

ISFORHOLDENE I BARENTSHAVET OG VEST AV SPITSBERGEN. EN OVERSIKT

[A review of the sea ice conditions of the Barents Sea and the area west of Spitsbergen]

AV

HARALD LOENG

Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt

ABSTRACT

LOENG, H. 1979. Isforholdene i Barentshavet og vest av Spitsbergen. En oversikt.[A review of the sea ice conditions of the Barents Sea and the area west of Spitsbergen]. Fisken Hav., 1979(2): 29-75.

The purpose of the present paper is to review our knowledge of the sea ice conditions of the Barents Sea and the area west of Spitsbergen and is mainly based on available literature.

The variations of the sea ice conditions may be regarded to be of three different types. Short-term variations take place within periods from a few hours to about one month. On some occasions the position of the ice border during one week can vary more than 100 km.

The seasonal variation of the sea ice extension is, in its broad features, similar from one year to another. Nevertheless, great interannual variation in the position of the ice border may occur. In some months these variations exceed 500 km. There seems to be no connection between freezing in winter and melting in summer.

Cyclic variations in the ice conditions of periods between 3-5 years have been proposed. Also a period of 11 years, which coincides with the solar activity cycle, has been put forward. However, the verification of these periods is not convincing. In addition long-term trends are observed.

The main characteristic feature of the sea ice distribution is caused by permanent warm and cold currents in the area. There also seems to be a connection between the heat content of the Atlantic water which enters the Barents Sea, and the extension of the ice in winter. How far the ice withdraws in summer depends on local meteorological conditions only. On the west coast of Spitsbergen, however, there appears to be a connection between extreme hydrographic situations and extremes in distribution of ice also in the summer.

Considering the meteorological conditions, most attention has been focussed on the effects of air temperature, air pressure and prevailing winds. Some authors have found corresponding variations in air temperature and ice conditions, while others have dealt with the relationship between air pressure differences and ice extension. These studies indicate a correspondance between the sea ice conditions and the atmospheric circulation. However, variations in the atmospheric circulation also affect the intensity of ocean currents and vice versa. This intercorrelation complicates the task of identifying the most significant factors influencing the variations of the sea ice.

INNLEDNING

Utbredelsen av havisen i de arktiske marginalområder varierer mye i løpet av året og fra år til år. Dette influerer på seilings-sesongen for skip i disse strøk og var en av de primære årsakene til at man begynte å interessere seg for isforholdene. Målet med flere av de tidligste undersøkelsene var å kunne forutsi når seilingssesongen kunne starte slik at man unngikk bomturer fordi isen hindret fremkomsten.

I dag bunner interessen for isforholdene i de arktiske strøk primært i andre grunner. Leting etter og utvinning av olje- og gassfelter i disse områdene krever nøye kjennskap til de varierende isforhold. Dessuten trengs det i den sammenheng kunnskaper om de krefter som isen utøver på ulike konstruksjoner. Et annet problem som er aktuelt i enkelte områder er om de varierende isforholdene

kan ha betydning for fiskeriene. Mest interesse har imidlertid vært knyttet til sammenhengen mellom varierende isforhold og klimaendringer. Det er her en gjensidig påvirkning. Isdekket vil effektivt redusere vinddrift og vindblanding i havet. I vinterhalvåret vil isdekket videre redusere varmetapet fra havet til atmosfæren, og om sommeren vil varmeutvekslingen mellom atmosfære og hav reduseres ved at isen reflekterer solstråling. Sannsynligvis vil varierende isforhold således ikke bare influere på det lokale klima, men også mer globalt som diskutert hos SCHELL (1970). Samtidig vil også varierende isdekke fra år til år gi et uttrykk for klimavariabilitet, og det er denne sammenhengen som har blitt viet størst oppmerksomhet gjennom tidene.

Manglende feltundersøkelser har imidlertid vært et problem som gjelder i de fleste marginalområder. For å få en mer fundamental forståelse av isens dynamikk og den termodynamiske vekselvirkning mellom sjøisen og dens omgivelser, har man flere steder satt igang intensive undersøkelser. I St. Lawrencebukta mellom Newfoundland og Canada har det således vært intensive feltobservasjoner av isdrift med det mål for øye å lage en numerisk modell for isvarsling (f.eks. INGRAM, JOHANNESSEN and POUNDER 1969). Den største eksperimentelle og teoretiske undersøkelse i denne sammenheng er AIDJEX (Arctic Ice Dynamics Joint Experiment) (MAYKUT, THORNDIKE and UNTERSTEINER 1972). Feltundersøkelsene ble utført i områdene nord for Alaska og er nå avsluttet. De praktiske anvendelsene man håper å få ut av denne undersøkelsen er bl.a. innen områdene isvarsling, klima og is, oljeforurensning og dimensjonering av konstruksjoner. Selv om de enkelte områder har sine særtrekk, vil flere av resultatene fra disse undersøkelsene være av en så generell karakter at de lar seg overføre til andre områder.

Hensikten med denne rapporten er å beskrive variasjonene i isforholdene i Barentshavet og langs vestkysten av Spitsbergen, og dessuten diskutere de faktorer som er årsak til variasjonene. Det hele er ment som en oversikt og er basert hovedsakelig på litteraturstudier med hovedvekt på de teorier om årsak og virkning som er fremkommet.

DATAMATERIALE

De første informasjoner om isforholdene i området rundt Svalbard og i Barentshavet fikk man fra fiskebåter, fangstskuter og frakteskuter som ferdedes i området. Disse observasjonene går helt tilbake til 1553 og gjelder områdene ved Novaja Zemlja. Observasjonene var imidlertid tilfeldige, og de fleste var unøyaktige i både posisjon og tid. En oppsummering av slike observasjoner fra store deler av Arktis fram til 1875 ble gjort av CHAVANNE (1875). En del opplysninger om isforholdene i tidligere tider får man også gjennom ulike naturgeografiske beskrivelser fra ekspedisjoner til Svalbard (LAING 1815, KJELLMAN 1875), og senere også NANSEN (1920).

Den første mer systematiske innsamling av opplysninger om isforholdene ble foretatt av tollkasserer Karl Pettersen i Tromsø. I perioden 1864-89 samlet han observasjoner fra norske båter som seilte i områdene rundt Svalbard og i Barentshavet. Opplysningene for de ulike båter ble sammenholdt, og i flere år utga han beskrivelser og karter over isforholdene (f.eks. PETTERSEN 1881, 1882, 1884, 1885, 1886). Han prøvde også å få igang systematiske undersøkelser, og i en artikkel begrunner han hvordan det skulle gjøres (PETTERSEN 1883). Imidlertid skulle det gå 15 år før man internasjonalt kunne enes om en systematisering av isobservasjoner. På den 7. internasjonale geografikongress i Berlin i 1898 vedtok man en resolusjon hvor det bl.a. het:

"I erkjennelsen av den store vitenskapelige og praktiske interesse, som det vil ha såvidt mulig å kjenne den årlige utbredelse, form og mengde av drivisen av polar oprinnelse, retter kongressen en inntrengende opfordring til de hydrografiske og meteorologiske institusjoner i de land, som har skibe der befarer de hav hvor drivis av polar oprinnelse forekommer, om ved internasjonalt samarbeide å søke å tilveiebringe så uttømmende opplysninger som mulig til et centralsted, for at en ensartet bearbeidelse av hele materialet kan finne sted der. Hensett til de allerede forekommende arbeider i denne retning, erklærer kongressen det danske meteorologiske Institut i Kjøbenhavn som best egnet til centralsted for innsamling og bearbeidelse av opplysninger vedrørende isforholdene i de nordlige hav"

Det Danske Meteorologiske Institutt hadde fra 1890 utgitt årlige publikasjoner om isforholdene øst for Grønland (fra 1893 inkludert Barentshavet) og i Davis-stredet. I 1900 kom publikasjonen "Isforholdene i de Arktiske Have", som omfattet hele Arktis. Denne kom ut til og med 1956 bare avbrutt av krigsårene 1940-45 (DET DANSKE METEOROLOGISKE INSTITUT 1891-1900, 1901-1959). Her ble observasjoner fra den enkelte måned omtalt, og for månedene april-august, som hadde flest observasjoner, ble det presentert kart. Målestokken på kartene (1 : 27 000 000) var imidlertid for liten til å gi detaljer i isforholdene.

Disse månedskartene kunne selvsagt ikke bli helt pålitelige da de var avhengige av de opplysninger som tilfeldigvis kom inn, og isens utbredelse forandrer seg mye gjennom en måned. Men i det store og hele gir de et verdifullt materiale til bedømmelse av isen de forskjellige somrer. Flere forfattere har da også brukt disse kartene som utgangspunkt for undersøkelser av variasjonsmønstre i isforholdene. Av disse forfatterne kan nevnes NANSEN (1920), FROMMEYER (1928), KISSLER (1934), OMDAL (1953) og NUSSER (1958).

Iskart for hele Arktis fikk man ikke igjen før METEOROLOGICAL OFFICE (1960-78) begynte å utgi månedlige iskart i februar 1960. Manglende observasjoner gjorde det vanskelig å dekke alle områder, og i Barentshavet er ikke isgrensen angitt regelmessig før i 1961. For første gang fikk man regelmessige opplysninger om vintermånedene, selv om det i enkelte områder i begynnelsen var stor usikkerhet på grunn av få observasjoner. Påliteligheten ble imidlertid raskt bedre etter som datatilgangen økte ved hjelp av observasjoner fra fly og fra 1966 også fra amerikanske værsatelitter. En stor fordel med de engelske iskartene er at isgrensen er angitt til en bestemt tid innenfor hver måned, nemlig slutten. Dette gjør det lettere å sammenligne isgrensens beliggenhet fra år til år. Målestokken på disse kartene er imidlertid også så liten (ca. 1 : 20 000 000) at detaljer ikke kommer fram.

For tidsrommet 1957-60 foreligger det ingen presentasjoner av isforholdene i Barentshavet øst for 30°Ø. For områdene rundt Svalbard foreligger det observasjoner ved Norsk Polarinstitutt som

er presentert av LUNDE (1963, 1965). Fra 1967 har VINJE (1969-77) hvert år utgitt en oversikt over isforholdene i slutten av hver måned. Kommentarene som er knyttet til kartene gir en god del tilleggsinformasjoner utover det som går fram av kartene.

Fra 1970 har DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT utgitt iskart basert på observasjoner fra amerikanske værsatelitter supplert med eventuelle observasjoner fra fly og båt. I den første tiden var ikke alltid utgivelsen helt regelmessig på grunn av problemer med gode satelittbilder, men i dag kommer disse kartene to ganger i uken. Nøyaktigheten i angivelsen av isgrensen på disse kartene avhenger av kvaliteten på satelittbildene, og det er således i dag en mye sikrere angivelse av isgrensen enn i den første tiden disse kartene kom ut. I begynnelsen var det ofte avvik mellom satelittobservasjoner og overflateobservasjonene fra båt og fly. Dette skyldtes at iskonsentrasjoner mindre enn $3/8$ ikke alltid ble observert av satelittene. Fotografering fra værsatelittene foregår i de synlige og infrarøde delene av lysspekteret. Dette medfører at skyer og frostrøyk bidrar til for høye iskonsentrasjoner eller helt hindrer observasjoner. VINJE (1976b og 1978) gir en del eksempler på feilaktige iskonsentrasjoner på disse kartene og peker samtidig på en del unøyaktigheter i posisjonsangivelsen for isgrensens beliggenhet. Også OSTHEIDER (1975) påpeker at iskartene som er tegnet på grunnlag av bilder fra værsatelitter, og ikke bare de norske, er for lite presise. Dette til tross, så gir disse kartene et godt grunnlag å bygge på ved studier av isforholdene.

Foruten de opplysninger man får gjennom de mer regelmessige kilder som er omtalt ovenfor, er det sporadisk utgitt enkelte atlaser som gir midlere isgrense i enkelte perioder. Det danske meteorologiske institutt publiserte således tre ganger midlere isgrense for det området som behandles i denne rapporten. Det var for månedene april-august i periodene 1898-1913, 1898-1922 og 1919-1943 (DET DANSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT 1917, 1926 og 1956). Et atlas utgitt av UNITED STATES NAVY HYDROGRAPHIC OFFICE (1946) ga midlere isgrense for alle måneder for hele perioden 1898-1938. Dessuten er det angitt maksimum- og minimumsutbredelse for enkelte måneder. DANIEL (1958) benyttet alle tilgjengelige data fram til 1957 som grunnlag for å presentere midlere isgrense for hele Arktis. Ekstre-

mer for 1/10 og 5/10 isdekke for alle måneder er også tatt med. Et atlas utgitt av DEUTCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT (1950) angir den prosentvise sannsynlighet for å møte ulike iskonsentrasjoner i forskjellige deler av Arktis og bygger på data fra perioden 1919-1943. Atlaset er imidlertid ikke så anvendelig til studier av isgrensen som de forannevnte. Felles for alle de nevnte atlaser er at målestokken er for liten til å gi detaljer.

VARIASJONER I ISFORHOLDENE

Sesongvariasjoner

Det årlige variasjonsmønster i havisens utbredelse i områdene rundt Spitsbergen og i Barentshavet er i store trekk likt fra år til år. Likevel kan isgrensens beliggenhet innfor den enkelte måned variere mye fra det ene året til det neste. Dette går tydelig fram av Fig. 1 som viser observert maksimums- og minimumsutbredelse av havisen i slutten av hver måned i perioden 1966-75. Størst utbredelse har isen vanligvis i tidsrommet mars-mai, og i de vestlige og sentrale deler av Barentshavet ligger da isgrensen de fleste år mellom 73-75°N. Maksimumsutbredelsen synes å opptre senere i år med mye is enn i år med lite is.

Selv om isen kan ha sin største utbredelse så tidlig som i mars, blir det ikke noen fart i issmeltingen før i juni. Smeltingen videre utover sommeren fører til at store ismengder forsvinner, og månedene juli, august og september har klart de gunstigste isforholdene. Den farten isen trekker seg tilbake med, varierer fra område til område og fra år til år. Tilbaketrekkingen er vanligvis størst i siste halvdel av juni og i juli, men også i august kan den være stor. Det finnes eksempler hvor isen i løpet av 14 dager har trukket seg tilbake over mer enn 3 breddegrader (ca. 330 km) i de sentrale deler av Barentshavet. Vanligvis ligger tilbaketrekkingshastigheten mellom 150-350 km i løpet av en måned i den sterke smeltefasen. Når isen har nådd sin minimumsutbredelse, kommer en kortere periode hvor isgrensens beliggenhet varierer svært lite. I Barentshavet ligger da isen vanligvis nord for 79°N. Tilfrysingen begynner igjen i løpet av september, men tidspunktet

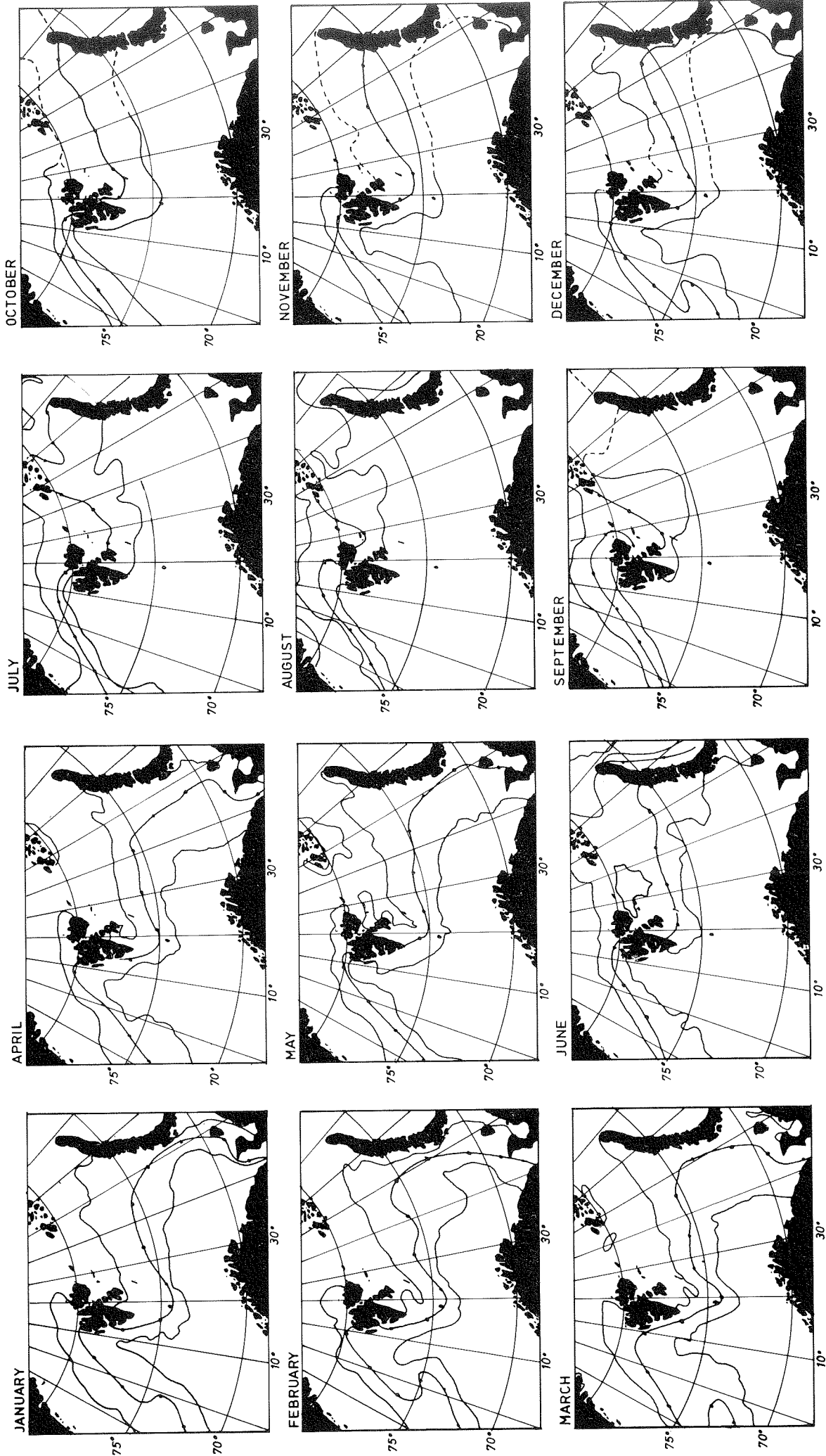


Fig. 1. Midlere (—●—) og ekstreme (—) isgrenser i sluttet av hver måned for perioden 1966-1975. [Sea ice conditions at the end of each month of the year. —: enveloping curves indicating the most northern or southern extension of sea ice concentrations above 3/8 for 1966-1975. —●—: Median border south of which sea ice (concentrations above 3/8) is observed in less than 50% of the cases in the ten-year period 1966-1975]. (After VINJE 1977)

avhenger mye av lufttemperaturen. I den første tiden skjer frysing raskt, og i Barentshavet når isen som oftest sør til 76°N i løpet av desember. Resten av vinteren vil isgrensen gradvis forflytte seg sørover til maksimumsutbredelsen er nådd, men hele tiden foregår det forskyvninger både nordover og sørover. Fra vestkysten av Novaja Zemlja vil isen spre seg vestover i Barentshavet, og i enkelte år kan hele havet i en kortere eller lengre periode være islagt til vest for 40°Ø mens havet i andre år kan være isfritt til øst for 50°Ø hele vinteren.

På vestsiden av Spitsbergen er det størst variasjon i isens utbredelse i tidsrommet desember-april (Fig. 1). Om sommeren er variasjonene betydelig mindre. Et karakteristisk trekk i bildet i dette området er den bukta i isdekket som strekker seg nordover mellom $10-20^{\circ}\text{Ø}$. Denne bukta gjør at isgrensen gjennom hele året her ligger noe lenger nord enn i Barentshavet. I år med lite is kan bukta gjennom store deler av vinteren strekke seg nord til 80°N , og selv i år med mye is er det sjelden isen ligger lenger sør enn 75°N . Selve vestkysten av Spitsbergen er imidlertid alltid islagt gjennom størstedelen av vinterhalvåret, også i år med lite is lenger ute.

Variasjonene innenfor en måned er stort sett større i Barentshavet enn i området vest av Svalbard. I enkelte områder kan isgrensens beliggenhet i en måned variere med mer enn 5 breddegrader (550 km) fra et år til et annet. I den vestlige delen av havet finner man de minste variasjonene i perioden februar-april mens man i den østlige delen finner noen av de største variasjonene i samme tidsrom, men her er variasjonene store også i resten av året.

I Barentshavet finner man også en del karakteristiske trekk i isens utbredelse, særlig under smelte- og frysefasen. Det grunne området sørover forbi Hopen og Bjørnøya er et av de første som blir islagt og et av de siste hvor isen forsvinner (Bjørnøyodden). Herfra er det også isen sprer seg nordover langs vestkysten av Spitsbergen. En isodde dannes også gjerne over Sentralbanken (Nordostodden), og et typisk eksempel på isens beliggenhet tidlig på vinteren er vist på Fig. 2.

Om våren trekker isen seg først tilbake over de dypere områdene vest og øst av Sentralbanken. Etter at satelittbildene kom, viste det seg at ismelting også kunne starte andre steder. I området sør for Franz Josefs Land danner det seg ofte så tidlig som i slutten av mars åpent vann (Fig. 1). Denne åpningen i isen ble første gang omtalt hos PETTERSEN (1882) i forbindelse med at en ishavsskute frøs fast i isen og måtte overvintre i dette området. Siden synes dette å ha vært glemt inntil satelittbildene avslørte dette årvisse fenomen. Denne råken blir større utover våren, og støter etter hvert sammen med smeltingen fra sør og danner således det første isfrie området (Fig. 3). Samtidig med at det foregår en

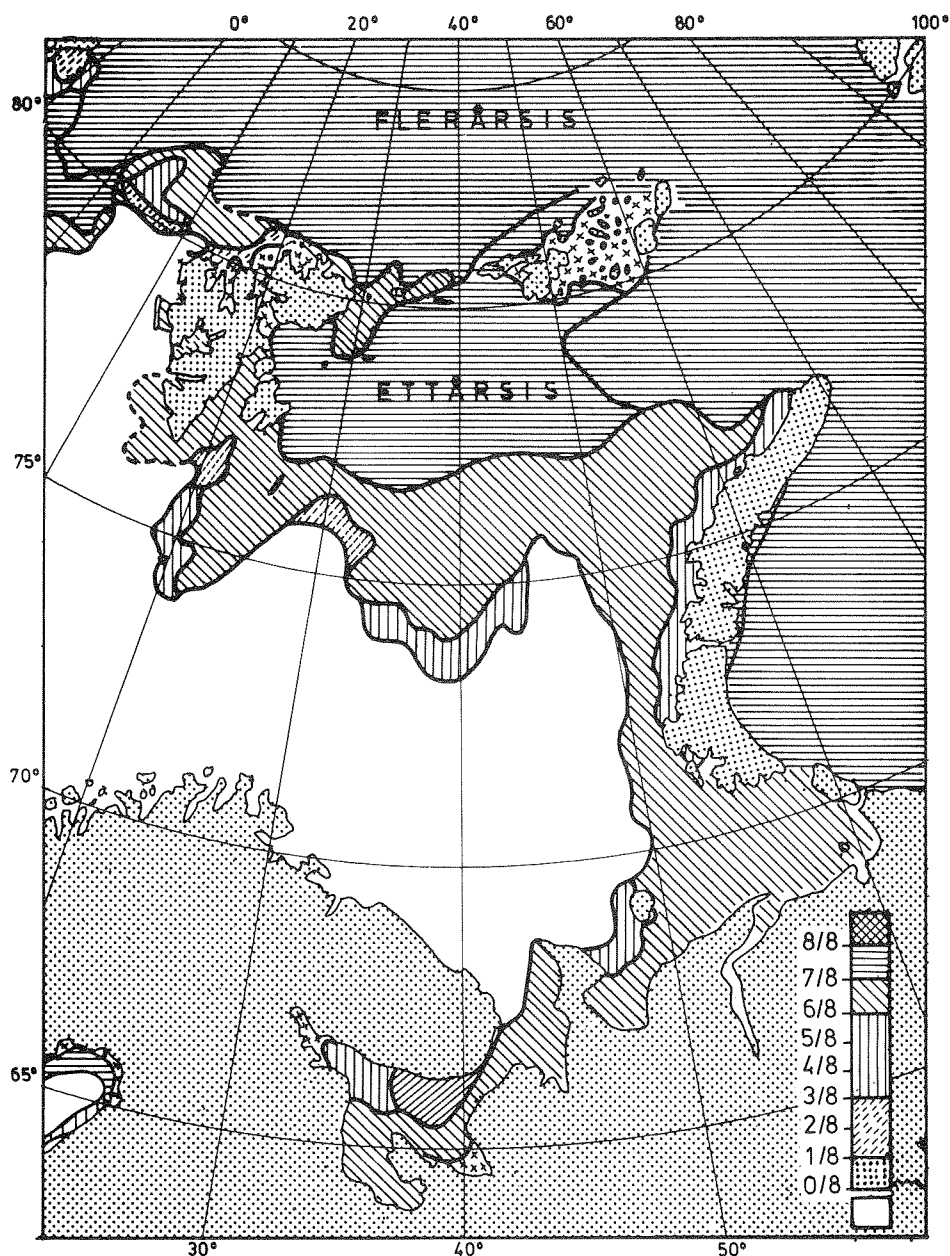


Fig. 2. Isens beliggenhet i midten av desember 1978.
[Ice border in the middle of December 1978].

issmelting østover fra den åpne bukta nord av Spitsbergen, foregår det smelting vestover fra Franz Josefs Land. Dette medfører at man ofte får et isolert isdekket område øst av Spitsbergen som vist for juni på Fig. 1.

Isforholdene i perioden 1970-1978.

På grunnlag av iskartene fra Meteorologisk Institutt er det mulig å lage tidsserier for isgrensens beliggenhet i perioden 1970-78. På Fig. 4 er isgrensen midlet innenfor sektorer på 5 lengdegrader

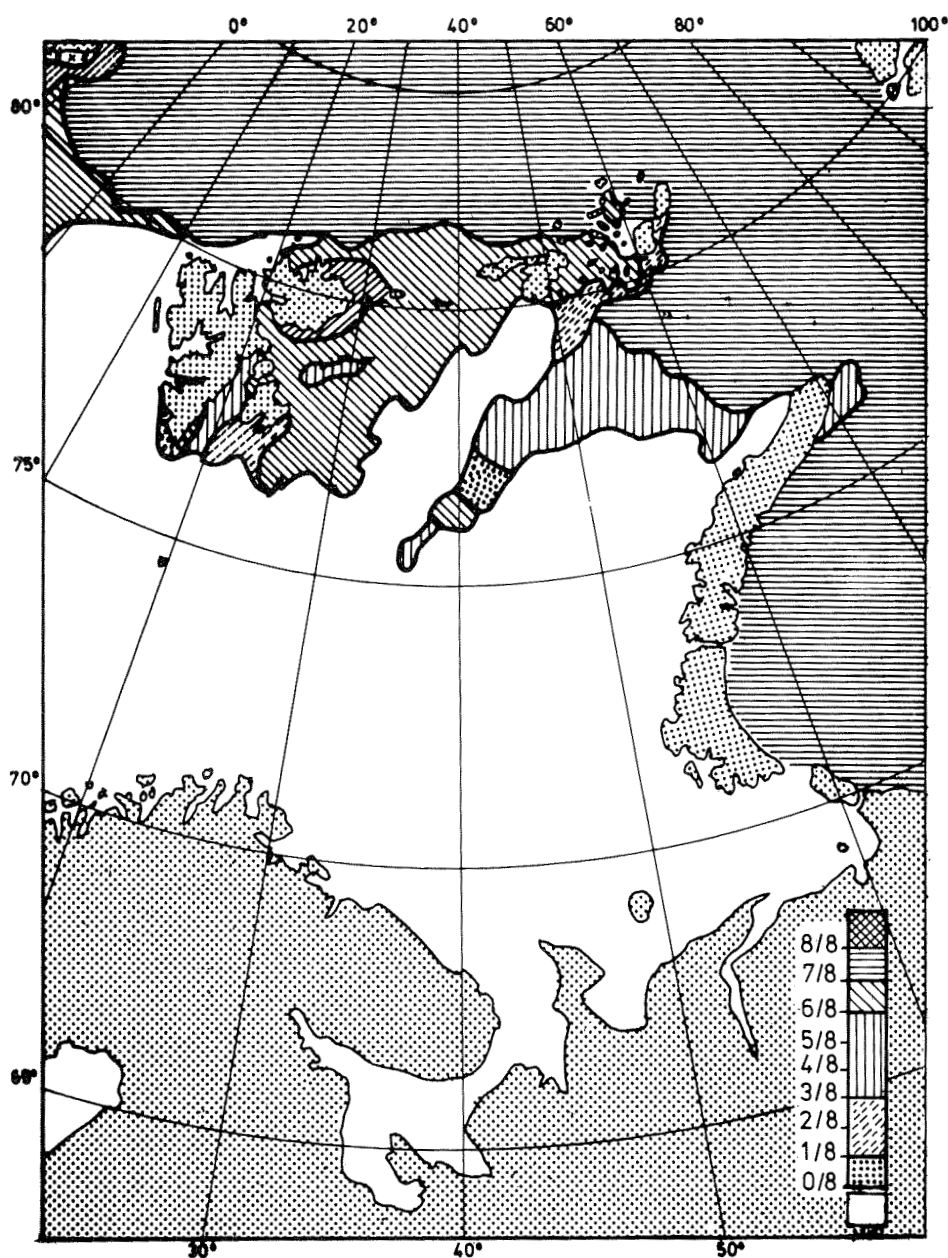


Fig. 3. Isforholdene i slutten av juli 1978.
[Ice conditions at the end of July 1978].

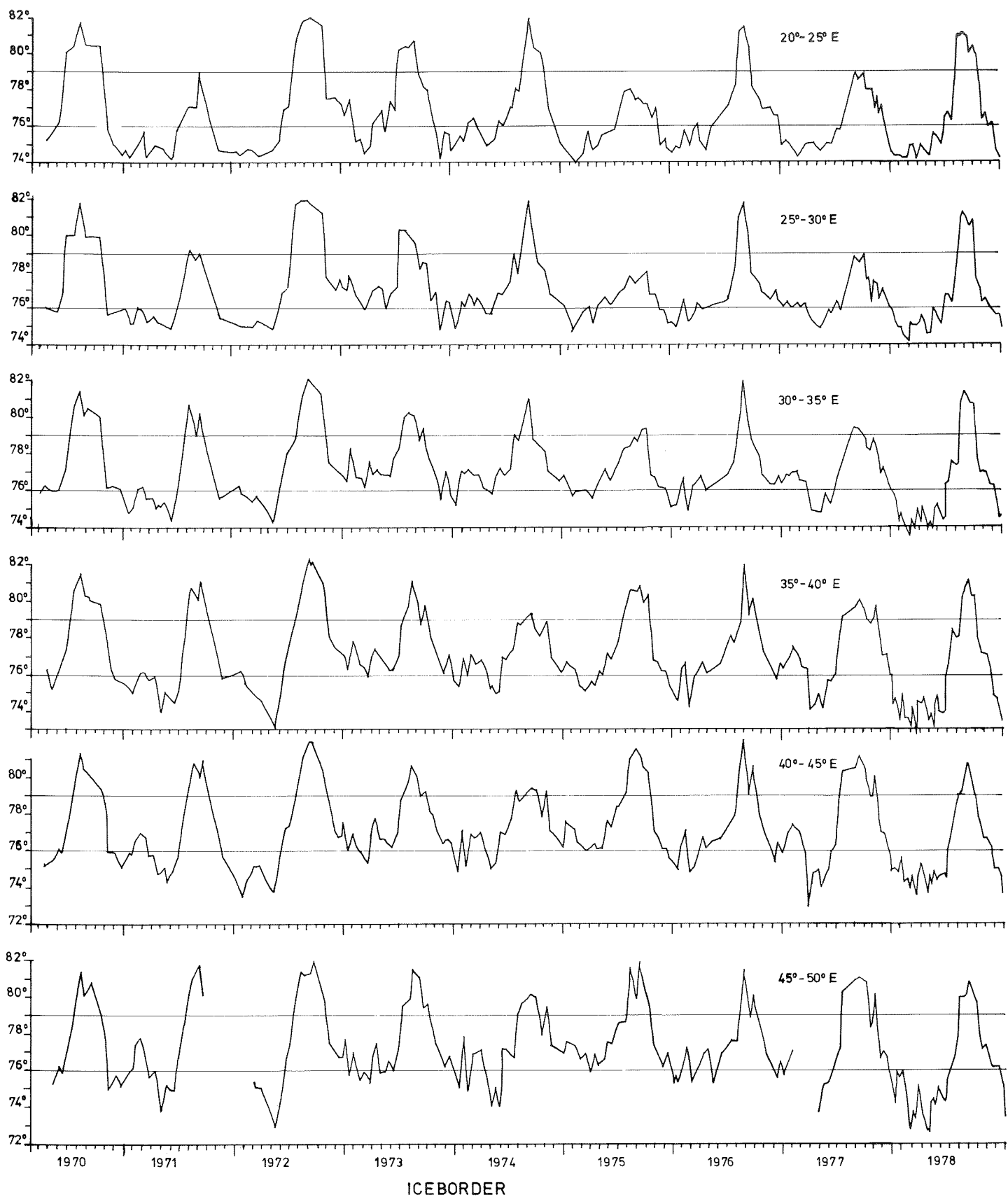


Fig. 4. Isgrensens beliggenhet i Barentshavet innenfor sektorer på 5 lengdegrader i tidsrommet 1970-1978. [Ice extension in the Barents Sea from 1970-1978 presented in 5° (long.) sectors].

for området mellom Svalbard og Novaja Zemlja. Av figuren ser man tydelig at isgrensen varierer over flere breddegrader hvert år, og at det kan være stor variasjon årene imellom. Figuren viser også at tilfrysing og avsmelting kan være ulik i den vestlige og østlige delen av havet. Både i 1971 og 1975 var det større avsmelting i øst enn i vest mens 1974 hadde det omvendte forhold. Slike ulikheter i variasjonene finner man enda tydeligere over større områder. Allerede RYDER (1896) påpeker at isforholdene kan være vidt forskjellige ved Spitsbergen og i områdene rundt Island, og VINJE (1976 b) slår fast at isforholdene i Norskehavet og Barentshavet i flere tilfeller varierer forskjellig.

De noe varierende isforhold i de ulike deler av Barentshavet gjør at det utfra Fig. 4 kan være vanskelig å se om det totalt sett er endringer i isforholdene fra år til år i denne perioden. For å undersøke dette, er isdekket og isfritt areal henholdsvis sør for 76°N og nord for 79°N summert opp for hver måned. For å unngå effekter fra land, er bare de sentrale deler av Barentshavet mellom 25° - 45°Ø tatt med. På Fig. 5 er resultatet fremstilt som en arealindeks hvor tallene langs ordinaten gir et relativt bilde av isforholdene i perioden. Av figuren fremgår det at med unntak av 1970 og 1972 er det små variasjoner i det isfrie arealet nord for 79°N . Isleggingen ser derimot ut til å variere mer. Etter mye is vintrene 1971 og 1972 var det i 1973 svært lite is. Heller ikke de neste 3 årene er det store ismengder sør for 76°N , men utpå vinteren 1977 får man en plutselig økning. Vinteren 1978 er den vinteren som har hatt mest is i denne perioden, men likevel trakk isen seg like langt tilbake som i øvrige år. Etter mye is vinteren 1972, fikk man den følgende sommer den største ismelting i denne perioden, og etter en forholdsvis stor avsmelting sommeren 1970, fikk man likevel mye is vinteren 1971. Dette tyder på at det ikke er noen sammenheng mellom isleggingen om vinteren og avsmeltingen om sommeren. Omvendt kan man heller ikke ut fra isforholdene om sommeren gi noen prognose for den kommende vinter. Dette bekreftes ved å se på tidligere observasjoner. KISSLER (1934) korrelerte isforholdene i april med forholdene i august og fant at man ikke kunne si noe om isforholdene i august ut fra isgrensens beliggenhet i april. Det aller tidligste eksemplet på dette finnes hos

PETTERSEN (1881). Vinteren 1881 hadde isen den sydligste utbredelse som noen gang er observert. Isgrensen ble i nesten hele Barentshavet observert til å ligge mellom $71^{\circ}30'$ - $72^{\circ}00'$ N, men den påfølgende sommer hadde "normale" isforhold fra juli og utover. LUNDE (1965) forteller at isforholdene sør for Svalbard våren 1963 var de dårligste som var observert i perioden 1946-63, men likevel trakk isen seg tilbake til sin "normale" beliggenhet i løpet av sommeren. En betingelse for en slik rask oppretting av ekstreme isforhold, er at den påfølgende sommer (vinter) ikke har meteorologiske og oseanografiske forhold som bidrar til å opprettholde den ekstreme issituasjonen.

Korttidsvariasjoner

Av Fig. 4 ser man også at det inntreffer flere kortperiodiske endringer i isforholdene, spesielt om vinteren. I dag er slike

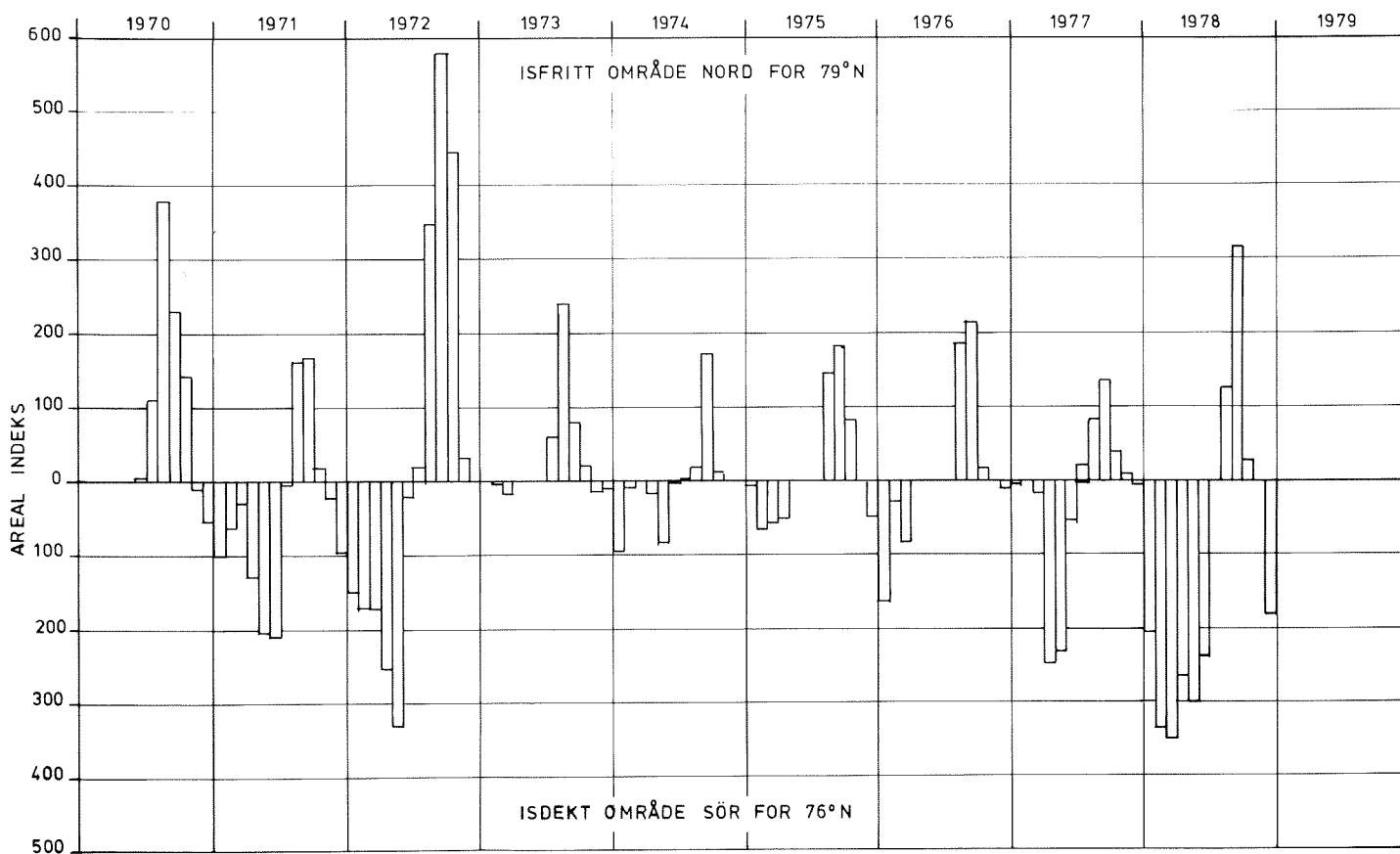


Fig. 5. Arealindeks for isens utbredelse i området mellom $25-45^{\circ}\text{Ø}$. [Index of ice-covered areas south of 76°N in the winter (lower columns) and areas of open water north of 79°N in the summer (upper columns), all between $25-45^{\circ}\text{E}$].

kortperiodiske endringer av den størrelsesorden som fremkommer på Fig. 4 lett å oppdage på grunn av regelmessige satelittobservasjoner. Fig. 6 viser en slik endring i området nord av Svalbard i perioden 23. november - 4. januar 1973. Et stort islagt område blir brutt opp og islagt igjen i løpet av 1½ måned, og den store åpningen eksisterte i ca. 3 uker (GLOERSEN *et al.* 1974, VINJE 1976 b). Samtidig er endringene øst for Svalbard minimale. Et annet eksempel er vist på Fig. 7. I løpet av mars 1978 var det stor bevegelse av isen i Barentshavet i området øst for 25°Ø. I perioden 10.-15. mars forflyttet isgrensen seg i middel ca. 100 km sørover. Etter en tid i den sørligste posisjonen trakk isen seg tilbake, og den 28. mars var isgrensen atter i omtrent samme posisjon som den 10. mars.

Allerede i den tiden man bare hadde observasjoner fra skip var man klar over at isforholdene endret seg raskt over korte tidsrom, om enn ikke i samme grad som vist i eksemplene foran. PETERSEN (1881, 1882, 1884, 1885 og 1886) gir flere eksempler på at det kunne finne sted kortvarige endringer i isforholdene på grunn av variasjoner i vindforholdene, og at endringer i vindretningen også påvirket iskonsentrasjonen. Også tidevannet kan stedvis forårsake hurtige og betydelige endringer, og det er anslått driftshastigheter opptil 7 knop på enkelte steder hvor tidevannseffekten er stor (NTNF 1975). Tidevannet virker også inn på iskonsentrasjonen, og NANSEN (1915 og 1920) forteller om tettere iskonsentrasjoner ved høyvann enn ved lavvann.

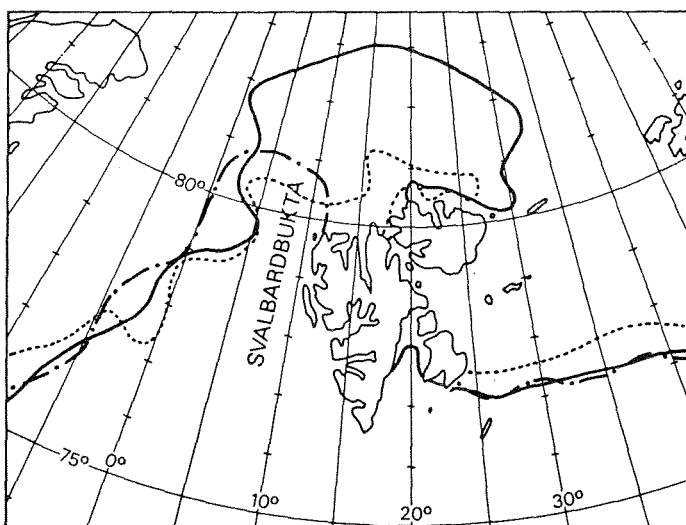


Fig. 6. Satelittobservasjoner som viser en stor kortvarig endring i isforholdene nord for Spitsbergen. -----: 21-23. november 1972, ———: 16. desember 1972, —·—: 4. januar 1973. [Observations showing sudden and extensive variations in sea ice conditions north of Svalbard. -----: 21-23 November 1972, ———: 16 December 1972, —·—: 4 January 1973]. (VINJE 1976 b)

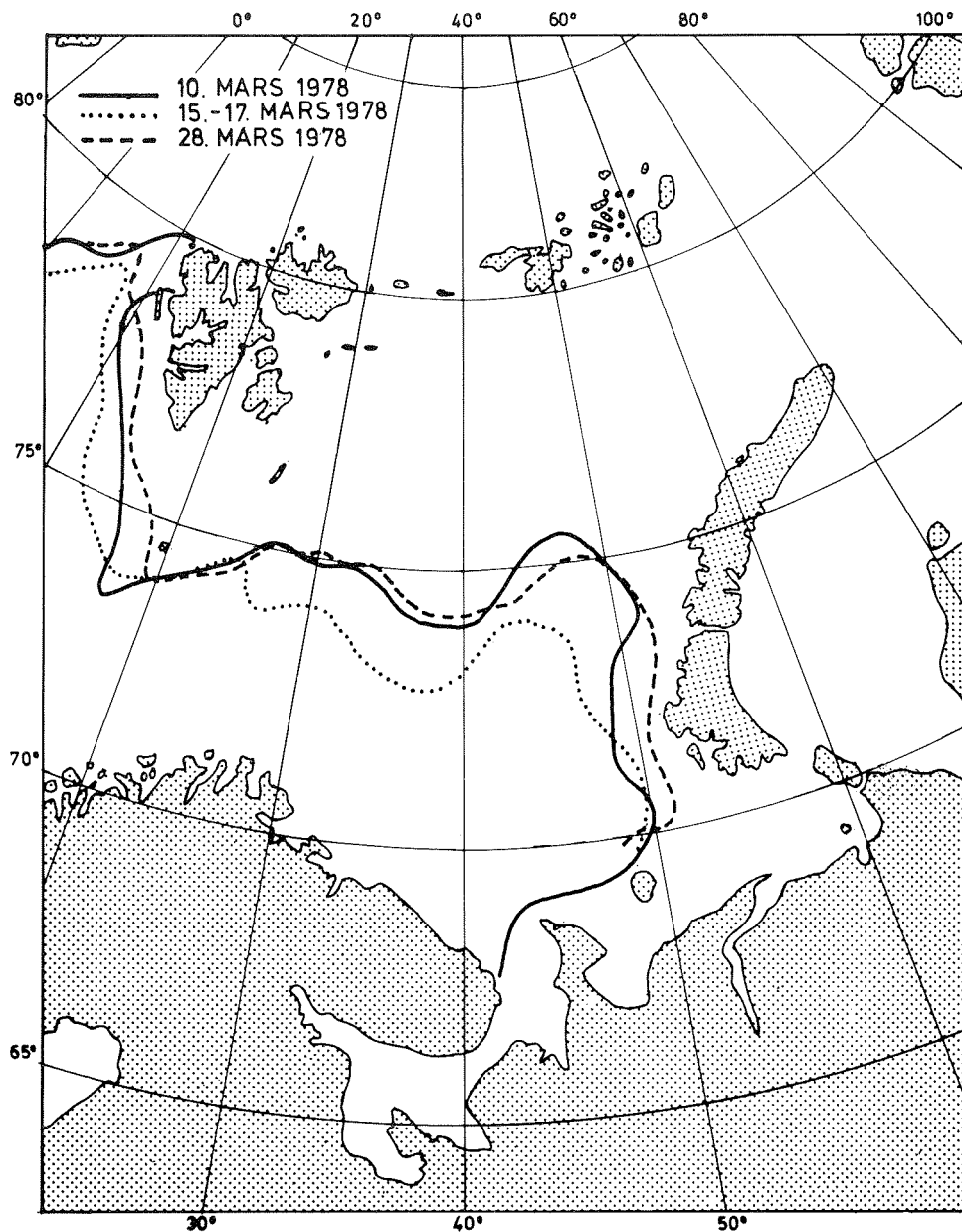


Fig. 7. Korttidsendring i isgrensens beliggenhet i tidsrommet 10-28. mars 1978. [Short-term variation in position of the ice border from 10-28 March 1978].

Langtidsvariasjoner

Langtidsvariasjoner i isforholdene ble man tidlig klar over, og CHAVANNE (1875) mener å påvise en periodisitet i slike endringer. Slike sykliske endringer er senere drøftet av KISSLER (1934) og LUNDE (1963) som mener at det er en periode mellom 3-5 år. BOCHKOV (1976), som har tatt for seg perioden 1900-1970, mener derimot at såvel sjøtemperatur som isforhold er knyttet til solflekkeperioden på 11 år, men også andre langtidsendringer finner sted. Fig. 8

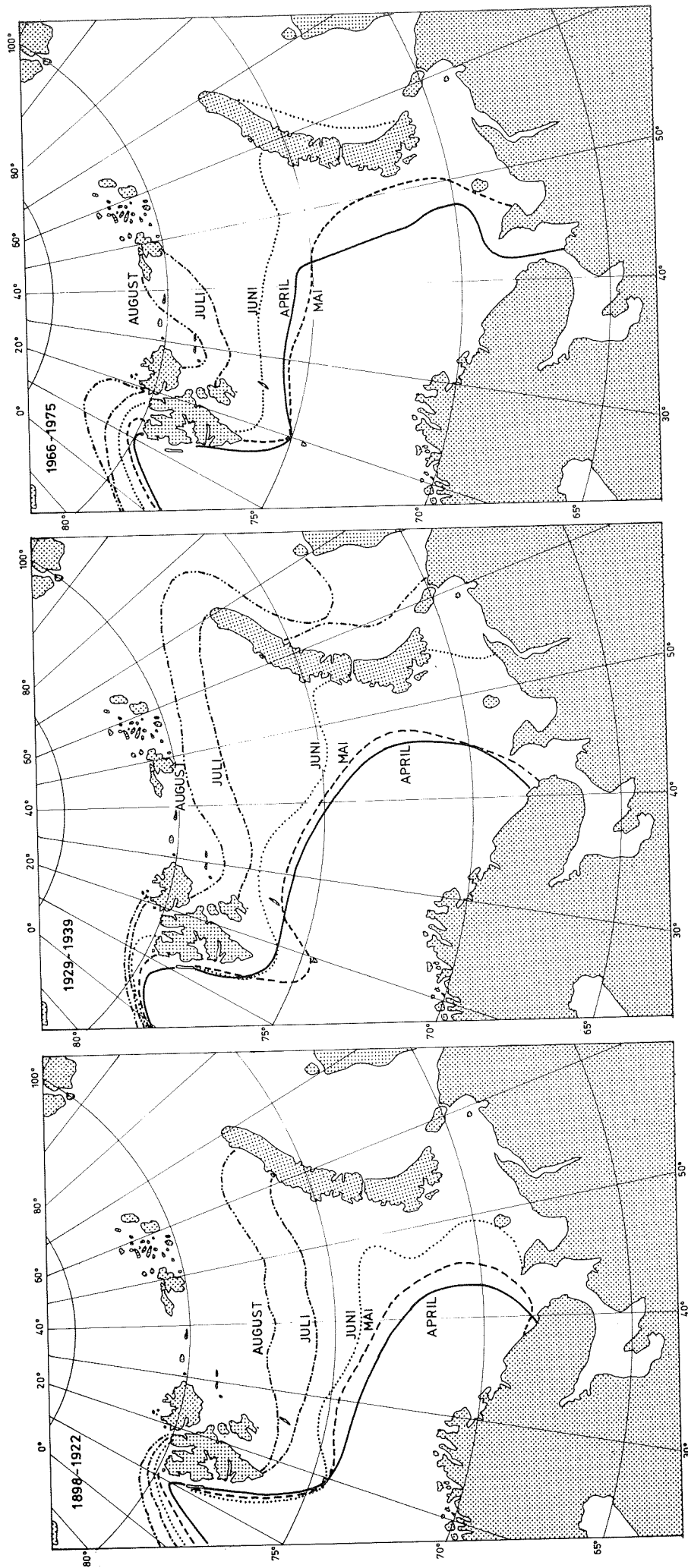


Fig. 8. Midlere isgrense i slutten av månedene april-august for 3 forskjellige perioder. [Mean position of the ice border at the end of each month (April-August) for three different periods]. (After OMDAL 1953, VINJE 1976 b)

viser midlere isgrense i slutten av månedene april-august for tre perioder i området rundt Spitsbergen og i Barentshavet. Det er tydelig at isen lå lenger sør i perioden 1898-1922 enn i perioden 1929-1939. Russiske beregninger av ismengden for nesten de samme perioder, viser at det i tidsrommet april-august var 15% mindre is i perioden 1920-1933 enn 1900-1919 (ZUBOV 1948). For perioden 1966-1975 synes isgrensen å ha trukket enda et lite stykke nordover. Imidlertid skal man være forsiktig med å dra for sikre slutninger fordi beregningsmåten for den midlere isgrense kan være forskjellig.

Slike endringer over lengre tid har man også data for i andre marginalområder. DUNBAR (1972) viser hvordan den midlere isgrense for mai har endret seg ved vestkysten av Grønland i tidsrommet 1901-1970 (Fig. 9). Denne variasjon synes imidlertid ikke å være helt lik den som er beskrevet for Barentshavet idet perioden 1931-1940 skiller seg lite ut fra de forutgående dekalder.

Det kan også med stor sikkerhet fastslås at det er variasjoner av ennå lengre varighet. På grunnlag av opplysninger fra skipsfarten på Grønland siden år 1000, kan det antydes perioder av 100-200 år (CLARKE 1970). Det er rimelig å anta at slike variasjoner også forekommer i Barentshavet, men materialet er naturligvis alt for sparsomt til å kunne påvise så lange perioder.

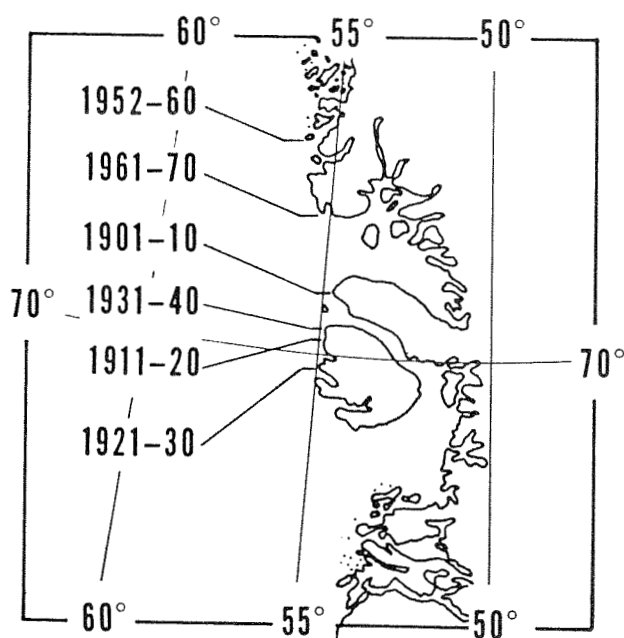


Fig. 9. Midlere utbredelse av isen langs vestkysten av Grønland for forskjellige dekalder i mai. [Mean extent of ice in May on the west coast of Greenland for different decades]. (DUNBAR 1972)

FAKTORER SOM BESTEMMER ISFORHOLDENE

Generelt

De faktorer som er av betydning for isforholdene er av meteorologisk og oseanografisk karakter. Etter LUNDE (1963) er således

- 1) mengden av is som dannes om vinteren bestemt av: langbølget stråling, luft- og sjøtemperatur, tykkelsen på snødekket på isen, saltholdigheten i vannet og varigheten av fryseperioden,
- 2) istransporten påvirket av: vind, strøm, istykkelse, istopografi og iskonsentrasjon,
- 3) mengden av is som blir borte i løpet av sommeren bestemt av: kort-og langbølget stråling, luft- og sjøtemperatur, vind, sjø og bølger, snøtykkelsen, vannets saltholdighet og endelig lengden på smeltesesongen.

Foreløpig har ingen lyktes i å etablere noe absolutt eller relativt mål for effekten av de ulike faktorer. Betydningen av punktene 1-3 vil også være forskjellig fra et område til et annet, slik at man vanskelig kan etablere noen formel med allmenn gyldighet for isens utbredelse.

Går man lenger tilbake i tiden, finner man at de faktorer som har vært vurdert har endret seg svært lite. Hovedfaktoren har bare blitt oppdelt i flere komponenter. Allerede CHAVANNE (1875) listet opp de faktorer som senere har vært blant de mest sentrale i diskusjonen. CHAVANNE studerte isforholdene i de arktiske randhav og kom fram til følgende momenter som han mente hadde innflytelse på isforholdene:

- 1) kystkonturen og øyer i havet,
- 2) havets bunntopografi,
- 3) havstrømmenes retning, styrke og temperatur,
- 4) sesongmessige og langvarige endringer i lufttemperaturen,
- 5) vindfordeling og trykk.

For områdene rundt Spitsbergen og i Barentshavet har de to første momentene liten betydning for sesongsvariasjoner i isutbredelsen. På den annen side har pkt. 1) innvirkning på både avsmelting- og tilfrysingsprosessen. Dette kom fram i forrige avsnitt hvor den årlige syklus ble drøftet. Når det gjelder pkt. 2), så er det klart at isgrensen mange steder følger karakteristiske trekk i bunntopografien. Dette er en følge av at strømforholdene i området i meget stor grad er topografisk styrt, og isgrensen ved maksimums-utbredelse følger i store trekk grensen mellom de varme og kalde vannmasser.

Et problem som melder seg når man studerer effekten av meteorologiske og oseanografiske parametre på isforholdene, er at disse ikke virker uavhengige av hverandre. Den atmosfæriske og oseanografiske sirkulasjon påvirker hverandre, og endringer i den ene vil medføre endringer i den andre. Dette kan være storstilte endringer som foregår over flere år og gjenspeiles over store områder, eller det kan være lokale effekter. Således vil endringer i overflatetemperaturen i havet og lufttemperaturen stort sett følge hverandre lokalt. HELLAND-HANSEN og NANSEN (1912) fant imidlertid også en sammenheng mellom temperaturen i de dypere lag i Vest-Spitsbergenstrømmen om sommeren og lufttemperaturen i Nord-Norge foregående vinter. Hvorvidt dette skyldes lokal vinteravkjøling er vanskelig å si.

Et eksempel på en mer storstilt sammenheng er beskrevet hos DICKSON, LAMB, MALMBERG og COLEBROOK (1975). Fra 1950-årene begynte det permanente lavtrykket over Grønland gradvis å svekkes, spesielt i vintermånedene desember-februar. Dette medførte økte nordlige vinder i Norskehavet, og i Øst-Islandsstrømmen registrerte man lavere temperatur og saltholdighet enn tidligere. Dette skyldtes økt innblanding av polare vannmasser i strømmen. Fra vinteren 1970-1971 begynte lavtrykket over Grønland igjen å utdypes. Således var middeltrykket i de nevnte måneder hele 9,6 mbar lavere i perioden 1971-1974 enn i perioden 1966-1970. I Øst-Islandsstrømmen ble det registrert høyere temperatur og saltholdighet som følge av økt atlantisk innstrømming. I det samme tidsrommet fant det også sted en økt innstrømming til Barentshavet (ANON. 1978). Et lignende

eksempel fra det nordlige Stillehavet og Beringhavet er berørt hos McLAIN og FAVORITE (1976) under diskusjonen av unormalt kalde vintre i Beringhavet. Dette kan tyde på at trykkendringer over flere år i de mer permanente trykksentrene kan ha innflytelse på den oseanografiske sirkulasjonen i nokså store områder. Overført til isforholdene kan dette bety at man ikke behøver å finne årsakene til variasjonene akkurat i det området man studerer. Dette gjelder spesielt langtidsendringer.

Betydningen av de oseanografiske forhold

Fig. 10 viser hovedtrekkene i strømforholdene i området rundt Spitsbergen og i Barentshavet. Utenfor kysten av Troms splittes Den norske Atlanterhavsstrømmen i to. En gren fortsetter videre nordover langs egga forbi vestsiden av Bjørnøya og Spitsbergen som Vest-Spitsbergenstrømmen. En del av disse vannmassene fortsetter østover langs nordsiden av Spitsbergen. Den andre hovedgrenen dreier rundt Tromsøflaket og følger Bjørnøyrenna inn i Barentshavet under navnet Nordkappstrømmen. Ved ca. 30°Ø splittes Nordkappstrømmen i flere grener. En gren går nordover vest for Sentralbanken, men størstedelen av Nordkappstrømmen fortsetter østover syd for Sentralbanken og fram mot kysten av Novaja Zemlja. Herfra går strømmen nordover i retning av Franz Josefs Land.

Hele den nordlige delen av Barentshavet er dekket av kalde vannmasser. Med strømmene føres disse vannmassene vestover med enkelte sørgående grener. En slik gren er det som fører kaldt vann sørover Sentralbanken. Bjørnøystømmen som går sørvestover mot Bjørnøya, er også en gren av samme strømmen. Øst-Spitsbergenstrømmen går sørover forbi Kong Karls Land og Hopen og runder sydspissen av Spitsbergen under navnet Sørkappstrømmen. Denne fortsetter mot nord som en kyststrøm innenfor Vest-Spitsbergenstrømmen.

Variasjonsmønsteret i de kalde vannmassene kjenner man svært lite til, og det er bare NANSEN (1920) som har drøftet endringer i Sørkappstrømmen og følgene av disse endringene på isforholdene syd og vest av Spitsbergen. Derimot er det vel dokumentert at det skjer endringer i innstrømningsaktiviteten av Atlanterhavsvann til

Barentshavet (f.eks. LEE 1963, MIDTTUN 1969, ANON. 1978). Også i områdene nord for Spitsbergen er det varierende mengder med atlantisk vann (MOSBY 1938).

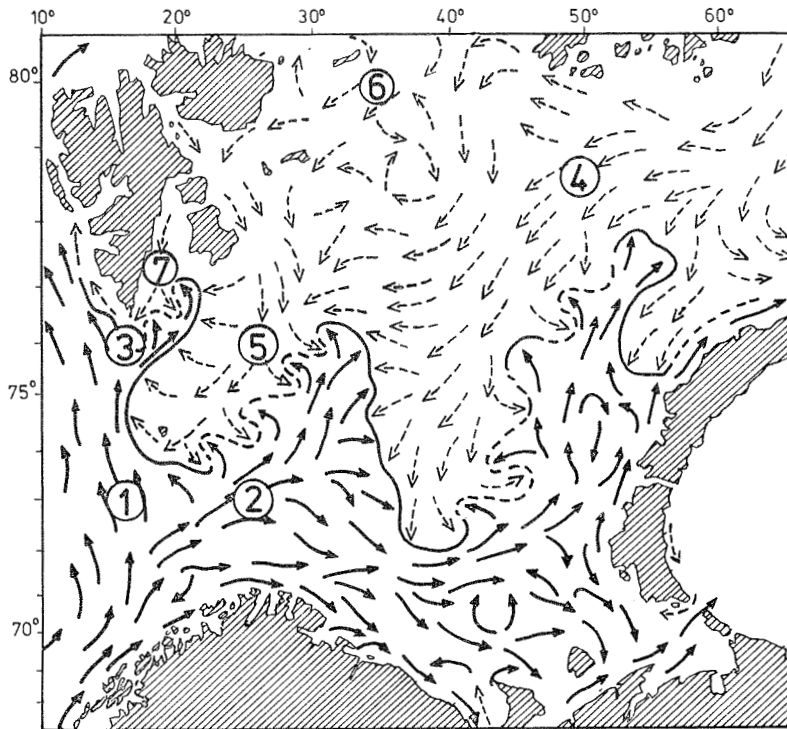


Fig. 10. Strømkart og fronter i Barentshavet.
 1) Den norske Atlanterhavsstrøm, 2) Nordkappstrømmen, 3) Syd-Spitsbergenstrømmen, 4) Persey-strømmen, 5) Bjørnøystrømmen, 6) Øst-Spitsbergenstrømmen, 7) Sørkappstrømmen.
 [Surface currents and fronts in the Barents Sea. 1) The Norwegian Atlantic Current, 2) Nordkapp Current, 3) South Spitsbergen Current, 4) Persey Current, 5) Bear Island Current, 6) East Spitsbergen Current, 7) Sørkapp Current]. (After TANTSUURA 1959)

Grensen mellom de to hovedvannmassene, Polarfronten, følger stort sett de karakteristiske trekk i bunntopografien. Hvor store bevegelser det er i Polarfrontens beliggenhet er uklart for store deler av Barentshavet. Bevegelsene i Fronten er minst i områdene sør for Bjørnøya og nordøstover forbi Hopen hvor bunntopografien er mest markert. Forflytningen av fronten kan her være ca. 60 km fra år til år (FOSTER, JOHANNESSEN og ISOPPO 1974). I de sentrale og østlige delene av Barentshavet er det imidlertid grunn til å anta at den varierende innstrømningsaktiviteten vil kunne påvirke Polarfrontens beliggenhet langt mer enn i de vestlige områder.

Dette betyr at store områder kan være dekket av ulike vannmasser fra et år til et annet. At dette må innvirke på isgrensens beliggenhet i den tiden av året da isen ligger lengst mot syd, skulle derfor ikke være urimelig. I områdene utenfor Øst-Grønland mener således DIETRICH (1965) at isens maksimumsutbredelse om våren ganske nært faller sammen med Polarfrontens beliggenhet. Derfor skulle det for Barentshavet også være naturlig å finne sammenheng mellom innstrømningsaktivitet og maksimumsutbredelse av isen om våren.

En litt annen oppfatning av hvordan Atlanterhavsvannet innvirker på isforholdene om vinteren er presentert av NOVITSKIY (1961). Han mener at Atlanterhavsvannet påvirker de øvre vannlag gjennom vertikal blanding, først og fremst termisk konveksjon. En indikasjon på dette er at man om våren bare finner et tynt lag med Atlanterhavsvann nær bunn, eller at det er helt borte fordi det i løpet av vinteren har vært involvert i den vertikale blandingen.

CHAVANNE (1875) var, som tidligere nevnt, den første som berørte havstrømmenes betydning for isforholdene i de arktiske strøk. Hvilke observasjoner han bygger på fremgår ikke klart av artikkelen. Heller ikke PETTERSEN (1881) har oseanografiske målinger, men han støtter seg til iakttagelser som ble gjort av ishavsskipperne i forbindelse med den store isvinteren 1881. Ishavsskipperne mente at det var skjedd endringer i strømforholdene i området mellom Troms og Bjørnøya. I fall dette er en riktig observasjon av strømmen, er det trolig også årsak til de spesielle isforhold som ble observert i 1881 og forsåvidt også året etter (PETTERSEN 1882).

De første som konkret så på havklimaets betydning for isforholdene i Barentshavet, var HELLAND-HANSEN og NANSEN (1909). Ved å se på russiske observasjoner i Kolasnittet (nord langs $33^{\circ}30'0''\text{Ø}$) fant de betydelige temperaturendringer fra år til år. Siden hovedtyngden av is i Barentshavet er ettårsis dannet i området, mente de at mengden av is om våren i meget stor grad var avhengig av vannmassenes varmeinnhold. De mente også at isforholdene i Barentshavet derfor er mindre påvirket av meteorologiske forhold enn andre arktiske områder som ved Jan Mayen og rundt Island. Ut fra disse

forutsetningene, sammenlignes temperaturen mellom 100-200 m i Kolasnittet i mai eller juni med isforholdene i Barentshavet i mai øst for 20°Ø for årene 1900-1904. Konklusjonen er at det er mindre is ved høye temperaturer i Kolasnittet enn ved lave temperaturer.

Sammenligninger mellom observasjoner i snitt gjennom Atlanterhavsvannet ved Sognefjorden og Lofoten viste at temperaturvariasjonene var like når det ble foretatt en forskyvning på ett år. Variasjonene i Kolasnittet var ytterligere ett år forskjøvet. Dette vil si at det var en sammenheng mellom temperaturen i Sognefjordsnitt og isforholdene i Barentshavet med to års forskyvning (Fig. 11). Man hadde her en klimatisk adveksjon ved hjelp av havstrømmene, og hastigheten på denne adveksjonen blir ca. 3 km/døgn. Denne hastigheten er ca. 15-25% av den midlere strømhastigheten langs Norskekysten. BERGTHORSSON(1972) har benyttet denne adveksjonsteorien for å se på isforholdene rundt Island og finner også der en sammenheng.

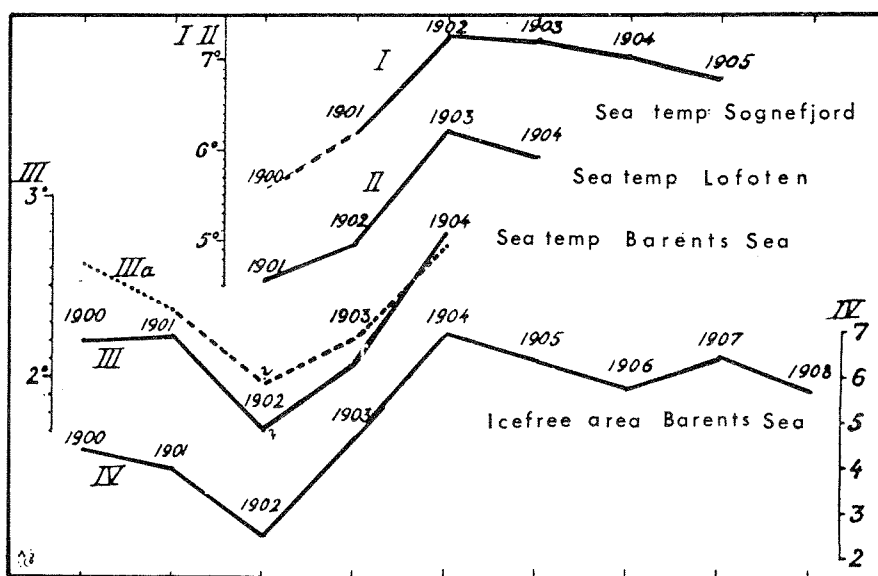


Fig. 11. Sjøtemperaturen i Sognefjorden, Lofoten og Barentshavet i mai sammenholdt med isfritt område i Barentshavet i mai. [Mean May temperature of Atlantic water in the Sognefjord section and in Lofoten; mean temperature of the water layer between 100-200 m in the Kola section (along 33°30'E) between 71-72°N and area of open water in the Barents Sea, also in May]. (After HELLAND-HANSEN and NANSEN 1909)

Det kan stilles to spørsmål til denne teorien som det ikke kan gis noe sikkert svar på. Det ene er om vannmassene klarer å beholde sine egenskaper så godt gjennom flere år under stadig blanding med de omliggende vannmasser at man kan benytte oseanografiske observasjoner fra et sted til faktisk å forutsi isforholdene et helt annet sted. Det andre spørsmålet er hvorfor egenskapene forplanter seg med en hastighet som er mye lavere enn strømhastigheten. Siden egenskapene følger vannpartiklene, så kan det tolkes dithen at vannpartiklene gjennomløper så mange hvirvler at transporttiden blir så lang. MIDTTUN (1969) som ser på forholdene på flere ulike stasjoner langs Norskekysten, finner således ikke noen slik tidsforskyvning hverken i Kystvannet eller Atlanterhavsvannet.

Temperaturforholdene i det innstrømmende Atlanterhavsvannet i Barentshavet er av flere knyttet til isforholdene. Spesielt har russerne benyttet sin lange observasjonsserie i Kola-snittet til sammenligning med isforholdene og fått brukbare overensstemmelser. De har også benyttet observasjonene til å forutsi isforholdene ett år i forveien. BOCHOV (1976) viser også en overensstemmelse mellom temperaturforholdene i de øverste 50 m og isforholdene i perioden 1900-1970. Dette er imidlertid et dybdeområde som lett påvirkes av lokale meteorologiske forhold. Materiale, som foreligger ved Havforskningsinstituttet, viser at endringer i området 0-50 m kan være svært forskjellig i ulike deler av havet mens temperaturvariasjonene i dypere lag er mer ensartede. Dessuten er Atlanterhavsvannet stort sett konsentrert i dyp under 50 m, og variasjoner i dette må derfor søkes i disse dyp.

Ved de undersøkelser som foreligger om temperaturforholdene i Atlanterhavsvannet og isforholdene i Barentshavet er det ikke tatt hensyn til varierende transport. Variasjoner i transporten vil gi variasjoner i tilført varmemengde selv om temperaturen holder seg konstant. Manglende kjennskap til volumtransporten og dens endringer er årsak til at dette er så lite drøftet i sammenheng med endrete isforhold, men flere har vært klar over problemet. Således har uoverensstemmelser i sammenhengen mellom sjøtemperaturer og isfritt (isdekt) område i Barentshavet, blitt tillagt varierende mektighet i havstrømmene, som f.eks. hos KAMINSKI (1976). Problemet

ble imidlertid første gang berørt hos HELLAND-HANSEN og NANSEN (1909). NANSEN (1920) kommer nærmere inn på varierende intensitet i Sørkappstrømmen når han ser på sammenhengen med trykkendringer over Barentshavet. FROMMEYER (1928) knytter indirekte varierende innstrømming til isforholdene. Hun mener at innstrømningsaktiviteten varierer med trykkendringer tvers over Atlanterhavsstrømmen, og knytter derfor variasjoner i isforholdene til lufttrykkvariasjonene. En noe annen framgangsmåte er benyttet av ELLIOTT (1956). Han relaterte innstrømningsaktiviteten og isforholdene i Barentshavet til vannstandsendringer i Golfstrømmen ved Florida 3 år tidligere. Selv om resultatet i grove trekk gir en viss form for overensstemmelse, virker teorien nokså tvilsom.

Variierende innstrømningsaktivitet får man best kartlagt ved å gjøre beregninger av transporten av Atlanterhavsvann i et eller flere snitt. Problemet ved denne metoden er å finne de hastigheter som skal benyttes. Manglende strømmålinger gjør at det hele må baseres på geostrofiske beregninger, hvori det ligger flere usikkerheter. Beregninger utført på den atlantiske innstrømming gjennom Færøy-Shetlandsrenna viser da også forskjellige resultater. Dessuten finnes det årlige variasjoner og korttidsendringer i innstrømningsaktiviteten (AAS 1977). Derfor gir heller ikke denne metoden foreløpig noen sikre tall for transporten som kan benyttes for å finne tilført varmemengde. Imidlertid er det indikasjoner på at endringer i mektigheten av Atlanterhavsinnstrømmingen også gjenspeiles temperaturforholdene. En sterk innstrømming gir høyere temperatur enn en svak innstrømming.

Hittil har betydningen av Atlanterhavsvannet vært knyttet til isforholdene om vinteren og maksimumsutbredelsen i Barentshavet. Atlanterhavsvannets betydning for forholdene under avsmeltningsperioden om sommeren har tidligere vært lite drøftet. Av iskartene kan man se at isen trekker seg først tilbake i områdene hvor det atlantiske vannet sender sine grener nordover. Dette er også kommentert hos NOVITSKIY (1961), men han kommer ikke inn på om Atlanterhavsvannet har betydning for graden av avsmelting. For Barentshavet er det heller ikke gjort av andre forfattere, og det skyldes sannsynligvis at det ikke er noen sammenheng. Under av-

smeltningen danner det seg et overflatelag med lav saltholdighet (32-33^o/oo). Dette øvre vannlaget blir skilt fra de underliggende vannmasser av et sprangsjikt som vanligvis ligger mellom 30-40 m. Dette hindrer at de varme vannmasser, som måtte trenge nordover, kommer i kontakt med isen i overflaten og påvirker smeltningen.

I de dypere områdene vest av Spitsbergen er imidlertid forholdene annerledes. Det er her aldri blitt knyttet noen sammenheng mellom Atlanterhavsvann og maksimumsutbredelse av isen. HELLAND-HANSEN og NANSEN (1912), som benyttet temperaturforholdene i Vest-Spitsbergenstrømmen og korrelerte dem med isforholdene i Barentshavet, knyttet dem aldri til isforholdene vest for Spitsbergen. Imidlertid har BLINDHEIM og LJØEN (1972) påvist en sammenheng mellom temperaturen i Atlanterhavsvannet og isutbredelsen vest av Spitsbergen om sommeren, spesielt gjelder dette for ekstremene. Dette kan skyldes at de atlantiske vannmassene her i større grad enn i Barentshavet kommer i kontakt med isen.

De oseanografiske forhold har, når man ser bort fra tidevannets spesielle effekter, bare rent unntaksvis innflytelse på kortvarige endringer i isforholdene. Uten at det foreligger oseanografiske observasjoner som kan bekrefte noe, er sannsynligvis endringen som tidligere er omtalt i forbindelse med Fig. 6 en følge av de oseanografiske forhold. Meteorologisk Institutt har gitt en beskrivelse av vindforholdene for perioden 20. november 1972 - 5. januar 1973 ut fra daglige værkart (personlig meddelelse). Vindretningen i tidsrommet 28. november - 16. desember var hovedsaklig fra nord og øst, med opptil kulings styrke. Denne vindretningen skulle snarere bevirke at isgrensen forflyttet seg sørover i stedet for nordover. En mulig forklaring ligger derfor i at varmt Atlanterhavsvann har nådd opp til overflaten og således fått isen til å trekke seg tilbake. Dette er også antydnet av VINJE (1976 b). Når så Atlanterhavsvannet igjen dukker under Polarvannet vil hele området igjen islegges som vist på figuren. VINJE (1976 b) refererer forøvrig til et eksempel fra november 1974 da fiskebåter nådde 82,5^oN, men heller ikke her har man oseanografiske observasjoner som kan bekrefte det som er beskrevet ovenfor. Fra Barentshavet har man ingen eksempler som kan tyde på at det skjer større

kortvarige endringer i isgrensens beliggenhet som følge av oseanografiske forhold.

Meteorologiske forhold

De meteorologiske forhold som i første rekke virker inn på variasjonene i isforholdene, er trykk, vind og temperatur. Vindforholdene bestemmes av lav- og høytrykkspassasjer, og vindforholdene har igjen stor innvirkning på temperaturforholdene. Vind fra nord fører med seg kalde luftmasser og gir lave temperaturer mens vind fra sør gir en strøm av varm luft.

I det aktuelle området domineres trykkbildet om vinteren av lavtrykk som passerer fra vest mot øst og som er dannet utenfor området. Dette fører hovedsaklig til vinder fra nord og øst i de isdekte områder. Samtidig trekker kald polarluft sørover. Den atmosfæriske polarfront trekker sørover gjennom hele vinteren og når sin sørligste utbredelse senvinters. I denne tiden er det sjelden høytrykkspassasjer (WISHMAN 1966).

Utover våren kommer et økende antall høytrykk inn over området, og antallet når et maksimum i juli hvor antall høy- og lavtrykkspassasjer blir det samme. Dessuten har mange av lavtrykkspassasjene en annen bane, idet flere lavtrykk om sommeren går fra syd mot nord. Høytrykkene om sommeren blir ofte bygget opp i den sørlige delen av Svalbardområdet, eller det dannes høytrykksrygger som strekker seg nordover fra Sibir. Disse høytrykkene fører varm luft nordover og gjør at Den atmosfæriske polarfronten trekker seg tilbake om sommeren.

Den atmosfæriske sirkulasjon er sterkest om vinteren, og desember er måneden som har lavest middeltrykk. Det høyeste middeltrykket observeres i mai. Om sommeren er sirkulasjonen mindre intens, og vindene er svakere og mer variable i retning. Dette går tydelig fram av Fig. 12 som viser vindfordelingen på Bjørnøya og Hopen (STEFFENSEN 1969). Det går også tydelig fram at vind fra nord og øst dominerer om vinteren mens spredningene er større om sommeren.

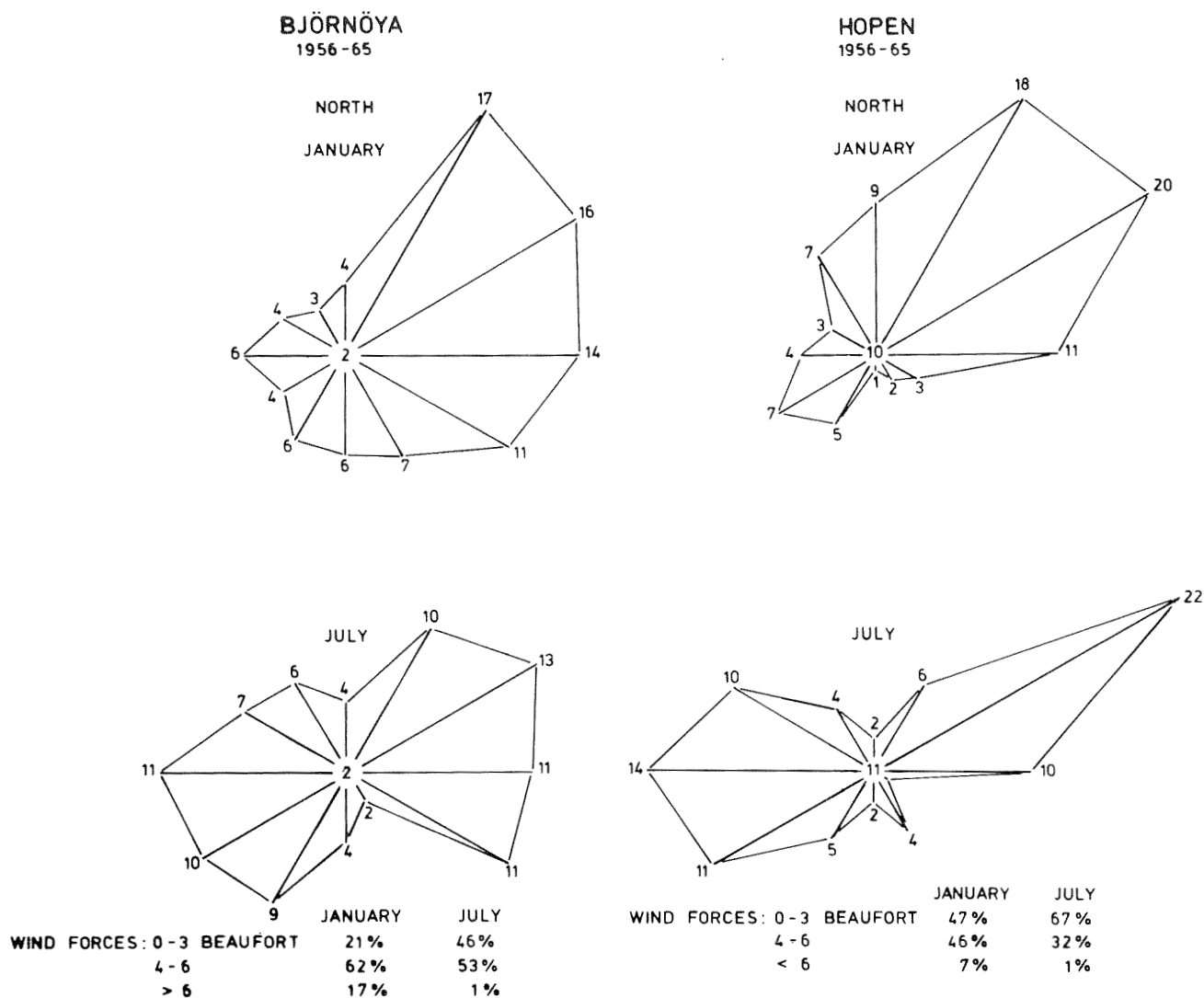


Fig. 12. Midlere vindforhold på Bjørnøya og Hopen i tidsrommet 1956-1965 i månedene januar og juli. [Percentage frequencies of different wind directions and frequencies of wind forces in January and July at Bear Island and Hopen in the period 1956-65]. (After STEFFENSEN 1969)

Temperaturforholdene for de samme stasjonene er vist på Fig. 13. Mellom yttergrensene ligger 95,4% av midlere månedstemperaturer. Spredningen er størst i vinterhalvåret, og det er naturlig at store temperaturvariasjoner fra et år til et annet vil innvirke på isfrysingen. Selv om temperaturen vil variere i de forskjellige områder, så er det grunn til å anta at variasjonene fra år til år er av samme størrelsesorden over hele havområdet. Dette vil i første rekke ha betydning for varmebalansen og dermed tilfrysingen.

Meteorologiske observasjoner har man mer regelmessig og gjerne over lengre tidsrom enn oseanografiske observasjoner. Dette gir

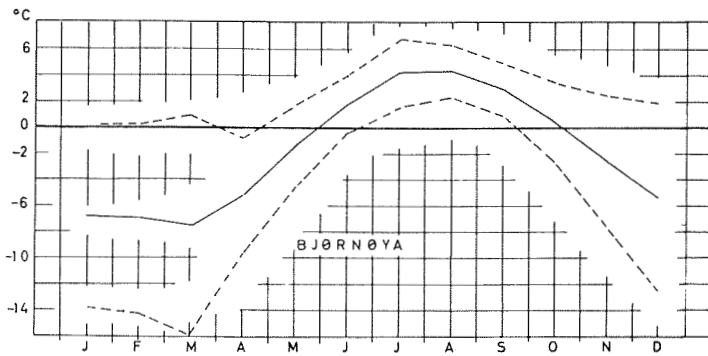
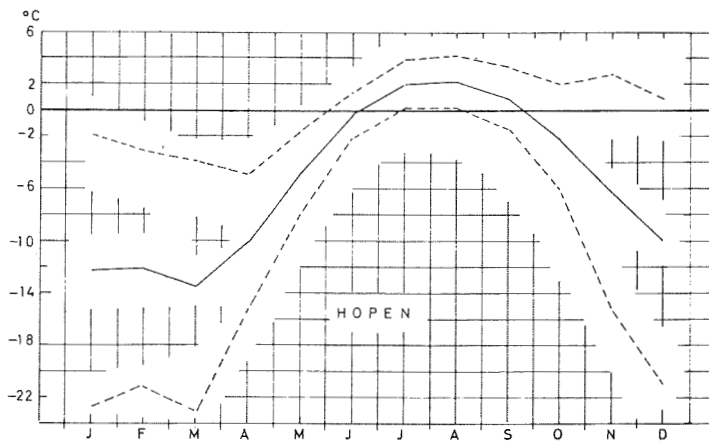


Fig. 13. Midlere lufttemperatur + 2 standardavvik på Bjørnøya og Hopen. Tidsrom er ikke angitt. [Mean monthly air temperatures + 2 standard deviations at Bear Island and Hopen. Period not stated]. (STEFFENSEN 1969)



grunnlag for å se om det har vært noen tendens i utviklingen av de meteorologiske forhold. På den nordlige halvkule skjedde det rundt 1920 en større temperaturøkning som fortsatte fram til ca. 1940 da det hele kuliminerte. DUNBAR (1972) refererer dette i forbindelse med isforholdene ved Vest-Grønland og mener at endringene i isforholdene ligger ca. 20 år etter, idet isforholdene bedret seg helt fram til 1960. I Barentshavet skjedde den største økningen i lufttemperatur i tidsrommet 1917-1922. I følge HESSELBERG og JOHANNESSEN (1958) steg den midlere årstemperatur med 4°C i denne perioden og temperaturøkningen for sommer og vinter var henholdsvis 2°C og 7°C . Dette medførte den store bedringen i isforholdene som ble omtalt tidligere i forbindelse med Fig. 8. Den første perioden er tilnærmet en "normal" tilstand mens den andre har uvanlig høy temperatur (DEFANT 1961). Den for Vest-Grønland omtalte lange responstid for isforholdene, synes ikke å være til stede i Barentshavet. Den store temperaturøkningen ga seg ganske umiddelbart utslag i bedrete isforhold.

Betydningen av de oseanografiske forhold i dette tidsrommet er noe uklar på grunn av manglende observasjoner. I Kolasnittet var det

en temperaturøkning på $0,7^{\circ}\text{C}$ mellom 0-200 m i tidsrommet 1927-1937 beregnet på fem års glidende middel (LEE 1963). ZUBOV (1948) viser også til en temperaturøkning i selve Polbassenget. Under ferden med Fram i 1893-1896 var den høyest observerte temperatur $1,13^{\circ}\text{C}$ mens den under Sadko-ekspedisjonen i 1935 ble målt til $2,68^{\circ}\text{C}$. Dette tyder igjen på at det er et godt samsvar mellom den atmosfæriske og oseanografiske sirkulasjon.

Nå er det ikke nødvendig med så store endringer i lufttemperaturen, som det som er nevnt ovenfor, for å finne sammenheng med isforholdene. Første gang temperaturforholdene ble knyttet til isforholdene var av CHAVANNE (1875) som fant samme periodiske endring i temperaturforhold og isforhold. Også PETTERSEN (1881) nevner temperaturforholdene som en av årsakene til de spesielle isforholdene i 1881. HELLAND-HANSEN og NANSEN (1912) fant samme endring i lufttemperaturen i Nord-Norge og for temperaturen i Atlanterhavsvannet. Følgelig fikk de også samme variasjonsmønster i lufttemperatur og isforhold. En av dem som legger stor vekt på temperaturforholdene er LUNDE (1963, 1965). Ved i tillegg å kjenne lufttrykk og nedbør mener Lunde at man kan beskrive variasjoner i isforholdene rundt Svalbard om våren og sommeren uten at de oseanografiske forhold tas i betraktning i det hele tatt. Lufttemperaturen benyttes i beregning av istykkelsen som i følge LUNDE (1965) varierer i takt med utbredelsen og således kan istykkelsen gi et relativt bilde av isforholdene.

For tidsrommet 1966-1975 korrelerte KAMINSKI (1976) isfritt område i Barentshavet i april med lufttemperaturen i samme måned på 5 ulike meteorologiske stasjoner. For temperaturen på stasjonene Vardø og Kanin fant han ingen sammenheng med isfritt område i Barentshavet. For Bjørnøya var det en svak, men ikke signifikant sammenheng mens det for stasjonene Isfjord Radio (Spitsbergen) og Ostrov Heisja (Franz Josefs Land) var en signifikant sammenheng. Om det her ble funnet en signifikant sammenheng, så må ikke dette tolkes dithen at isforholdene i en måned er funksjon av lufttemperaturen i samme måned. Mest sannsynlig er begge et resultat av hvordan den generelle atmosfæriske sirkulasjon har vært gjennom vinteren.

LUNDE (1963, 1965) er en av de få som tar nedbøren i betraktning i dette området. Mye snø gir tynnere og mindre is i området. PETTERSEN (1881) nevner også imidlertid de spesielle nedbørsforholdene vinteren 1881 i sammenheng med de ekstraordinære isforholdene. Manglende observasjoner av snømengden på isen i området er sannsynligvis hovedårsaken til at nedbøren ikke av flere er satt i relasjon til isforholdene. Snømengden er uten tvil en faktor som har stor innflytelse både på vekst og smelting av isen. Dette er påpekt av flere for andre områder i Arktis, og i modeller inngår snømengden som en meget viktig faktor (UNTERSTEINER og MAYKUT 1969).

Av meteorologiske faktorer er vind og trykk de parametre som har blitt tillagt størst betydning i det aktuelle området. NANSEN (1920) er av de første som ser nærmere på disse forhold i forbindelse med isforholdene. HOEL (1916) påpeker også vindforholdenes betydning, men drar ikke så nære sammenligninger med isforholdene som NANSEN. Det NANSEN studerte var variasjoner i isforholdene ved Bjørnøya og langs kysten av Spitsbergen vest for 20°Ø i tidsrommet april-august. I dette området vil det da hovedsaklig være drivis, og mengden av denne vil variere med trykkbildet og de tilhørende vindforhold. NANSEN ser på trykkdifferansen mellom Vardø og Green Harbour (ytterst i Isfjorden). Er trykkdifferansen Vardø-Green Harbour stor, vil det blåse vestlige og sydvestlige vinder på strekningen. Er differansen liten eller negativ, skulle det bli østlige vinder og mer is i området. Den overensstemmelsen NANSEN får for tidsrommet 1912-1919 må sies å være meget god (Fig. 14). Av denne figuren går det også fram at lufttemperaturen i Green Harbour har de samme endringer.

FROMMEYER (1928) og KISSLER (1934) knytter også varierende lufttrykkdifferanser til varierende isforhold i Barentshavet. Begge knytter lufttrykket til sirkulasjon i vannmassene. FROMMEYER tar for seg trykkdifferansene København-Stykkisholm (Island) og Stykkisholm-Vardø og finner en korrelasjonskoeffisient på 0,6 med isforholdene om sommeren. Hvorvidt denne koeffisienten er signifikant eller ikke, sies det ikke noe om i artikkelen. KISSLER kommer også inn på at endret sirkulasjon i vannmassene vil påvirke

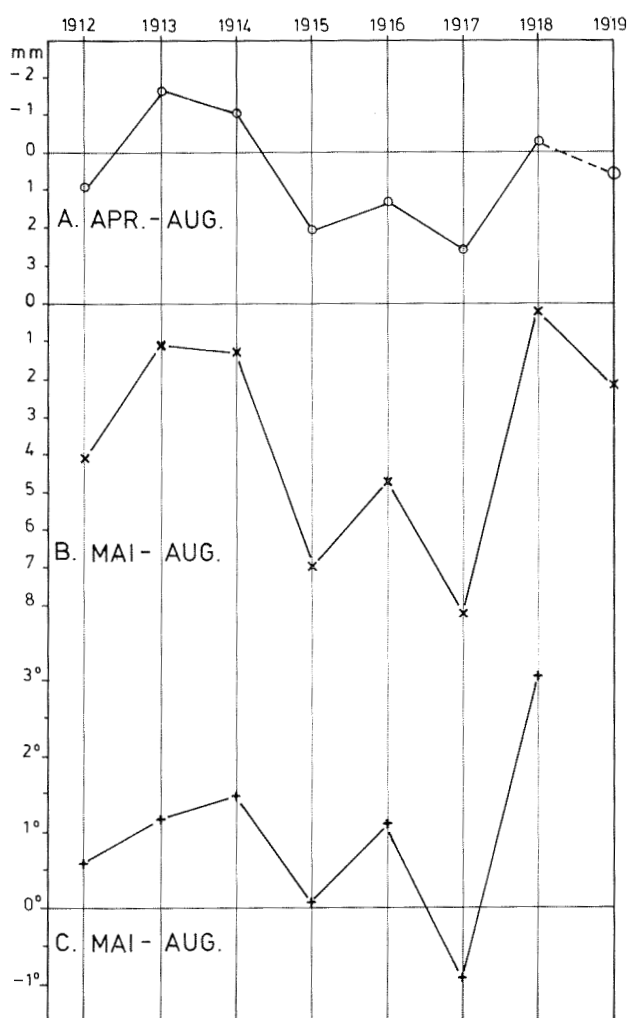


Fig. 14. Kurver for lufttrykkdifferansen (mm kvikksølv) Vardø-Green Harbour (A), isdekket areal i Barentshavet vest for 20°Ø (B) og lufttemperaturen i Green Harbour (C). [Graphs showing: (A) The pressure difference between Vardø (Norway) and Green Harbour (Spitsbergen), (B) area covered by drift ice west of 20°E, and (C) air temperature at Green Harbour] . (After NANSEN 1920)

lufttrykket slik at det her finnes en gjensidig virkning som vanskeliggjør spørsmålet om hva som er den egentlige årsaken.

En sammenheng mellom de atmosfæriske trykkforhold over Norskehavet og isforholdene i Barentshavet ble også antydnet av WIESE (1924, 1928). Han påviste at trykkforholdene over Norskehavet i tidsrommet januar-april hadde sammenheng med isforholdene i Barentshavet i mai-juni. Han benyttet så denne sammenhengen til å forutsi isforholdene, men resultatet er heller ikke her overbevisende.

Til tross for sammenhengen mellom trykk og vindforhold mener FROMMEYER (1928) at vindforholdene har mindre betydning for isforholdene enn trykkforholdene. Vindens betydning er imidlertid klar. Den synes å være den dominerende faktor for isdriften i området, selv om det foreløpig foreligger manglende observasjoner av havstrømmenes betydning.

De første studier av sammenhengen mellom vind og isdrift i de arktiske strøk ble gjort av NANSEN (1902). SVERDRUP (1928) påpeker at forholdet mellom vind og isdrift ikke er det samme overalt og derfor ikke uten videre kan overføres fra et sted til et annet. Beregninger som SVERDRUP gjorde utenfor Nord-Sibir gir en drift-hastighet av isen som er mellom 1,5-2,3% av vindhastigheten. Dette stemmer godt med hva VINJE (1978) finner i området mellom Nord-austlandet og Kvitøya. Isdriften beregnet ut fra satelittbilder varierte mellom 1,2-2,2% av den geostrofiske vindhastighet. Drift-hastigheten i området lå avhengig av vindens styrke, mellom 5-30 km/døgn. Er driften rettet sørover, er det klart at dette også må ha innvirkning på isgrensens beliggenhet lenger sør. Transporten fra Polhavet inn i Barentshavet mellom Nordaustlandet og Franz Josefs Land har VINJE beregnet til 0.09 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) for en periode i slutten av april 1976. Dette forutsetter en drifthastighet på 25 cm/s (ca. 21 km/døgn) og en iskonsentrasjon på 70% med 3 m tykk is. Transporten er nær 50% av hva VINJE (1978) finner gjennom Framstredet, og det tyder på at transporten inn i Barentshavet fra Polhavet kan være noe større enn tidligere antatt. Om sommeren når vindforholdene er endret, er transporten denne veien betydelig redusert.

For kortvarige endringer i isforholdene fra noen timer til dager spiller vinden en meget stor rolle. Den endrer både konsentrasjon og isgrensens beliggenhet. At disse endringene kan være store har man fått flere beviser på etter at man fikk satelittbilder. Den tidligere omtalte endring i Barentshavet i mars 1978 (Fig. 9) synes helt å være en følge av vindforholdene. Før 9. mars var det i dette området skiftende vind, men i perioden 9.-15. mars blåste det østlig til nordøstlig vind med opptil kulings styrke i området i forbindelse med en lavtrykkspassasje (Meteorologisk Institutt, personlig meddelelse). Dette medførte den store frammarsjen av is i tidsrommet 10.-15. mars som er vist på Fig. 9. I perioden 16.-22. mars var det varierende vind med overvekt fra nord. Fra 23. mars begynte det å blåse fra sør, og denne vindretningen holdt seg ut måneden. Hvor lenge isen lå i sin sydligste posisjon er umulig å si fordi det ikke foreligger iskart for tiden mellom 17. og 28. mars, men den 28. mars hadde isen dradd seg tilbake som følge av vinden fra sør.

Under avsnittet om oseanografiske forhold ble det nevnt at endringer i disse i svært liten grad har noen innvirkning på hvor langt nord isgrensen i Barentshavet kommer i løpet av sommeren. Dermed må de meteorologiske forhold antas å ha innvirkning på avsmeltingen. Til tross for at det er perioden april-august som er hyppigst beskrevet i litteraturen, er det kommet svært lite fram om årsakene til varierende avsmelting. FROMMEYER (1928) har, som tidligere antydnet, funnet en korrelasjon mellom isforhold og trykkgradienter, men denne er så lav at andre forhold må kunne sies å ha like stor innflytelse. Lufttemperaturen er en av disse. Nå er sommeren den årstid hvor det er minst temperaturvariasjoner (Fig. 13) slik at man ikke kan forvente de helt store utslag i isforholdene. Snødybde og istykkelse er også forhold som må vurderes i denne sammenheng, selv om betydningen av disse kanskje ikke er så stor som LUNDE (1965) antyder. En gunstig eller ugunstig kombinasjon av de nevnte faktorer vil kunne gi lite eller mye is. WENDLER og JAYAWEERA (1976) beskriver et slikt eksempel fra Beringhavet sommeren 1975 hvor en kombinasjon av flere faktorer førte til unormalt mye is. Slike tilfeller vil raskt rette seg opp igjen dersom man ikke er inne i en periode hvor det er en tendens i utvikling.

ISVARSLING

Et av målene med de fleste studier av isforholdene i de arktiske strøk, har vært å komme fram til en metode som kunne benyttes til å forutsi endringer i isforholdene. De tidsavsnitt det kan være aktuelt å varsle for, kan variere fra døgn til uker, måneder, sesonger og år. Uansett hvilket tidsrom man ønsker å varsle for, er det nødvendig at man har grunnleggende kunnskaper om isens fordeling og variasjon i tid og rom. Man må kjenne hvilke faktorer som virker inn på de ulike variasjoner i isforholdene, og man må vite, eller kunne forutsi hvordan disse faktorene endrer seg med tiden (WITTMANN og MacDOWELL 1964).

Selv om det fremdeles er mye usikkerhet omkring årsakene til de ulike variasjoner i isforholdene, synes det klart at kortperiodiske endringer skyldes meteorologiske forhold og at de bare

unntaksvis kan forårsakes av endringer i vannmassene. Prognoser for de meteorologiske parametre utarbeides idag med en rimelig grad av sikkerhet ved hjelp av dynamiske modeller for perioder fra 1 til 2-3 døgn. Går man utover disse tidsintervaller, avtar treffsikkerheten hurtig, og de 5 døgns varsler som utgis er beheftet med stor grad av usikkerhet. Av den grunn vil det være vanskelig å strekke noenlunde sikre isvarsler utover 2-3 døgn. Når det gjelder mulighetene for nydannelse av is, må man også ta sjøtemperaturen i betraktning.

De begrensninger som er nevnt ovenfor, er ikke ensbetydende med at man ikke kan varsle for en lengre periode på grunnlag av meteorologiske forhold. Ifølge NTNF (1975) utarbeides det både i USA og Sovjetsamveldet regelmessig 30 dagers prognoser for iskantens posisjon i hele Arktis på grunnlag av varslete endringer i meteorologiske gjennomsnittsverdier. Dersom slike varsler skal ha en rimelig grad av pålitelighet, trengs det en klar årsakssammenheng. VINJE (1977) påpeker en slik sammenheng mellom avvik fra normalen i den atmosfæriske sirkulasjon og isens utbredelse fra en middelgrense i hele området mellom Grønland og Novaja Zemlja. McLAIN og FAVORITE (1975) diskuterer sammenhengen mellom sirkulasjon i den øvre atmosfære og isforholdene i Beringhavet, og KEEN (1978) antyder at variasjoner i isforholdene i en gitt arktisk lokalitet kan være en funksjon av mer storstilte omlegninger i den atmosfæriske sirkulasjon. KEEN (1978) mener videre at man kan foreta regionale langtidsvarsler for is ut fra endringer i den globale atmosfæriske sirkulasjon. Tar man med tidligere antydninger (WIESE 1924, 1928, FROMMEYER 1928, KISSLER 1934) synes det som om endringer i den atmosfæriske sirkulasjon vil kunne benyttes til å forutsi isforholdene, men først er det nødvendig å få en klarere årsakssammenheng.

Skal det varsles for lengre tidsrom, synes det å være nødvendig å trekke inn de oseanografiske forhold. Av det som er skrevet i tidligere avsnitt, synes det å være klart at i Barentshavet har de oseanografiske forhold bare innflytelse på maksimumsutbredelsen. Dermed vil de heller ikke kunne benyttes til å forutsi annet enn

den maksimale utbredelse. På vestsiden av Spitsbergen derimot skulle det ut fra resultatene til BLINDHEIM og LJØEN (1972) være mulig til en viss grad å kunne forutsi isforholdene om høsten ut fra sjøtemperaturen tidlig på sommeren. Spesielt gjelder dette for ekstremer.

Vannmassene i de dypere lag endrer bare sine egenskaper langsomt. Hvor lenge vannmassene kan beholde sin karakteristikk er imidlertid noe uvisst. I den tidligere omtalte teorien om adveksjon av klima ved hjelp av havstrømmer, er det nødvendig at egenskapene beholdes i flere år, og dette kan som nevnt være tvilsomt. HELLAND-HANSEN og NANSEN (1909) som fant sammenheng mellom temperaturen i vannmassene ved Sognefjorden og Barentshavet med to års forskyvning, drøftet ikke dette problemet. Metoden er imidlertid senere benyttet av flere. Russerne benytter således temperaturforholdene i ulike snitt i Barentshavet til å forutsi isforholdene i Karahavet året etter. Videre hevdes det at markante utslag i varmetransporten kan påvises lengre øst ved senere tidspunkt, opptil 5 år (NTNF 1975). BERGTHORSSON (1972) hevder også tidsforskyvninger av samme størrelsesorden. Selv om det kan være uenighet om teorien, vil prinsippet være nyttig til å forutsi isforholdene. Ved å anta at ismengden i Barentshavet om vinteren avhenger av varmemengden i havet, skulle temperaturforholdene i det innstrømmende Atlanterhavsvann om sommeren og høsten kunne gi en pekepinn om isforholdene den påfølgende vinter. Ved Havforskningsinstituttet er slike undersøkelser igang, men det er ennå for tidlig å gi svar på om man her har en anvendelig metode til i det minste å si om isforholdene blir bedre eller dårligere enn i et normalår.

Som antydnet tidligere, er betydningen av solflekkperioden for forholdene i Barentshavet noe uklar på grunn av manglende dokumentasjon. BOCHKOV (1976) forutså et minimum i sjøtemperaturen i 1977 og 1978 ut fra solflekkperioden. På det nåværende tidspunkt ser dette noenlunde riktig ut. Med den sammenheng som synes å være mellom sjøtemperatur og maksimum isforhold, vil dette dermed være en metode som kunne anvendes for isvarsling.

SAMMENDRAG

Variasjonene i isforholdene i Barentshavet og vest av Spitsbergen er hovedsakelig av tre typer.

1. Kortvarige endringer. Disse endringene skjer i tidsrom fra timer til ca. 1 mnd. Til denne typen hører både endringer i iskonsentrasjonene og av isgrensens beliggenhet. I løpet av en uke kan forflytningen av isgrensen være over 100 km.
2. Sesongmessige variasjoner. Disse variasjonene er av ulik størrelse fra år til år, men mønsteret er alltid det samme. Den største utbredelsen har isen som oftest i tidsrommet mars-mai mens månedene juli, august og september har minst is. Den sesongmessige variasjon kan i enkelte områder og i enkelte år strekke seg over 9 breddegrader (1000 km).
3. Langperiodiske endringer. Enkelte forskere hevder å ha funnet perioder mellom 3-5 år. Solflekkperioden (11 år) er også nevnt. Alle disse påstandene lider under mangelfull dokumentasjon. Langvarige endringer finner imidlertid sted uten nødvendigvis å være periodiske. En slik endring hadde man bl.a. rundt 1920 da ismengden i Barentshavet i løpet av få år ble redusert med ca. 15%.

Årsakene til disse variasjonene finner man i de meteorologiske og oseanografiske forhold. De kortperiodiske forflytninger av isgrensen skyldes i alt vesentlig vindforholdene, og bare rent unntaksvis vil de oseanografiske forhold bevirke slike endringer. For iskonsentrasjonene kan imidlertid tidevannet spille en viss rolle.

De sesongmessige variasjoner er knyttet til tilsvarende variasjoner i meteorologiske og oseanografiske forhold. Graden av ismelting om sommeren avhenger av de lokale meteorologiske forhold. I Barentshavet har de oseanografiske forhold ingen innvirkning på graden av smelting, men avsmeltingen starter først i

de områdene hvor varme vannmasser trenger fram. Vest av Spitsbergen synes imidlertid også sjøtemperaturen å virke inn på isgrensens beliggenhet ved minimumutbredelse.

Den maksimale utbredelsen synes derimot å være mer avhengig av de oseanografiske forhold. Dette skyldes at isen i Barentshavet i alt vesentlig er ettårsis, og varmemengden i havet vil derfor influere på hvor mye is som dannes. Denne varmemengden lar seg representere ved temperaturen i det innstrømmende Atlanterhavsvannet. Det synes klart at det er mer is når sjøtemperaturen er lav enn når den er høy.

Større endringer over lengre tid i havisens utbredelse finner en forklart i klimatiske endringer. Således er den store forbedringen i isforholdene som fant sted rundt 1920, en følge av høyere lufttemperatur over hele den nordlige halvkule. Samtidig var det også en økning i sjøtemperaturen i Barentshavet. Den nære sammenhengen som er mellom endringer i den atmosfæriske og oseanografiske sirkulasjon, gjør det vanskelig å peke på hvilke faktorer som er mest avgjørende.

Hensikten med flere av de arbeidene som er utført på isforholdene, har vært å komme fram til en metode som kunne benyttes til å forutsi endringer i isforholdene. Dette til tross, har man ennå ikke kommet fram til entydige svar. Det som foreløpig er klart, er at korttidsvarsler må bygge på meteorologiske prognoser. For langtidsvarsler må man legge mest vekt på oseanografiske forhold. I dag synes ikke slike langtidsvarsler å kunne si noe utover det om isforholdene vil bli bedre eller dårligere enn i et normalår.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks are extended to Mr. T. Benjaminsen and Mr. S. Sundby for critical reading of the manuscript and to Mr. H. Kismul for drawing the figures.

LITTERATUR

- AAS, E. 1977. The mean seasonal variation in the transport of Atlantic water through the Faroe-Shetland Channel. Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo. Inst. Rep. Ser., 28: 1-20.
- ANON. (BLINDHEIM, J., LJØEN, R., LOENG, H., MIDTTUN, L., SUNDBY, S. og SÆTRE, R.) 1978. Fysisk oseanografi. Fisken Hav., 1978 (Særnr. 2): 103-157.
- BERGTHORSSON, P. 1972. Advection of climate by ocean currents. P. 94-100 in KARLSSON, T. ed. Sea Ice. Proceedings of an international conference, Reykjavik, Iceland, May 10-13, 1971. Setberg, Reykjavik.
- BLINDHEIM, J. og LJØEN, R. 1972. On the hydrographic conditions in the West Spitsbergen Current in relation to ice distribution during the years 1956-1963. P. 33-41 in KARLSSON, T. ed. Sea Ice. Proceedings of an international conference, Reykjavik, Iceland, May 10-13, 1971. Setberg, Reykjavik.
- BOCHKOV, Yu.A. 1976. On the effect of solar activity of various periodicity on the thermal regime of the Barents Sea. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1976(C 2): 1-19.
- CHAVANNE, J. 1875. Die Eisverhältnisse im arktischen Polarmeere und ihre periodischen Veränderungen. Geographie und Erforschung der Polar Regionen, 108: 134-142, 245-280.
- CLARKE, P.C. 1970. Arctic sea-ice in summer. Weather, 25(5): 215-218.
- DANIEL, H.C. 1958. Oceanographic atlas of the polar seas. Part II, Arctic. U.S. Navy Hydrographic Office Publication, No 705: 1-149.

- DEFANT, A. 1961. Physical oceanography, Vol. I, Pergamon Press Ltd., 729 p.
- DET DANSKE METEOROLOGISKE INSTITUT 1891-1900. Isforholdene øst for Grønland og i Davis-strædet 1890-1899. Naut.-met. Aarb. 1890-1899, 1891-1900.
- DET DANSKE METEOROLOGISKE INSTITUT 1901-1959. Isforholdene i de Arktiske Have 1900-1956. Tillæg til Naut.-met. Aarb. 1900-1956, 1901-1959.
- DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT. Iskart 1970-1978. Oslo.
- DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT 1950. Atlas der Eisverhältnisse des Nordatlantischen Ozeans und Übersichtskarten der Eisverhältnisse des Nord- und Südpolargebietes.
- DICKSON, R.R., LAMB, H.H., MALMBERG, S.A. and COLEBROOK, J.M. 1975. Climatic reversal in northern North Atlantic. Nature, Lond., 256: 479-482.
- DIETRICH, G. 1965. New hydrographical aspects of the northwest Atlantic. Int. Commn NW. Atlant. Fish. Spec. Publ., 6: 29-51.
- DUNBAR, M. 1972. Increasing severity of ice conditions in Baffin Bay and Davis Street and the effect on the extreme limits of ice. P. 87-93 in KARLSSON, T. ed. Sea Ice. Proceedings of an international conference, Reykjavik, Iceland, May 10-13, 1971. Setberg, Reykjavik.
- ELLIOT, F.E. 1956. Some factors affecting the extent of ice in the Barents Sea area. Arctic, 8(4): 249-258.
- FOSTER, L.A., JOHANNESSEN, O.M. and ISOPPO, C. 1974. Oceanographic summary of the Barents Sea south of Bear Island in the summer. SACLANTCEN Memo. SM-53, SACLANT ASW Res. Centre, La Spezia, Italy, 1974: 1-14.

- FROMMEYER, M. 1928. Die Eisverhältnisse um Spitzbergen und ihre Beziehungen zu klimatischen Factoren. Annln Hydrogr. Berl., 1928(7): 209-214, 240-248.
- GLOERSEN, P., WILHEIT, T.T., CHANG, T.C., NORDBERG, W. and CAMPPELL, W.J. 1974. Microwave maps of the polar ice of the earth. Bull. Am. met. Soc., 55(12): 1442-1448.
- HELLAND-HANSEN, B. and NANSEN, F., 1909. The Norwegian Sea. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 2(2): 1-360.
- HELLAND-HANSEN, B. and NANSEN, F., 1912. The Sea west of Spitsbergen. Skr. Vidensk. Selsk. Christiania Mat.-naturv. Kl., 1912(12): 1-89.
- HESSELBERG, Th. and JOHANNESSEN, T. 1958. The recent variations of the climate at the Norwegian arctic stations. Polar atmospheric Symp., Part I: Meteorological Section: 18-29. Pergamon Press.
- HOEL, A., 1916. Isforholdene paa Spitsbergens vestkyst sommeren 1915. Norske geogr. Selsk. Aarb., 26-27 (1914-1916): 111-134.
- INGRAM, R.G., JOHANNESSEN, O.M. and POUNDER, E.R. 1969. Pilot study of ice drift in the Gulf of St. Lawrence. J. Geophys. Res., 74: 5453-5459.
- KAMINSKI, H. 1976. Fernerkundung - remote sensing - der Variationen der Meereisflächen in der Barents-See von 1966-1975 mit satellitendaten, U.A. NOAA-VHRR- . 10. Internationale Polartagung 1976 in Zürich, Sternwarte Bochum, Institut für Weltraumforschung. 31 p.
- KEEN, R.A. 1978. The response of Baffin Bay ice conditions to changes in atmospheric circulation patterns. P. 963-971 in MUGGERIDGE, D.B. ed. POAC 77 Proceedings. Proceedings of the Fourth International Conference on Port and Ocean

Engineering under Arctic Conditions. Memorial University of Newfoundland, St. Johns, 1978.

KISSLER, F. 1934. Eisgrenzen und Eisverschiebungen in der Arktis zwischen 50° West und 105° Ost im 34-jährigen Zeitraum 1898-1931. Beitr. Geophys., 42(1): 12-55.

KJELLMAN, F.R. 1875. Svenska Polar-expeditionen år 1872-1873. P.A. Norstedt & Sønner, Stockholm. 352 p.

LAINING, J. 1815. An account of a voyage to Spitzbergen. J. Mawman, London. 173 p.

LEE, A. 1963. The hydrography of the European Arctic and Subarctic seas. Oceanogr. Mar. & Biol., 1: 47-76.

LUNDE, T., 1963. Sea ice in the Svalbard region 1957-1962. Norsk Polarinst. Arb., 1962: 24-34.

" 1965. Ice conditions at Svalbard 1946-1963. Norsk Polarinst. Arb. 1963: 61-80.

MAYKUT, G.A., THORNDIKE, A.S. and UNTERSTEINER, N. 1972. AIDJEX scientific plan, AIDJEX Bulletin, No 15: 1-67.

MCLAIN, D.R. and FAVORITE, F. 1976. Anomalously cold winters in the southeastern Bering Sea, 1971-75. Mar. Sci. Communs, 2(5): 299-334.

METEOROLOGICAL OFFICE: Monthly ice charts 1960-1978. Bracknell, England.

MIDTTUN, L. 1969. Variability of temperature and salinity at some localities off the coast of Norway. Prog. Oceanogr., 5: 41-54.

MOSBY, H. 1938. Svalbard Waters. Geofys. Publ., 12(4): 1-86.

- NANSEN, F. 1902. The oceanography of the North Polar Basin. P. 1-427 in NANSEN, F. ed. The Norwegian North Polar Expedition 1893-1896. Scientific Results. Vol. III. Jacob Dybwads Forlag, Christiania.
- " 1915. Spitsbergen Waters. Skr. Vidensk. Selsk. Christiania Mat.-naturv. Kl., 1915(2): 1-132.
- " 1920. En ferd til Spitsbergen. Jacob Dybwads Forlag, Christiania. 281 p.
- NOVITSKIY, V.P. 1961. Permanent currents of the Northern Barents Sea. U.S. Naval Oceanographic Office, Tranl. 349(1967). 39 p.
- NTNF 1975. Isdata. Behovsanalyse. NTNF's Kontinentalsokkelprosjekt. Publikasjon 62: 1-84.
- NUSSER, F. 1958. Distribution and character of sea ice in the European Arctic. P. 1-10 in ANON, ed. Arctic Sea Ice. National Academy of Sciences - National Research Council, Washington, Publication 598.
- OMDAL, K. 1953. Drivisen ved Svalbard 1924-1939. Meddr. norsk Polarinst., 72: 1-21.
- OSTHEIDER, M. 1975. Möglichkeiten der Erkennung und Erfassung von Meereis mit Hilfe von Satellitenbildern (NOAA-2 VHRR). Münch. geogr. Abh. Inst. Geogr. Univ. Münch., 18: 1-169.
- PETTERSEN, K. 1881. Ishavet i 1881. Tromsøposten, 26. Okt. 1881 Tromsø. [Gjentrykt i Norsk Geografisk Tidsskrift, Bind I (1926-1927): 209-225].
- " 1882. Ishavet i 1882. Morgenbladet, 21. Dec. 1882, Oslo. [Gjentrykt i Norsk Geografisk Tidsskrift, Bind I (1926-1927): 209-225].

- PETTERSEN, K. 1883. Om internationela polarexpeditioner. Ymer, 3: 72-76.
- " 1884. Det europæiske Polarhav i Sommeren 1884. Ymer, 4: 223-232.
- " 1885. Det europæiske Polarhav i Sommeren 1885. Ymer, 5: 229-245.
- " 1886. Det europæiske Polarhav i Sommeren 1886. Ymer, 6: 369-381.
- RYDER, C. 1896. Isforholdene i Nordhavet 1877-1892. Tidsskr. Søv., 1896: 11-36.
- SCHELL, I.I. 1970. Arctic ice and sea temperature anomalies in the northeastern north Atlantic and their significance for seasonal fore-shadowing locally and to the eastward. Mon. Weath. Rev. U.S. Dep. Agric., 98(11): 833-850.
- STEFFENSEN, E. 1969. The Climate and its Recent Variations at the Norwegian Arctic Stations. Met. Annr, Oslo, 5(8): 213-349.
- SVERDRUP, H.U., 1928. The wind-drift of the ice on the North-Siberian shelf. P. 1-46 in SVERDRUP, H.U. ed. 1936. The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud" 1918-1925. Vol. IV, No. 1. A.S. John Griegs Boktrykkeri, Bergen.
- TANTSIURA' A.I. 1959. About the current in the Barents Sea. Trudy polyar. nauchno-issled. Inst. morsk. ryb. Khoz. Okeanogr., 11: 35-53. [På russisk].
- UNITED STATES NAVY HYDROGRAFIC OFFICE 1946. Ice Atlas of the Northern Hemisphere. Hydrografic Office Publ. 550.

UNTERSTEINER, N. and MAXKUT, G.A. 1969. Arctic Sea Ice. Naval Res., 22: 12-23.

VINJE, T.E. 1969. The sea ice conditions in Svalbard in 1967. Norsk Polarinst. Arb., 1967: 194-196.

" 1970 a. Sea ice observations in 1968. Norsk Polarinst. Arb., 1968: 95-100.

" 1970 b. Some observations of the ice drift in the East Greenland Current. Norsk Polarinst. Arb., 1968: 75-78.

" 1971. Sea ice observations in 1969. Norsk Polarinst. Arb., 1969: 132-138.

" 1972. Sea ice and drift speed observations in 1970. Norsk Polarinst. Arb., 1970: 256-263.

" 1973. Sea ice and drift speed observations in 1971. Norsk Polarinst. Arb., 1971: 81-86.

" 1974. Sea ice and drift speed observations in 1972. Norsk Polarinst. Arb., 1972: 141-145.

" 1975. Sea ice and drift speed observations in 1973. Norsk Polarinst. Arb., 1973: 197-202.

" 1976 a. Sea ice conditions in 1974. Norsk Polarinst. Arb., 1974: 199-203.

" 1976 b. Sea ice conditions in the European sector of the marginal seas of the Arctic, 1966-1975. Norsk Polarinst. Arb., 1975: 163-174.

" 1977. Sea ice conditions in 1976. Norsk Polarinst. Arb., 1976: 309-316.

- VINJE, T.E. 1978. Sea ice studies in the Spitzbergen-Greenland area. NATIF, Landsat report E 77 - 10206, Springfield, 1-45.
- VINJE, T.E. and STEINBAKKE, P. 1976. Nimbus-6 located automatic stations in the Svalbard waters in 1975. Norsk Polarinst. Arb., 1975: 109-117.
- WENDLER, G. and JAYAWEERA, K.O.L.F. 1976. Some remarks on the unusual Beaufort Sea ice conditions in summer 1975. Geophysical Institute Report No. UAG R-246, Sea Grant Report No. 76-7, University of Alaska: 1-28.
- WIESE, W. 1924. Polareis und atmosphärische Schwankungen. Geogr. Annlr, 6: 273-299.
- " 1928. Die Vorhersage der Eisverhältnisse im Barents-
Meer. Arctis, 1: 81-83.
- WISHMAN, E. 1966. A comparison between the general circulation over the Svalbard area and the weather conditions at Isfjord Radio. Skr. norsk Polarinst. 136: 1-29.
- WITTMAN, W.I. and MacDOWELL, G.P. 1964. Manual of short-term sea ice forecasting. U.S. Naval oceanogr. Office Spec. Publ., SP-82: 1-142.
- ZUBOV, N.N. 1948. In the center of the Arctic. Chapter VI: Arctic Ice, Chapter VII: The warming of the Arctic. Transl. T 14 R. Defence Scientific Information Service. Defence Research Board, Canada. 54 p.