

KONTYNENTALIZM TERMICZNY W EUROPIE

MICHAŁ WITEK, EWA BEDNORZ, HANNA FORYCKA-ŁAWNICZAK

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: Five indices of thermal continentality were computed for 84 stations in Europe and shown in the maps. The thermal continentality in Europe is spatially variable and increases eastward and southward from the northwestern shores towards Asia. Continental features are distinct in the interior of the Iberian Peninsula and in the northeastern part of the Scandinavian Peninsula, despite their small distance from the Atlantic Ocean. Most continentality indices (Chromov's, Ewert's, Conrad's, Johansson-Ringleb's) reveal a similar spatial pattern of thermal continentality in Europe, and they allow the continent to be divided into a western and eastern part along meridian 20–25°E. Marsz's index, which takes into consideration the level of oceanity, indicates a narrow zone along the northwestern shore as oceanic and the remaining part of Europe as continental.

Keywords: Europe, climate, thermal continentality, indices

WSTĘP

Kontynentalizm jest jedną z podstawowych cech klimatu. Zdefiniować go można jako stopień wpływu masy lądowej na klimat danego regionu. Skrajny kontynentalizm wyraża się dużą różnicą temperatury powietrza między zimą i latem (kontynentalizm termiczny). Roczna amplituda temperatury w klimacie kontynentalnym przekracza 15,6°C. Dla kontynentalizmu pluwialnego charakterystyczna jest koncentracja opadów w sezonie letnim, spowodowana opadami konwekcyjnymi (Mc Boyle, Steiner 1972; Pietkiewicz, Żmuda 1973). Stopień kontynentalizmu zmienia się przestrzennie, wzrastając w głąb lądu; ulega też fluktuacjom w czasie, które związane są z obserwowanym globalnym ociepleniem i zmianami cyrkulacji atmosferycznej (Kozuchowski, Marciniak 1992, 2002; Hirshi i in. 2007; Wypych 2010). Indeksy kontynentalizmu służą do ogólnej charakterystyki klimatu, były też stosowane odnośnie do rozmieszczenia roślinności, agrometeorologii i charakterystyk fenologicznych (Gavilan 2005). Szczegółowe opracowania indeksów klimatycznych, w tym indeksów kontynentalizmu, zostały wykonane w skali regionalnej np. dla rolniczych regionów północnej Grecji (Baltas 2007) oraz dla Turcji (Deniz i in. 2011).

W Polsce zagadnieniem tym zajmowali się m.in. Gorczyński (1918), Romer (1947) i Ewert (1963). Opisywali wpływ lądów na klimat, rozpatrując roczną amplitudę temperatury oraz szerokość geograficzną. Ewert (1963) stwierdził, że żaden z istniejących wzorów nie oddaje w sposób rzetelny stopnia

kontynentalizmu klimatu. Zaproponował jednocześnie swoją konstrukcję wzoru, który uwzględni wiele ważnych czynników. Według Huculaka (1983) przy wyznaczaniu stopnia termicznego kontynentalizmu klimatu należy brać pod uwagę zmianę rocznego przebiegu temperatury w klimatach oceanicznych, polegającą na opóźnieniu występowania ekstremów. Huculak (1983) określa dwa charakterystyczne punkty: wiosennego i jesiennego przejścia temperatury przez wartość równą jej średniej temperaturze rocznej, które w klimacie oceanicznym również występują z opóźnieniem.

Europa, pomimo niewielkich rozmiarów, przez swoje specyficzne położenie geograficzne, z zapleczem masy kontynentalnej na wschodzie i ciepłymi wodami oceanicznymi na zachodzie, charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną cech oceanicznych i kontynentalnych w profilu równoleżnikowym. Celem niniejszego opracowania jest ukazanie przestrzennego zróżnicowania stopnia kontynentalizmu termicznego w kontynentalnej części Europy z wykorzystaniem wybranych wskaźników. Praca ma się przyczynić do dokładniejszego zbadania klimatu Europy i wykazania jego przestrzennego zróżnicowania na podstawie danych pomiarowych z ostatniego trzydziestolecia. Dodatkowym celem opracowania jest również przegląd wybranych wskaźników kontynentalizmu służących charakterystyce klimatu w strefie umiarkowanej.

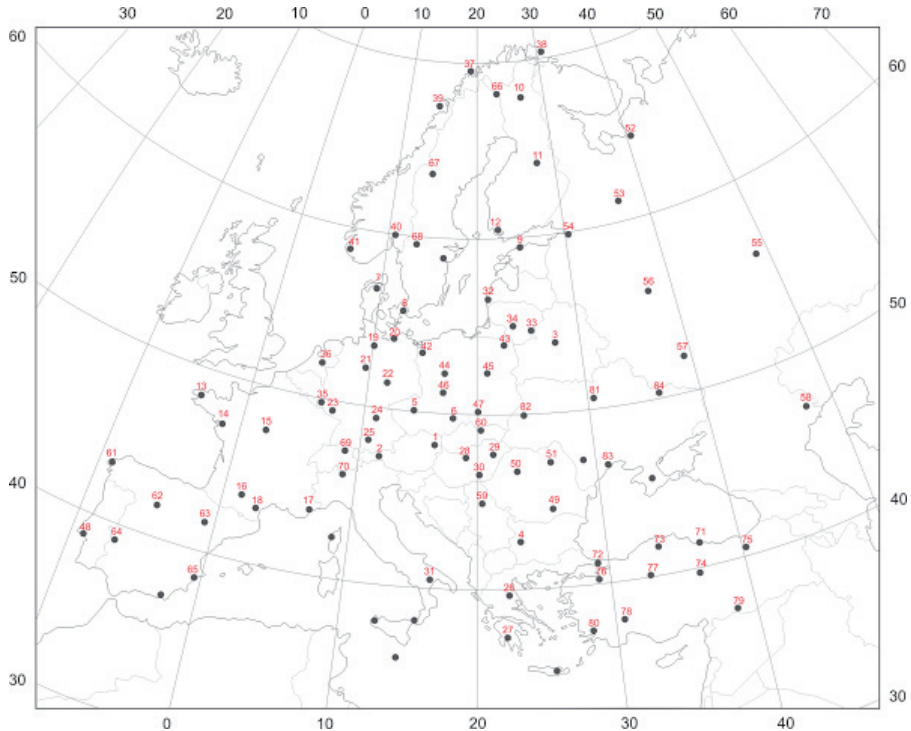
DANE ŹRÓDŁOWE I METODY BADAŃ

Dane źródłowe

Dane wykorzystane w opracowaniu pochodzą z Narodowego Centrum Danych Klimatycznych (National Climatic Data Center, NCDC). Do badań zgromadzono dane pochodzące z 84 stacji meteorologicznych w kontynentalnej części Europy i w Azji Mniejszej (ryc. 1). Wykorzystano informacje o średnich miesięcznych wartościach temperatury powietrza w latach 1981–2010. W pierwszej kolejności wyznaczono średnie wartości temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach dla wielolecia 1981–2010. Kolejnym etapem było ustalenie temperatury najcieplejszego i najchłodniejszego miesiąca w poszczególnych stacjach i wyliczenie rocznej amplitudy temperatury dla każdej stacji. Wyliczono również średnie wartości temperatury wiosny i jesieni, które były elementem jednego ze wzorów. Wszystkie obliczone wskaźniki kontynentalizmu przedstawiono na mapach obrazujących ich przestrzenny rozkład.

Wskaźniki kontynentalizmu termicznego

W niniejszym opracowaniu zastosowano wybrane wskaźniki kontynentalizmu termicznego. Pierwszym z nich jest opracowany przez Chromowa wzór



Ryc. 1. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych uwzględnionych w opracowaniu
 Fig. 1. Location of meteorological stations used in the study

wykorzystujący wyznaczoną „czysto oceaniczną amplitudę” (Am), która jest powiązana z szerokością geograficzną (φ). Jest to amplituda, która występowałaby nad oceanem całkowicie wolnym od wpływów kontynentów. Dla takiej sztucznie stworzonej amplitudy (Am) przyjęto następujący wzór (Chromow 1969):

$$Am = 5,4 \sin \varphi.$$

Chcąc obliczyć wskaźnik Chromowa, należy wyznaczyć różnicę pomiędzy roczną amplitudą temperatury badanego obszaru (A) a amplitudą czysto oceaniczną oraz podzielić wynik przez amplitudę rzeczywistą. W rezultacie wzór na wskaźnik Chromowa można zapisać w następujący sposób

$$K = \frac{A - Am}{A} = \frac{A - 5,4 \sin \varphi}{A}.$$

Wskaźnik ten nad wewnętrznymi częściami oceanów półkuli południowej wynosi mniej niż 10%, a nad północną częścią Oceanu Atlantyckiego przekracza 25%. Nad zachodnią Europą osiąga wartości między 50 a 70%, a nad Azją Centralną i Północno-Wschodnią przekracza 90%.

Ewert (1963) kwestionował sensowność jednoznacznego tłumaczenia większych wartości amplitudy stacji nizinnych, dolinnych i kotlinnych oddziaływaniem kontynentu i uważał, że przy wyznaczaniu stopnia kontynentalizmu klimatu należy wziąć pod uwagę, że:

- roczne amplitudy temperatury zależne są od szerokości geograficznej. Wielkość zmian jest taka, jak zakres zmian funkcji $\sin\varphi$;
- na roczną amplitudę temperatury niewątpliwie wpływa konfiguracja powierzchni lądowej. Gdyby tak nie było, to amplituda zmieniałaby się w sposób wprost proporcjonalny do odległości od oceanu. Musi zatem istnieć liniowa zależność pomiędzy średnią roczną amplitudą danego równoleżnika i udziałem procentowym powierzchni lądowych w tej samej strefie szerokości geograficznej;
- wpływ na wartość rocznej amplitudy temperatury w danym punkcie mają również takie czynniki, jak hipsometria i rzeźba (za: Okołowicz 1969).

Ewert (1963) przy konstruowaniu swojego wzoru na kontynentalizm uwzględnił pierwsze dwa z wyżej wymienionych punktów. Ostateczna postać wzoru Ewerta (1963) jest następująca:

$$K = \frac{A - (3,81 \cdot \sin\varphi + 0,1)}{38,39 \cdot \sin\varphi + 7,47} \cdot 100(\%) .$$

Wartości otrzymane za pomocą tego wzoru mogą być niższe niż 0% (np. -1,5% na Pacyfiku w strefie przyrównikowej) lub wyższe niż 100% (np. 141,5% w okolicach Jakucka). Obszary, w których wartość kontynentalizmu jest niższa od 0%, Ewert nazywa ponadoceanicznymi, a miejsca o kontynentalizmie przekraczającym 100% nazywane są ponadkontynentalnymi.

Kolejnym wskaźnikiem wykorzystanym w opracowaniu jest wskaźnik kontynentalizmu Conrada (1946, za: Jehn 1977). W celu określenia stopnia kontynentalizmu autor używa także dwóch zmiennych: szerokości geograficznej ($\sin(\varphi+10^\circ)$) oraz rocznej amplitudy temperatury (A):

$$k = \frac{1,7A}{\sin(\varphi + 10^\circ)} - 14 .$$

Odmienne podejście do przedstawienia kontynentalizmu klimatu przedstawił Johansson (1948, za: Okołowicz 1969). Uwzględnił w swoim wskaźniku różnicę temperatury jesieni i wiosny (D). Kontynent bowiem wiosną nagrzewa się szybciej niż ocean, a jesienią szybciej się wyziębia. We wzorze na kontynentalizm termiczny stworzonym przez Johanssona, zmodyfikowanym przez Ringleba (1948, za: Okołowicz 1969), wzięto pod uwagę także średnią amplitudę temperatury i sinus szerokości geograficznej. Ostatecznie przyjmuje on formę:

$$K = 0,6 \left(1,6 \frac{A}{\sin\varphi} - 14 \right) - D + 36 .$$

Ostatni wskaźnik wykorzystany w opracowaniu został opisany przez Marsza (1995). W przeciwieństwie do poprzednich wskaźników nie jest miarą kontynentalizmu, lecz oceanizmu klimatu. Wzór na ten wskaźnik przyjmuje następującą postać:

$$O(M) = \frac{0,7212\varphi + 1,767}{A}$$

Interpretować go należy, używając poniższej skali:

1. Klimat ultraoceaniczny ($0 > 3,99$).
2. Klimat oceaniczny ($3,00-3,99$).
3. Klimat suboceaniczny ($2,00-2,99$).
4. Klimat kontynentalny ($1,00-1,99$).
5. Klimat ultrakontynentalny ($0 < 1$).

WYNIKI BADAŃ

Średnia roczna amplituda temperatury

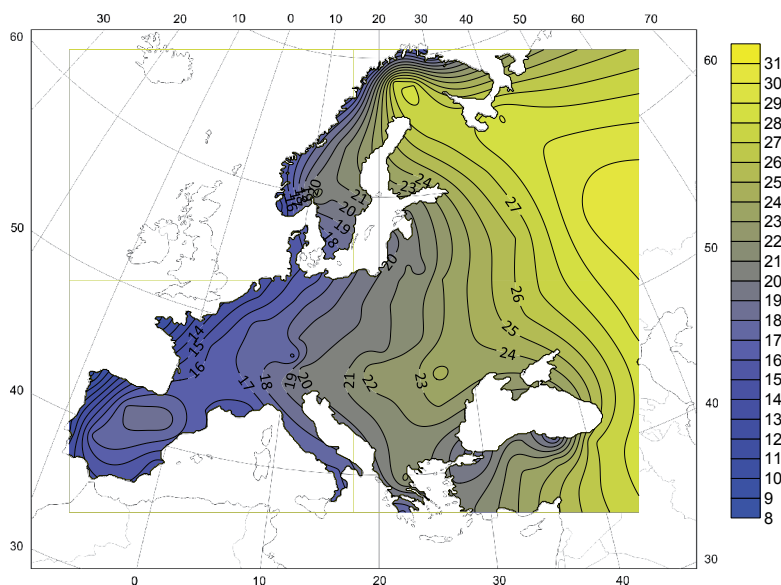
Średnia roczna amplituda temperatury powietrza jest pierwotnym wskaźnikiem kontynentalizmu. Na kontynencie europejskim izoamplitudy układają się południkowo. Wpływa na to południkowe ułożenie izoterm stycznia, kiedy warunki termiczne nad kontynentem kształtują się głównie pod wpływem cyrkulacji atmosferycznej i ścierania się mas powietrza oceanicznego z zachodu i kontynentalnego ze wschodu. Wysokie wartości rocznej amplitudy temperatury w głębi kontynentu ($25-31^{\circ}\text{C}$) oraz w północno-wschodniej części Półwyspu Skandynawskiego (28°C) są głównie pochodną bardzo niskiej temperatury w styczniu (ryc. 2).

Małe wartości rocznej amplitudy temperatury są charakterystyczne dla nadmorskich obszarów Europy. Na zachodnim wybrzeżu Półwyspu Iberyjskiego, Półwyspu Bretońskiego i Półwyspu Skandynawskiego wynosiły one $8-10^{\circ}\text{C}$. Stosunkowo niewielkie amplitudy występowały również w rejonach Morza Śródziemnego i Morza Czarnego.

PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE WSKAŹNIKÓW KONTYNENTALIZMU

Wskaźnik Chromowa

Wskaźnik Chromowa (1969) wyrażany jest procentowo i ukazuje, jaka część wartości rocznej amplitudy temperatury powietrza w danym miejscu



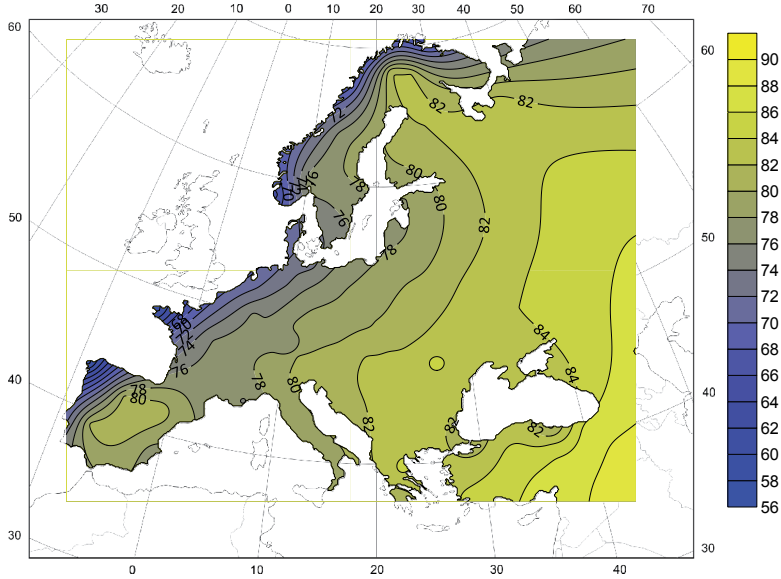
Ryc. 2. Średnia roczna amplituda temperatury powietrza [°C] w Europie w latach 1981–2010

Fig. 2. Mean annual range of air temperature [°C] in Europe for years 1981–2010

uwarunkowana jest oddziaływaniem lądów. Wartość 0% oznacza brak wpływu lądu na wielkość rocznej amplitudy, a 100% wskazuje na dominujące oddziaływanie lądu. Najmniejszy stopień kontynentalizmu występuje na wybrzeżach Oceanu Atlantyckiego, gdzie indeks Chromowa utrzymuje się poniżej 10% (ryc. 3). W kierunku wschodnim początkowo gwałtownie rośnie, osiągając w rejonach Alp i Karpat 80%. Dalej wzrost stopnia kontynentalizmu nie jest już tak dynamiczny. Maksymalne wartości wskaźnika występują na Nizinie Wschodnioeuropejskiej i wynoszą ponad 84%. Dużymi wartościami indeksu Chromowa (> 80%) charakteryzuje się również centralna i wschodnia część Półwyspu Iberyjskiego w odległości zaledwie około 500 m od Oceanu Atlantyckiego.

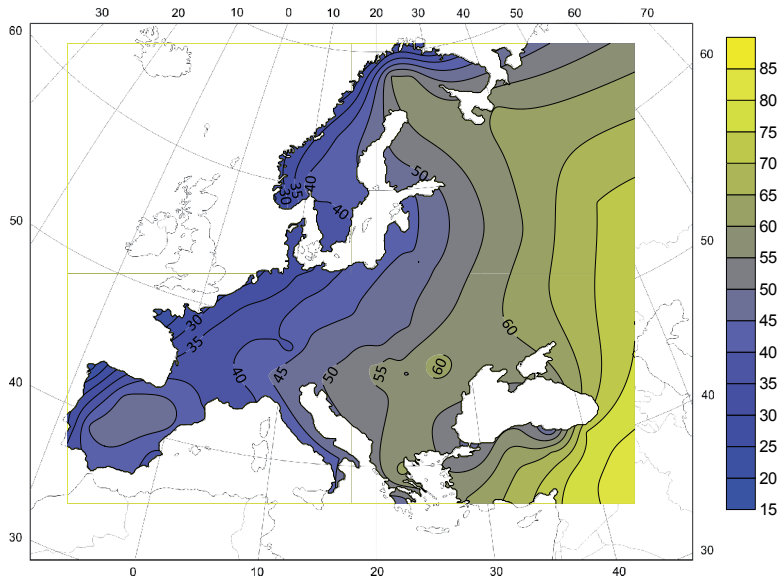
WSKAŹNIK EWERTA

Wskaźnik Ewerta (1963) przyjmuje w Europie wartości od 15 do ponad 80% (ryc. 4). Najbardziej oceaniczne są wybrzeża Oceanu Atlantyckiego oraz znaczna część Półwyspu Skandynawskiego i zachodniej Europy. Wskaźnik Ewerta wynosi tam 15–30%. Jego wartości wzrastają dość równomiernie w kierunku wschodnim i na Nizinie Wschodnioeuropejskiej oraz na półwyspie Azja Mniejsza osiągają ponad 60%.



Ryc. 3. Przestrzenny rozkład wskaźnika kontynentalizmu termicznego Chromowa [%] w Europie w latach 1981–2010

Fig. 3. Spatial distribution of Chromov's thermal continentality index [%] in Europe for years 1981–2010

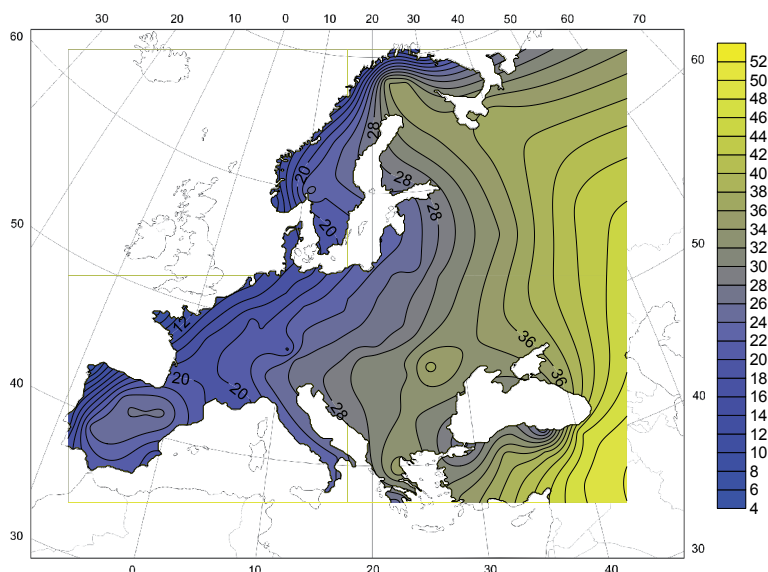


Ryc. 4. Przestrzenny rozkład wskaźnika kontynentalizmu termicznego Ewerta [%] w Europie w latach 1981–2010

Fig. 4. Spatial distribution of Ewert's thermal continentality index [%] in Europe for years 1981–2010

WSKAŹNIK CONRADA

Wartości wskaźnika Conrada (1946) dla kontynentu europejskiego mieszczą się w zakresie 4–52%. Współczynnik ten, podobnie jak wcześniejsze, zmienia się równoleżnikowo. Najbardziej oceanicznym klimatem charakteryzują się wybrzeża Europy (Półwysp Iberyjski, zachodnia część Półwyspu Skandynawskiego, zachodnie części Niziny Francuskiej i Niziny Niemieckiej). Stopień kontynentalizmu w tych rejonach, według skali Conrada, przyjmuje wartości 4–20%. Wartość wskaźnika wzrasta w kierunku wschodnim i na długości 20°E wynosi 25–30%. Podwyższony stopień kontynentalizmu występuje na północ od Zatoki Botnickiej oraz na obszarach leżących na wschód od południka 45°N (ryc. 5). Najwyższym stopniem kontynentalizmu cechują się obszary wschodniej Europy. Na Nizinie Wschodnioeuropejskiej wynosi on około 50%.



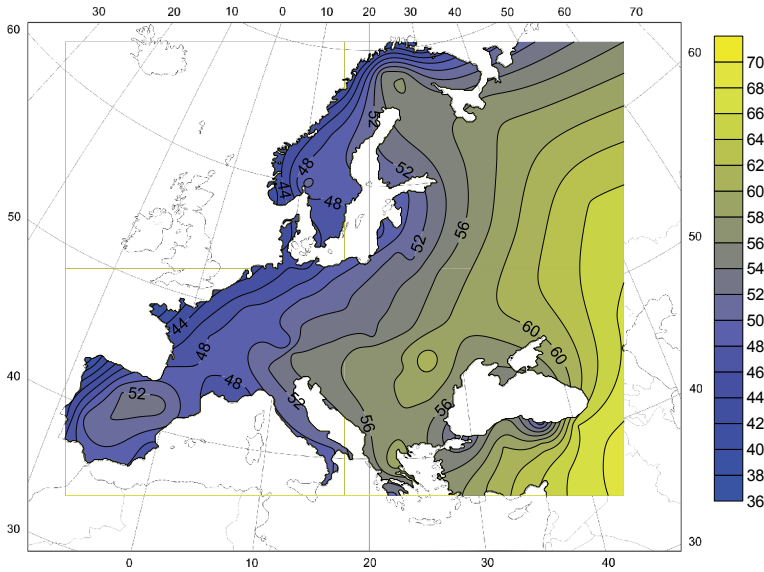
Ryc. 5. Przestrzenny rozkład wskaźnika kontynentalizmu termicznego Conrada [%] w Europie w latach 1981–2010

Fig. 5. Spatial distribution of Conrad's thermal continentality index [%] in Europe for years 1981–2010

WSKAŹNIK JOHANSSONA-RINGLEBA

Wskaźnik Johanssona-Ringleba (1948, za: Okołowicz 1969) różni się od przedstawionych powyżej, ponieważ uwzględnia różnicę średniej wartości temperatury jesieni i wiosny. Mimo to rozkład jego wartości w Europie jest zbliżony

do wcześniejszych wskaźników (ryc. 6). Najmniej kontynentalny klimat panuje wzdłuż brzegu Oceanu Atlantyckiego. Wartość analizowanego wskaźnika zawiera się w przedziale od 36 do 40%. Wyjątkiem jest wnętrze Półwyspu Iberyjskiego, gdzie indeks Johanssona-Ringleba przekracza 52%. W środkowej części Europy odnotowywane są wartości 50–56. Zwiększony stopień kontynentalizmu występuje wzdłuż równoleżnika 45°N. Zdecydowanie najbardziej kontynentalna jest południowo-wschodnia część kontynentu w miejscach, gdzie Europa łączy się z kontynentem azjatyckim. Wskaźnik Johanssona-Ringleba przekracza na tych obszarach 60%.



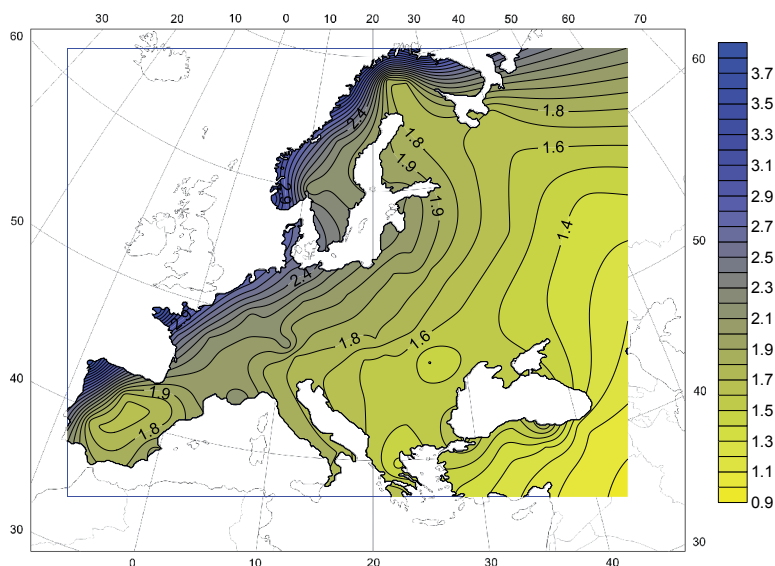
Ryc. 6. Przestrzenny rozkład wskaźnika kontynentalizmu termicznego Johanssona-Ringleba [%] w Europie w latach 1981–2010

Fig. 6. Spatial distribution of Johansson-Ringleb's thermal continentality index [%] in Europe for years 1981–2010

WSKAŹNIK MARSZA

Marsz (1995) jako jedyny zaproponował wskaźnik wyrażający stopień oceanizmu klimatu. W tym wypadku większe wartości oznaczają większy wpływ wód oceanicznych na klimat (ryc. 7).

Najniższymi wartościami wskaźnika oceanizmu charakteryzuje się południowo-wschodni obszar Europy (okolice Kaukazu), gdzie wynosi on około 0,9–1,3. Wartości wskaźnika systematycznie rosną w kierunku północno-zachodnim. Przebieg izolinii jest południkowy na północy (Półwysep Skandynawski, Wyżyna Środkoworosyjska) i równoleżnikowy na wschodzie (w północnej



Ryc. 7. Przestrzenny rozkład wskaźnika oceanizmu Marsza w Europie w latach 1981–2010

Fig. 7. Spatial distribution of Marsz's oceanicity index in Europe for years 1981–2010

części Niziny Wschodnioeuropejskiej). Klimat najbardziej oceaniczny występuje w wąskim pasie na zachodnich wybrzeżach Europy (północna część Półwyspu Iberyjskiego, Półwysep Skandynawski). Wskaźnik Marsza przekracza tam wartość 3. Należy zwrócić uwagę na bardzo duży gradient w rejonach nadmorskich. Tempo zmian stopnia oceanizmu jest tutaj znacznie większe niż na wschodzie Europy. Według skali wskaźnika Marsza większość kontynentu znajduje się w strefie klimatu kontynentalnego (1,00–1,99). Izolinia oddzielająca tę strefę od klimatu suboceanicznego przebiega przez: Estonię, Łotwę, Polskę, Niemcy, Szwajcarię i Francję. Klimat oceaniczny występuje jedynie w rejonie wybrzeży (Półwysep Iberyjski, Półwysep Skandynawski i Normandia).

PODSUMOWANIE

Uwarunkowania fizycznogeograficzne powodują, że kontynent europejski charakteryzuje się – pomimo swoich stosunkowo małych rozmiarów – bardzo dużym zróżnicowaniem stopnia kontynentalizmu termicznego. Wszystkie zastosowane w opracowaniu wskaźniki kontynentalizmu termicznego pokazują znaczący wpływ oceanicznych mas powietrza na wybrzeża zachodniej i północnej Europy. Obszary nad Morzem Śródziemnym wykazują cechy klimatu morskiego w mniejszym stopniu i głównie w części zachodniej. Cechy kontynentalne ma interior Półwyspu Iberyjskiego oraz północno-wschodnia część Półwyspu

Skandynawskiego, pomimo niewielkiej odległości od Oceanu Atlantyckiego. Najbardziej kontynentalny charakter wykazują obszary charakteryzujące się dużą roczną amplitudą temperatury na wschodzie kontynentu oraz w otoczeniu Morza Czarnego, zwłaszcza nieprzynależny do Europy rejon Azji Mniejszej. Włączenie tego półwyspu do obszaru badań pozwoliło ukazać, że stacje położone w niskich szerokościach geograficznych, pomimo stosunkowo niewielkiej rocznej amplitudy temperatury powietrza, ocenia się jako kontynentalne.

Większość wskaźników, mimo zróżnicowanej konstrukcji wzorów, pokazuje podobny rozkład wskaźników kontynentalizmu i dzieli Europę na oceaniczną i kontynentalną wzdłuż południków 20–25°E. Przebieg strefy granicznej pokrywa się ze wzrostem rocznej amplitudy temperatury powietrza powyżej 20°C. Podobne wartości rocznej amplitudy temperatury występują w interiorze półwyspów Iberyjskiego i Skandynawskiego, które charakteryzują się klimatem kontynentalnym według większości wskaźników.

Odmienny w założeniach i konstrukcji wskaźnik oceanizmu Marsza wskazuje wąski pas wzdłuż północno-zachodnich wybrzeży Europy jako obszar o charakterze oceanicznym. Wartość tego wskaźnika zmienia się dynamicznie w kierunku wschodnim; klimat większości obszaru Europy ma, według wskaźnika Marsza, charakter kontynentalny.

Stopień kontynentalizmu klimatu na obszarze Europy uwarunkowany jest wpływem oceanicznych mas powietrza, który słabnie na wschodzie kontynentu (Kozuchowski, Marciniak 1991, 2002; Ciaranek 2014). Przeszkodą w adwekcji oceanicznych mas powietrza w kierunku wschodnim są pasma górskie o południkowym przebiegu, które powodują wzrost stopnia kontynentalizmu po stronie zawietrznej, na przykład na półwyspie Skandynawskim.

LITERATURA

- Baltas E., 2007: *Spatial distribution of climatic indices in northern Greece*, Meteorol. Appl. 14, 69–78.
- Chromow S., 1969: *Meteorologia i klimatologia*, PWN, Warszawa.
- Ciaranek D., 2014: *Variability of the thermal continentality index in Central Europe*, Aerul și Apa: Componente ale Mediului, Air and Water: Components of the Environment, 307–313.
- Conrad J., 1946: *Usual formulas of continentality and their limits of validity*, Trans American Geophys. Union 27, 663–664.
- Deniz A., Toros H., Incecik S., 2011: *Spatial variations of climate indices in Turkey*, Internat. Journ. of Clim. 41(3), 394–403.
- Ewert A., 1963: *Kontynentalizm termiczny klimatu*, Przegl. Geofiz. 3, 143–150.
- Gavilan R.G., 2005: *The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case study in the Spanish Sistema Central*, Internat. Journ. of Biometeo. 50, 111–120.
- Gorczyński W., 1918: *O wyznaczaniu stopnia kontynentalizmu według amplitud temperatury*, Sprawozdanie z posiedzeń Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, 500–574.
- Hirschi J.J.M., Sinha B., Josey S.A., 2007: *Global warming and changes of continentality since 1948*, Weather 62, 215–221.

- Huculak W., 1983: *Termiczny kontynentalizm klimatu w świetle niektórych cech rocznego przebiegu temperatury powietrza*, Przegł. Geofiz. 3–4, 375–386.
- Jehn K.H., 1977: *Continentality in the Texas Coastal Zone*, Monthly Weather Rev. 105, 908–914.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1992: Kontynentalizm termiczny klimatu na obszarze Polski w okresie 1881–1980, Wiad. IMGW XV(XXXVI) 4, 89–93.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 2002: *Zmienność kontynentalizmu klimatu w Polsce*. [W:] G. Wójcik, K. Marciniak (red.), *Scientific activities of professor Władysław Gorczyński and their continuation*, Wyd. UMK, Toruń, 261–281.
- Marsz A., 1995: *Wskaźnik oceanizmu jako miara klimatycznego współdziaływania w systemie ocean – atmosfera – kontynenty*, WSM, Gdynia.
- Mc Boyle G., Steiner D., 1972: *A factor-analytic approach to problem of continentality*, Geograf. Ann. Ser. A, Phys. Geograph. 54, 12–27.
- Okołowicz W., 1969: *Klimatologia ogólna*, PWN, Warszawa.
- Pietkiewicz S., Żmuda S., 1973: *Słownik pojęć geograficznych*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Romer E., 1947: *O współczesnej oceanizacji klimatu europejskiego*, Przegł. Geogr. 1–2, 103–106.
- Wypych A., 2010: *Variability of the European Climate on the Basis of Differentiation of Indicators of Continentalism*. [W:] R. Przybylak, J. Majorowicz, R. Brázdil, M. Kejna (eds), *The Polish climate in the European context: An historical overview*, Springer, Berlin/ Heidelberg/New York, 473–484.