

## WIELOLETNIE WAHANIA ZŁODZENIA BAŁTYKU

**Krzysztof Kozuchowski**

*Uniwersytet Szczeciński*

*Zakład Klimatologii i Meteorologii Morskiej*

Pokrywa lodowa, pojawiająca się każdej zimy na Bałtyku, obejmuje przeciętnie 52% morza (218 tys. km<sup>2</sup>). Średni zasięg lodów podczas ich maksymalnego rozwoju zimowego w końcu lutego zajmuje położenie, które obrazuje ryc. 1.

Wielkość powierzchni zlodzonej w czasie największego zasięgu zimowego (MIE – maximum ice extent) jest z oczywistych przyczyn związana z warunkami meteorologicznymi, panującymi w danym sezonie, przede wszystkim z temperaturą powietrza w zimie.

Uzasadnione wydaje się założenie, że obraz zmian MIE ujawnia charakterystyczne cechy wahań klimatycznych. Wielkość MIE spełnia rolę wskaźnika klimatu, odfiltrującego zarówno wpływy czynników lokalnych, jak i krótkotrwałe anomalie pogodowe.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki statystycznej analizy zmian klimatu, wykorzystującej 237 – letnią serię wartości MIE (1719/20 – 1991/92), opublikowaną przez Seina i Palasuo (1993).

Najważniejsze statystyki serii MIE zestawiono w tab. 1. Odzwierciedlają one wielką zmienność zlodzenia Bałtyku: współczynnik zmienności zasięgu zlodzenia sięga 51%, a skrajne „klimatyczne” średnie różnią się o ponad 30 % (1909/10 – 1938/39, 1780/81 – 1809/10).

Zmiany zasięgu zlodzenia z roku na rok wykazują tendencję do układania się w krótkoterminowe, kilkuletnie cykle wahań. Wahania te są wyraźnie widoczne na wykresie, obrazującym zmiany MIE „wygładzone” filtrem dwumianowym 5 – punktowym tj. tłumiącym wahania o częstotliwości 1/5 lat (ryc. 2.). Długość cykli składających się na wahania dominujące w szeregu czasowym określono metodą analizy spektralnej (Mitchell 1966). W widmie MIE (ryc. 3.) występują istotne statystycznie maksima, związane z okresami 7.80-, 5.15- i 3.46-letnim. Największą „mocą” odznacza się cykl 7.8-letni, którego obecność w charakterystykach klimatycznych sezonu zi-

mowego stwierdzono w wielu pracach (Chaminov 1967, Betin, Preobrażenskij 1962, Stellmacher, Tiesel 1982, Sazonov i in. 1993, Kożuchowski 1994).

**Tabela 1 – Table 1**

Statystyki maksymalnego zasięgu zlodzenia Bałtyku (tys. km<sup>2</sup>)  
według danych Seina, Palasuo (1993) z okresu 1719 – 1992

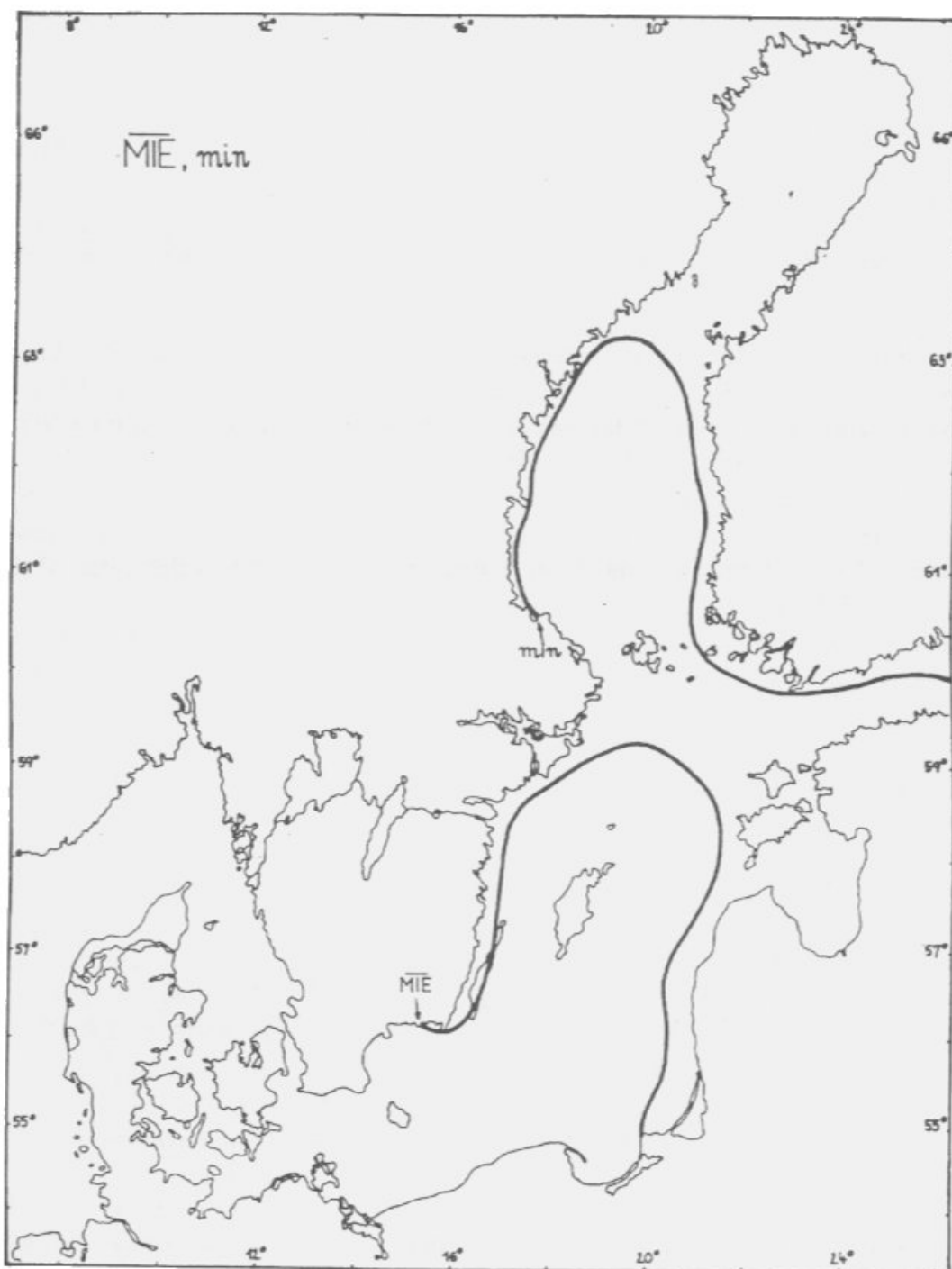
Statistics of maximum of ice extent of Baltic sea (in 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>),  
data from the period 1719 – 1992 after Seina and Palasuo (1992)

Statystyka – Statistic	Wartość – Value
średnia – mean	218.19
odchylenie standardowe – standard deviation	113.99
współczynnik asymetrii rozkładu – skewness	0.37
współczynnik spłaszczenia rozkładu (kurtoza) – kurtosis	1.78
wartość maksymalna – maximum	420.00*
wartość minimalna (rok) – minimum (year)	52 (1988/89)
najwyższa średnia 30 – letnia (lata) – maximum 30 – year mean	267.97 (1780/81 – 1809/10)
najniższa średnia 30 – letnia (lata) – minimum 30 – year mean	177.300 (1909/10 – 1938/39)

\*całkowite zlodzenie wystąpiło w zimach – complete area covered by ice occurred in winters: 1739/40, 1753/54, 1788/89, 1798/99, 1808/09, 1829/30, 1866/67, 1870/71, 1876/77, 1880/81, 1887/88, 1892/93, 1939/40, 1941/42, 1946/47.

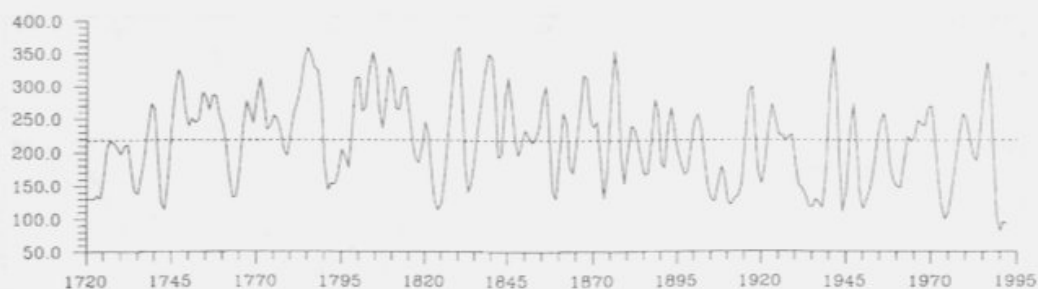
Ponadto, w przebiegu zasięgu zlodzenia Bałtyku od 1719 roku można dostrzec tendencję do kształtowania się długookresowego cyklu, którego istnienie ujawnia krzywa zmian średnich ruchomych 30 – letnich (ryc. 4.)

W serii średnich 30 – letnich występują minima, przypadające na lata 1720/21 – 1749/50 i 1909/10 – 1938/39 oraz wyraźne maksimum w okresie 1780/81 – 1809/10. Skrajne wartości MIE, odpowiadające tym okresom wynoszą kolejno 78 tys. km<sup>2</sup> (minimum w latach 1721/22 i 1723/24), 420 tys. km<sup>2</sup> (kompletne zlodzenie Bałtyku w 1788/89r.) i 81 tys. km<sup>2</sup> (minimum w 1909/10 r.). Przedział czasu, dzielący dwa wymienione minima wynosi więc około 186 – 188 lat.



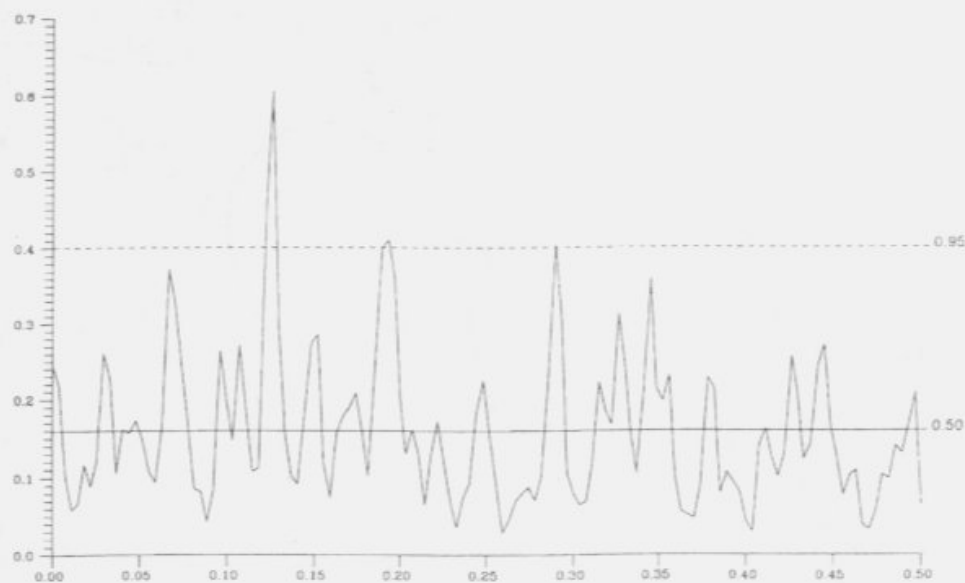
Ryc. 1. Minimalny (min) i średni (MIE) zasięg zlodzenia Bałtyku (wg Seina i Palasuo 1993)

Fig. 1. Minimum (min) and average extent (MIE) of ice cover on the Baltic sea (according Seina and Palasuo, 1993).



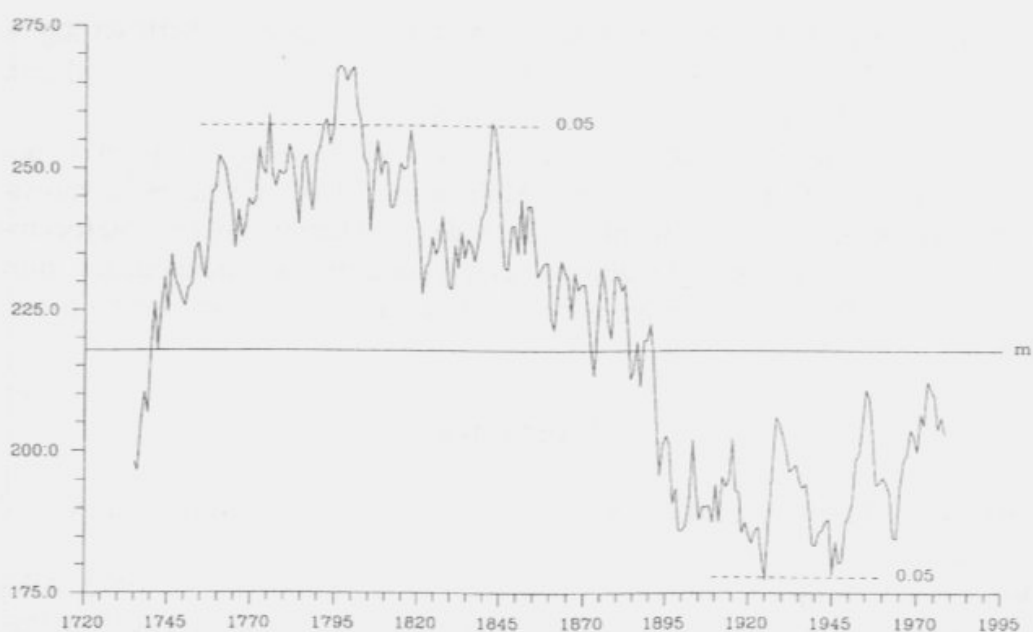
**Ryc. 2.** Zmiany maksymalnego rocznego zlodzenia Bałtyku (tys. km<sup>2</sup>) w okresie 1719/20 – 1991/92 (wg danych Seina i Palasuo 1993), wartości wygładzone filtrem dwumianowym 5 – punktowym. Pozioma linia przerywana oznacza średnią 1719/20 – 1991/92.

**Fig. 2.** Changes in maximum of ice extent of the Baltic sea (in 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>) in the period 1719/20 – 1991/92 (after data by Seina, Palasuo, 1993), values filtered by 5 – term binomial filter. Horizontal dashed line is the mean of the period 1719/20 – 1991/92.



**Ryc. 3.** Widmo wahań maksymalnego rocznego zlodzenia Bałtyku (1719/20 – 1991/92). Na osi rzędnych – estymator spektrum, na osi odciętych – częstotliwość (liczba cykli / rok). 0.50 – poziom białego szumu, 0.95 – poziom ufności.

**Fig. 3.** Spectrum of the oscillation of maximum extent of ice of the Baltic sea (1719/20 – 1991/92). Spectrum estimates and frequency (cycles per year) 0.50 – white noise, 0.95 – confidence level



**Ryc. 4.** Średnie ruchome 30 – letnie wartości maksymalnego rocznego zlodzenia Bałtyku (w tys. km<sup>2</sup>) od 1719/20 do 1991/92 roku. Zaznaczono istotne odchylenia od średniej wieloletniej ( $\alpha = 0.05$ ).

**Fig. 4.** 30 – year running means of maximum of ice extent of the Baltic sea (in 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>), 1719/20 – 1991/92. Significant deviations from the long – term mean are marked ( $\alpha = 0.05$ ).

Otrzymany w ten sposób wynik oceny wieloletniego cyklu dość dobrze zgadza się z rezultatami badań długookresowych wahań klimatycznych, eksponujących znaczenie dwuwiekowej, naturalnej okresowości. W szczególności długość cyklu zmian zlodzenia odpowiada 178 – letniej cykliczności ruchu i aktywności Słońca i związanych z nią fluktuacji klimatu w Europie i w Ameryce Płn. (Charvatowa, Strestik 1993, 1994). Wg Boryczki i in. (1992), długoletni cykl słoneczny ma 186 lat i odpowiadają mu okresowe, 195 – letnie wahania temperatury powietrza w Polsce.

Być może, natura wahań zlodzenia Bałtyku związana jest z tą właśnie, dwuwiekową okresowością zmian klimatu. W konsekwencji tej hipotezy, należałoby uznać, że aktualną tendencją jest wzrost zlodzenia, odpowiadający „wznoszącej się” fazie cyklu dwuwiekowego, którego minimum wystąpiło w 1910 r. Istotnie, zmiany zlodzenia w okresie 1901 – 1992 wykazały niewielką tendencję rosnącą (trend 1.6 tys. km<sup>2</sup>/10 lat), podczas gdy dla XIX wieku charakterystyczna była tendencja malejąca (trend -4.9 tys. km<sup>2</sup>/10 lat), a dla XVIII wieku – znaczny wzrost zlodzenia (9.9 tys. km<sup>2</sup>/10 lat). Trzeba jednak zauważyć, że ostatnie 8 zim przyniosło nadzwyczajne ograniczenie

zjawisk lodowych na Morzu Bałtyckim. Absolutne minimum MIE wystąpiło w zimie 1988/89. Począwszy od zimy 1987/88 wskaźnik zasięgu zlodzenia nie przekroczył średniej wartości wieloletniej.

W kontekście analizy ostatnich zdarzeń klimatycznych (m. in. oceny wyjątkowo ciepłych zim, Sazonov, Malkentin, 1994) można więc mówić o znaczącym zachwianiu długoletniej tendencji klimatycznych. Zakłócenie to jest być może oznaką globalnego ocieplenia klimatu. Nadchodzące zimy przyniosą najprawdopodobniej odpowiedź na pytanie o trwałość tych tendencji.

### Literatura

- Betin V.V., Preobrażenskij J.V.**, 1962, Surovost' zim v Europe i lodovitost' Baltiki. Gidrometeoizdat, Leningrad
- Boryczka J., Stopa – Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E.**, 1992, Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. VII. Zmiany wiekowe klimatu Polski. Wyd. UW, Warszawa
- Chaminov N.A.**, 1967, Mnogoletnije kolebanija lodovitosti Baltijskogo morja, ich verojetnye priciny i puti predvycislenija okeanologija, 3, 2, 269 – 278
- Charvatova I., Strestik J.**, 1993, Variability of periodicity pattern within 7 and 15 years in Solar – terrestrial phenomena and in surface air temperature during the last three centuries. (w:) Działalność naukowa prof. W. Górczyńskiego i jej kontynuacja. Sympozjum w UMK, Toruń 16 – 17. IX. 1993, s. 29 – 32
- Charvatova I., Strestik J.**, 1994, The Solar Systemic Features in ST – phenomena and surface air temperature during the last centuries. (w:) Contemporary Climatology, Brno 15 – 20 August'94, 136 – 141
- Kożuchowski K.**, 1994, Tendencje i wahania okresowe zlodzenia Bałtyku. (w:) Współczesne zmiany klimatyczne, Rozprawy i Studia USz, s. 159 – 171
- Mitchell J.M.** (red.), 1966, Climatic change, WMU, Techn. Note No 79
- Sazonov B.I., Malkentin E.K., Bukentis A.A., Stabljenko V.A.**, 1992, Surovyje zimy i cirkulacija w troposfere i stratosfere, Trudy GGO, vyg. 541
- Sazonov B.I., Malkentin E.K.**, 1994, Znaczny wzrost temperatur zimowych w Europie Północnej (1989 – 1993), (w:) Współczesne zmiany klimatyczne, Rozprawy i Studia USz, 152, s. 123 – 133
- Seina A., Palasuo E.**, 1993, Itameren suurimpien vuotuisten jaapeitteen laajnuksien luokittelbn 1720 – 1992. (The classification of the maximum annual extent of ice cover in the Baltic sea, 1720 – 1992), Meri, No 20

**Stellmacher R., Tiesel R., 1989, Über die Strenge der mitteleuropäischen winter der letzten 220 – Jahre – eine statistische untersuchungen. Ztsch. Meteorol. 39., 1., 56 – 59**

## **LONG TERM VARIATIONS OF ICE EXTENT OF THE BALTIC SEA**

### **Summary**

Values of maximum of ice extent (MIE) of the Baltic sea from the period 1719/20 – 1991/92 published by Seina and Palauso (1993) are analysed. Time series of MIE is filtered by 5 – term binomial filter (Fig. 2). In the spectrum of MIE the 7.8 – year periodicity is predominant (Fig. 3.). However, in the course of 30 – year running means (Fig. 4) secular, ca 186 – 188 – year oscillation is also appeared. The connections between secular changes in MIE and solar long – term cycles are discussed. An abrupt fall in MIE since 1987 is marked as an unexpected deviation from the contemporary tendencies.