

Krzysztof Błażejczyk

Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, 00-818 Warszawa, Twarda 51/55; e-mail: k.blaz@twarda.pan.pl

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, 00-927 Warszawa, Krakowskie Przedmieście 30; e-mail: kblazejczyk@uw.edu.pl

Anna Błażejczyk

Bioklimatologia. Pracownia Bioklimatologii i Ergonomii Środowiskowej, 04-133 Warszawa, Łukowska 17/55; e-mail: anna@blazejczyk.eu

Magdalena Kuchcik, Paweł Milewski, Jakub Szmyd

Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, 00-818 Warszawa, Twarda 51/55; e-mail: mkuchcik@hotmail.com, pmilewski@twarda.pan.pl, j.szmyd@twarda.pan.pl

**ZMIANY ZAGOSPODAROWANIA WARSZAWY
WEDŁUG *STUDIUM UWARUNKOWAŃ I KIERUNKÓW*
ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO
I ICH MOŻLIWY WPŁYW NA WARUNKI
MIKROKLIMATYCZNE I JAKOŚĆ ŻYCIA MIESZKAŃCÓW¹**

Streszczenie: Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci obserwuje się burzliwy rozwój miast. W wielu miastach Polski, w tym także w Warszawie, proces ten odbywa się w warunkach braku miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Przy podejmowaniu decyzji lokalizacyjnych i wydawaniu pozwoleń na budowę władze lokalnych jednostek administracyjnych kierują się ogólnymi wskazaniami rozwoju miasta zawartymi w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego. Celem obecnego doniesienia jest przedstawienie, w jakim stopniu projektowane kierunki rozwoju przestrzennego Warszawy mogą wpłynąć na niektóre cechy klimatu miasta, ważne dla jakości życia mieszkańców. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na tzw. miejską wyspę ciepła.

Słowa kluczowe: Warszawa, zagospodarowanie przestrzenne, klimat miasta, bioklimat miasta, miejska wyspa ciepła, jakość życia

**CHANGES IN THE SPATIAL ORGANIZATION OF WARSAW AND
THEIR POSSIBLE INFLUENCE ON MICROCLIMATIC CONDITIONS
AND QUALITY OF LIFE OF URBAN CITIZENS**

Abstract: The last decades have brought intensive development of urban areas. In many Polish cities, including Warsaw, such development takes place without obligatory local plans. Thus,

¹ Podziękowania. Praca powstała ramach projektu *Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon (UHI)*, finansowanego w ramach programu Unii Europejskiej „Central Europe” oraz programu badań własnych Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.

administrative permission decisions concerning any investment are prepared on the basis of so-called studies of conditions and directions of spatial planning. The aim of the present paper is to discuss how general plans of spatial development in Warsaw can influence some features of its climate which are important for the quality of life of Warsaw citizens. Special attention is paid to Urban Heat Island.

Keywords: Warsaw, spatial organization, urban climate, urban bioclimate, urban heat island, quality of life.

Dla większości obszaru Polski nie powstały dotychczas miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego. Według stanu na rok 2005 (Śleszyński et al. 2007) niespełna 20% obszaru gmin w Polsce miało zatwierdzone takie plany, a dla około 9% obszaru gmin plany takie były opracowywane. Istnieją oczywiście gminy, gdzie plany miejscowe obejmowały cały ich obszar, oraz takie, które nie miały żadnych planów ani nawet zamiaru ich opracowania. W przypadku Warszawy tylko 14% obszaru miasta miało w 2005 r. zatwierdzone plany miejscowe, a dla 27% obszaru plany takie są przygotowywane.

Ważnym dokumentem strategicznym odnoszącym się do kierunków rozwoju miasta jest *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Stołecznego Warszawy* (dalej: *Studium uwarunkowań*). Dokument ten został uchwalony przez Radę Warszawy 7 października 2010 r. (Nr XCII/2689/2010). Studium jest podstawą opracowywania planów miejscowych, a tam, gdzie planów takich nie ma, jest ono podstawową przesłanką w wydawaniu decyzji lokalizacyjnych i warunków zabudowy.

Badania prowadzone w wielu miastach i aglomeracjach na całym świecie dowodzą, że nagromadzenie na stosunkowo niewielkim obszarze obiektów kubaturowych oraz różnego rodzaju sztucznych powierzchni prowadzi do istotnych zmian w stosunkach wodnych i klimatycznych. Istnieje wiele dobrze udokumentowanych badań mówiących, że w miastach obserwuje się istotne zmiany funkcjonowania lokalnego systemu klimatycznego. Do najważniejszych modyfikacji klimatu należy zaliczyć: zmniejszenie dopływu promieniowania słonecznego oraz liczby godzin usłonecznienia przez utrzymującą się nad miastem powłokę zanieczyszczeń, znaczne zmniejszenie wilgotności powietrza oraz osłabienie prędkości wiatru. Miasta cechują się także wyraźnie podwyższoną, w stosunku do otoczenia, temperaturą powietrza. W dużych aglomeracjach to podwyższenie temperatury powietrza jest dobrze widoczne, nawet jeśli przeanalizujemy średnie wieloletnie wartości roczne i miesięczne (Błażejczyk 2002, 2011; Bröde et al. 2013; Erell et al. 2011; Fortuniak 2003; Givoni 1976; Kozłowska-Szczęsna et al. 1996; Kuchcik 2003; Matzarakis 2001; Mayer, Höpfe 1987; Oke 1987; Szymanowski 2004).

Bardzo typowym dla wszystkich miast zjawiskiem mikroklimatycznym jest występowanie tzw. miejskiej wyspy ciepła (UHI, od angielskiego terminu *Urban Heat Island*). Zjawisko to polega na znacznym podwyższeniu temperatury w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych. Powstanie miejskiej wyspy ciepła jest wynikiem:

- specyficznych właściwości fizycznych materiałów pokrywających grunt w mieście (powierzchnie betonowe i asfaltowe), które pochłaniają więcej promieni słonecznych, niż odbijają;
- małego udziału naturalnych powierzchni roślinnych, które sprzyjają stabilizacji bilansu cieplnego;
- dużej liczby różnego rodzaju powierzchni pionowych, które silnie pochłaniają promienie słoneczne i zmieniają pole wiatru (efekt kanionu);
- aktywności człowieka, na którą składa się ciepło produkowane przez urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne, przemysł, ruch samochodowy itp.

W obrębie miasta gromadzą się w ciągu dnia znaczne ilości ciepła, które w godzinach nocnych jest stopniowo uwalniane do atmosfery i powoduje, że wychładza się ona słabiej niż tereny otaczające. Podstawową miarą UHI jest różnica minimalnej temperatury powietrza (występującej w godzinach nocnych i wczesnoporannych) pomiędzy miastem i terenem pozamiejskim. Innymi miarami miejskiej wyspy ciepła są różnice: średniej dobowej oraz maksymalnej temperatury powietrza pomiędzy miastem a jego otoczeniem (Błażejczyk 2002; Błażejczyk, Błażejczyk 1999; Wawer 1998).

Zjawisko miejskiej wyspy ciepła jest szczególnie uciążliwe, a nawet niebezpieczne dla człowieka w okresie letnim. Organizm ludzki wyraźnie dostosował się do istnienia dobowego rytmu aktywności i temperatury wewnętrznej. W ciągu dnia, na skutek aktywności fizycznej, w organizmie gromadzone są niekiedy znaczne ilości ciepła, a wysoka temperatura powietrza utrudnia jego usunięcie do otoczenia. Noc jest tą porą doby, w której organizm nie produkuje dodatkowych ilości ciepła, a niższa temperatura otoczenia umożliwia usunięcie z organizmu nadwyżki ciepła (Aschof et al. 1974). Tymczasem miejska wyspa ciepła poprzez utrzymującą się wśród zabudowy w godzinach nocnych podwyższoną temperaturą zaburza ten naturalny cykl. W warunkach wysokiej temperatury powietrza, a zwłaszcza w trakcie fal upałów prowadzi to do wystąpienia dysfunkcji układu krążenia u osób starszych i u dzieci (*Heat-Waves...* 2004). Badania prowadzone w Holandii (Daanen et al. 2013) dowiodły, że miejska wyspa ciepła sprzyja zwiększeniu umieralności. Wyniki porównywano z danymi z terenów rolniczych.

Celem obecnego doniesienia jest przedstawienie stanu aktualnego UHI w Warszawie oraz możliwych zmian zasięgu i intensywności miejskiej wyspy ciepła, jakie mogą nastąpić w wyniku zrealizowania planów rozwoju miasta zawartych w *Studium uwarunkowań*. Zostaną także przedstawione przykłady wpływu sposobu zagospodarowania wybranych osiedli mieszkaniowych na odczuwane warunki biotermiczne, oddziałujące na jakość życia mieszkańców tych osiedli.

Materiały i metody

Podstawowym materiałem planistycznym, na którym opierają się rozważania odnoszące się do klimatu i jakości życia mieszkańców, jest wspomniane już wyżej *Studium uwarunkowań* (2010). Przy analizach przestrzennych wykorzystano dwa schematy obrazujące strukturę funkcjonalną miasta: nr 29 i nr 65. Pierwszy ze schematów ilustruje stan na rok 2005 (kiedy przygotowywano *Opracowanie*

ekofizjograficzne... 2006, poprzedzające powstanie *Studium uwarunkowań*). Na podstawie zdjęć satelitarnych strukturę funkcjonalną miasta uaktualniono na rok 2010. Drugi ze schematów pokazuje projektowany na najbliższe dziesięciolecia obraz struktury funkcjonalnej Warszawy. Schematy te posłużyły do wykonania map aktualnego i prognozowanego rozkładu form zagospodarowania terenu, które odgrywają istotną rolę w kształtowaniu UHI. Na mapach tych wyróżniono sześć kategorii zabudowy (wysoką, niską zwartą, niską rozproszoną, niską śródlęsną, przemysłową oraz handlowo-usługową), a także lasy i zieleń wysoką urządzonej (parki miejskie).

Silne związki statystyczne pomiędzy wielkością miasta (wyrażoną liczbą mieszkańców – *pop*, w tys.) a odchyleniami temperatury minimalnej powietrza w różnych typach zagospodarowania w mieście w stosunku do terenów pozamiejskich (Kunert, Błażejczyk 2011) pozwoliły na stworzenie modelu, za pomocą którego można obliczyć prawdopodobne wartości UHI w różnych typach zabudowy obecnie (dla roku 2010) i przy stanie zagospodarowania prognozowanym na rok 2070. Model opiera się na następujących równaniach regresji:

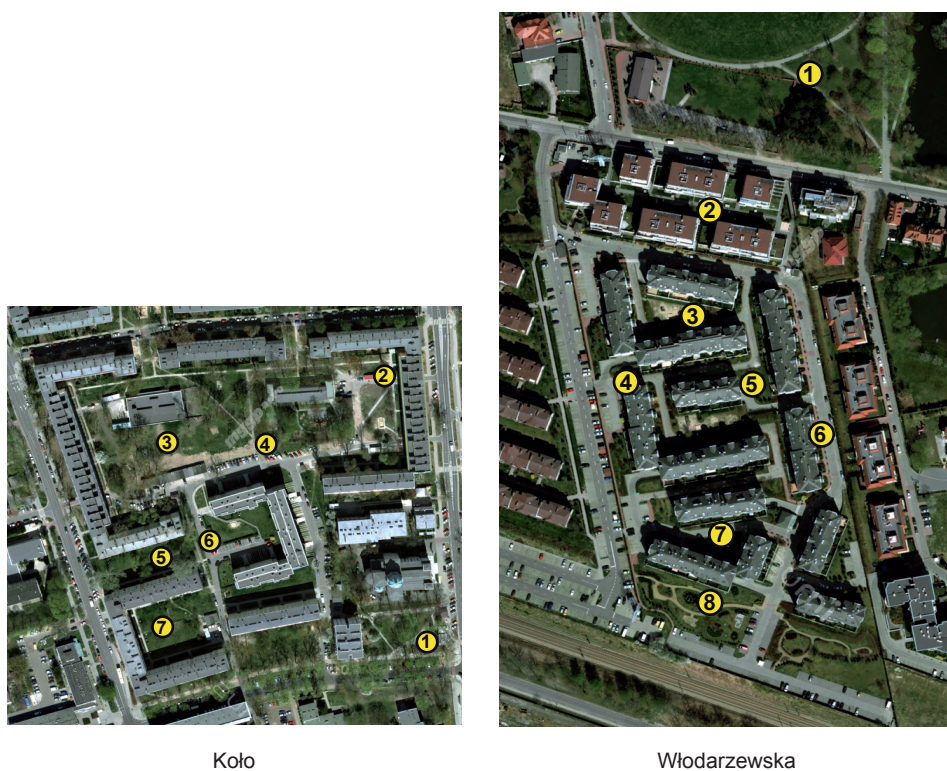
- dla zabudowy wysokiej – $UHI = 0,0012 \cdot pop + 0,3695$
- dla zabudowy zwartej niskiej – $UHI = 0,0011 \cdot pop - 0,1314$
- dla zabudowy niskiej rozproszonej – $UHI = 0,0954 \cdot \ln(pop) - 0,4286$
- dla zabudowy śródlęsnej – $UHI = 0,0451 \cdot \ln(pop) + 0,0601$
- dla zabudowy przemysłowej – $UHI = 0,0432 \cdot \ln(pop) + 2,0003$
- dla zabudowy usługowo-handlowej – $UHI = 0,4456 \cdot \ln(pop) - 1,8737$
- dla lasów i zieleni wysokiej urządzonej – $UHI = 0,3201 \cdot \ln(pop) - 0,8732$

Do zobrazowania wpływu miasta na kształtowanie miejskiej wyspy ciepła oraz na warunki bioklimatyczne w mieście wykorzystano meteorologiczne dane obserwacyjne. Do stwierdzenia samego istnienia i intensywności UHI posłużyły dane za lata 1981–2011 ze stacji Warszawa Okęcie (należącej do IMGW) oraz ze stacji Uniwersytet Warszawski (Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW). Wykorzystano też dane za lata 2004–2010 ze stacji Twarda (Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN) oraz Tłuszcz (Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska).

Obraz przestrzenny obserwowanej miejskiej wyspy ciepła powstał na podstawie danych ze specjalnej sieci pomiarowej IGiPZ PAN, działającej w ramach projektu *Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon (UHI)*, finansowanego w ramach programu Unii Europejskiej „Central Europe”. Sieć składa się z ponad 30 punktów działających od 2006 r. (Kuchcik et al. 2008).

Wpływ zagospodarowania terenu na obciążenia cieplne organizmu człowieka został omówiony na podstawie wyników szczegółowych pomiarów terenowych przeprowadzonych na obszarze dwóch osiedli: Koło oraz Włodarzewska, leżących w zachodniej części Warszawy (ryc. 1). Osiedle Koło powstało w latach 50. ubiegłego wieku. Składa się z kilkunastu cztero- i pięciopiętrowych, luźno rozmieszczonych budynków. Przestrzenie między budynkami są pokryte trawnikami oraz porośnięte licznymi wysokimi drzewami (głównie liściastymi). Udział terenów biologicznie czynnych (TBC) wynosi 54,3%, a wskaźnik

intensywności zabudowy (WIZ, który jest iloczynem powierzchni zabudowy i liczby kondygnacji dzielonym przez powierzchnię osiedla) wynosi 0,8. Osiedle Włodarzewska powstało około 15 lat temu. Składa się z kilkunastu cztero- i pięciopiętrowych budynków. Budynki są rozlokowane bardzo gęsto (WIZ wynosi 1,25). Przestrzeń pomiędzy budynkami są w dużej mierze pokryte sztucznymi nawierzchniami (TBC wynosi 40,7%). Na osiedlu rośnie tylko kilka młodych, niskich drzew. Rozmieszczenie punktów pomiarowych, w których 21 i 22 maja 2013 r. mierzono natężenie całkowitego promieniowania słonecznego, temperaturę i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru, przedstawia rycina 1.



Ryc. 1. Rozmieszczenie stanowisk obserwacji mikroklimatycznych na terenie osiedli Koło i Włodarzewska w Warszawie

Źródło zdjęcia: www.zumi.pl.

Obciążenia cieplne organizmu człowieka określono za pomocą uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (UTCI) (Błażejczyk i inni 2010, Brøde et al. 2012). Obliczenia wskaźnika UTCI wykonano za pomocą programu BioKlima 2.6 (<http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>).

Wyniki

Ogólne cechy miejskiej wyspy ciepła

Wyniki monitoringu miejskiej wyspy ciepła w 2011 r. wskazują na jej zasięg i kształt przedstawiony na rycinie 2. UHI jest najbardziej intensywna w Śródmieściu, zachodniej części Woli, na Żoliborzu i Pradze Północ oraz w północnej części Ochoty. Odchylenia temperatury minimalnej (w stosunku do wartości na stacji Warszawa Okęcie) osiągają w tych obszarach ponad $+2^{\circ}\text{C}$. Tereny położone na południowych i północnych krańcach Warszawy oraz obszary w dolinie Wisły do wysokości granicy Pragi Południe z Wawrem charakteryzują się tym, że obecnie zjawisko UHI tam nie występuje lub jest bardzo słabe.



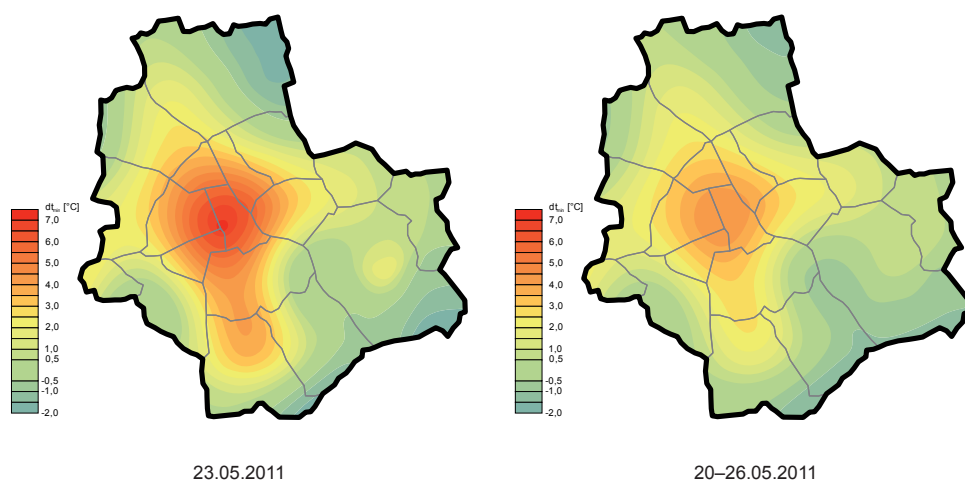
Ryc. 2. Rozkład średnich odchyień minimalnej temperatury powietrza na obszarze Warszawy względem stacji Warszawa Okęcie w 2011 r.

Źródło: opracowanie własne.

W szczególnych warunkach meteorologicznych (bezczmurne niebo, bardzo słaby wiatr) UHI może osiągać nawet $9\text{--}10^{\circ}\text{C}$. Jako przykład wybrano ciąg dni między 20 a 26 maja 2011 r., kiedy UHI w Warszawie charakteryzowała się bardzo dużym natężeniem. Na rycinie 3 przedstawiono zasięg UHI w dniu 23 maja

2011 r. (wtedy miała ona największą intensywność) i w całym okresie 20–26 maja 2011 r. Różnica temperatury minimalnej między centrum miasta a jego południowymi obrzeżami osiągnęła średnio około $+5^{\circ}\text{C}$, a 23 maja 2011 r. różnica ta dochodziła do $+9^{\circ}\text{C}$.

Podwyższona temperatura powietrza w obszarze zabudowanym przekłada się na występowanie w centrach miast silnych obciążeń cieplnych. Seria pomiarów meteorologicznych z lat 2004–2010 prowadzonych w centrum Warszawy (ul. Twarda) oraz na obrzeżach niewielkiego Tuszczca posłużyła do określenia obciążeń cieplnych za pomocą wskaźnika UTCI. Stres ciepła o różnym natężeniu występował w centrum Warszawy przez 19% dni, natomiast w obszarze pozamiejskim jedynie przez 4% dni.



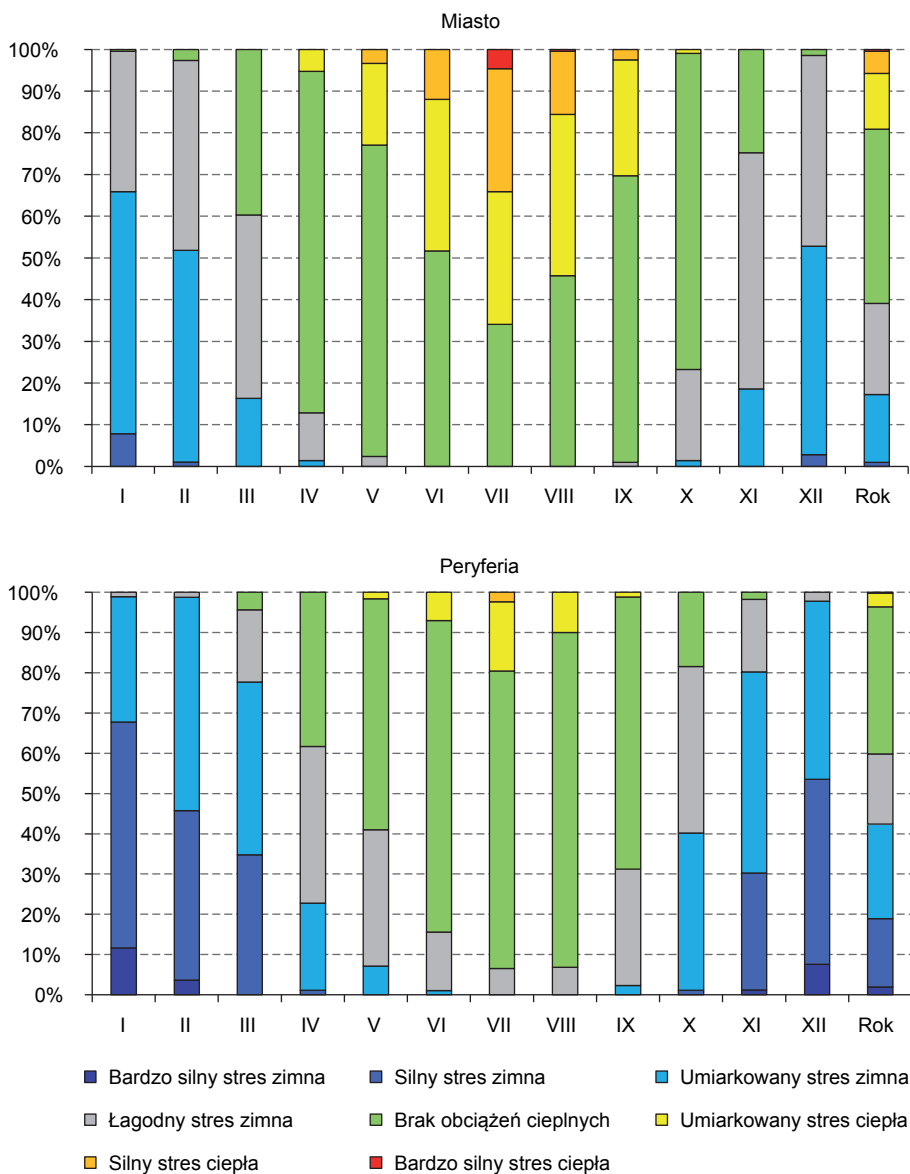
Ryc. 3. Rozkład odchyleń minimalnej temperatury powietrza na obszarze Warszawy względem stacji Warszawa Okęcie 23.05.2011 i w okresie 20–26.05.2011

Źródło: opracowanie własne.

Charakterystyczne jest, że silny stres ciepła pojawiał się w centrum Warszawy od maja do sierpnia (z maksimum 30% dni w lipcu), a w terenie pozamiejskim – jedynie w lipcu z częstością około 2%. W przypadku stresu zimna proporcje częstości są odwrócone w porównaniu ze stresem ciepła. W centrum Warszawy występował on przez 39% dni w roku, natomiast poza miastem częstość takich sytuacji sięgała 60% (ryc. 4).

Natężenie UHI w różnych osiedlach Warszawy

W ramach sieci monitoringu UHI część punktów działa w wybranych osiedlach Warszawy, różniących się udziałem powierzchni biologicznie czynnej, intensywnością zabudowy oraz odległością od centrum miasta (Kuchcik, Baranowski 2011; Szulczewska, Giedych 2010) (tab. 1).



Ryc. 4. Częstość różnych kategorii UTCI w centrum Warszawy (miasto) i w terenie pozamiejskim (peryferia), 2004–2010

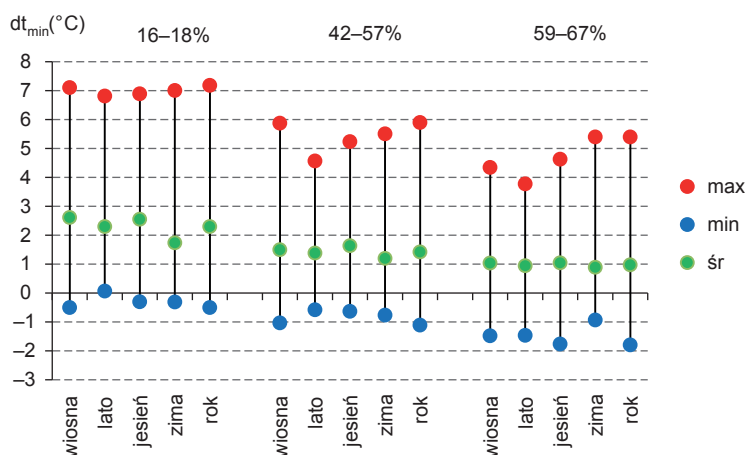
Źródło: opracowanie własne.

Tab. 1. Wartości wskaźnika terenów biologicznie czynnych, wskaźnika intensywności zabudowy oraz odległość od centrum Warszawy badanych osiedli mieszkaniowych

L.p.	Nazwa osiedla (dzielnica Warszawy)	Wskaźnik terenów biologicznie czynnych (%)	Wskaźnik intensywności zabudowy	Odległość od centrum (km)
1	Hoża (Centrum)	16,4	2,23	0,5
2	Pańska (Centrum)	17,8	2,50	1,1
3	Włodarzewska (Ochota)	40,7	1,25	4,9
4	Zgrupowania Żmija (Bielany)	41,7	1,02	6,9
5	Kamińskiego (Białołęka)	44,5	0,98	11,1
6	Orzycka (Mokotów)	48,6	0,95	5,9
7	Duracza (Bielany)	51,8	0,71	6,1
8	Olbrachta (Wola)	52,5	1,24	5,0
9	Koło (Wola)	54,3	0,80	4,9
10	Langeo (Mokotów)	56,9	1,19	5,2
11	Bokserska (Mokotów)	58,6	0,56	6,4
12	Conrada (Bielany)	59,6	1,26	7,4
13	Limanowskiego (Mokotów)	65,1	0,62	5,1
14	Bernardyńska (Mokotów)	67,4	0,72	5,2

Źródło: opracowanie własne.

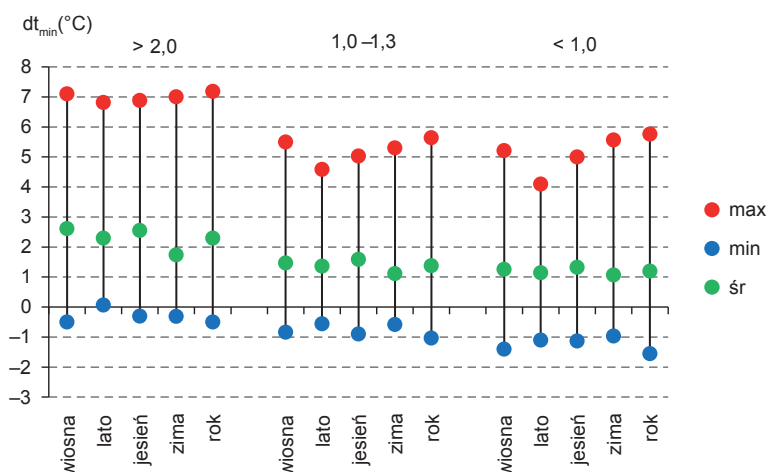
Największa intensywność UHI cechuje osiedla z najniższym udziałem terenów biologicznie czynnych (najwyższe wartości sięgają 7,1°C, a średnia – 2,3°C). Wśród osiedli z umiarkowanym udziałem terenów biologicznie czynnych intensywność UHI sięga 5,9°C, a jej wartość średnia 1,4°C. W osiedlach z dużym udziałem TBC intensywność UHI sięga 5,4°C, a średnio w roku wynosi zaledwie 1,0°C (ryc. 5).



Ryc. 5. Minimalne, średnie i maksymalne intensywności miejskiej wyspy ciepła (dt_{min}) w osiedlach o różnym udziale terenów biologicznie czynnych, 2011–2012

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku wskaźnika intensywności zabudowy jego wysokie wartości występują w osiedlach, w których dominuje gęsta, wysoka zabudowa, głównie w centrum miasta. Tam też UHI jest najbardziej intensywna. Najniższe WIZ typowe są natomiast dla osiedli o dużym udziale TBC i trzy- i czteropiętrowych blokach mieszkalnych. Średnie roczne wartości UHI na osiedlach z WIZ równym 1,0–1,3 są o 0,2°C wyższe od notowanych na osiedlach z WIZ poniżej 1 (ryc. 6).



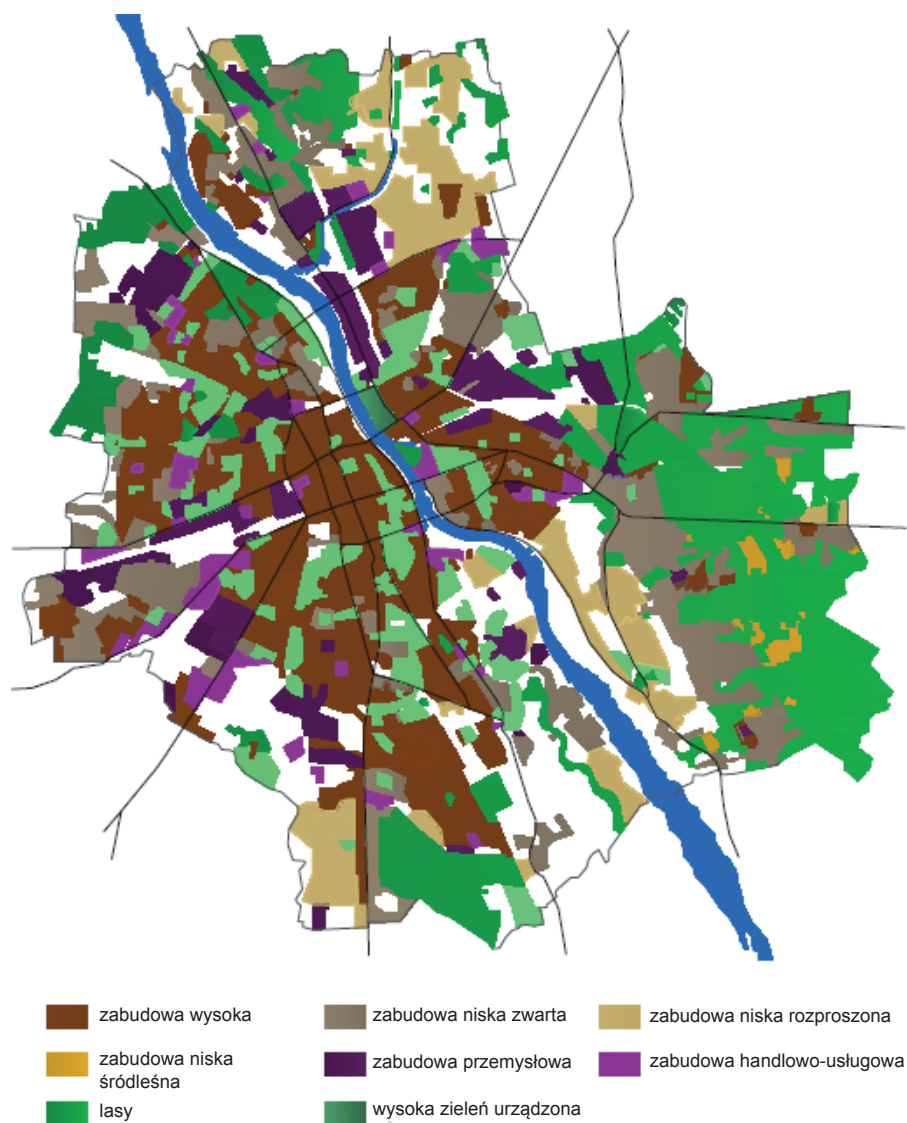
Ryc. 6. Minimalne, średnie i maksymalne intensywności miejskiej wyspy ciepła (dt_{min}) w osiedlach o różnej wartości współczynnika intensywności zabudowy, 2011–2012

Źródło: opracowanie własne.

Zmiany UHI w świetle planów perspektywicznych rozwoju Warszawy

Jak wskazano wyżej, intensywność i zasięg miejskiej wyspy ciepła zależy od rodzaju zagospodarowania terenu oraz od przestrzennego rozmieszczenia poszczególnych form zagospodarowania. Dlatego też w celu sporządzenia prognozy zjawiska UHI w nadchodzących latach przeanalizowano strategiczne dokumenty planów rozwojowych Warszawy. Podstawą tych analiz było *Studium uwarunkowań* (2010) oraz poprzedzające ten dokument *Opracowanie ekofizjograficzne...* z roku 2006.

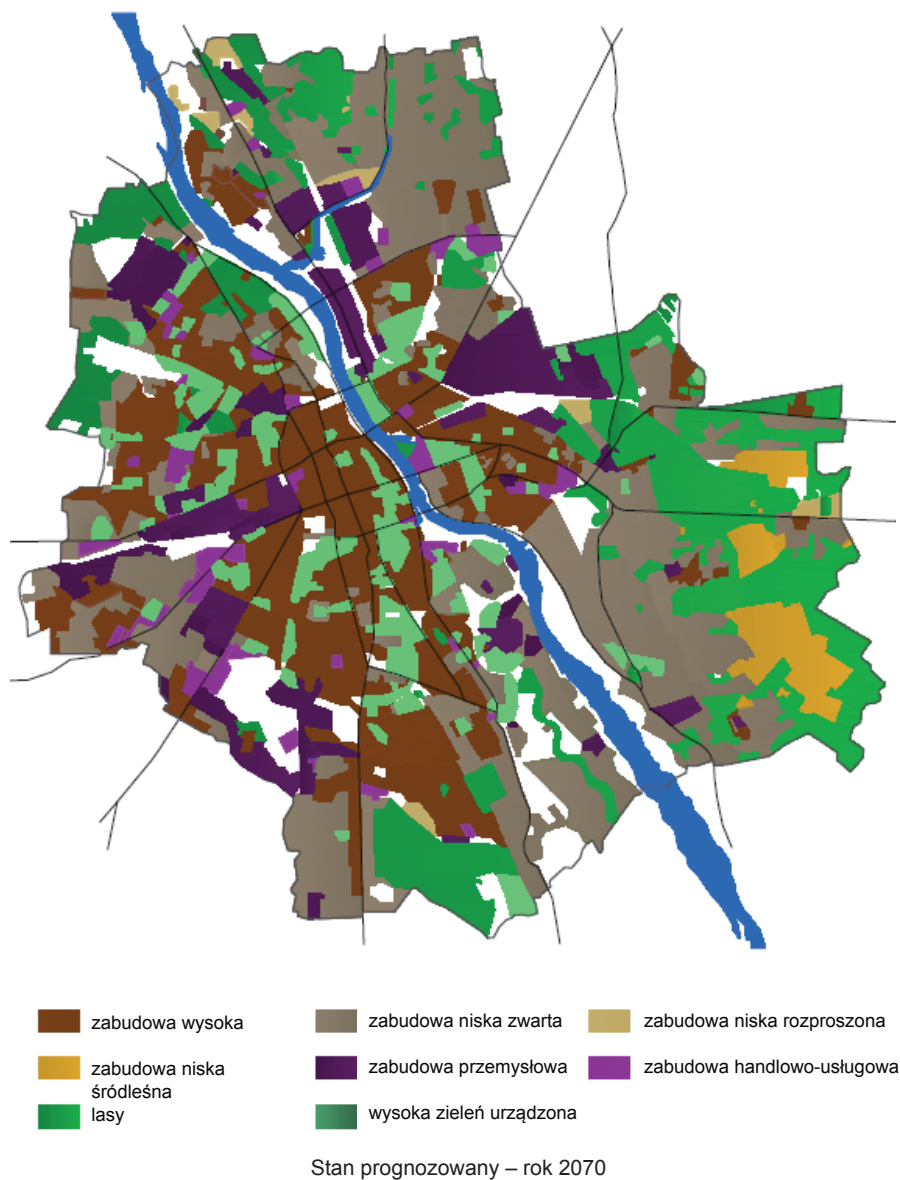
Na podstawie powyższych dokumentów wykonano dwa wyciągi kartograficzne rozmieszczenia tych form zagospodarowania terenu, które mają największy wpływ na powstanie, intensywność i zasięg przestrzenny miejskiej wyspy ciepła (ryc. 7). Wyciągi te opracowano dla roku 2010, aktualizując stan zagospodarowania terenu na podstawie obrazów satelitarnych i wizji lokalnych w terenie, oraz dla roku 2070. W drugim wypadku przyjęto założenie, że do tego roku zostaną zrealizowane zamierzenia inwestycyjne w zakresie budowy nowych osiedli mieszkaniowych i terenów przemysłowo-usługowych, przewidziane w *Studium uwarunkowań*.



Stan istniejący – rok 2010

Ryc. 7. Rozmieszczenie i zasięg wybranych form zagospodarowania terenu mających wpływ na występowanie miejskiej wyspy ciepła

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 7 – cd.

Porównując zasięg poszczególnych form zagospodarowania terenu w Warszawie, można stwierdzić, że największe zmiany będą dotyczyć dzielnic: Białołęka, Wawer, Wilanów i Mokotów. W planach rozwoju miasta większość terenów wolnych od zabudowy lub zajętych pod zabudowę niską luźną przeznaczono pod zabudowę niską zwartą. Wyraźnemu zwiększeniu ulegnie także odsetek terenów z zabudową przemysłową oraz śródleśną. Zestawienie ilościowe aktualnych i prognozowanych powierzchni różnych typów zagospodarowania terenu przedstawia tabela 2.

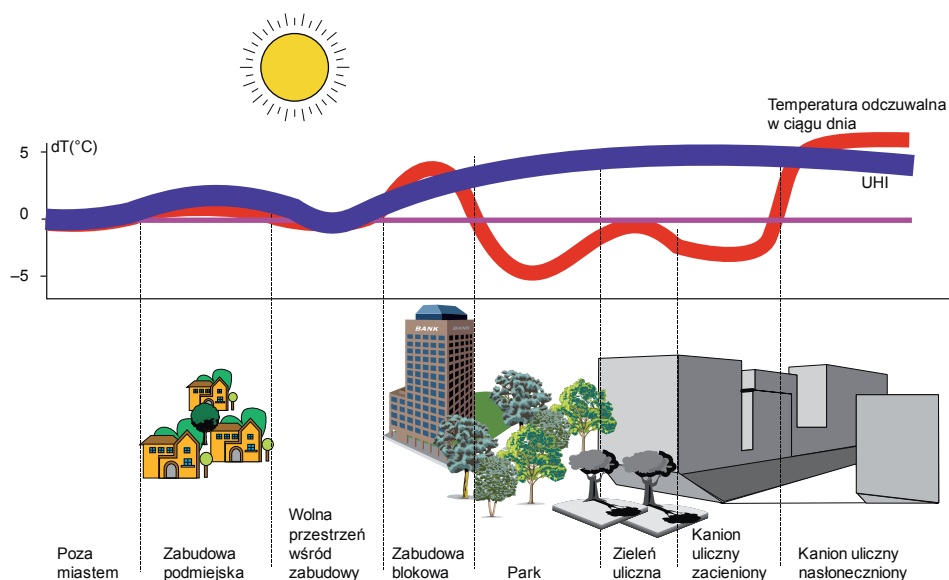
Tab. 2. Odsetek terenów zajętych przez różne typy zagospodarowania terenu w Warszawie w roku 2010 (stan obecny) i w roku 2070 (stan prognozowany)

Typ zagospodarowania terenu	2010	2070
Zabudowa wysoka	19,6	20,1
Zabudowa niska zwarta	15,1	30,5
Zabudowa niska rozproszona	7,5	1,1
Zabudowa średleśna	0,9	2,3
Zabudowa przemysłowa	6,4	9,8
Zabudowa handlowo-usługowa	2,2	2,2
Lasy	19,7	13,6
Zieleń wysoka urządzona	7,0	6,6
Wisła	2,9	2,9
Tereny otwarte	18,8	10,9

Źródło: opracowanie własne.

Korzystając z przedstawionych wyżej równań regresji, wykonano zobrazowanie możliwego zasięgu i intensywności miejskiej wyspy ciepła w Warszawie obecnie oraz w horyzoncie czasowym roku 2070. Obrazowanie sporządzono dla dwóch okresów doby: godzin nocnych i porannych oraz dla godzin okołopołudniowych. Rozróżnienia tego dokonano w związku z wyraźnie różną strukturą termiczną miasta nocą i dniem. O ile nocą w kształtowaniu miejskiej wyspy ciepła główną rolę odgrywa sama obecność zabudowy i sztucznych nawierzchni, o tyle w ciągu dnia stosunki termiczne są silnie modyfikowane przez zacienienie (drzewami i/lub budynkami) oraz osłabienie lub wzmocnienie prędkości wiatru w kanionach ulicznych (ryc. 8).

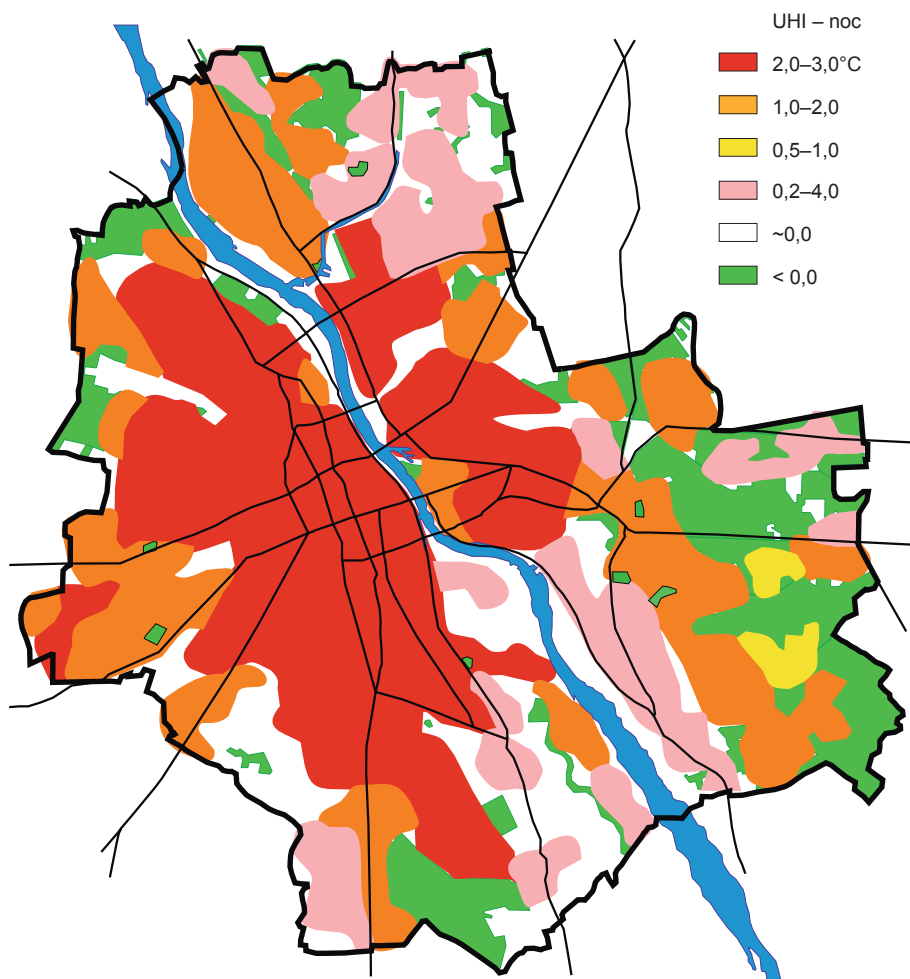
Wydzielono sześć kategorii obszarów o różnej intensywności miejskiej wyspy ciepła. W godzinach nocnych najsilniejsza UHI, osiągająca średnio 2–3°C występuje wśród wysokiej zwartej zabudowy w centrum miasta oraz w gęsto zabudowanych osiedlach Żoliborza, Pragi, Woli, Ursusa i Mokotowa. Zasięg nieco słabszej UHI (1–2°C) pokrywa się w większości z obszarami zwartej i niskiej zabudowy mieszkaniowej i handlowo-usługowej. Wśród luźnej zabudowy mieszkaniowej Białołęki, Wawra, Wilanowa i Wesołej miejska wyspa ciepła ma niewielką intensywność, wynoszącą 0,2–0,4°C. Na większych obszarach niezabudowanych, zarówno otoczonych zabudową, jak i na jej obrzeżach UHI nie występuje. UHI nie występuje także na obszarach leśnych leżących na obrzeżach Warszawy oraz wzdłuż koryta Wisły; temperatura powietrza jest tam nawet niższa niż poza miastem (ryc. 9, godziny nocne).



Ryc. 8. Schematyczny rozkład miejskiej wyspy ciepła (UHI) oraz temperatury odczuwalnej w godzinach dziennych w obrębie różnych fragmentów miasta

Źródło: opracowanie własne.

Rozkład miejskiej wyspy ciepła zmienia się w godzinach dziennych. Na obszarach zabudowanych temperatura powietrza może być w ciągu dnia zarówno wyższa, jak i niższa niż poza miastem. Wartości różnic temperatury maksymalnej są zależne od konkretnej lokalizacji. W miejscach nasłonecznionych i zacisznych temperatura powietrza może być znacznie wyższa niż za miastem, natomiast w miejscach zacienionych, z wymuszonym zwiększonym przepływem powietrza niższa niż na peryferiach. Dużej zmienności przestrzennej temperatury (od 0 do $+3^{\circ}\text{C}$) należy się spodziewać wśród zabudowy zwartej wysokiej. Wśród zabudowy niskiej UHI może się zmieniać lokalnie od -2 do $+4^{\circ}\text{C}$. Dniem ważną rolę w kształtowaniu warunków termicznych w mieście odgrywają tereny zieleni wysokiej (parki, lasy, większe skwery). W ich obrębie temperatura powietrza może być nawet o $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ niższa niż wśród sąsiadującej zabudowy. Wyższa jest tam także wilgotność powietrza. Stwarza to bardzo dobre warunki do nawet krótkotrwałego zregenerowania obciążonego układu termoregulacyjnego i krwionośnego, zmuszonego wśród zabudowy do intensywnych procesów dostosowawczych. Ma to szczególne znaczenie dla osób starszych i dzieci, których organizmy są w większym stopniu obciążane reakcjami adaptacyjnymi niż organizmy osób w sile wieku (ryc. 9, godzinyienne).



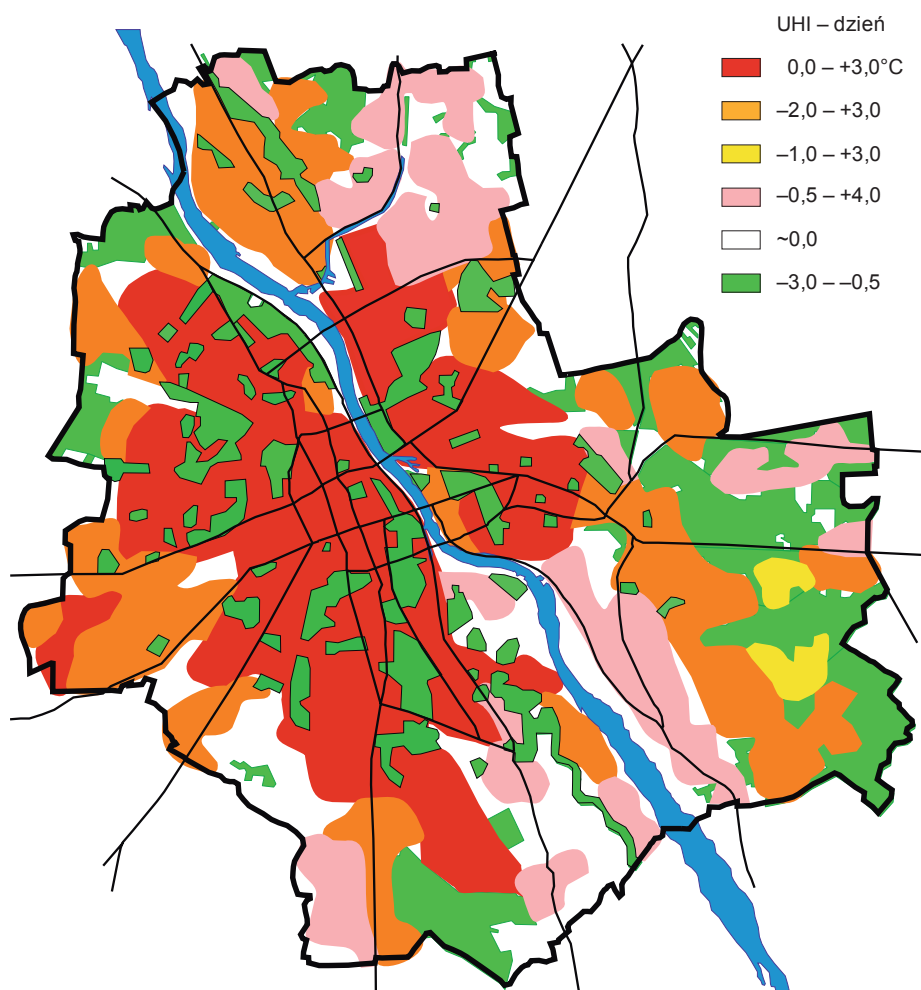
Stan istniejący (rok 2010) – godziny nocne

Ryc. 9. Rozkład różnych kategorii miejskiej wyspy ciepła w Warszawie przy obecnym zagospodarowaniu terenu

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku zrealizowania prognozowanych inwestycji budowlanych w Warszawie rozkład miejskiej wyspy ciepła zmieni się bardzo wyraźnie. Zwiększeniu ulegną nie tylko obszary o największej (2–3°C) nocnejwyżce temperatury, lecz także te, na których zwyżka ta jest mniejsza (1–2°C). Ograniczone zostaną tereny, gdzie UHI nie występuje, oraz obszary leśne, na których temperatura powietrza nocą jest niższa niż poza miastem (ryc. 10, godziny nocne).

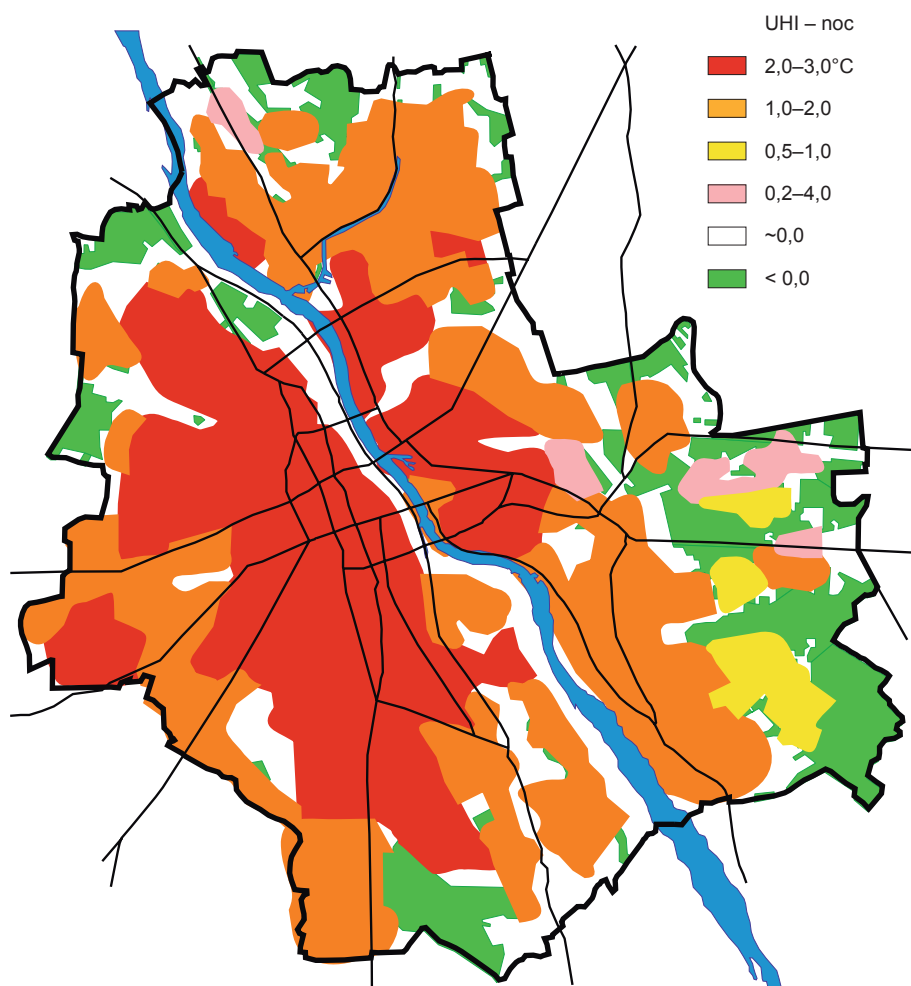
Jak już wspomniano wyżej, w godzinach dziennych w kształtowaniu warunków termicznych wewnątrz miasta bardzo ważną rolę odgrywają parki i zadrze-



Stan istniejący (rok 2010) – godziny dzienne

Ryc. 9 – cd.

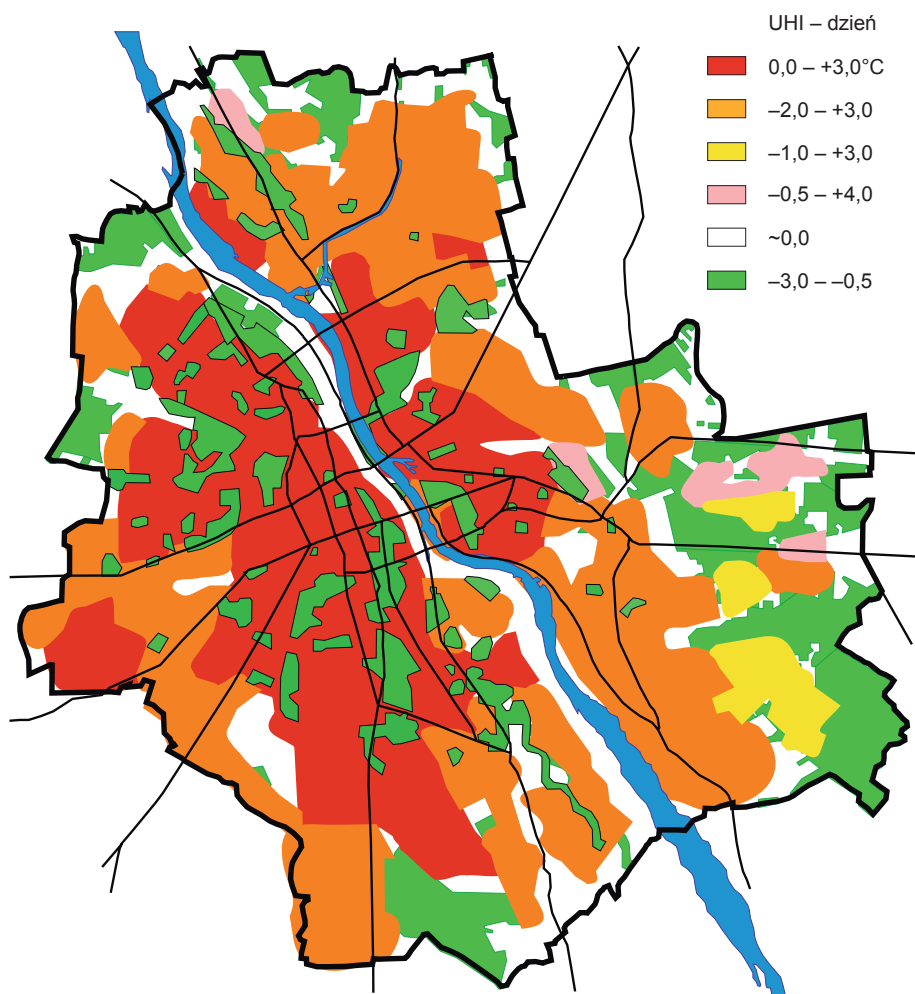
wione skwery oraz zielen ogrodowa. Dlatego też niepokojący jest brak tych form zagospodarowania terenu na obszarach przeznaczonych pod zwartą zabudowę niską (Białołęka, Wawer, Wilanów – ryc. 10, godziny dzienne), których zasięg ma ulec znacznemu powiększeniu. Brak ten należy bezwzględnie uzupełnić na etapie ustalania szczegółowych planów zagospodarowania tych terenów.



Stan prognozowany (rok 2070) – godziny nocne

Ryc. 10. Rozkład różnych kategorii miejskiej wyspy ciepła w Warszawie przy prognozowanym na rok 2070 zagospodarowaniu terenu

Źródło: opracowanie własne.



Stan prognozowany (rok 2070) – godziny dzienne

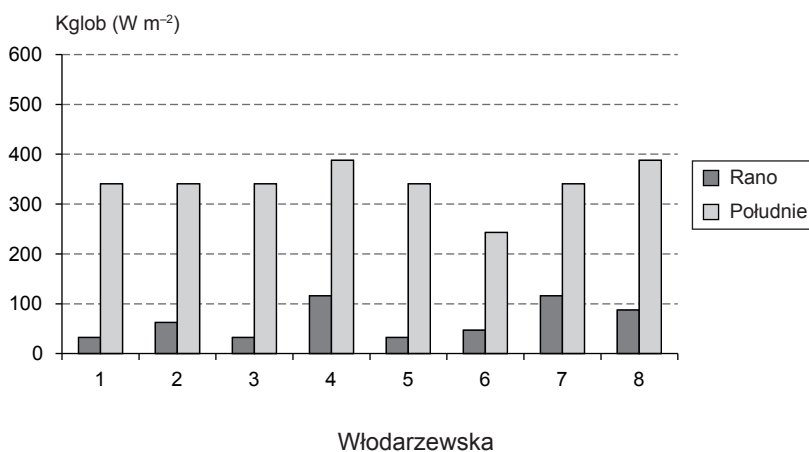
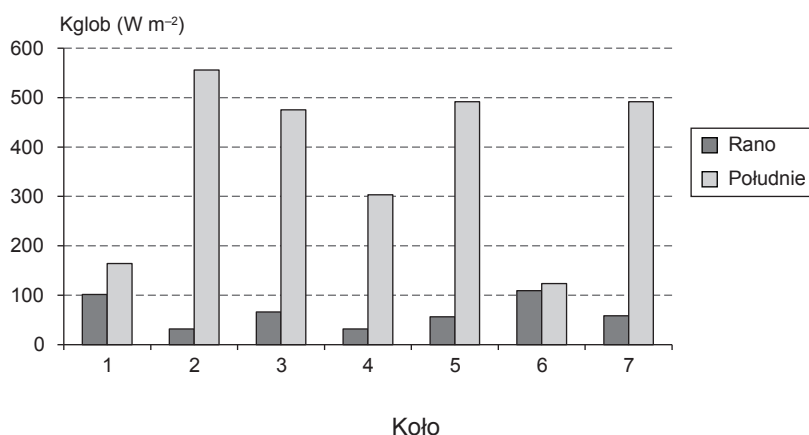
Ryc. 10 – cd.

Rola zagospodarowania terenu w kształtowaniu klimatu odczuwalnego

Przedstawione wyżej wyniki badań monitoringowych wykazały, że w kształtowaniu bioklimatycznych warunków jakości życia w mieście ważną rolę odgrywa sposób zagospodarowania terenu, a zwłaszcza zachowanie możliwie dużych obszarów biologicznie czynnych oraz unikanie zbyt intensywnej zabudowy. Analizując to zagadnienie, przeprowadzono na terenie dwóch warszawskich osiedli, Koła i Włodarzewskiej, szczegółowe pomiary mikroklimatyczne (ryc. 1). Poszczególne punkty pomiarowe różniły się stopniem zacienienia przez budynki i drzewa. O ile na osiedlu Koło, z luźną zabudową, ilość promieniowania docierającego do wielu punktów była podobna jak w terenie odsłoniętym, o tyle

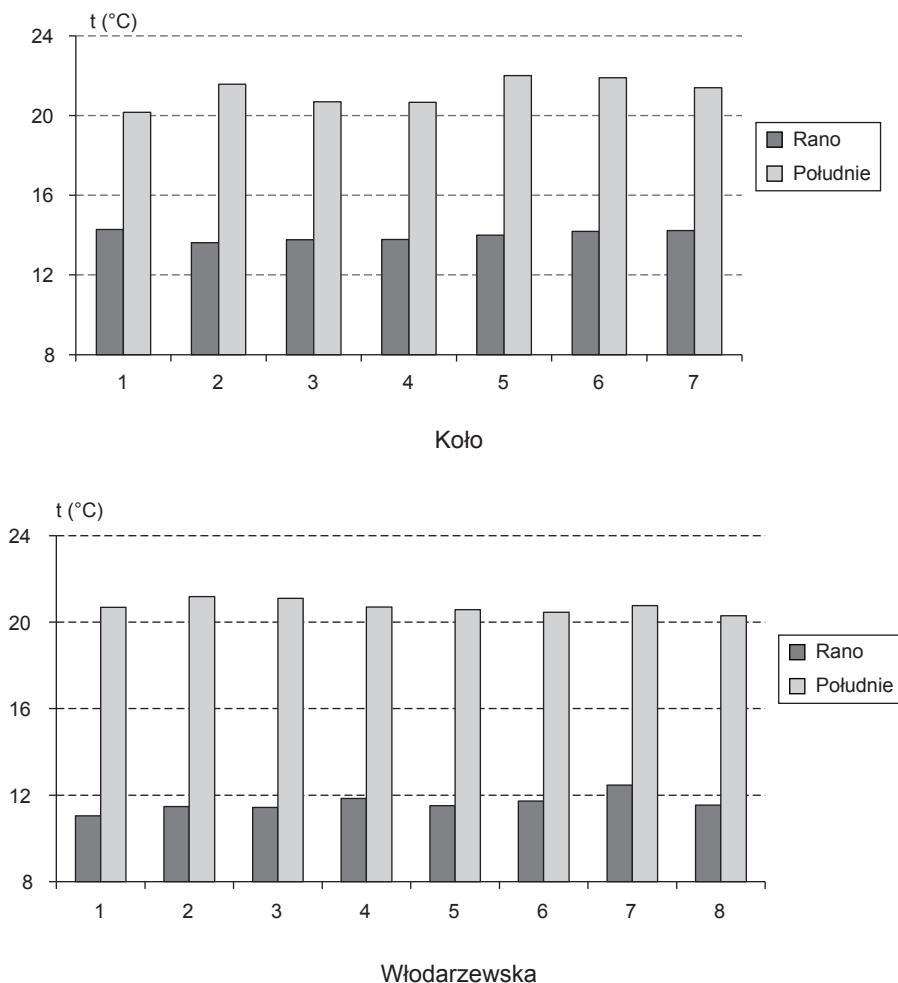
na osiedlu Włodarzewska każdy z punktów przez dłuższy lub krótszy czas był zacieniony przez otaczające budynki (ryc. 11).

Specyficzne cechy zagospodarowania terenu sprawiły, że na osiedlu Koło temperatura powietrza wykazywała wyraźne zróżnicowanie pomiędzy punktami pomiarowymi. Najniższa była w miejscach zacienionych przez drzewa oraz na rozległych trawnikach. Natomiast na osiedlu Włodarzewska, gdzie występują małe odległości pomiędzy budynkami i tylko niewielkie trawniki, temperatura powietrza nie różniła się tak bardzo między punktami pomiarowymi, mimo że część z nich znajdowała się w cieniu budynków i nad trawnikami (ryc. 12).



Ryc. 11. Średnie wartości całkowitego promieniowania słonecznego (Kglob) w poszczególnych punktach pomiarowych na osiedlach Koło i Włodarzewska, 21–22 maja 2013 r.

Źródło: opracowanie własne.



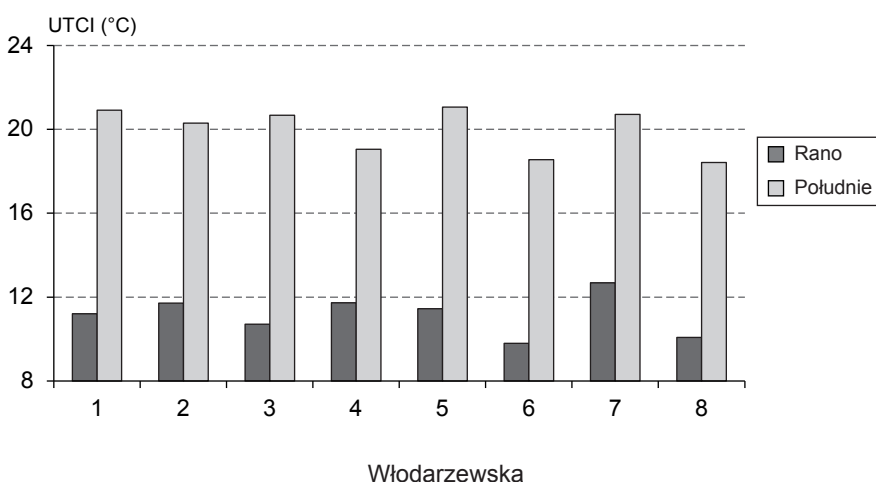
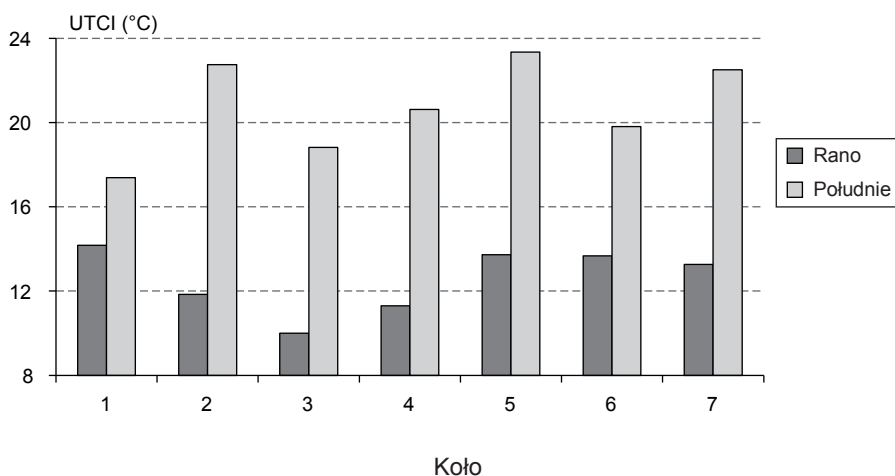
Ryc. 12. Średnie wartości temperatury powietrza (t) na poszczególnych punktach pomiarowych na osiedlach Koło i Włodarzewska, 21-22 maja 2013

Źródło: opracowanie własne.

Podane wyżej specyficzne cechy zagospodarowania i wynikające z nich zróżnicowanie podstawowych elementów meteorologicznych sprawiły, że porównywane osiedla były wyraźnie odmienne pod względem warunków biotermicznych odczuwanych przez człowieka. Na osiedlu Włodarzewska obciążenia cieplne organizmu są bardzo wyrównane i trudno jest znaleźć miejsce, gdzie można liczyć na ich złagodzenie. Z kolei na osiedlu Koło poza miejscami, gdzie występuje silne obciążenie cieplne (punkty: 2, 5 i 7), znajdują się swoiste oazy warunków łagodnych, w których organizm człowieka może się zregenerować (punkty 1, 3, 4 i 6) (ryc. 13).

Potwierdzenie przyjaznego (na osiedlu Koło) i niekorzystnego (na osiedlu Włodarzewska) dla mieszkańców sposobu zagospodarowania terenu przynosi

porównanie obciążeń cieplnych z tymi obserwowanymi w centrum miasta (ulica Twarda). Koło, o stosunkowo dużym udziale terenów biologicznie czynnych i niewielkiej intensywności zabudowy cechowało się niższymi, o średnio $5,4^{\circ}\text{C}$ wartościami UTCI niż centrum Warszawy. W miejscu najcieplejszym UTCI było niższe o prawie 3°C , a w miejscu najchłodniejszym – aż o blisko 9°C . Daje to możliwość zregenerowania organizmu po powrocie na osiedle z miejsc o dużej gęstości zabudowy. Osiedle Włodarzewska było średnio tylko o około 1°C chłodniejsze niż centrum Warszawy. W miejscach najcieplejszych obciążenia cieplne były porównywalne z tymi w centrum miasta (różnica UTCI bliska zero), zaś w miejscach najchłodniejszych UTCI było tylko o niecałe 3°C niższe niż w Śródmieściu (tab. 3).



Ryc. 13. Średnie wartości UTCI w poszczególnych punktach pomiarowych na osiedlach Koło i Włodarzewska, 21–22 maja 2013 r.

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 3. Różnice UTCI (°C) pomiędzy badanymi osiedlami a centrum Warszawy

Osiedle	Pora dnia	Średnio	Najcieplejsze miejsce na osiedlu	Najchłodniejsze miejsce na osiedlu
Kolo (TBC 54%, WIZ 0,8)	rano	-1,7	-0,1	-4,3
	południe	-5,4	-2,8	-8,8
Włodarzewska (TBC 41%, WIZ 1,25)	rano	-0,9	0,6	-2,3
	południe	-1,3	-0,2	-2,9

Źródło: opracowanie własne.

Wnioski

Obszary miast silnie modyfikują funkcjonowanie lokalnego systemu klimatycznego. Z punktu widzenia jakości życia mieszkańców najważniejszą cechą klimatu miasta jest występowanie tzw. miejskiej wyspy ciepła (UHI). Znaczne niekiedy podwyższenie temperatury w mieście zaburza dobowy rytm procesów termoregulacyjnych, utrudniając regenerację organizmu w godzinach nocnych. W centrum Warszawy natężenie UHI wynosi średnio około 2°C. Niemniej jednak w sprzyjających warunkach pogodowych (małe zachmurzenie, brak lub słaba prędkość wiatru) miejska wyspa ciepła może osiągać wartość 8–10°C.

Na intensywność UHI wpływa stopień zagospodarowania terenu, a jego miarami jest udział terenów biologicznie czynnych (TBC) oraz wskaźnik intensywności zabudowy (WIZ). Tam, gdzie TBC jest niewielkie, a WIZ przyjmuje wysokie wartości, należy się liczyć z silną miejską wyspą ciepła nie tylko w godzinach nocnych, lecz także w ciągu dnia. Dlatego też miejska wyspa ciepła o dużym natężeniu nie ogranicza się tylko do centralnych części Warszawy. Obserwuje się ją także w gęsto zabudowanych, ubogich w tereny biologicznie czynne osiedlach peryferyjnych.

Dużą rolę w łagodzeniu UHI, zwłaszcza w godzinach dziennych, mają tereny parków, zadrzewień i lasów. Cechują się one wyraźnie mniejszymi obciążeniami cieplnymi, co pozwala także w ciągu dnia na regenerację organizmu poddanego w mieście silnej presji termicznej. Dlatego też bardzo ważne jest zachowanie wewnątrz miasta licznych, nawet niedużych, parków i zadrzewień. W tym kontekście należy negatywnie ocenić obserwowaną w ostatnich latach w Warszawie aktywność inwestycyjną, która często prowadzi do likwidacji skupisk drzew i małych terenów zielonych.

Realizacja zamierzeń inwestycyjnych zawartych w *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Stołecznego Warszawy* może doprowadzić do znacznego powiększenia obszaru występowania miejskiej wyspy ciepła oraz podwyższenia jej intensywności. Przy ustalaniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego należy pamiętać o wprowadzeniu do struktury miasta terenów zieleni wysokiej urzędzonej. Dotyczy to zwłaszcza rejonu Targówka, Białołęki, Wawra, Dolnego Mokotowa i Wilanowa, gdzie przewiduje się powstanie nowej i znaczne zagęszczenie już istniejącej zabudowy. Należy także postulować, aby plany te były konsultowane przez specjalistów

z zakresu klimatu miasta. Pozwoli to na uniknięcie błędów projektowych, które mogą doprowadzić do znacznego pogorszenia warunków życia mieszkańców wymienionych wyżej dzielnic Warszawy.

Literatura

- Aschoff J., Biebach H., Heise A., Schmidt T., 1974, „Day-night variation in heat balance”, w: J.L. Monteith, L.E. Mount (red.), *Heat Loss from Animals and Man: Assessment and Control*, London: Butterworth, s. 147–173.
- Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dokumentacja Geograficzna, nr 26, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Błażejczyk K., 2011, „Mapping of UTCI in local scale (the case of Warsaw)”, *Prace i Studia Geograficzne WGSR UW*, nr 47, s. 275–283.
- Błażejczyk K., Baranowski J., 2003, „Solar and UV radiation in the Warsaw downtown”, w: K. Kłysik, T. Oke, K. Fortuniak, S. Grimmond, J. Wibig (red.), *Proceedings Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 Sept. 2003, Łódź, Poland*, t. 1, s. 263–266.
- Błażejczyk K., Błażejczyk A., 1999, „Influence of urbanisation level on the heat load in man in Warsaw”, w: R.J. de Dear, J.C. Potter, (red.), *Proceedings 15th Int. Congress of Biometeorology & International Conference On Urban Climatology, Sydney, Australia 8-12 Nov. 1999*, Sydney, Australia: Macquire University (CD-ROM).
- Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Kunert A., 2010, „Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale”, *Miscelanea Geographica*, t. 14, s. 91–102.
- Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G., 2012, „Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)”, *International Journal of Biometeorology*, t. 56, nr 3, s. 481–494.
- Bröde P., Krüger E.L., Fiala D., 2013, „UTCI-validation and practical application to the assessment of urban outdoor thermal comfort”, *Geographia Polonica*, t. 86, z. 1, s. 11–20.
- Daanen H.A.M., Jonkhoff W., Bosch P., ten Broeke H., 2013, „The effect of global warming and urban heat islands on mortality, morbidity and productivity in the Netherlands”, w: J.D. Cotter, S.J.E. Lucas, T. Mundel (red.), *Proceedings of the 15th International Conference on Environmental Ergonomics, 2013, 11-15th February, Queenstown, New Zealand*, Queenstown: International Society for Environmental Ergonomics, s. 16–19.
- Erell E., Pearlmutter D., Williamson T., 2011, *Urban Microclimate, Design the Spaces Between Buildings*, London – Washington, DC: Earthscan.
- Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Givoni B., 1976, *Man, Climate and Architecture* (wyd. 2), London: Applied Science Publishers.
- Heat-Waves: Risks and Responses*, 2004, Health and Global Environmental Change Series, nr 2, Copenhagen: WHO Europe.

- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Atlas Warszawy*, z. 4: *Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia*, Warszawa: Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN.
- Kuchcik M., 2003, „Topoclimatic conditions at various urban structures in Warsaw”, w: J.L. Pyka et al. (red.), *Man and Climate in the 20th Century*, Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, s. 484–492.
- Kuchcik M., Baranowski J., 2011, „Różnice termiczne między osiedlami mieszkaniowymi o różnym udziale powierzchni czynnej biologicznie”, *Prace i Studia Geograficzne*, t. 47, s. 365–372.
- 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*, Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s. 123–128.
- Kunert A., Błażejczyk K., 2011, „Zróżnicowanie temperatury powietrza w skali lokalnej w różnych typach krajobrazu Polski”, *Przegląd Geograficzny*, t. 83, nr 1, s. 69–90.
- Matzarakis A., 2001, *Die thermische Komponente des Stadtklimas*, Berichte des Meteorologischen Institutes der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, nr 6.
- Mayer H., Höpfe P.R., 1987, „Thermal comfort of man in different urban environments”, *Theoretical and Applied Climatology*, t. 38, nr 1, s. 43–49.
- Oke T.R., 1987, *Boundary Layer Climates* (wyd. 2), London – New York: Methuen.
- Opracowanie ekofizjograficzne do Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego M. St. Warszawy*, 2006, Warszawa: Urząd Miasta Stołecznego Warszawy, Biuro Naczelnego Architekta Miasta, Miejska Pracownia Planowania Przestrzennego i Strategii Rozwoju.
- Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Stołecznego Warszawy*, 2010, Załącznik Nr 1 do Uchwały Nr XCII/2689/2010 Rady m.st. Warszawy z dnia 7 października 2010 r.
- Szulczewska B., Giedych R., 2010, „Ekologiczno-przestrzenne wskaźniki stosowane w planowaniu i projektowaniu terenów osiedli mieszkaniowych”, w: M. Kosmala (red.), *Zieleń osiedlowa – stan obecny i wskazania do poprawy*, Toruń: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych.
- Szymanowski M., 2004, *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*, *Studia Geograficzne*, t. 77, Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Śleszyński P., Bański J., Degórski M., Komornicki T., Więckowski M., 2007, *Stan zaawansowania planowania przestrzennego w gminach*, *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, nr 211, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Wawer J., 1998, „Miejska wyspa ciepła w Warszawie”, *Prace i Studia Geograficzne*, t. 20, s. 145–197.