



Zagrożenie organizmu człowieka stresem cieplnym występujące w godzinach okołopołudniowych w czasie dni upalnych

Heat-stress threats to the human body around noon on very hot days in Poland

Monika Okoniewska 

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Instytut Geografii

Plac Kościeleckich 8, 85-033 Bydgoszcz

monika.okoniewska@ukw.edu.pl

Zarys treści. W pracy przedstawiono charakterystykę zagrożeń związanych z wysoką temperaturą powietrza występującą w godzinach okołopołudniowych w dniach upalnych, na podstawie analizy uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego (UTCI). Na podstawie wartości wskaźnika dla Kołobrzegu, Poznania i Krakowa z lat 2001–2018 obliczono jego średnie wartości, odchylenie standardowe, wartości minimalne i maksymalne, amplitudę, a także kwartył dolny i górny oraz współczynnik skośności, w ujęciu wieloletnim i poszczególnych lat. Za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji ustalono czy wartości wskaźnika UTCI w południe w dniach upalnych różnią się istotnie w zależności od miesiąca. Ponadto określono częstotliwość występowania obciążenia organizmu stresem ciepła o różnym nasileniu. Badania wykazały, iż w południe w dniach upalnych przeważała „umiarkowany” oraz „silny stres ciepła”, chociaż mogło pojawić się także obciążenie „bardzo silnym stresem ciepła”. Otrzymane wartości wskaźnika w większości kształtowały się powyżej średniej wieloletniej, co oznacza wysoki poziom obciążenia cieplnego organizmu. Spośród badanych stacji najbardziej obciążające warunki odnotowano w Krakowie, a ich największe zróżnicowanie wystąpiło w sierpniu. W większości przypadków wielkość obciążenia cieplnego w dniach upalnych nie różniła się istotnie w zależności od miesiąca. Analizy przebiegu wieloletniego UTCI wykazały wzrost w przypadku wartości maksymalnych wskaźnika, zwłaszcza w przypadku Krakowa, a także zmienność przestrzenną i czasową zróżnicowania warunków biotermicznych. Latami, w których dni upalne były szczególnie obciążające organizm człowieka były 2005, 2007, 2010 i 2013.

Słowa kluczowe: stres cieplny, dni upalne, godziny okołopołudniowe, uniwersalny wskaźnik obciążenia cieplnego, UTCI.

Keywords: *heat stress, very hot days, noon hours, universal thermal climate index, UTCI.*

Wstęp

Dni upalne, czyli dni, w których maksymalna temperatura powietrza przyjmuje wartość 30°C lub większą są okresem szczególnie niebezpiecznym dla zdrowia, związanym z ryzykiem wystąpienia udaru cieplnego oraz odwodnienia organizmu, które w skrajnych przypadkach mogą stanowić zagrożenie dla życia. Organizm człowieka, starając się usunąć nadmiar ciepła, reaguje zwiększeniem tętna, obniżeniem ciśnienia krwi, przyspieszeniem oddechu i zwiększeniem wydzielania potu, co wpływa bardzo obciążająco na cały ustrój

(Błażejczyk i Kunert, 2011). Takie warunki stanowią szczególnie duże niebezpieczeństwo dla ludzi starszych z chorobami układu krążenia i układu oddechowego oraz dla małych dzieci, u których układ termoregulacyjny nie jest jeszcze w pełni rozwinięty, co zwiększa ryzyko wystąpienia udaru cieplnego. Badania wskazują, że prócz wymienionych zagrożeń wzrasta również śmiertelność z powodu osłabienia układu odpornościowego lub wypadków (Kozłowska-Szczęсна i inni, 2004).

Prace badawcze dotyczące wieloletniej zmienności warunków termicznych na obszarze Polski wskazują na wzrost temperatury powietrza, a tym samym przyrost dni upalnych, przede wszystkim w okresie letnim, choć w niektórych obszarach Polski dni upalne coraz częściej pojawiają się w przejściowych okresach roku, zwłaszcza w maju (Cebulak i Limanówka, 2007; Matuszko i Piotrowicz, 2012; Kossowska-Cezak, 2014; Graczyk et al., 2017). W związku z tym należy liczyć się ze wzrostem zagrożeń związanych z obciążeniem stresem ciepła, zwłaszcza w południe, kiedy występuje zwiększony dopływ promieniowania słonecznego, intensyfikujący odczucia gorąca, a aktywność człowieka jest największa. Aby zapobiegać skutkom skrajnie niebezpiecznych warunków biotermicznych ważne jest zapoznanie się z poziomem występującego w tym czasie obciążenia cieplnego.

Celem opracowania jest charakterystyka zagrożeń związanych z wysoką temperaturą powietrza w czasie dni upalnych w wybranych miastach Polski tj. w Kołobrzegu, Poznaniu i Krakowie zarówno w odniesieniu do wielolecia 2001–2018, jak poszczególnych lat. W szczególności zamiarem jest zbadanie częstości niebezpiecznego obciążenia organizmu człowieka stresem ciepła w południe, oraz określenie czy warunki odczuwalne różnią się istotnie w zależności od miesiąca. Taka charakterystyka pozwoli określić przeciętny stopień zagrożenia stresem cieplnym w Polsce na początku XXI w. i może stanowić przyczynek do dalszych pogłębionych badań, uwzględniających zróżnicowanie przestrzenne warunków biotermicznych, a także pozostałe okresy doby.

Metody i materiały badawcze

Do analiz wykorzystano dane z trzech stacji – Kołobrzegu, Poznania i Krakowa, które z założenia autora reprezentowały Polskę północną, centralną i południową. Dane pochodziły z godziny 12 UTC z lat 2001–2018 i obejmowały temperaturę powietrza ($^{\circ}\text{C}$), wilgotność względną powietrza (%), prędkość wiatru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) oraz zachmurzenie (%).

Kołobrzeg położony jest w północnej części kraju w pasie Pobrzeży Południowobałtyckich, na wybrzeżu Słowińskim, w obszarze podlegającym bezpośredniemu wpływowi Morza Bałtyckiego, stąd też cechuje się stosunkowo niewielką liczbą dni upalnych. Dla okresu 1971–1990 odnotowano występowanie średnio dwóch takich dni w roku. Warunki biotermiczne półrocza ciepłego tego obszaru można określić jako neutralne z dużym udziałem braku obciążenia cieplnego oraz „łagodnym” lub „umiarkowanym stresem ciepła” (Kozłowska-Szczęсна i inni, 2002). Jak wykazały badania Kuchcik i innych (2013), średnie wartości wskaźnika UTCI w Kołobrzegu od czerwca do sierpnia w latach 1991–2000 wahały się od 22,4 do 25,5 $^{\circ}\text{C}$, a wartości maksymalne osiągały w sierpniu 41,6 $^{\circ}\text{C}$. Stacja pomiarowa w Kołobrzegu zlokalizowana jest między miastem a uzdrowiskiem, w obrębie niskiej, lecz gęstej zabudowy jednorodzinnej ($\lambda - 15^{\circ}35'\text{E}$, $\phi - 54^{\circ}11'\text{N}$, $h_s - 5 \text{ m n.p.m}$).

Poznań zlokalizowany jest na obszarze Pojezierza Wielkopolskiego, w mezoregionie Pojezierza Poznańskiego o mało urozmaiconej rzeźbie terenu (Solon i inni, 2018) i o sto-

sunkowo łagodnych warunkach bioklimatycznych. W latach 1990–2000 przeciętnie latem brak było tutaj obciążeń cieplnych, średnie wartości wskaźnika UTCI od czerwca do sierpnia wahały się bowiem w granicach 19,3–22,7°C, maksymalnie sięgając do 40,6°C. Średnio w roku notowano 8 dni upalnych, z czego najwięcej w lipcu i sierpniu (Kuchcik i inni, 2013). Stacja meteorologiczna położona jest na terenie lotniska Poznań-Ławica ($\lambda - 16^{\circ}50'$, $\phi - 52^{\circ}25'$ hs – 86 m n.p.m.), znajdującego się w zachodniej, peryferyjnej części miasta. Teren wokół ogródka meteorologicznego jest płaski, pozbawiony wszelkich przeszkód naturalnych i sztucznych.

Kraków reprezentuje Polskę południową. Położony jest na styku Bramy Krakowskiej i Kotliny Sandomierskiej (Solon i inni, 2018). Warunki bioklimatyczne tego obszaru cechują się większym nasileniem stresu ciepła niż w przypadku poprzednich stacji. Wartości wskaźnika UTCI przekraczające w latach 1991–2000 w lipcu i sierpniu 26°C, wskazują, że przeciętnie latem notowano tu występowanie „umiarkowanego stresu ciepła”, sporadycznie wzrastającego do obciążenia na poziomie bardzo dużym (maksymalne wartości UTCI osiągały 39,8°C), a średnia liczba dni upalnych w roku wynosiła blisko 8 dni (Kuchcik i inni, 2013). W pracy wykorzystano dane ze stacji meteorologicznej Kraków-Observatorium ($\lambda - 19^{\circ}58'$, $\phi - 50^{\circ}04'$, hs – 220 m n.p.m.), położonej około 2 km od ścisłego centrum miasta, na obszarze lewobrzeżnej terasy nadzalewowej Wisły. Bezpośrednie otoczenie stacji stanowi zieleń parkowa, nieco dalsze otoczenie to typowa miejska zabudowa wzdłuż ulic o dużym natężeniu ruchu samochodowego (Piotrowicz i inni, 2011).

Na podstawie danych uzyskanych z wymienionych stacji obejmujących temperaturę powietrza, wilgotność względną, prędkość wiatru i zachmurzenie z godziny 12 UTC, z lat 2001–2018, obliczono uniwersalny wskaźnik obciążenia cieplnego (UTCI, °C) przy wykorzystaniu programu komputerowego BioKlima ver. 2.6 (Błażejczyk i Błażejczyk, 2010).

Uniwersalny wskaźnik obciążenia cieplnego jest wskaźnikiem opierającym się na wielowęzłowym modelu wymiany ciepła, tzw. Modelu Fiali (Fiala i inni, 2001, 2012), uwzględniającym dwa podsystemy wymiany ciepła: pasywny, obejmujący transport ciepła wewnątrz organizmu i na powierzchni ciała oraz aktywny, określający fizjologiczne mechanizmy termoregulacji. Liczony jest jako funkcja w postaci:

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

gdzie:

T_a – temperatura powietrza (°C),

v_p – ciśnienie pary wodnej (hPa),

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

dT_{mrt} – różnica pomiędzy średnią temperaturą promieniowania, a temperaturą powietrza (°C)

Wskaźnik UTCI jest definiowany jako ekwiwalentna temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Wartości wskaźnika są miarą oceny obciążeń cieplnych organizmu człowieka (Błażejczyk i inni 2010a, 2010b, 2013; Bröde i inni, 2012, 2013). Skala oceny obciążeń cieplnych obejmuje dziesięć przedziałów, przy czym w analizowanych dniach upalnych odnotowano występowanie czterech, począwszy od braku obciążeń cieplnych po bardzo silny stres ciepła, którym przypisuje się następują-

ce wartości wskaźnika UTCl – brak obciążeń cieplnych (9–26°C), umiarkowany stres ciepła (26–32°C), silny stres ciepła (32–38°C), bardzo silny stres ciepła (38–46°C).

Na podstawie danych wartości wskaźnika UTCl o godz. 12 UTC we wszystkich dniach upalnych jakie wystąpiły w latach 2001–2018 obliczono średnie wartości wskaźnika, odchylenie standardowe, wartości maksymalne i minimalne, amplitudę, wartości dolnego i górnego kwartyla oraz skośność. Obliczenia wykonano dla poszczególnych miesięcy (maj–wrzesień) oraz dla kolejnych lat badanego wielolecia. Za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji z zastosowaniem metody kontrastów dla oczekiwanych średnich brzegowych, ustalono także, czy wartości wskaźnika UTCl w południe w dniach upalnych różnią się istotnie w zależności od miesiąca. Ponadto określono częstość obciążenia organizmu stresem ciepła o różnym nasileniu. Analizy statystyczne przeprowadzono za pomocą programu Statistica ver. 13 (TIBCO Software, 2017).

Wyniki

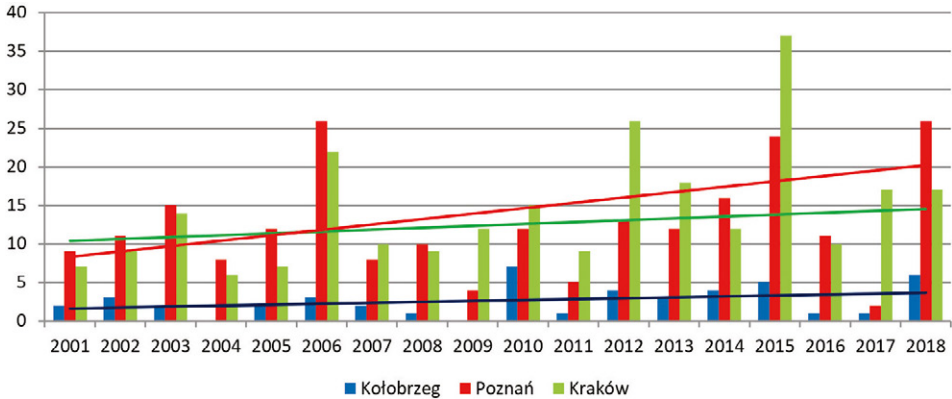
Liczba dni z maksymalną temperaturą dobową $\geq 30^\circ\text{C}$ w analizowanym wieloleciu wynosiła od 47 w Kołobrzegu do 257 w Krakowie (tab. 1). Dni takie notowane były od kwietnia do września w Poznaniu i Krakowie oraz od maja do sierpnia w Kołobrzegu. Miesiącem, w którym najczęściej pojawiały się był lipiec, w dalszej kolejności sierpień. Odnotowana liczba dni upalnych była znacznie większa, niż wykazały badania Kuchcik i innych (2013) przeprowadzone dla lat 1991–2000, co potwierdza hipotezę o wzroście częstości występowania tego rodzaju dni.

Najwięcej dni upalnych odnotowano w 2006, 2012, 2015 i 2018 r. W Poznaniu i Krakowie ich liczba przekroczyła 20 (za wyjątkiem Poznania w 2012 r. i Krakowa w 2018 r.). Wyjątkowo dużo upalnych dni zanotowano w Krakowie w 2015 r. – 37 dni (ryc. 1).

Wartości maksymalne UTCl oraz wartości dolnego i górnego kwartyla, wskazują na wysoki poziom obciążenia organizmu człowieka stresem cieplnym (tab. 2). Średnie wartości UTCl w badanym przedziale lat wahały się od 26,2 do 35,17°C, informując o tym, że w południe w dniach upalnych należy liczyć się przede wszystkim z „umiarkowanym” oraz „silnym” obciążeniem organizmu stresem ciepła, wiążącym się z koniecznością ograniczenia przebywania w miejscach nasłonecznionych, czasowym zmniejszeniem wysiłku fizycznego oraz uzupełnianiem płynów w ilości 0,25 l·godz⁻¹. Warunki najbardziej obciąż-

Tabela 1. Liczba dni upalnych w okresie 2001–2018
The number of very hot days in the 2001–2018 period

	Kołobrzeg	Poznań	Kraków
kwiecień	0	2	2
maj	2	10	11
czerwiec	3	35	41
lipiec	25	100	103
sierpień	17	68	90
wrzesień	0	9	10
razem	47	224	257



Ryc. 1. Liczba dni upalnych wraz z linią trendu w kolejnych latach 2001–2018
Numbers of very hot days with trend lines for consecutive years in the 2001–2018 period

zające notowane były w Krakowie, zwłaszcza od czerwca do sierpnia, kiedy maksymalne wartości wskaźnika UTCI przekraczały 40°C , wskazując na zagrożenie związane z „bardzo silnym stresem ciepła” (tab. 2). Ponadto Kraków w lipcu i sierpniu cechował się znaczną zmiennością bioklimatyczną objawiającą się stosunkowo wysoką amplitudą omawianego wskaźnika, przekraczającą $19,0^{\circ}\text{C}$, na co wpłynęły przede wszystkim jego maksymalne wartości (w sierpniu $>42,0^{\circ}\text{C}$). Od 10% w czerwcu do 20% przypadków w lipcu wiązało się z pojawianiem się takich warunków pogodowych, w których niewskazane było dłuższe przebywanie w miejscach nasłonecznionych, natomiast niezbędne ograniczenie aktywności ruchowej i uzupełnianie płynów w ilości powyżej $0,5 \text{ l}\cdot\text{godz}^{-1}$.

Stacja w Poznaniu, która według podziału na regiony bioklimatyczne dokonanej przez T. Kozłowską-Szczęsną (1997) znajduje się w regionie środkowym o typowych dla Polski warunkach bioklimatycznych, jest stacją reprezentującą sytuację na przeważającym obszarze kraju. Badania wskazują na dominację w upalne południa „umiarkowanego stresu ciepła” na przełomie wiosny i lata oraz lata i jesieni, czyli warunków kiedy do zachowania równowagi cieplnej wystarczy uzupełnianie płynów w ilości $0,25 \text{ l}\cdot\text{godz}^{-1}$ oraz przewagę „silnego stresu ciepła” w lipcu i sierpniu kiedy dodatkowo należy zmniejszyć wysiłek fizyczny i ograniczyć przebywanie w pełnym słońcu (ryc. 2). Ponadto w Poznaniu odnotowano znaczne zróżnicowanie warunków bioklimatycznych, zwłaszcza w sierpniu, przejawiające się w dużej wartości amplitudy wskaźnika (na skutek odnotowanego minimum w wysokości około $15,0^{\circ}\text{C}$, wskazując na możliwość występowania warunków neutralnych termicznie) oraz odchylenia standardowego. Natomiast maksimum wskaźnika UTCI przekraczające wartość $39,0^{\circ}\text{C}$ w lipcu i sierpniu, wskazało na ewentualność występowania w tym czasie także „bardzo silnego stresu ciepła” (tab. 2).

Ze względu na ochładzający wpływ Morza Bałtyckiego najmniej obciążające warunki w czasie dni upalnych występowały w Kołobrzegu, choć i tam należało liczyć się z pojawianiem „silnego”, a sporadycznie także „bardzo silnego stresu ciepła”, oznaczającego potrzebę ograniczenia przebywania w miejscach nasłonecznionych, co może być istotne dla osób przebywających na przykład na plaży (tab. 2).

Niewiele było przypadków, zwłaszcza w okresie od czerwca do sierpnia, w których godziny okołopołudniowe w dniach upalnych odznaczały się brakiem zagrożenia stresem

Tabela 2. Podstawowe charakterystyki statystyczne wskaźnika UTCI o godz. 12 UTC w dniach upalnych w poszczególnych miesiącach (2001–2018)*Basic statistical characteristics for the UTCI at 12 UTC on very hot days in different months (2001–2018)*

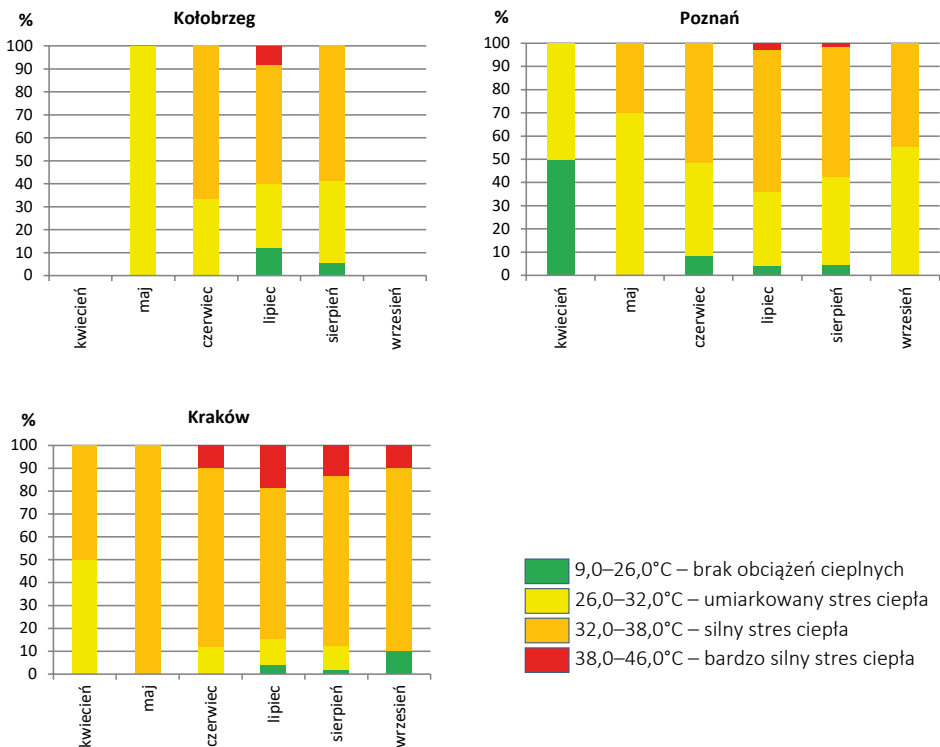
		M (°C)	SD (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Δ (°C)	Q ₁ (°C)	Q ₃ (°C)	SKE
kwiecień	Kołobrzeg	–	–	–	–	–	–	–	–
	Poznań	26,20	3,86	23,46	28,93	5,46	23,46	28,93	–
	Kraków	32,49	1,85	31,18	33,80	2,62	31,18	33,80	–
maj	Kołobrzeg	31,03	0,58	30,62	31,45	0,82	30,62	31,45	–
	Poznań	30,45	2,12	27,49	33,89	6,40	28,76	32,88	0,51
	Kraków	34,38	1,47	32,39	37,52	5,13	33,69	35,26	0,90
czerwiec	Kołobrzeg	32,98	1,16	31,73	34,01	2,28	31,73	34,01	-0,82
	Poznań	31,15	3,16	23,30	35,91	12,62	29,52	33,56	-0,83
	Kraków	34,93	2,75	28,44	40,26	11,82	32,93	36,63	-0,25
lipiec	Kołobrzeg	31,64	4,95	20,73	39,66	18,93	28,11	35,01	-0,40
	Poznań	32,43	3,04	20,62	39,09	18,47	30,78	34,60	-0,95
	Kraków	34,94	3,91	21,27	40,89	19,61	33,74	37,62	-1,41
sierpień	Kołobrzeg	32,17	4,25	19,95	37,61	17,66	31,19	35,31	-1,58
	Poznań	31,75	4,16	15,10	39,70	24,59	30,50	34,31	-1,57
	Kraków	35,17	3,28	21,71	42,48	20,78	33,68	37,04	-1,16
wrzesień	Kołobrzeg	–	–	–	–	–	–	–	–
	Poznań	32,07	2,35	29,10	36,36	7,26	30,71	33,16	0,62
	Kraków	33,45	3,84	23,83	39,28	15,44	32,95	34,42	-1,68

M – średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; Min – wartość minimalna; Max – wartość maksymalna; Δ – amplituda; Q₁ – dolny kwartył; Q₃ – górny kwartył; SKE – współczynnik skośności

ciepła. Dni takie pojawiały się w kwietniu, niekiedy w czerwcu, lipcu, sierpniu i wrześniu, przy czym charakterystyczne jest, iż we wrześniu także występował „silny”, a nawet „bardzo silny stres ciepła” (ryc. 2).

Od lipca do sierpnia odnotowano największe wartości odchylenia standardowego, w maju najniższe, co wskazuje, iż w miesiącach letnich większa była zmienność obciążenia cieplnego, w maju zaś warunki były bardziej stabilne. Taki charakter zróżnicowania biotermicznego potwierdziły także wartości amplitudy wskaźnika (tab.2). Spośród badanych miesięcy największe zróżnicowanie obciążenia cieplnego organizmu człowieka występowało w sierpniu. W tym czasie warunki bioklimatyczne zmieniały się od termoneutralnych do zagrożenia „bardzo silnym stresem ciepła”, a same różnice wskaźnika UTCI w Poznaniu i Krakowie przekraczały 20°C (tab. 2, ryc. 2).

Uciążliwość warunków biotermicznych w Krakowie w lipcu i sierpniu potwierdziły wartości dolnego i górnego kwartyła, wskazujące, iż 75% obserwacji wskaźnika było wyższych od 33,7°C, przy czym 25% wartości wskaźnika UTCI przekroczyło nieco 37,0°C, a także wskaźnik skośności, o lewostronnej asymetrii, wskazujący, iż większość wartości UTCI przyjmowało wartości powyżej średniej. Podobnie lewostronną asymetrię odnotowano dla większości miesięcy, za wyjątkiem maja. W tym samym czasie wartości dolnego



Ryc. 2. Częstość (%) obciążenia cieplnego o godz. 12 UTC w dniach upalnych (2001–2018)
Frequency of occurrence (%) of thermal stress at 12 UTC on very hot days (2001–2018)

i górnego kwartyla obliczonego dla pozostałych stacji były zdecydowanie niższe, osiągając w Kołobrzegu w przypadku dolnego kwartyła wartość zaledwie 28,1°C (tab. 2).

Porównanie wartości wskaźnika UTCI w poszczególnych miesiącach metodą kontrastów wykazało, iż w większości przypadków wielkość obciążenia cieplnego w dniach upalnych nie różniła się istotnie w zależności od miesiąca. Wyjątkiem były wartości dla Poznania w kwietniu, które wykazały istotną statystycznie różnicę w porównaniu z wielkościami UTCI występującymi od czerwca do września, przejawiającą się przede wszystkim w większej częstości warunków termoneutralnych z brakiem obciążenia cieplnego (tab. 3, ryc. 2).

Średnie wartości wskaźnika UTCI w badanym wieloleciu oscyływały między 28,1°C, a 36,9°C. Taki rozkład czasowy średnich wartości wskaźnika nie jest całkowicie zgodny z teorią ocieplenia, choć widać także tendencję do zmian średnich wartości z roku na rok, nawet o ponad 3°C. To wskazuje, że niższa wartość UTCI, nie musi oznaczać stałego trendu. W przypadku wartości maksymalnych, szczególnie ważnych w kontekście zagrożenia stresem gorąca, zaznacza się, zwłaszcza na południu Polski, tendencja do wzrostu uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego. W Krakowie po 2010 r. odnotowano siedem lat z maksymalną wartością wskaźnika ponad 38°C. Najwyższą maksymalną wartość UTCI w Krakowie i równocześnie we wszystkich badanych stacjach odnotowano w roku 2013, kiedy wyniosła ona 42,5°C. W Kołobrzegu najwyższe maksimum wystąpiło w 2010 r.,

Tabela 3. Analiza kontrastów dla wskaźnika UTCI w poszczególnych miesiącach (na czerwono oznaczono wartości istotne statystycznie na poziomie 0,05)

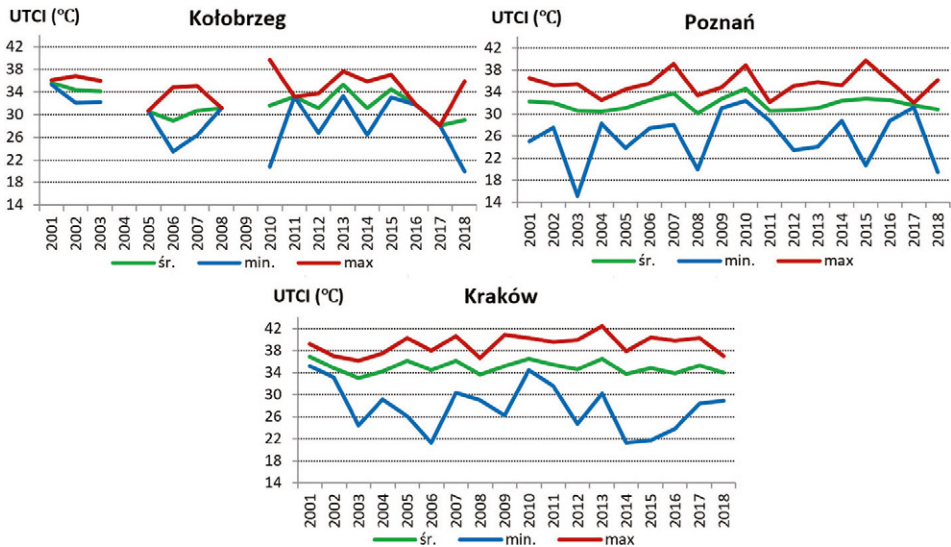
Contrast analysis for the UTCI in individual months (values achieving statistical significance at the 0.05 level are marked in red)

		kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień
Kołobrzeg	kwiecień	–	–	–	–	–	–
	maj	–	–	–	–	–	–
	czerwiec	–	0,641	–	–	–	–
	lipiec	–	0,857	0,631	–	–	–
	sierpień	–	0,738	0,778	0,709	–	–
	wrzesień	–	–	–	–	–	–
Poznań	kwiecień	–	–	–	–	–	–
	maj	0,107	–	–	–	–	–
	czerwiec	0,046	0,568	–	–	–	–
	lipiec	0,011	0,081	0,056	–	–	–
	sierpień	0,024	0,261	0,397	0,204	–	–
	wrzesień	0,028	0,301	0,468	0,762	0,789	–
Kraków	kwiecień	–	–	–	–	–	–
	maj	0,475	–	–	–	–	–
	czerwiec	0,328	0,639	–	–	–	–
	lipiec	0,320	0,612	0,993	–	–	–
	sierpień	0,277	0,475	0,715	0,642	–	–
	wrzesień	0,719	0,534	0,223	0,192	0,135	–

a w Poznaniu w 2015 r. Wartości minimalne wskaźnika UTCI wykazywały znacznie większe zróżnicowanie aniżeli maksima, czy wartości średnie. W Kołobrzegu zmieniały się one od blisko 20,0°C w 2018 r. do 35,3°C w 2001 r., w Poznaniu od 15,1 w 2003 r. do 32,4°C w 2010 r., w Krakowie natomiast wahały się od 21,3°C (w 2006 i 2013) do odnotowanej w roku 2001 wartości 35,1°C (ryc. 3).

Wartości amplitudy (Δ) i odchylenia standardowego (SD) uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego wykazały znaczne zróżnicowanie w kolejnych latach, informując o zmienności poziomu obciążenia organizmu stresem gorąca. W Kołobrzegu był to rok 2010, kiedy amplituda UTCI wyniosła blisko 19,0°C, a odchylenie standardowe 7,06°C, w Poznaniu – 2003 r., z wartością amplitudy 20,3°C i odchyleniem równym 5,09°C, natomiast w Krakowie największe zróżnicowanie wystąpiło w 2015 r., kiedy wartości amplitudy i odchylenia standardowego wynosiły odpowiednio 18,73 i 4,11°C, oraz w 2005 r., kiedy amplituda UTCI była co prawda niższa niż w innych latach i wyniosła zaledwie 14,14°C, za to odchylenie od wartości średniej było największe i kształtowało się na poziomie 4,74°C.

O zróżnicowaniu warunków biotermicznych w poszczególnych latach w zależności od stacji świadczą rozbieżności w występowaniu najwyższych wartości dolnego i górnego kwartyla w badanych miejscowościach. W przypadku Kołobrzegu trudno wnioskować o tego rodzaju charakterystyce ze względu na niewielką liczbę dni upalnych, które w niektórych latach nie pojawiały się w ogóle. W Poznaniu natomiast latami szczególnie upalny-



Ryc. 3. Przebieg wieloletni średnich oraz minimalnych i maksymalnych wartości uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego (UTCI, °C) w dniach upalnych o godz. 12 UTC (2001–2018)

Multi-year course for average, minimum and maximum values for the universal thermal climate index (UTCI, °C) on very hot days at 12 UTC (2001–2018)

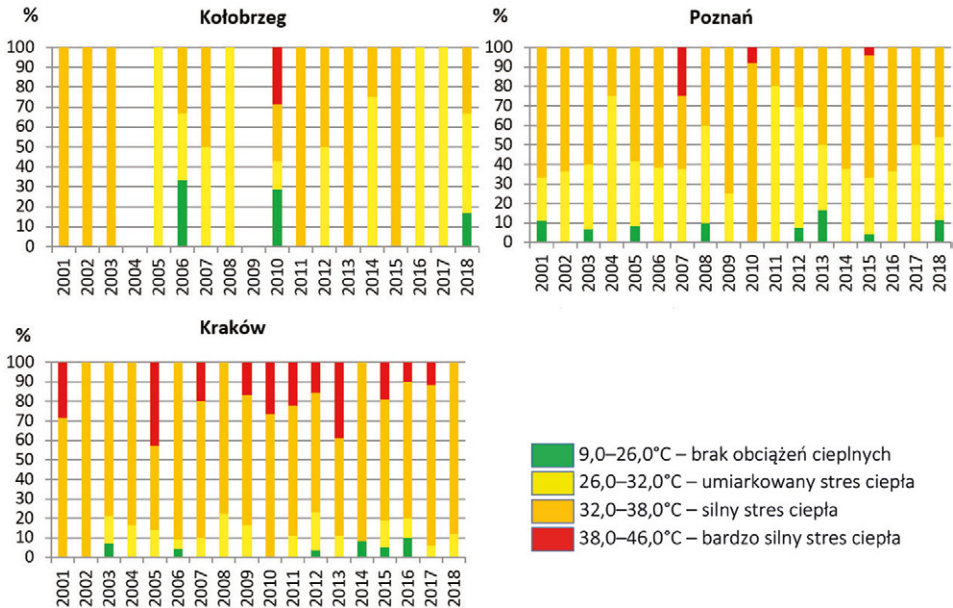
mi, kiedy w 3/4 sytuacji wartość wskaźnika kształtowała się powyżej 33,12°C („silny stres ciepła”), przy czym w 25% przypadków przekraczała 35,62°C był rok 2010, a także rok 2007, kiedy, pomimo, że wartość dolnego kwartyła wynosiła zaledwie 30,49°C, to wartość kwartyła górnego wskazywała, iż w jednym na cztery dni upalne występowały warunki zbliżone do „bardzo silnego stresu ciepła” (Q_1 równe 37,6°C). W Krakowie szczególnie uciążliwe były lata 2005 i 2013, kiedy w 25% dni upalnych wartość UTCI przekraczała odpowiednio 39,33 i 39,52°C. Współczynnik skośności wskaźnika UTCI dla większość badanych lat był ujemny, informując o przewadze wartości powyżej średniej (tab. 4).

Wykresy częstości obciążenia cieplnego, wskazują, że w 2007 i 2010 r. w godzinach okołopołudniowych w Poznaniu odnotowano występowanie „bardzo silnego stresu ciepła”. W roku 2007 wystąpił on w jednym na cztery przypadki, ponadto nie zaobserwowano w tym czasie sytuacji cechujących się brakiem obciążenia cieplnego. W roku 2010 obciążenie „bardzo silnym stresem ciepła” w południe miało miejsce w nieco ponad 8% dni upalnych, pozostałą część stanowiły dni cechujące się „silnym stresem ciepła”. W Krakowie najbardziej upalne lata 2005 i 2013 charakteryzowały się występowaniem w godzinach okołopołudniowych „bardzo silnego stresu ciepła” na poziomie 42,9% (2005 r.) i 38,9% (2013 r.), oraz brakiem warunków termoneutralnych. W Kołobrzegu rok 2010 wyróżniał się na tle badanego wielolecia, zarówno pod względem uciążliwości warunków biotermicznych, jak i ich zróżnicowania. Odnotowano pojawianie się „bardzo silnego stresu ciepła”, przy równoczesnym występowaniu warunków charakteryzujących się brakiem obciążenia cieplnego (ryc. 4).

Tabela 4. Podstawowe charakterystyki statystyczne wskaźnika UTCI o godz. 12 UTC w kolejnych latach (2001–2018)
Key statistical characteristics of the UTCI at 12 UTC on very hot days in consecutive years of the 2001–2018 period

rok	Kołobrzeg					Poznań					Kraków				
	Δ (°C)	SD (°C)	Q ₁ (°C)	Q ₃ (°C)	SKE	Δ (°C)	SD (°C)	Q ₁ (°C)	Q ₃ (°C)	SKE	Δ (°C)	SD (°C)	Q ₁ (°C)	Q ₃ (°C)	SKE
2001	0,73	0,52	35,31	36,04	–	11,41	3,74	30,78	34,73	-1,10	4,01	1,38	35,59	38,09	0,57
2002	4,73	2,38	32,11	36,84	0,58	7,73	2,46	30,17	33,56	-0,83	3,89	1,47	33,69	36,19	0,22
2003	3,75	2,65	32,17	35,92	–	20,30	5,09	28,76	33,90	-2,20	11,77	3,16	32,95	35,22	-1,74
2004	–	–	–	–	–	4,29	1,50	29,09	31,54	0,03	8,32	2,81	33,39	35,30	-1,29
2005	0,02	0,02	30,60	30,62	–	10,63	2,96	29,50	32,92	-1,47	14,14	4,74	35,26	39,33	-1,93
2006	11,28	5,65	23,47	34,75	0,25	8,15	2,07	31,60	33,94	-0,65	16,68	3,50	34,24	36,44	-2,87
2007	8,68	6,14	26,33	35,01	–	11,06	4,16	30,49	37,60	-0,03	10,28	3,22	34,58	37,88	-0,42
2008	–	–	31,19	31,19	–	13,48	4,04	30,58	32,27	-2,18	7,65	2,24	33,24	34,99	-1,02
2009	–	–	–	–	–	3,68	1,51	31,89	33,76	0,51	14,61	4,10	34,36	37,44	-1,09
2010	18,93	7,06	25,19	39,22	-0,41	6,43	1,89	33,12	35,62	0,96	5,75	2,01	35,20	38,82	0,96
2011	–	–	33,19	33,19	–	3,42	1,32	30,18	31,53	-0,40	7,97	2,77	34,18	37,71	0,45
2012	6,97	3,04	29,17	33,12	-1,48	11,55	3,15	29,16	32,75	-0,79	15,32	3,69	32,73	37,71	-0,64
2013	4,32	2,19	33,29	37,61	0,86	11,76	4,49	26,96	35,38	-0,54	12,21	3,39	34,44	39,52	-0,27
2014	9,43	3,86	28,70	33,64	-0,08	6,39	1,88	30,95	33,98	-0,13	16,65	4,21	33,10	35,73	-2,63
2015	4,01	1,83	33,07	35,57	0,97	19,08	4,20	30,76	35,32	-1,01	18,73	4,11	33,68	37,62	-1,56
2016	–	–	31,73	31,73	–	7,16	2,15	31,10	34,61	-0,19	16,06	4,57	33,19	36,62	-1,28
2017	–	–	28,11	28,11	–	0,84	0,59	31,19	32,03	–	11,88	2,80	34,12	36,94	-0,43
2018	15,85	5,52	26,83	32,07	-0,71	16,72	4,08	28,98	33,78	-0,99	8,05	2,08	32,74	35,26	-0,74

SD – odchylenie standardowe; Δ – amplituda; Q₁ – dolny kwartyl; Q₃ – górny kwartyl; SKE – współczynnik skośności



Ryc. 4. Częstość (%) występowania obciążenia cieplnego o godz. 12 UTC w dniach upalnych w kolejnych latach (2001–2018)

Frequency of occurrence (%) of thermal stress at 12 UTC on very hot days in consecutive years of the 2001–2018 period

Dyskusja

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, iż w południe w dniach upalnych należy liczyć się przede wszystkim z „umiarkowanym” oraz „silnym” obciążeniem organizmu stresem ciepła, chociaż może pojawić się także „bardzo silny stres ciepła”. Największe zagrożenie pod tym względem odnotowano w lipcu i sierpniu, przy czym sierpień, ze względu na wyższe średnie (we wszystkich trzech stacjach) i wyższe maksima wskaźnika (w Poznaniu i Krakowie) był nieco bardziej uciążliwy od lipca. Porównanie obu miesięcy pod kątem uciążliwości warunków biotermicznych daje niejednoznaczne wyniki i wskazuje na wpływ położenia geograficznego, a także okresu poddanego analizie. B. Krawczyk (2003), prowadząc badania nad stresem ciepła w miejscowościach uzdrowskich w latach 1971–1990 dla całego okresu letniego, wskazała, że maksimum sierpniowe uciążliwych dla człowieka warunków biotermicznych występuje w regionach: nadmorskim, górskim i podgórskim, podczas gdy nizinny region południowo-wschodni cechuje się maksimum lipcowym. Z kolei badania przeprowadzone przez M. Więclawę i M. Okoniewską (2015) dla Bydgoszczy (położonej w regionie bioklimatycznym środkowym, a więc cechującej się podobnymi warunkami bioklimatycznymi jak Poznań) w latach 2005–2008 wskazywały na lipiec, jako miesiąc szczególnie uciążliwy pod względem termiczno-wilgotnościowym, oraz równocześnie najbardziej zróżnicowany biotermicznie.

Pośród badanych stacji najbardziej obciążające warunki odnotowano w Krakowie, a ich największe zróżnicowanie występowało w sierpniu, na co wpływ miało przede wszystkim bardzo wysokie maksimum wskaźnika UTCI. Tak uciążliwe warunki, wynikały

z położenia stacji pomiarowej wśród zabudowy miejskiej, gdzie wzrost temperatury jest zdecydowanie wyższy niż na terenach pozamiejskich, co jednak nie oznacza występowania dużo bardziej korzystnych warunków biotermicznych poza samym centrum miasta. Rejon Krakowa podobnie jak i znaczna część obszaru Polski południowej oraz zachodniej zostały bowiem przez C. Koźmińskiego oraz B. Michalską (2011) zaliczone do obszarów o największej uciążliwości, związanej z występowaniem fal upałów. Ponadto badania D. Matuszko i K. Piotrowicz (2007) wskazują sierpień, jako miesiąc szczególnie uciążliwy w Krakowie pod względem występowania „silnego stresu ciepła” nie tylko w dniach upalnych. Określona przez autorów (na podstawie wskaźnika HL) częstość występowania obciążenia „ekstremalnym stresem ciepła” w sierpniu w południe wyniosła 30,4% (dane dla lat 1971–2000). Równocześnie zasygnalizowano wzrost frekwencji występowania „bardzo silnego stresu gorąca” i niebezpieczeństwa przegrzania organizmu człowieka, jaki postępuje na tym obszarze od lat 90. Jak wykazały inne badania D. Matuszko i K. Piotrowicz (2012) liczba dni upalnych w Krakowie systematycznie wzrasta, a tendencja ta wynosi 9,7 takich dni na 100 lat (istotne na poziomie 0,01), co może to świadczyć o stopniowym pogarszaniu się i tak dość mocno obciążających warunków biotermicznych w okresie letnim.

Poznań położony w regionie bioklimatycznym łagodnym charakteryzował się raczej przeciętnymi warunkami biotermicznymi w dniach upalnych. W południe zazwyczaj notowano „umiarkowany”, ewentualnie „silny stres ciepła”, choć i tutaj jak wykazała M. Okoniewska (2017) może pojawić się niebezpieczeństwo przegrzania organizmu w przypadku podejmowania intensywnej aktywności fizycznej.

Najmniejszym zagrożeniem związanym z występowaniem stresu gorąca odznaczał się Kołobrzeg, gdyż tylko sporadycznie w lipcu odczuwalny mógł być „bardzo silny stres ciepła”. Jest to o tyle istotne, że rejon wybrzeża Bałtyku jest w tym okresie szczególnie atrakcyjny pod względem turystycznym, a sam Kołobrzeg posiada olbrzymi potencjał także pod względem warunków bioklimatycznych. Badania Mąkoszy i innych (2015) wskazują, że cały obszar wybrzeża (poza Świnoujściem) od 2000 r. cechuje się wzrostem liczby dni z brakiem obciążenia cieplnego, a warunki najbardziej korzystne występują na przełomie lipca i sierpnia. Równocześnie C. Koźmiński i B. Michalska (2010 i 2019 r.), analizując między innymi odczucia cieplne w strefie polskiego wybrzeża na podstawie wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) oraz obciążenie cieplne na podstawie wskaźnika UTCI, zaznaczają, że warunki biotermiczne tego obszaru charakteryzują się dużą zmiennością z dnia na dzień, co może utrudniać planowanie wypoczynku. Mimo tak dogodnych warunków bioklimatycznych obszarów wybrzeża, nie można zapominać, że i tam w godzinach największej aktywności pojawiają się warunki pogodowe, w których konieczna jest rezygnacja z przebywania w pełnym słońcu.

Dla większości dni upalnych wartości wskaźnika we wszystkich stacjach kształtowały się powyżej wartości przeciętnej, co wskazuje na duży poziom obciążenia cieplnego w takich dniach na terenie całego kraju. Stwierdzono iż, najbardziej stabilne, zbliżone do przeciętnych warunki, występowały w maju, zaś największym zróżnicowaniem biotermicznym cechował się lipiec i sierpień. Analiza wariancji wykazała, iż za wyjątkiem wartości zanotowanych w kwietniu w Poznaniu, wielkość obciążenia cieplnego w dniach upalnych nie różniła się istotnie w zależności od miesiąca.

Analizy zmienności wieloletniej UTCI nie wykazały wyraźnej tendencji wzrostu jego średnich wartości, czy też częstości pojawiania się „bardzo silnego stresu ciepła” w kolejnych latach. Odnotowano natomiast wzrost wartości maksymalnych tego wskaźnika,

zwłaszcza w Krakowie, co może wskazywać na intensyfikowanie zagrożenia związanego z przegrzaniem organizmu na południu kraju. Ponadto zaobserwowano zmienność zarówno przestrzenną, jak i czasową zróżnicowania warunków biotermicznych. Dni upalne szczególnie obciążające organizm człowieka występowały w 2005, 2007, 2010 i 2013 r. Porównując wartości maksymalne wskaźnika UTCI z badanego okresu z wartościami maksymalnymi wskaźnika, obliczonymi przez Kuchcik i innych (2013) dla wszystkich dni z lat 1991–2000, można wywnioskować, że w szczególności w miesiącach okresów przejściowych, jak maj czy wrzesień, na początku XXI w. odnotowano wzrost intensywności warunków obciążających organizm stresem gorąca.

Otrzymane wyniki, wyraźnie wskazują na wysoki poziom zagrożenia stresem gorąca w dniach upalnych, na obszarze Polski. Należy przy tym pamiętać, że niebezpieczeństwo dla zdrowia wynikające ze zbyt wysokiej temperatury otoczenia może być w niektórych obszarach spotęgowane lokalnymi uwarunkowaniami środowiska. Zagrożenie takie może być bowiem zwiększone w obszarach silnie zurbanizowanych, gdzie charakter zabudowy sprawia, że rzeczywista temperatura maksymalna bywa znacznie wyższa. Ponadto do dni upalnych nie wliczane są okresy kiedy maksymalna temperatura zbliża się do progu termicznego 30°C, jednakże nie przekraczając go, co oznacza, że ogólna liczba dni z silnie obciążającymi warunkami bioklimatycznymi jest znacznie wyższa. Co więcej, jeśli weźmie się pod uwagę, że w ostatnich latach ze względu na postępujące ocieplenie klimatu, także w Polsce notuje się znaczny wzrost liczby dni upalnych oraz fal upałów (Kuchcik, 2006; Kossowska-Cezak i Skrzypczuk, 2011; Tomczyk, 2012) należy w niedalekiej przyszłości liczyć się ze znacznym pogorszeniem warunków bioklimatycznych okresu letniego na terenie prawie całego kraju.

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródeł, są opracowaniami własnymi autora artykułu.

Piśmiennictwo

- Błażejczyk K., Błażejczyk M., 2010, *Bioklima@ 2.6*, Program komputerowy, <http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>.
- Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., 2010a, *Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale*, *Miscellanea Geographica* 14, s. 91–102. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2010-0009>.
- Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., 2010b, *UTCI – New index for assessment of heat stress in man*, *Przegląd Geograficzny*, 82, 1, s. 49–71.
- Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B., 2013, *An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI)*, *Geographia Polonica*, 86, 1, s. 5–10. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, *Monografie*, 13, IGIPZ PAN, Warszawa.
- Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G., 2012, *Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)*, *International Journal of Biometeorology*, 56 (3), s. 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>.

- Bröde P., Krüger E.L., Fiala D., 2013, *UTCI: Validation and practical application to the assesment of urban outdoor thermal comfort*, *Geographia Polonica*, 86, 1, s. 11–20. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.2>.
- Cebulak E., Limanówka D., 2007, *Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiP Uniwersytet Jagielloński, Kraków, s. 185–194.
- Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B., Jendritzky G., 2012, *UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation*, *International Journal of Biometeorology*, 56 (3), s. 429–441. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7>.
- Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M., 2001, *Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions*, *International Journal of Biometeorology*, 45, s. 143–159. <https://doi.org/10.1007/s004840100099>.
- Graczyk D., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Hov \emptyset ., Førland E.J., Szwed M., Choryński A., 2017, *The heat goes on – changes in indices of hot extremes in Poland*, *Theoretical and Applied Climatology*, 129, s. 459–471. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1786-x>.
- Kossowska-Cezak U., 2014, *Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni w charakterystycznych w Warszawie (1951–2010)*, *Prace Geograficzne*, 136, IGiP UJ, Kraków, s. 9–30. <https://doi.org/10.4467/20833113PG.14.001.1639>.
- Kossowska-Cezak U., Skrzypczuk J., 2011, *Pogoda upalna w Warszawie*, *Prace i Studia Geograficzne*, 47, s. 139–146.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*, 1, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanowska D., 2002, *Bioklimat uzdrowisk Polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*, 4, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Koźmiński C., Michalska B., 2010, *Zmienność liczby dni gorących i upalnych oraz odczucia ciepłne w strefie polskiego wybrzeża Bałtyku*, *Acta Agrophysica*, 15 (2), s. 347–357.
- Koźmiński C., Michalska B., 2011, *Zmienność liczby dni zimnych, chłodnych, ciepłych, gorących i upalnych w Polsce w okresie kwiecień-wrzesień*, *Przegląd Geograficzny*, 83, 1, s. 91–107.
- Koźmiński C., Michalska B., 2019, *Ocena bioklimatycznych warunków rekreacji i turystyki w strefie polskiego Wybrzeża Bałtyku na podstawie wskaźnika UTCI*, *Przegląd Geograficzny*, 91 (2), s. 113–126. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2019.2.7>.
- Krawczyk B., 2003, *Stres ciepła – cecha bioklimatu Polski*, *Prace Geograficzne*, 188, IGiPZ PAN, s. 283–294.
- Kuchcik M., 2006, *Fale upałów w Polsce w latach 1993–2002*, *Przegląd Geograficzny*, 78 (3), s. 397–412.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., Szmyd J., Milewski P., Błażejczyk A., Baranowski J., 2013, *Potencjał leczniczy klimatu Polski*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Mąkosza A., Koźmiński C., Michalska B., 2015, *Potencjał bioklimatyczny polskiego wybrzeża Bałtyku*, *Europa Regionum*, 23, <https://doi.org/10.18276/er.2015.23-04>.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2007, *Warunki bioklimatyczne*, [w:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*, IGiP UJ, Kraków, s. 169–186.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2012, *Wieloletnia zmienność sytuacji meteorotropowych w Krakowie*, *Przegląd Geograficzny*, 84, 3, s. 413–422. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2012.3.5>.

- Okoniewska M., 2017, *Uciążliwość warunków odczuwalnych podczas dni upalnych przy różnej intensywności aktywności fizycznej (na przykładzie północno-zachodniej Polski)*, Prace Geograficzne, 150, s. 95–117. <https://doi.org/10.4467/20833113PG.17.019.7323>.
- Piotrowicz K., Pieczara P., Ustrnul Z., 2011, *Stacja Naukowa Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie*, [w:] M. Klimek, K. Krzemień, *Polskie terenowe stacje geograficzne*, ICiGP UJ, Kraków, s. 79–81.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W., 2018. *Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data*. *Geographia Polonica*, 91, 2, s. 143–170. <https://doi.org/10.7163/GPol.0115>
- TIBCO Software Inc., 2017, *Statistica (data analysis software system)*, version 13. <http://statistica.io>.
- Tomczyk A., 2012, *Pogoda upalna w Poznaniu w latach 1980–2011*, Słupskie Prace Geograficzne, 9, s. 155–162.
- Więtcław M., Okoniewska M., 2015, *Występowanie dni upalnych w Bydgoszczy w latach 2005–2008 w różnych masach powietrza i ich wpływ na wybrane wskaźniki biotermiczne*, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 67, s. 67–78.

Summary

This article seeks to analyse the universal thermal climate index (UTCI, °C), in order to characterise hazards associated with high air temperature that may possibly occur in Poland around noon on very hot days. Values for the index (calculated for UTC by reference to air temperature (°C), relative humidity (%), wind speed ($v \cdot \text{ms}^{-1}$) and cloudiness (%)) related to from the Polish cities of Kołobrzeg, Poznań and Kraków, and to the period 2001–2018. Mean values with standard deviations were calculated, with minimum and maximum values noted, amplitudes, lower and upper quartiles and the skewness coefficient. One-way analysis of variance was deployed to determine whether UTCI values at midday on very hot days differ significantly from month to month. The frequency of occurrence of different intensities of heat stress was also determined. In each case, analysis related to both the overall period and individual years.

Hours around noon on very hot days were mainly associated with “moderate” or “severe” heat stress, though instances “very severe heat stress” may also arise. The greatest threat of thermal heat stress could be noted for July and August, with conditions noticeably more severe in Kraków than the other stations studied. Kołobrzeg faced the most-limited hazard associated with the occurrence of heat stress, and only in July may “very severe heat stress” appear there sporadically. In turn, Poznań – located in a region with bioclimatic conditions typical for Poland – was rather characterised by “moderate” or “severe heat stress”.

Equally, on a majority of the very hot days studied, all three stations recoded above-average UTCI values, with this fact making it clear that when a high level of thermal stress arises it may be rather a country-wide phenomenon. The most stable, near-average conditions characterised May, while biothermal differentiation peaked in July and August.

Analysis of variance showed that, other than in relation to April in Poznań, levels of thermal stress on hot days did not differ significantly from one month to another.

Analyses of the variability to values for the multi-year universal thermal climate index revealed an increase over time for maxima, especially in Kraków. This may point to an intensified risk associated with overheating of the body, in the south of Poland in particular. In addition, calculations confirm both spatial and temporal differentiation of biothermal conditions. Years in which hot days proved particularly burdensome were 2005, 2007, 2010 and 2013.