



## **Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania odczucia gorąca latem w Polsce według temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST), 1951–2008\***

*The impact of atmospheric circulation on the occurrence  
of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' thermal sensation  
in the Polish summers of the 1951–2008 period,  
in line with Physiological Subjective Temperature (PST)*

**MAŁGORZATA OWCZAREK**

Instytut Geografii, Uniwersytet Gdański, 80-952 Gdańsk, ul. Bażyńskiego 4;  
m.owczarek@ug.edu.pl

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, 01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61

**Zarys treści.** W pracy analizowano zależność występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' według temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST) w Polsce od cyrkulacji atmosferycznej w rejonie północnego Atlantyku i Europy, którą charakteryzowały anomalie miesięcznych wartości ciśnienia atmosferycznego obliczone na podstawie danych z reanalizy NCEP. Wartości PST obliczono z użyciem modelu MENEX\_2005. Zastosowano metodę empirycznych funkcji własnych (EOF) oraz metodę korelacji kanonicznych (CCA). Dokonano rekonstrukcji serii analizowanego parametru i zweryfikowano jej poprawność. Występowanie odczuć gorąca latem w Polsce wiąże się przede wszystkim z nasileniem spływu powietrza ze wschodu i południowego wschodu. Sytuacje cyklonalne sprzyjają łagodzeniu odczucia gorąca. Najlepsze jakościowo wyniki uzyskano w odniesieniu do lipca oraz w skali całego sezonu.

**Słowa kluczowe:** Polska, odczucie cieplne, temperatura odczuwana fizjologicznie (PST), cyrkulacja atmosferyczna, empiryczne funkcje własne, korelacje kanoniczne.

### **Cel pracy i metody opracowania**

Odczucia cieplne człowieka kształtowane są w wyniku reakcji receptorów ciepła i zimna na bodźce docierające do nich z otoczenia i z wnętrza ciała (Błażejczyk, 2004). Fizjologiczne odczucie gorąca świadczy o występowaniu intensywnych bodźców termicznych otoczenia oraz termofizjologicznego stresu gorą-

---

\* Prace prowadzone były w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, w Projekcie KLI-MAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” nr POIG.01.03.01–14–011/08 w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (<http://klimat.imgw.pl>).

ca, obciążającego organizm i stwarzającego ryzyko przegrzania, a nawet zgonu (Błażejczyk i McGregor, 2007). Zróżnicowanie występowania takiego odczucia jest zatem ważnym elementem charakteryzującym warunki bioklimatyczne. Wielokrotnie wykazywano znaczną rolę cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu zmienności elementów meteorologicznych w Polsce. Odczucie ciepłe człowieka w relacji z cyrkulacją było natomiast badane stosunkowo rzadko, np. przez M. Kuchcik i K. Błażejczyka (2001) oraz K. Błażejczyka i innych (2003). Celem pracy jest wskazanie prawidłowości występowania odczucia gorąca w Polsce w okresie od czerwca do sierpnia oraz określenie jego związku z cyrkulacją atmosferyczną jako czynnikiem kształtującym rozkład tego odczucia.

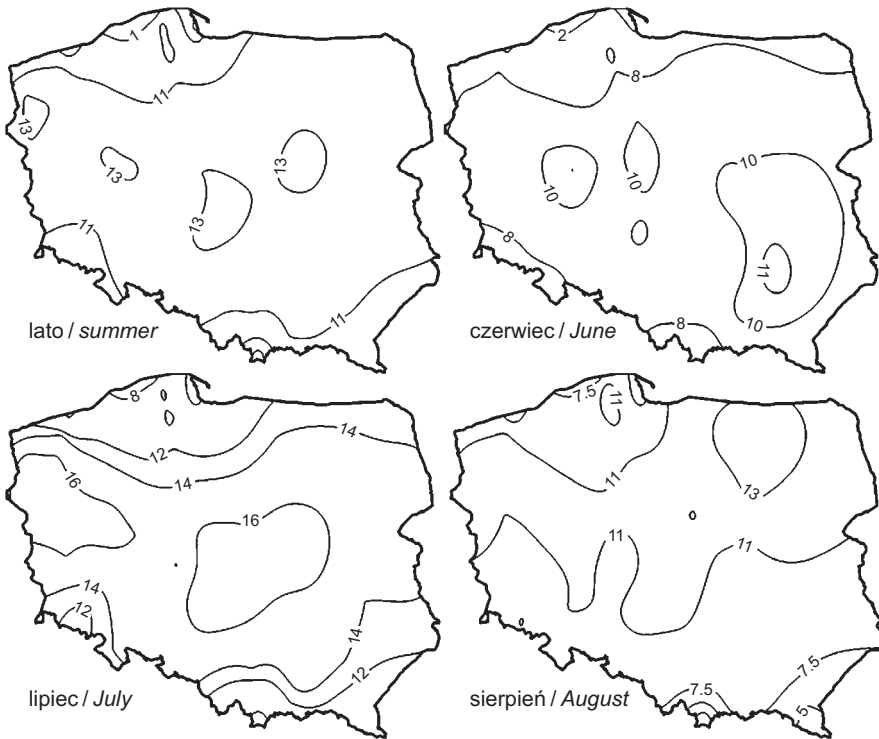
Charakterystykę odczucia ciepłego umożliwiają wskaźniki obliczane z użyciem modeli bilansu ciepłego ciała człowieka. W pracy wykorzystano temperaturę odczuwaną fizjologicznie (*Physiological Subjective Temperature, PST*, °C), która ilustruje odczucia ciepłe człowieka, kształtujące się po około 15–20 minutach trwania procesów adaptacyjnych organizmu do warunków otoczenia. Wartości wskaźnika obliczono na podstawie modelu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem MENEX\_2005 (Błażejczyk, 2005), stosując oprogramowanie BioKlima\_2.5 (Błażejczyk, 2005). Podstawę analizy stanowiły codzienne dane meteorologiczne: temperatura powietrza (°C), wilgotność względna powietrza (%), prędkość wiatru ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (redukowana do wysokości tułowia dorosłego człowieka 1,2 m nad powierzchnią gruntu) i zachmurzenie ogólne (%) w wieloleciu 1951–2008, z 54 stacji meteorologicznych IMGW w Polsce z godz. 12.00 UTC w czerwcu, lipcu i sierpniu. Przyjęto parametry fizjologiczne człowieka podczas spaceru z prędkością  $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w terenie płaskim (Błażejczyk, 2004). Obliczono częstość występowania wskaźnika *PST* o wartościach większych od  $34^\circ\text{C}$ , jakie odpowiadają fizjologicznym odczuciom ciepłym 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie'. Częstość obliczono w skali każdego z miesięcy letnich oraz całego sezonu letniego (czerwiec–sierpień). Przestrzenną i czasową zmienność częstości występowania wymienionych odczuć w Polsce w latach 1951–2008 analizowano stosując metodę empirycznych funkcji własnych (*Empirical Orthogonal Function, EOF*), która w polskich badaniach została wykorzystana między innymi przez A. Dziewulską-Łosiową (1973), M. Miętusa (1999), M. Miętusa i J. Filipiaka (2002) czy M. Miętusa i innych (2008). Umożliwiła ona określenie dominujących wzorców zmienności pola częstości występowania odczucia gorąca. Każdy z wektorów własnych pola analizowanego parametru (opisanego poprzez wartości jego anomalii w odniesieniu do wartości średnich) określa wkład określonego, systematycznie oddziałującego czynnika w kształtowanie jego przestrzennej zmienności (von Storch i Zwiers, 2001; Miętus i inni, 2008). Wyznaczone bezwymiarowe serie czasowe stowarzyszone z kolejnymi wektorami własnymi określają zmienność czasową wkładu tych wektorów w przestrzeń sygnału.

W celu zbadania związku częstości występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' w Polsce z regionalną cyrkulacją atmosferyczną skonstruowano model statystyczno-empiryczny metodą korelacji kanonicznych (*Canonical Correlation Analysis*, CCA) w odniesieniu do okresu referencyjnego 1971–1990. Charakteryzuje on wpływ cyrkulacji atmosferycznej, jako regionalnego czynnika wymuszającego, na zmiany w polu elementu lokalnego (częstości występowania odczucia gorąca). Metoda CCA polega na wyznaczeniu takich kombinacji wektorów własnych pól regionalnego i lokalnego, dla których wartość współczynnika korelacji serii stowarzyszonych z mapami tych pól jest największa (Miętus i inni, 2008). Cyrkulację atmosferyczną charakteryzowały miesięczne wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza w rejonie północnego Atlantyku i Europy (między 35°N i 75°N oraz 50°W i 40°E) obliczone na podstawie danych pozyskanych z reanalizy NCEP (Kalnay i inni, 1996). Biorąc pod uwagę maksymalną liczbę par map dokonano weryfikacji wykazanych zależności: wyznaczono serie zrekonstruowane częstości występowania odczucia gorąca w badanym wieloleciu 1951–2008 oraz w okresie zależnym 1971–1990 i obliczono współczynniki korelacji między poszczególnymi seriami pomiarowymi a zrekonstruowanymi oraz ilość wariancji analizowanego parametru reprodukowanej z użyciem skonstruowanego modelu. Kontury oraz izolacje skonstruowano z użyciem oprogramowania Surfer.9.

### **Przestrzenna i czasowa zmienność częstości występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' (według PST) w Polsce na podstawie empirycznych funkcji własnych (EOF)**

Odczucia 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' według PST obliczonej na podstawie danych obserwacyjnych, występują w Polsce centralnej i na Przedgórzach z częstością około 20–30% w skali sezonu letniego, około 25–35% w lipcu (Owczarek, 2011), około 23–32% w sierpniu i około 11–23% w czerwcu. Na Wybrzeżu i w Zakopanem częstość ta jest mniejsza, na ogół nie przekracza 10%. Wyniki analizy EOF wskazują, że przestrzeń sygnału częstości występowania odczucia gorąca w Polsce opisana jest przez 7 funkcji własnych w lipcu i 7 w skali sezonu, 8 w sierpniu oraz aż przez 10 funkcji własnych w czerwcu. Łączna ilość wyjaśnianej przez te funkcje wariancji wynosi od 89 do 96% w każdym z analizowanych miesięcy oraz w sezonie. Udział wariancji wyjaśnianej przez 1.EOF wynosi 72% w całym sezonie, ponad 78% w lipcu oraz ponad 65% w czerwcu i w sierpniu. Drugi wektor własny wyjaśnia 7% wariancji w sezonie i w czerwcu, 5% w lipcu i 11% w sierpniu. W przypadku pozostałych wektorów własnych ilość wyjaśnianej wariancji w większości przypadków nie przekracza 3%. Wartości anomalii 1.EOF zarówno w sezonie, jak i w poszczególnych miesiącach, wykazują największe zróżnicowanie przestrzenne na Wybrzeżu i Pojezierzu Pomorskim oraz na przedgórzach (ryc. 1). Jednakowy znak wartości ano-

malii świadczy o wpływie czynnika regionalnego na zmienność omawianego parametru (prawdopodobnie radiacji lub cyrkulacji albo obu tych czynników). Zaznacza się ochładzający wpływ wód Morza Bałtyckiego (najślabiej w sierpniu) oraz wysokości npm. W żadnej serii czasowej stowarzyszonej z 1 wektorem własnym nie stwierdza się trendu, wykazują one jedynie tendencje: malejącą w czerwcu, a w pozostałych rozpatrywanych okresach – rosnącą.



Ryc. 1. Zróżnicowanie 1 wektora własnego częstości występowania (%) odczuć ciepłych 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' w Polsce o godz. 12.00 UTC, 1951–2008.  
Opracowanie własne

The first Empirical Orthogonal Function of the frequency of occurrence (%) of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' thermal sensations in Poland at 12.00 UTC, 1951–2008.  
Author's own study

## Zmienność częstości występowania odczuć ciepłych 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' (według PST) w Polsce a regionalna cyrkulacja atmosferyczna w rejonie północnego Atlantyku i Europy

Relację częstości występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' w Polsce i regionalnej cyrkulacji atmosferycznej w czerwcu odzwierciedla 9 par map kanonicznych, w sierpniu – 8 par map, a w lipcu i w skali sezonu – 7 par map (tab. 1). Całkowita ilość wariancji pola barycznego uwzględniana przez skonstruowany model w skali sezonu wynosi w przybliżeniu 77%, w czerwcu i w sierpniu – 97%, a w lipcu 80%. Mapy pola lokalnego częstości występowania odczucia 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' wyjaśniają łącznie ponad 90% wariancji w skali sezonu, ponad 93% w czerwcu i ponad 95% w lipcu i sierpniu. Model uwzględnia zatem niemal całość zmienności zarówno regionalnej cyрку-

Tabela 1. Wariancja ( $\text{var}_{\text{SLP}}$ ,  $\text{var}_{\text{hot}}$ , %) wyjaśniana przez kolejne pary map kanonicznych (CCA) oraz współczynnik korelacji kanonicznej ( $r$ ) regionalnego pola ciśnienia (SLP) i lokalnego pola częstości występowania (%) odczuć ciepłych 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' w Polsce o godz. 12.00 UTC, 1971–1990

The amount of variance ( $\text{var}_{\text{SLP}}$ ,  $\text{var}_{\text{hot}}$ , %) explained by canonical correlation patterns (CCA) and canonical correlation coefficients ( $r$ ) between the regional sea-level pressure field (SLP) and the frequency of occurrence (%) of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' thermal sensations in Poland at 12.00 UTC, 1971–1990

Sezon Season	Wskaźnik Index	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6	CCA7	CCA8	CCA9	Suma Total
Lato Summer	$r$	0,75	0,73	0,55	0,41	0,26	0,22	0,03	–	–	×
	$\text{var}_{\text{hot}}$	52,4	14,8	6,2	6,2	3,2	3,4	4,0	–	–	90,3
	$\text{var}_{\text{SLP}}$	12,8	8,2	15,8	13,2	16,5	4,4	6,0	–	–	76,8
Czerwiec June	$r$	0,99	0,98	0,97	0,90	0,71	0,53	0,42	0,23	0,22	×
	$\text{var}_{\text{hot}}$	4,8	2,0	40,1	11,2	5,1	3,1	11,5	3,7	12,0	93,4
	$\text{var}_{\text{SLP}}$	12,3	7,7	9,2	12,7	14,8	3,6	10,6	2,9	23,4	97,2
Lipiec July	$r$	0,99	0,97	0,84	0,82	0,65	0,49	0,28	–	–	×
	$\text{var}_{\text{hot}}$	55,8	6,9	7,1	9,1	6,5	5,9	4,3	–	–	95,6
	$\text{var}_{\text{SLP}}$	19,7	6,5	8,8	5,6	10,8	19,2	8,9	–	–	79,5
Sierpień August	$r$	0,98	0,91	0,72	0,71	0,59	0,34	0,14	0,01	–	×
	$\text{var}_{\text{hot}}$	51,3	5,2	8,8	5,8	3,3	2,8	15,1	3,0	–	95,3
	$\text{var}_{\text{SLP}}$	21,9	10,4	5,0	13,8	19,0	8,7	10,7	7,4	–	96,9

Obliczenia własne.

Author's own calculations.

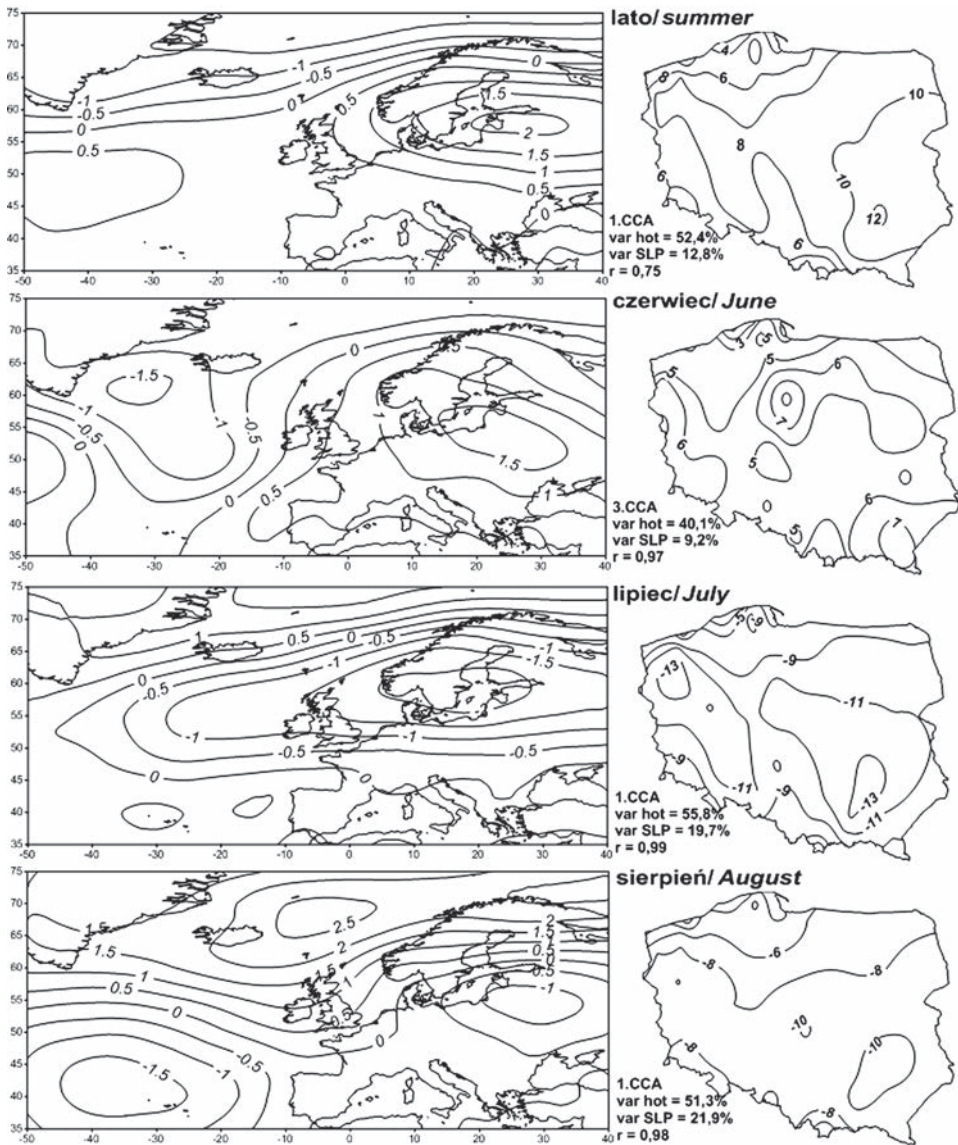
lacji atmosferycznej, jak i rozpatrywanego elementu lokalnego. W sezonie, lipcu i sierpniu największa część wariancji pola lokalnego jest wyjaśniana przez pierwszą parę map kanonicznych. W czerwcu natomiast pierwsza para map wyjaśnia jedynie 4,8% wariancji pola lokalnego, a dominuje trzecia para map kanonicznych.

Pierwsza para map kanonicznych, dotycząca sezonu, przedstawia w przypadku cyrkulacji atmosferycznej układ o dodatnich anomaliach ciśnienia, zlokalizowany na wschód od Polski, która znajduje się w jego zasięgu, powodujący intensyfikację spływu ciepłych i suchych mas powietrza z kierunku wschodniego i południowo-wschodniego (ryc. 2, lato). Taka sytuacja baryczna sprzyja występowaniu odczucia gorąca, największe wartości anomalii (nawet przekraczające 10%) widoczne są we wschodniej części Polski. Ilość wyjaśnianej wariancji pola lokalnego wynosi 52,4%, a współczynnik korelacji między seriami stowarzyszonymi z tą parą map wynosi 0,75, co świadczy o silnej zależności między zaprezentowanym wymuszeniem cyrkulacyjnym a analizowanym elementem. W czerwcu największą ilość wariancji pola lokalnego (40,1%) wyjaśnia trzecia para map kanonicznych. Ilość uwzględnianej przez model wariancji pola regionalnego wynosi 9,2%. Współczynnik korelacji między seriami stowarzyszonymi z tą parą map jest bardzo wysoki (0,97). Na mapie pola regionalnego Polska znajduje się, podobnie jak w okresie czerwiec–sierpień, w zasięgu układu o dodatnich wartościach anomalii ciśnienia zlokalizowanego na wschód od Polski (ryc. 2, czerwiec). Układ ten charakteryzuje mniejszy gradient niż w przypadku całego sezonu, lecz jego wpływ na występowanie analizowanych odczuć cieplnych jest analogiczny. Wartości anomalii częstości występowania odczuć cieplnych 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' są dodatnie i słabo zróżnicowane (poza Wybrzeżem).

Pierwsza para map kanonicznych w lipcu wyjaśnia 55,8% wariancji pola lokalnego, serie z nią stowarzyszone cechują się wysokim współczynnikiem korelacji (0,99). Pierwsza mapa pola regionalnego przedstawia większość obszaru Europy pod wpływem rozległego ośrodka o anomalii ujemnej z centrum nad Bałtykiem, co może świadczyć o intensyfikacji sytuacji cyklonalnych (ryc. 2, lipiec). Nad Polskę napływa wówczas chłodne i wilgotne powietrze, co skutkuje obniżeniem częstości występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' o 5 do 13%.

W sierpniu pierwsza para map kanonicznych wyjaśnia 51,3% wariancji pola lokalnego, a współczynnik korelacji stowarzyszonych serii wynosi 0,98. Na mapie pola regionalnego zaznacza się obszar o dodatniej anomalii ciśnienia z centrum na północ od Wielkiej Brytanii (ryc. 2, sierpień). Anomalie częstości występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' są ujemne i sięgają nawet 10%. Może to być spowodowane napływem chłodnego powietrza z kierunków północnych. W przypadku odwrócenia znaku anomalii ciśnienia para map obrazowałaby sytuację antycyklonalną, podobną do tych w sezonie letnim i w czerwcu.



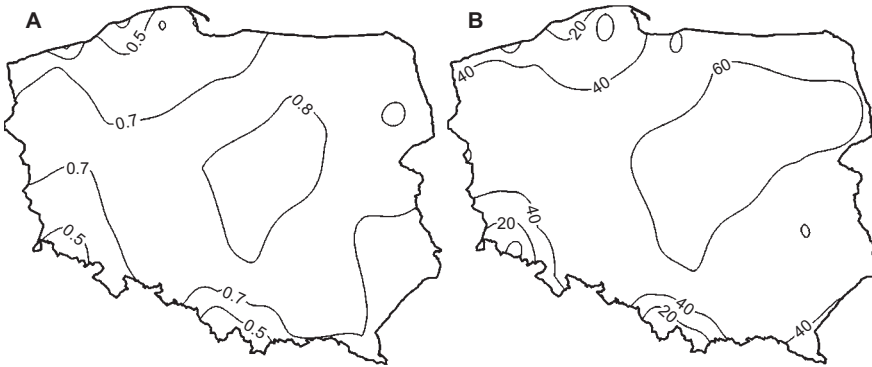


Ryc. 2. Pary map kanonicznych regionalnego pola barycznego w rejonie północnego Atlantyku i Europy (hPa) oraz częstości występowania (%) odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' w Polsce o godz. 12.00 UTC, 1971–1990.  
Opracowanie własne

The first pair and the third pair (in June) of canonical correlation pattern (1.CCA) of regional sea-level pressure (hPa) over the North Atlantic and Europe, and the frequency of occurrence (%) of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' thermal sensations in Poland at 12.00 UTC, 1971–1990. Author's own study

### Weryfikacja modelu

Wartości współczynnika korelacji między serią zrekonstruowaną a obserwowaną w skali sezonu w okresie 1951–2008 wynoszą na Wybrzeżu poniżej 0,50, a na pozostałym obszarze Polski około 0,60 i nie wykazują przestrzennego zróżnicowania. Zbliżone wartości uzyskano również w odniesieniu do okresu zaleźnego 1971–1990. W odniesieniu do lat 1951–2008 w czerwcu współczynnik korelacji wynosił od 0,20 do 0,40, w lipcu od 0,20 do ponad 0,80 (ryc. 3A), natomiast w sierpniu od 0,10 do 0,50. W okresie zaleźnym wartości współczynnika są w każdym z tych miesięcy o 0,10–0,20 większe. W świetle współczynnika korelacji najlepszą jakością, z wyjątkiem Wybrzeża, cechują się modele skonstruowane w odniesieniu do całego sezonu i lipca.



Ryc. 3. Weryfikacja modelu CCA częstości występowania odczuć 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' w Polsce w lipcu o godz. 12.00 UTC, 1951–2008.

A – współczynnik korelacji między serią na podstawie danych obserwacyjnych a zrekonstruowaną; B – % wariancji reprodukowanej przez model.

Opracowanie własne

Verification of the the CCA model for the frequency of occurrence of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' thermal sensations in Poland in July at 12.00 UTC, 1951–2008.

A – correlation coefficient between the observed and reconstructed values;

B – the variance (%) reproduced by the model. Author's own study

Ilość wariancji reprodukowanej przez skonstruowany model w skali całego sezonu wynosi około 30% na północy oraz na południu Polski, a na pozostałym, znacznym obszarze kraju – około 40%. W czerwcu i w sierpniu ilość wyjaśnianej wariancji jest na znacznym obszarze Polski bliska 10% lub ujemna. Świadczy to o słabej zdolności modelu (lub nawet jej braku) do odtwarzania zmienności częstości występowania odczucia gorąca w tych miesiącach. Bardziej zadowalające wyniki uzyskano w przypadku okresu zaleźnego 1971–1990: w czerwcu



ilość wariacji wynosi około 40%, a w sierpniu – od 20 do 80%. W lipcu ilość wariacji wynosi prawie w całej Polsce od 40 do 70%, co wskazuje na zadowalającą jakość modelu (ryc. 3B). Wyjątkiem są przedgórza oraz strefa brzegowa morza, gdzie ilość wyjaśnianej wariacji jest mniejsza od 20%.

### Podsumowanie

Przestrzeń sygnału pola częstości występowania odczuć ciepłych 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie' według temperatury odczuwanej fizjologicznie PST w Polsce latem jest opisana przez 7 do 10 funkcji własnych, co może świadczyć o złożoności procesów kształtujących zmienność analizowanych odczuć ciepłych. Zaznacza się jednakże wyraźna dominacja 1 wektora własnego i występowania anomalii dodatnich jednakowego znaku na obszarze całego kraju, co wskazywać może na zasadniczą rolę czynnika regionalnego w kształtowaniu zmienności analizowanego elementu. Wyniki skonstruowanych modeli świadczą o istnieniu związku lokalnego pola częstości występowania odczuć gorąca w Polsce i regionalnej cyrkulacji atmosferycznej. Dominującym wzorcem pola ciśnienia, mającym wpływ na występowanie tych odczuć latem, jest układ o dodatnich anomaliach ciśnienia nad wschodnią Europą i związane z nim nasilenie spływu powietrza ze wschodu i południowego wschodu. Intensyfikacja sytuacji cyklonalnych może się natomiast przyczyniać do łagodzenia stresu gorąca, towarzyszącemu odczuciom 'gorąco', 'bardzo gorąco' lub 'upalnie'. Jakość rekonstrukcji serii omawianego parametru, przeprowadzonej na podstawie skonstruowanych modeli, okazała się niezadowalająca w przypadku czerwca i sierpnia – to może świadczyć o wpływie procesów kształtujących zmienność odczucia gorąca, zależnych od czynników innych niż regionalna cyrkulacja atmosferyczna. Ponadto najmniej zadowalające są rezultaty z obszaru wybrzeża oraz części przedgórzy. Najlepszej jakości wyniki uzyskano w przypadku lipca oraz w skali całego sezonu, szczególnie w Polsce środkowej i wschodniej. Świadczą one o największym wpływie regionalnej cyrkulacji atmosferycznej na występowanie odczucia gorąca w tych okresach i mogą posłużyć do konstrukcji scenariuszy zmian warunków bioklimatycznych w Polsce.

## Piśmiennictwo

- Błażejczyk K., 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 192, Warszawa.
- , 2005, opis modelu MENEX, [www.igipz.pan.pl/tl\\_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/MENEX\\_2005.pdf](http://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/MENEX_2005.pdf)
- Błażejczyk K., Twardosz R., Kunert A., 2003, *Zmienność warunków biotermicznych w Krakowie w XX wieku na tle wahań cyrkulacji atmosferycznej*, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 188, Warszawa, s. 233–246.
- Błażejczyk K., McGregor G., 2007, *Warunki biotermiczne a umieralność w wybranych aglomeracjach europejskich*, *Przegląd Geograficzny*, 79, 3/4, s. 401–423.
- Dziewulska-Łosiowa A., 1973, *Pewne własności pola opadów w Polsce*, *Przegląd Geofizyczny*, 18, 1–2, s. 5–25.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., 1996, *The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project*, *Bulletin of American Meteorological Society*, 77, 3, s. 437–471.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., 2001, *Wpływ warunków pogodowych na zachorowalność i umieralność mieszkańców Warszawy*, [w:] B. Krawczyk, G. Węclawowicz (red.), *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 180, Warszawa, s. 71–87.
- Miętus M., 1999, *Rola regionalnej cyrkulacji atmosferycznej kształtowaniu warunków klimatycznych i oceanograficznych w polskiej strefie brzegowej Morza Bałtyckiego*, *Materiały Badawcze IMGW, seria: Meteorologia*, 29.
- Miętus M., Filipiak J., 2002, *Wpływ termiki powierzchniowej warstwy wody północnego Atlantyku na wielkoskalową cyrkulację atmosferyczną w rejonie Atlantyku i Europy oraz na warunki termiczne w Polsce w XX w.*, *Materiały Badawcze IMGW, seria: Meteorologia*, 35.
- Miętus M., Filipiak J., Wojtkiewicz A., Malik P., Jakusik E., 2008, *Statystyczno-empiryczny model warunków termicznych w Polsce*, seria: Monografie, IMGW, Warszawa.
- Owczarek M., 2011, *Zróżnicowanie subiektywnego odczucia ciepłego w Polsce, 1951–2008 (rezultaty Projektu KLIMAT)*, *Prace i Studia Geograficzne, Uniwersytet Warszawski*, 47, s. 257–264.
- Storch von H., Zwiers F., 2001, *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press, Cambridge.

[Wpłynęło: styczeń; poprawiono: czerwiec 2012 r.]

MAŁGORZATA OWCZAREK

THE IMPACT OF ATMOSPHERIC CIRCULATION ON THE OCCURRENCE  
OF 'HOT', 'VERY HOT' OR 'SWELTERING' THERMAL SENSATIONS  
IN THE POLISH SUMMERS OF THE 1951–2008 PERIOD,  
IN LINE WITH PHYSIOLOGICAL SUBJECTIVE TEMPERATURE (PST)

The subject of the research described here is the spatial and temporal variability affecting people's sensations of what is 'hot', 'very hot' or 'sweltering', as well as an evaluation of the influence atmospheric circulation is capable of exerting on the spatial variability to these sensations. The Man-Environment Heat Exchange Model MENEX\_2005 was applied to calculate values for Physiological Subjective Temperature (PST), and the seasonal (June–August) and monthly frequencies of occurrence of the 'hot' sensation across Poland at 12.00 UTC. The Empirical Orthogonal Functions (EOF) method was applied to assess several models of the spatial and temporal variability to the parameter analyzed. The statistical downscaling procedure of Canonical Correlation Analysis (CCA) was used to study the link between regional-scale circulation patterns and the local fields for people's thermal sensations of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' across Poland. Data from 51 Polish meteorological stations for the period 1951–2008 were used, as were sea-level pressure data for the North Atlantic and Europe domain from the NCEP reanalysis in 1971–1990. Reconstructed series for the frequency of occurrence of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' sensations were calculated and compared with what was observed. The variability to the frequency of occurrence of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' sensations among people across Poland is explained by 5 to 10 of the eigenvectors, the first EOF dominating and accounting for between 66 and 79% of the variance. The results of CCA attest to the significant impact of the pressure field over Eastern Europe on the occurrence of 'hot', 'very hot' or 'sweltering' sensations. The mitigation of hot stress in summer is linked with negative anomalies of the pressure field over Europe. The best reliability of results was achieved in the case of the July reconstructed series, especially over the central and eastern parts of Poland.

