

**Dr Magdalena Kuchcik, Prof. dr hab. Krzysztof Błażejczyk, mgr Paweł Milewski, Jakub Szmyd**

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk  
[mkuchcik@twarda.pan.pl](mailto:mkuchcik@twarda.pan.pl), [k.blaz@twarda.pan.pl](mailto:k.blaz@twarda.pan.pl), [pmilewski@twarda.pan.pl](mailto:pmilewski@twarda.pan.pl), [j.szmyd@twarda.pan.pl](mailto:j.szmyd@twarda.pan.pl)

## **Zagospodarowanie terenu a zróżnicowanie termiczne Warszawy**

### **Wprowadzenie**

Ostatnie 20 lat to czas wielkich zmian zagospodarowania terenu Warszawy. W centrum miasta zabudowywane są wszelki wolne przestrzenie, wyrastają coraz wyższe biurowce i apartamentowce. Na peryferiach, w miejscu pól rolnych powstają osiedla domów jednorodzinnych o różnej gęstości zabudowy. Zabudowywane są korytarze wymiany powietrza, które w zamierzeniu mają dostarczać świeże powietrze do wnętrza miasta. Zmniejszeniu ulega powierzchnia terenów zielonych w mieście oraz wszelkich innych obszarów o podłożu przepuszczalnym. Wszystko to prowadzi do wzrostu stopnia urbanizacji, zwłaszcza lewobrzeżnej Warszawy oraz coraz wyższej temperatury powietrza w mieście w stosunku do otaczających terenów peryferyjnych. Zjawisko to, zwane miejską wyspą ciepła, jest wynikiem przede wszystkim:

- Zmniejszonego albedo różnorodnych sztucznych powierzchni w mieście (asfalt, beton, dachy pokryte papą) oraz samej geometrii miasta, prowadzących do zwiększonego pochłaniania promieniowania słonecznego i silnego nagrzewania się podłoża (Rosenfeld i in. 1995; Ali-Toudert, Mayer 2007);
- Zmienionej struktury promieniowania długofalowego (cieplnego) na obszarach zabudowanych (Oke 1982);
- Małego udziału naturalnych powierzchni roślinnych, które sprzyjają stabilizacji bilansu cieplnego: im większa część miasta pokryta jest przez nieprzepuszczalne powierzchnie, tym mniejsze jest parowanie z gleby i szaty roślinnej, a tym samym wyższa temperatura (Oke 1987);
- Aktywności człowieka, na którą składa się ciepło produkowane przez urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne, przemysł, ruch samochodowy (Papadopoulos 2001; Lindberg i in. 2013);
- Efektu cieplarnianego towarzyszącego miastu: zwiększone zanieczyszczenie powietrza nad miastem oraz zwiększona zawartość gazów cieplarnianych emitowanych do

atmosfery prowadzi do zwiększenia ilości ciepła emitowanego przez warstwę powietrza nad miastem do jego wnętrza (Fortuniak i in. 2006; Hamilton i in. 2009).

Wymienione wyżej czynniki i procesy, w tym w szczególności zabudowa powierzchniami sztucznymi, powodują, że w obrębie miasta gromadzą się w ciągu dnia znaczne ilości ciepła, które w godzinach nocnych są stopniowo uwalniane do atmosfery, w wyniku czego wychładza się ona wolniej niż na terenach otaczających.

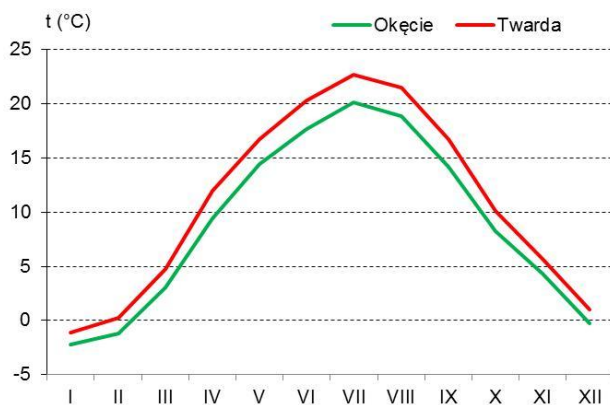
W polskich miastach różnica temperatury powietrza między centrum miasta i obszarem pozamiejskim sięga zazwyczaj 5–8°C, a jej maksymalne udokumentowane wartości przewyższają 7°C w Krakowie (Lewińska i in. 1990), 8–9°C we Wrocławiu (Dubicka, Szymanowski 2003), 10°C (Wawer 1995) i 11°C w Warszawie (Błażejczyk i in. 2014 b) czy 12°C w Łodzi (Fortuniak 2003).

### **Warunki termiczne w Warszawie**

W Warszawie, zburzonej podczas drugiej wojny światowej i stopniowo następnie odbudowywanej, badanie wpływu urbanizacji na warunki termiczne miasta mogło przynieść ciekawe wyniki, jednak nie było prowadzone. Pewną przesłanką może być analiza prędkości wiatru, która w latach 50. XX wieku w centrum Warszawy sięgała 78% notowanej na obrzeżach miasta, zaś pod koniec lat 70. już zaledwie 43% (Błażejczyk 2002, Kossowska-Cezak 1998).

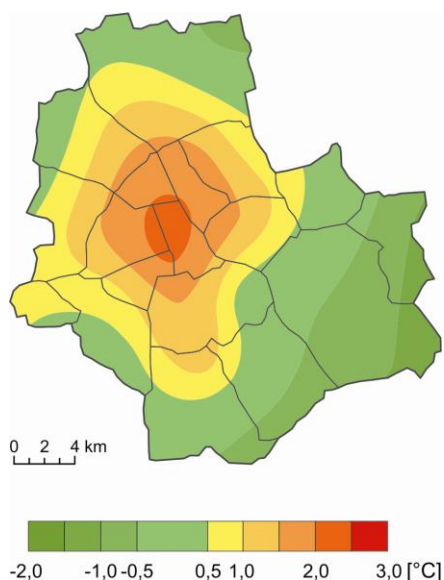
W drugiej połowie XX wieku średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie wynosiła około 8°C, przy czym w centralnych obszarach miasta była ona około 1,0°C wyższa niż na peryferiach; podobnie jest w poszczególnych miesiącach roku. Nieco większe różnice zaznaczały się w przypadku temperatury minimalnej i osiągały w półroczu ciepłym średnio około 1,5°C. Na początku XXI wieku średnia roczna temperatura powietrza na Okęciu wyniosła 8,9°C, zaś w intensywnie zabudowanym centrum Warszawy aż 10,9°C.

W ciągu całego roku ściśle centrum Warszawy (ul. Twarda) jest wyraźnie cieplejsze niż obszar peryferyjny na stacji Warszawa Okęcie. Różnica ta jest mniejsza w półroczu chłodnym, kiedy waha się od 1,2 do 1,9°C, a większa w okresie od czerwca do września, kiedy osiąga 2,6-2,7°C (rys. 1). Jest to potwierdzeniem silnie ogrzewającego wpływu intensywnej zabudowy, szczególnie niekorzystnego latem, kiedy nakłada się na obciążenia cieplne związane z coraz częstszymi w Polsce falami upałów.



Rysunek 1. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza na stacji Warszawa Okęcie i na ul. Twardej, 2002-2011.

Pomiary prowadzone w latach 2011-2012 w 35 punktach na terenie Warszawy i okolic pozwoliły na wykonanie map obrazujących intensywność miejskiej wyspy ciepła w poszczególnych porach roku i średnio w całym roku. W badanych latach miejska wyspa ciepła osiągnęła w centralnych dzielnicach miasta średnio 2-2,5°C (rys. 2). Jesienią jej natężenie było najwyższe i w samym centrum Warszawy sięgało 3-3,5°C. Stosunkowo małe natężenie obserwowane było zimą, jednak wtedy występował największy jej zasięg przestrzenny. Kształt miejskiej wyspy ciepła w Warszawie odzwierciedla zasięg najbardziej intensywnej zabudowy (rys. 2).



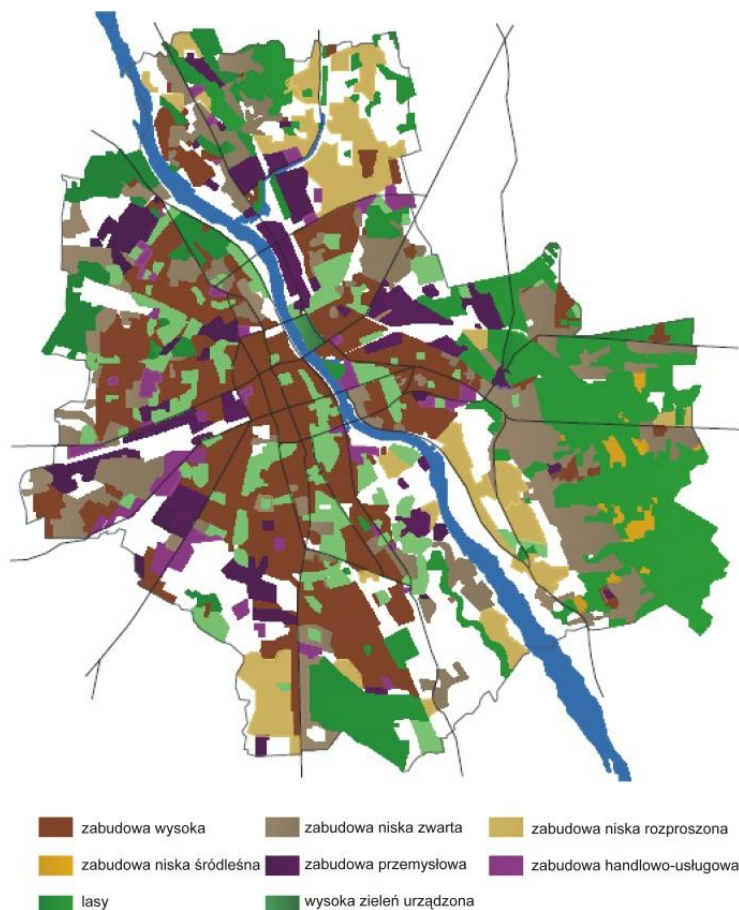
Rysunek 2. Średnia roczna różnica temperatury powietrza w różnych punktach Warszawy w stosunku do stacji Warszawa Okęcie, 2011 i 2012.

W sprzyjających warunkach pogodowych intensywność miejskiej wyspy ciepła może być znacznie większa od wartości średnich. 12 maja 2011 r. temperatura powietrza w centrum

Warszawy była o ponad 6°C w odniesieniu do stacji Warszawa-Okęcie, i blisko 10°C w stosunku do stacji poza granicami miasta.

### Układ urbanistyczny Warszawy a miejska wyspa ciepła

W celu oceny zróżnicowania temperatury powietrza w Warszawie, wyznaczono obszary o różnym typie zagospodarowania, które mają wyraźny i różny wpływ na powstanie, intensywność i zasięg przestrzenny miejskiej wyspy ciepła (rys. 3).



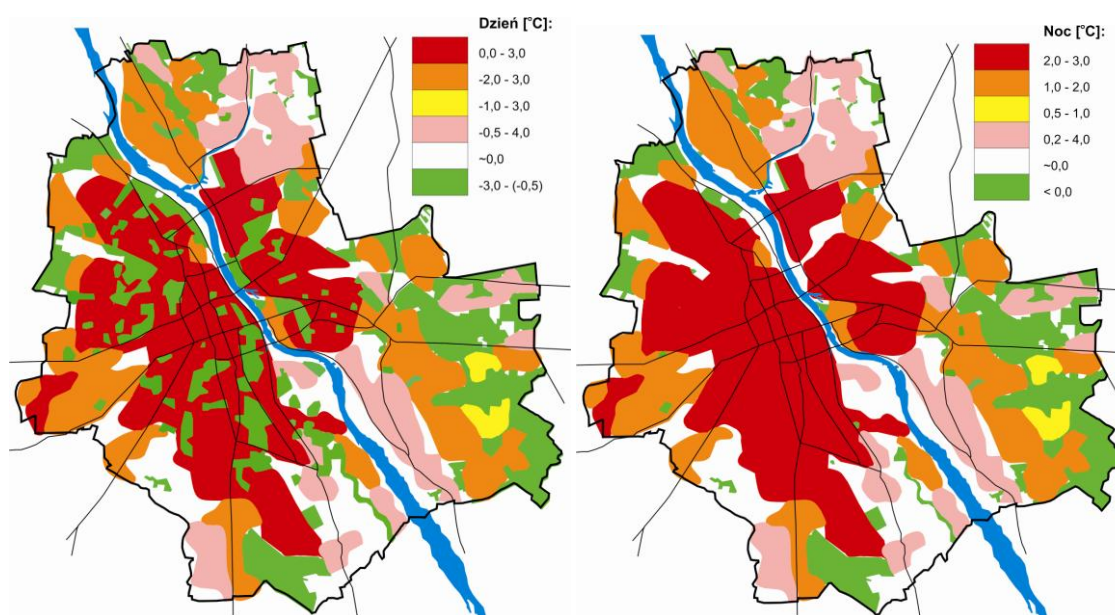
Rysunek 3. Rozmieszczenie i zasięg wybranych form zagospodarowania terenu mających wpływ na występowanie miejskiej wyspy ciepła, stan na 2011 r.

Źródło: *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Warszawy*, uchwalone przez Radę Warszawy dnia 7 października 2010 r. (Nr XCII/2689/2010), *Opracowanie ekofizjograficzne* (Pawlak, Teisseyre-Sierpińska 2006), zaktualizowane na podstawie obrazów satelitarnych i wizji lokalnych przez autorów artykułu.

Korzystając z równań zależności temperatury powietrza od zagospodarowania terenu (Kunert, Błażejczyk 2011) obliczono średnie odchylenie temperatury powietrza na obszarze Warszawy w stosunku do stacji Warszawa Okęcie. Obrazowanie rozkładu miejskiej wyspy ciepła wykonano dla dwóch okresów doby: godzin nocnych oraz dla godzin

okołopołudniowych. Rozróżnienia tego dokonano w związku z wyraźnie różną strukturą termiczną miasta nocą i dniem.

Wydzielono 6 kategorii obszarów o różnej intensywności miejskiej wyspy ciepła. W godzinach nocnych największa różnica temperatury powietrza, osiągająca średnio 2-3°C występuje wśród wysokiej, zwartej zabudowy w centrum miasta oraz w gęsto zabudowanych osiedlach Żoliborza, Pragi, Woli, Ursusa i Mokotowa. Nieco mniejsza różnica (1-2°C) pokrywa się w większości z obszarami zwartej i niskiej zabudowy mieszkaniowej i handlowo-usługowej. Luźna zabudowa mieszkaniowa Targówka, Wawra, Wilanowa i Wesołej jest tylko nieznacznie cieplejsza od Okęcia (0,2-0,4°C).



Rysunek 4. Rozkład różnych odchyleń temperatury powietrza w mieście w stosunku do stacji Warszawa Okęcie przy zagospodarowaniu terenu z 2011 r.

Na większych obszarach niezabudowanych, zarówno otoczonych zabudową, jak i na jej obrzeżach, temperatura powietrza jest podobna do notowanej na stacji Okęcie. Miejska wyspa ciepła nie występuje także na obszarach leśnych leżących na obrzeżach Warszawy oraz wzdłuż koryta Wisły; temperatura powietrza jest tam nawet niższa niż w terenie pozamiejskim (rys. 4).

Rozkład miejskiej wyspy ciepła zmienia się w godzinach dziennych. Na obszarach zabudowanych temperatura powietrza może być zarówno wyższa, jak i niższa niż poza miastem. Dużej zmienności przestrzennej należy się spodziewać wśród zabudowy zwartej wysokiej (od 0 do +3°C), w czym wielką rolę odgrywają powierzchnie zacienione i tzw.

studnie miejskie różnej wielkości. Wśród zabudowy niskiej miejska wyspa ciepła może się zmieniać lokalnie od -2 do +4°C.

W ciągu dnia ważną rolę w kształtowaniu warunków termicznych w mieście odgrywają tereny zieleni wysokiej (parki, lasy). W ich obrębie temperatura powietrza może być nawet o 3-4°C niższa niż wśród sąsiadującej zabudowy. Wyższa jest tam także wilgotność powietrza. Ogólnie parki, których rola w kształtowaniu warunków klimatycznych wzrasta w sezonie wegetacyjnym, traktowane są jako oazy chłodu i wilgoci, które dodatkowo generują lokalną cyrkulację powietrza, redukują zanieczyszczenie powietrza i hałas (Spronken-Smith, Oke 1998; Błażejczyk i in. 2014 a).

Z badań warunków termiczno-wilgotnościowych osiedli mieszkaniowych w Warszawie prowadzonych przez zespół klimatologów z IGiPZ PAN we współpracy z Katedrą Architektury Krajobrazu SGGW wynika wiele ciekawych spostrzeżeń dotyczących wpływu zagospodarowania terenu na temperaturę powietrza. Badania potwierdziły pozytywny, ochładzający wpływ zarówno pasa wysokich drzew liściastych rosnących w osiedlach o różnym udziale terenów biologicznie czynnych, jak i szpaleru niższych drzew w kanionie ulicznym. Podobnie pozytywnym przykładem wpływu trawnika na warunki termiczne była żyzna łąka o powierzchni ok. 2500 m<sup>2</sup>, która sąsiadując z gęsto zabudową osiedla Włodarzewska wywoływała lokalną cyrkulację powietrza meliorując warunki bioklimatyczne najbliższego sąsiedztwa.

Błędem jest układ budynków w osiedlu, który „zamyka” osiedle na pozytywne oddziaływanie sąsiadującego z nim parku czy innych terenów zielonych. Taka sytuacja jest podwójnie niekorzystna: przede wszystkim uniemożliwia wykorzystanie naturalnych walorów miejsca, jakim jest sąsiedztwo parku, ale także utrudnia zwykłą wymianę przygruntowej warstwy powietrza między osiedlem a terenem zewnętrznym (Makhelouf 2009; Kuchcik, Baranowski 2011).

Niepokój budzi wysoka temperatura powietrza notowana nad klombami i małymi trawnikami wciśniętymi między budynki, urządzone na dachach podziemnych parkingów czy wewnątrz dziedzińców miejskich, a złożonych najczęściej z krzewów iglastych. Temperatura powietrza nad nimi bywa wyższa niż nad sąsiednimi powierzchniami sztucznymi. Podobnie jest z betonową płytą ażurową obsianą trawą, która przez architektów traktowana jest jako powierzchnia biologicznie czynna, ale nagrzewa i wychładza się podobnie jak powierzchnia asfaltowa. Zatem, o ile dla obiegu wody powierzchnia ta jest biologicznie czynna, o tyle dla klimatu nie odgrywa większej pozytywnej roli (Szulczewska i in. 2014).

Nasłonecznione fragmenty ulic mogą być cieplejsze od ich części zacienionej nawet o kilkanaście stopni Celsjusza, ściany budynków mogą być cieplejsze nawet o 30°C od temperatury mierzonej na stacji pozamiejskiej, a temperatura powierzchni dachów pokrytych papą, blachą czy blachodachówką może sięgać 65–90°C (Błażejczyk 2002; Gartland 2008; Ng 2010).

Ogólnie wartości różnic temperatury 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 temperatura może być niższa niż na peryferiach.

### **Podsumowanie**

Obszar miasta jest cieplejszy niż jego otoczenie. Zjawiska miejskiej wyspy ciepła nie da się zlikwidować, można jednak poprzez odpowiednie działania planistyczne na szczeblu ogólnomiejskim i lokalnym, wpływać na jego intensywność.

Meliorację warunków klimatycznych można osiągnąć m.in. dzięki odpowiedniemu zaplanowaniu geometrii ulic, orientacji budynków, doborze odpowiednich materiałów budowlanych, zakładaniu pasów drzew i innych terenów zielonych oraz kształtowaniu właściwości powierzchni miasta (kolor, struktura itd.). Istotne jest też instalowanie niewielkich zbiorników wodnych i urządzeń wodnych, jak np. fontanny i kurtyny wodne.

Wśród działań obniżających temperaturę powietrza w mieście powinny się znaleźć między innymi:

- Zachowanie w przestrzeni miasta powierzchni niezabudowanych, co pozwoli na złagodzenie procesów nagrzewania się przestrzeni miejskiej, a poprzez łatwiejszy ruch powietrza na złagodzenie stresu termicznego;
- Zachowanie klinów wymiany powietrza (i ich odnowa), które pozwalają na penetrację w głąb miasta świeżego, czystego, stosunkowo chłodnego i wilgotnego powietrza, poprawiając jakość życia w mieście;
- Zachowanie już istniejących obszarów zieleni wysokiej;
- Wprowadzenie na obszarach przewidywanych dla dalszej intensywnej zabudowy terenów zieleni z zadrzewieniem;
- Rozwój zadrzewień przyulicznych jako naturalnego zacienienia chodników;
- Zacienianie zielenią placów miejskich, skwerów i placów zabaw;
- Wprowadzanie na szerszą skalę zielonych i białych dachów oraz tzw. zielonych ścian.

Z kolei w celu poprawy warunków klimatycznych w obrębie osiedli mieszkaniowych należałoby:

- Zachować jak największy udział terenów biologicznie czynnych, ale przynajmniej 42-45%;
- Wprowadzać ogródki przy budynkach o zróżnicowanych wysokościach gatunkach;
- W przypadku osiedli sąsiadujących z parkami i innymi otwartymi terenami biologicznie czynnymi stosować układ budynków, który nie odgrodzi osiedla od korzystnego wpływu terenów zewnętrznych;
- Projektować układ budynków, który nie wywołuje efektu tunelowego wiatru, ale też nie tworzy przestrzeni całkowicie zamkniętych na ruch powietrza;
- Zlikwidować mury wokół osiedla lub zastąpić je ażurowymi ogrodzeniami, umożliwiającymi przepływ powietrza;
- Przy renowacji elewacji budynków stosować jasne barwy i materiały cechujące się podwyższoną izolacyjnością termiczną i wysokim albedo.

Przede wszystkim jednak należy z dużą rozważą i w jak najmniejszym stopniu zabudowywać istniejące w mieście tereny biologicznie czynne. Gdziekolwiek jest to możliwe tworzyć nowe parki i zieleńce o zróżnicowanej wewnętrznie strukturze, zaś przy wszystkich nowych inwestycjach należy bezwzględnie chronić rosnące już wysokie drzewa.

#### **Literatura:**

1. Ali-Toudert F., Mayer H., 2007, *Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons*, Solar Energy, 81, s. 742–754.
2. Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dokumentacja Geograficzna, 26, IGiPZ PAN, Warszawa.
3. Błażejczyk K., Błażejczyk A., Kuchcik M., Milewski P., Szmyd J., 2014 a, *Zmiany zagospodarowania Warszawy według Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego i ich możliwy wpływ na warunki mikroklimatyczne i jakość życia mieszkańców*, Studia Regionalne i Lokalne, 2 (56), 95-118.
4. Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C., 2014 b, *Miejska wyspa ciepła w Warszawie – uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*, Wydawnictwo Akademickie Sedno, Warszawa, s. 176.



5. Dubicka M., Szymanowski M., 2003, *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu – struktura przestrzenna i czasowa*, Prace Geograficzne, 188, IGiPZ PAN, s. 145–166.
6. Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
7. Fortuniak K., Kłysik K., Wibig J., 2006, *Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Łódź*, Theoretical and Applied Climatology, 84, 1–3, s. 91–101.
8. Gartland L., 2008, *Heat islands. Understanding and mitigating heat in urban areas*. Earthscan, London.
9. Hamilton I.G., Davies M., Steadman P., Stone A., Ridley I., Evans S., 2009, *The significance of the anthropogenic heat emissions of London's buildings: A comparison against captured shortwave solar radiation*, Building and Environment, 44, s. 807–817.
10. Kossowska-Cezak U., 1998, *Wpływ rozwoju terytorialnego Warszawy na warunki termiczne*, [w:] Kłysik K. (red.), Klimat i bioklimat miast, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 3, s. 51–57.
11. Kuchcik M., Baranowski J., 2011, *Różnice termiczne między osiedlami mieszkaniowymi o różnym udziale powierzchni czynnej biologicznie*, Prace i Studia Geograficzne, 47, s. 365–372.
12. Kunert A., Błażejczyk K., 2011, *Zróżnicowanie temperatury powietrza w skali lokalnej w różnych typach krajobrazu Polski*, Przegląd Geograficzny, 83, 1, s. 69–90.
13. Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Wiatrak W., 1990, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa, 167 s.
14. Lindberg F., Grimmond C.S.B., Yogeswaran N., Kotthaus S., Allen L., 2013, *Impact of city changes and weather on anthropogenic heat flux in Europe 1995–2015*, Urban Climate, 4, s. 1–15.
15. Makhelouf A., 2009, *The effect of green spaces on urban climate and pollution*, Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering 6, 1, s. 35–40.
16. Ng E. (red.), 2010, *Designing High-Density Cities: For Social and Environmental Sustainability*, Earthscan, London.
17. Oke T.R., 1982, *The energetic basis of the urban heat island*, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 108, 455, s. 1–24.
18. Oke T.R., 1987, *Boundary Layer Climates*, 2nd edition, Routledge, London.

19. Papadopoulos A.M., 2001, *The influence of street canyons on the cooling loads of buildings and the performance of air conditioning systems*, Environment and Buildings, 33, s. 601–607.
20. Rosenfeld A.H., Akbari H., Bretz S.E., Fishman B.L., Kurn D.M., Sailor D.J., Taha H., 1995, *Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates*, Energy and Buildings, 22, s. 255–265.
21. Spronken-Smith R.A., Oke T.R., 1998, *The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates*, International Journal of Remote Sensing, 19, 1, s. 2085–2104.
22. Szulczewska B., Giedych R., Borowski J., Kuchcik M., Sikorski P., Mazurkiewicz A., Stańczyk T., 2014, *How much green is needed for a vital neighbourhood? In search for empirical evidence*, Land Use Policy, 38, s. 330–345.
23. Wawer J., 1995, *Wpływ warunków pogodowych na intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie*, [w:] Kłysik K. (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 71–78.

**Artykuł powstał na podstawie referatu, wygłoszonego podczas konferencji:**

### **MIASTO IDEALNE – MIASTO ZRÓWNOWAŻONE**

**Planowanie przestrzenne terenów zurbanizowanych i jego wpływ na ograniczenie skutków zmian klimatu**

**Warszawa, 24 października 2014 r.**



**Niniejszy materiał został opublikowany dzięki dofinansowaniu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Za jego treść odpowiada wyłącznie Uniwersytet Warszawski.**