



WPŁYW RODZAJU POKRYCIA PODŁOŻA NA PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE STRESU CIEPLNEGO

Renata Kuśmierk-Tomaszewska, Jacek Żarski, Stanisław Dudek
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

IMPACT OF TYPE OF SURFACE COVERAGE ON SPATIAL DIVERSITY OF HEAT STRESS

Streszczenie

W pracy porównano warunki termiczne powietrza w lipcu 2014 roku warunkujące powstawanie stresu cieplnego na obszarach o różnym pokryciu powierzchni – silnie zurbanizowanym (centrum Bydgoszczy), słabo zurbanizowanym (dzielnica peryferyjna Fordon) i użytkowanym rolniczo (Mochełek). Do analizy wykorzystano godzinowe wyniki pomiarów meteorologicznych z trzech automatycznych stacji pomiarowych rejestrujących temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość wiatru i całkowite promieniowanie słoneczne. Porównano wielkości średnie i ekstremalne temperatury powietrza oraz temperatury odczuwalnej (radiacyjno-efektywnej TRE). Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że w analizowanym okresie w centrum miasta wystąpił efekt miejskiej wyspy ciepła. Temperatura powietrza i temperatura odczuwalna (TRE) w centrum Bydgoszczy była wyraźnie wyższa w porównaniu z obszarem peryferyjnym a zwłaszcza w porównaniu z obszarem wiejskim. Liczba dni z odczuciem gorąca w Bydgoszczy była dwukrotnie wyższa niż na porównywanych obszarach peryferyjnym i wiejskim.

Słowa kluczowe: fale upałów, miejska wyspa ciepła, dni charakterystyczne, temperatura odczuwalna

Summary

The paper compares thermal conditions of air in July 2014 generating heat stress in the areas with different surface coverage – highly urbanized (center of Bydgoszcz), poorly urbanized (peripheral Fordon district) and used for agriculture (Mochelek). Hourly records of air temperature and humidity, wind speed and total solar radiation meteorological from three automatic weather stations were used for the analysis. We compared the averages and extremes of air temperature and perceptible temperature (temperature of effective radiation TRE). The obtained results showed that in the high building downtown occurred an effect of urban heat island. Air temperature and perceived temperature (TRE) in the center of Bydgoszcz were markedly higher compared to less built-up area and especially in comparison to the rural area. The number of days with heat sensation in Bydgoszcz was twice higher as in the comparable areas: peripheral and rural.

Key words: heat waves, urban heat island, specific thermal days, perceived temperature

WSTĘP

Tereny zurbanizowane charakteryzuje silne przeobrażenie środowiska naturalnego. Obszar ukształtowany przez człowieka, który cechuje się zwartą, bardzo często wysoką zabudową, przewagą powierzchni asfaltowych i betonowych nad terenami zielonymi oraz silnym zanieczyszczeniem powietrza sprawia, że nad miastem kształtują się indywidualne cechy klimatyczne. Wyodrębnione cechy klimatyczne miasta są określane jako miejska wyspa ciepła (ang. Urban Heat Island – UHI) (Fortuniak 2003, Szymanowski i Kryza 2009, Błażejczyk i in. 2014). Różnice warunków klimatycznych między miastami, a terenami niezurbanizowanymi, są znaczące i uwidaczniają się najbardziej w centrach dużych aglomeracji miejskich (Dudek i in. 2008, Nowak 2009, Mąkosza i Nidzgorska-Lencewicz 2011). Na obszarach tych panują specyficzne właściwości termiczne, wilgotnościowe, wietrzne i radiacyjne, co ma istotny wpływ na intensywność bodźców termicznych odczuwanych przez organizm człowieka (Błażejczyk 2002, Kuchcik i in. 2011). Na obszarach, gdzie warunki sprzyjają większym wzrostom temperatury powietrza, czyli między innymi w centrach miast, zmiany we wskaźnikach śmiertelności mogą być większe niż na obszarach słabo zurbanizowanych (Boniek-Poprawa 2011, Idzikowska 2011). Związki między umieralnością, a falami upałów w wybranych miastach w Polsce potwierdziły wyniki badań Kozłowskiej-Szczęsnej i in. (2004), którzy zauważyli, że lipcowe fale upałów różnicowały ryzyko zgonu w zależności od regionu, od 11% w mia-

stach Polski północno-wschodniej, aż do 20-25% na pozostałym obszarze kraju (z wyjątkiem Pomorza). Natężenie stresu gorąca w podczas fali upałów może być zróżnicowane nie tylko regionalnie, ale również lokalnie (Jarzyna, 2010, 2012). Na niewielkim obszarze mogą występować miejsca, w których stres gorąca jest bardzo uciążliwy, jak również takie tereny, gdzie odczucie gorąca występuje w znacznie mniejszym stopniu. Niewątpliwie wpływ na to ma charakter podłoża, otoczenie i forma zagospodarowania terenu (Mucha i Wawer 2011).

Celem pracy było porównanie warunków termicznych powietrza oraz temperatury odczuwalnej, które wpływają na występowanie stresu cieplnego u człowieka, na obszarach o różnych rodzajach pokrycia podłoża – silnie zurbanizowanym centrum Bydgoszczy, słabiej zurbanizowanej dzielnicy peryferyjnej Fordon i na obszarze użytkowanym rolniczo w miejscowości Mochełek, w lipcu 2014 roku. Na podstawie standardowych pomiarów prowadzonych w rejonie Bydgoszczy nieprzerwanie od 1949 roku można stwierdzić, że lipiec w 2014 roku był miesiącem bardzo ciepłym. Charakteryzował się temperaturą powietrza wyższą od średniej wieloletniej aż o 3,4°C. W wieloleciu 1949-2014 uplasował się na 4 miejscu pod względem najwyższych średnich miesięcznych temperatur lipca.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy zostały użyte wyniki pomiarów meteorologicznych z trzech automatycznych stacji pomiarowych zlokalizowanych na obszarach o różnych rodzajach pokrycia: centrum Bydgoszczy, na peryferiach miasta w dzielnicy Fordon i poza miastem w miejscowości Mochełek.

Wyniki pomiarów stanowiły godzinowe średnie temperatury i wilgotności względnej powietrza, prędkości wiatru i sumy całkowitego promieniowania słonecznego w lipcu 2014 roku. Stacje meteorologiczne zlokalizowane są w terenie zróżnicowanym pod względem zabudowy i formy zagospodarowania i udziału powierzchni biologicznie czynnej (rys. 1).

Pierwsza stacja pomiarowa (rys. 1a) położona jest w centrum Bydgoszczy na terenie Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego przy ulicy Kordeckiego 20. W bezpośrednim otoczeniu punktu pomiarowego, znajduje się parking oraz wielopiętrowe budynki. Jest to miejsce charakteryzujące się zwartą zabudową, silnie ograniczającą swobodną cyrkulację powietrza, z niewielką ilością terenów zielonych – główne pokrycie terenu to asfalt i beton. Druga stacja (rys. 1b) reprezentuje obszar pośredni, pomiędzy centrum miasta, a obszarem podmiejskim. Położona jest w dzielnicy Fordon na peryferiach Bydgoszczy w kierunku północno-wschodnim, oddalona o 11 km od centrum (ul. Kaliskiego 7). Na terenie tym występuje mniej zwarta zabudowa. Punkt pomiarowy otaczają tereny zielone, zadrzewienia i nieużytki. Trzeci punkt pomiarowy (rys. 1c)

znajduje się na terenie Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Mochełku. Jest to otwarta przestrzeń zagospodarowana rolniczo i w najmniejszym stopniu poddana antropopresji. Stacja pomiarowa oddalona jest od centrum Bydgoszczy o około 17 km w kierunku północno – zachodnim. Obsługą punktów pomiarowych zajmują się pracownicy Katedry Melioracji i Agrometeorologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.

W badanym okresie określono rozkład czasowy i przestrzenny fal upałów, które definiuje się, jako ciąg przynajmniej 3 dni z temperaturą maksymalną wynoszącą powyżej 30°C w każdym dniu (Kossowska-Cezak 2010).

Dla określenia wielkości stresu cieplnego obliczono bioklimatyczny wskaźnik odczuć cieplnych człowieka – temperaturę radiacyjno-efektywną (TRE), który uwzględnia wspólne oddziaływanie na organizm ludzki temperatury i wilgotności względnej powietrza, prędkości wiatru i całkowitego promieniowania słonecznego. Wskaźnik ten jest pochodną temperatury efektywnej (TE). Pozwala określić odczucia cieplne człowieka przebywającego w miejscach nasłonecznionych. Oblicza się go według wzoru (Błażejczyk, 2004):

$$TRE = TE + (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Kglob \cdot [(0,0155 - 0,00025 \cdot TE) - (0,0043 - 0,00011 \cdot TE)]$$

gdzie:

TE – temperatura efektywna

ac – albedo skóry i odzieży człowieka przyjęte na poziomie 30%,

Kglob – natężenie całkowitego promieniowania słonecznego ($W \cdot m^{-2}$)

Dla wskaźnika przyjęto skalę odczuć cieplnych zaproponowaną przez Michajłowa (Błażejczyk i Kunert 2011):

TRE (°C)	Odczucie cieplne
<1,0	Bardzo zimno
1,0 – 8,9	Zimno
9,0 – 16,9	Chłodno
17,0 – 20,9	Orzeźwiająco
21,0 – 22,9	Komfortowo
23,0 – 26,9	Ciepło
>27,0	Gorąco

Wyniki pomiarów z monitorowanych obszarów, poddano następującej analizie:

- porównano zasięg czasowy i przestrzenny fal upałów,
- porównano liczbę dni gorących ($t_{max} \geq 25,0^{\circ}C$), upalnych ($t_{max} \geq 35,0^{\circ}C$) i nocy gorących ($t_{min} \geq 20,0^{\circ}C$).
- porównano wielkości średnie, maksymalne i minimalne temperatury powietrza i temperatury radiacyjno-efektywnej,

- porównano liczbę dni z odczuciem ciepłym zgodnie z przyjętą klasyfikacją.

Obliczenia wykonano wykorzystując program Bioklima 2.6 (<http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>).



Źródło/Source: <https://maps.google.pl>

Rysunek 1. Lokalizacje stacji meteorologicznych: a – centrum Bydgoszczy, b – dzielnica peryferyjna Fordon, c – teren wiejski Mochełek

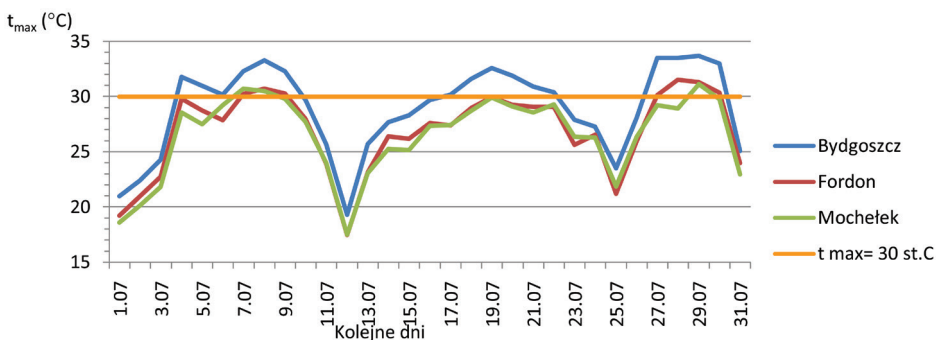
Figure 1. Locations of weather stations: a – the center of Bydgoszcz, b – Fordon peripheral district, c – rural area Mochełek

Tabela 1. Temperatura powietrza średnia, maksymalna i minimalna w lipcu 2014 roku w porównywanych lokalizacjach

Table 1. Air temperature average, maximum and minimum in July 2014 in the comparable locations

Temperatura powietrza/ Air temperature (°C)	Bydgoszcz	Fordon-Bydgoszcz	Mochelek-Bydgoszcz
Średnia/Average	22,9	-1,5	-2,1
Maksymalna/Maximum	29,0	-2,1	-2,5
Minimalna/Minimum	17,2	-1,4	-2,2

Źródło: wyniki własne; Source: own research data



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

Rysunek 2. Przebieg maksymalnej temperatury powietrza w porównywanych lokalizacjach w lipcu 2014 roku

Figure 2. The course of the maximum air temperature in the comparable locations in July 2014

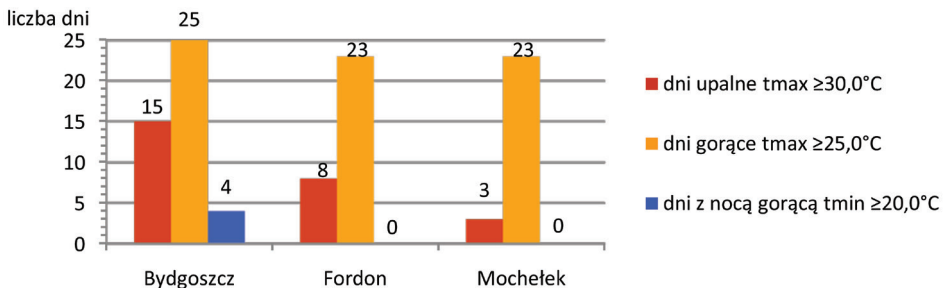
WYNIKI

Najwyższa spośród porównywanych lokalizacji średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2014 roku wystąpiła w centrum Bydgoszczy (22,9°C) (tab. 1). Na peryferiach w Fordonie warunki termiczne były nieco łagodniejsze, niż w centrum (temperatura niższa o 1,5°C), natomiast różnica między miastem, a terenem wiejskim była wyraźna i wyniosła średnio nieco ponad 2°C. W przypadku temperatury minimalnej wielkość różnic była zbliżona do różnic temperatury średniej. Natomiast średnia maksymalna temperatura powietrza charakteryzowała się większym zróżnicowaniem pomiędzy centrum miasta, a peryferiami

(2,1°C) oraz terenem położonym poza Bydgoszczą (2,5°C), niż temperatura średnia i minimalna.

Najwyższa maksymalna temperatura powietrza poza miastem w terenie otwartym wyniosła 31,1°C, podczas gdy w centrum Bydgoszczy była wyższa o 2,6°C (33,7°C) (rys. 2). W obu lokalizacjach zarejestrowano ją 29 lipca. Na peryferiach miasta, w Fordonie absolutne maksimum temperatury osiągnęło wartość 31,5°C, ale zanotowano je dzień wcześniej, niż na pozostałych porównywanych obszarach. Najniższa maksymalna temperatura powietrza poza miastem i na peryferiach nie spadła poniżej 17,5°C, a w centrum Bydgoszczy wyniosła 19,3°C (rys. 2).

Analizując przebieg maksymalnej temperatury powietrza w lipcu 2014 roku porównano rozkład czasowy i przestrzenny fal upałów. Stwierdzono, że w Bydgoszczy wystąpiły trzy fale upałów: pierwsza trwała od 4 do 9 lipca, druga od 17 do 22 lipca, a trzecia od 27 do 30 lipca (rys. 2). Na peryferiach miasta w Fordonie, wystąpiły dwie fale upałów. Pierwsza trwała trzy dni krócej niż w centrum miasta od 7 do 9 lipca, a druga wystąpiła w tym samym czasie, co trzecia fala upałów w centrum miasta. Zwrócono uwagę na fakt, że podczas jednoczesnego wystąpienia fali upałów w centrum Bydgoszczy i na peryferiach w Fordonie, temperatura maksymalna w Bydgoszczy była wyższa (średnio o 2,6°C). Poza Bydgoszczą w Mochełku, na terenie wolnym od wpływów czynników miejskich, nie wystąpiło to zjawisko. Maksymalna temperatura powietrza wyższa od 30,0°C wystąpiła zaledwie trzykrotnie 7, 8 i 29 lipca.



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

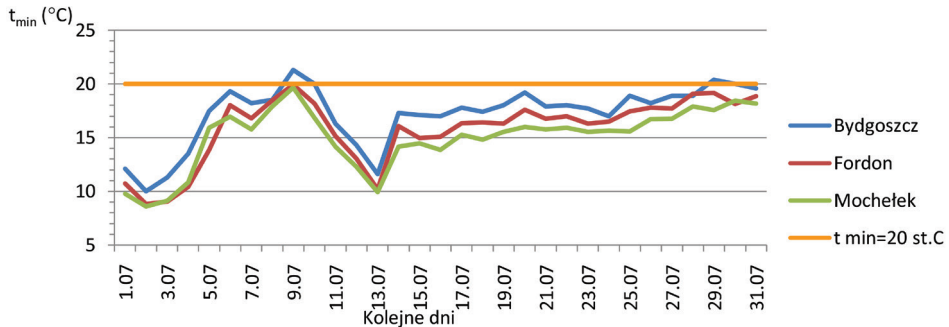
Rysunek 3. Liczba dni charakterystycznych w lipcu 2014 roku w porównywanych lokalizacjach

Figure 3. Number of thermal specific days in July 2014 in the comparable locations

Porównując liczbę dni gorących ($t_{max} \geq 25,0^{\circ}C$) w lipcu 2014 roku na obszarach o różnych rodzajach pokrycia terenu stwierdzono, że różnice pomiędzy centrum Bydgoszczy, a peryferiami w Fordonie i terenem położonym poza miastem w Mochełku były niewielkie i kształtowały się na poziomie 2 dni (rys. 3).

Jednakże przestrzenny rozkład liczby dni upalnych ($t_{\max} \geq 30,0^{\circ}\text{C}$) był wyraźnie zróżnicowany. W centrum Bydgoszczy upalny był co drugi dzień lipca (15 dni) (rys. 3), na peryferiach miasta co czwarty (8 dni), natomiast w rolniczym krajobrazie Mochełka wystąpiły zaledwie 3 dni upalne.

Najwyższa minimalna temperatura powietrza została zarejestrowana 9 lipca. W centrum miasta osiągnęła wartość $21,3^{\circ}\text{C}$, na peryferiach $19,9^{\circ}\text{C}$, a w terenie wiejskim $19,7^{\circ}\text{C}$ (rys. 4). Największy spadek temperatury miał miejsce przed wystąpieniem pierwszej fali upałów (2 lipca). W centrum Bydgoszczy absolutne minimum wyniosło $10,0^{\circ}\text{C}$, w Fordonie $8,8^{\circ}\text{C}$, a w Mochełku $8,6^{\circ}\text{C}$. W analizowanym okresie zarejestrowano cztery noce gorące, w trakcie których temperatura minimalna powietrza nie spadła poniżej $20,0^{\circ}\text{C}$. Zjawisko to wystąpiło wyłącznie w centrum Bydgoszczy w trakcie pierwszej i trzeciej fali upałów, w dniach 9 i 10 oraz 29 i 30 lipca i było uciążliwe dla mieszkańców miasta (rys. 4).



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

Rysunek 4. Przebieg minimalnej temperatury powietrza w porównywanych lokalizacjach w lipcu 2014 roku

Figure 4. The course of the minimum air temperature in the comparable locations in July 2014

Średnia temperatura odczuwalna (TRE) w lipcu 2014 r. w centrum Bydgoszczy wyniosła $19,8^{\circ}\text{C}$ (tab. 2). Na peryferiach miasta jej wartość była zbliżona do temperatury w centrum, natomiast na terenie użytkowanym rolniczo wielkość wskaźnika była mniejsza niż w Bydgoszczy o $1,8^{\circ}\text{C}$. Różnice pomiędzy średnią, maksymalną i minimalną temperaturą radiacyjno-efektywną pomiędzy centrum miasta i terenem wiejskim kształtowały się na poziomie $1,8\text{--}1,9^{\circ}\text{C}$. Natomiast w Fordonie temperatura średnia i maksymalna była niższa niż w centrum Bydgoszczy, a temperatura minimalna była wyższa od wartości w porównywanych lokalizacjach.

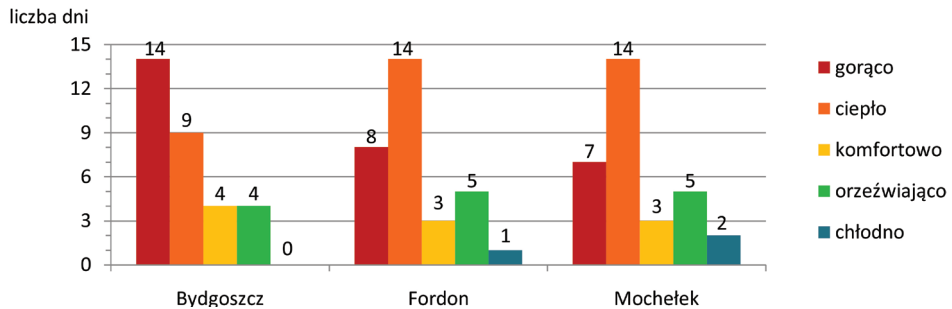
Tabela 2. Temperatura radiacyjno-efektywna średnia, maksymalna i minimalna w lipcu 2014 roku w porównywanych lokalizacjach

Table 2. Temperature of effective radiation average, maximum and minimum in July 2014 in the comparable locations

Temperatura radiacyjno-efektywna/ Temperature of effective radiation (°C)	Bydgoszcz	Fordon-Bydgoszcz	Mochełek-Bydgoszcz
Średnia/Average	19,8	-0,2	-1,8
Maksymalna/Maximum	25,7	-1,4	-1,9
Minimalna/minimum	14,2	+0,8	-1,8

Źródło: wyniki własne; Source: own research data

Zróznicowanie pokrycia podłoża wpłynęło na różnice w kształtowaniu odczuć cieplnych człowieka przebywającego w porównywanych lokalizacjach w lipcu 2014 roku. W centrum Bydgoszczy liczba dni z odczuciem „gorąco” wyniosła 14, podczas gdy na peryferiach w Fordonie i na terenie wiejskim w Mochełku o połowę mniej (rys. 5). Analogicznie, poza miastem i na jego peryferiach wystąpiła wyższa niż w centrum miasta liczba dni z odczuciem „ciepło”. W centrum Bydgoszczy, nie wystąpiły dni z odczuciem „chłodno”, a dni z odczuciem „komfortowo” i „orzeźwiająco” zarejestrowano w porównywanych lokalizacjach w zbliżonej liczbie. W żadnej z porównywanych lokalizacji nie wystąpiły dni z odczuciem „bardzo zimno” i „zimno”.



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

Rysunek 5. Liczba dni z odczuciem ciepłym na podstawie temperatury odczuwalnej (TRE) w lipcu 2014 roku w porównywanych lokalizacjach

Figure 5. The number of days with thermal sensations on the basis of perceptible temperature (TRE) in July 2014 in the comparable locations

DYSKUSJA WYNIKÓW

Cyrkulacja atmosferyczna stanowi jeden z głównych czynników kształtujących warunki pogodowe i klimatyczne na danym obszarze (Błazejczyk 2002, Owczarek 2012). Jednakże, wyniki badań wskazują, że modyfikację warunków pogodowych w skali lokalnej powodują zmiany zagospodarowania podłoża, które prowadzą do powstawania różnic albedo powierzchni czynnej, czy ograniczenia retencji wody w podłożu (Nowosad 2011). Złożona struktura urbanistyczna i wysokościowa, która wpływa na bilans energetyczny powierzchni oraz powoduje zmiany prędkości i kierunku wiatru jest czynnikiem warunkującym specyficzny lokalny klimat i bioklimat miasta (Fortuniak 2004). Wyraźne zróżnicowanie warunków meteorologicznych i biometeorologicznych w dużych aglomeracjach miejskich zależy istotnie od charakteru zabudowy, udziału powierzchni biologicznie czynnej i ich lokalizacji (Żarnowiecki 2002, Kuchcik i Baranowski 2011, Stopa-Boryczka i in. 2011). Jarzyna (2010, 2012) wykazał, że podczas pogody gorącej, stres cieplny jest zróżnicowany przestrzennie w wyniku odrębności topoklimatycznych pomiędzy centrum miasta, a peryferiami i obszarem położonym z dala od aglomeracji. Zwłaszcza w godzinach popołudniowych i wieczornych w cieplejszych i zacisznych centrach dużych miast tworzą się bardziej uciążliwe warunki biometeorologiczne (Jarzyna 2010, Sikora 2008). Z analizy okresu wielolecia 1951-2010, przeprowadzonej przez Kossowską-Cezak (2014) dla stacji Warszawa-Okęcie wynika, że dni upalne na przedmieściach pojawiają się średnio 5 razy w roku, najczęściej po dwa dni w lipcu i sierpniu. W rekordowym półroczu ciepłym 2006 roku na stacji Warszawa-Okęcie wystąpiły aż 22 dni upalne. Dla porównania w okolicy Bydgoszczy w samym lipcu 2014 roku, na terenie reprezentatywnym, poza miastem, dni upalne wystąpiły 3 razy, na słabo zurbanizowanych peryferiach Bydgoszczy 8, natomiast w centrum miasta zarejestrowano aż 15 takich dni. Kossowska-Cezak i Skrzypczuk (2011) na podstawie przeprowadzonych badań nad występowaniem pogody upalnej na stacji Warszawa-Okęcie w latach 1947-2010 stwierdzili, że po 1990 roku nastąpił wyraźny wzrost częstości dni upalnych oraz bardzo ciepłych nocy i wzrost ten trwa nadal. Ale odniesienie tych wyników do wyników obserwacji z Obserwatorium Astronomicznego z lat 1924–1950 wskazuje, że upały występujące w Polsce w ostatnich latach nie są niczym niezwykłym w naszym klimacie. Natomiast zdaniem autorów narastającym zjawiskiem jest wzrost temperatury minimalnej powietrza, co przekłada się na większą frekwencję bardzo ciepłych nocy. Z badań bioklimatu Wrocławia prowadzonych przez Dubickiego i in. (2002) wynika, że w lecie w centrum miasta, w przeciwieństwie do obszaru podmiejskiego, nie występuje odczucie „bardzo zimno” i „zimno”, natomiast odczucie „ciepło” i „gorąco” występuje dwukrotnie częściej niż na peryferiach. Podobną zależność zaobserwowano w Bydgoszczy w lipcu 2014 roku, kiedy dni

z odczuciem „chłodno” wystąpiły tylko na obszarze wiejskim i na peryferiach miasta, a liczba dni z odczuciem „gorąco” w centrum miasta była dwukrotnie wyższa niż poza miastem i na peryferiach. Podobne wnioski przedstawiły Mąkosza i Nidzgorska-Lencewicz (2011) badając bodźcowość warunków termicznych aglomeracji szczecińskiej. Na podstawie wyników pomiarów automatycznych z okresu 2005-2008 autorki stwierdziły, że skrajne warunki odczuwalności cieplnej (średnia dobowa powyżej 20°C) występowały najczęściej na obszarze charakteryzującym się zwartą zabudową w centrum miasta.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wskazują na różnicowanie warunków termicznych i bioklimatycznych w zależności od rodzaju pokrycia podłoża i formy zagospodarowania terenu. Na powstawanie różnic termicznych powietrza i zróżnicowanych odczuć cieplnych w centrum Bydgoszczy, na obszarze peryferyjnym i wiejskim wpływ miała zabudowa miejska, udział i lokalizacja powierzchni biologicznie czynnych, oraz obszarów leśnych lub terenów rolniczych. Otrzymane wyniki nie przesądzają o ich jednoznaczności, stąd istnieje konieczność ich kontynuacji.

LITERATURA

- Błażejczyk, K. (2002). *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dokumentacja Geograficzna 26, Wyd IGiPZ PAN
- Błażejczyk, K., Kuchcik, M., Milewski, P., Szmyd, J., Dudek, W., Błażejczyk, A., Kręcisz, B. (2014). *Miejska wyspa ciepła w Warszawie*. Informator. Wyd PAN IGiPZ, Warszawa.
- Błażejczyk, K., Kunert, A. (2011). *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*. Monografie 13, Wyd IGiPZ PAN, Warszawa.
- Boniek-Poprawa, D. (2011). *Zmienność elementów pogody a nagłe przyjęcia do szpitala*. Rozprawa doktorska, Wydział Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, <http://www.wbc.poznan.pl/dlibra/docmetadata?id=232744&from=publication> (dostęp: styczeń 2015).
- Dubicki, A., Dubicka, M., Szymanowski, M. (2002). *Klimat Wrocławia*. [W:] Środowisko Wrocławia. red. K. Smolnicki, M. Szykasiuk, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław, 9-25.
- Dudek, S., Kuśmierk, R., Żarski, J. (2008). *Porównanie wybranych elementów meteorologicznych w Bydgoszczy i jej okolicy*. Przegląd Naukowy, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 1(39), 35-41.

- Fortuniak, K. (2003). *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Idzikowska, D. (2011). *Związki między umieralnością a UTCI w Paryżu, Rzymie, Warszawie i Budapeszcie*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 311–318.
- 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.
- Jarzyna, K. (2012). *Zróźnicowanie stresu gorąca na Wyżynie Kieleckiej w czasie fal upałów na początku XXI wieku*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 13, 41–50.
- Kossowska-Cezak, U. (2010). *Fale upałów i okresy upalne – metody ich wyróżniania i wyniki zastosowania*. Prace Geograficzne, IGiGP UJ, 123, 143–149.
- Kossowska-Cezak, U. (2014). *Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951–2010)*. Prace Geograficzne, 136, 9–30.
- Kossowska-Cezak, U., Skrzypczuk, J. (2011). *Pogoda upalna w Warszawie (1947–2010)*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 139–146.
- Kozłowska-Szczęśna, T., Krawczyk, B., Kuchcik, M. (2004). *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*. Monografie 4, Wyd. PAN, IGiZP, Warszawa.
- Kuchcik, M., Baranowski, J. (2011). *Różnice termiczne między osiedlami mieszkaniowymi o różnym udziale powierzchni czynnej biologicznie*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 365–372.
- Mąkosza, A., Nidzgorska-Lencewicz, J. (2011). *Bodźcowość warunków termicznych na obszarze aglomeracji szczecińskiej*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 265–274.
- Mucha, B., Wawer, J. (2011). *Wpływ rzeźby, zabudowy i zieleni na zróźnicowanie klimatu lokalnego Lwowa*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 383–391.
- Nowak, A. (2009). *Analiza miejskiej wyspy ciepła na obszarze Poznania*. Prace Geograficzne, 122, 99–110.
- Nowosad, M. (2011). *Wpływ zagospodarowania terenu na klimat lokalny ze szczególnym uwzględnieniem obszarów górskich*. Roczniki Bieszczadzkie, 19, 261–272.
- Owczarek, M. (2012). *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania odczucia gorąca latem w Polsce według temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST), 1951–2008*. Przegląd Geograficzny, 84(3), 387–397.
- 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.
- Stopa-Boryczka, M., Boryczka, J., Wawer J. (2011). *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróźnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 373–381.
- Szymanowski, M., Kryza, M. (2009). *Zastosowanie regresji ważonej geograficznie do modelowania miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 20, 407–419.

Żarnowiecki G., 2002. *Zróżnicowanie bioklimatu Kielc w sezonie letnim*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 3. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, 109-116.

Dr inż. Renata Kuśmierk-Tomaszewska
Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski
Dr inż. Stanisław Dudek
Katedra Melioracji i Agrometeorologii, WRiB
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz
tel. 52 3749516
e-mail: rkusmier@utp.edu.pl

Wpłynęło: 02.02.2015.

Akceptowano do druku: 15.10.2015