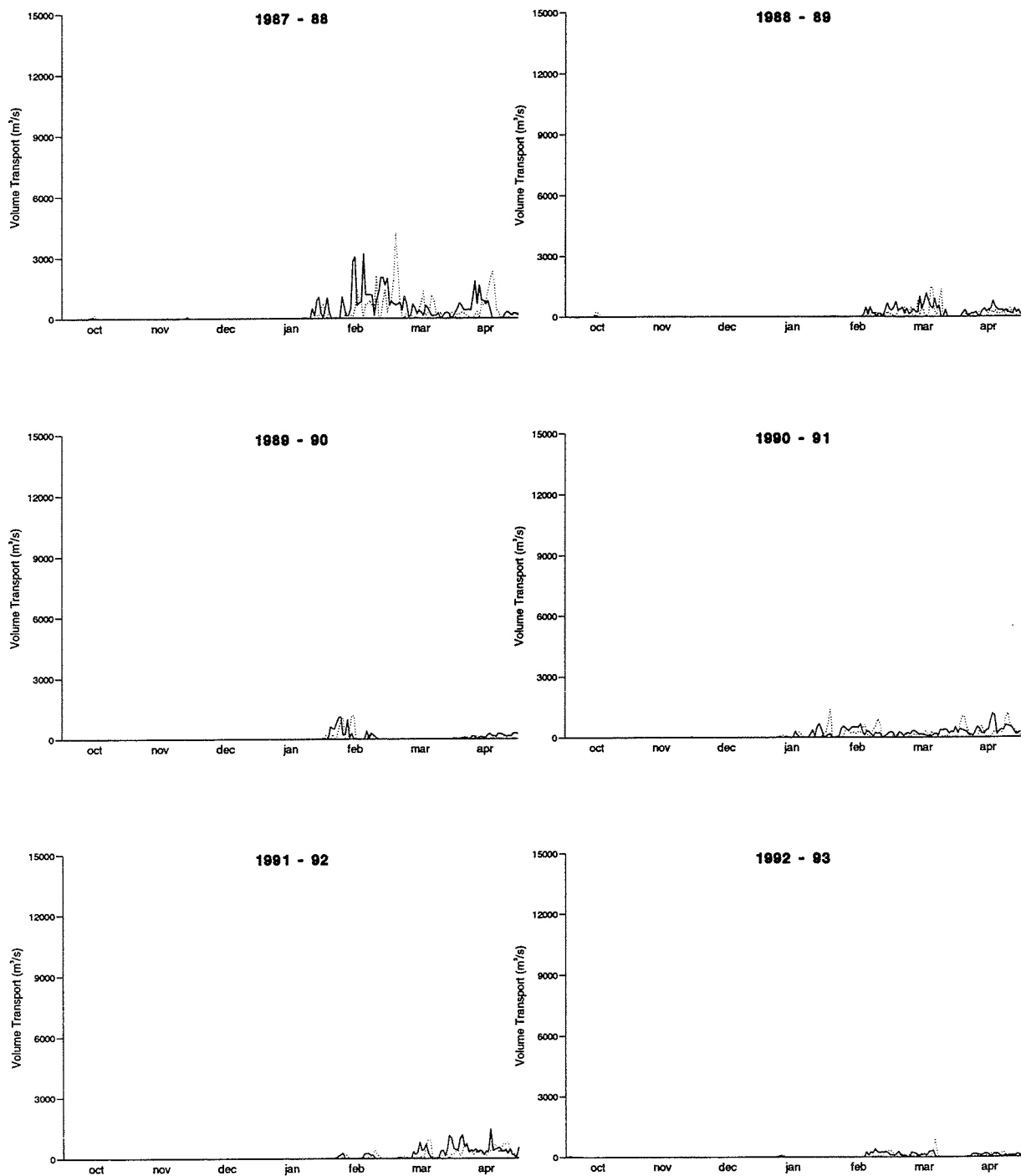


Fig. 2a-4 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

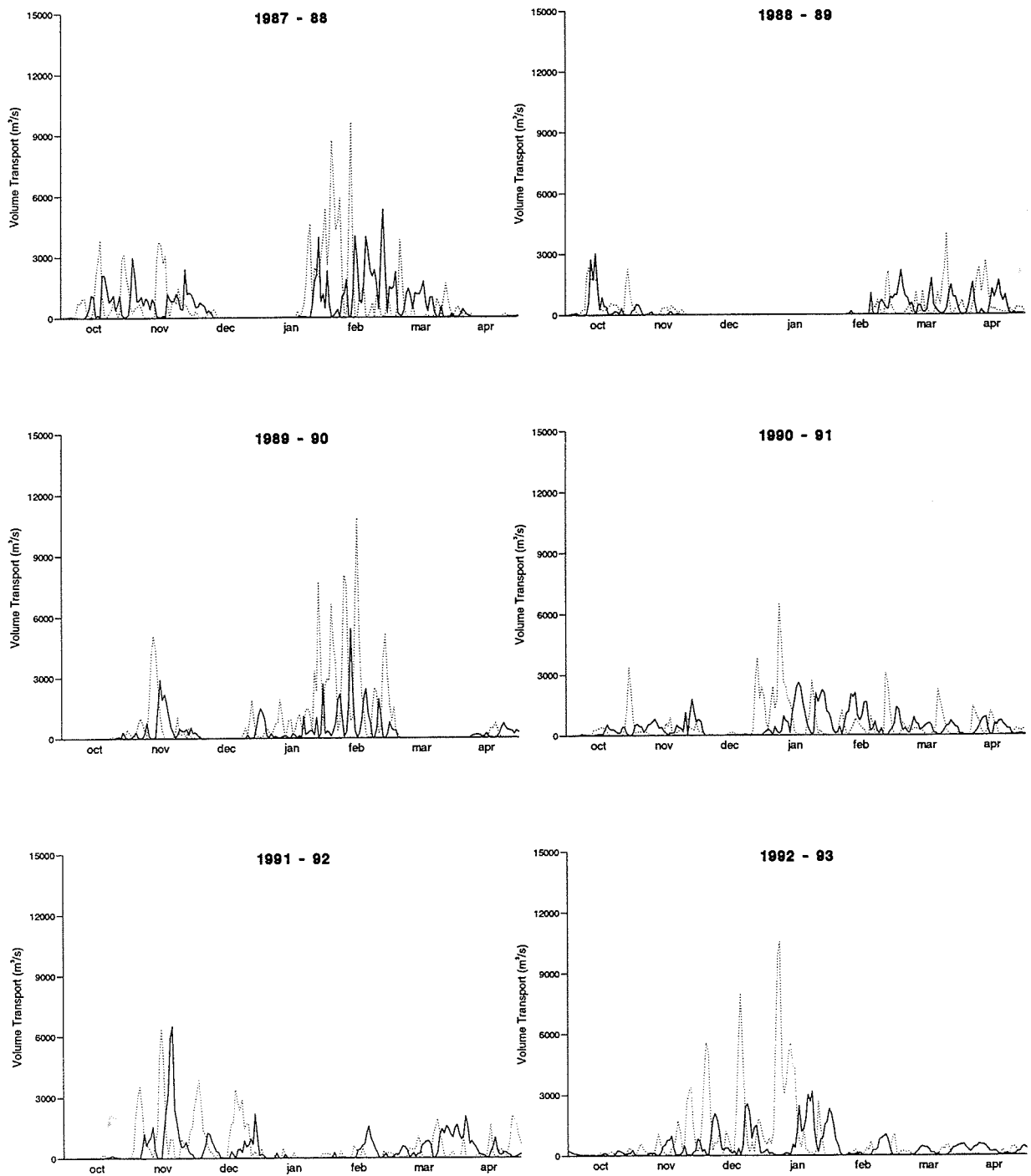


Fig. 2a-5 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

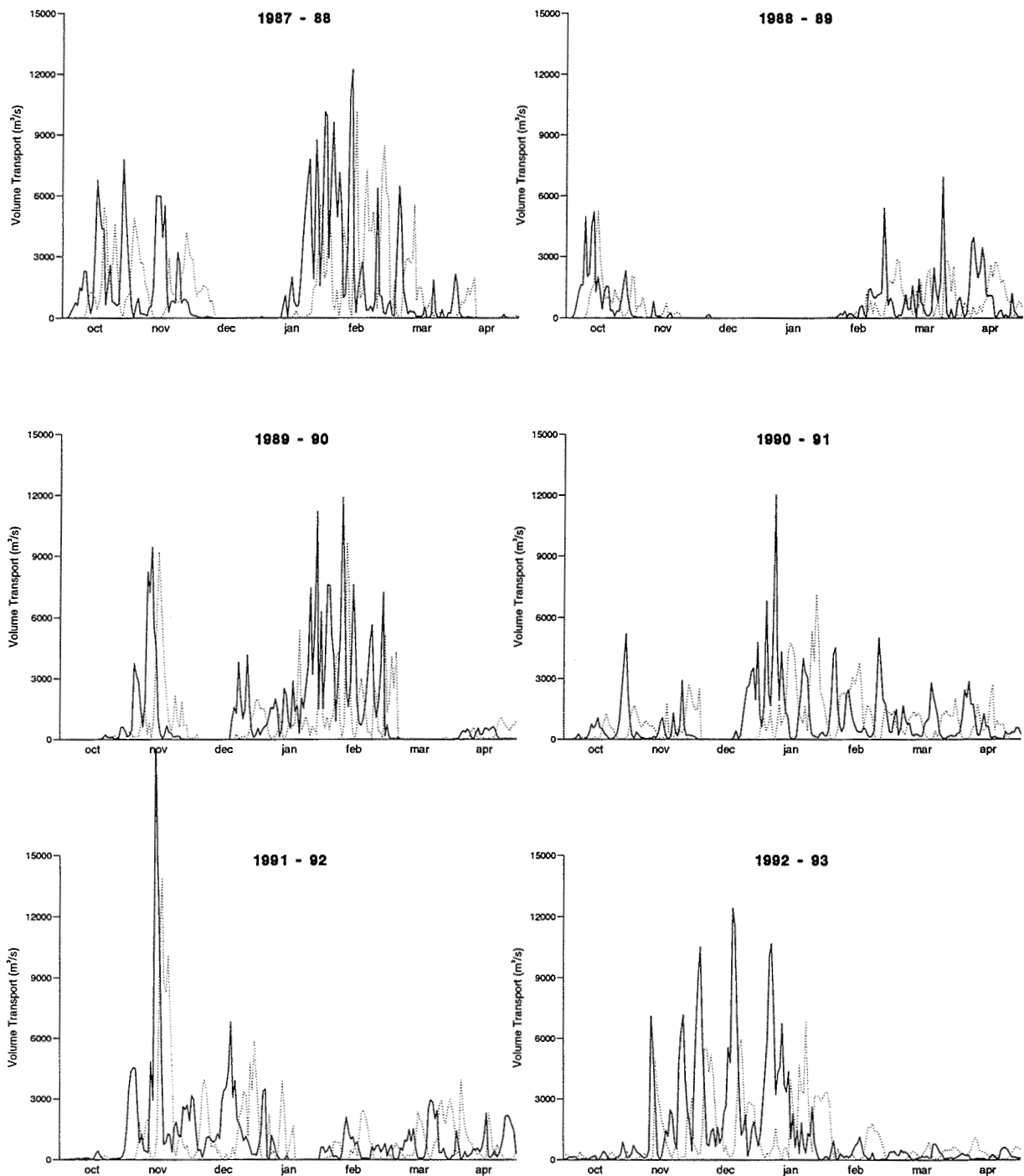


Fig. 2a-6 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

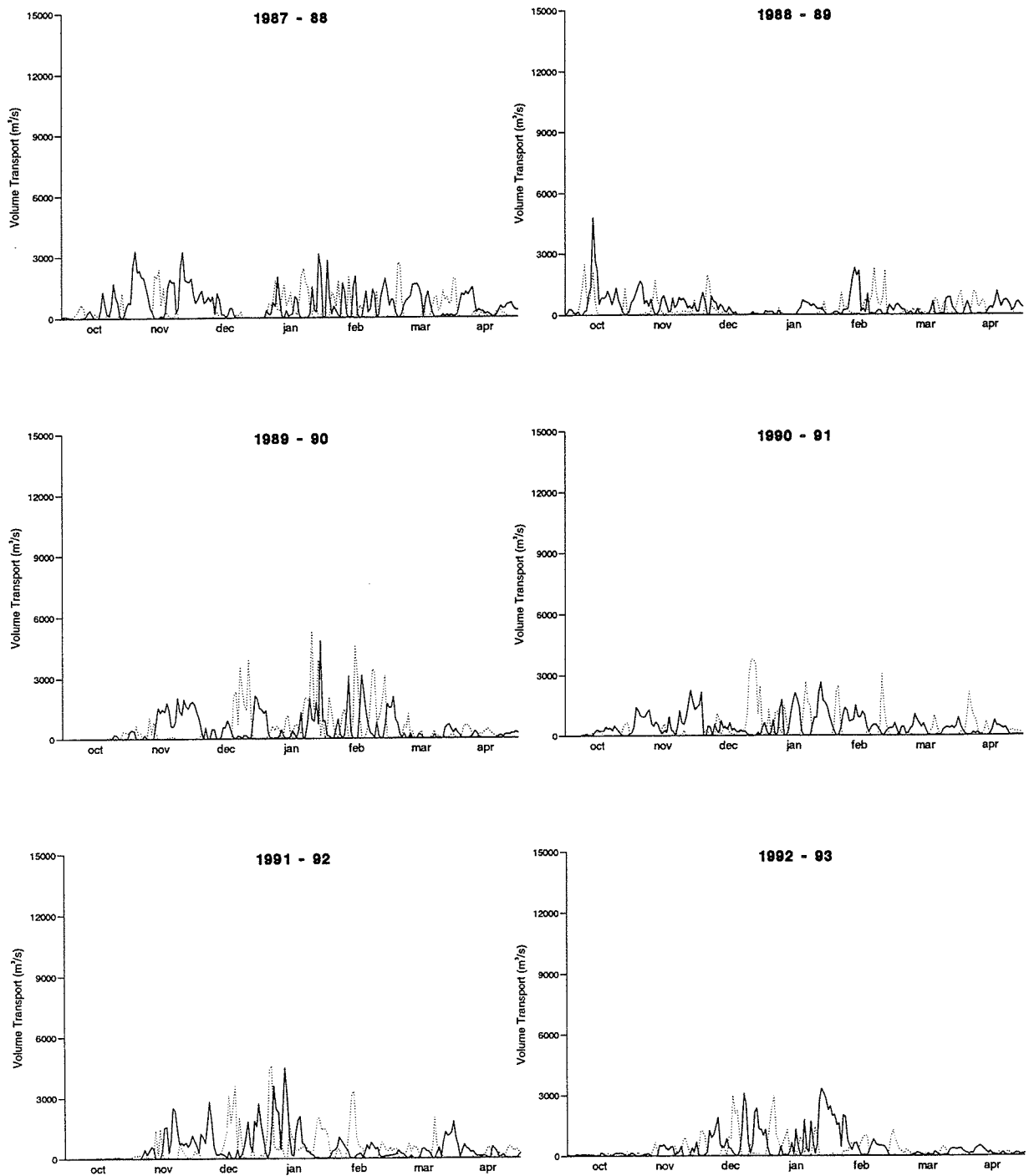


Fig. 2a-7 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

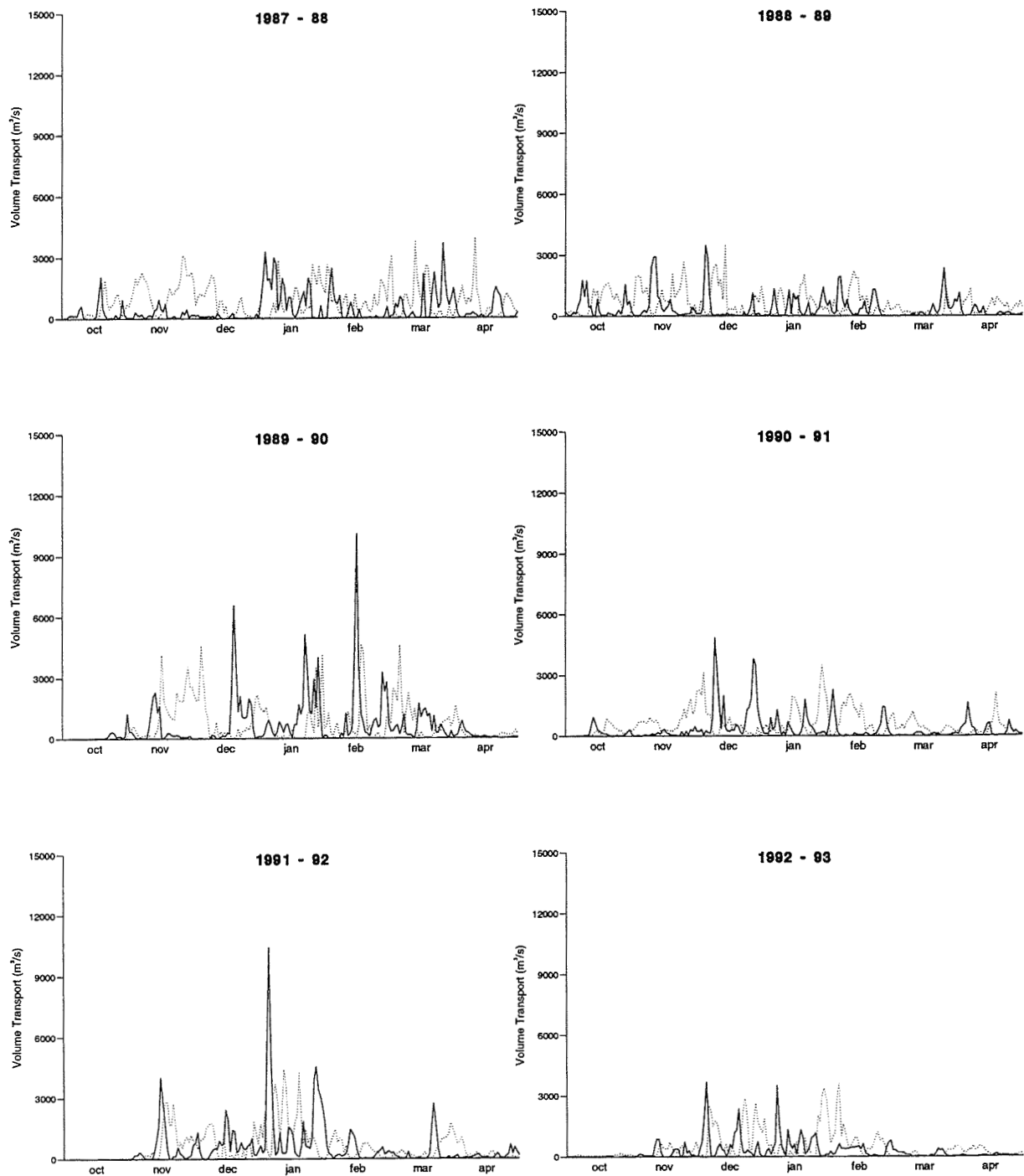


Fig. 2a-8 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

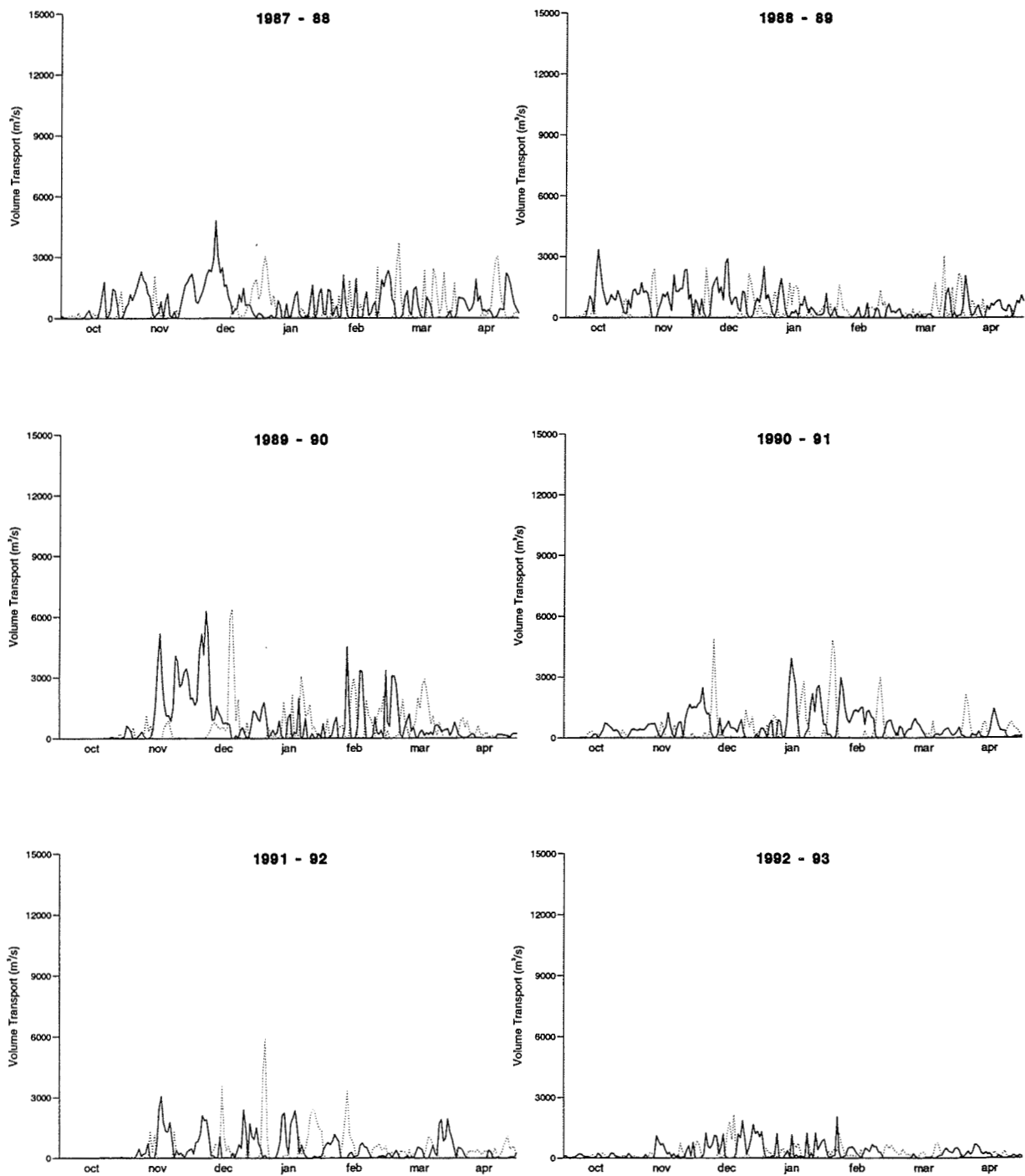


Fig. 2a-9 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

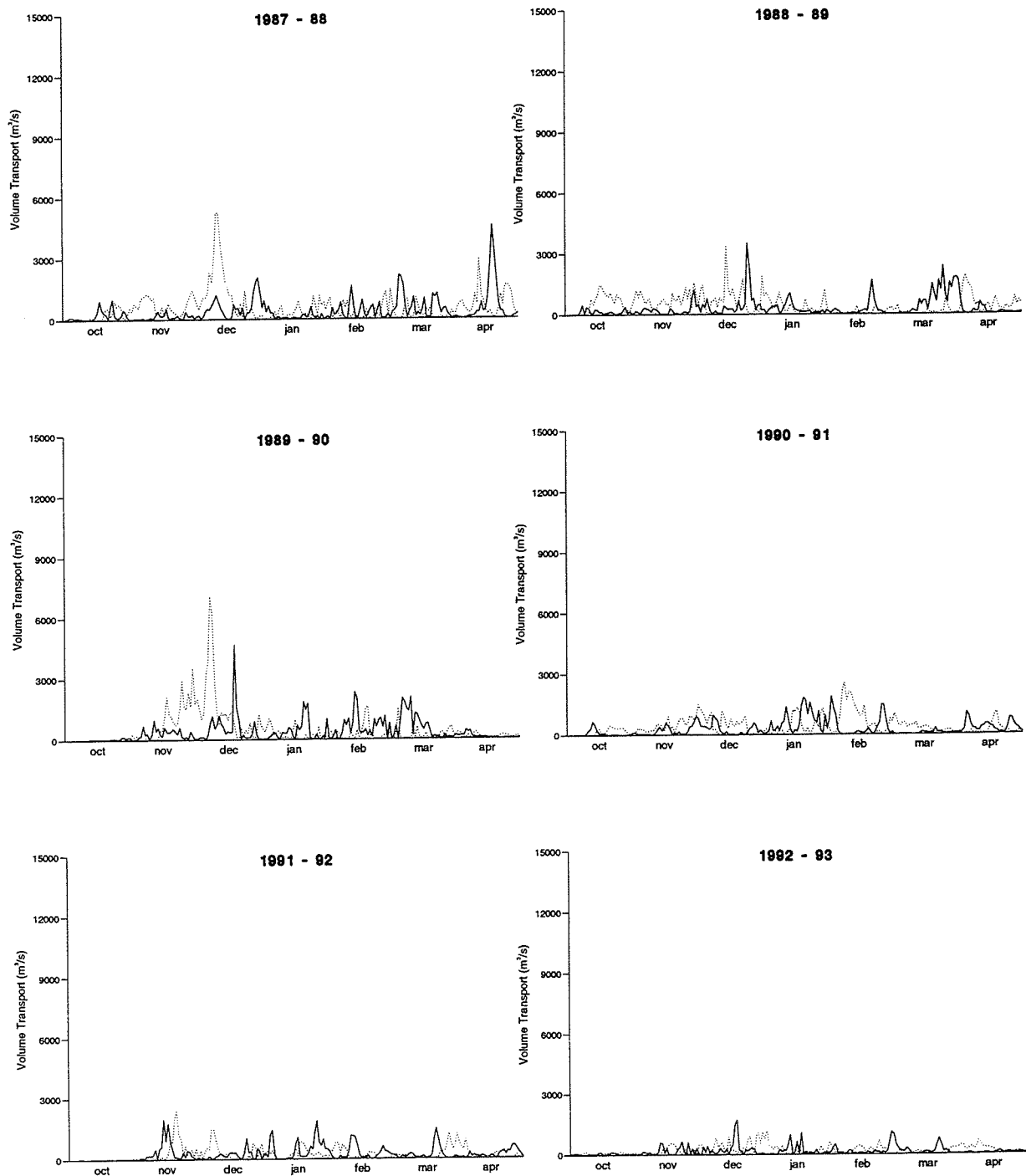


Fig. 2a-10 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

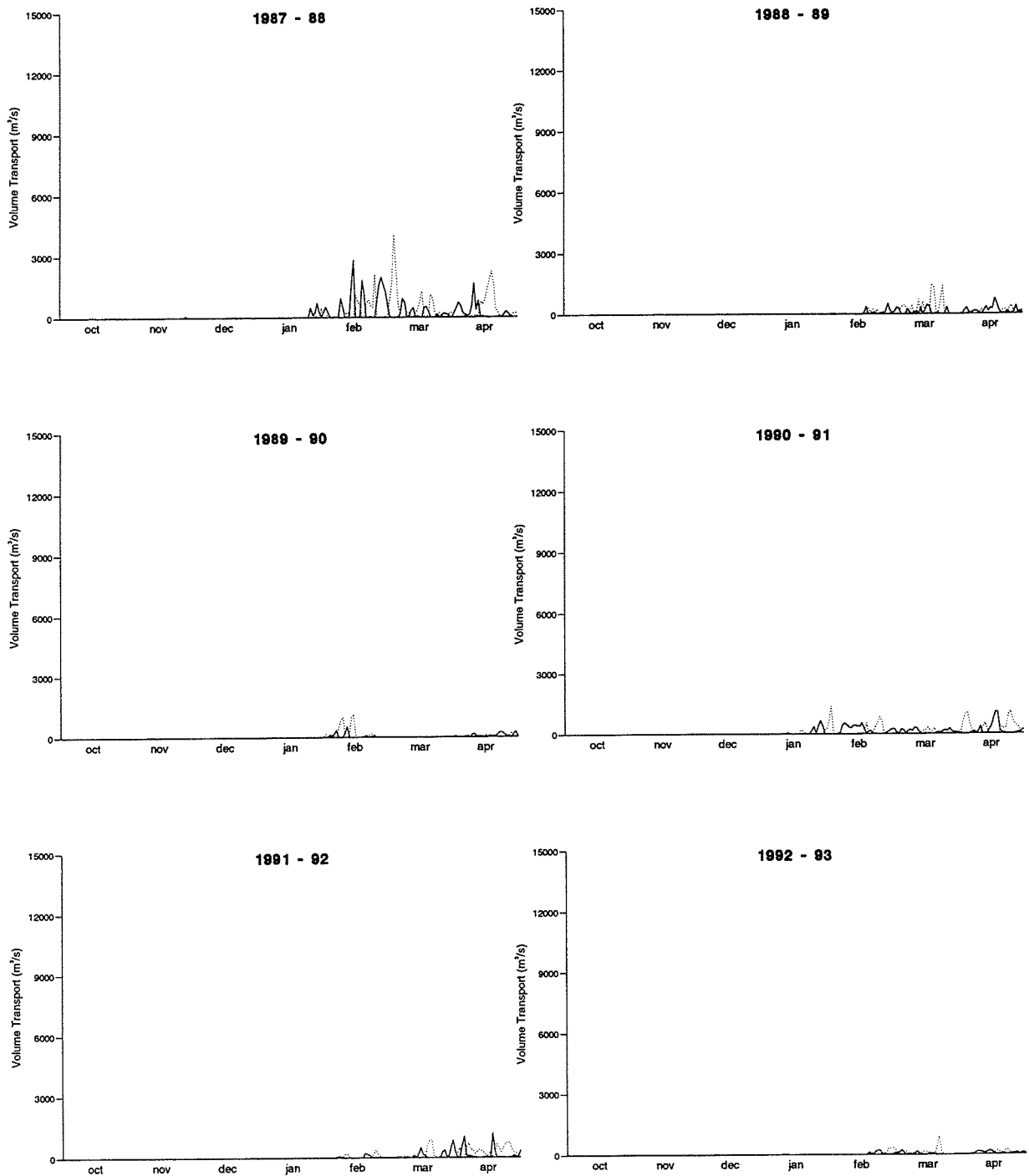


Fig. 2a-11 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

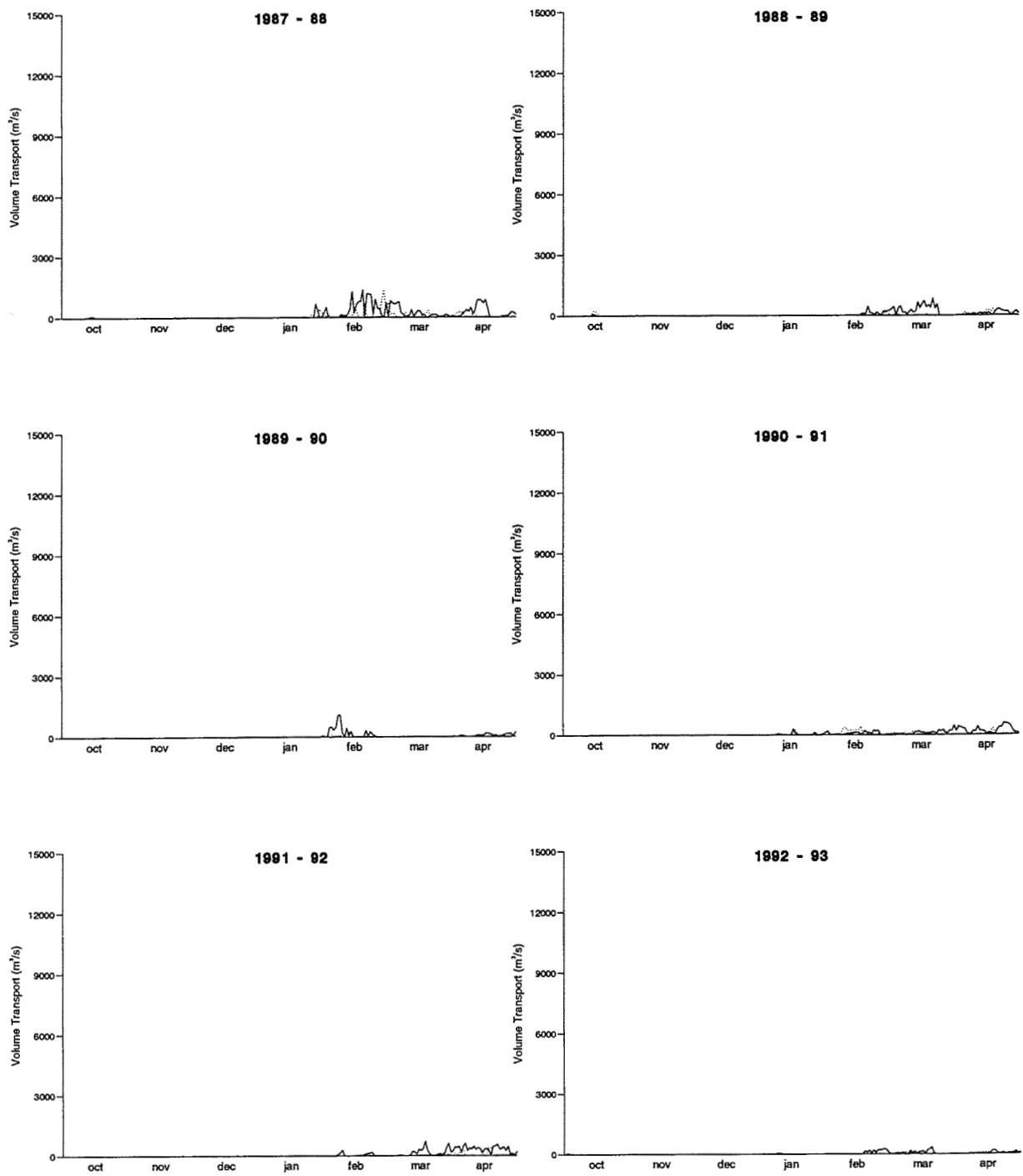


Fig. 2a-12 Modellerte tidsserier av volumtransport av Tyskebukt vann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

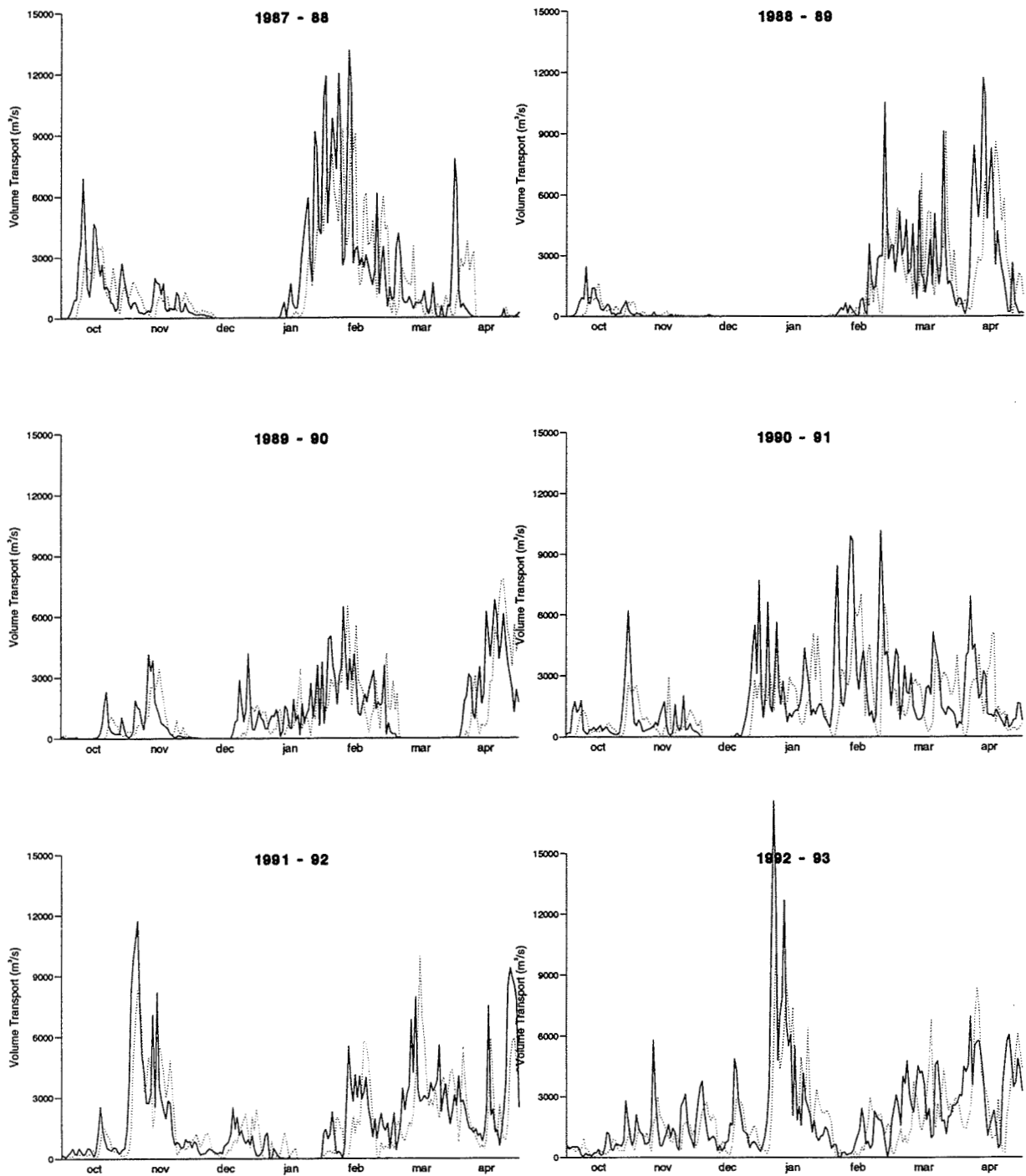


Fig. 2b-1 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

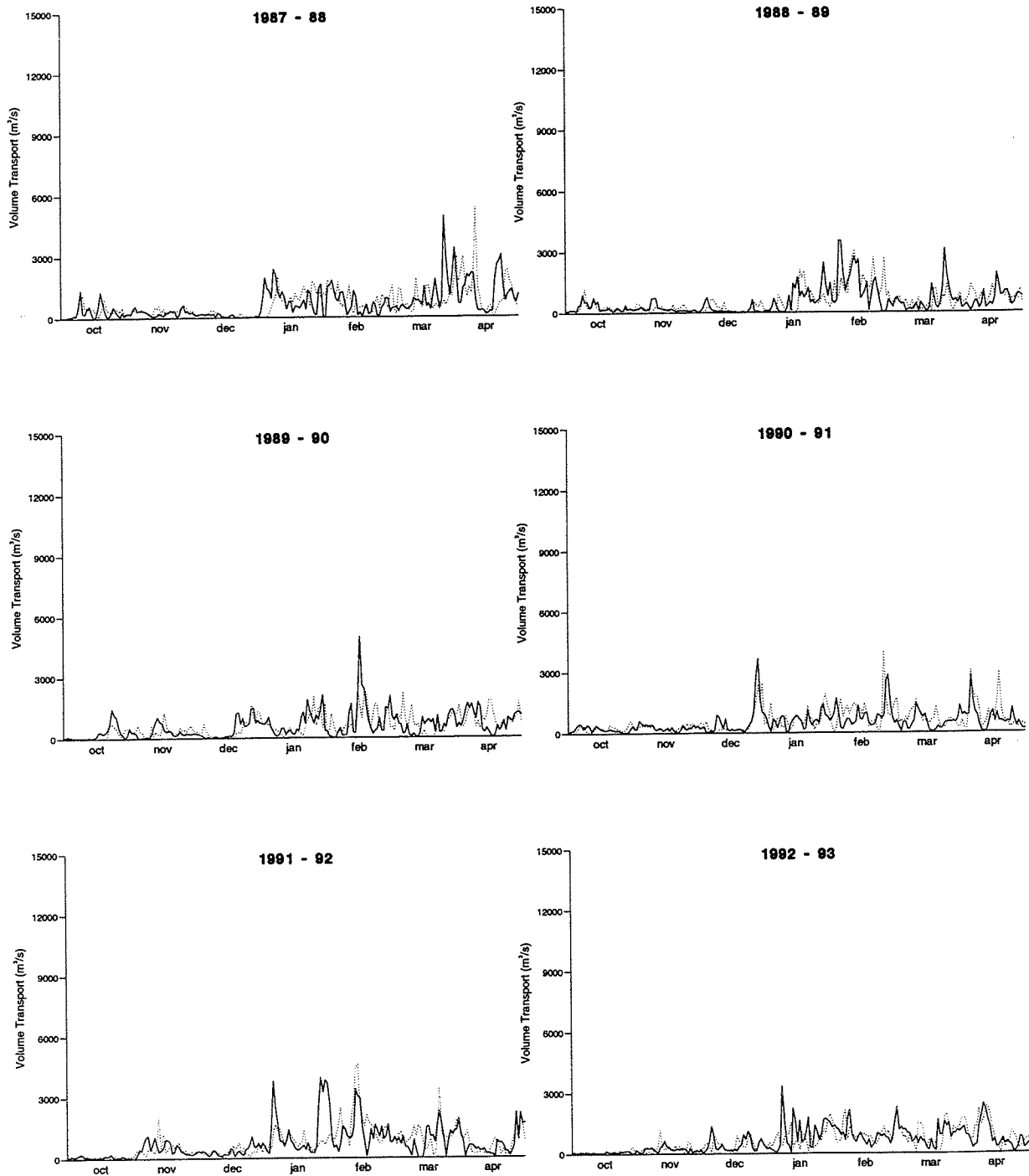


Fig. 2b-2 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

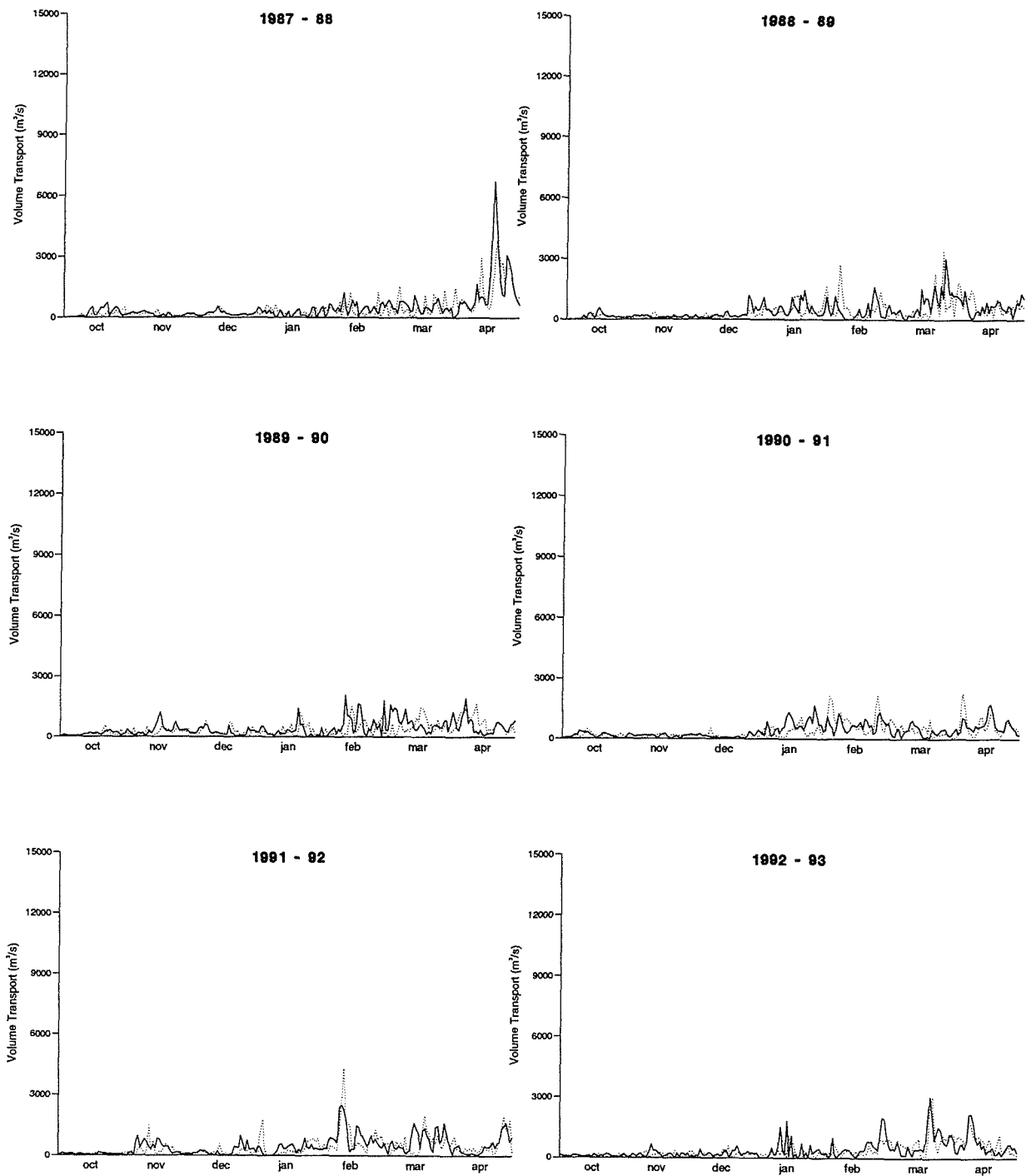


Fig. 2b-3 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

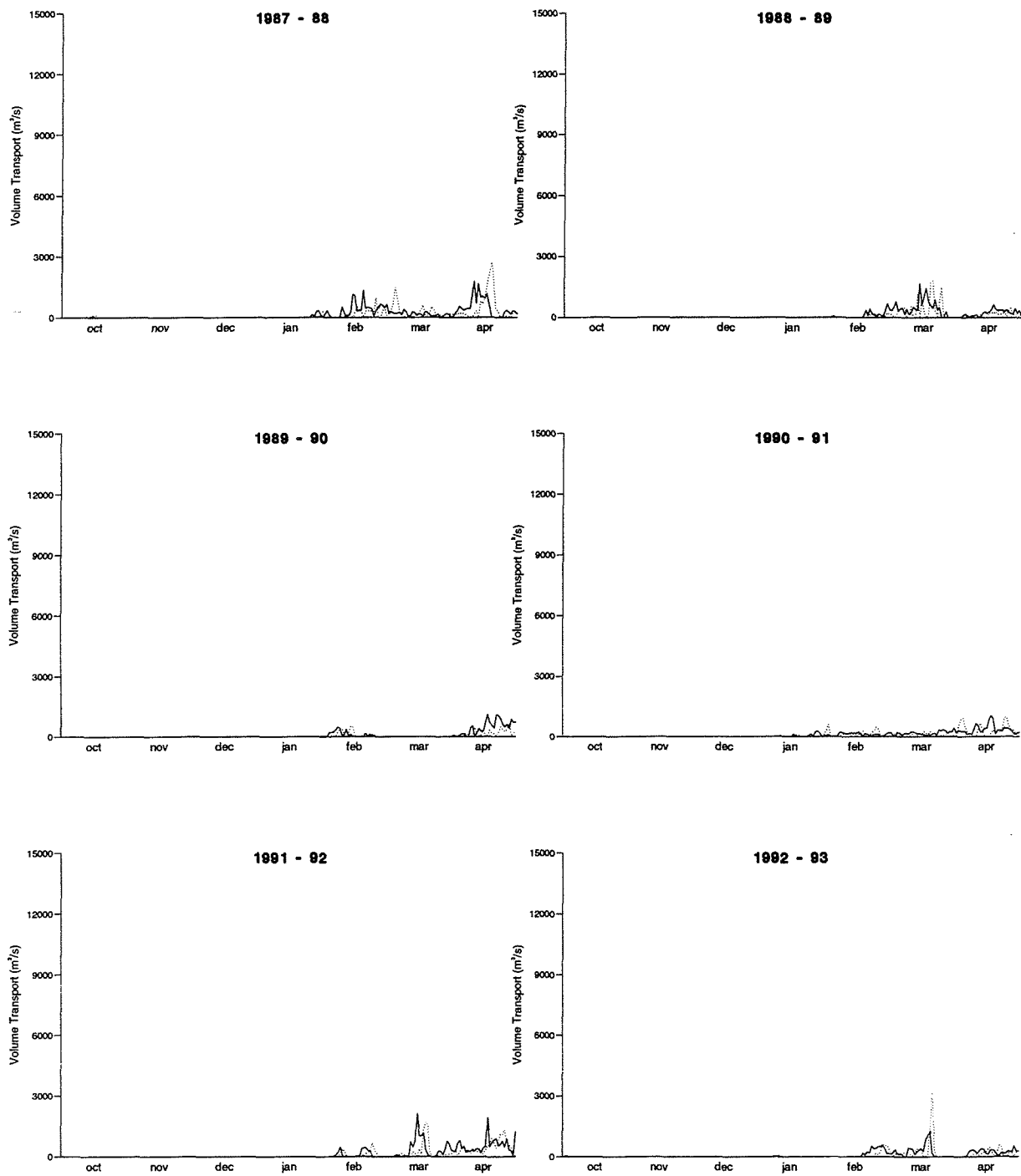


Fig. 2b-4 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

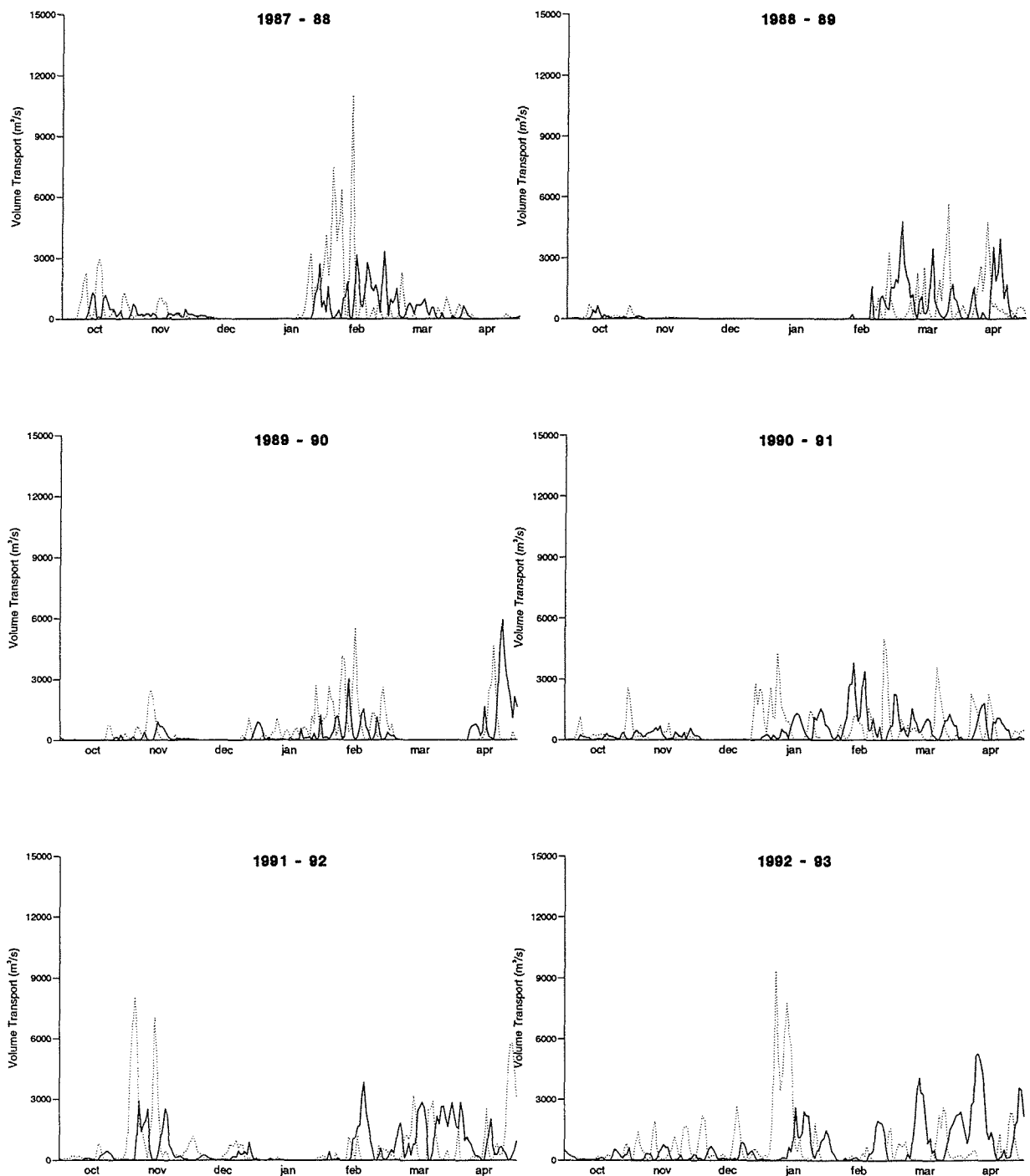


Fig. 2b-5 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

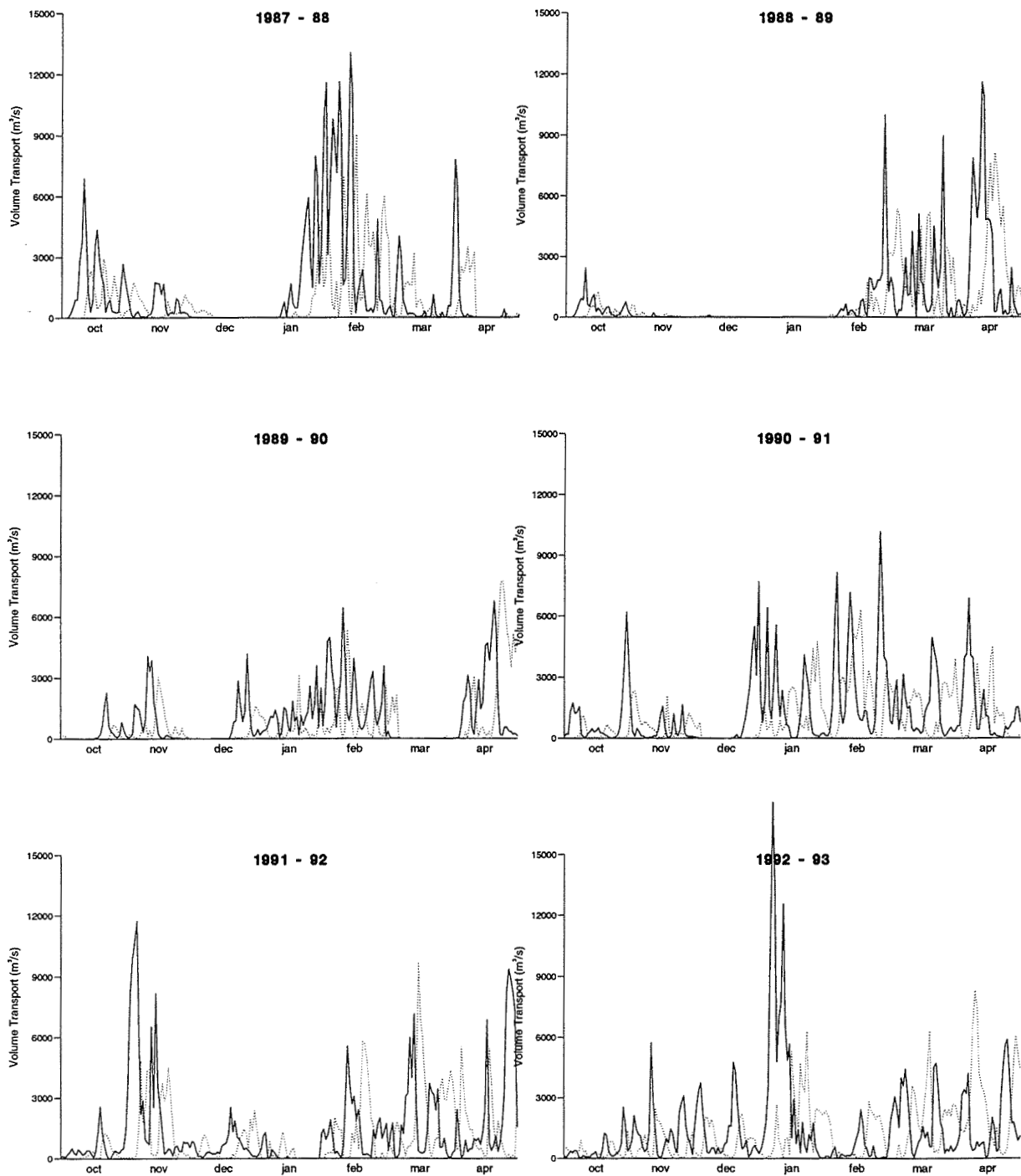


Fig. 2b-6 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

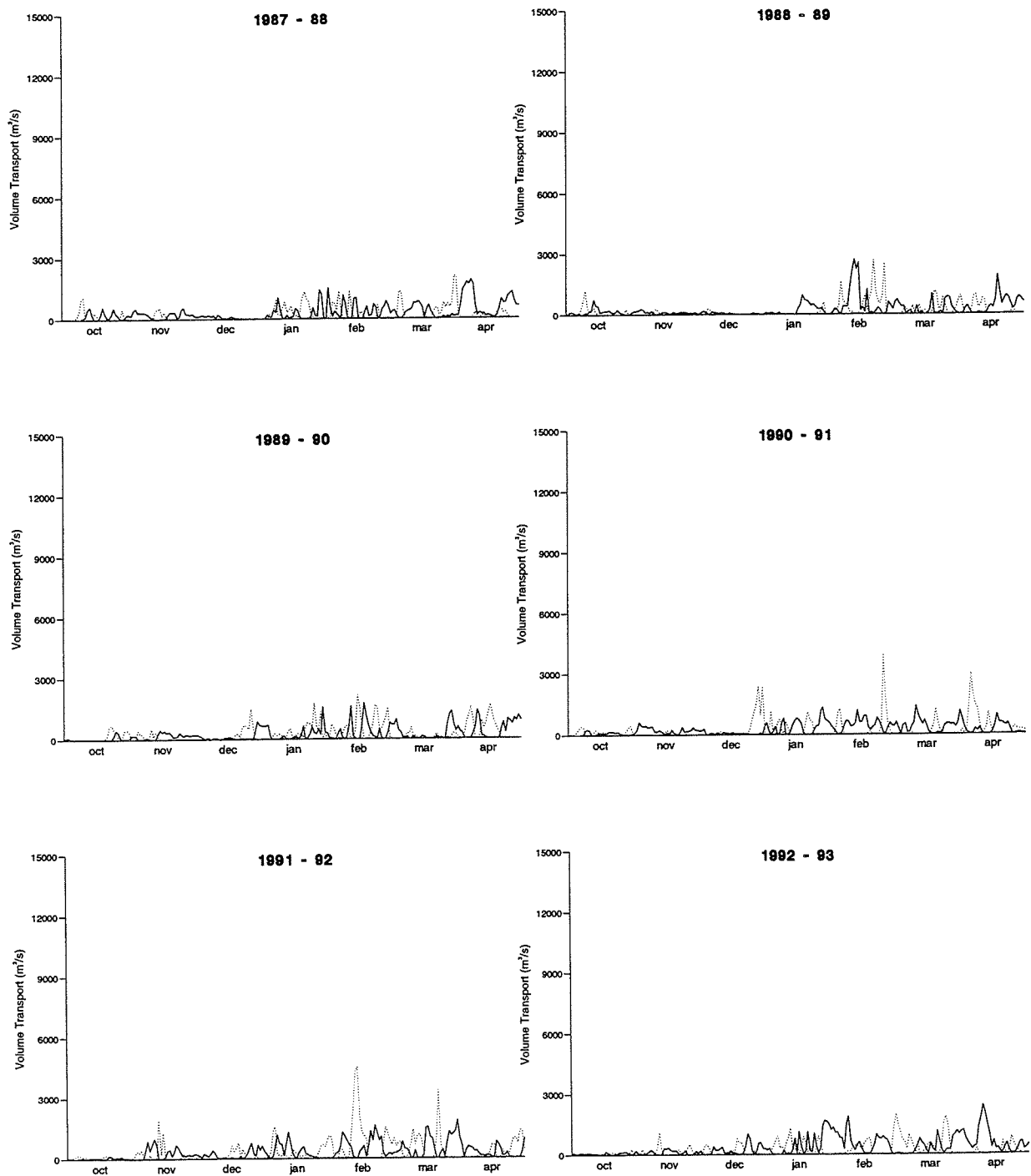


Fig. 2b-7 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

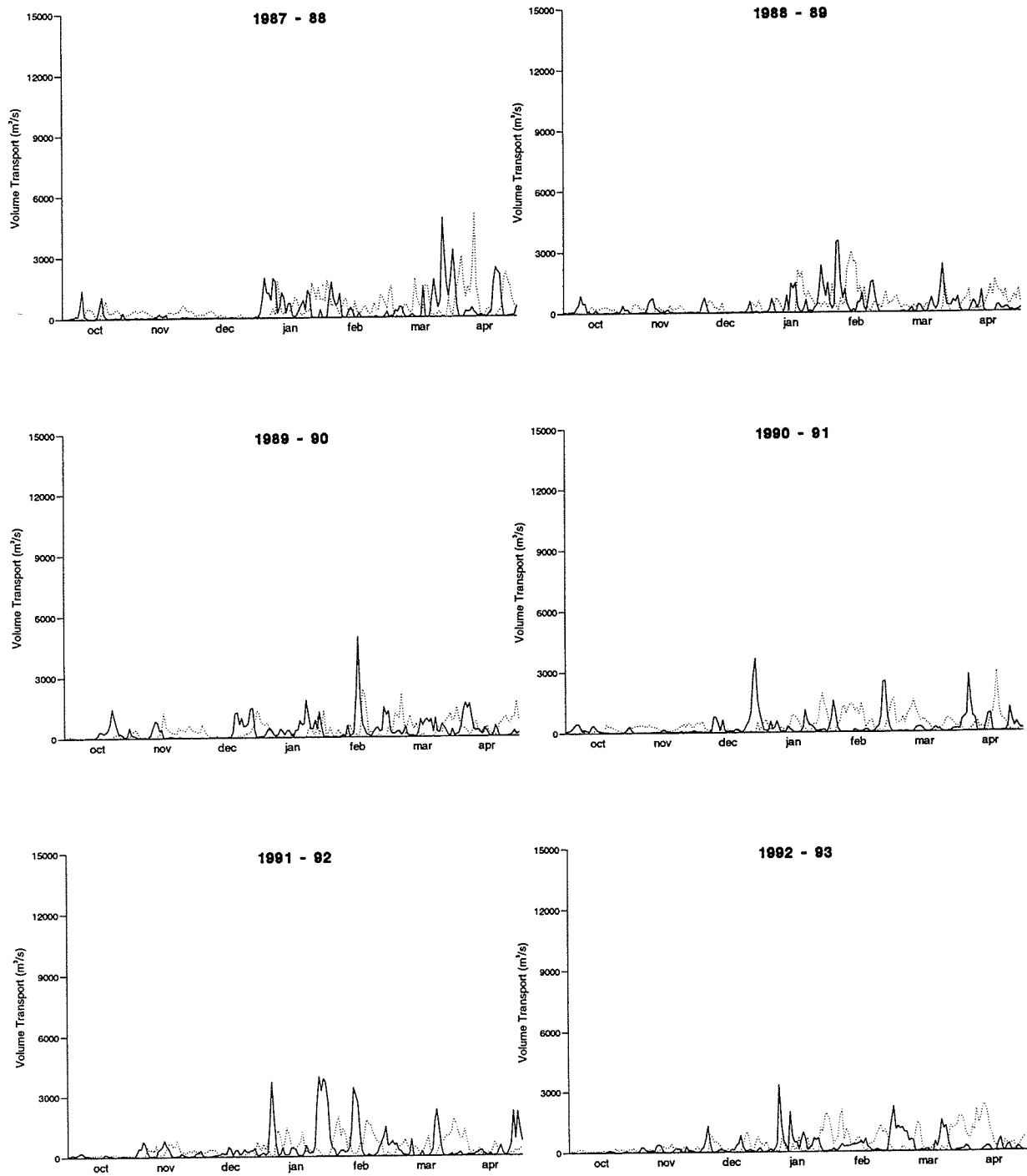


Fig. 2b-8 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

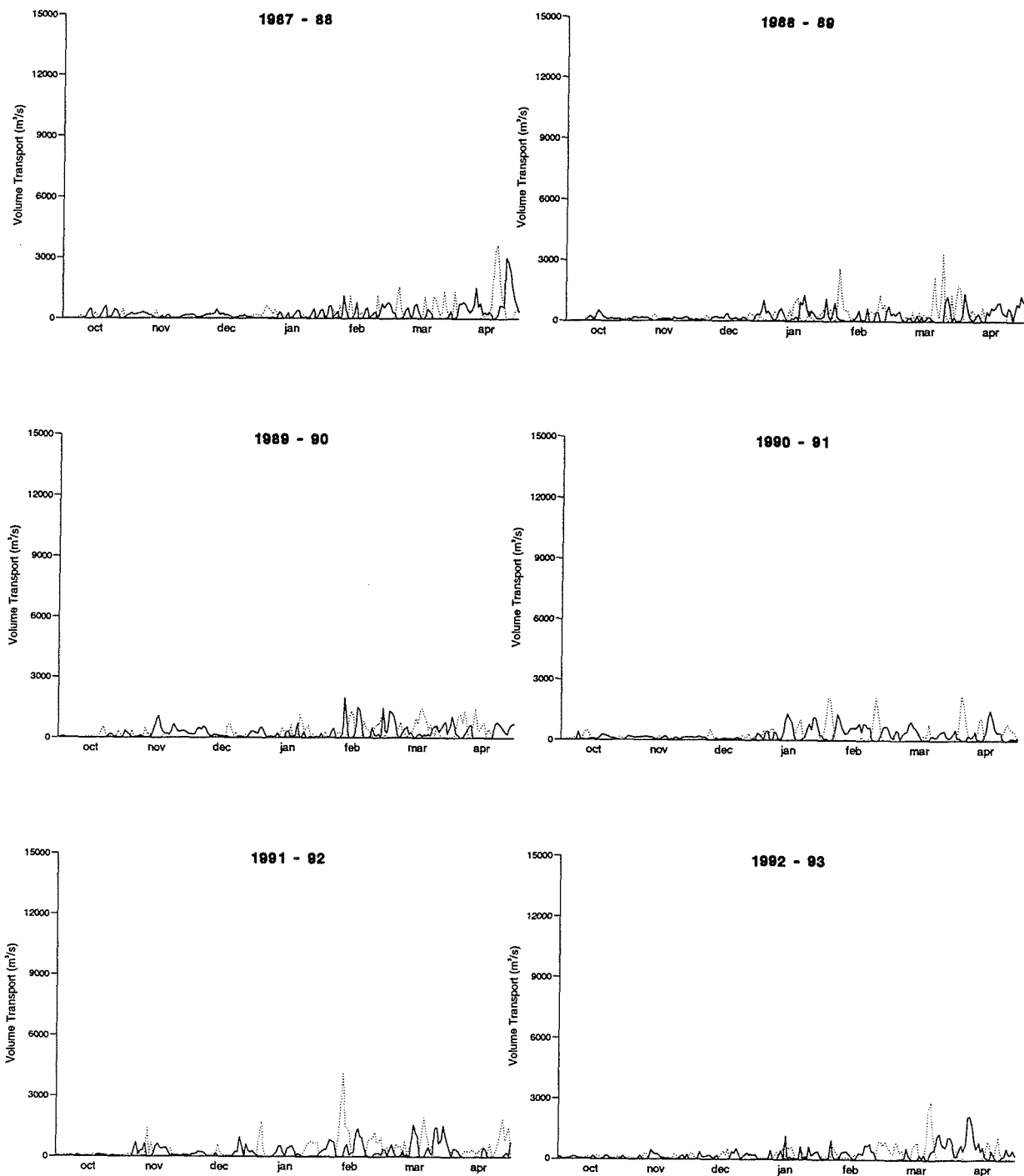


Fig. 2b-9 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

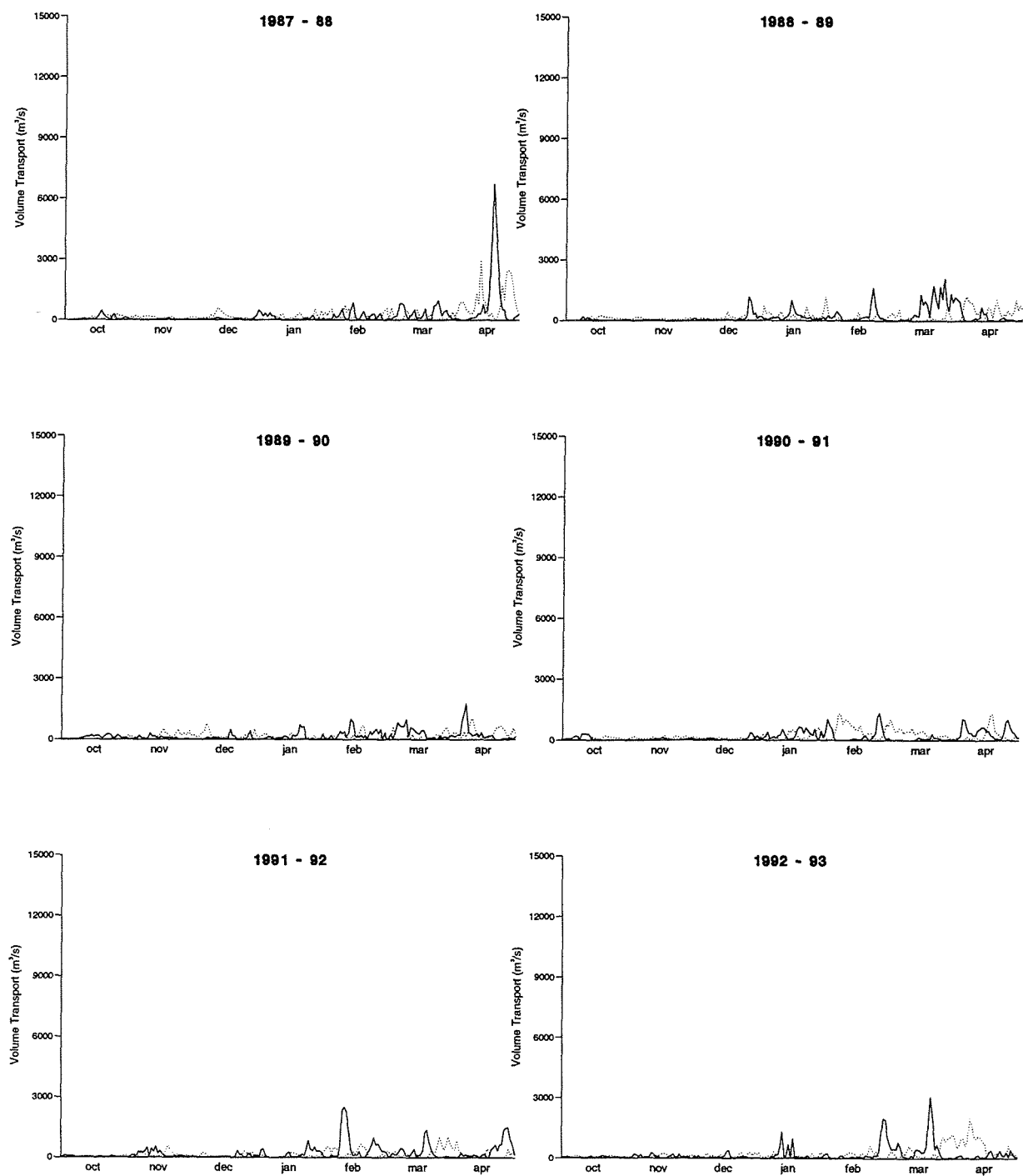


Fig. 2b-10 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

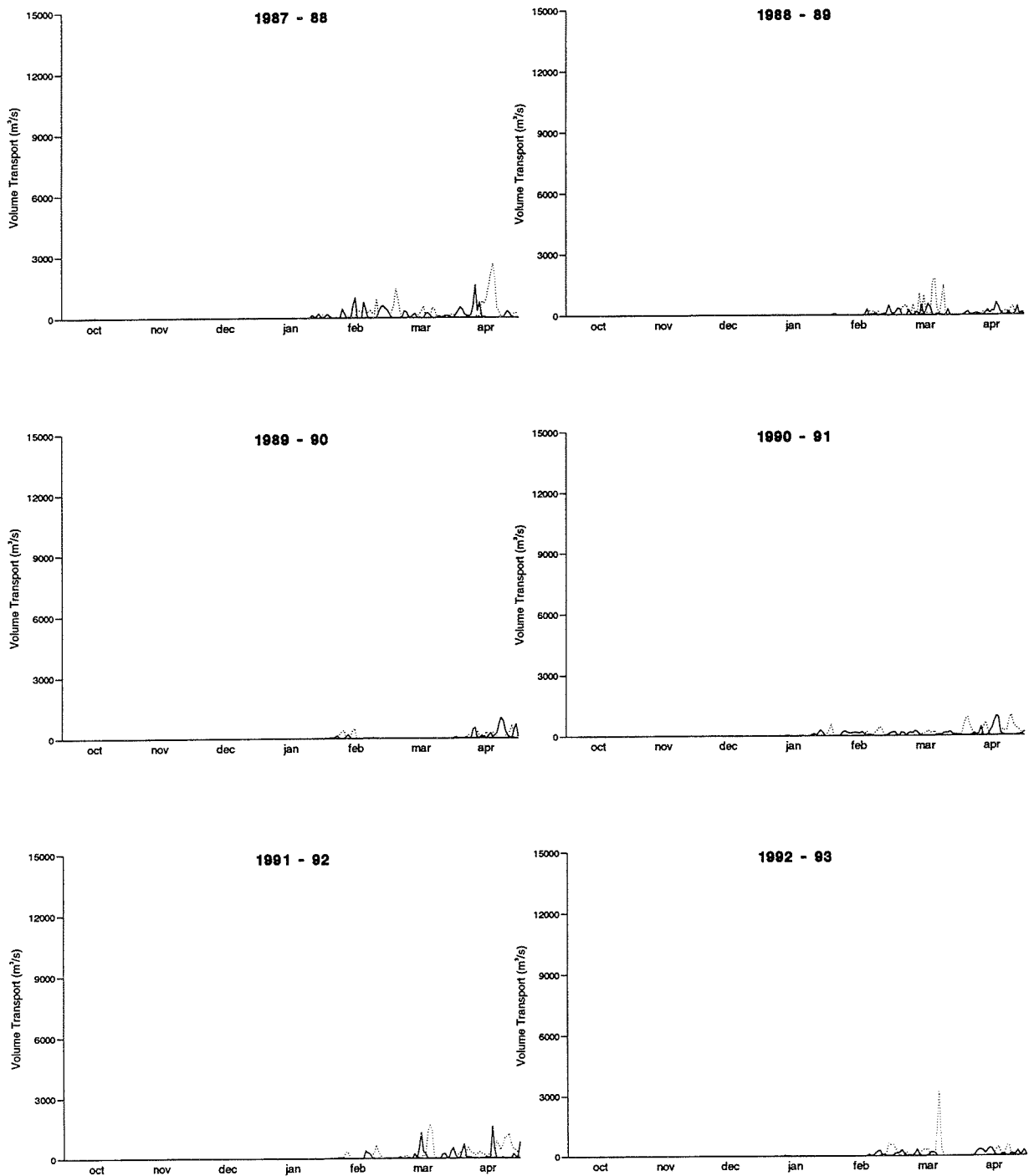


Fig. 2b-11 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

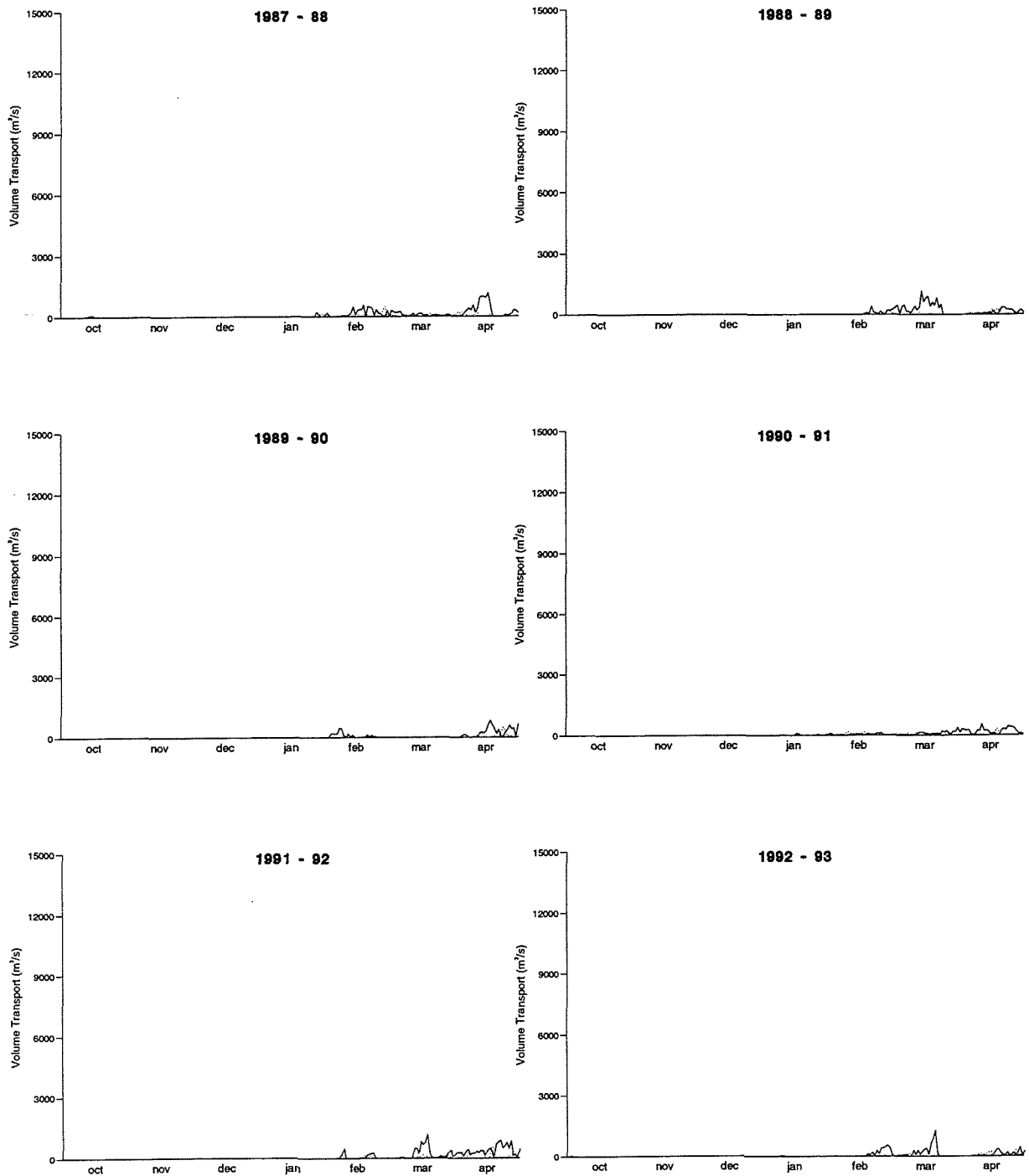


Fig. 2b-12 Modellerte tidsserier av volumtransport av Østersjøvann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

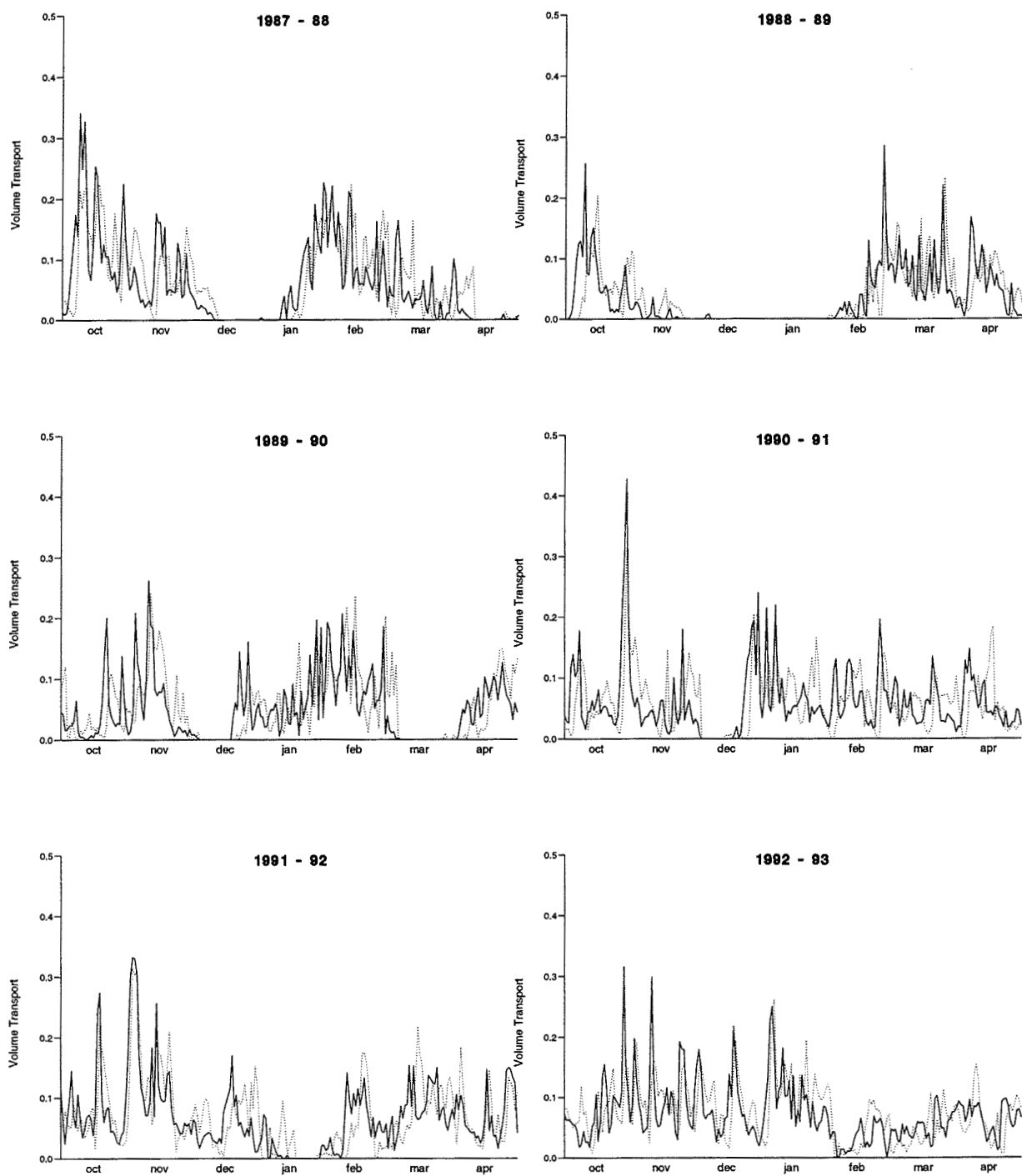


Fig. 2c-1 Modellerte tidsserier av volumtransport (Sverdrup) av Nordsjøvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

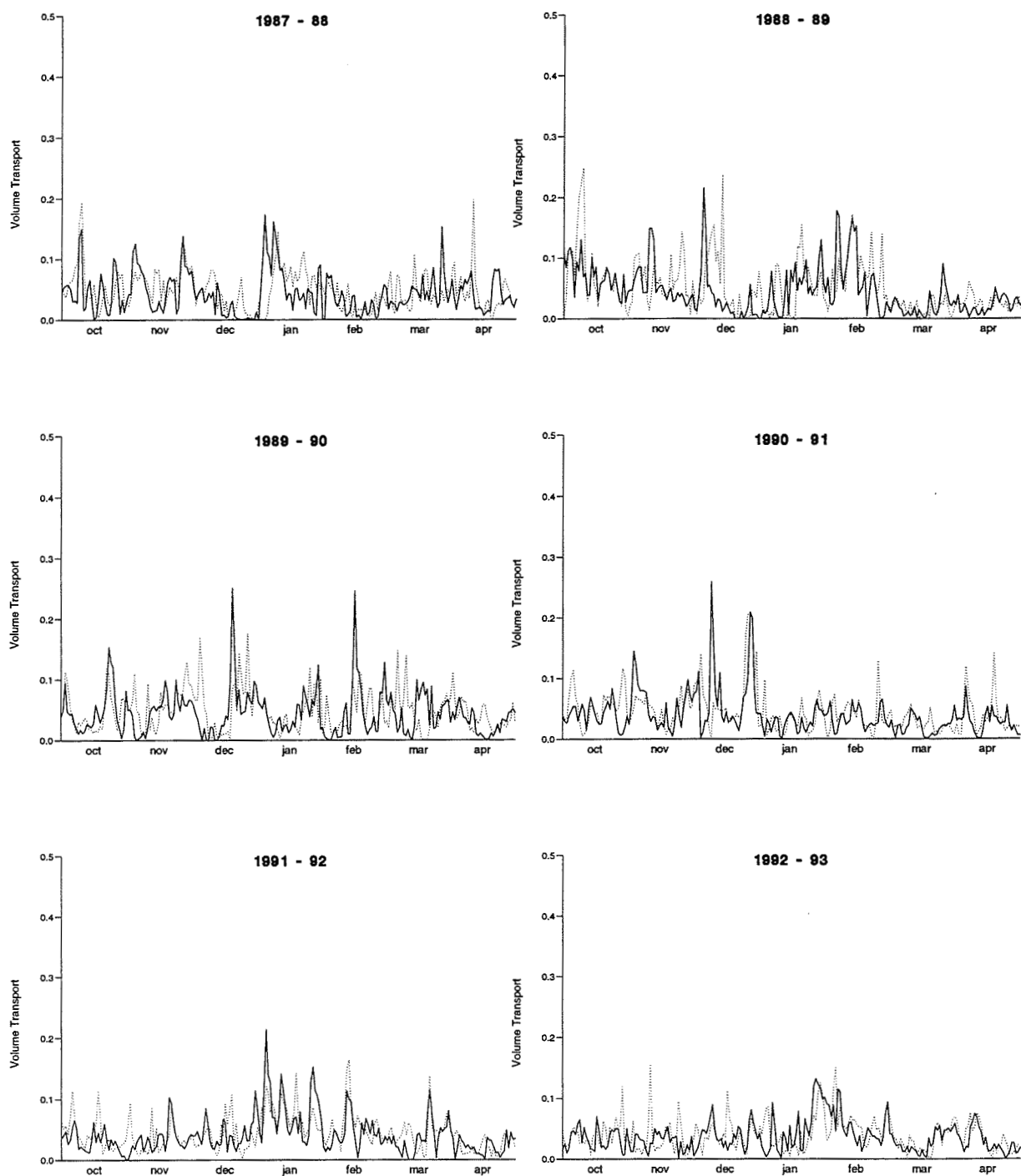


Fig. 2c-2 Modellerte tidsserier av volumtransport (Sverdrup) av Nordsjøvann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

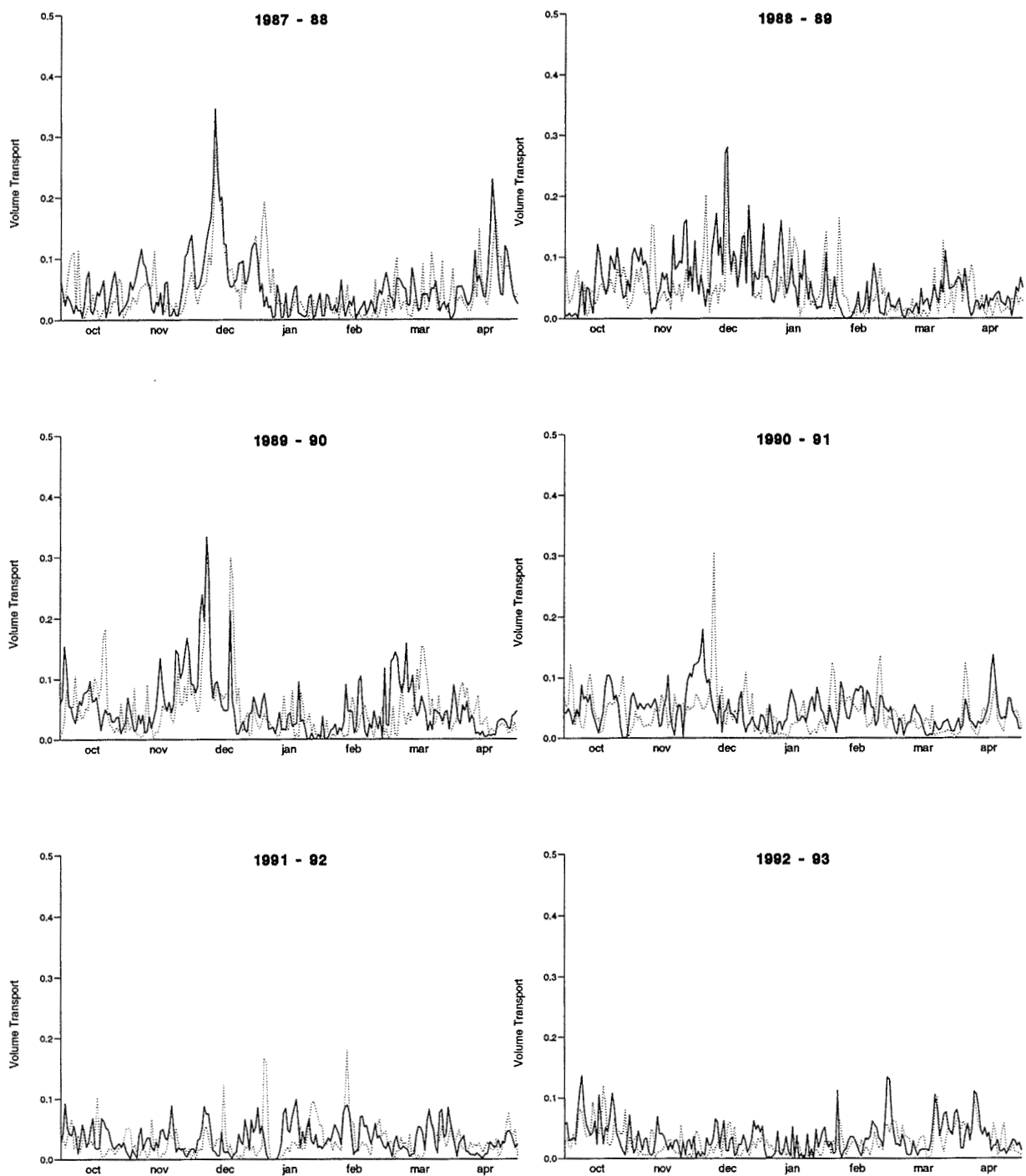


Fig. 2c-3 Modellerte tidsserier av volumtransport (Sverdrup) av Nordsjøvann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

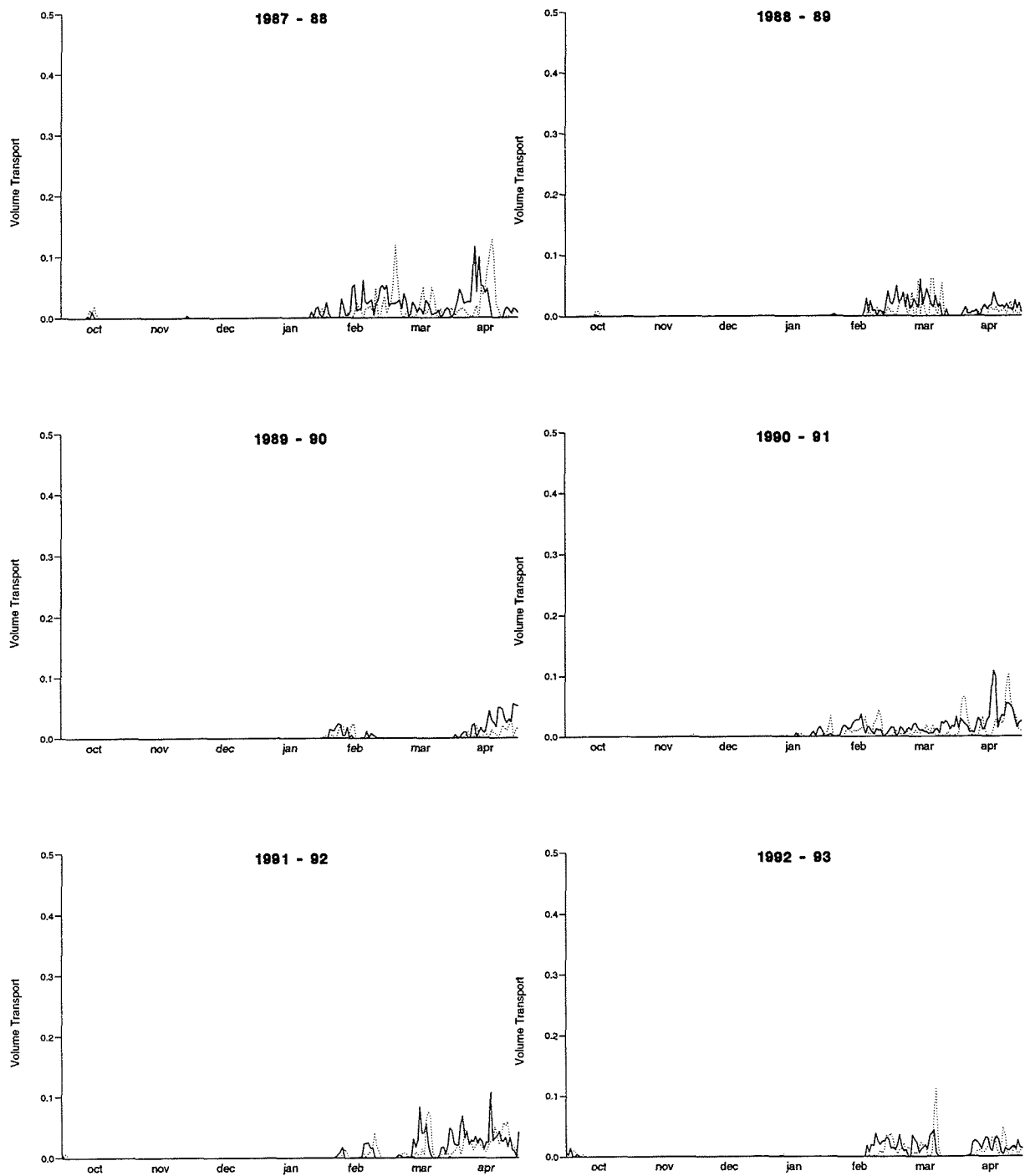


Fig. 2c-4 Modellerte tidsserier av volumtransport (Sverdrup) av Nordsjøvann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

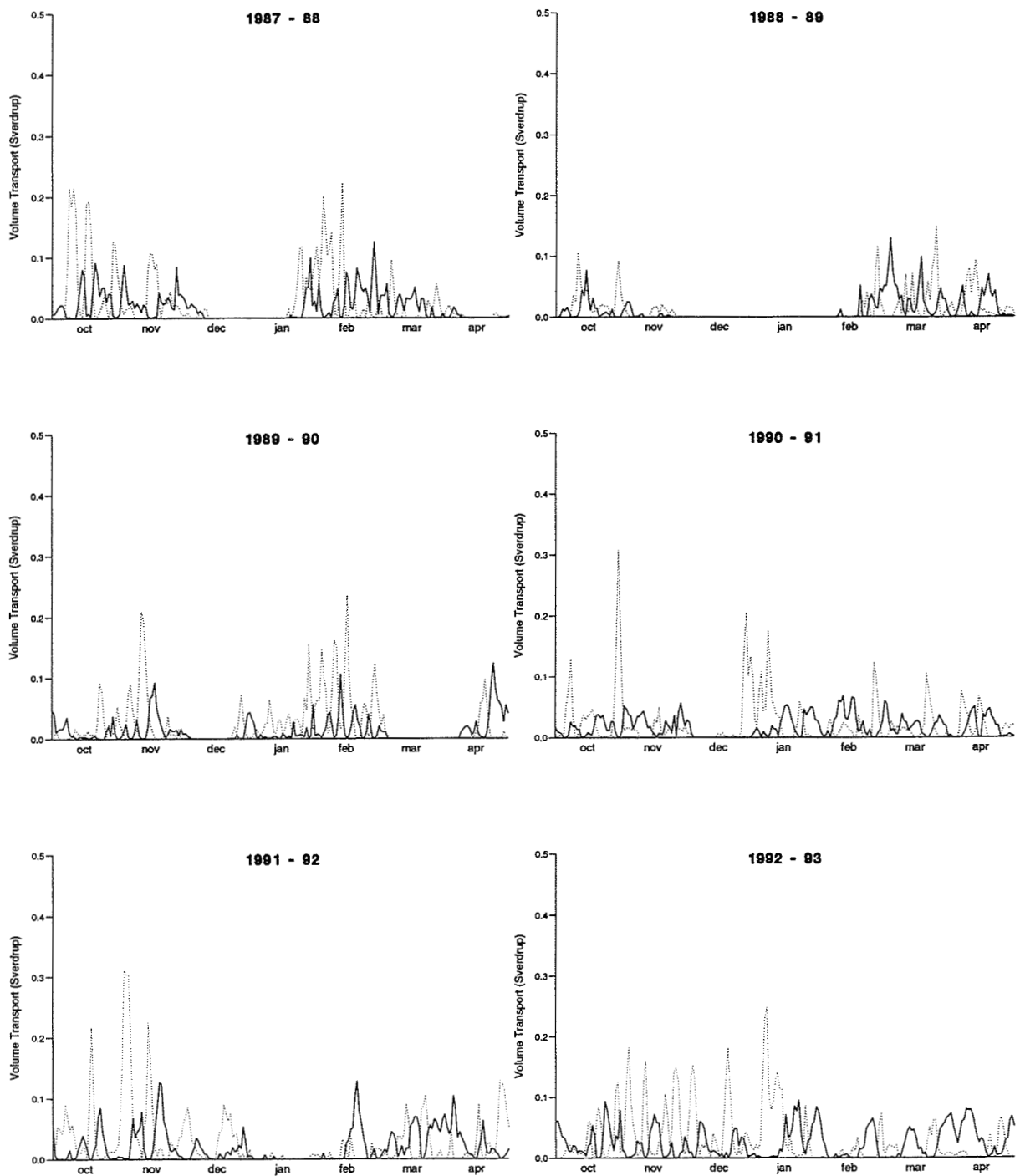


Fig. 2c-5 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

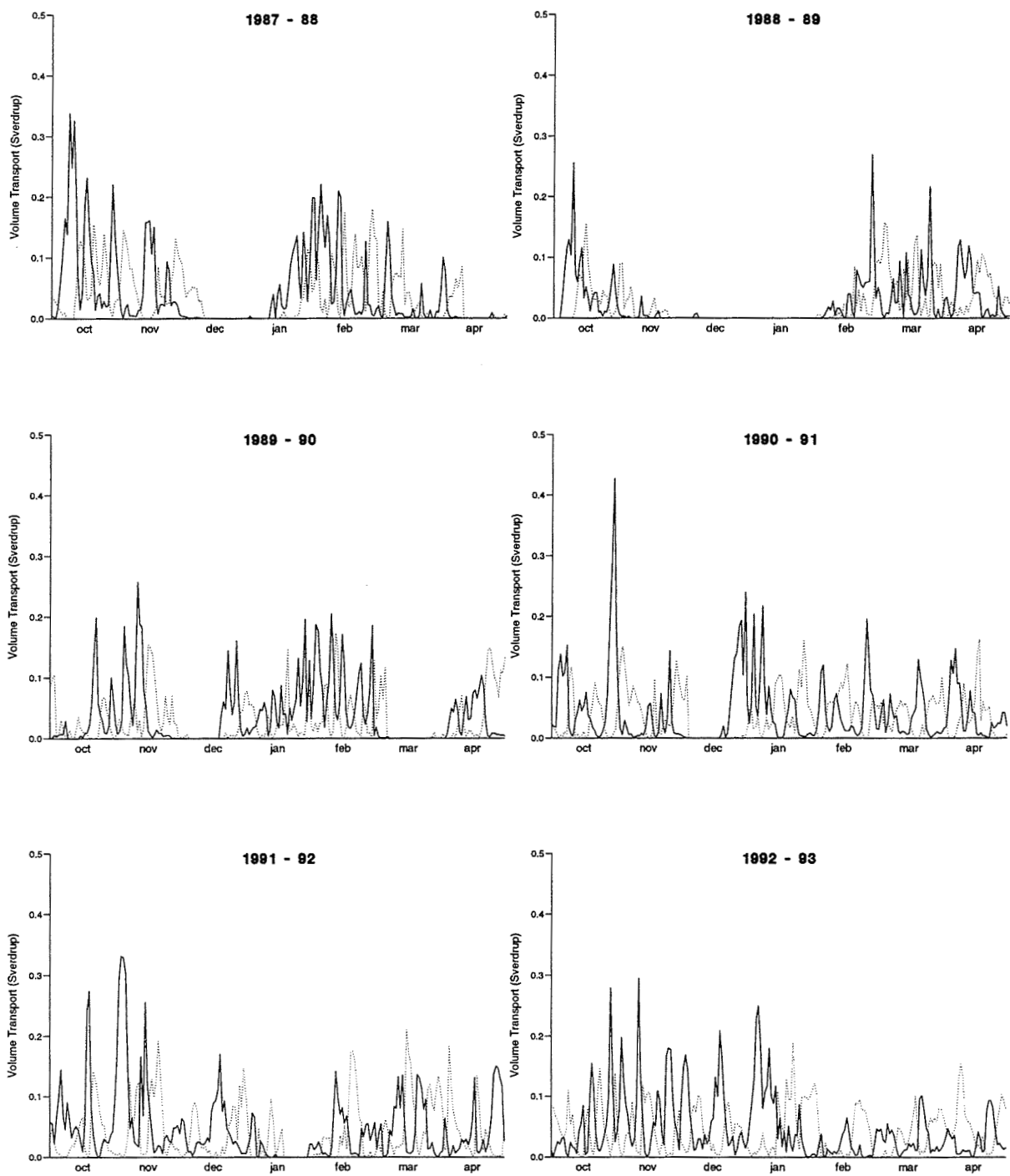


Fig. 2c-6 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann (*salinitet* < 29.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

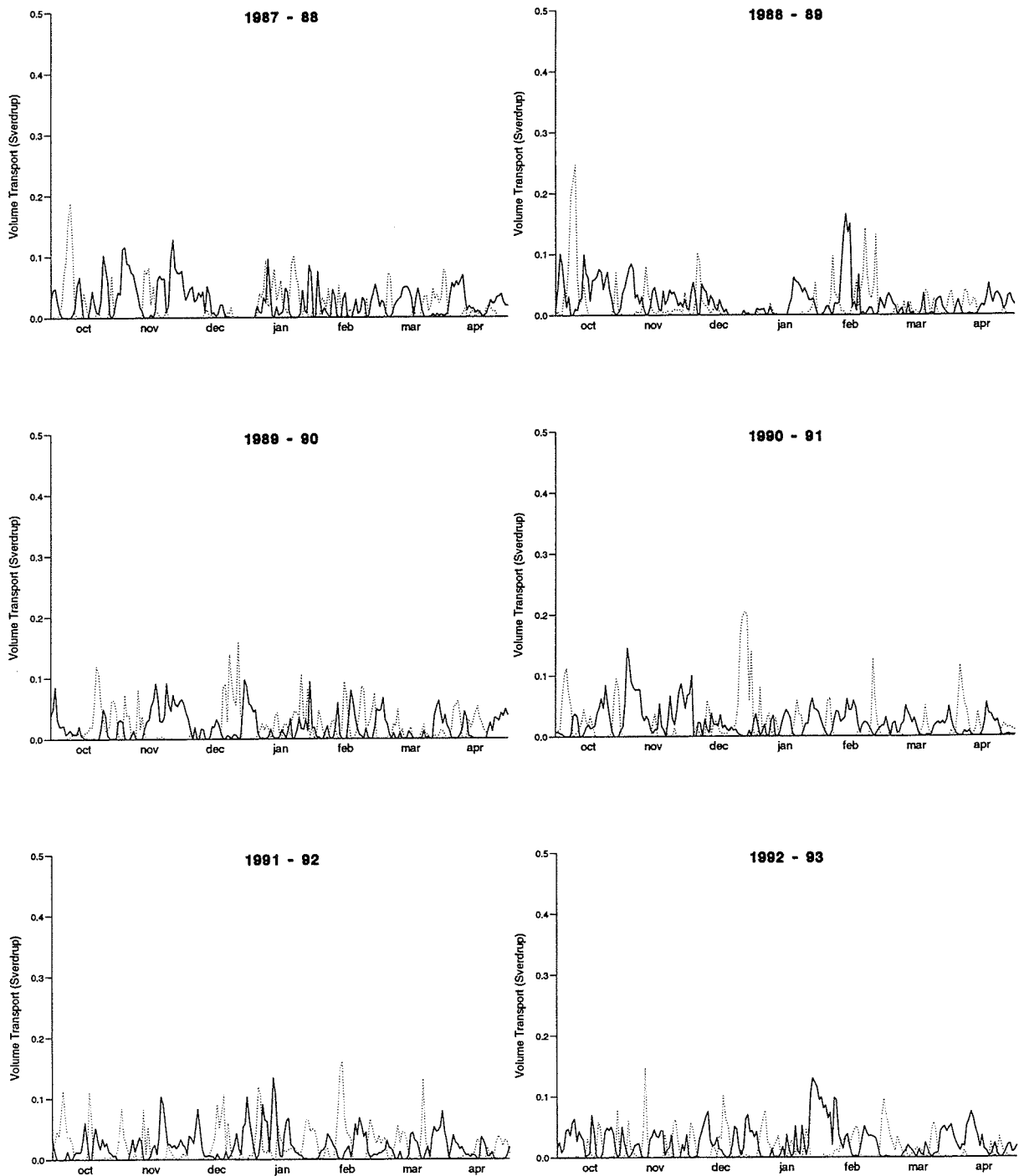


Fig. 2c-7 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

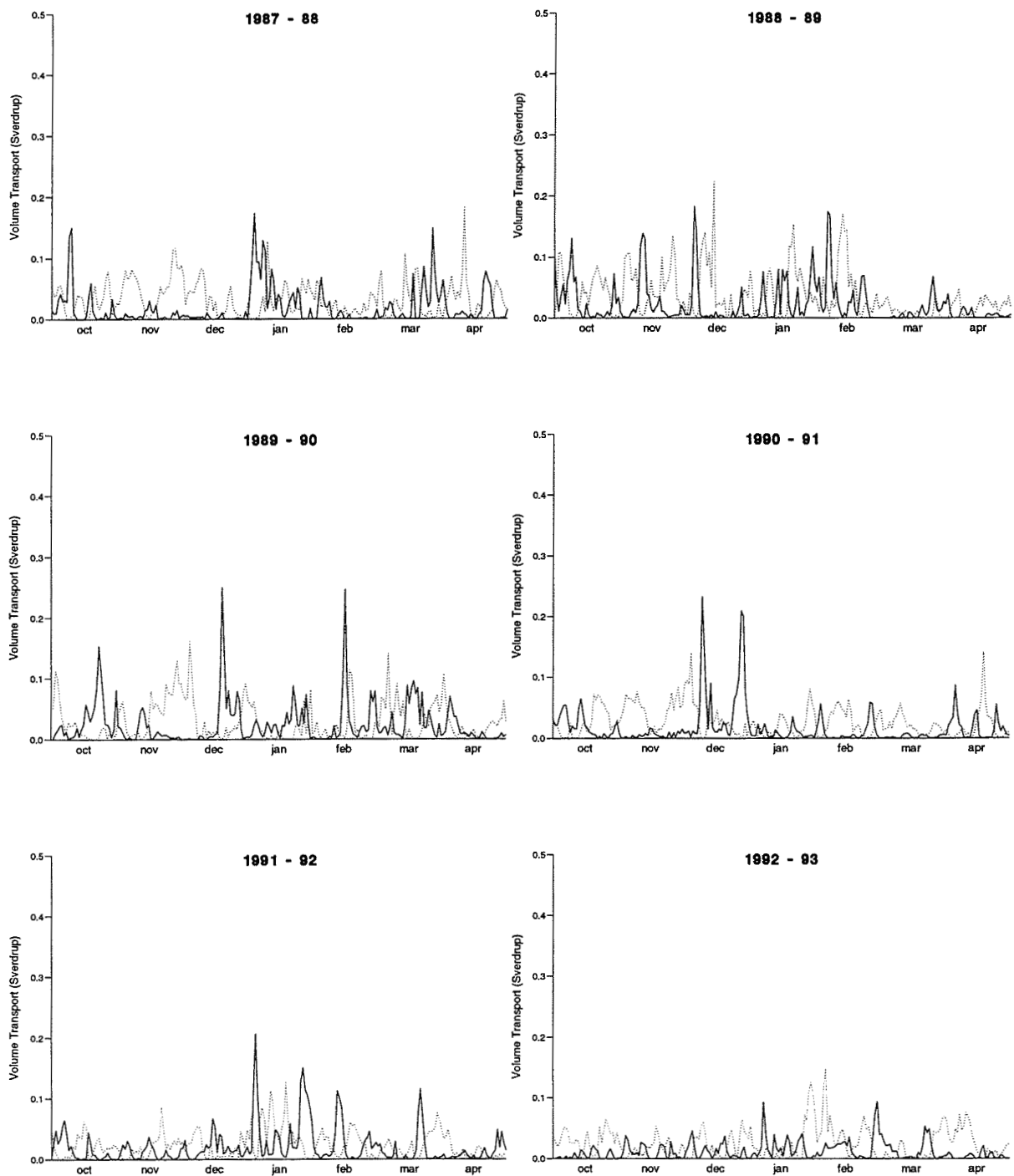


Fig. 2c-8 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann ($29.5 \leq \text{salinitet} < 32.0$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

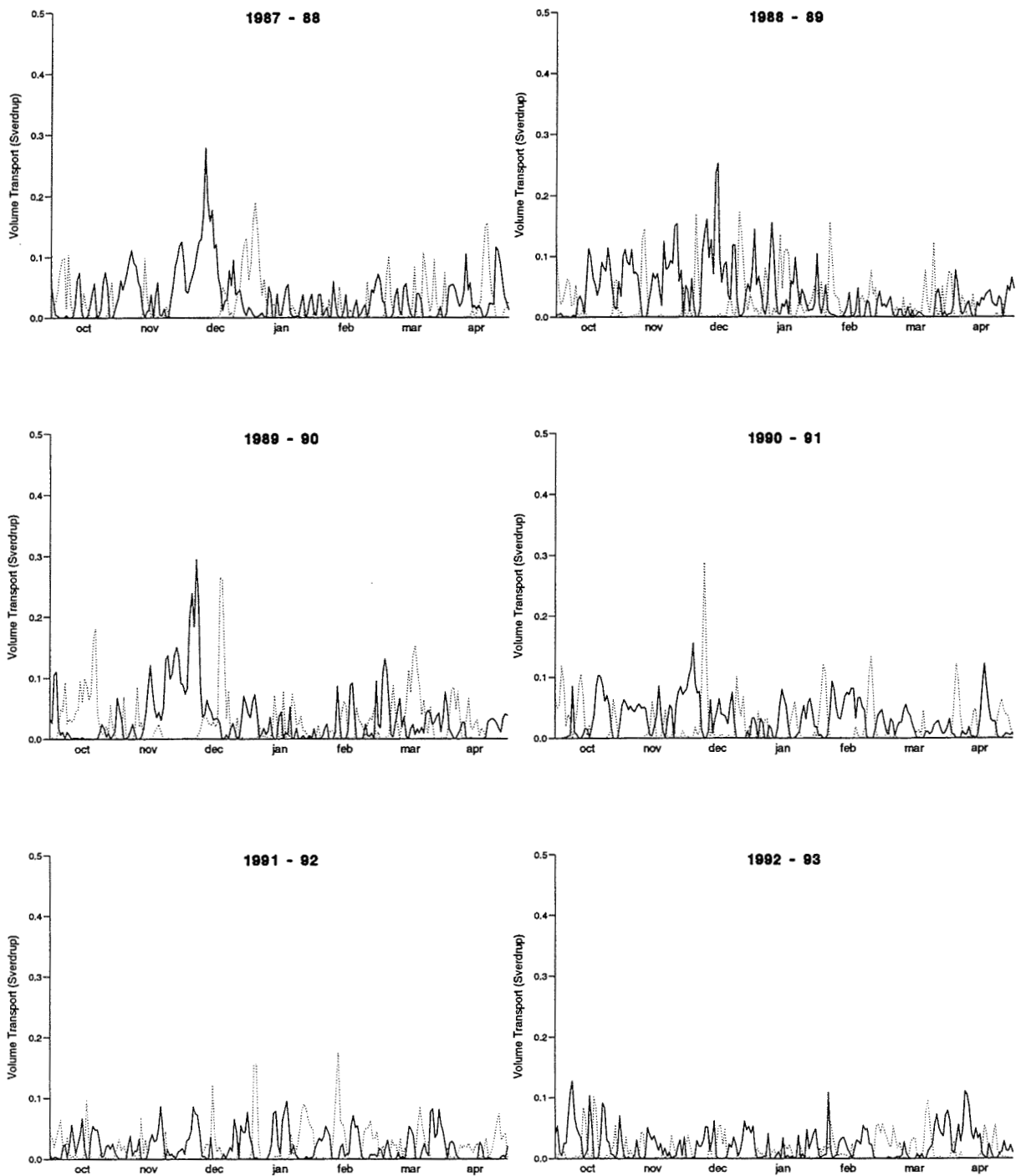


Fig. 2c-9 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

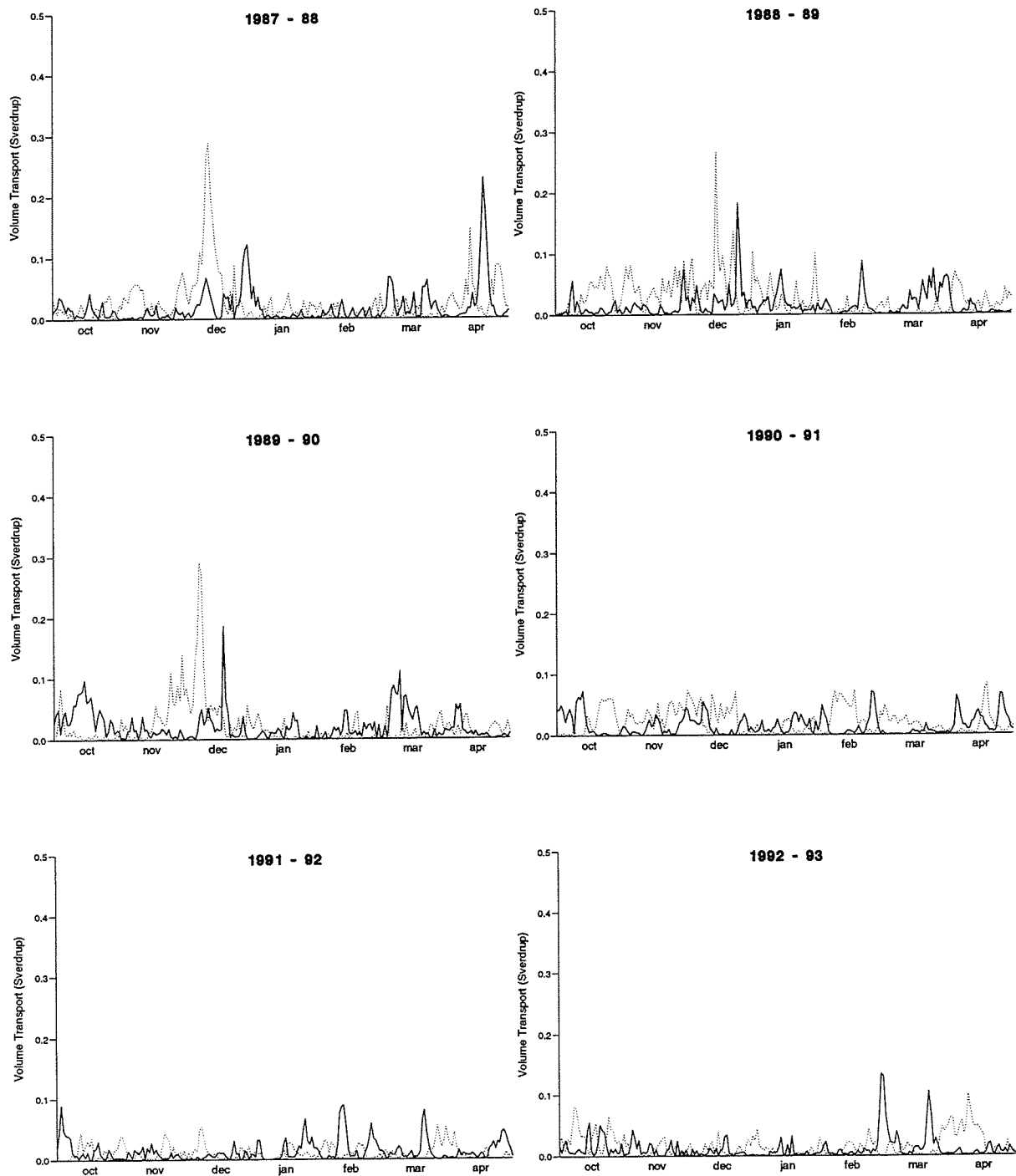


Fig. 2c-10 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann ($32.0 \leq \text{salinitet} \leq 34.5$) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

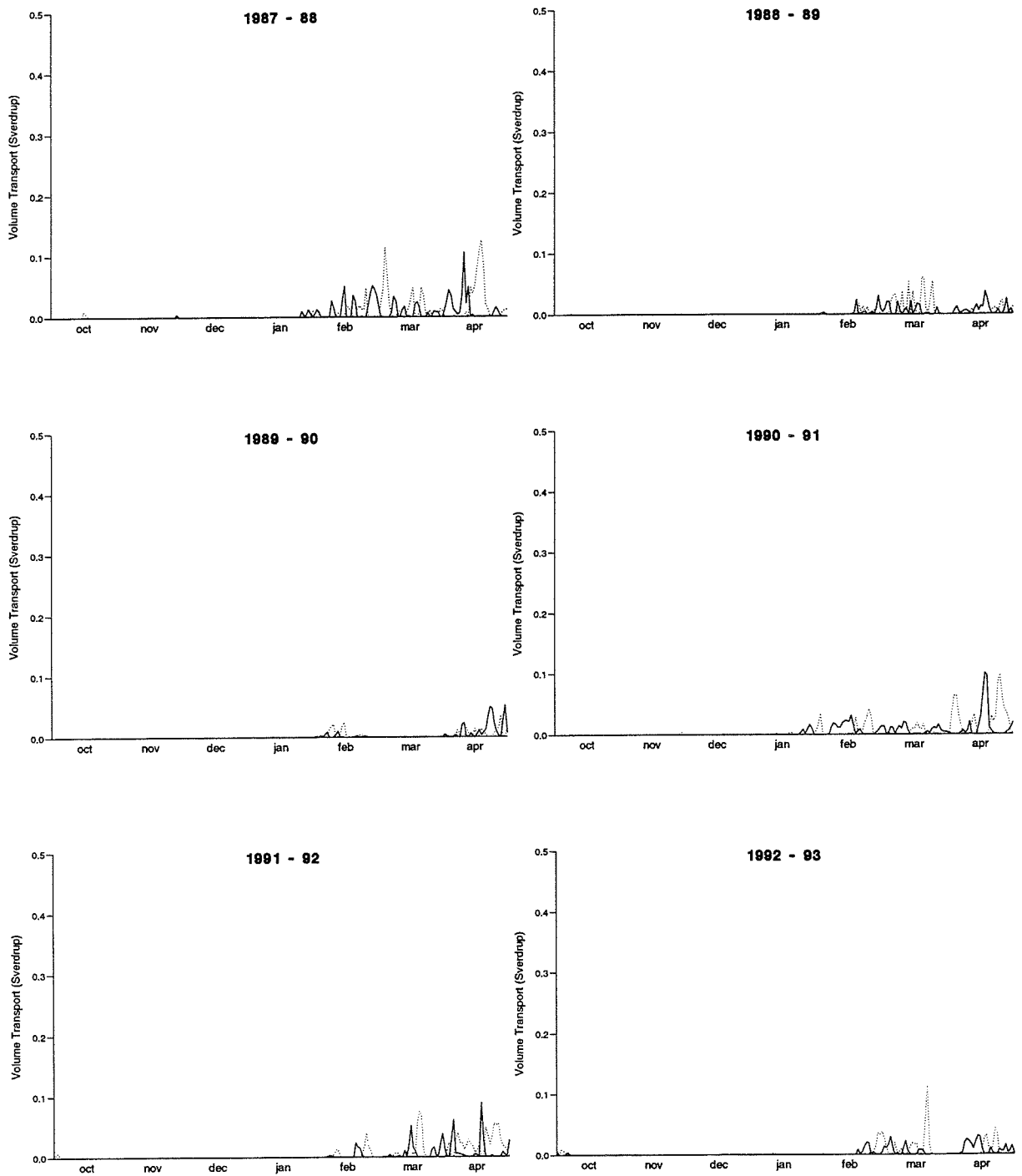


Fig. 2c-11 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom vestre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.

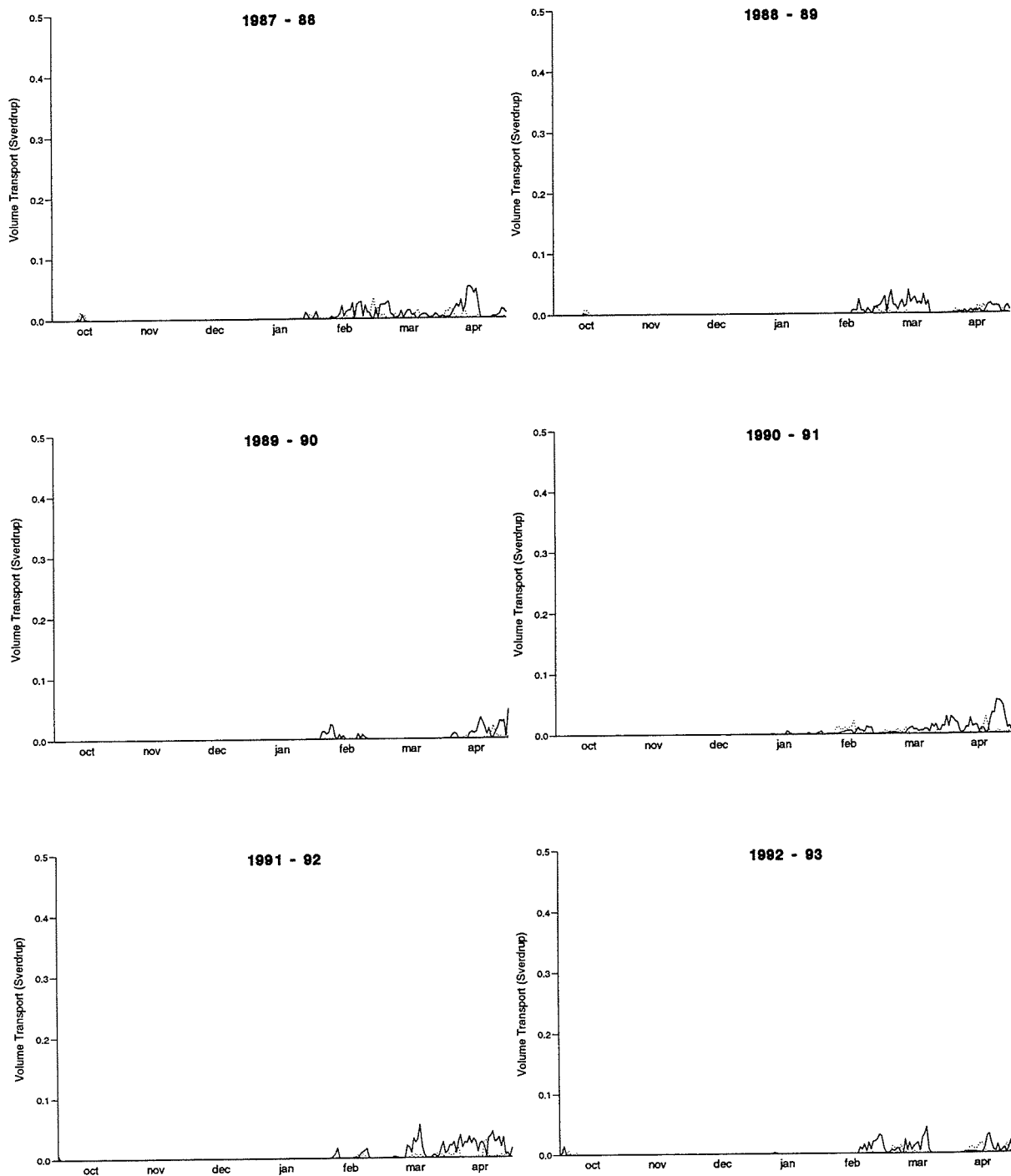


Fig. 2c-12 Modellerte tidsserier av volumtransport av Nordsjøvann (*salinitet* > 34.5) inn (heltrukket) og ut (prikket) gjennom østre del av snittet Larvik-Koster for seks ulike år.