

# ZRÓŻNICOWANIE STRESU GORĄCA NA WYŻYNIE KIELECKIEJ W CZASIE FAL UPAŁÓW NA POCZĄTKU XXI WIEKU

Krzysztof Jarzyna

**Jarzyna K., 2012:** Zróżnicowanie stresu gorąca na Wyżynie Kieleckiej w czasie fal upałów na początku XXI wieku (*Thermal stress diversity during heat waves in the Kielecka Upland in the beginning of XXI century*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 13, s. 41–50.

**Zarys treści:** Dokonano oceny zróżnicowania częstości występowania warunków stresu gorąca na Wyżynie Kieleckiej w pierwszej dekadzie i na początku drugiej dekady XXI wieku. Analizowano pojawianie się dni charakterystycznych termicznie i fal upałów. Warunki odczucia ciepłego oceniano na podstawie temperatury efektywnej. W badanym okresie fale upałów wystąpiły w niższej położonych częściach Kielecczyny ośmiokrotnie. Stres gorąca w okresie fal upałów zmniejszał się na obszarach wyżej położonych i wzrastał w centrum miast. Również przebywanie w pomieszczeniach bez klimatyzacji mogło w tych okresach nasilać stres gorąca.

**Słowa kluczowe:** fale upałów, odczucie ciepłe człowieka, Wyżyna Kielecka.

**Key words:** *heat waves, human thermal sensation, Kielecka Upland.*

*Krzysztof Jarzyna*, Instytut Geografii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, e-mail: jarzynak@ujk.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

Fale upałów należą do tych zjawisk pogodowych, które bezpośrednio zagrażają zdrowiu i życiu człowieka. W ostatnim dziesięcioleciu Europę dotknęło kilka takich zdarzeń ekstremalnych. Do najbardziej znanych i szeroko opisywanych w literaturze klimatologicznej należą fale upałów: z sierpnia 2003 r. w Europie Zachodniej, z lipca 2006 r. w Europie Zachodniej i Środkowej oraz z lipca i sierpnia 2010 r. w Europie Środkowej i Wschodniej (m.in. Stefanon i in., 2012; Józwiak i in., 2010).

Widoczne różnice w położeniu i granicach obszarów dotkniętych wymienionymi falami upałów wynikają z różnic warunków cyrkulacyjnych bezpośrednio odpowiedzialnych za wywołanie tych anomalii pogodowych (Black i in., 2004). Natężenie stresu gorąca w tych okresach było jednak zróżnicowane nie tylko regionalnie, ale też lokalnie (np. Jarzyna, 2010). Można więc było

na stosunkowo niewielkim obszarze wyróżnić miejsca, w których stres gorąca był szczególnie uciążliwy i te, w których można było od upałów nieco odpocząć.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oceny zróżnicowania stresu gorąca i odczucia ciepłego człowieka w trakcie pogody gorącej i upalnej w wybranych miejscach Wyżyny Kieleckiej na początku XXI w.

## 2. Materiały i metody

W pracy wykorzystano 4 serie danych pochodzące ze stacji meteorologicznych IMiGW (Kielce–Suków, Bodzentyn, Święty Krzyż, Sandomierz – tab. 1), dane ze stacji pomiarowej WIOŚ w Kielcach, zlokalizowanej w sąsiedztwie ul. Jagiellońskiej, jak również wyniki pomiarów prowadzonych w trakcie studenckich praktyk terenowych w Kielcach (peryferie miasta) i rejonie Świętego Krzyża (ryc. 1).

Tab. 1. Położenie stacji meteorologicznych IMiGW, z których dane wykorzystano w pracy

Tab. 1. Location of IMWM meteorological stations discussed in text

Stacje meteorologiczne Meteorological stations	$\phi$	$\lambda$	h (n.p.m.) A. (a.s.l.)
Kielce–Suków	50°49'N	20°42'E	261 m n.p.m.
Bodzentyń	50°57'N	20°57'E	270 m n.p.m.
Święty Krzyż	50°51'N	21°03'E	575 m n.p.m.
Sandomierz	50°42'N	21°43'E	218 m n.p.m.



Ryc. 1. Obszar badań i położenie punktów pomiarowych: 1 – stacje meteorologiczne IMGW, 2 – stacja pomiarowa WIOŚ, 3 – obszary pomiarów w trakcie praktyk studenckich  
Fig. 1. Study area and location of measurement points: 1 – IMWM meteorological stations, 2 – WIOŚ measurement point, 3 – places of students' field practice

W pierwszym etapie badań posłużono się wartościami ekstremalnych temperatur dobowych pochodzących z wymienionych powyżej stacji meteorologicznych IMiGW. Wykorzystano dane z dziesięciolecia 2001–2010. Na podstawie tych danych określono liczbę dni charakterystycznych termicznie w poszczególnych latach i średnio w dziesięcioleciu. Określono liczbę dni gorących (takich, gdy maksymalna dobową temperaturę powietrza przekracza 25,0°C), dni upalnych (takich, gdy maksymalna dobową temperaturę powietrza przekracza 30,0°C) oraz nocy gorących (takich, gdy minimalna temperatura dobową utrzymuje się powyżej 20,0°C).

Wyróżniono również okresy fal upałów, które nawiedziły w tym dziesięcioleciu Wyżynę Kielecką. Zastosowano kryterium wyróżnienia „fali upałów” za Słownikiem meteorologicznym (2004), który definiuje ją jako przynajmniej trzydniowy okres z maksymalną dobową temperaturą powietrza przekraczającą 30,0°C, który

może być przerywany przez pojedyncze dni z niższą temperaturą powietrza.

W ocenie warunków biotopoklimatycznych w okresie wybranych fal upałów posłużono się wartościami kompleksowego wskaźnika bioklimatycznego – temperatury efektywnej (TE). Ujmuje on łącznie oddziaływanie temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru na organizm ludzki (Kozłowska-Szczęśna i in., 1997). Do obliczenia TE wykorzystano wzory A. Missenarda:

$$TE = t - 0,4 \cdot (t - 10,0) \cdot (1 - 0,01 \cdot f)$$

gdzie  $v \leq 0,2$  m/s

lub

$$TE = 37,0 - \frac{37,0 - t}{0,68 - 0,0014 \cdot f + \frac{1,0}{1,76 + 1,40 \cdot v^{0,75}} - 0,29 \cdot t \cdot (1 - 0,01 \cdot f)}$$

gdzie  $v > 0,2$  m/s

gdzie:

t – temperatura powietrza (°C),

f – wilgotność względna powietrza (%),

v – prędkość wiatru (m/s).

Wartości TE sklasyfikowano z wykorzystaniem skali odczuwalności cieplnej opracowanej przez zespół M. Baranowskiej (1986) dla obszarów ze średnią roczną temperaturą powietrza w przedziale 7,1–8,0°C. Granice klas TE i odpowiadające im odczucia cieplne w lipcu, kiedy wystąpiły badane fale upałów, prezentuje poniższe zestawienie:

TE (°C)	odczucie cieplne
< 3,2	bardzo zimno
3,2–7,1	zimno
7,2–11,2	chłodno
11,3–14,9	komfortowo
15,0–18,9	ciepło
19,0–21,8	gorąco
> 21,8	bardzo gorąco

Obliczono średnie wartości TE na badanych stanowiskach w poszczególnych okresach pomiarów. Istotność statystyczną różnic wartości średnich na poziomie 0,05 oceniono testem t-Studenta.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Występowanie pogody gorącej i upalnej na Wyżynie Kieleckiej w pierwszej dekadzie XXI wieku

W pierwszej dekadzie XXI wieku na stacjach meteorologicznych w podkieleckim Sukowie i na peryferiach Sandomierza występowało średnio około 45 dni rocznie, w których maksymalna dobowa temperatura powietrza przekraczała 25,0°C (dni gorące i upalne łącznie). W Bodzentynie dni takich było mniej, bo średnio ok. 37. Zdecydowanie mniej – bo średnio około 20 rocznie – takich dni wystąpiło na wierzcholinie Łysogór, najwyższego pasma Gór Świętokrzyskich (tab. 2).

W przebiegu rocznym najczęściej dni z temperaturą maksymalną przekraczającą 25,0°C występowało w lipcu; średnio w około połowie dni w Kielcach–Su-

kowie, Sandomierzu i Bodzentynie, i średnio w około 34% dni na Świętym Krzyżu. Najwcześniejsze dni takie pojawiały się pod koniec kwietnia – np. 29 i 30 kwietnia 2003 r., w Kielcach–Sukowie i 30 kwietnia 2003 r. w Sandomierzu, najpóźniej zaś na początku października – 3.10.2001 r. w Kielcach–Sukowie. W Bodzentynie i na Świętym Krzyżu okres ten jest nieco krótszy.

Liczba takich dni wyraźnie zmieniała się w kolejnych latach analizowanego dziesięciolecia. Najwięcej zaobserwowano ich w 2003 r., kiedy zarówno w Kielcach–Sukowie, jak i w Sandomierzu wystąpiło ich 60, w Bodzentynie – 48, a na stacji meteorologicznej Święty Krzyż 30. Najmniejszą liczebnością dni z temperaturą maksymalną >25,0°C charakteryzował się w regionie rok 2004. W Kielcach–Sukowie wystąpiło ich wtedy 30, w Sandomierzu 24, w Bodzentynie 19, na Świętym Krzyżu zaś 10 (tab. 2).

Tab. 2. Liczebność termicznych dni i nocy charakterystycznych typowych dla pogody gorącej na wybranych stacjach meteorologicznych Wyżyny Kieleckiej

Tab. 2. Number of hot days (with  $t_{max} > 25,0^{\circ}C$  and  $> 30,0^{\circ}C$ ) and hot nights (with  $t_{min} > 20,0^{\circ}C$ ) in the meteorological stations located in the Kielecka Upland

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Kielce-Suków	dni gorące i upalne days with $t_{max} > 25^{\circ}C$	36	60	52	30	45	47	53	48	39	46
	dni upalne days with $t_{max} > 30^{\circ}C$	2	4	6	6	5	22	8	3	6	13
	noce gorące nights with $t_{min} > 20^{\circ}C$	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bodzentyn	dni gorące i upalne days with $t_{max} > 25^{\circ}C$	28	48	41	19	38	37	48	43	33	40
	dni upalne days with $t_{max} > 30^{\circ}C$	2	3	4	2	5	11	7	1	4	11
	noce gorące nights with $t_{min} > 20^{\circ}C$	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.
Święty Krzyż	dni gorące i upalne days with $t_{max} > 25^{\circ}C$	14	30	28	10	15	30	29	10	12	26
	dni upalne days with $t_{max} > 30^{\circ}C$	.	.	.	.	1	.	3	.	.	.
	noce gorące nights with $t_{min} > 20^{\circ}C$	.	.	.	.	2	2	2	.	.	2
Sandomierz	dni gorące i upalne days with $t_{max} > 25^{\circ}C$	35	60	52	24	47	46	53	48	41	49
	dni upalne days with $t_{max} > 30^{\circ}C$	3	6	5	4	6	13	11	3	5	15
	noce gorące nights with $t_{min} > 20^{\circ}C$	.	.	.	.	1	.	.	.	.	2

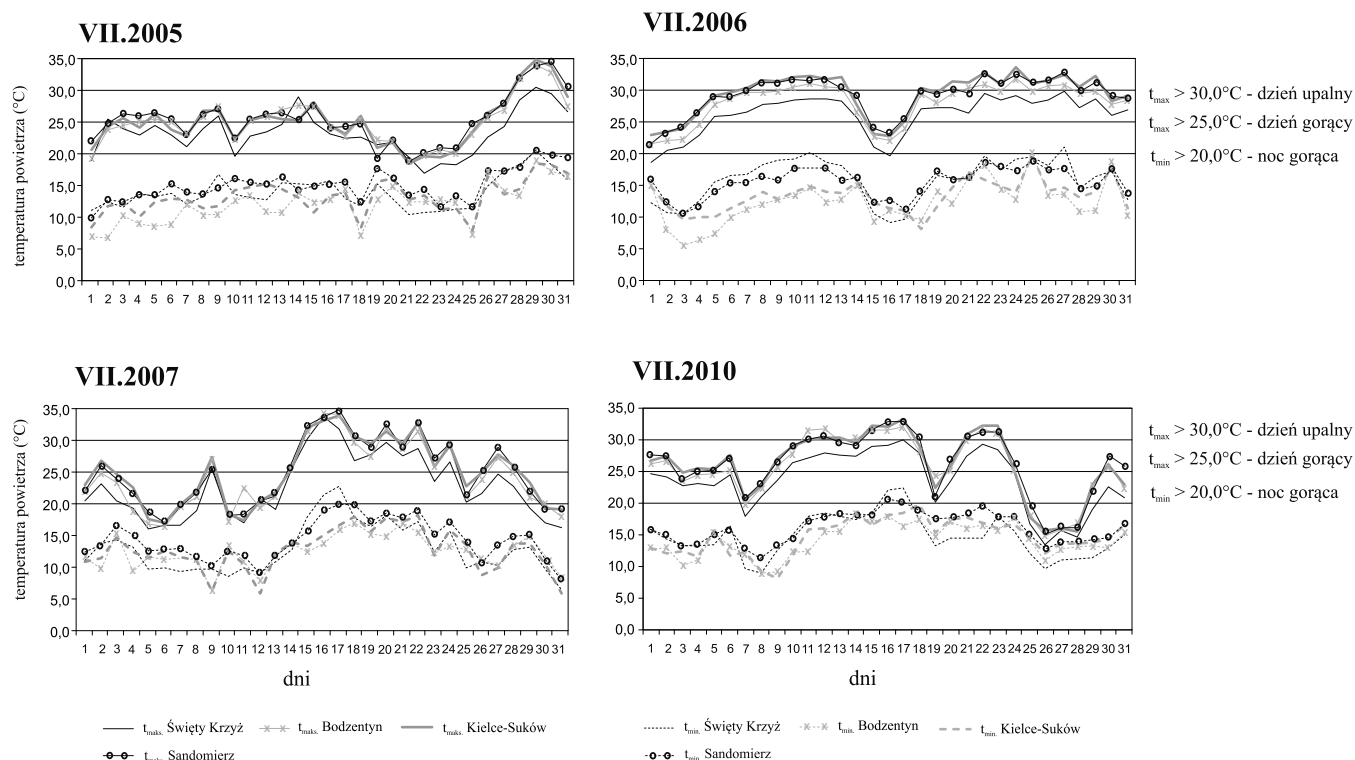
Tab. 3. Fale upałów na Wyżynie Kieleckiej w pierwszej dekadzie XXI wieku  
 Tab. 3. Heat waves in the Kielecka Upland in the period 2001–2010

<b>Stacja meteorologiczna</b> <i>Meteorological station</i>	<b>Wyróżnione fale upałów</b> <i>Registered heat waves</i>	<b>Źródło danych</b> <i>Source of data</i>
Kielce–Suków	28–30 lipca 2005 7–13 lipca 2006 18–29 lipca 2006 15–22 lipca 2007 10–12 czerwca 2010 12–17 lipca 2010 21–23 lipca 2010	Global Summary of the Day, NOAA ( <a href="http://www7.ncdc.noaa.gov...">http://www7.ncdc.noaa.gov...</a> )
Bodzentyn	28–30 lipca 2005 10–13 lipca 2006 21–26 lipca 2006 15–17 lipca 2007 11–17 lipca 2010	archiwum ŚPN
Święty Krzyż	15–17 lipca 2007	archiwum ŚPN
Sandomierz	29–31 lipca 2005 8–12 lipca 2006 22–29 lipca 2006 15–22 lipca 2007 10–12 czerwca 2010 15–18 lipca 2010 21–23 lipca 2010	Global Summary of the Day, NOAA ( <a href="http://www7.ncdc.noaa.gov...">http://www7.ncdc.noaa.gov...</a> )

Wśród dni z maksymalną temperaturą dobową  $>25,0^{\circ}\text{C}$  stosunkowo niewielką część stanowiły dni upalne ( $t_{\text{max}} >30,0^{\circ}\text{C}$ ). Na stacjach meteorologicznych w Kielcach–Sukowie, Sandomierzu i Bodzentynie rejestrowano ich wystąpienie w każdym z badanych lat, chociaż ich średnia liczba w roku wynosiła tylko około 7 na peryferiach Kielc i w Sandomierzu, i około 5 w Bodzentynie. Dni takie niemalże nie występowały na Świętym Krzyżu; w całym badanym dziesięcioleciu zarejestrowano tam tylko 4 dni upalne – 29.07.2005 i okres 14–16.07.2007 (tab. 2). Na stacjach meteorologicznych w Sandomierzu, Bodzentynie i Kielcach–Sukowie najmniej dni upalnych wystąpiło w latach 2001 i 2008, najwięcej zaś – ponad 10 – w 2006 i w 2010 r. W 2006 r. w podkieleckim Sukowie zarejestrowano aż 22 dni upalne (tab. 2). W dziesięcioleciu 2001–2010 najczęściej obserwowano je w lipcu, ze średnią częstością około 16% w podkieleckim Sukowie i w Sandomierzu oraz 11,9% w Bodzentynie. Rejestrowano je również w czerwcu i sierpniu, a dwukrotnie nawet pod koniec maja.

Większość dni upalnych, które zarejestrowano na Wyżynie Kieleckiej w pierwszej dekadzie XXI wieku wystąpiła jako pojedyncze dni lub też dwa kolejne dni z tak wysoką temperaturą maksymalną powietrza.

Dłuższe – co najmniej trzydniowe – okresy z temperaturą przekraczającą  $30,0^{\circ}\text{C}$ , które można uznać za „fale upałów” występowały na Kielecczyźnie siedmiokrotnie w pierwszej dekadzie XXI wieku (tab. 3). Poza 1. przypadkiem (10–12 czerwca 2010) wszystkie wystąpiły w lipcu (tab. 3). Chronologicznie pierwsza z wyróżnionych fal upałów – stosunkowo krótka (3-dniowa) – wystąpiła pod koniec lipca 2005 r. W podkieleckim Sukowie i w Sandomierzu zarejestrowano wówczas najwyższą zanotowaną w XXI wieku wartość temperatury powietrza, odpowiednio:  $34,7^{\circ}\text{C}$  i  $34,3^{\circ}\text{C}$  (ryc. 2). Niewiele niższą temperaturę powietrza rejestrowano w połowie lipca 2007 r. Zarówno w Sukowie, jak i w Sandomierzu „fala upałów” trwała wówczas 8 dni (15–22 lipca 2007); w Bodzentynie trwała tylko 3 dni – 15–17 lipca 2007 r. Nieco niższa niż w omówionych przypadkach temperatura powietrza występowała w lipcu 2006 i 2010 r. Upały były wówczas jednak wyjątkowo długotrwałe – wystąpiły po dwie fale upałów rozdzielone kilkudniowymi okresami niższej temperatury powietrza (ryc. 2). W 2010 r. fale upałów wystąpiły w drugiej dekadzie lipca i na początku trzeciej dekady, a w 2006 r. na przełomie pierwszej i drugiej dekady lipca oraz w okresie od końca dekady drugiej aż po koniec trzeciej dekady miesiąca. Ta ostat-



Ryc. 2. Przebieg miesięczny ekstremalnych temperatur dobowych  
 Fig. 2. Monthly course of daily minimum and maximum air temperature

nia fala upałów trwała w podkieleckim Sukowie aż 12 dni (18–29.07.2006). Na położonej najwyżej stacji meteorologicznej Święty Krzyż wystąpiła w tym dziesięcioleciu tylko jedna fala upałów – 15–17 lipca 2007 r. W dniu 16 lipca 2007 r. temperatura powietrza osiągnęła tam  $33,6^{\circ}\text{C}$ .

W okresach występowania wysokiej temperatury powietrza warunki biometeorologiczne na analizowanych stacjach poprawiały się w okresach nocnych. W podkieleckim Sukowie w dziesięcioleciu 2001–2010 w ogóle nie obserwowano nocy gorących – z temperaturą powietrza wyższą niż  $20^{\circ}\text{C}$ . W Bodzentynie i w Sandomierzu zarejestrowano tylko po 3 takie noce. Najwięcej wystąpiło ich na Świętym Krzyżu – aż 8. Żadna z analizowanych stacji nie jest stacją miejską. Porównanie wyników pomiarów temperatury powietrza z lipca 2010 r. prowadzonych w podkieleckim Sukowie i na stacji pomiarowej WIOŚ w centrum Kielc (<http://smjp.kielce.pios.gov.pl/>) wskazuje, że w obrębie zwartej zabudowy miejskiej temperatura powietrza w nocy była wyższa niż na peryferiach miasta. Jedną z nocy tego miesiąca (15/16.07.2010) była w centrum Kielc nocą gorącą.

Już poza analizowanym okresem – w dniach od 30 czerwca do 8 lipca 2012 r. – zarejestrowano na Wyżynie Kieleckiej kolejną falę upałów. Na stacji meteorologicznej w Kielcach-Sukowie w dniu 1 lipca 2012 r. zanotowano temperaturę maksymalną  $34,2^{\circ}\text{C}$ . Okresy

pogody gorącej i upalnej, zbyt krótkie jednak, aby uznać je za fale upałów, zarejestrowano też latem 2012 r. na przełomie lipca i sierpnia oraz w drugiej połowie sierpnia (maksymalnie  $34,9^{\circ}\text{C}$  w dniu 20.08.2012).

### 3.2. Lokalne zróżnicowanie odczucia gorąca w okresie fal upałów z lipca 2006, 2010 i 2012 roku

W dniu 9 lipca 2006 r. – na początku pierwszej fali upałów z tego miesiąca – przeprowadzono serię pomiarów meteorologicznych w jednej z sal wykładowych Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UJK w Kielcach oraz w sąsiedztwie budynku. Niemal przez cały czas pomiarów (8:00–16:00) zarówno w budynku, jak i w jego sąsiedztwie panowały warunki biometeorologiczne, które w świetle wartości temperatury efektywnej można określić jako „bardzo gorąco” (tab. 4). W sali wykładowej wartości TE zmieniały się niewiele i nieregularnie; na stanowisku w terenie otwartym stopniowo rosły w trakcie pomiarów. Średnie wartości temperatury efektywnej w sali wykładowej były w tym dniu o  $1,2^{\circ}\text{C}$  większe niż na stanowisku na zewnątrz budynku, chociaż to na tym drugim stanowisku zarejestrowano najwyższe w trakcie pomiarów wartości TE –  $25,7^{\circ}\text{C}$  (przy  $t = 32,2^{\circ}\text{C}$ ,  $f = 27\%$  i  $v = 0,3$  m/s). Wspomniana różnica TE jest istotna statystycznie na poziomie 0,05.

Tab. 4. Zmienność czasowa i przestrzenna odczucia ciepłego człowieka (na podstawie TE w °C) w trakcie wybranych fal upałów  
 Tab. 4. Spatial and temporal variability of the human thermal stress determined on the basis of TE values (°C) during chosen heat waves

Godziny	Temperatura efektywna TE (°C)								
	9.07.2006		15.07.2010				1.07.2012		
	peryferie miasta – w budynku <i>Kielce's peripheries – indoor</i>	peryferie miasta – obok budynku <i>Kielce's peripheries – outdoor</i>	Lysogóry – wierzehowina <i>Lysogóry Range – top</i>	Lysogóry – stok <i>Lysogóry Range – slope</i>	Lysogóry – podnóże <i>Lysogóry Range – foot</i>	centrum miasta <i>Kielce's downtown</i>	peryferie miasta – w budynku <i>Kielce's peripheries – indoor</i>	peryferie miasta – obok budynku <i>Kielce's peripheries – outdoor</i>	centrum miasta <i>Kielce's downtown</i>
1:00	X	X	X	X	X	20,5	X	X	19,9
2:00	X	X	X	X	X	20,3	X	X	20,0
3:00	X	X	X	X	X	19,8	X	X	19,7
4:00	X	X	X	X	X	19,5	X	X	19,5
5:00	X	X	X	X	X	18,7	X	X	18,5
6:00	X	X	X	X	X	18,2	X	X	18,7
7:00	X	X	X	X	X	19,8	X	X	19,7
8:00	23,6	17,8	20,9	21,8	21,5	21,2	25,7	22,9	21,3
8:30	24,0	22,6	21,3	21,9	21,7	X	26,0	23,0	X
9:00	24,3	22,9	21,5	21,9	22,5	22,7	26,1	24,5	23,2
9:30	24,0	22,3	22,0	22,5	22,9	X	26,3	24,1	X
10:00	25,0	24,2	21,3	23,1	23,0	24,7	26,3	24,9	25,2
10:30	24,0	22,3	21,2	23,5	23,5	X	26,4	25,4	X
11:00	24,2	22,5	21,8	22,3	22,6	24,9	26,9	25,2	26,3
11:30	24,5	22,9	21,3	33,3	23,2	X	27,0	25,7	X
12:00	24,6	23,0	22,2	23,0	23,4	25,3	27,0	26,5	25,5
12:30	24,3	23,3	22,6	23,6	23,8	X	26,9	26,2	X
13:00	24,2	24,2	22,9	23,3	23,5	25,6	27,0	26,6	27,4
13:30	24,5	25,7	23,3	22,9	23,0	X	26,9	26,6	X
14:00	24,7	24,7	23,2	23,6	23,4	25,4	26,8	27,7	28,2
14:30	23,8	23,7	23,6	23,5	23,5	X	26,8	27,1	X
15:00	24,7	23,8	23,1	23,1	23,4	26,0	26,7	27,4	28,5
15:30	24,9	23,9	23,3	23,1	23,2	X	26,8	27,1	X
16:00	24,8	25,2	23,2	23,4	23,4	26,4	26,5	26,7	28,2
16:30	X	X	23,6	23,3	23,4	X	X	X	X
17:00	X	X	23,3	23,2	23,1	26,7	X	X	28,5
17:30	X	X	22,9	22,9	23,1	X	X	X	X
18:00	X	X	23,2	22,6	22,9	24,0	X	X	27,6
19:00	X	X	X	X	X	25,6	X	X	26,9
20:00	X	X	X	X	X	25,1	X	X	26,2
21:00	X	X	X	X	X	24,6	X	X	23,6
22:00	X	X	X	X	X	23,5	X	X	17,8
23:00	X	X	X	X	X	22,5	X	X	17,6
24:00	X	X	X	X	X	22,3	X	X	16,7

	<b>Bardzo gorąco</b> <i>Very hot</i>		<b>Gorąco</b> <i>Hot</i>		<b>Ciepło</b> <i>Warm</i>	<b>X</b>	<b>Brak danych</b> <i>Lack of data</i>
--	---	--	-----------------------------	--	------------------------------	----------	---

Podobne wyniki uzyskano w trakcie pomiarów prowadzonych 1 lipca 2012 r. Temperatura powietrza była wtedy nieco wyższa niż w dniu 9 lipca 2006 r. – osiągnąca pod koniec pomiarów 33,6°C na stanowisku położonym w sąsiedztwie budynku WM-P UJK. W świetle wartości temperatury efektywnej przez cały czas pomiarów – od godziny 8:00 do godziny 16:00 – występowało „bardzo gorące” odczucie cieplne (tab. 4). W sali wykładowej temperatura powietrza przekroczyła 30,0°C już o godzinie 9:30 i potem niewiele już się zmieniała, podczas gdy na stanowisku poza budynkiem granica 30,0°C została przekroczona dopiero o 11:30. Średnie wartości TE były w trakcie pomiarów w tym dniu prawie o 1,0°C większe w budynku niż poza nim, która to różnica jest istotna statystycznie na poziomie 0,05. Podobnie jednak jak w dniu 8.07.2006 najwyższą wartość TE zarejestrowano na zewnątrz budynku – 27,7°C (przy  $t = 33,2^{\circ}\text{C}$ ,  $f = 42\%$  i  $v = 0,4$  m/s).

Wartości z pomiarów prowadzonych w sąsiedztwie budynku WM-P UJK, położonego na peryferiach obszaru zabudowy mieszkalnej Kielc, porównano z wynikami pomiarów prowadzonych na stacji WIOŚ w centrum Kielc, w otoczeniu wielokondygnacyjnej zabudowy mieszkalnej. W dniu 1.07.2012 temperatura powietrza na stacji pomiarowej w centrum Kielc zmieniła się od 19,9°C (5:00) do 35,1°C (17:00). W świetle wartości temperatury efektywnej w nocy z 30 czerwca na 1 lipca 2012 roku i nad ranem do godziny 4:00 panowały warunki dające odczucie „gorąco”, następnie zaś w godzinach 5:00–6:00 temperatura powietrza spadła na tyle, że warunki biometeorologiczne dawały odczucie „ciepło”. Następnie wraz ze wzrostem temperatury powietrza znów pojawiło się odczucie „gorąco” i od godziny 9:00 „bardzo gorąco”, które utrzymało się aż do godziny 21:00. Później w związku z burzą, która wystąpiła w Kielcach, stres gorąca zmniejszył się i w centrum miasta obserwowaliśmy odczucie termiczne klasyfikowane jako „ciepło” (tab. 4). Średnio wartości TE w centrum Kielc były w tym dniu nieznacznie wyższe niż w sąsiedztwie budynku WM-P UJK; różnica ta nie była istotna statystycznie na poziomie 0,05. Wyraźnie większy niż na peryferiach stres gorąca pojawił się w gęsto zabudowanym centrum miasta dopiero po południu (tab. 4).

W trakcie fali upałów z lipca 2010 r. w dniu 15 lipca przeprowadzono serię pomiarów wzdłuż Drogi Królewskiej z Nowej Słupi na Święty Krzyż w Łysogórach. Na żadnym z 3 analizowanych stanowisk temperatura powietrza nie przekroczyła 30,0°C. Stosunkowo wysoka wilgotność względna powietrza i niska prędkość wiatru spowodowały jednak, że wartości temperatury efektywnej przez większość pomiarów odpowiadały

odczuciu „bardzo gorąco”. Na najbardziej zacisznym stanowisku w środkowej części Drogi Królewskiej warunki takie pojawiły się już o godzinie 8:30, zaś na stanowisku u podnóża Łysogór o godzinie 9:00. Stres gorąca był nieco mniejszy na wierzchowinie pasma, gdzie aż do godziny 12:00 dominowało odczucie „gorąco”. Średnia wartość TE zmniejszała się wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej, ale jej różnice pomiędzy stanowiskami pomiarowymi były niewielkie i tylko pomiędzy stanowiskiem na wierzchowinie i u podnóża Łysogór były istotne statystycznie na poziomie 0,05.

W tym samym dniu, 15 lipca 2010 r., w centrum Kielc temperatura efektywna była średnio o 1,9°C wyższa niż na najcieplejszym w Łysogórach stanowisku – u podnóża stoku (różnica istotna statystycznie na poziomie 0,05). Na stanowisku w Kielcach warunki określane jako „bardzo gorąco” pojawiły się o godzinie 9:00 i utrzymały się do końca doby. Tylko w godzinach 5:00–6:00 występowało w tym dniu odczucie „ciepło” (tab. 4).

#### 4. Dyskusja i wnioski

W badanym dziesięcioleciu występowanie dni gorących i upalnych zwłaszcza w niżej położonych miejscowościach Wyżyny Kieleckiej było częstym zjawiskiem – w lipcu i sierpniu stanowiły one średnio około połowy wszystkich dni. Dni upalne ( $t_{\text{max}} > 30,0^{\circ}\text{C}$ ) również obserwowano co roku. Średnia w tym dziesięcioleciu liczba dni upalnych w Kielcach (7,5 w roku) była prawie o 2 dni większa od średniej liczby dni upalnych z wielolecia 1951–2005. Również w tym dziesięcioleciu (w 2006 r.) wystąpiła w Kielcach największa od 1951 r. liczba dni upalnych – 22 dni (Cebulak, Limanówka, 2007). Niemniej jednak nie zanotowano w tym okresie rekordowych wartości temperatury powietrza. Najwyższą od 1951 r. wartość temperatury powietrza (36,2°C) zanotowano w Kielcach w dniu 29 sierpnia 1992 r., zaś w Sandomierzu (37,1°C) w dniu 15 sierpnia 1952 r. (Woś, 2010).

Siedmiokrotnie w tym dziesięcioleciu występowanie pogody upalnej manifestowało się w postaci co najmniej trzydniowych fal upałów. W świetle badań klimatologów lubelskich można stwierdzić, że liczba zarejestrowanych w Kielcach w okresie 2000–2010 fal upałów nie odbiegała znacznie od wyników rejestrowanych na sąsiednich stacjach meteorologicznych. W dwóch okresach – w lipcu 2006 i 2010 roku – fale upałów rejestrowano na wszystkich badanych stacjach w kraju (Krzyżewska, Wereski, 2011). Mimo więc nieco większych wysokości bezwzględnych upały zagrażały mieszkańcom niżej położonych części Wyżyny

Kieleckiej równie często jak w większości pasa Nizin Środkowopolskich i pasa wyżyn. Zazwyczaj jednak upały na Wyżynie Kieleckiej były nieco słabsze niż w sąsiednich regionach Polski. I tak np. w lipcu 2006 r. najwyższa zanotowana w Sukowie temperatura powietrza wyniosła 33,6°C, podczas gdy na stacji Warszawa-Okęcie temperatura powietrza osiągnęła 35,3°C (Lorenc i in., 2008).

Analiza serii pomiarowej pochodzącej z Warszawy pozwoliła stwierdzić, że w okresie 1951–1990 fale upałów wystąpiły w 9 latach, podczas gdy w dużo krótszym ostatnim okresie (1991–2009) zarejestrowano je w 11 latach (Kossowska-Cezak, 2010). Na wzrastającą częstość fal upałów w Polsce w okresie 1955–2006 wskazują też badania klimatologów łódzkich. W związku z nieregularnym pojawianiem się fal upałów we wspomnianym wieloleciu trudno było ocenić, czy obserwowany trend jest istotny statystycznie (Wibig i in., 2009). Wydaje się jednak, że fale upałów będą w najbliższych dziesięcioleciach jednym z częściej występujących geozagrożeń w Polsce.

Dużo rzadziej pogoda gorąca i upalna występowała w najwyższych partiach Gór Świętokrzyskich, reprezentowanych przez stację meteorologiczną Święty Krzyż. Tam jednak najczęściej w badanym obszarze występowały noce gorące. Topoklimat wypukłych form rzeźby cechuje się bowiem mniejszymi nocnymi spadkami temperatury powietrza niż w formach wklęsłych. Stres gorąca jest w Łysogórach mniejszy niż w Kielcach i zmniejsza się wraz ze wzrostem wysokości. Niemniej jednak większa wilgotność powietrza i osłabiony przepływ powietrza typowe dla dna lasu powodują, że również w Łysogórach oraz na stokach i wierzchołkach innych pasm Gór Świętokrzyskich w czasie fal upałów dotyczących Kielecczyzny występować mogą – mimo niższej temperatury powietrza – niekorzystne warunki biometeorologiczne.

W okresie pogody gorącej stres gorąca jest też zróżnicowany w obszarze zurbanizowanym, w tym studium reprezentowanym przez Kielce. Różnice topoklimatyczne pomiędzy zabudową centrum miasta i peryferiami zaznaczały się między innymi wyższymi w mieście temperaturami minimalnymi. Po wschodzie Słońca silniejszy wzrost temperatury powietrza i nasilanie się stresu gorąca szybciej zaznacza się na peryferiach miasta. W centrum miasta, pomiędzy wysokimi budynkami, gdzie bezpośrednie promieniowanie słoneczne dociera później, wzrost ten jest początkowo wolniejszy. W godzinach popołudniowych i wieczornych jednak to właśnie w cieplejszym i zaciszniejszym centrum miasta panują bardziej uciążliwe warunki biometeorologiczne. Podobne wyniki dotyczące zróżnicowa-

nia odczucia cieplnego w miastach uzyskano też m.in. we Wrocławiu (Sikora, 2008). Wyniki analiz sugerują też, że przebywanie w nieklimatyzowanym pomieszczeniu może być w okresie pogody upalnej bardziej uciążliwe niż przebywanie na świeżym powietrzu. Należy oczywiście pamiętać o specyfice lokalizacji punktów pomiarowych oraz wykorzystanego wskaźnika bioklimatycznego. Sala wykładowa, w której prowadzono pomiary znajduje się na V piętrze i ma okna eksponowane na SE. Szczególnie niekorzystne warunki biometeorologiczne panują tam więc w godzinach porannych i przedpołudniowych. Z kolei temperatura efektywna nie uwzględnia wpływu bezpośredniego promieniowania słonecznego na odczucie ciepłe człowieka. Stwierdzenie, że podczas fali upałów na wolnym powietrzu w mieście panują znośniejsze warunki biometeorologiczne niż w pomieszczeniu dotyczy więc sytuacji, gdy znajdujemy się w miejscu zacienionym i przewiewnym, np. pod parasolem w kawiarnianym ogródku.

## 5. Literatura

- Baranowska M., Boniecka-Żółcik Z., Gurba H., 1986:** *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*, Przegł. Geof., 1: 27–40.
- Black, E.M., Blackburn M., Harrison G., Hoskins B., Methven J., 2004:** *Factors contributing to the summer 2003 European heatwave*, Weather, 59: 217–223.
- Cebulak E., Limanówka D., 2007:** *Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza w Polsce*. W: Piotrowicz K., Twardosz R. (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, UJ, Kraków: 185–194.
- [http://smjp.kielce.pios.gov.pl/?page=raport-godzinowy&data=20-07-2010&site\\_id=27&csq\\_id=1282&dane=w1](http://smjp.kielce.pios.gov.pl/?page=raport-godzinowy&data=20-07-2010&site_id=27&csq_id=1282&dane=w1).
- [http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?data\\_setabbv=GSOD&countryabbv=&georegionabbv=](http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?data_setabbv=GSOD&countryabbv=&georegionabbv=).
- Jarzyna K., 2010:** *Wpływ miasta na odczucie ciepłe człowieka na przykładzie dwóch ekstremalnych zdarzeń pogodowych z 2006 roku*. W: Bednorz E., Kolendowicz L. (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 121–135.
- Józwiak M., Jarzyna K., Kozłowski R., Szwed M., 2010:** *Przebieg, przyczyny i skutki środowiskowe ekstremalnego zdarzenia pogodowego w Górach Świętokrzyskich w 2006 roku*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 11: 49–54.



- Kossowska-Cezak U., 2010:** *Fale upałów i okresy upalne – metody ich wyróżniania i wyniki zastosowania*, Prace Geograficzne UJ, 123: 143–149.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997:** *Bioklimatologia człowieka*, Monografie IGiPZ PAN, 1, Warszawa.
- Krzyżewska A. Wereski S., 2011:** *Fale upałów i mrozów w wybranych stacjach Polski na tle regionów bioklimatycznych (2000–2010)*, Prz. Geof., LVI, 1–2: 99–110.
- Lorenc H., Mierkiewicz M., Sasom M., 2008:** *Susze w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem roku 2006 (historia, przyczyny, natężenie, zasięg, skutki, wnioski)*, Wiadomości Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej, LII, 1–2: 3–32.
- Sikora S., 2008:** *Stres gorąca jako istotne ograniczenie komfortu życia w mieście: jego natężenie i częstość pojawiania się na przykładzie Wrocławia*. W: Kłysik K. Wibig J. Fortuniak K. (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wyd. UŁ, Łódź: 343–352.
- Stefanon M., D’Andrea F., Drobinki P., 2012:** *Heat wave classification over Europe and the Mediterranean region*, Environ. Res. Lett., 7, w druku, dostęp w sieci – <http://www.lmd.ens.fr/dandrea/stefetal2012.pdf> (21.08.2012).
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2009:** *Heatwaves in Poland – Frequency, Trends and Relationships with Atmospheric Circulation*, Geographia Polonica, 82, 1: 33–46.
- Woś A., 2010:** *Klimat Polski w drugiej Polowie XX wieku*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.

## THERMAL STRESS DIVERSITY DURING HEAT WAVES IN THE KIELECKA UPLAND IN THE BEGINNING OF XXI CENTURY

### Summary

The topic of a study was the diversity of the hot weather occurrence in the Kielce Upland, Central Poland, in the beginning of XXI century. Diversity of the thermal sensation of a man during heat waves was discussed too. The thermal sensation was estimated with use of the effective temperature (TE) which joins the influence of the air temperature and humidity together with wind speed on the man. Eight heat waves, defined as at least 3 consecutive days with  $t_{\max} > 30.0^{\circ}\text{C}$ , has occurred in wide valleys and low plateaus of the Kielce Upland since the beginning of XXI century. This number was similar to values in adjacent regions. The longest heat wave registered in the Kielce lasted 12 days, since 18<sup>th</sup> till 29<sup>th</sup> July 2006. Heat waves were virtually absent atop the Świętokrzyskie Mts., the highest part of the Kielce Upland. The thermal stress was less intense there as compared to lower areas. However the thermal sensation class “very hot” could appear there during hot weather periods too as a consequence of higher air humidity and lower wind speed. The thermal stress was bigger in the Kielce’s downtown when compared to the city’s peripheries, especially in the evening and at night. It also appeared that biometeorological conditions could be less favourable in rooms without air conditioning than outdoors.