

KALDE VINTRERS INNFLYTELSE PÅ DE HYDROGRAFISKE FORHOLD I NORDSJØ-SKAGERAK OMRÅDET

[The effect of cold winters on the hydrographic conditions in the North Sea-Skagerak area]

Av

RIKARD LJØEN

Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt

INNLEDNING

Vintrene 1946—47, 1962—63 og 1965—66 var de meteorologiske forhold i store deler av Nord-Europa ekstreme, med lufttemperaturer langt under det normale. Kuldeperiodene var til dels meget langvarige, og dette førte til en forholdsvis kraftig avkjøling av vannmassene i Nordsjø—Østersjø-området.

Noen resultater av denne avkjølingen på de hydrografiske forhold i de havområder som grenser til Norge er beskrevet av EGGVIN (1963 og 1966), LJØEN

(1965) og SVANSSON (1966). RASMUSSEN (1966) behandlet innvirkningen på rekefisket.

Tilsvarende meteorologiske forhold var det også vinteren 1969—1970, og den hydrografiske situasjon synes å få den karakter som var særegen for de nevnte vintre.

I det følgende skal gies en foreløpig rapport om en del undersøkelser fra siste vinter og en sammenlikning med vintrene 1962—63 og 1965—66. Undersøkelsene er begrenset til Nordsjøen og Skagerak.

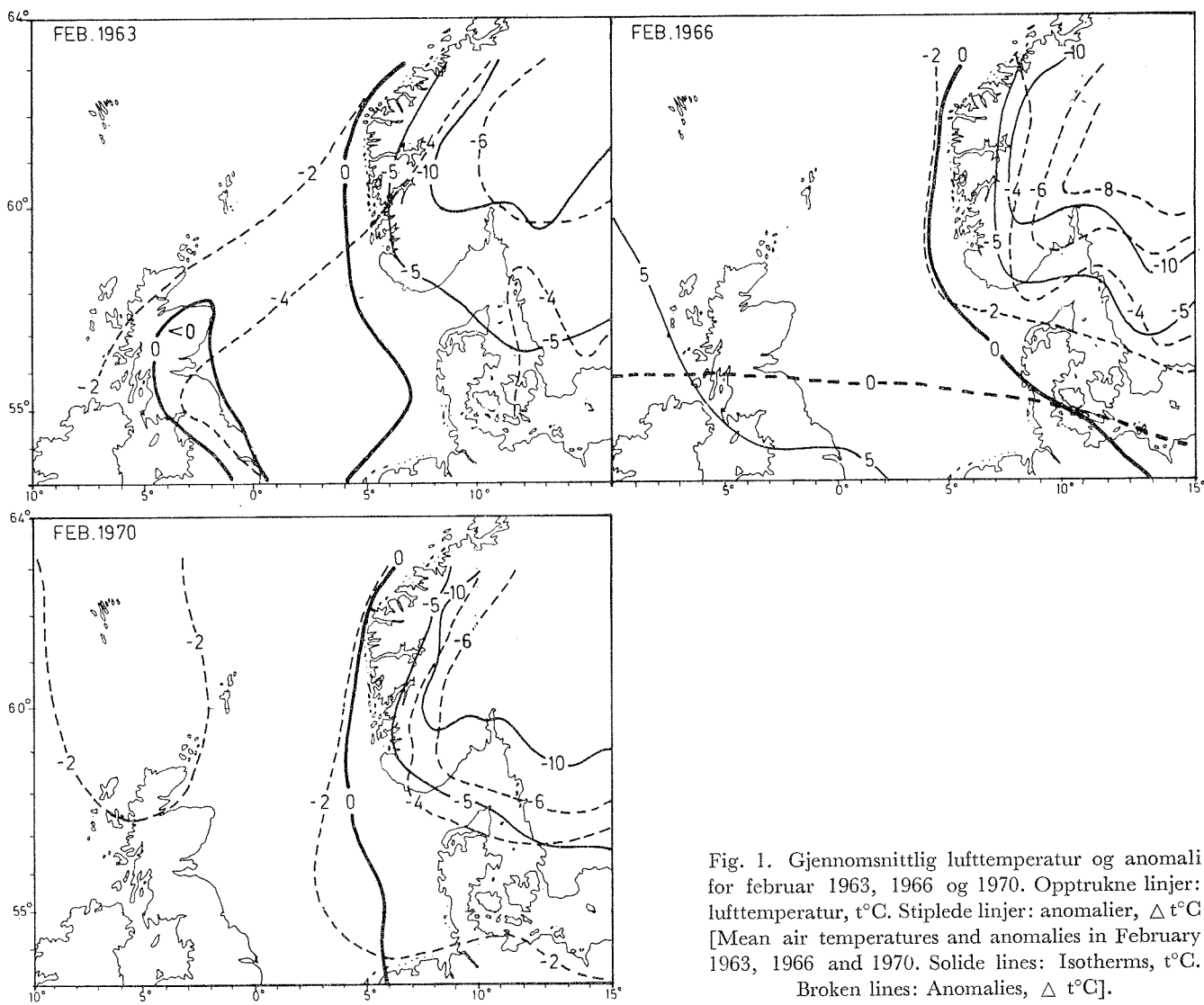


Fig. 1. Gjennomsnittlig lufttemperatur og anomali for februar 1963, 1966 og 1970. Optrukne linjer: lufttemperatur, $t^{\circ}\text{C}$. Stiplede linjer: anomalier, $\Delta t^{\circ}\text{C}$ [Mean air temperatures and anomalies in February 1963, 1966 and 1970. Solide lines: Isotherms, $t^{\circ}\text{C}$. Broken lines: Anomalies, $\Delta t^{\circ}\text{C}$].

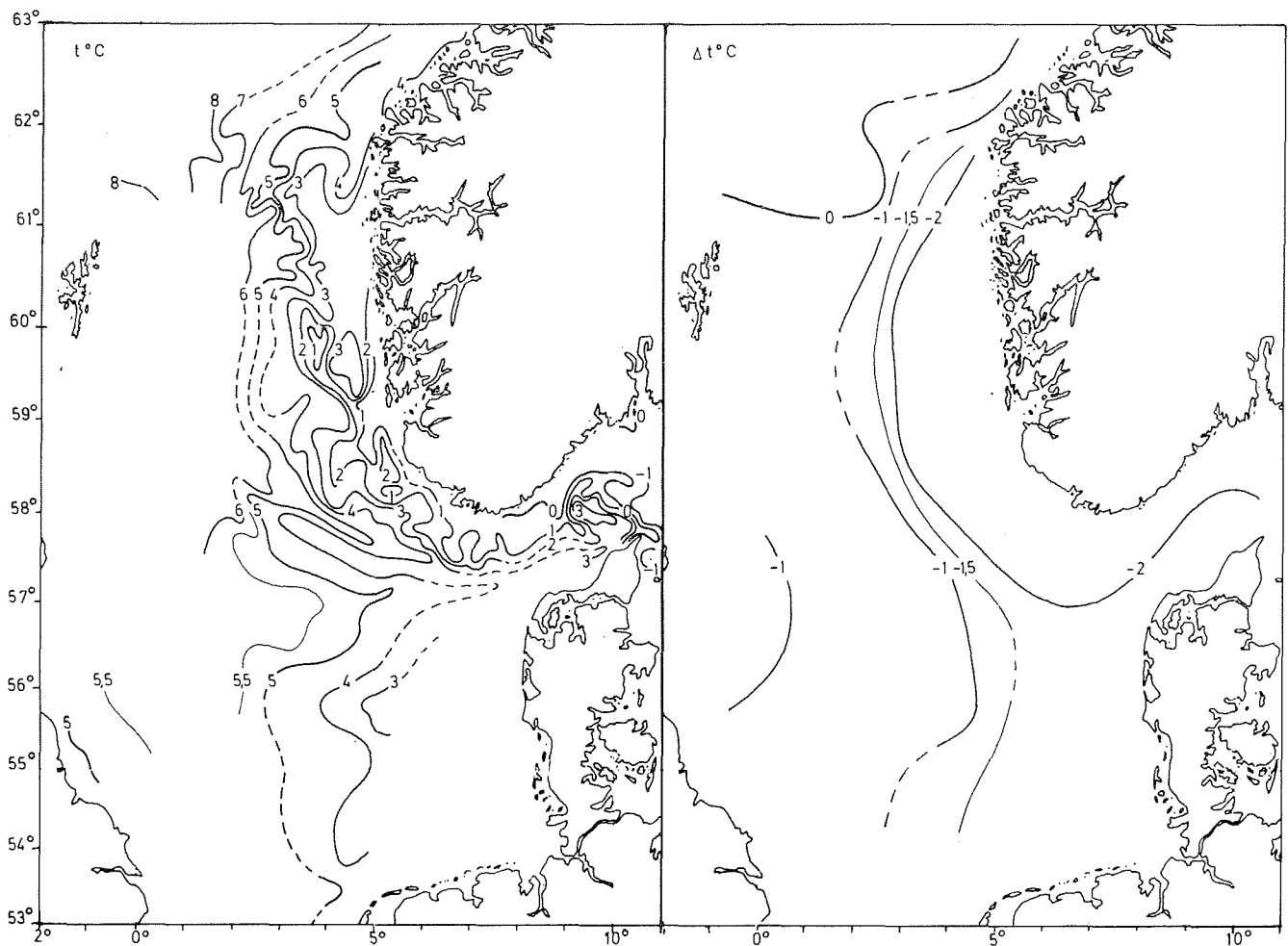


Fig. 2. Temperatur, $t^{\circ}\text{C}$, i overflatelaget 3.-11. mars 1970 og temperaturanomali, $\Delta t^{\circ}\text{C}$, i samme periode. [Temperatur, $t^{\circ}\text{C}$, of the surface layer 3-11 March 1970 and anomaly of temperature, $\Delta t^{\circ}\text{C}$, during the same period].

RESULTATER

Fig. 1 viser fordelingen av gjennomsnittstemperaturen for februar måned i 1963, 1966 og 1970 og avvik fra normalen for de samme måneder. En tilsvarende situasjon var karakteristisk også for januar, mars og delvis for desember året før.

Østenfor 4° østlig lengde var lufttemperaturen til dels langt under 0°C , og avvikelser fra det normale mellom -2° og -6°C . Størst var avviket i 1963 med mer enn 4°C under det normale over det meste av det undersøkte området. Også i februar 1970 lå lufttemperaturen godt under det normale over samme området. Det minste gjennomsnittlige avvik opptrådte i 1966, men også da med negativ anomali.

Under slike forhold er forskjellen mellom temperaturen på havoverflaten og i luften like over større enn normalt, og dermed er betingelsen til stede for en større konvektiv varmeoverføring fra hav til luft. Selv om denne prosessen bare utgjør en del av den totale energiutvekslingen mellom de to element, må en kunne gå ut fra at den har en betydning for

størrelsen av varmetapet i overflaten. Om vinteren er den totale varmeoverføring normalt rettet mot luften.

Temperaturen i overflatelaget i begynnelsen av mars og avvikelsen fra det normale, anomali, i Skagerak og deler av Nordsjøen er vist i Fig. 2. (Normalen er tatt ut av ICES service hydrographics monthly means for 1905 to 1954). Særlig nær iskanten var temperaturen meget lav, -1°C . Anomalien var i store deler av Skagerak og i den nordøstlige delen av Nordsjøen mer enn -2°C , mens den for mesteparten av det undersøkte området var mellom -1° og -2°C . En sammenlikning med forholdene i midten av februar 1963 (EGGVIN 1963) og begynnelsen av mars 1966 (EGGVIN 1966) viser at temperaturen over Norskerenna og Revet var lavere sist vinter enn de to andre vintre. På bankene utenfor den danske Skagerakkysten og sannsynligvis også mellom den danske vestkysten og 4° østlig lengde var den negative anomali større enn i 1966.

Denne unormalt sterke avkjøling av vannmassene

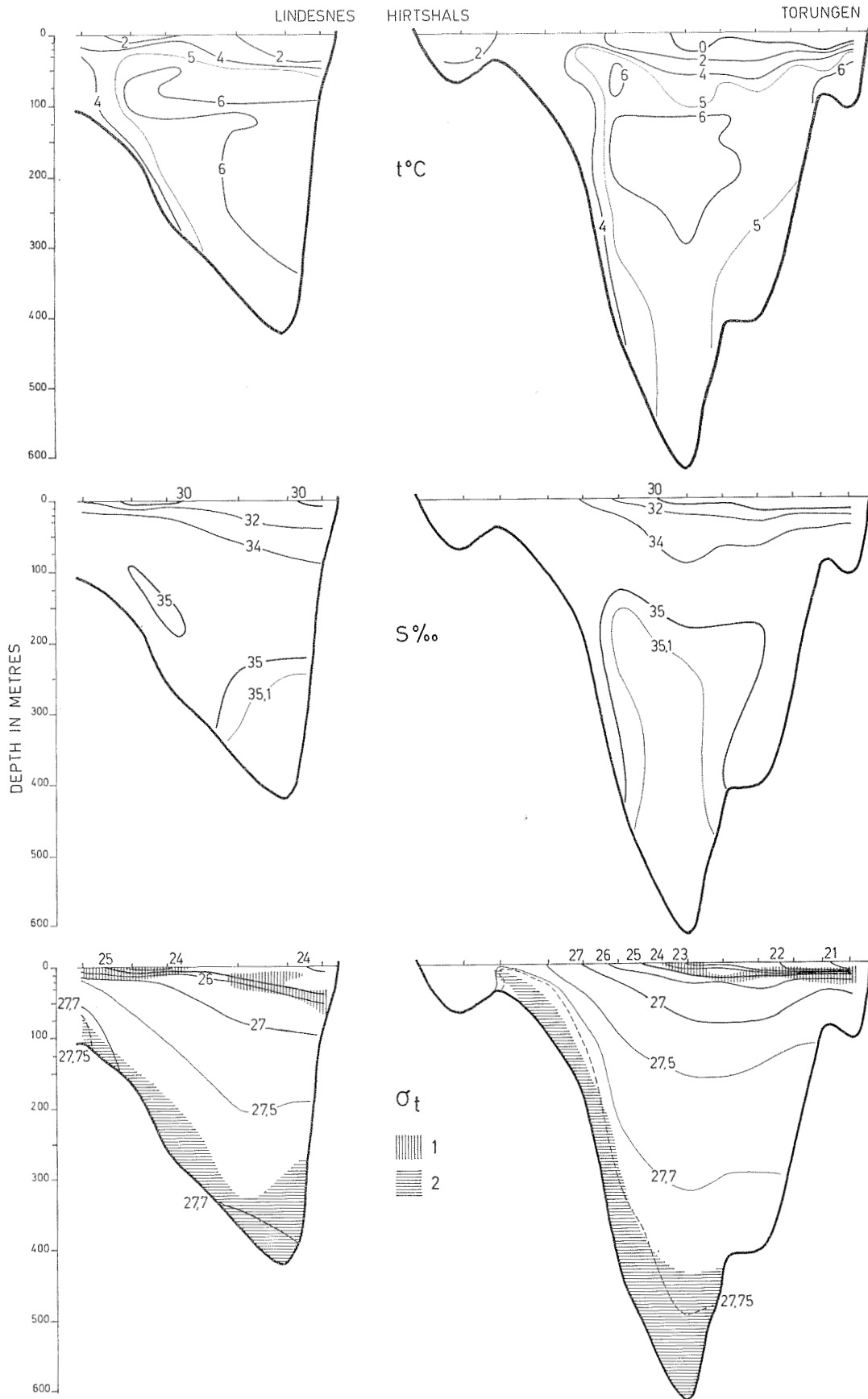


Fig. 3. Vertikalsnitt: Lindesnes mot sydvest, 5. mars 1970 og Torungen—Hirtshals, 10. mars 1970. Temperatur, $t^{\circ}\text{C}$, salt-holdighet, $S\text{‰}$, og tetthet, σ_t . 1) Maksimum vertikal stabilitet ($\frac{\Delta\sigma_t}{\Delta z}$) 2) minimum stabilitet langs bunnen.
 [Profiles of temperatur, $t^{\circ}\text{C}$, salinity, $S\text{‰}$ and densit, σ_t . Lindesnes — SW, 5 March 1970, Torungen—Hirtshals 10 March 1970. 1) Maximum vertical stability ($\frac{\Delta\sigma_t}{\Delta z}$), 2) minimum stability along the bottom].

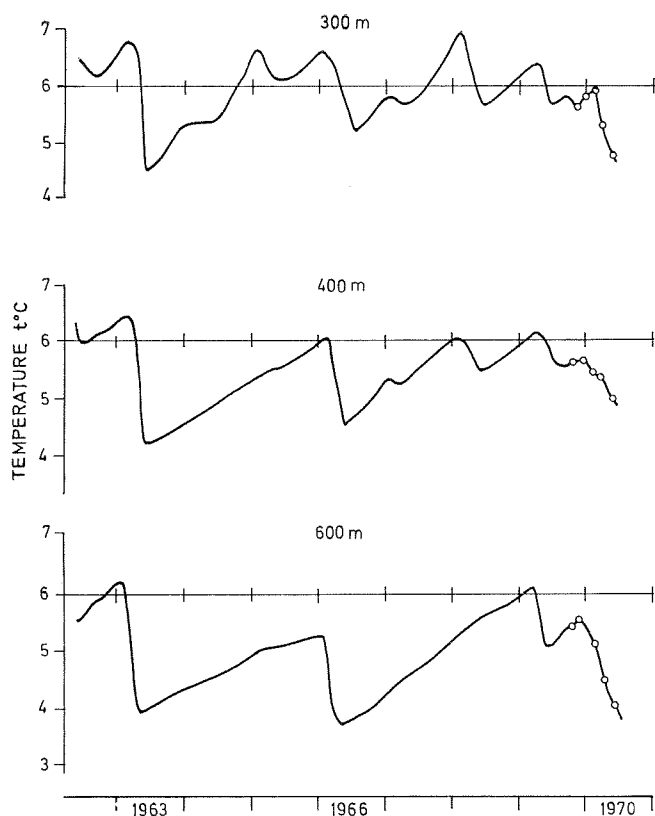


Fig. 4. Temperaturvariasjon, t°C, i 300, 400 og 600 m 20 n. m. sydøst av Torungen. Nye observasjoner indikert med ringer. [Temperature variations, t°C, at 300, 400 and 600 m on the position N 58°01', E 09°11'. New observations indicated by small circles].

i overflaten vil etter hvert forplante seg til de dypere lagene og få en vesentlig innflytelse på det fysiske miljø for kortere eller lengre perioder. Varigheten av slike perioder, dypet avkjølingen får innflytelse for og måten de hydrografiske forhold forandres på er avhengig av flere faktorer. De viktigste er de permanente strømmer, tidevannseffekten, den vertikale tetthetsfordeling (stabiliteten) og de topografiske forhold.

I det følgende skal en først og fremst beskrive tre hovedtyper av forandringer som hver for seg er knyttet til følgende geografiske områder: Skagerakdypet, det norske kystområdet og Nordsjøbankene.

FORNYING AV DYPUANNET I SKAGERAK

Fornyingen av dypvannet i Skagerak skjer ved at vannmasser fra Nordsjøplatået synker ned langs bunnen på den sydlige og østlige delen av Norskerenna. Vannmassene fortsetter videre langs avhullet og kommer fram som en intermediær kaldtvannskjerne på nordsiden av «Renna». Etter hvert erstatter de kalde vannmassene større eller mindre deler av de massene som på forhånd var til stede i dypet (LJØEN 1965).

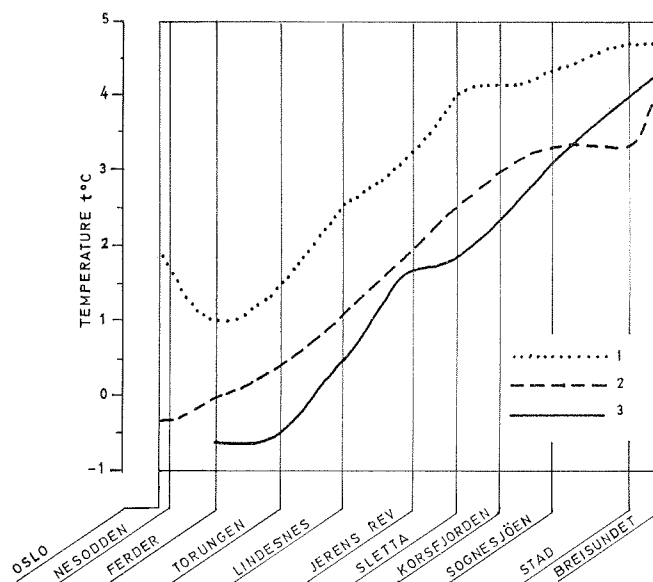


Fig. 5. Gjennomsnittstemperaturer for februar—mars fra 4 m i kyststrømmen mellom Oslo og Breisundet. 1) 20 års normal, 2) 1966 og 3) 1970.

[Mean temperature of the Norwegian coast waters between Oslo and Breisundet (Møre) for February through March from 4 m depth. 1) Average for 20 years, 2) 1966, 3) 1970].

Fig. 3 illustrerer en situasjon forholdsvis tidlig i denne prosessen siste vinter og representerer den ytre delen, Lindesnes mot sydvest, og den indre delen av Skagerak, Torungen—Hirtshals. Nedsynkingen er best illustrert ved varmfordelingen som viser at vann med temperatur under 4°C har nådd et dyp på noe over 300 m på Revkanten sydvest av Lindesnes den 6. mars mot noe over 400 m utenfor Hirtshals den 10. mars.

Figuren viser også tetthetsfordelingen (σ_t) og stabiliteten ($\frac{\Delta \sigma_t}{\Delta z}$ hvor z er dypet) i snittene. Betingelsen for nedsynking og utskifting av denne type er at vannet på banken er tungt nok (høy σ_t) til å renne ned i dypet. I så fall er stabiliteten svært lav (lik 0 eller mindre). Dette er øyensynlig tilfelle bare på sydsiden av «Renna». For å oppnå en slik tetthetsfordeling er det nødvendig at vannet på eggkanten med temperaturer mellom 3,5° og 4°C har en salt-holdighet på minimum 34,90 ‰. Disse betingelser er til stede i Nordsjøvann med forholdsvis høy salt-holdighet. Virkningen av en slik utskifting er vist på Fig. 4, som representerer temperaturvariasjonen på en stasjon over de dypeste deler av Skagerak, ca. 20 n. m. sydøst av Torungen. Variasjonen fram til høsten 1969 var kjent før (LJØEN and SVANSSON, manuskript). Etter observasjonene i 1970 synes det helt klart at man nå må vente en ny periode med ekstremt lavere temperaturer i dypvannet (Fig. 4, 400 og 600 m) tilsvarende den situasjon en hadde

i 1963 og 1966. Den optimale temperatur i disse dypene er $6,0^{\circ}$ – $6,5^{\circ}\text{C}$ og oppnåes først etter 3–4 år uten utskifting. Minimumstemperaturen de nevnte årene var henholdsvis $3,9^{\circ}$ og $3,8^{\circ}\text{C}$ i 600 og $4,2^{\circ}$ og $4,4^{\circ}\text{C}$ i 400 m. Den 21. april dette året var temperaturen $5,0^{\circ}\text{C}$ og $4,1^{\circ}\text{C}$ i henholdsvis 400 og 600 m. Erfaringsmessig vet en imidlertid at temperaturen fortsetter å minke til midten av juni (LJØEN 1965) så minimum må antas å bli noe under de sist observerte verdier, særlig i 400 m. Observasjonene på nabostasjonene, 15 og 30 n. m. sydøst av Torungen viste temperaturer under $4,5^{\circ}\text{C}$ i dette dypet den 21. april.

DEN NORSKE KYSTSTRØMMEN

Fig. 5 viser temperaturen i om lag 4 m langs kysten fra Oslofjorden til Breisundet vintrene 1966 og 1970 og en 20 års normal for det samme området. Overflatevannet i målingsperiodene var tydelig kaldere sist vinter enn normalt på hele strekningen og også kaldere enn vinteren 1966 på mesteparten av strekningen. Også i overgangen februar–mars 1963 lå temperaturen godt under det normale (EGGVIN 1963) selv om den mellom Lindesnes og Korsfjorden var ca. 1°C høyere enn sist vinter.

Baltisk vann som utgjør hoveddelen av det øverste skikt av kyststrømmen i Skagerak, har saltholdighet lavere enn 32‰ . Selv ved kraftig avkjøling blir derfor disse vannmasser for lette til umiddelbart å kunne delta i utskiftingen av dyvannet her. Fig. 3 viser da også at det under det avkjølte overflatelaget er en større vannmasse med temperatur til dels over 6°C helt inn til Norskekysten. På denne siden av «Renna» finner en også et intermediært belte med stor stabilitet som virker bremsende på avkjølingen lengre ned. Avkjøling skjer imidlertid også her og det ved at overflatevann etter hvert blandes ned i de dypere lagene. Sterk strøm fremskynder denne prosessen, og den karakteristiske forskjellen i tetthet mellom overflatelaget og de dypere liggende lagene avtar både lokalt med tiden og etter hvert som vannmassene beveger seg lang kysten. Samtidig svekkes beltet med høy stabilitet (overgangslaget) og finnes dypere. Nær Torungen var således stabiliteten i overgangslaget $100\text{--}500 (10^3 \frac{\Delta\sigma_t}{\Delta Z})$ med maksimum i om lag 15 m og ved Lindesnes $50\text{--}100$, med maksimum i om lag 50 m (Fig 3).

Fig. 6 hvor middeltemperaturen for en rekke måneder i årene 1963, 1966 og 1970 er sammenholdt med en 20 års normal, viser at den sterke avkjølingen ved overflaten gjør seg gjeldende helt til bunns i kyststrømmen. Observasjonene er gjort utenfor Utsira, hvor bunndypet er 260 m.

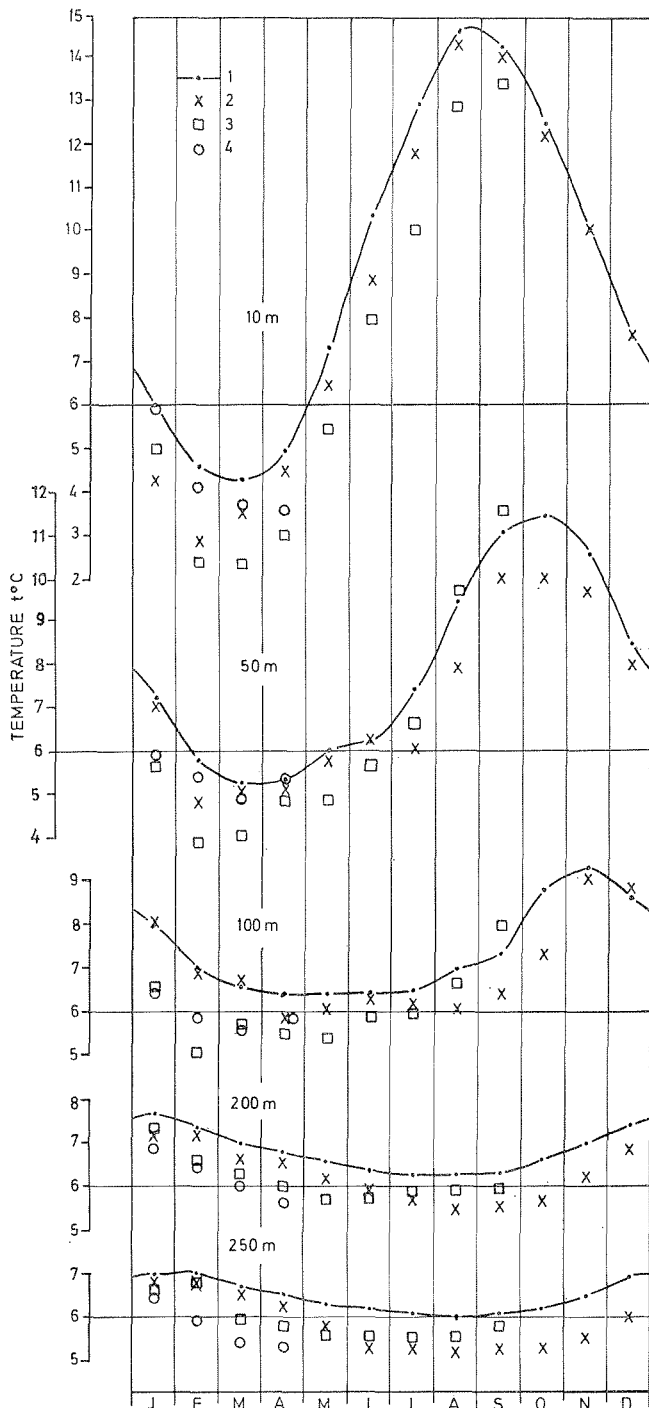


Fig. 6. Temperaturvariasjon i 10, 50, 100, 200 og 250 m ved Utsira. 1) 20 års normal, 2) månedsmiddel for 1963, 3) månedsmiddel 1966, 4) månedsmiddel for 1970.

[Temperature variations at 10, 50, 100, 200 and 250 m on the position $N 59^{\circ}19' E 04^{\circ}44'$ (off Utsira). 1) Average of 20 years, 2) monthly means 1963, 3) monthly means 1966, 4) monthly means 1970].

I hovedtrekket ligger temperaturene i de undersøkte perioder under det normale, men med store forskjeller fra år til år. I gjennomsnitt var avviket det første halvåret størst i 1966 i alle dyp. Tem-

peraturminimum opptrådte tidligere det året enn i 1963, også i forhold til normalen. Siste vinter var anomalien størst i de dypeste lagene. Slike forskjeller skyldes en rekke faktorer som forskjellig vertikal tetthetsfordeling, mer eller mindre sporadisk tilstrømming av vannmasser med andre temperaturer, vindforhold osv.

I 1966 var situasjonen normal i alle dyp tidlig på høsten. I desember 1963 lå temperaturen fremdeles $1/2^{\circ}$ — 1°C under normalen, men rettet seg opp innen april 1964.

MILJØFORANDRINGER PÅ NORDSJØBANKENE

Vannmassene på mesteparten av Nordsjøplatået blir gjennomblandet fra overflaten til bunnen om vinteren samtidig som de avkjøles (DIETRICH 1950). Forskjellen i temperaturene fra sted til sted ved slutten av avkjølingsperioden skyldes stedlige forskjeller i energioverføring til luften, den varmemengde som på forhånd var til stede og som etter hvert tilføres fra tilgrensende hav.

Samtidig med sommeroppvarmingen blir store deler av Nordsjøen tilført saltfattige vannmasser. Disse to faktorer sammen bevirker at det dannes et lett overflateskikt som bremser på transporten av varme til de dypere lag. På den vestlige og sydlige delen blir overflateskiktet brutt ned av tidevannskreftene. På en del av de sentrale områder av platået er imidlertid disse kreftene ikke store nok til å gjennomføre en slik prosess, og her vil dypvannet beholde sin vinterkarakter utover sommeren og høsten (DIETRICH 1950). Karakteren modifiseres noe ved blanding med tilførte varmere vannmasser. Graden av denne tilførsel varierer fra sted til sted.

Virkningen av vinteravkjølingen blir således ikke lik for hele platået. Likevel må en anta at en sterkere avkjøling vil i gjennomsnitt gi lavere sommer- og høsttemperaturer i bunnvannmassene over de viktigste fiskebanker her.

Observasjonene som ligger til grunn for Fig. 7, er tatt nær Store Fiskebank, og gjennomsnittsverdiene er i god overensstemmelse med en tidligere analyse fra en nærliggende posisjon (DIETRICH 1959). En ser at temperaturen de tre vintre som omtales her ligger under normalen. Særlig stor anomali finner en i januar og februar 1966. Det året var også bunn-temperaturene i de sentrale deler av Nordsjøen gjennom hele ettersommeren og høsten $0,75^{\circ}\text{C}$ lavere enn normalen (FILARSKI 1966).

Temperaturene (Fig. 7) sist vinter synes å være høyere enn en skulle vente sammenliknet med de to andre kuldeperioder. Forklaringen på dette ligger i at tilstrømmingen av Atlantisk vann med forholdsvis høy

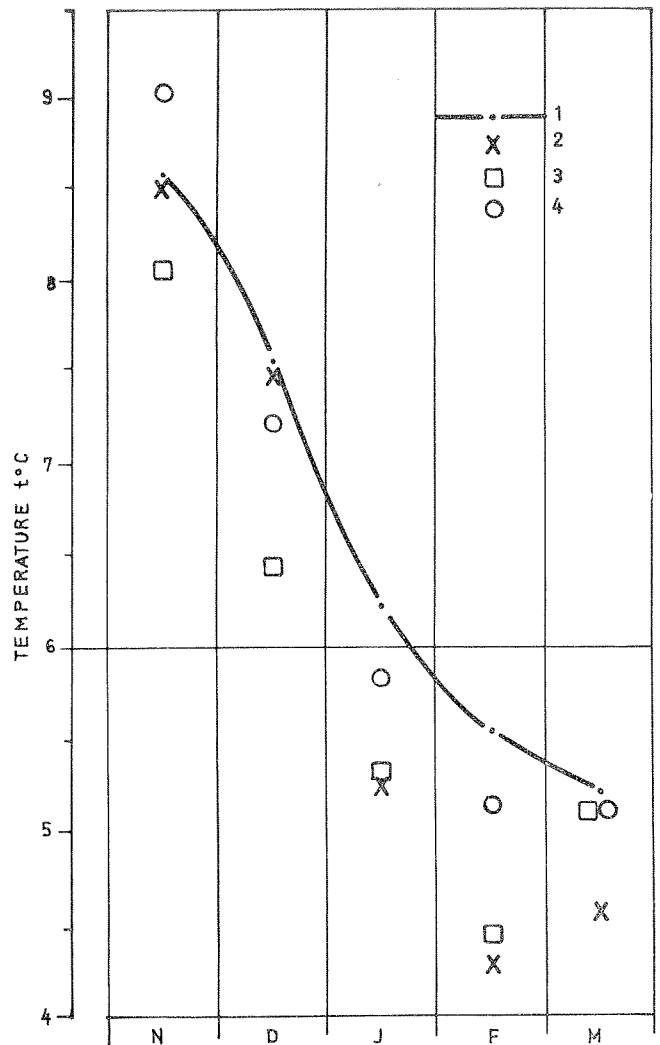


Fig. 7. Variasjon i middeltemperatur i 0—80 m nær Store Fiskebank. 1) 10 års normal, 2) månedsmiddel for vinteren 1962—1963, 3) månedsmiddel for vinteren 1965—1966, 4) månedsmiddel for vinteren 1969—1970.

[Variation in mean temperature between 0 and 8 m near Great Fisher Bank. 1) Average of 10 years, 2) monthly means in winter 1962—1963, 3) monthly means in winter 1965—1966, 4) monthly means in winter 1969—1970].

temperatur til dette området har vært større siste vinter enn de to andre sesongene. Dette viser middel-saltholdigheten som var $35,05\text{ ‰}$ for de fem måneder av siste sesong mens den for 1962—63 var $34,96\text{ ‰}$ og for 1965—66 $34,94\text{ ‰}$.

DISKUSJON OG KONKLUSJON

Den store negative anomalien (over 2°C) over Revkanten sist vinter (Fig. 2) i forhold til vintrene 1963 og 1966 skyldes ikke at varmetapet var særlig større denne vinter, men først og fremst at Atlanterhavsvannet som de to førstnevnte årene var observert

i overflaten, sist vinter var meget oppblandet med kaldere Baltisk vann og Nordsjøvann i de øverste 30—50 m. Denne avkjølingen vil neppe få noen avgjørende betydning for temperaturforholdene dypere nede. Varmeinnholdet i de intermediære lag på disse lokaliteter er sannsynligvis mere diktert av temperaturen i og mengden av de innstrømmende Atlantiske vannmasser.

Utskiftingen av dypvannsmassene i Skagerak og avkjølingen i den norske kyststrømmen er to fenomener som har felles årsak, men de arter seg forskjellig og er uavhengig av hverandre. Det sistnevnte er en periodisk svingning mens utskiftingen er avhengig av en rekke hydrografiske forhold. Bare i de tilfeller hvor betingelsene er til stede i tilstrekkelig grad, får en signifikant forandring i dypvannet.

Oppvarmingen i Skagerakdypet skjer ved diffusjon av varme fra innstrømmende vann med høyere temperatur. Samtidig blir imidlertid de varmere vannmasser noe avkjølt, og den lave temperaturen i dypvannet vil således kunne virke avkjølende på bunnskiktet av kyststrømmen i Skagerak over en periode på flere år. Hvor langt utover i Norskerenna denne effekten er av betydning, er ukjent, men det synes ikke som om den er signifikant på høyde med Utsira. Så langt fra kuldekilden blir sannsynligvis denne faktor underordnet i forhold til temperaturvariasjoner av andre årsaker.

Nordsjøen er vel det av de tre omhandlede havområder som viser den mest komplekse hydrografi. Det er derfor vanskelig å rangere de enkelte årsaker med virkninger her. De siste tre års undersøkelser på den nordlige delen av plataet antyder at temperaturen i bunnskiktet varierer med opptil 2°C fra sommer til sommer. Meget av denne variasjonen skyldes sannsynligvis advective prosesser, men forskjeller i vinteravkjølingen synes å være en vesentlig modererende eller forsterkende faktor.

SUMMARY

The effect of the extreme cold winter of 1969—1970 on the deep water of the Skagerrak, the northern North Sea and the Norwegian coast water have been studied. References are made to similar

situations in 1963 and 1966 and to a generalized normal hydrographic situation.

As in 1963 and 1966, the deep waters in the Skagerrak were exchanged with cold North Sea water during the late winter and early spring of 1970.

Baltic water does not give any contribution to this exchange.

The temperature of the coast water off western Norway was lower than normal in all the three years. The anomaly was especially great near the bottom.

The mean temperature on a locality near the Great Fisher Bank was higher during the months of January through March in 1970 than expected from the heat loss at the sea surface. This is probably due to a greater influx of warm Atlantic water to the area than in the years 1963 and 1966 and also greater than the average of the last 10 years.

LITTERATUR:

- DIETRICH, G. 1950. Die natürlichen Regionen von Nord und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. *Kiel Meeresforsch.*, 7 (2): 35—69.
- EGGVIN, J. 1963. Tilstanden i havet under den unormale vinter 1963. *Fiskets Gang*, 49: 213—220.
- 1966. Pilot project on rapid utilization of synoptic oceanographic observations. *Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea*, 1966 (17): 1—43.
- FILARSKI, J. 1966. Polish hydrographical observations in the North Sea in summer and autumn 1966. *Annls biol. Copenh.*, 25: 60—65.
- LJØEN, R. 1965. On the exchange of deep waters in the Skagerrak. *Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea*, 1965 (157): 1-4. 10 fig. [Mimeo.]
- LJØEN, R. and SVANSSON, A. Long-term variation of subsurface temperature in the Skagerrak. [Manuskript.]
- RASMUSSEN, B. 1966. Temperaturforhold og rekefiske i Skagerak 1962-66. *Fiskets Gang*, 53: 842-847.
- SVANSSON, A. 1966. Long-term variations of subsurface temperatures in the Skagerrak. *Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea*, 1966 (N 19): 1-12. [Mimeo].