

BODŹCOWOŚĆ WARUNKÓW BIOMETEOROLOGICZNYCH WE WROCŁAWIU

Stimulating qualities of biometeorological conditions in Wrocław

KRYSTYNA BRYŚ*, HANNA OJRZYŃSKA**

Zarys treści. Bodźcowość warunków biometeorologicznych we Wrocławiu przeanalizowana została na podstawie wartości wskaźnika oceny obciążeń cieplnych człowieka UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) w latach 2008–2014. Wyliczono je z danych o kroku godzinowym otrzymanych z Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, z uwzględnieniem składowych całkowitego bilansu promieniowania słonecznego. Analizie poddane zostały roczne i wieloletnie przebiegi wartości wskaźnika UTCI oraz częstość występowania klas wartości wskaźnika odpowiadających określonej bodźcowości (stres ciepła i zimna). Dla wybranych okresów fal ciepła i chłodu porównano przebiegi głównych meteorologicznych determinant wskaźnika UTCI. Potwierdzono słabą bodźcowość warunków biometeorologicznych Wrocławia. Wykazano, że warunki biometeorologiczne wrocławskich przedmieść charakteryzują się znaczną frekwencją braku obciążeń cieplnych. Zaznaczono, że w ostatnich latach wzrasta liczba sytuacji ze stresem zimna, co w obszarach o stosunkowo niskiej szorstkości podłoża spowodowane jest dynamiką ruchu powietrza w częściej występujących sytuacjach cyklonalnych.

Słowa kluczowe: wskaźnik obciążeń cieplnych człowieka UTCI, stres ciepła, stres chłodu, Wrocław, składowe całkowitego bilansu promieniowania słonecznego

Abstract. Stimulating qualities of biometeorological conditions of Wrocław were analyzed on the basis of the values of the *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) of the years 2008–2014. UTCI values were calculated from 1-hour data with the use of components of solar radiation balance, measured in the Agro- and Hydrometeorological Observatory of Wrocław University of Environmental and Life Science. Annual and long-standing courses of UTCI and the occurrence frequency of UTCI levels corresponding to a specific stimulating condition (heat and cold stress) were analyzed. For the selected cold-wave and heat-wave, the courses of the main meteorological determinants of UTCI were compared. It was demonstrated that the biometeorological conditions of Wrocław suburbia are characterized by a considerable frequency of heat load deficit. It was remarked that the number of incidents of cold stress has increased in recent years. In the areas of relatively small surface roughness, the reason can be attributed to the dynamics of the wind in more frequently occurring cyclonic circulation.

Key words: Universal Thermal Climate Index UTCI, heat stress, cold stress, Wrocław, component of solar radiation balance

Wprowadzenie

Wrocław poszczycić może się jedną z najdłuższych w Europie serii pomiarowych elementów meteorologicznych (Bryś, Bryś 2010a, b; Bryś 2013), dlatego w literaturze odnaleźć można szereg opracowań dotyczących klimatu Wrocławia. Począwszy od powojennych studiów Kosiby (1979), przez opracowania wieloletnich serii pomiarowych przygotowane przez Pykę (1991, 1998a, b) i Dubicką (1996, 1998) czy podsumowane w zespołowych opracowaniach dotyczących klimatu Wrocławia w XX wieku (Dubicka, Pyka 2001; Dubicka i in. 2002), aż po szczegółowe

analizy przestrzenne związane z rozkładem miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu (Szymanowski 2004). W monografii Sikory (2008) zawarto charakterystykę bioklimatyczną uwzględniającą zagadnienia bodźcowości klimatu lokalnego, ze wskazaniem prawidłowości przebiegu rocznego kompleksowych wskaźników biometeorologicznych w odpowiednich skalach odczuwalności termicznej oraz częstości występowania sytuacji korzystnych i niekorzystnych dla człowieka. Wraz z rozwojem metod opisu warunków biometeorologicznych podjęte zostały analizy z wykorzystaniem najnowszego wskaźnika oceny obciążeń cieplnych człowieka (*Universal Thermal Climate Index*).

* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław; e-mail: krystyna.brys@up.wroc.pl

** Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław; e-mail: hanna.ojrzyńska@uwr.edu.pl

Wskaźnik UTCI, bazując na wielowęzłowym modelu termoregulacji człowieka, odzwierciedla fizjologiczną reakcję na wielowymiarowo zdefiniowane, aktualne warunki termiczne (Jendritzky i in. 2007, 2012; Błażejczyk i in. 2010, 2013). Przebieg roczny dekadowych wartości UTCI oraz wieloletnie średnie miesięczne wielkości UTCI, wraz z frekwencją bodźcowych klas wielkości wskaźnika, zestawione zostały dla Wrocławia przez Kuchcik i in. (2013). Bieżące wartości wskaźnika wyliczane są i publikowane na stronach internetowych IMGW (<http://pogodynka.pl/biometeo/utci>) oraz projektu LIFE-APIS (<http://lifeapis.meteo.uni.wroc.pl/>).

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano wielkości UTCI dla Wrocławia z ostatnich lat (2008–2014), wyliczone dla kroku godzinowego z uwzględnieniem pomierzonych wartości składowych strumieni całkowitego bilansu promieniowania słonecznego. Podejście to umożliwia precyzyjną weryfikację i uszczegółowienie dotychczasowych wyników, które w większości opracowań opierają się na szacunku wielkości składowych strumieni bilansu radiacyjnego z promieniowania całkowitego. Celem niniejszego opracowania jest więc nie tylko analiza rocznego przebiegu wartości wskaźnika oceny obciążeń cieplnych człowieka we Wrocławiu oraz częstości występowania klas wartości wskaźnika odpowiadających określonej bodźcowości (stres ciepła i zimna), ale i podkreślenie zależności ich występowania od określonych determinant meteorologicznych.

Metoda

Godzinowe wartości wskaźnika UTCI dla lat 2008–2014 obliczone zostały wg metodyki opisanej przez Błażejczyka i in. (2010). Wykorzystano w tym celu funkcję wykładniczą 6 stopnia:

$$UTCI = f(T_a, v_p, v_a, dT_{mrt}), \quad (1)$$

gdzie:

T_a – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$),

v_p – ciśnienie pary wodnej (hPa),

v_a – prędkość wiatru na wysokości 10 m nad gruntem ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),

dT_{mrt} – różnica pomiędzy średnią temperaturą promieniowania M_{rt} a temperaturą powietrza ($^{\circ}\text{C}$).

Do wyliczeń zastosowano godzinowe dane meteorologiczne z Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Analiza okresu 2008–2014 wynikała z ograniczeń serii pomiarowej. Temperaturę

promieniowania M_{rt} wyliczono na podstawie zmierzonych strumieni promieniowania całkowitego K_{glob} , promieniowania zwrotnego atmosfery L_a oraz promieniowania długofalowego Ziemi L_g , wg wzoru Błażejczyka (2004):

$$M_{rt} = \left(\frac{R_{prim} + 0,5 L_g + 0,5 L_a}{5,38365 \cdot 10^{-8}} \right)^{0,25} - 273, \quad (2)$$

gdzie:

R_{prim} – promieniowanie słoneczne pochłonięte przez osobę nieubraną ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), zależne od wysokości słońca (h_{Sl}) i strumienia promieniowania (K_t) oraz założonego albedo człowieka (31%):

$$K_t = \frac{K_{glob}}{-0,0015 \cdot h_{Sl}^3 + 0,1796 \cdot h_{Sl}^2 + 9,6375 \cdot h_{Sl} - 11,9}, \quad (3)$$

$$R_{prim} = 0,9969 \cdot (0,0014 \cdot K_{glob}^2 + 0,476 \cdot K_{glob} - 3,8) \quad \text{dla } h_{Sl} \leq 12^{\circ}, \quad (4)$$

$$R_{prim} = 0,24594 \cdot K_{glob}^{0,9763} \quad \text{dla } h_{Sl} > 12^{\circ} \text{ i } K_t \leq 0,8, \quad (5)$$

$$R_{prim} = 3,68075 \cdot K_{glob}^{0,5842} \quad \text{dla } h_{Sl} > 12^{\circ} \text{ i } 0,8 < K_t \leq 1,05, \quad (6)$$

$$R_{prim} = 43,29138 \cdot K_{glob}^{0,2326} \quad \text{dla } h_{Sl} > 12^{\circ} \text{ i } 1,05 < K_t < 1,2, \quad (7)$$

$$R_{prim} = 8,90042 \cdot K_{glob}^{0,4861} \quad \text{dla } h_{Sl} > 12^{\circ} \text{ i } K_t \geq 1,2. \quad (8)$$

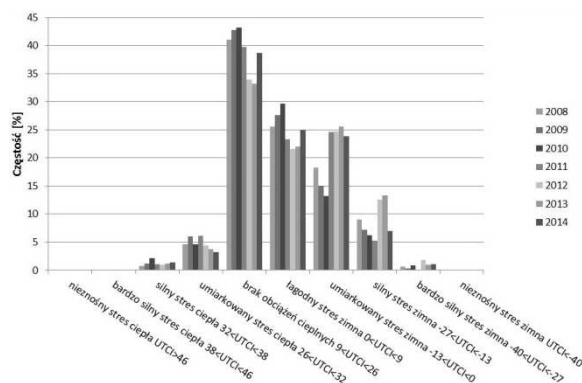
Średnia godzinowa wysokość słońca h_{Sl} wyznaczona została na podstawie czasu lokalnego i szerokości geograficznej stacji.

Zgodnie z założeniami metodycznymi wskaźnika (Błażejczyk i in. 2010), obliczone wartości UTCI zestawione zostały w 10 klas wartości wskaźnika o określonej bodźcowości. Dla analizowanych lat 2008–2014 obliczono frekwencję występowania tych klas. Wpływ warunków meteorologicznych na kształtowanie skrajnych wartości wskaźnika UTCI oceniony został dla wybranych okresów fal ciepła i chłodu. Fale ciepła wyznaczone zostały jako ciągi minimum trzech dni z temperaturą maksymalną przekraczającą 30°C w każdym dniu (Kossowska-Cezak 2010), podczas gdy fale chłodu odpowiednio jako ciągi z temperaturą maksymalną poniżej -10°C . Do określenia wpływu uwarunkowań cyrkulacyjnych na wartość UTCI posłużono się typami cyrkulacji wyznaczonymi dla każdego dnia w analizowanym okresie 2008–2014, wg założeń automatycznej klasyfikacji typów cyrkulacji dla obszaru Dolnego Śląska (Ojrzyńska 2015). Analizy ograniczone zostały tu do wyodrębnienia grupy typów, której towarzyszyła najwyższa frekwencja występowania skrajnych wartości UTCI.

Wyniki

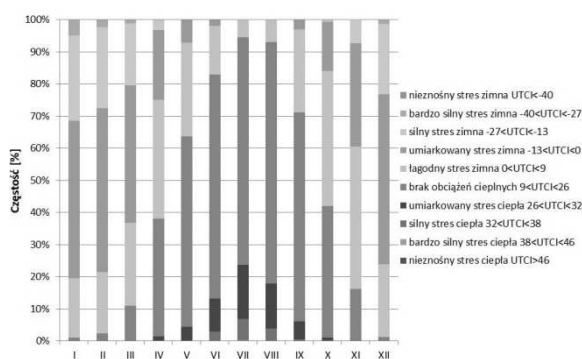
Wydziałowe Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu położone jest w strefie podmiejskiej (osiedle Swojczyce; NE część miasta). Wzrost zainteresowania zamieszkiwaniem w tej części Wrocławia w ostatnich latach sprawił, że spory fragment otoczenia stacji, dotąd typowo rolniczy, zyskał nowy suburbanizacyjny charakter. Warunki klimatyczne tego obszaru stały się bliższe cechującym tereny miejskie o niskiej i willowej zabudowie, zaistniała więc możliwość ich porównania z warunkami panującymi w podobnych częściach Wrocławia. W przypadku niniejszej analizy podobieństwo to umożliwia odwoływanie się do warunków bioklimatycznych miasta opisywanych przez Sikorę (2008), na podstawie danych, z położonego wśród willowo-ogrodowej i parkowej części dzielnicy Wrocław-Biskupin, Obserwatorium Zakładu Klimatologii i Ochrony Atmosfery Uniwersytetu Wrocławskiego oraz wielkości UTCI wyliczonych dla stacji IMGW, zlokalizowanej w okolicach lotniska Wrocław-Strachowice (Kuchcik i in. 2013).

Analiza częstości występowania określonych klas wartości wskaźnika oceny obciążeń cieplnych człowieka w obrębie Wrocławia-Swojczyce potwierdziła, że tutejsze warunki biometeorologiczne charakteryzują się znacznym (40%) występowaniem braku obciążeń cieplnych ($26 > \text{UTCI} > 9$) (rys. 1). Wyniki te są zbliżone do otrzymanych przez Kuchcik i in. (2013), a wcześniej przez Sikorę (2008), w oparciu o analizę innych wskaźników bioklimatycznych. Stanowią więc dodatkowy argument potwierdzający zasadność kwalifikacji obszaru Dolnego Śląska do regionu bioklimatycznego środkowego o słabych bodźcach (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997). Największe wartości częstości tej klasy wartości wskaźnika UTCI w wieloleciu 2008–2014 odnotowano dla miesięcy letnich (rys. 2). W analizowanych latach notowano występowanie bodźcowych klas wartości wskaźnika UTCI, przy czym częściej były to obciążenia związane ze stresem zimna. Ich średnia miesięczna częstość występowania w lutym i marcu była średnio o 8% wyższa od wieloletniej (1991–2000) częstości podawanej przez Kuchcik i in. (2013). Największą częstość umiarkowanego stresu zimna odnotowano od grudnia do marca, co potwierdza ogólny, wieloletni przebieg wartości wskaźnika UTCI (rys. 3).



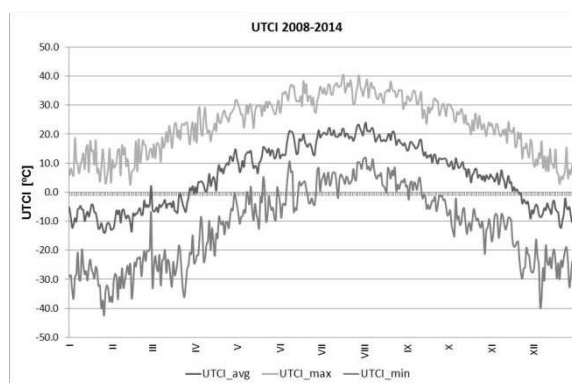
Rys. 1. Częstość występowania określonych klas wartości wskaźnika UTCI w latach 2008–2014 we Wrocławiu-Swojczycach

The frequency of occurrence of UTCI critical value levels for the years 2008–2014 in Wrocław-Swojczyce



Rys. 2. Miesięczny rozkład częstości występowania określonych klas wartości wskaźnika UTCI w latach 2008–2014 we Wrocławiu-Swojczycach

Monthly distribution of the frequency of occurrence of UTCI critical value levels for the years 2008–2014 in Wrocław-Swojczyce



Rys. 3. Przebieg średnich dobowych wartości UTCI (UTCI_avg), maksymalnych dobowych wartości UTCI (UTCI_max) oraz minimalnych wartości UTCI w latach 2008–2014 we Wrocławiu-Swojczycach

Courses of the UTCI daily means (UTCI_avg), UTCI daily maximum (UTCI_max) and UTCI daily minimum for the years 2008–2014 in Wrocław-Swojczyce

Charakterystyczna dla Wrocławia-Swojczyc jest niska, nieprzekraczająca 6% frekwencja występowania umiarkowanego stresu ciepła ($32 > \text{UTCI} > 26$) oraz bliska 1% średnia częstość silnego stresu ciepła ($38 > \text{UTCI} > 32$). Znacznie wyższe, bo sięgające w miesiącu lipcu niemal 10%, a w sierpniu niemal 12%, częstości otrzymane zostały przez Kuchcik i in. (2013) dla wielolecia 1991–2000.

W ostatnich latach obserwuje się wyraźny wzrost częstości występowania umiarkowanego stresu zimna ($13 > \text{UTCI} > 0$), a w 2012 i 2013 roku także silnego stresu zimna ($-27 > \text{UTCI} > -13$) i bardzo silnego stresu zimna ($-40 > \text{UTCI} > -27$; 2012 rok). W 2010 roku zaobserwowano nawet wystąpienie nieznośnego stresu zimna. Ten sam rok był też wyjątkowy pod względem obciążenia cieplnego, gdyż częstość silnego stresu ciepła przekroczyła w nim 2% i zanotowano w nim przypadki bardzo silnego stresu ciepła. Większą frekwencję występowania umiarkowanego stresu ciepła zanotowano także w 2009 i 2011 roku (rys. 1).

Najbardziej bodźcowe – skrajne klasy wartości wskaźnika UTCI – notowane były najczęściej w sytuacjach barycznych o nieokreślonym kierunku adwekcji oraz podczas adwekcji z kierunku SE. Silny stres ciepła obserwowany był często w sytuacjach antycyklonalnych w wilgotnych masach powietrza. Najsilniejszy stres chłodu pojawiał się w sytuacjach antycyklonalnych w trakcie zalegania suchych mas powietrza oraz sytuacji z napływem chłodnego powietrza z północy w górnej części troposfery (górny cyklon). Opisane sytuacje wiązały się z masami powietrza polarno-kontynentalnego oraz arktycznego, wskazywanych przez Bąkowską (2010) jako masy warunkujące występowanie najniższych wartości UTCI we Wrocławiu. W sytuacjach cyklonalnych o dużej dynamice mas powietrza obserwowano głównie umiarkowany, rzadziej silny stres zimna, jednakże wzrost częstości występowania tych typów cyrkulacji w ostatnich latach istotnie przyczynił się do zwiększenia ogólnej frekwencji występowania stresu zimna we Wrocławiu.

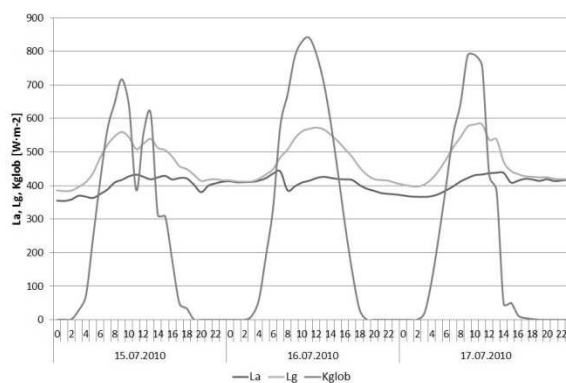
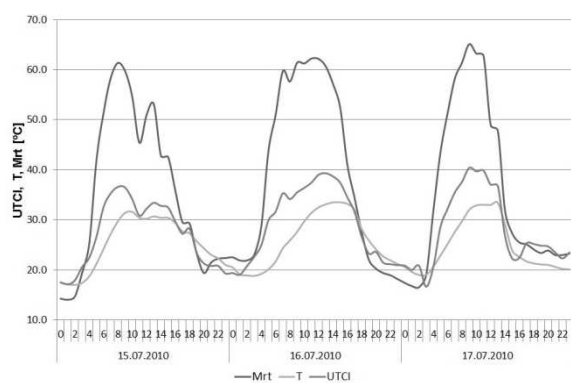
Największy dobowy zakres wartości wskaźnika UTCI dotyczył okresu od grudnia do kwietnia (rys. 2). Wartość średniego dobowego odchylenia standardowego wartości wskaźnika mieściła się w granicach od 4,0 do 6,0°C. Największe wartości odchyleń odnotowano w sytu-

acjach antycyklonalnych, natomiast dolna granica zakresu dobowych wahań wartości UTCI związana była najczęściej z sytuacjami cyklonalnymi.

Analiza przebiegu godzinowych wartości wskaźnika UTCI dla fali ciepła (15–17 lipca 2010 roku) i chłodu (24–26 stycznia 2010 roku) na tle jego meteorologicznych determinant uwypukliła różnice w istotności ich oddziaływania w odmiennych układach barycznych. W sytuacji antycyklonalnej, w trakcie fali ciepła, przebieg wartości wskaźnika UTCI jest wyrównany i nawiązuje wyraźnie do czynników solarnych, kształtujących temperaturę powietrza T i średnią temperaturę promieniowania M_{rt} (rys. 4). W analizowanym okresie średnia wartość UTCI wyniosła 28,1°C, podczas gdy średnia temperatura promieniowania 36,9°C, a składowe całkowitego bilansu promieniowania odpowiednio: $L_a - 405 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $L_g - 467 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ i $K_{glob} - 254 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Stosunkowo niewielki wpływ na wartość wskaźnika UTCI ma w tym okresie czynnik dynamiczny – prędkość wiatru ($1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Znaczny wzrost znaczenia prędkości wiatru na wartość UTCI obserwuje się w sytuacjach cyklonalnych. W okresie fali chłodu najniższe spadki wartości wskaźnika notowane są wtedy dla dużych prędkości wiatru oraz niskich wartości prężności pary wodnej (rys. 5). Wpływ tych czynników na wielkość UTCI jest tak silny, że powoduje znaczne wahania jego przebiegu i zacieranie ogólnego biegu tego wskaźnika wynikającego z uwarunkowań solarnych. W analizowanym okresie fali chłodu średnia wartość UTCI wyniosła -26,3°C, przy średniej prędkości wiatru v równej $2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ i prężności pary wodnej e wynoszącej 1,4 hPa, zaś wartość średniej temperatury promieniowania M_{rt} osiągnęła wartość -13,0°C.

Istotna rola czynników solarnych w kształtowaniu wartości UTCI skłoniła do porównania wielkości wskaźnika wyliczonych z użyciem zmierzonych składowych bilansu radiacyjnego oraz UTCI bazującego jedynie na wartości promieniowania całkowitego K_{glob} . Uzyskane wyniki wskazują, że brak informacji o składowych bilansu promieniowania doprowadza do niedoszacowania wartości UTCI, średnio o 2,7°C (rys. 6). Odchylenie standardowe różnic pomiędzy analizowanymi seriami UTCI wyniosło 1,4°C dla danych godzinowych i 0,7°C dla średnich dobowych.

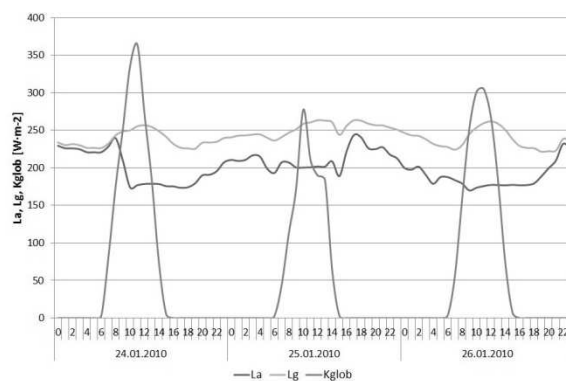
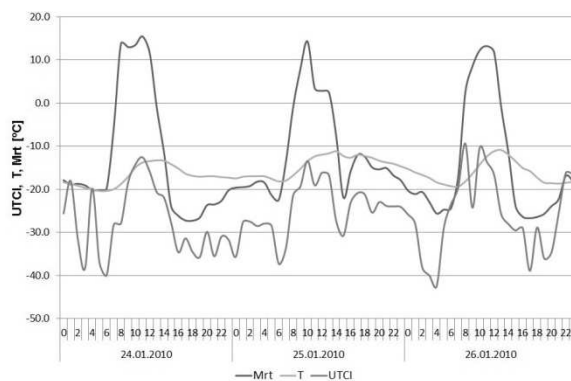
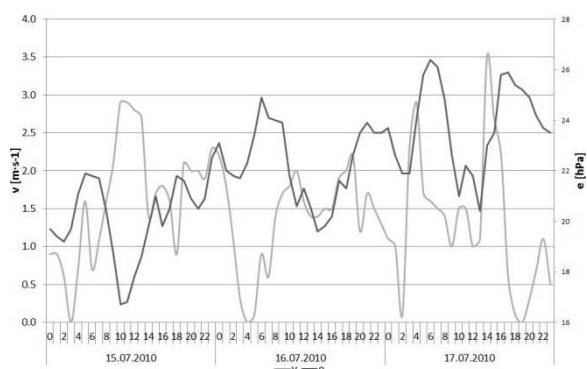


Rys. 4. Przebieg wartości wskaźnika UTCI i jego determinant w okresie fali ciepła 15–17 lipca 2010 roku we Wrocławiu-Swojczycach

T – temperatura powietrza, Mrt – temperatura promieniowania, Kglob – promieniowanie całkowite, La – promieniowanie zwrotne atmosfery, Lg – promieniowanie długofalowe powierzchni Ziemi, v – prędkość wiatru, e – prężność pary wodnej

Course of the UTCI and its determinants in the heat wave period of 15–17 July 2010 in Wrocław-Swojczyce

T – air temperature, Mrt – mean radiant temperature, Kglob – global radiation, La – downward atmospheric radiation, Lg – longwave radiation, v – wind speed, e – water vapour pressure

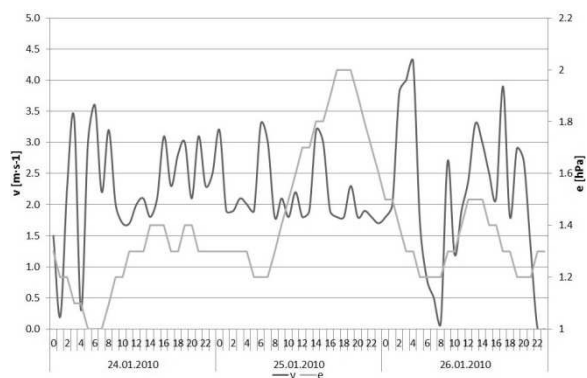


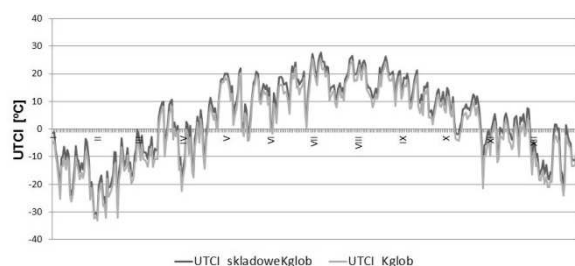
Rys. 5. Przebieg wartości wskaźnika UTCI i jego determinant w okresie fali chłodu 24–26 stycznia 2010 roku we Wrocławiu-Swojczycach

T – temperatura powietrza, Mrt – temperatura promieniowania, Kglob – promieniowanie całkowite, La – promieniowanie zwrotne atmosfery, Lg – promieniowanie długofalowe powierzchni Ziemi, v – prędkość wiatru, e – prężność pary wodnej

Course of the UTCI and its determinants in the cold wave period of 24–26 January 2010 in Wrocław-Swojczyce

T – air temperature, Mrt – mean radiant temperature, Kglob – global radiation, La – downward atmospheric radiation, Lg – longwave radiation, v – wind speed, e – water vapour pressure





Rys. 6. Przebieg wartości wskaźnika UTCI wyliczonego z użyciem składowych bilansu promieniowania (UTCI_skladowe Kglob) oraz UTCI bazującego jedynie na wartości promieniowania całkowitego (UTCI_Kglob) w 2012 roku; wybór roku jest losowy

Course of UTCI values calculated with the use of components of solar radiation balance (UTCI_skladowe Kglob) and UTCI based only on global radiation values (UTCI_Kglob) in 2012; random choice of year

Wnioski

Uzyskane wyniki potwierdzają, że Wrocław cechują słabe bodźce bioklimatyczne. Podkreślają, że Swojczyce, reprezentujące obszar wrocławskich przedmieść, są pod względem warunków biometeorologicznych miejscem atrakcyjnym dla życia ludności. Wskazuje na to duży udział sytuacji z brakiem obciążeń cieplnych. Obserwowana w ostatnich latach duża częstość umiarkowanego i silnego stresu zimna najczęściej związana była ze zwiększoną częstością sytuacji cyklonalnych. W otrzymanych wynikach uwidoczniła się silna zależność odczuć cieplnych człowieka od ogólnych warunków cyrkulacyjnych.

Istotna zależność niskich wartości UTCI od prędkości wiatru uzmysławia, że odczucia termiczne człowieka przebywającego w strefie wrocławskich przedmieść wynikają głównie z niższej niż w centrum miasta szorstkości podłoża. Silna ekspansja zabudowy w analizowanym terenie może w przyszłości przyczynić się do złagodzenia odczucia chłodu, z drugiej zaś strony, poprzez modyfikację struktury podłoża, może doprowadzić do wzrostu wielkości strumienia promieniowania długofalowego, a tym samym – częstości występowania stresu ciepła.

Literatura

Bąkowska Monika. 2010. Influence of air circulation and geographical factors on daily rhythm of biothermal conditions. W: Andreas Matzarakis,

Helmut Mayer, Frank-M. Chmielewski (red.) *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, 12-14 April 2010*, 479-484. Freiburg: Albert-Ludwigs-University of Freiburg.

Błażejczyk Krzysztof. 2004. „Radiation balance in man in various meteorological and geographical conditions”. *Geographia Polonica* 77 (1): 63-76.

Błażejczyk Krzysztof, Peter Broede, Dusan Fiala, George Havenith, Ingvar Holmér, Gerd Jendritzky, Bernhard Kampmann. 2010. „UTCI – nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka”. *Przegląd Geograficzny* 82 (1): s. 49-71.

Błażejczyk Krzysztof, Gerd Jendritzky, Peter Bröde, Dusan Fiala, George Havenith, Yoram Epstein, Agnieszka Psikuta, Bernhard Kampmann. 2013. „An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI)”. *Geographia Polonica* 86 (1): 5-10.

Bryś Krystyna. 2013. Dynamika bilansu radiacyjnego murawy oraz powierzchni nieporośniętej. Monografie CLXII. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Bryś Krystyna, Tadeusz Bryś. 2010a. „Reconstruction of the 217-year (1791–2007) Wrocław air temperature and precipitation series”. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* 3: 121-171.

Bryś Krystyna, Tadeusz Bryś. 2010b. The First One Hundred Years (1791–1890) of the Wrocław Air Temperature Series. W: Rajmund Przybylak, Jacek Majorowicz, Rudolf Brázdil, Marek Kejna (red.) *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*, 485-524. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.

Dubicka Maria. 1996. „Termiczne pory roku we Wrocławiu”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 1794, Prace Instytutu Geograficznego, Seria C. Meteorologia i Klimatologia* 3: 5-31.

Dubicka Maria. 1998. „Wpływ cyrkulacji atmosfery na dzienny przebieg usłonecznienia we Wrocławiu”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 2022, Prace Instytutu Geograficznego, Seria C. Meteorologia i Klimatologia* 5: 5-24.

Dubicka Maria, Alfred Dubicki, Mariusz Szymanowski. 2002. Klimat Wrocławia. W: Krzysztof Smolnicki, Mariusz Szykasiuk (red.) *Informator o stanie środowiska Wrocławia 2002*, 9-25. Wrocław: Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju.

Dubicka Maria, Jerzy L. Pyka. 2001. „Wybrane zagadnienia klimatu Wrocławia w XX wieku”. *Prace i Studia Geograficzne* 29: 101-112.

Jendritzky Gerd, Richard de Dear, George Havenith. 2012. „UTCI—Why another thermal index?” *International Journal of Biometeorology* 56 (3): 421-428.

Jendritzky Gerd, Dusan Fiala, George Havenith, Christina Koppe, Gudrun Laschewski, Henning Staiger, Birger Tinz. 2007. „Thermische Umweltbedingungen”. *Promet* 33 (3/4): 83-94.

- Kosiba Aleksander. 1979. „Klimat Wrocławia w 1965 r. i jego anomalie”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 395, Prace Obserwatorium Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego* 20 (1965).
- Kossowska-Cezak Urszula. 2010. „Fale upałów i okresy upalne – metody ich wyróżniania i wyniki zastosowania”. *Prace Geograficzne* 123: 143-149.
- Kozłowska-Szczęśna Teresa, Krzysztof Błażejczyk, Barbara Krawczyk. 1997. *Bioklimatologia człowieka: metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski. Monografie Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN 1*. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego.
- Kuchcik Magdalena, Krzysztof Błażejczyk, Jakub Szmyd, Paweł Milewski, Anna Błażejczyk, Jarosław Baranowski. 2013. *Potencjał leczniczy klimatu Polski*. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, Wydawnictwo Akademickie SEDNO.
- Ojrzyńska Hanna. 2015. *Cyrkulacyjne uwarunkowania przestrzennego rozkładu temperatury powietrza w terenie zróżnicowanym morfologicznie na przykładzie Sudetów. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego* 36. Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Pyka Jerzy L. 1991. „Temperatura i opady atmosferyczne we Wrocławiu w latach 1881–1980”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 1275, Prace Instytutu Geograficznego, Seria A. Geografia Fizyczna* 6: 19-54.
- Pyka Jerzy L. 1998a. „Opady atmosferyczne we Wrocławiu w okresie 1981–1995”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 2022, Prace Instytutu Geograficznego, Seria C. Meteorologia i Klimatologia* 5: 41-54.
- Pyka Jerzy L. 1998b. „Temperatura powietrza we Wrocławiu w latach 1981–1995”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 2022, Prace Instytutu Geograficznego, Seria C. Meteorologia i Klimatologia* 5: 25-40.
- Sikora Sebastian. 2008. *Bioklimat Wrocławia. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego* 5. Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Szymanowski Mariusz. 2004. „Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu”. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 2690, Studia Geograficzne* 77: 1-229.

Summary

In this paper, the values of the *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) in Wrocław-

Swojczyce from recent years (2008–2014) were analyzed, calculated from 1-hour data with the use of measured components of solar radiation balance. The aim of the study was an analysis of the annual course of UTCI in Wrocław-Swojczyce and the occurrence frequency of UTCI levels corresponding to a specific stimulating condition (heat and cold stress) as well as emphasizing the dependence of its occurrence with specified meteorological determinants.

The values of UTCI were calculated according to methodology described by Błażejczyk *et al.* (2010) on the basis of meteorological data from the Agro- and Hydrometeorological Observatory of Wrocław University of Environmental and Life Science. The influence of meteorological conditions on the extreme values of UTCI forming was evaluated for selected periods of cold and heat-waves. To evaluate the influence of air circulation determinants on UTCI values, circulation types were used, classified for each day of the analyzed period according to the rules of automatic air circulation types classification for the Lower Silesia region (Ojrzyńska 2015).

The analysis of the occurrence frequency of specific UTCI levels in Wrocław-Swojczyce confirmed that biometeorological conditions of this place are characterized by significant (40%) occurrence of heat load deficiency ($26 > \text{UTCI} > 9$). The highest frequency values of this UTCI level were noted for the summer months. In the analyzed years the occurrence of stimulating levels of UTCI was noted, but more often the loads were connected with cold stress. The most frequent moderate cold stress was noted from December to March. It was proved that for Wrocław-Swojec this characteristic is low, not exceeding 6% frequency of the occurrence of moderate heat stress ($32 > \text{UTCI} > 26$) and close to 1% of mean frequency of strong heat stress ($38 > \text{UTCI} > 32$).

The most stimulating conditions – extreme levels of UTCI – were most often noted in situations with indefinite direction of advection and during advection from south to east. Strong heat stress was often observed in anticyclone situations in wet air masses. The strongest cold stress appeared in anticyclone, in dry air masses and in situations with advection of cold air from north in the upper part of the troposphere (upper cyclone). In cyclone with a high dynamic of wind, moderate cold stress ($13 > \text{UTCI} > 0$) and less often strong cold stress ($-27 > \text{UTCI} > -13$) was mainly observed, however the increase of its occurrence frequency in the years 2011–2013

contributed to the increase in the general frequency occurrence of cold stress in Wrocław-Swojczyce.

In the described anticyclonic situation during the heat wave, the course of the UTCI value was levelized and clearly corresponded with solar factors which form the air temperature T and the mean radiant temperature Mrt . In the cold – wave period, in cyclonic situation, the smallest decrease of the UTCI values was noted

for high wind speed and in cases of low values of water vapour pressure. The influence of these meteorological factors on the UTCI values was so strong, that it caused significant variation and obliteration of the general UTCI course connected with the solar determinant. The study proved that the lack of information about the components of the solar radiation balance in UTCI calculations leads underestimation in the UTCI, averagely about $2,7^{\circ}\text{C}$.