

**WARUNKI KLIMATYCZNE I BIOKLIMATYCZNE
TERENÓW REKREACYJNYCH KIELC NA TLE KLIMATU CENTRUM MIASTA
W TRAKCIE EPIZODÓW POGODY GORĄCEJ**

**Climatic and bioclimatic conditions in the recreation areas of the city of Kielce
during hot weather as compared to the climate of the city center**

KRZYSZTOF JARZYNA*, GRZEGORZ ŻARNOWIECKI*

Zarys treści. W pracy określono zróżnicowanie warunków termicznych i biotermicznych w Kielcach oraz w obszarze pozamiejskim w warunkach pogody gorącej (dni z $t_{maks.} > 25,0^{\circ}C$) i upalnej (dni z $t_{maks.} > 30,0^{\circ}C$), ze szczególnym uwzględnieniem terenów rekreacyjnych miasta. W tym celu porównywano cegodzinne wartości temperatury powietrza i wskaźnika WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*) w wybranych punktach, różniących się użytkowaniem terenu. Stwierdzono, że na terenach rekreacyjnych Kielc jest zwykle chłodniej niż w obrębie zabudowy miejskiej (średnio do $1,4^{\circ}C$ pomiędzy centrum a otoczeniem Zalewu Kieleckiego). Wyjątek stanowią kieleckie kamieniołomy, cieplejsze w ciągu dnia niż obszary zabudowane. Ich zwiedzanie w okresach pogody upalnej może skutkować wystąpieniem niebezpiecznego dla zdrowia stresu termicznego. Różnice pomiędzy wartościami wskaźnika WBGT w obrębie zabudowy i w terenach rekreacyjnych Kielc są znacznie mniejsze niż w przypadku temperatury powietrza. Wynika to z większej wilgotności powietrza w terenach zielonych i w otoczeniu zbiorników wodnych, powodującej występowanie zjawiska parności. Stąd w dniach gorących i upalnych również na terenach rekreacyjnych Kielc należy ograniczyć aktywność fizyczną.

Słowa kluczowe: dni gorące, dni upalne, WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), tereny rekreacyjne, Kielce

Abstract. The variability of thermal and biothermal conditions was determined in the city of Kielce and in its outskirts during hot ($T_{max} > 25.0^{\circ}C$) and very hot ($T_{max} > 30.0^{\circ}C$) days. Special attention was paid to the thermal and biothermal conditions in the recreation areas of Kielce. Hourly air temperature and WBGT index (*Wet Bulb Globe Temperature*) values in several locations were utilized to do so. The measurement points were located in areas with different land use. It was found that air temperature is lower in recreation areas as compared with built-up areas. The surroundings of the Kielce Reservoir are the coolest place – they are $1.4^{\circ}C$ colder than the downtown. A significant exception are former quarries, many currently being nature reserves. Their bottoms are generally warmer than the downtown and trips to those quarries can cause hazardous heat stress during hot weather. The variability of WBGT turned out to be less pronounced than that of the air temperature. It resulted from higher humidity and more frequent sultry weather conditions in the recreation areas as compared with the downtown. Therefore, physical activity should be limited also in the recreation areas of the city of Kielce during hot weather.

Key words: hot days, very hot days, WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), recreation areas, Kielce

Wprowadzenie

W ostatnich dwudziestu latach powstało kilka studiów opisujących zróżnicowanie topoklimatyczne i biotopoklimatyczne Kielc, jednego z większych (ok. 200 tys. mieszkańców) ośrodków miejskich naszego kraju (m.in. Żarnowiecki 2002, 2003; Olszewski i in. 2003). W żadnym z nich Autorzy nie skupili się na poznaniu zróżnicowania stresu gorąca w obrębie miasta. Pewien pogląd na to zagadnienie dał Żarnowiecki (2003) w pracy poświęconej zjawisku parności,

często towarzyszącemu pogodzie gorącej i upalnej. Występowaniu fal upałów na Wyżynie Kieleckiej poświęcony jest artykuł Jarzyny (2012); ale analiza warunków termicznych i biotermicznych w Kielcach jest tylko jednym z wątków.

W świetle obserwowanego w ostatnich dziesięcioleciach wzrostu częstości fal upałów (np. Kossowska-Cezak, Skrzypczuk 2011) ocena związanego z nimi zagrożenia zdrowia mieszkańców dużych skupisk ludzkich staje się ważnym zagadnieniem. Wielokrotnie opisywano

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

niekorzystne oddziaływanie fal upałów na zdrowie i samopoczucie człowieka (m.in. Huynen i in. 2001; Kozłowska-Szczęsna i in. 2004). Wykazano też, że występowanie miejskiej wyspy ciepła może zwiększać natężenie stresu gorąca w porównaniu z obszarami zamiejskimi (m.in. Szczesnińska, Wibig 2008; Jarzyna 2010).

Celowa wydaje się więc ocena na ile przebywanie przez mieszkańców miast w obrębie terenów rekreacyjnych może ten stres zmniejszyć. Oceny takiej dokonano dla Kielc, wskazując te obszary rekreacyjne miasta, w których stres gorąca jest najbardziej złagodzony, jak również zalecając bezpieczną dla zdrowia intensywność aktywności fizycznej.

Materialy i metody

W pracy wykorzystano codzienne wartości temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej zarejestrowane w dniach gorących ($t_{maks.} > 25,0^{\circ}C$) i upalnych ($t_{maks.} > 30,0^{\circ}C$). Źródłem danych są portale: Systemu Monitoringu Jakości Powietrza WIOŚ w Kielcach (<http://smjp.kielce.pios.gov>) i Ogimet (<http://www.ogimet.com>) – zawierający dane IMGW-PIB oraz pomiary topoklimatyczne prowadzone w siedmiu miejscach położonych w granicach administracyjnych Kielc (rys. 1).

Dane zaczerpnięte z portalu WIOŚ w Kielcach oraz portalu Ogimet zarejestrowane zostały w ciągu 178 dni gorących i upalnych w okresie od 2012 do 2015 roku. Codzienne wartości temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej pozwoliły opisać zmienność warunków termicznych i biotermicznych w ciągu całej doby. Łączna liczba analizowanych przypadków wynosi 4142. Dane WIOŚ wykorzystano w charakterystyce bioklimatu miasta, zaś dane IMGW-PIB z portalu Ogimet – w opisie warunków pozamiejskich. Nie pozwalają one jednak przeanalizować zróżnicowania warunków biometeorologicznych w obrębie miasta.

Było to możliwe dzięki danym uzyskanym z pomiarów topoklimatycznych. Pochodzą one z kilkunastu letnich i wiosennych dni 2000, 2001, 2003, 2012, 2013 i 2015 roku, w których temperatura powietrza przekraczała $25,0^{\circ}C$ przynajmniej na jednym z rozpatrywanych stanowisk pomiarowych. Badania wykonywano w dziennej części doby. W poszczególnych latach ich początek i koniec przypadał na różne godziny; najwcześniej wykonywano je o godzinie 6.00, najpóźniej o godzinie 20.00 CSE+1. Analizowane ciągi danych meteorologicznych są krótkie,



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych na tle form pokrycia terenu

1 – lasy i parki, 2 – zabudowa rozproszona, 3 – zabudowa zwarta, 4 – rzeki i zbiorniki wodne, 5 – wzniesienia, 6 – drogi, 7 – linie kolejowe; punkty pomiarowe: 8 – w terenie zamiejskim, 9 – w obrębie zabudowy, 10 – w terenach rekreacyjnych; szczegółowy opis lokalizacji punktów w tekście

Location of measurement points and land cover of their surroundings

1 – forests and parks; 2 – discontinuous urban fabric; 3 – continuous urban fabric; 4 – rivers and reservoirs; 5 – summits; 6 – roads; 7 – railways; measurement points: 8 – located outside of the city, 9 – located within built-up areas, 10 – located within recreation areas; detailed description in the text

o różnej długości w poszczególnych punktach pomiarowych – od 10 pomiarów codziennych z jednego dnia na wierzcholinie Pasma Dymińskiego do 100 pomiarów codziennych z 7 dni w punktach zlokalizowanych przy brzegu Zalewu Kieleckiego i obok dworca PKP.

Przyrządy pomiarowe umieszczone były na różnych wysokościach. Na stacji meteorologicznej IMGW-PIB Kielce-Suków znajdowały się na standardowej wysokości 2,0 m n.p.g., w trakcie pomiarów topoklimatycznych – na wysokości 1,3 m n.p.g., zaś na stacji pomiarowej WIOŚ przy ul. Jagiellońskiej – na wysokości 3,5 m n.p.g. Wysokość, na której umieszczono przyrządy pomiarowe na stacji IMGW-PIB i w trakcie pomiarów topoklimatycznych, choć różna, jest zgodna z wymogami WMO (Guide to ... 2008). Wysokość, na której umieszczono czujniki pomiarowe na stacji WIOŚ w Kielcach wykracza poza suge-

rowany przez WMO zakres. Niemniej gradient termiczny powyżej wysokości 2 m jest mniejszy niż przy powierzchni ziemi; założono zatem, że wartości temperatury powietrza na wysokości 2 m i 3,5 m n.p.g. nie różnią się znacząco.

Jak już wspomniano, warunki klimatycznego tła pozamiejskiego reprezentowały dane ze stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Kielcach-Sukowie (punkt nr 1 na rys. 1). Warunki klimatu miasta przeanalizowano na podstawie danych meteorologicznych z punktu monitoringu powietrza WIOŚ zlokalizowanego przy ul. Jagiellońskiej (punkt nr 2 na rys. 1) oraz z trzech punktów pomiarów topoklimatycznych położonych w sąsiedztwie dworca PKP (punkt nr 3 na rys. 1), na Placu Wolności (punkt nr 4) oraz w sąsiedztwie Wojewódzkiego Szpitala Zespołowego (blisko punktu nr 2). Punkt nr 2 zlokalizowano w obrębie wysokiej zabudowy luźnej, punkty 3 i 4 – na placach położonych wewnątrz obszaru zabudowy zwartej. Pomiaru w tych punktach prowadzono nad sztuczną powierzchnią czynną. Obszary rekreacyjne Kielc reprezentowane były przez stanowiska położone w parku miejskim (punkt nr 5 na rys. 1), nad zalewem wodnym (punkt nr 6), w rezerwacie przyrody w dawnym kamieniołomie (punkt nr 7) oraz na wierzchołku Pasma Dymińskiego, blisko szczytu Telegraf wznoszącego się nad Kielcami (punkt nr 8 na rys. 1). Powierzchnia czynna w punktach pomiarowych zlokalizowanych w obszarach rekreacyjnych Kielc była naturalna – przeważnie trawiasta, cho-

ciaż dno nieczynnego kamieniołomu Wietrznia było nierównomiernie porośnięte trawą.

W ocenie uciążliwości pogody gorącej i upalnej posłużono się wskaźnikiem WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), wyrażonym w °C. W wersji oryginalnej WBGT oblicza się na podstawie wartości temperatury powietrza zmierzonych: umieszczonym w cieniu termometrem suchym oraz termometrem zwilżonym i poczernionym termometrem kulistym, pozostającymi pod wpływem promieniowania słonecznego (Błażejczyk, Kunert 2011). W niniejszym opracowaniu wykorzystano uproszczoną formułę australijskiej służby meteorologicznej, pozwalającą obliczyć wartość WBGT według wzoru (http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/):

$$WBGT (°C) = 0,567 * t + 0,393 * e + 3,94, \quad (1)$$

gdzie:

- t – temperatura powietrza (°C),
- e – ciśnienie pary wodnej (hPa).

Australijska służba meteorologiczna opracowała schemat wiążący wartości WBGT z dopuszczalną aktywnością fizyczną (tab. 1). Uwzględniony wskaźnik wykorzystywany był w Polsce do oceny warunków pracy w środowisku gorącym (np. Sudol-Szopińska i in. 2006), obciążeń termicznych sportowców (Błażejczyk, Szyguła 2004) oraz biometeorologicznych warunków wypoczynku (np. Chojnacka-Ożga, Ożga 2013).

Tabela 1

WBGT i dopuszczalna aktywność fizyczna (Błażejczyk, Kunert 2011)

WBGT and acceptable physical activity (Błażejczyk, Kunert 2011)

WBGT (°C)	Dopuszczalna aktywność fizyczna / Acceptable physical activity
≤18,0	nieograniczona unlimited
18,1–23,0	mogą wystąpić objawy stresu cieplnego, należy zachować ostrożność thermal stress can occur, a caution is recommended
23,1–28,0	osoby niezaaklimatyzowane powinny zaprzestać intensywnej aktywności fizycznej unadapted persons should stop intensive physical activity
28,1–30,0	osoby niezaaklimatyzowane powinny zaprzestać wszelkiej aktywności fizycznej unadapted persons should stop any physical activity
>30,0	wszystkie osoby powinny zaprzestać wszelkiej aktywności fizycznej all persons should stop any physical activity

W niniejszej pracy obliczono różnice pomiędzy temperaturą powietrza i wartościami wskaźnika WBGT na poszczególnych stanowiskach. W pierwszej kolejności porównano warunki bioklimatyczne na pozamiejskiej stacji referencyjnej (Kielce-Suków – nr 1) i na stacji miejskiej, zlokalizowanej przy ul. Jagiellońskiej (nr 2). Dzięki temu określono charakter i natężenie modyfikacji warunków termicznych i biotermicznych w mieście, obserwowane w dniach gorących i upalnych. Następnie, bazując na wynikach pomiarów topoklimatycznych, porównano warunki panujące w ob-

zowanej przy ul. Jagiellońskiej (nr 2). Dzięki temu określono charakter i natężenie modyfikacji warunków termicznych i biotermicznych w mieście, obserwowane w dniach gorących i upalnych. Następnie, bazując na wynikach pomiarów topoklimatycznych, porównano warunki panujące w ob-

rębie zabudowy z tymi w obszarach rekreacyjnych Kielc. Zestawiono temperaturę powietrza i wartości WBGT odpowiednio: w otoczeniu Zbiornika Kieleckiego i w sąsiedztwie dworca PKP, w parku miejskim i na Placu Wolności oraz w kamieniołomie Wietrznia oraz na wzniesieniu Telegraf i na stacji WIOŚ przy ul. Jagiellońskiej.

Należy zaznaczyć, że w opracowaniach topoklimatycznych przyjęte jest zestawianie wyników obserwacji z poszczególnych stanowisk pomiarowych z wynikami z punktu referencyjnego, najlepiej najbliższej stacji meteorologicznej (Paszyński i in. 1999). W niniejszym opracowaniu byłaby to stacja meteorologiczna IMGW-PIB w Kielcach-Sukowie. Uznano jednak, że porównanie warunków panujących w terenach rekreacyjnych z tymi w obszarach zabudowanych dostarczy bardziej wartościowych informacji, lepiej służąc osiągnięciu celu pracy.

Określono też warunki cyrkulacyjne w dniach, w których różnice temperatury powietrza pomiędzy analizowanymi punktami były największe. Wykorzystano w tym celu różne źródła: kalendarz sytuacji cyrkulacyjnych dla południowej Polski (Niedźwiedz 2013), kalendarz Grosswetterlagen (klasyfikacja obiektywna, której kalendarz dostępny jest na stronie internetowej Deutscher Wetterdienst – [https://www.dwd.de/...](https://www.dwd.de/)), komentarze synoptyka towarzyszące numerycznej prognozie pogody opracowanej w Interdyscyplinarnym Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego UW (<http://www.meteo.pl>) oraz mapy synoptyczne brytyjskiej MetOffice (<http://www.wetterzentrale.de>).

Istotność statystyczną różnic średnich wartości temperatury powietrza i wskaźnika WBGT z poszczególnych punktów oceniono testem t-Studenta dla ciągów danych o rozkładach zbliżonych do rozkładu normalnego i testem U Manna-Whitneya dla ciągów danych niespełniających kryterium normalności rozkładu. Normalność rozkładu większości analizowanych ciągów liczbowych sprawdzono testem Shapiro-Wilka. Jedyne dla serii danych ze stacji IMGW-PIB Kielce-Suków i stacji WIOŚ przy ul. Jagiellońskiej zastosowano test Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lilleforsa, z racji dużej liczebności danych, przekraczającej 2000 przypadków.

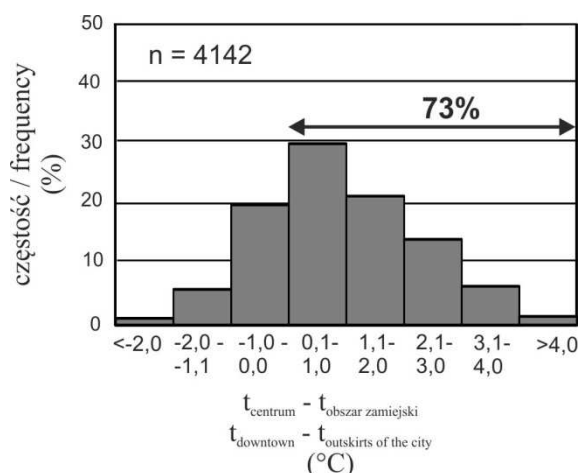
Określono też rozkład częstości obliczonych różnic temperatury powietrza, jak również to, jak często występowały wartości WBGT z przedziałów powiązanych z sugerowanymi ograniczeniami aktywności fizycznej.

Wyniki

Wstępem do oceny warunków biometeorologicznych obszarów rekreacyjnych Kielc była analiza wybranych charakterystyk klimatu centrum miasta na tle klimatu obszaru pozamiejskiego. Porównywane wartości temperatury powietrza i wskaźnika WBGT na stacji meteorologicznej IMGW-PIB w podkieleckim Sukowie oraz na stacji WIOŚ, zlokalizowanej w centrum Kielc (nr 2 na rys. 1), pochodziły ze 178 dni gorących i upalnych z okresu 2012–2015. Dni takie występowały wówczas w Kielcach najwcześniej w ostatniej dekadzie kwietnia, a najpóźniej w ostatniej dekadzie września.

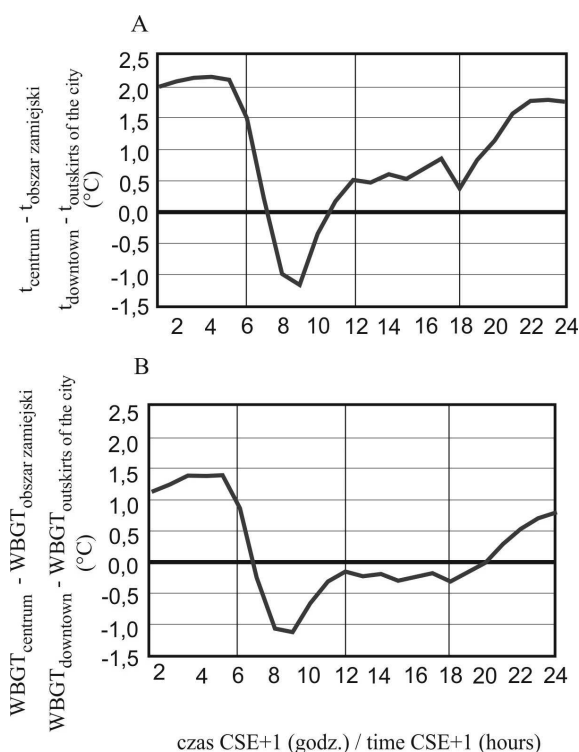
Temperatura powietrza na stacji położonej w centrum Kielc, przy ul. Jagiellońskiej (punkt nr 2 na rys. 1), była w analizowanych dniach średnio wyższa o $0,9^{\circ}\text{C}$ w porównaniu ze stacją pozamiejską – zlokalizowaną w Sukowie (punkt nr 1 na rys. 1). Różnica ta jest w świetle wartości testu U Manna-Whitneya istotna statystycznie na poziomie 0,05. Wśród analizowanych różnic termicznych przeważały ($> 70\%$ przypadków) sytuacje, w których w centrum miasta było cieplej (rys. 2). Najczęściej różnice termiczne nie były jednak duże; aż w 30% obserwacji w punkcie przy ul. Jagiellońskiej było cieplej niż w Sukowie, nie więcej niż o $1,0^{\circ}\text{C}$ (rys. 2). Największa różnica temperatury powietrza na korzyść obszaru zabudowanego wynosiła w analizowanych dniach $4,9^{\circ}\text{C}$ (30 kwietnia 2012 roku, o godzinie 3.00 CSE+1). W dniu tym panowała pogoda wyżowa, z napływem mas powietrza z południowego zachodu (Niedźwiedz 2013). Niemniej jednak w ponad 25% przypadków wyższą temperaturę powietrza rejestrowano poza miastem (rys. 2). Maksymalna różnica temperatury powietrza na korzyść Sukowa wynosiła $3,3^{\circ}\text{C}$. Sytuacja taka wystąpiła 28 sierpnia 2015 roku, o godzinie 9.00 CSE+1. Występowała wtedy pogoda wyżowa z napływem mas powietrza z południowego wschodu (<http://www.meteo.pl>, <https://www.dwd.de>).

Różnice termiczne pomiędzy centrum (w punkcie nr 2 na rys. 1) a obszarem pozamiejskim (w punkcie nr 1 na rys. 1) wykazują wyraźną zmienność w przebiegu dobowym (rys. 3). Największe różnice temperatury powietrza na korzyść centrum miasta (punkt nr 2 na rys. 1) występowały w analizowanych dniach w godzinach nocnych i wczesnych godzinach rannych. W godzinach 2.00–5.00 CSE+1 centrum miasta było cieplejsze od obszaru pozamiejskiego (punkt nr 1 na rys. 1) średnio o $2,1\text{--}2,2^{\circ}\text{C}$ (rys. 3A). W godzinach okołopołudniowych i popołudniowych różnice były



Rys. 2. Rozkład częstości różnic pomiędzy temperaturą powietrza w centrum Kielc (punkt nr 2 na rys. 1) i w obszarze pozamiejskim (punkt nr 1 na rys. 1)

Frequency distribution of differences between air temperature in the downtown of Kielce (point number 2 in Fig. 1) and in outskirts of the city (point number 1 in Fig. 1)



Rys. 3. Przebieg dobowy różnic temperatury powietrza (A) i wskaźnika WBGT (B) pomiędzy centrum Kielc (punkt nr 2 na rys. 1) a obszarem pozamiejskim (punkt nr 1 na rys. 1)

Diurnal course of differences between air temperature (A) and WBGT (B) in the downtown of Kielce (point number 2 in Fig. 1) and outskirts of the city (point number 1 in Fig. 1)

mniejsze – w centrum było cieplej niż poza miastem średnio o 0,5–1,0°C. W godzinach przedpołudniowych (8.00–10.00 CSE+1) to właśnie w Sukowie z reguły było cieplej niż w centrum Kielc (rys. 3A). Wiązać to można z mniej dynamicznym wzrostem temperatury powietrza w terenie zabudowanym w warunkach silnie przesłoniętego widnokręgu. Wartości temperatury powietrza przekraczające 25,0°C pojawiały się w Kielcach i na ich peryferiach w badanym okresie w godzinach 8.00–24.00 CSE+1, a wartości przekraczające 30,0°C – w godzinach 11.00–21.00 CSE+1. Centrum Kielc jest w tych godzinach cieplejsze od peryferii miasta o 0,6–0,7°C, mniej niż średnio w całej dobie.

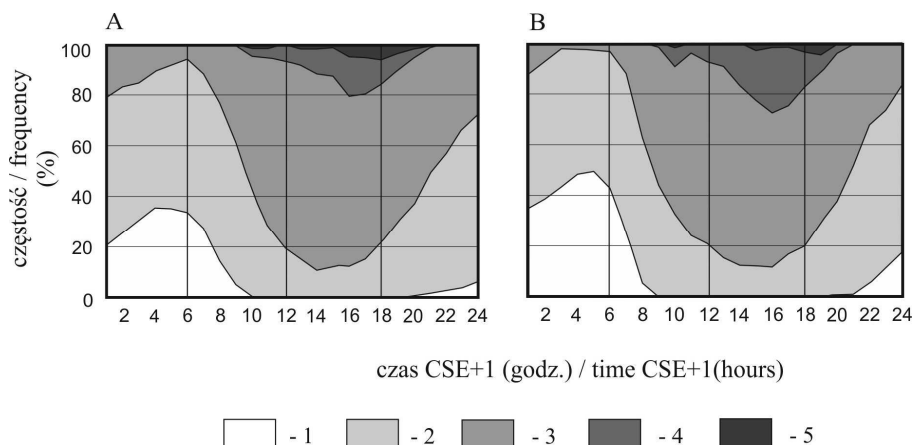
W analizowanych dniach wartości wskaźnika WBGT były w centrum Kielc (w punkcie nr 2 na rys. 1) wyższe w porównaniu z Sukowem średnio o 0,2°C (różnica istotna statystycznie na poziomie 0,05). Sytuacje, w których w centrum miasta wartości WBGT były wyższe niż na peryferiach, stanowiły ok. połowy przypadków. Widać więc, że o ile temperatura powietrza w dniach gorących i upalnych jest w centrum Kielc wyraźnie wyższa niż na peryferiach miasta, o tyle warunki biometeorologiczne w tych dwóch miejscach, w świetle wartości WBGT, niewiele się różnią. Małe różnice wartości WBGT pomiędzy centrum Kielc i ich peryferiami wynikają z tego, że oddziaływanie wyższej w centrum miasta temperatury powietrza równoważy wyższa w terenie pozamiejskim wilgotność powietrza. Ciśnienie pary wodnej w Sukowie było wyższe w porównaniu z centrum miasta średnio o 0,8 hPa.

Podobnie jak w przypadku temperatury powietrza, różnice wartości WBGT pomiędzy centrum miasta i obszarem pozamiejskim wyraźnie zmieniały się w cyklu dobowym. Wartości wskaźnika WBGT były wyższe w centrum Kielc w godzinach od 20.00 do 7.00 CSE+1. W godzinach przedpołudniowych (7.00–11.00 CSE+1) wartości WBGT były wyższe poza miastem. W pozostałej części doby (w południe i po południu) wartości wskaźnika w obu punktach były podobne (rys. 3B).

W ciągu doby, w dniach gorących i upalnych, w Kielcach przeważały (ok. 80% przypadków) wartości WBGT z przedziału 18,1–28,0°C (rys. 4). W takich warunkach mogą wystąpić objawy stresu cieplnego, ale nie ma potrzeby przerywania aktywności fizycznej (tab. 1). Wartości WBGT z zakresu powyżej 28,0°C, z którymi wiąże się konieczność zaprzestania wysiłku, stanowiły ok. 5,0–7,5% analizowanych przypadków. Występowały one łącznie w 65 spośród 178

analizowanych dni gorących i upalnych z okresu 2012–2015. Warunki takie obserwowano w godzinach od 9.00 do 21.00 CSE+1, z maksimum o 16.00, gdy udział takich sytuacji wzrastał do 20–27% (rys. 4). Występowanie wartości wskaźnika WBGT przekraczających 28,0°C było nieco częstsze w Sukowie niż w centrum miasta (w punkcie nr 2 na rys. 1). Z drugiej strony to

właśnie w centrum części rejestrowano wartości WBGT przekraczające 30,0°C, w których to sytuacjach wszyscy powinni zaprzestać aktywności fizycznej (rys. 4A). Na stacji przy ul. Jagiellońskiej sytuacji z wartościami wskaźnika WBGT przekraczającymi 30,0°C występowały w badanym okresie w 31 dniach, trwając łącznie 47 godzin (najdłużej 29.07.2013 roku – 4 godziny).



Rys. 4. Przebieg dobowy częstości klas wskaźnika WBGT w dniach gorących i upalnych

1 – < 18,0°C, 2 – 18,1–23,0°C, 3 – 23,1–28,0°C, 4 – 28,1–30,0°C, 5 – > 30,0°C, związanych z dopuszczalną aktywnością fizyczną: A – centrum Kielce (punkt nr 2 na rys. 1), B – obszar pozamiejski (punkt nr 1 na rys. 1)

Diurnal course of occurrence frequency of WBGT classes during hot and very hot days

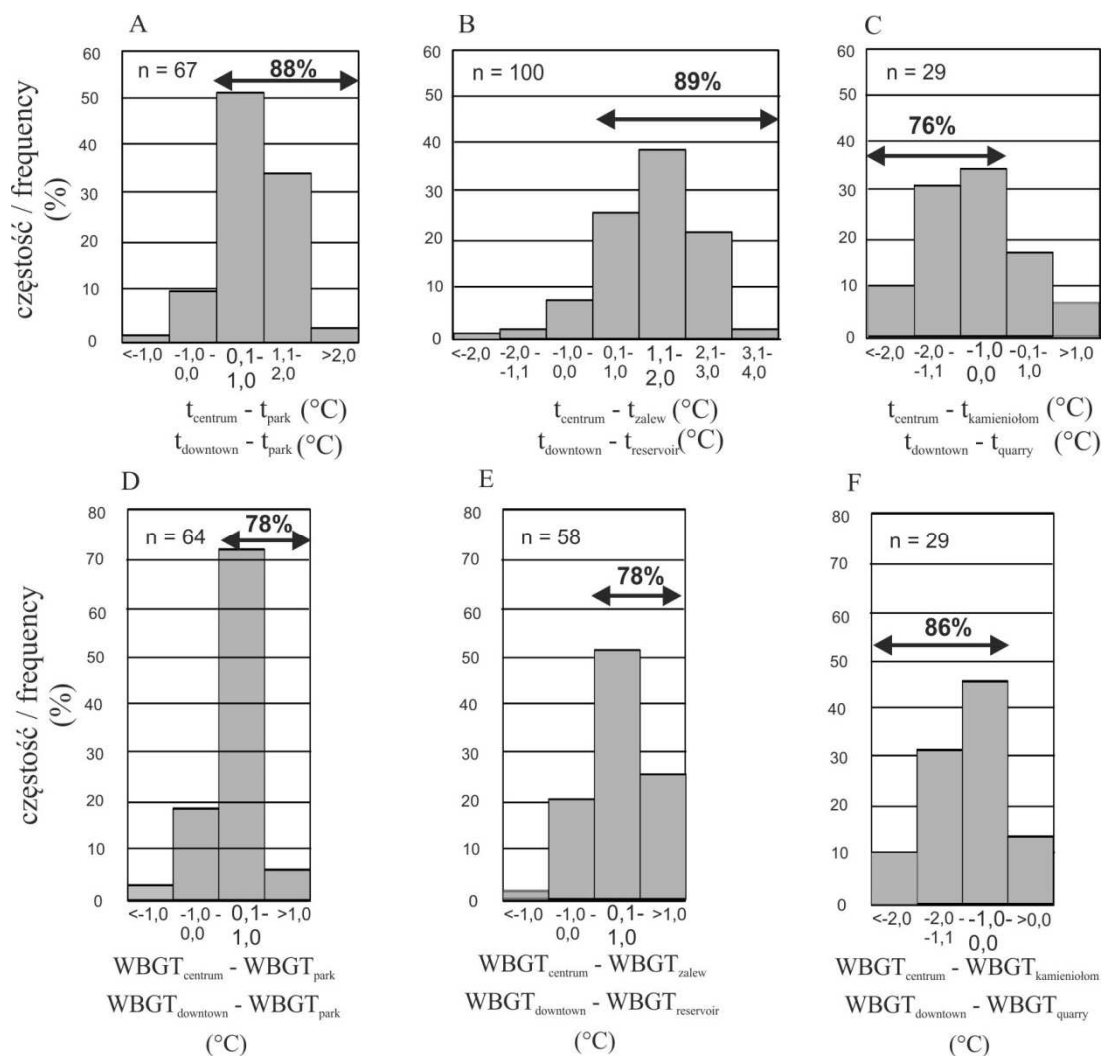
1 – < 18.0°C, 2 – 18.1–23.0°C, 3 – 23.1–28.0°C, 4 – 28.1–30.0°C, 5 – > 30.0°C, relating to acceptable physical activity: A – downtown of Kielce (point number 2 in Fig. 1), B – outskirts of the city (point number 1 in Fig. 1)

Punkt pomiarowy WIOŚ przy ul. Jagiellońskiej (nr 2 na rys. 1) znajduje się w obrębie wysokiej, rozproszonej zabudowy, nie zaś wśród zabudowy zwartej ścisłego centrum Kielce. W lipcu 2000 roku przeprowadzono pomiary topoklimatyczne w obu typach zabudowy. Stanowisko pomiarowe zlokalizowane przy Wojewódzkim Szpitalu Zespolonym leżało w sąsiedztwie wielokondygnacyjnych budynków mieszkalnych, blisko punktu pomiarowego WIOŚ (punkt nr 2 na rys. 1). Kolejne stanowisko położone było na placu przy dworcu PKP (punkt nr 3). W ciągu dwóch dni gorących, które wystąpiły w trakcie wspomnianej serii pomiarów topoklimatycznych, temperatura powietrza w punkcie położonym przy dworcu PKP była w godzinach 6.00–19.00 CSE+1 wyższa średnio o 0,7°C niż na stanowisku przy szpitalu wojewódzkim. Można więc przypuszczać, że różnice termiczne pomiędzy obszarem zwartej zabudowy w ścisłym centrum, a terenami zamieszkimi, są nieco większe niż sugeruje porównanie wartości z Sukowa (punkt nr 1 na rys. 1) i punktu pomiarowego WIOŚ przy ul. Jagiellońskiej (punkt nr 2 na rys. 1).

Mieszkańcy Kielce mają możliwość korzystania z licznych terenów rekreacyjnych. W centrum miasta znajduje się prawie 8-hektarowy park miejski im. S. Staszica (punkt nr 5 na rys. 1). Porastający go starodrzew zacieńa alejki parkowe. W efekcie w parku, w ciągu gorących letnich dni, jest zwykle chłodniej niż w obrębie zwartej zabudowy miejskiej. Temperaturę powietrza w parku miejskim porównano z temperaturą na Placu Wolności (punkt nr 4 na rys. 1), gdzie dominuje podłóż sztuczne. W analizowanych dniach w miejskim parku było średnio o 0,8°C chłodniej niż na Placu Wolności (różnica nieistotna statystycznie na poziomie 0,05). W 88% obserwacji w parku było chłodniej niż na placu (rys. 5A). Największa różnica temperatury powietrza pomiędzy tymi miejscami wynosiła 2,9°C (w parku było chłodniej), zarejestrowano ją w dniu 4 lipca 2000 roku o godzinie 15.00 CSE+1. Wyżyna Kielecka znajdowała się tego dnia w ciepłym wycinku niżu, napływały zwrotnikowe masy powietrza z południowego zachodu (Niedźwiedź 2013, <http://www.wetterzentrale.de>). W przypadku wartości WBGT różnice pomiędzy parkiem i placem miejskim były mniej-

sze (śr. $0,3^{\circ}\text{C}$). W 78% obserwacji wartości WBGT były w parku niższe niż na placu (rys. 5D). W ciągu czterech dni gorących, w których prowadzono jednocześnie pomiary w parku i na Placu Wolności, najwyższe zarejestrowane wartości

WBGT zawierały się w przedziale $23,1\text{--}28,0^{\circ}\text{C}$. Odpowiadają one warunkom, w których aktywność fizyczną powinny ograniczyć osoby niezaaklimatyzowane. Sytuacje takie występowały z podobną częstością w parku i na Placu Wolności.



Rys. 5. Rozkład częstości różnic pomiędzy temperaturą powietrza (A, B, C) i wskaźnikiem WBGT (D, E, F) w centrum Kielc (punkty nr 2, 3 i 4 na rys. 1) oraz w Parku im. S. Staszica – punkt nr 5 na rys. 1 (A, D), w otoczeniu Zalewu Kieleckiego – punkt nr 6 na rys. 1 (B, E) i w dniu nieczynnego kamieniołomu Wietrznia – punkt nr 7 na rys. 1 (C, F)

Frequency distribution of differences between air temperature (A, B, C) and WBGT (D, E, F) in the downtown of Kielce (points number 2, 3 and 4 in Fig. 1) and S. Staszic Park – point number 5 in Fig. 1 (A, D), Kielce Reservoir – point number 6 in Fig. 1 (B, E) and the bottom of the former Wietrznia quarry – point number 7 in Fig. 1 (C, F)

Ważnym miejscem wypoczynku mieszkańców Kielc są tereny zielone zlokalizowane w dolinie Silnicy, w tym otoczenie 9-hektarowego Zalewu Kieleckiego (punkt nr 6 na rys. 1). W 7 dniach gorących i upalnych, które wystąpiły w trakcie pomiarów topoklimatycznych prowadzonych w Kielcach latem w 2000 i 2001 roku

temperatura powietrza w otoczeniu zbiornika wodnego była średnio o $1,4^{\circ}\text{C}$ niższa niż w okolicach dworca PKP (punkt nr 3 na rys. 1). Różnica ta jest istotna statystycznie na poziomie 0,05. W 89% obserwacji nad zalewem było chłodniej niż na placu dworcowym (rys. 5B). Najczęściej występowały różnice z przedziału $1,1\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$,

a największa obliczona różnica wynosiła $3,7^{\circ}\text{C}$ (nad zalewem było wtedy chłodniej). Sytuacja ta miała miejsce 6 lipca 2001 roku, o godzinie 20.00 CSE+1. Pogodę nad Polską kształtował w tym dniu klin wysokiego ciśnienia (Niedźwiedz 2013). W przypadku wartości WBGT różnice pomiędzy otoczeniem zalewu i placem dworcowym były mniejsze (średnio $0,5^{\circ}\text{C}$). W 78% obserwacji w sąsiedztwie zalewu wartości wskaźnika WBGT były niższe w porównaniu z placem dworcowym (rys. 5E). Tylko raz na obydwu rozpatrywanych stanowiskach wystąpiła wartość WBGT przekraczająca $28,0^{\circ}\text{C}$, co odpowiada warunkom biometeorologicznym, w których osoby niezaaklimatyzowane powinny zaprzestać aktywności fizycznej. Miało to miejsce w dniu 7 lipca 2001 roku w godzinach popołudniowych. W dniu tym nad Polskę napływały masy powietrza z południa, napływem tych mas sterował niż z centrum nad Niemcami (<http://www.wetterzentrale.de>, <https://www.dwd.de>).

Mniejsze zróżnicowanie wartości WBGT w porównaniu z warunkami termicznymi wynika z większej wilgotności powietrza w parku i nad zalewem niż w obszarach gęstej zabudowy miejskiej. Dotyczy to zwłaszcza otoczenia zbiornika wodnego, nad którym ciśnienie pary wodnej było średnio o $0,8\text{ hPa}$ wyższe niż w okolicach dworca PKP.

Obiektami geoturystycznymi często odwiedzanymi przez mieszkańców Kielc i turystów są nieczynne kamieniołomy. Jednym z nich jest kamieniołom Wietrznia (punkt nr 7 na rys. 1), w którym przeprowadzono kilka serii pomiarów topoklimatycznych latem 2012 i 2015 roku. Inaczej niż w przypadku parku miejskiego i otoczenia Zalewu Kieleckiego (punkty nr 5 i 6 na rys. 1) obszar byłego kamieniołomu Wietrznia był cieplejszy niż centrum miasta (w punkcie nr 2 na rys. 1). Dno kamieniołomu było cieplejsze od obszaru zabudowanego o $0,7^{\circ}\text{C}$ (różnica nieistotna statystycznie na poziomie $0,05$). Na dnie kamieniołomu było cieplej niż w centrum miasta aż w 75% obserwacji (rys. 5C). Największa obliczona różnica termiczna pomiędzy dnem kamieniołomu a centrum miasta wynosiła $3,6^{\circ}\text{C}$ (w kamieniołomie było cieplej). Sytuacja ta miała miejsce 7 czerwca 2015 roku o godzinie 8.00 CSE+1. W dniu tym nad Polską występowała pogoda wyżowa, z napływem mas powietrza z południowego zachodu (<http://www.meteo.pl>, <https://www.dwd.de>). Wyższa temperatura powietrza w byłym kamieniołomie w porównaniu z centrum miasta wiąże się z charakterem podłoża i pokryciem terenu. Dno kamieniołomu porasta skąpa roślin-

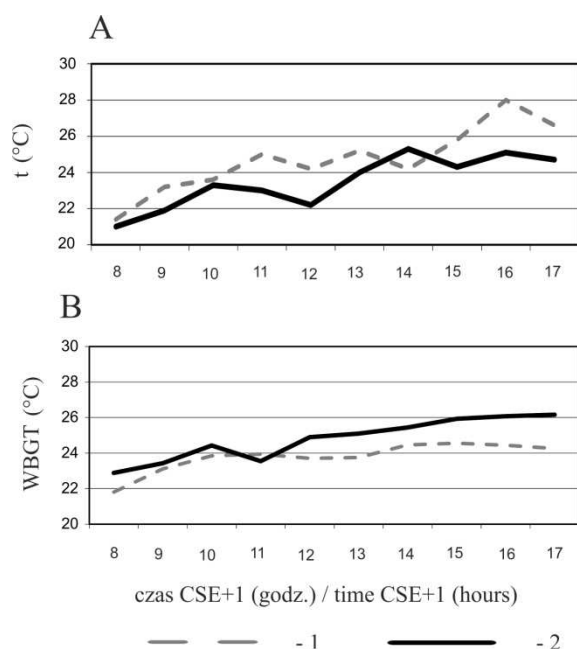
ność, w wielu miejscach występuje nieporośnięty grunt, odsłaniają się nagie skały budujące również ściany kamieniołomu. Ponadto widnokrąg w dnie kamieniołomu jest mniej przesłonięty niż pomiędzy budynkami. Sprzyja to silnemu nagrzewaniu się powierzchni ziemi i powietrza atmosferycznego w ciągu dnia. Większa wilgotność powietrza niż w centrum miasta powoduje, że różnice wartości WBGT pomiędzy obszarem zabudowanym a dnem kamieniołomu są większe niż w przypadku temperatury powietrza (śr. $0,9^{\circ}\text{C}$). Aż w 86% obserwacji w byłym kamieniołomie występowały wyższe wartości wskaźnika WBGT w porównaniu z zabudowanym centrum miasta (rys. 5F). Wartości WBGT przekraczające $28,0^{\circ}\text{C}$, odpowiadające występowaniu warunków biometeorologicznych, w których osoby niezaaklimatyzowane powinny zaprzestać aktywności fizycznej, były jednak równie częste w kamieniołomie, jak i w centrum miasta.

Miasto otaczają niewysokie pasma Gór Świętokrzyskich, zachęcające do pieszych wędrówek. Najwyższym wzniesieniem jest Telegraf (408 m n.p.m.). Dotychczas wykonano na nim tylko jedną serię pomiarów topoklimatycznych – dnia 14 czerwca 2015 roku, w terenie otwartym, przy górnym końcu narciarskiej trasy zjazdowej (punkt nr 8 na rys. 1). W dniu tym obserwowano napływ gorących mas powietrza z południa, przed przesuwającym się z zachodu chłodnym frontem atmosferycznym (<https://www.dwd.de>, <http://www.wetterzentrale.de>). Różnica wysokości pomiędzy tym stanowiskiem a punktem pomiarowym WIOŚ w centrum Kielc (punkt nr 2 na rys. 1) wynosi około 125 m . W godzinach od 8.00 do 17.00 CSE+1 na Telegrafie było średnio o $0,6^{\circ}\text{C}$ chłodniej niż w centrum Kielc, ale wskaźnik WBGT był tam średnio wyższy o $1,0^{\circ}\text{C}$ (efekt wyższego ciśnienia pary wodnej – średnio o $3,5\text{ hPa}$) – rys. 6.

W analizowanym dniu już od godziny 9.00 CSE+1 na Telegrafie występowały wartości WBGT przekraczające $23,0^{\circ}\text{C}$, odpowiadające warunkom biometeorologicznym, w których osoby niezaaklimatyzowane powinny ograniczyć aktywność fizyczną.

Dyskusja i wnioski

W dniach z maksymalną dobową temperaturą powietrza przekraczającą $25,0^{\circ}\text{C}$ średnia wartość różnicy temperatury powietrza pomiędzy centrum Kielc a obszarem pozamiejskim wyniosła $0,9^{\circ}\text{C}$. Można ją zarazem traktować jako



Rys. 6. Przebieg temperatury powietrza (A) i wartości wskaźnika WBGT (B) w centrum Kielc (1 – punkt nr 2 na rys. 1) i na wierzchołku Pasma Dymińskiego (2 – punkt nr 8 na rys. 1) w dniu 14 czerwca 2015 roku

Diurnal course of air temperature (A) and WBGT (B) in the downtown of Kielce (1 – point number 2 in Fig. 1) and a summit of the Dymińskie Range (2 – point number 7 in Fig. 1) on 14 June 2015

przeciętną intensywność kieleckiej miejskiej wyspy ciepła (MWC) w dniach gorących. Wartość ta zależy m.in. od wielkości Kielc, wyrażonej liczbą ludności oraz powierzchni obszaru zajętego przez użytkowanie mieszkaniowe, transportowe, produkcyjne i usługowe – z silnie przekształconą powierzchnią czynną. Potwierdzają to wyniki pomiarów z innych polskich miast. W Warszawie, której populacja jest ponad 8 razy większa niż Kielc, a powierzchnia z silnie przekształconym podłożem prawie 7 razy, średnia intensywność MWC wynosi latem $2,0^{\circ}\text{C}$ (Błażejczyk i in. 2014). W Stargardzie (liczba ludności ponad 2,5 razy mniejsza, a powierzchnia obszarów z silnie przekształconym podłożem ok. 1,7 razy mniejsza), średnia intensywność miejskiej wyspy ciepła wyniosła $0,65^{\circ}\text{C}$ latem 2012 roku (Szyłobryt i in. 2013).

Wartości temperatury powietrza przekraczające $25,0^{\circ}\text{C}$ występowały w centrum Kielc w godzinach od 9.00 do 24.00 CSE+1, zaś wartości temperatury przekraczające $30,0^{\circ}\text{C}$ w godzinach od 11.00 do 21.00 CSE+1. W podkieleckim Sukowie okres, w którym obserwowano

przekraczanie powyższych progów termicznych, był przesunięty o około jedną godzinę wstecz. W godzinach tych różnice pomiędzy temperaturą powietrza w centrum Kielc a poza miastem są mniejsze niż w nocy. W Warszawie, w daytime porze doby, często obserwowano nawet zanik miejskiej wyspy ciepła (Błażejczyk i in. 2014). W dużych miastach położonych w strefie klimatów podzwrotnikowych, z bardzo gęstą i wysoką zabudową, takich jak np. Hongkong, występowanie w ciągu dnia niższej temperatury powietrza w centrum niż na peryferiach jest częstym zjawiskiem. Określa się je jako miejską wyspę chłodu (np. Yang i in. 2016). W Kielcach owe zjawisko jest typowe dla godzin przedpołudniowych.

W dni gorące i upalne temperatura powietrza na terenach rekreacyjnych Kielc była z reguły niższa niż w obrębie zabudowy miejskiej. Wyjątkiem jest otoczenie kieleckich kamieniołomów, gdzie notowana temperatura była przeważnie wyższa niż w centrum miasta. Dlatego w dni gorące i upalne nie zaleca się wycieczek w te miejsca, gdyż eskapady mogą okazać się zbyt wyczerpujące, a nawet niebezpieczne dla zdrowia.

Wyraźnie chłodniej niż w centrum miasta jest nad Zalewem Kieleckim (śr. $1,4^{\circ}\text{C}$). Nieco mniejsze różnice termiczne występowały pomiędzy centrum miasta a miejskim parkiem (w parku jest średnio o $0,8^{\circ}\text{C}$ chłodniej) i otaczającymi miasto wzniesieniami (jest tam chłodniej niż w centrum średnio o $0,7^{\circ}\text{C}$).

Zjawisko obniżenia temperatury powietrza w parkach miejskich w porównaniu z terenami zabudowanymi jest znane od dawna i opisane m.in. przez Kossowską (1978) czy Oke'a i współpracowników (1989). Parki miejskie określa się nawet jako miejskie jeziora chłodu i wilgoci (Kuchcik, Baranowski 2011). Bowler i in. (2010) podają w swoim przeglądowym studium, opartym o analizę 26 przypadków, że parki miejskie są w daytime części doby średnio o $0,94^{\circ}\text{C}$ chłodniejsze od przyległych obszarów miejskich. Autorzy podają też, że najsilniej temperatura powietrza jest obniżona w porównaniu z obszarami zabudowanymi w parkach dużych i porośniętych drzewami. Porównanie temperatury powietrza latem w Warszawie – w ogrodzie zoologicznym i na terenie Uniwersytetu Warszawskiego (Kossowska 1978) wskazało, że w obszarze zieleni miejskiej była ona niższa o ok. $0,6\text{--}0,9^{\circ}\text{C}$ niż w centrum. Przytoczona wartość dotyczy jednak całej doby, w ciągu dnia różnice były mniejsze. Różnica pomiędzy temperaturą

powietrza w kieleckim Parku im. S. Staszica i na Placu Kolejowym jest podobna do podanych powyżej wartości.

Należy pamiętać, że na obszarach rekreacyjnych Kielc (otoczenie zbiorników wodnych i obszary z bujną szatą roślinną) wilgotność powietrza jest wyższa niż w obszarach zabudowanych. W dniach gorących i upalnych, skutkiem podwyższonej wilgotności może być występowanie niebezpiecznego zjawiska parności. Wysoka wilgotność powietrza osłabia wówczas efektywność mechanizmu oddawania ciepła z organizmu do otoczenia dzięki parowaniu. W rezultacie mogą wystąpić trudności z oddychaniem i wzrost obciążenia pracy układu krążenia (Błażejczyk, Kunert 2011). Żarnowiecki (2003) podkreślał szczególnie dużą częstość pogody parnej właśnie nad Zalewem Kieleckim. Również wyniki badań mikroklimatu obszarów zielonych Warszawy wskazują na podwyższoną wilgotność powietrza w parkach i na skwerach miejskich w porównaniu z ulicami i placami. W obrębie obszarów zielonych Warszawy największą wilgotnością powietrza charakteryzowały się tereny bujnie porośnięte roślinnością niską (trawniki i zakrzewienia), zaś wilgotność powietrza pod drzewami była niższa (Kossowska 1978).

Wartości wskaźnika WBGT potwierdzają silny wpływ podwyższonej wilgotności powietrza terenów rekreacyjnych Kielc na warunki biometeorologiczne w warunkach pogody gorącej. Średnie różnice pomiędzy wartościami WBGT w obszarze zabudowanym i na terenach rekreacyjnych były niższe niż w przypadku różnic temperatury powietrza. W odniesieniu do wierzchowiny Pasma Dymińskiego stwierdzono nawet (dane tylko z jednego dnia), że przy niższej temperaturze powietrza wartość WBGT była wyższa niż w centrum miasta. Badania Chuang-Hung Lin i in. (2013) dowiodły, że WBGT dobrze odzwierciedla odczucia ciepłe człowieka. Zatem można stwierdzić, że w warunkach pogody gorącej intensywność oddziaływania bodźców termiczno-wilgotnościowych na organizm człowieka niewiele różni się od tej na terenach rekreacyjnych Kielc i w obszarach zabudowanych. Należy więc nieco inaczej spojrzeć na możliwości wykorzystania terenów rekreacyjnych w trakcie upałów. Przebywając tam, zwłaszcza w cieniu drzew, zmniejszamy stres związany z wysoką temperaturą powietrza i silną insolacją, ale podwyższona wilgotność powietrza powoduje, że powinno się ograniczyć aktywność fizyczną. Upraszczając, odpoczynek pod drzewem na ławce w parku byłby przyjemny i bezpieczny, ale

jogging po parkowych alejkach mógłby okazać się wyczerpujący. Z podobnej przyczyny wyjazd za miasto w trakcie upałów również nie gwarantuje zmniejszenia stresu cieplnego. Stąd też podczas najgorętszej części dnia wskazane jest – zwłaszcza dla osób wrażliwych na takie warunki – przebywanie w klimatyzowanych pomieszczeniach oraz zapewnienie sobie możliwości uzupełniania płynów (Bezpieczne lato ...).

Należy przypomnieć, że przedstawione powyżej wyniki badań bioklimatu Kielc pochodzą z analizy ciągów danych o różnej, często niewielkiej, długości. Obliczone różnice temperatury powietrza pomiędzy obszarami rekreacyjnymi i zabudowanymi Kielc mają więc charakter szacunkowy. Wydaje się jednak, że stwierdzone prawidłowości dotyczące zróżnicowania przestrzennego temperatury powietrza i WBGT są typowe dla okresów występowania pogody gorącej i upalnej w Kielcach. Mogą zatem być wskazówkami dla osób i instytucji planujących bezpieczny dla zdrowia wypoczynek na terenach rekreacyjnych miasta.

Literatura

- Bezpieczne lato. Jak zwyciężyć upały. Poradnik dla opiekujących się osobami starszymi w domach. Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controlle delle Malattie, Ministero della Salute., poradnik dostępny na stronie http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_opuscoliPoster_59_ulterioriallegati_ulterioreallegato_5_alleg.pdf (data dostępu: 15.05.2016)
- Błażejczyk Krzysztof, Anna Kunert. 2011. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Monografie IGiPZ PAN 13. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego. Wyd. 2.
- Błażejczyk Krzysztof, Zbigniew Szyguła. 2004. „Wpływ gorącego otoczenia na zdolność wysiłkową sportowca. Jak przygotować zawodnika do startu w Igrzyskach Olimpijskich w Atenach? *Sport Wyczynowy* 42 (5-6): s. 45-63.
- Błażejczyk Krzysztof, Magdalena Kuchcik, Paweł Milewski, Wojciech Dudek, Beata Kręcisz, Anna Błażejczyk, Jakub Szmyd, Bożena Degórska, Cezary Pałczyński. 2014. Miejska wyspa ciepła w Warszawie: uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, Wydawnictwo Akademickie SEDNO.
- Bowler Diana E., Lisette Buyung-Ali, Teri M. Knight, Andrew S. Pullin. 2010. „Urban greening

- to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence". *Landscape and Urban Planning* 97 (3): 147-155.
- Chojnacka-Ożga Longina, Wojciech Ożga. 2013. „Ocena warunków wypoczynku człowieka nad zbiornikiem wodnym w świetle wybranych wskaźników bioklimatycznych – na przykładzie Zbiornika Sulejowskiego”. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 15 (37/4): 239-244.
- Chuang-Hung Lin, Lin Tzu-Ping, Hwang Ruey-Lung. 2013. „Thermal comfort for urban parks in subtropics: Understanding visitor’s perceptions, behavior and attendance”. *Advances in Meteorology* 2013: 1-8 (<http://dx.doi.org/10.1155/2013/640473> - data dostępu: 8.05.2016).
- Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. 2008. WMO-No. 8, 7th Edition. Genewa: World Meteorological Organization.
- Huynen Maud M. T. E., Pim Martens, Dienneke Schram, Matty P. Weijenberg, Anton E. Kunst. 2001. „The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population”. *Environmental Health Perspectives* 109 (5): 463-470.
- Jarzyna Krzysztof. 2010. Wpływ miasta na odczucie ciepłe człowieka na przykładzie dwóch ekstremalnych zdarzeń pogodowych z 2006 roku. W: Ewa Bednorz, Leszek Kolendowicz (red.) *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*, 121-135. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Jarzyna Krzysztof. 2012. „Zróżnicowanie stresu gorąca na Wyżynie Kieleckiej w czasie fal upałów na początku XXI wieku”. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 13: 41-49.
- Kossowska Urszula. 1978. „Wpływ dużego kompleksu zieleni miejskiej na warunki termiczno-wilgotnościowe (na przykładzie warszawskiego Ogrodu Zoologicznego)”. *Prace i Studia Instytutu Geograficznego UW. Klimatologia* 11: 11-35.
- Kossowska-Cezak Urszula, Jan Skrzypczuk. 2011. „Pogoda upalna w Warszawie (1947–2010)”. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 139-146.
- Kozłowska-Szczęśna Teresa, Barbara Krawczyk, Magdalena Kuchcik. 2004. Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka. Monografie IGiPZ PAN 4. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego.
- Kuchcik Magdalena, Jarosław Baranowski. 2011. „Różnice termiczne pomiędzy osiedlami o różnym udziale powierzchni czynnej biologicznej”. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 365-372.
- Niedźwiedz Tadeusz. 2013. Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy. Sosnowiec: Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii.
- Oke Timothy R., John M. Crowther, Keith G. McNaughton, John L. Monteith, Barry Gardiner. 1989. „The micrometeorology of the urban forest (and discussion)”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences* 324 (1223): 335-349.
- Olszewski Jerzy L., Grzegorz Żarnowiecki, Katarzyna Predyger, Grzegorz Szałach. 2003. „Wstępne wyniki badań bioklimatu terenów rekreacyjnych Kielc w sezonie wiosennym”. W: Krzysztof Błażejczyk, Barbara Krawczyk, Magdalena Kuchcik (red.) *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*. Prace Geograficzne IGiPZ PAN 188: 303-315.
- Paszyński Janusz, Krystyna Miara, Józef Skoczek. 1999. „Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego”. *Dokumentacja Geograficzna* 14: 1-128.
- Sudoł-Szopińska Iwona, Andrzej Sobolewski, Anna Chojnacka. 2006. „Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT – aspekty praktyczne”. *Bezpieczeństwo Pracy* 10: 16-20.
- Szcześniewska Joanna, Joanna Wibig. 2008. The influence of UHI on the intensity and duration of heat waves. W: Kazimierz Kłysik, Joanna Wibig, Krzysztof Fortuniak (red.) *Klimat i bioklimat miast*, 343-352. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Szyłobryt Krzysztof S., Ewa Bednorz, Leszek Kolendowicz. 2013. „Występowanie miejskiej wyspy ciepła w mieście średniej wielkości na przykładzie Stargardu Szczecińskiego”. *Badania Fizjograficzne, R. IV – Seria A, Geografia Fizyczna (A64)*: 247-268.
- Yang Xinyan, Yuguo Li, Zhiwen Luo, Pak Wai Chan. 2016. „The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms”. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.4747.
- Żarnowiecki Grzegorz. 2002. „Zróżnicowanie bioklimatu Kielc w sezonie letnim”. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 3: 109-116.
- Żarnowiecki Grzegorz. 2003. Sultry weather characteristics in Kielce. W: Kazimierz Kłysik, Tim Oke, Krzysztof Fortuniak, Sue Grimmond, Joanna Wibig (red.) *Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September, 2003, Łódź, Poland, Proceedings, Vol. 2*, 119-222. Łódź: Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Łódź, Poland.
- <http://smjp.kielce.pios.gov> (data dostępu: 7.10.2015)
- http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/ (data dostępu: 28.06.2015)
- <http://www.meteo.pl> (data dostępu: 5.06.2016)
- <http://www.ogimet.com> (data dostępu: 10.10.2015)
- <http://www.wetterzentrale.de> (data dostępu: 5.06.2016)

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/wetterlagenklassifikation/wetterlagenklassifikation.html?nn=16102>
(data dostępu: 5.06.2016)

Summary

Thermal and biothermal conditions vary among different land use areas in a city. Recreational areas e.g. parks and the surroundings of reservoirs are cold islands within the urban heat island. Relatively low air temperature in recreation areas is especially important during hot weather which may cause heat stress in humans.

In this study, the variability of the thermal and biometeorological conditions was determined for the city of Kielce and its outskirts during hot ($T_{max} > 25.0^{\circ}\text{C}$) and very hot ($T_{max} > 25.0^{\circ}\text{C}$) days. Special attention was paid to thermal and biothermal conditions in the recreation areas of Kielce, namely S. Staszic Park, the surroundings of the Kielce Reservoir, the nature reserve in a former Wietrznia quarry and a summit of the Dymińskie Range. Recreation areas where heat stress was the lowest in comparison with the downtown of Kielce were pointed out.

The differences between hourly air temperature and WBGT index (wet bulb globe temperature) in the downtown and recreation areas of Kielce as well as city's outskirts were counted. The occurrence frequency of the WBGT classes relating to acceptable physical activity was determined as well. The data comes from selected

hot and very hot days in 2000, 2001 and 2003 as well as all the hot and very hot days in the 2012–2015 period.

The downtown of Kielce was 0.9°C warmer than the outskirts of the city. It is, however, the mean difference and it varied throughout the day. At night and at dawn, the downtown was 2.0 – 2.2°C warmer than the countryside. In the morning the countryside was usually warmer than the downtown as the air temperature rose faster there in comparison with the built-up area. It is an effect of the screening of solar radiation by high buildings within the city.

Most of the examined recreational areas of Kielce were colder than the built-up area of the downtown. The biggest air temperature difference was that one between the center of the city and the surroundings of the Kielce Reservoir. The surroundings of the reservoir were 1.4°C colder than the downtown. Only the former quarries are not suitable for rest during hot weather. Their bottoms are generally warmer than the downtown and hazardous heat stress can occur there during hot and very hot days.

The variability of WBGT turned out to be lower than that one of the air temperature. It resulted from higher humidity and more frequent sultry weather in recreation areas in comparison with the downtown. Therefore, we should limit our physical activity also in the recreation areas of the city of Kielce during hot weather.