

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

JAROSŁAW BARANOWSKI, ANNA BEATA ADAMCZYK

Warunki termiczne warszawskich ogrodów botanicznych

Thermal conditions of Warsaw botanical gardens

Słowa kluczowe: Warszawa, warunki termiczne, ogrody botaniczne, temperatura powietrza
Key words: Warsaw, thermal conditions, botanical gardens, air temperature

WSTĘP

Charakterystyczną cechą dużych aglomeracji miejskich jest podwyższenie temperatury powietrza wewnątrz miasta w stosunku do terenów otaczających. Zjawisko miejskiej wyspy ciepła powstaje na skutek bardzo dużego pochłaniania promieniowania słonecznego w dzień i wypromieniowania ciepła w nocy. Oddziaływanie miejskiej wyspy ciepła przejawia się w łagodzeniu warunków termicznych zimą, wiosną i jesienią, latem zaś może powodować warunki uciążliwe. Ma to istotne znaczenie dla kondycji fizycznej roślin, szczególnie tych w ogrodach botanicznych, dla których warunki miejskie nie stanowią ich naturalnego siedliska.

Z drugiej strony, specyfika klimatu miasta polega na tym, że składa się on z mozaiki mikroklimatów mniejszych jednostek przestrzennych o bardzo zróżnicowanych właściwościach termiczno-dynamicznych powietrza. Wynikają one zarówno z cech naturalnych środowiska, jak i z różnicy w sposobie zagospodarowania terenu. Wśród czynników naturalnych istotne znaczenie ma rzeźba i pokrycie terenu, natomiast wśród czynników antropogenicznych istotny jest sposób przekształcenia powierzchni naturalnych na sztuczne oraz intensywność i rodzaj

zabudowy (Adamczyk i Błażejczyk 2006). Powierzchnia czynna miasta składa się więc z różnego rodzaju powierzchni naturalnych i sztucznych. Ukształtowana przez człowieka ich kombinacja decyduje o charakterze wymiany energii i materii między powierzchnią czynną a atmosferą. Miasto oddziałuje na warunki klimatyczne poprzez zmienione właściwości fizyczne podłoża atmosfery: radiacyjne, termiczne, wilgotnościowe i wietrzne (Fortini-Morawska 1990; Błażejczyk 1992, 2002; Lewińska 1991; Kozłowska-Szczęśna i Błażejczyk 1996; Adamczyk i in. 2008). W całej tej mozaice tworzącej klimat miasta znajdują się również warszawskie ogrody botaniczne, których znaczne powierzchnie naturalne tworzą kontrast dla terenów silnie zurbanizowanych

Warszawskie ogrody botaniczne: Ogród Botaniczny UW zlokalizowany w centrum Warszawy i Ogród Botaniczny PAN w Powsinie, stanowią namiastkę dzikiej przyrody w obrębie wielkiego miasta. Ich niezwykle bogate przyrodniczo tereny są miejscem o odmiennym mikroklimacie w stosunku do otaczających terenów miejskich. Jednakże bliskie sąsiedztwo zabudowy oraz intensywna gospodarka człowieka na terenie miasta w znaczący sposób wpływają na rośliny poprzez klimat. Ponad 150-letnie pomiary temperatury powietrza prowadzone, stacji meteorologicznej znajdującej się na terenie Obserwatorium Astronomicznego w sąsiedztwie Ogrodu Botanicznego UW wskazują na stały wzrost średniej temperatury powietrza, szczególnie w ostatnich latach.

Celem opracowania jest określenie warunków termicznych panujących na terenie warszawskich ogrodów botanicznych oraz wykazanie różnic termicznych pomiędzy nimi a terenami miejskimi i pozamiejskimi.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

Podstawą opracowania ogólnych warunków termicznych na terenie Warszawy były dane ze stacji meteorologicznej IMGW na Okęciu oraz w Ogrodzie Botanicznym (Obserwatorium Astronomiczne). Do badań wykorzystano serię pomiarową z wielolecia 1951–1998 i 1951–2000. Do analizy szczegółowej zastosowano dane pomiarowe sieci warszawskiej utworzonej i prowadzonej przez pracowników IGiPZ PAN (Kuchcik i in. 2008). W sumie wybrano cztery punkty, z których dwa reprezentują ogrody botaniczne Warszawy, natomiast pozostałe dwa charakteryzują: typowy obszar zabudowy centrum Warszawy oraz teren pozamiejski.

Ogród Botaniczny Uniwersytetu Warszawskiego założony w 1818 roku usytuowany jest obecnie w centrum miasta. Na powierzchni około 5 ha znajdują się nie tylko kolekcje gatunków zagrożonych na terenie Polski, ale także zbiory gatunków dziko rosnących oraz rzadkich odmian ozdobnych drzew i krzewów. Punkt pomiarowy znajdował się w otoczeniu drzew i charakteryzował parki wiel-



Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych
The map of measure sites

komiejskie (ryc. 1). Wykorzystane dane z punktu pomiarowego Obserwatorium obejmują lata 1951–1998.

Ogród Botaniczny Polskiej Akademii Nauk w Powsinie powstał w latach siedemdziesiątych w południowej części Warszawy. Obecnie jest to placówka naukowo-badawcza PAN o powierzchni 40 ha i nazwie: Ogród Botaniczny – Centrum Zachowania Różnorodności Biologicznej PAN. Punkt pomiarowy zlokalizowany jest na rozległej polanie i reprezentuje warunki termiczne otwartych (przewiewnych) terenów zielonych. Wykorzystane dane z punktu pomiarowego Powsin obejmują lata 2007–2009.

Tereny typowo miejskie reprezentowane są przez punkt Twarda zlokalizowany w centrum Warszawy na terenie silnie zabudowanym, o wąskich ulicach i podwórkach-„studniach”. Wykorzystane dane z punktu pomiarowego Twarda obejmują lata 2007–2009.

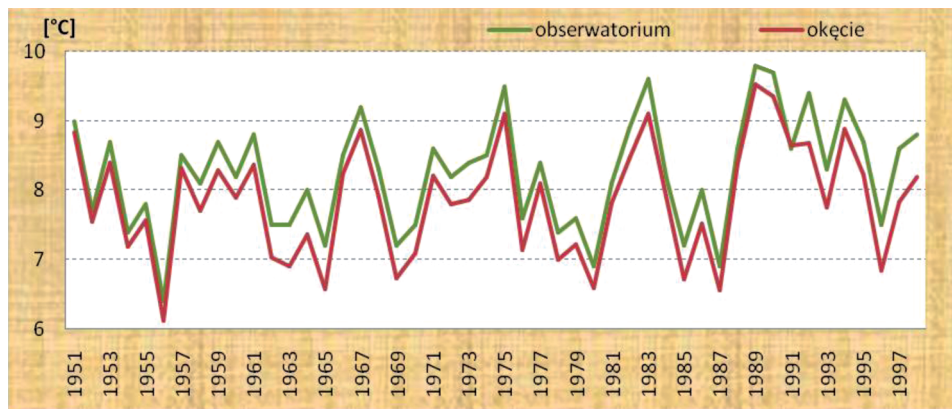
Obszar pozamiejski przedstawiony został na podstawie danych ze stacji Okęcie położonej w południowej części Warszawy, w strefie lotniska, co oznacza, że teren ten jest całkowicie odsłonięty, otwarty. Jest to punkt odniesienia w stosunku do warunków miejskich zarówno terenów zabudowanych, jak i zielonych. Wykorzystane dane z punktu pomiarowego Okęcie obejmują lata 1951–2000 (wykorzystane do porównania z danymi z punktu Ogród Botaniczny UW) i 2007–2009 (jako punkt odniesienia do analizy wpływu miasta na wartości temperatury powietrza).

WYNIKI

Poniżej przedstawiona jest ogólna charakterystyka warunków termicznych na stacji Okęcie i Obserwatorium Astronomiczne w wieloleciu 1951–1998.

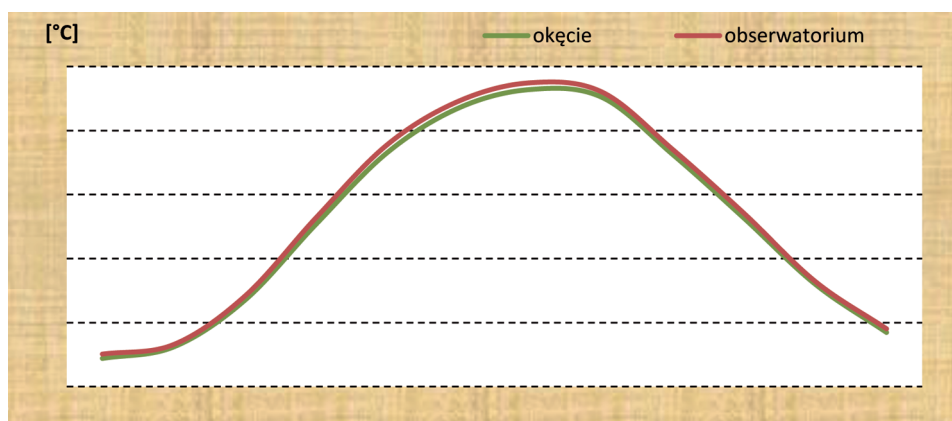
Analizując warunki termiczne panujące na stacji IMGW na Okęciu i w Ogrodzie Botanicznym UW (Obserwatorium Astronomiczne), zaznacza się niewielkie uprzywilejowanie termiczne Ogródu Botanicznego UW w stosunku do Okęcia (ryc. 2). Średnia roczna temperatura powietrza na stacji w Ogrodzie Botanicznym UW wyniosła $8,2^{\circ}\text{C}$ i była o $0,4^{\circ}\text{C}$ wyższa aniżeli na Okęciu. Najniższą średnią roczną temperaturę powietrza na obydwu stacjach odnotowano w 1956 roku i wyniosła ona $6,1^{\circ}$ na Okęciu i $6,4^{\circ}\text{C}$ w Ogrodzie Botanicznym UW. Podobnie chłodne były lata 1965 (Okęcie – $6,6^{\circ}\text{C}$, Obserwatorium – $7,2^{\circ}\text{C}$) oraz 1980 i 1987, gdy na Okęciu zanotowano średnią roczną temperaturę powietrza $6,6^{\circ}\text{C}$, a w Ogrodzie Botanicznym UW $6,9^{\circ}\text{C}$.

Również i lata ciepłe charakteryzowały się wyższą średnią temperaturą powietrza na stacji Obserwatorium Astronomicznego aniżeli na Okęciu (teren lotniska). W badanym okresie najcieplejszy okazał się rok 1989, wówczas na Okęciu zanotowano $9,5^{\circ}\text{C}$, a w Ogrodzie Botanicznym UW temperaturę wyższą o $0,4^{\circ}\text{C}$.



Ryc. 2. Średnie roczne wartości temperatury powietrza na stacji Obserwatorium Astronomiczne i Warszawa Okęcie w okresie 1951–1998

Mean yearly air temperatures at the Astronomical Observatory and Warsaw Okęcie stations over the period 1951–1998



Ryc. 3. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza na stacji Obserwatorium Astronomiczne i Warszawa Okęcie w okresie 1951–1998

Mean monthly air temperatures at the Astronomical Observatory and Warsaw Okęcie stations over the period 1951–1998

Jednak lata ostatniej dekady okazały się jeszcze cieplejsze. W 2008 roku na stacji Okęcie średnia roczna temperatura powietrza osiągnęła wartość blisko 10°C, a w 2000 i 2007 roku 9,6°C. W stosunku do średniej z ostatnich 50 lat stanowi to wzrost o ponad 1,5°C (Kossowska-Cezak 2009, Lorenc 2000).

Średnie wieloletnie wartości temperatury powietrza z Okęcia i Obserwatorium Astronomicznego pokazano na ryc. 3. Wieloletnia seria danych (200-letnia) z Obserwatorium Astronomicznego została zakończona pod koniec XX wieku w wyniku zlikwidowania stacji.

Znacznie mniejsze różnice pomiędzy rozpatrywanymi stacjami wystąpiły w chłodnej porze roku (XI–III), kiedy to średnia temperatura miesięczna na stacji w Ogrodzie Botanicznym UW była wyższa aniżeli na Okęciu zaledwie od 0,2 do 0,3°C. W miesiącach ciepłych (IV–X) największe różnice średniej wartości temperatury powietrza obserwowano od maja do lipca z maksimum w maju (0,6°C). W najchłodniejszym miesiącu (styczniu) średnia temperatura powietrza wyniosła na Okęciu -2,8°C, a w Obserwatorium Astronomicznym była wyższa o 0,3°C. W lipcu średnia jej wartość kształtowała się na poziomie 18,7°C (Obserwatorium) i 18,2°C (Okęcie).

W tab. 1 zestawiono najniższe i najwyższe wartości temperatury średniej miesięcznej w latach 1951–1998. W styczniu najniższa wartość średniej miesięcznej temperatury powietrza wyniosła na Okęciu -12,4°C (1963), a na terenie Ogrodu Botanicznego UW -12°C (1987). Ujemne wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza były również notowane w lutym (-12,2°C na Okęciu i -11,7°C w Obserwatorium Astronomicznym) oraz w marcu, listopadzie i grudniu.

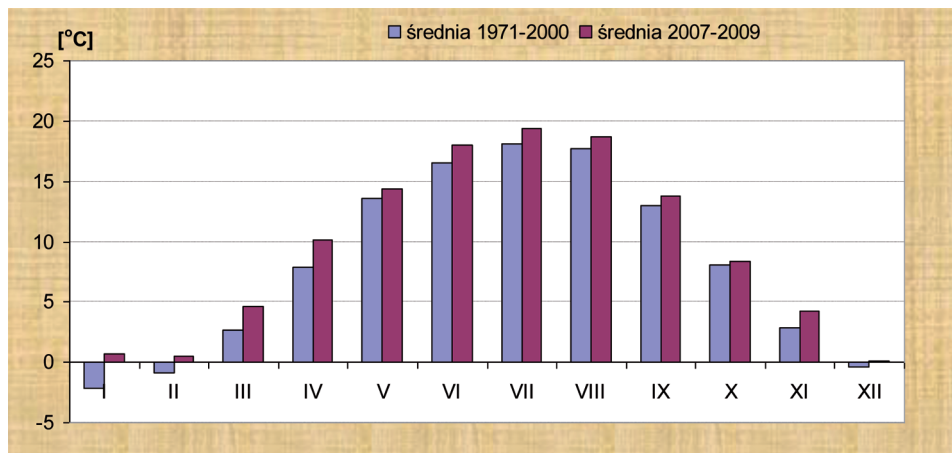
Tab. 1. Najniższe i najwyższe wartości średniej temperatury miesięcznej w latach 1951–1998
The highest and lowest values of mean monthly air temperatures over the period 1951–1998

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII
Min.	Obserwatorium	-12,0	-11,7	-2,9	4,6	10,4	15,0	15,6	15,6	11,1	6,1	-2,3	-8,1
	Okęcie	-12,4	-12,2	-3,0	4,5	9,9	14,4	15,0	15,2	10,6	5,7	-2,7	-8,5
	różnica	0,4	0,5	0,1	0,1	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
Maks.	Obserwatorium	3,4	5,1	6,7	11,2	17,2	20,5	22,3	22,0	16,6	11,7	6,6	3,2
	Okęcie	3,2	4,7	6,6	10,8	16,5	20,0	22,0	21,5	16,4	11,3	6,3	3,1
	różnica	0,2	0,4	0,1	0,4	0,7	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	0,3	0,1

Natomiast najcieplejszy styczeń w badanym okresie obserwowano w 1983 roku, kiedy to średnia wartość temperatury powietrza wyniosła na Okęciu 3,2°C, a w Obserwatorium Astronomicznym 3,4°C. Najwyższą średnią miesięczną temperaturę powietrza (22,3°C) zanotowano w lipcu 1994 roku na stacji Obserwatorium Astronomiczne i była ona o 0,3°C wyższa aniżeli na Okęciu.

ZRÓŻNICOWANIE WARUNKÓW TERMICZNYCH POMIĘDZY CENTRUM WARSZAWY (TWARDA) A JEJ PERYFERIAMI (OGRÓD BOTANICZNY PAN, OKĘCIE)

Przebieg wieloletni temperatury powietrza na stacji Warszawa Okęcie określa średnie warunki termiczne dla tego obszaru. W klimatologii przyjęto, że już okres trzydziestoletni jest wystarczający do tego typu oceny. Porównując średnią miesięczną wartość temperatury powietrza z okresu 1971–2000 i 1951–2000, można stwierdzić, że różnice pomiędzy nimi są w granicach błędów pomiaru, a za-



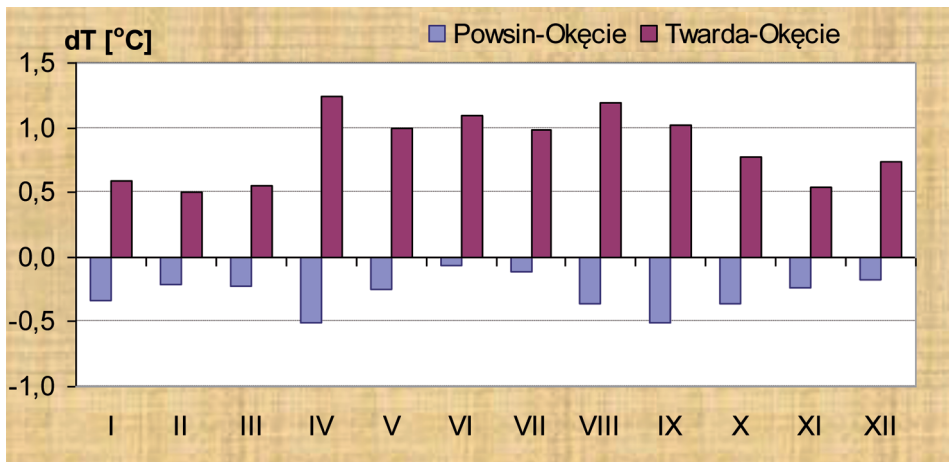
Ryc. 4. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza na stacji Warszawa Okęcie
Mean monthly air temperatures at Warsaw Okęcie station

tem zanedbywane. Średnia wieloletnia wartość temperatury powietrza dla Warszawy wynosi $8,1^{\circ}\text{C}$. Temperatura powietrza w latach 2007–2009, w okresie badań na terenie Ogrodu Botanicznego PAN, była wyższa niż w wieloleciu (ryc. 4). Średnia temperatura roczna w Warszawie w tym czasie była o $1,3^{\circ}\text{C}$ wyższa niż średnia wieloletnia. Największe różnice wystąpiły w styczniu, marcu i kwietniu. Maksymalna różnica wyniosła $2,8^{\circ}\text{C}$ w styczniu. W miesiącach zimowych średnia temperatura wielolecia spadała poniżej zera, natomiast w ciągu ostatnich trzech lat zimy w Warszawie były niezwykle łagodne. Latem oraz w listopadzie temperatura powietrza w analizowanym okresie była wyższa o $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ niż w wieloleciu. Najmniejsze różnice w termice w stosunku do średniej wieloletniej zauważono w październiku, kiedy to wartość nie przekraczała $0,3^{\circ}\text{C}$.

Okres 2007–2009 wyróżniał się znaczącym ociepleniem w odniesieniu do norm klimatycznych. Cechą charakterystyczną były krótkie i łagodne zimy oraz upalne lata, szczególnie uciążliwe w dużych aglomeracjach miejskich. Wpływ miasta na wartości temperatury powietrza (ryc. 5) przedstawiony został za pomocą jej różnic pomiędzy terenem zabudowanym i pozamiejskim (Twarda–Okęcie) oraz terenem Ogrodu Botanicznego PAN i pozamiejskim (Powsin–Okęcie).

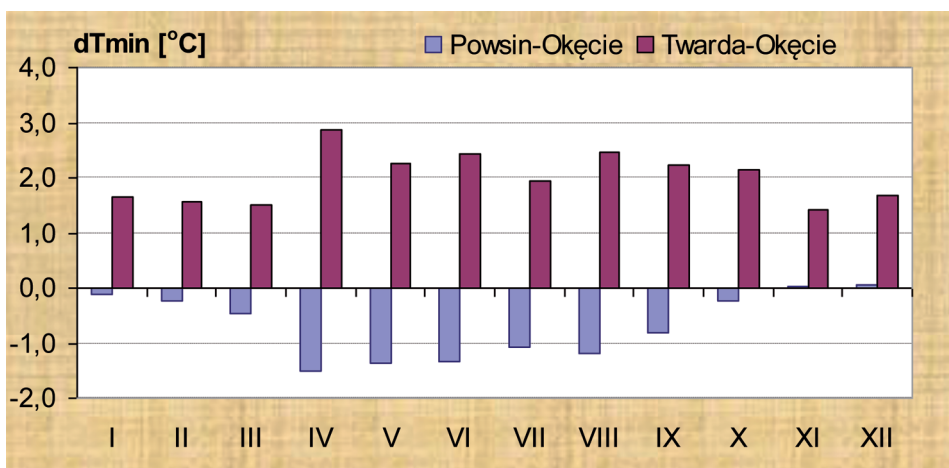
Średnia roczna temperatura powietrza z badanego okresu była o $0,9^{\circ}\text{C}$ wyższa w centrum miasta (Twarda) niż na Okęciu. Tereny Ogrodu Botanicznego PAN natomiast były nieznacznie chłodniejsze ($-0,3^{\circ}\text{C}$). Przebieg roczny różnic temperatury powietrza w badanym okresie wskazuje, że w cieplej połowie roku (od kwietnia do września) tereny zabudowane oddziałują znacznie silniej na wartości temperatury niż w chłodnej połowie roku. Największe różnice zanotowano w kwietniu oraz sierpniu i wynosiły one $1,2^{\circ}\text{C}$. Zimą temperatura w mieście była

wyższa średnio o $0,6^{\circ}\text{C}$. Najmniejsze różnice zanotowano w lutym i listopadzie ($0,5^{\circ}\text{C}$). Tereny Ogrodu Botanicznego w Powsinie wykazywały największe różnice temperatury powietrza w stosunku do terenów zamiejskich wiosną i na początku jesieni. Największa różnica wystąpiła w kwietniu i we wrześniu i wyniosła $-0,5^{\circ}\text{C}$. Zimą Ogród Botaniczny w Powsinie był nieznacznie chłodniejszy niż te-



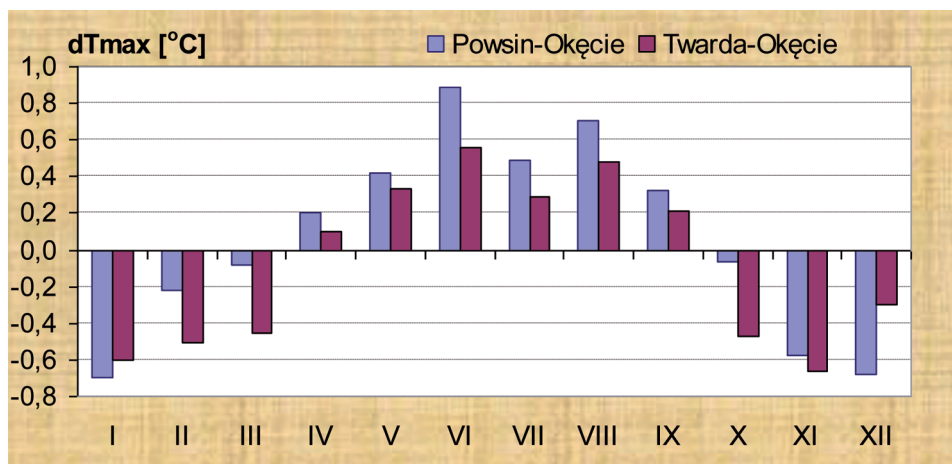
Ryc. 5. Różnica średniej miesięcznej temperatury powietrza pomiędzy wybranymi stacjami a zamiejską stacją Warszawa Okęcie, 2007–2009

The difference of mean monthly air temperatures between chosen stations and suburban Warsaw Okęcie station, 2007–2009



Ryc. 6. Natężenie nocnej wyspy ciepła w latach 2007–2009

The night heat island intensity, 2007–2009



Ryc. 7. Odchylenie maksymalnej wartości temperatury powietrza od zamiejskiej stacji Okęcie w latach 2007–2009

The difference of maximum air temperatures between chosen stations and suburban Warsaw Okęcie station, 2007–2009

reny zamiejskie, natomiast latem, szczególnie w czerwcu i lipcu, różnice te były nieistotne.

Oddziaływanie terenów zabudowanych na otoczenie przejawia się podwyższeniem temperatury powietrza w nocy. Silnie nagrzane w ciągu dnia budynki, chodniki i inne powierzchnie miasta po ustaniu dopływu promieni słońca oddają zakumulowane ciepło do otaczającego je powietrza, tworząc tak zwane wyspy ciepła. Manifestacją tego zjawiska jest przebieg dobowy temperatury powietrza, wskazujący na największe różnice w stosunku do terenów zamiejskich w porze nocnej. Średnia roczna temperatura minimalna, charakteryzująca miejską nocną wyspę ciepła, jest w badanych okresie o 2°C wyższa w centrum (Twarda) niż na terenach zamiejskich (Okęcie). Natomiast tereny Ogrodu Botanicznego PAN wykazują obniżenie temperatury minimalnej powietrza w stosunku do terenów zamiejskich (-0,7°C). Oznacza to brak wpływu substancji miejskiej na badany obszar w Powsinie.

Przebieg roczny średnich miesięcznych różnic temperatury w badanym okresie wskazuje ich największe wartości w miesiącach cieplej połowy roku (ryc. 6). Największe natężenie nocnej wyspy ciepła zanotowano w kwietniu na terenach zabudowanych centrum miasta (dT min. wynosi 2,9°C). W miesiącach chłodnych (od listopada do marca) różnice dT min. pomiędzy centrum miasta (Twarda) i terenami zamiejskimi wynoszą od 1,4 do 1,7°C. Odchylenia temperatury minimalnej powietrza w Powsinie wskazują na występowanie tu jeziora chłodu od kwietnia do września. Osiąga ona maksimum w kwietniu, dochodząc do 1,5°C w stosunku do Okęcia. Od listopada do lutego następuje zanik tego zjawiska.

Temperatura maksymalna przedstawia stopień nagrzania powierzchni w ciągu dnia. Odchylenia temperatury maksymalnej od punktu Okęcie pokazują, że od kwietnia do listopada najcieplej w ciągu dnia jest w Powsinie (ryc. 7). Różnice średnich wartości w stosunku do Twardej, położonej w centrum miasta, wynoszą do 0,3°C. W półroczu chłodnym jedynie w grudniu i styczniu maksymalne wartości temperatury powietrza zanotowane w Powsinie były niższe niż na Twardej.

PODSUMOWANIE

Ogólna charakterystyka warunków termicznych w wieloleciu ujawniła wzrastający trend średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie. Potwierdza to także wzrostowy charakter wartości średnich wieloletnich z lat 1951–1980, 1961–1990 i 1971–2000 wynoszących odpowiednio 7,7, 7,8 i 8,1°C. Jak widać, największa zmiana nastąpiła w ostatnim trzydziestoleciu XX wieku, a właściwie w jego końcowych latach.

Uzyskane wyniki wskazują, że analizowany okres 2007–2009 charakteryzował się znacznie cieplejszymi niż przeciętne warunkami termicznymi. W tych latach wartości temperatury miesięcy letnich przewyższały średnie nawet o 1,5°C, natomiast zimowe maksymalnie o 2,8°C. W tym czasie zanotowano najbardziej upalne dni lata, a miesiące letnie uznane zostały za bardzo ciepłe lub tak jak czerwiec 2007 – anomalnie ciepły. W ciągu badanego okresu ponad połowa analizowanych miesięcy kwalifikowała się powyżej normy w skali klasyfikacji termicznej opracowanej przez H. Lorenc (www.imgw.pl).

Powyższe rozważania wskazują na ocieplający wpływ miasta na terenie zabudowanej części Warszawy. Porównując wartości temperatury powietrza, można stwierdzić, że na stacji reprezentującej centrum Warszawy (Obserwatorium Astronomiczne) notowane wartości są średnio wyższe o 0,4°C aniżeli na stacji położonej na peryferiach miasta (stacja IMGW Okęcie). Konsekwencją takiego rozkładu temperatury powietrza są mniejsze amplitudy oraz mniejsza liczba dni mroźnych w centrum miasta, a co się z tym wiąże – mniejsze zagrożenie dla bardzo wrażliwych na zmiany temperatury roślin w Ogrodzie Botanicznym UW.

Obszar Ogródu Botanicznego PAN w Powsinie położony na południowych peryferiach Warszawy nie wykazuje żadnego wpływu miasta na warunki termiczne. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza notowane w badanym okresie są nieznacznie niższe niż na stacji Warszawa Okęcie, reprezentującej termiczne warunki poza miastem. Ponadto zaznacza się na obszarze Ogródu Botanicznego PAN oddziaływanie nocnego jeziora chłodu szczególnie intensywne w miesiącach ciepłej połowy roku.

LITERATURA

- Adamczyk A. B., Błażejczyk K., 2006: Spatial differentiation in active surface temperature in Warsaw. [W:] 6-th International Conference on Urban Climate, Preprints, June 12–16 2006 Göteborg, Sweden, Göteborg University, 728–731.
- Adamczyk A. B., Błażejczyk K., Baranowski J., Kuchcik M., 2008: Warunki termiczne aglomeracji warszawskiej. [W:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 11–20.
- Błażejczyk K., 1992: Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne (na przykładzie województwa katowickiego). *Zeszyty IGiPZ PAN*, 6, 15–28.
- Błażejczyk K., 2002: Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej. *Dok. Geograficzna* nr 26, IGiPZ PAN, 160.
- Fortini-Morawska J., 1990: Wpływ zabudowy na warunki klimatyczne. [W:] *Środowisko przyrodnicze Warszawy*. PWN, Warszawa.
- Kossowska-Cezak U., 2009: Warunki termiczne i opadowe w Warszawie w świetle serii obserwacyjnej z Okęcia (1947–2008), *Zesz. Nauk. Szk. Wyższ. Przym. Rodz. w Warszawie*, seria *Geogr.-Turyst.*, nr 2, z. 2–2009, 29–48.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., 1996: Środowisko fizycznogeograficzne Warszawy – niektóre zagadnienia. [W:] T. Kozłowska-Szczęśna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, 1996, *Atlas Warszawy*, 4, Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia, IGiPZ PAN, 8–28.
- Kuchcik M., Baranowski J., Adamczyk A. B., Błażejczyk K. 2008: The network of microclimatic measures in Warsaw agglomeration. [W:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.) *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 123–128.
- Lewińska J., 1991: *Klimat Miasta. Vademecum urbanisty*. [W:] J. Lewińska (red.), IGPIK, Kraków, 168.
- Lorenc H., 2000: Studia nad 220-letnią (1779–1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji. *IMGW Materiały Badawcze Ser. Meteorologia*, 31, Warszawa.
- Strony internetowe, z których wykorzystano materiały: www.imgw.pl

SUMMARY

The aim of the paper is to present the air temperature differences in Warsaw over the period 1951–1998 between different city structures: botanical gardens in the city centre and of suburban location, compact development in the city center and the suburbs. The trend of growing yearly mean air temperature in Warsaw was confirmed. The air temperature in the botanical garden in the city centre is of 0.4°C higher than outside the city. However, the thermal regime of the botanical garden in Powsin (which is of peripheral location) does not differ from rural conditions.