

Anna Beata Adamczyk

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polskiej Akademii Nauk
00–818 Warszawa, ul. Twarda 51/55
e-mail: a.badam@twarda.pan.pl

**WARUNKI TERMICZNE I WILGOTNOŚCIOWE
AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ**

**Thermal and humidity conditions
of Warsaw Agglomeration**

Summary. The aim of the paper is to present the results of the analysis of thermal and moisture conditions variability of Warsaw Agglomeration. The study is based on the microclimatic measurement network that is organized between 2007–2010. Investigations include 10 measure posts located in different urban structures.

Urban heating effect is well seen inside multifamily housing settlements (Kamionek, Twarda). Inside compact family housing (typical for Warsaw suburban areas) variation of thermal conditions depends on vegetation density and development structure. Due to increase of vegetation density the UHI effect is weaker. Open, rural areas inside the city (Powsin) have similar thermal features as areas outside the city (Okęcie). The analyze of moisture conditions shows the greater value in centre of city than outside.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, klimat miasta, Warszawa

Key words: air temperature, relative humidity, urban climat, Warsaw

WPROWADZENIE

Warszawa to ponad półtoramilionowe miasto, zajmujące powierzchnię ponad 517 km². Cechuje się gęstą zabudową w centrum oraz licznymi skupiskami osiedli wysokich bloków lub domów jednorodzinnych w swych granicach. Tereny silnie zurbanizowane charakteryzują się dużym zakresem wahań oraz zmiennością przestrzenną elementów meteorologicznych, w tym temperatury i wilgotności względnej powietrza, kształtowanych przez lokalne środowisko

geograficzne, np. podłoże, rzeźbę terenu, sztuczne źródła energii itp. Obszar aglomeracji miejskiej Warszawy charakteryzuje się mozaikowością mikroklimatów wynikającą ze zróżnicowanej powierzchni czynnej (Błażejczyk 1996). Analiza warunków termicznych i wilgotnościowych jest ważnym etapem w ocenie komfortu życia ludności miast. Badania warunków termicznych miasta i jego okolic są z reguły prowadzone na podstawie stałych punktów pomiarowych z sieci stacji IMGW (Kozłowska-Szczęsna i in. 1996, Wawer 1997, Lorenc, Mazur 2003). Z uwagi na rozległość oraz mozaikowość powierzchni czynnej Warszawy liczba istniejących stałych punktów pomiarowych wydaje się być niewystarczająca do oceny przestrzennego zróżnicowania warunków termicznych i wilgotnościowych Warszawy. Do określenia zróżnicowania temperatury wewnątrz miasta korzystano zatem z okresowych pomiarów w wybranych punktach Warszawy (Błażejczyk 2002, Adamczyk i in. 2008, Adamczyk 2009). Inną metodą badań zróżnicowania termicznego obszaru o urozmaiconej powierzchni jest metoda teledetekcji (Adamczyk, Błażejczyk 1998, Adamczyk 2002). Zastosowanie tej metody pozwala na określenie zróżnicowania termicznego obszarów różnorodnych pod względem pokrycia powierzchni (Adamczyk 2004, Adamczyk, Błażejczyk 2006).

Utworzona obecnie i rozwijana sieć punktów pomiarowych IGiPZ PAN w obrębie aglomeracji warszawskiej pozwoli na określenie rozkładu oraz dynamiki zmian temperatury i wilgotności powietrza w mieście zachodzących pod wpływem rozwoju urbanistycznego i gwałtownego rozwoju różnych form budownictwa.

DANE I METODA

Od 2006 r. na terenie aglomeracji warszawskiej rozpoczęła pracę naziemna sieć pomiarów mikroklimatycznych prowadzona przez pracowników IGiPZ PAN. Warunki termiczne i wilgotnościowe Warszawy i jej okolic monitorowane są za pomocą automatycznych rejestratorów HOBO Pro (Onset Computer Corporation). Czujniki zostały umieszczone 2 metry nad gruntem, w osłonie antyradiacyjnej. Wykonano także kalibrację czujników umożliwiającą wyeliminowanie różnic wynikających z indywidualnych cech instrumentów pomiarowych (ryc. 1).

Dane wykorzystane do analizy obejmują okres od marca 2007 do lipca 2010. Wybrano te same okresy pomiarowe dla wszystkich analizowanych punktów, aby zapewnić porównywalność danych. Porównano średnie miesięczne wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza obliczone na podstawie serii rejestrującej średnie wartości 10.-minutowe. Do określenia wpływu substancji miejskiej na temperaturę i wilgotność względną powietrza zastosowano metodę odchyleń.



Ryc. 1. Rozmieszczenie wybranych punktów pomiarowych sieci mikroklimatycznej w Warszawie i jej okolicach

Fig. 1. Measure sites in the Warsaw network

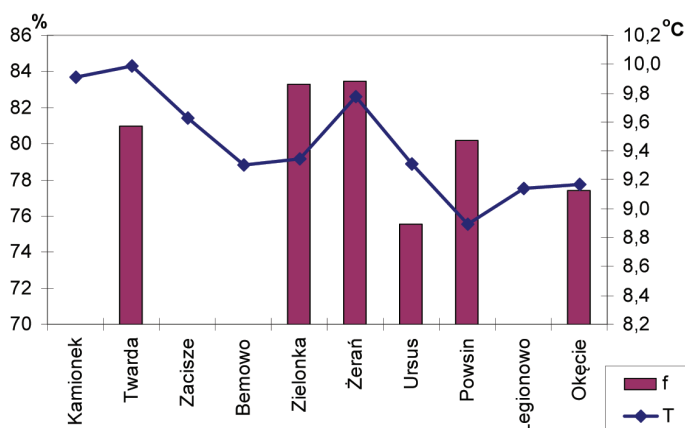
Wybrane punkty pomiarowe reprezentują różne typy zabudowy. Dla ułatwienia porównań zostały one posegregowane na 4 grupy charakteryzujące się podobnymi cechami zabudowy i udziałem terenów zieleni. Są to: zabudowa zwarta centrum miasta i osiedla bloków wielorodzinnych; osiedla domów jednorodzinnych; tereny przemysłowe; obszary otwarte, niezabudowane.

WYNIKI

Przestrzenne zróżnicowanie średnich rocznych wartości temperatury powietrza (ryc. 2) wskazuje, że najcieplej w ciągu całego roku jest na obszarach zwartej zabudowy miejskiej (Twarda) i wysokich bloków wielorodzinnych

(Kamionek); średnia roczna temperatura wynosi odpowiednio 10,0 i 9,9°C. Punkty te znajdują się w centrum miasta, co znacząco wpływa na podwyższenie temperatury w stosunku do pozostałych stacji. Zwarta zabudowa, wąskie ulice, duży ruch samochodowy uniemożliwiają szybkie wychłodzenie terenu. Punkt Twarda położony jest w dnie podwórka-studni, czego wynikiem jest znaczne zakrycie horyzontu, zmniejszające dopływ promieniowania słonecznego. Podobne warunki fizjograficzne są na Kamionku, gdzie ciągi bloków mieszkalnych zostały ułożone w półkola imitujące podwórka-studnie. Pomimo niekorzystnych warunków solarnych, lokalizacja stacji w środku miasta sprawia, że były tam najwyższe średnie roczne wartości temperatury powietrza. Przykłady zabudowy jednorodzinnej (Zacisze, Zielonka, Bemowo) pokazują zależność temperatury od stosunku gęstości zabudowy do pokrycia terenu przez roślinność. Wielkość parceli, na której znajduje się dom jednorodzinny, określa, jak duża przestrzeń zostanie przeznaczona na roślinność. Im mniejsza parcela, tym mniej jest zieleni i tym bliżej siebie znajdują się zabudowania. Największe skupienie budynków jest na Zaciszu, co powoduje, że w tym typie zabudowy na tym osiedlu jest najcieplej w ciągu całego roku (9,6°C). Duże znaczenie dla warunków termicznych ma planowa zabudowa osiedli domów jednorodzinnych, czego przykładem jest Bemowo (9,3°C). Jednakowe ułożenie budynków wymusza podobną zawartość zieleni na każdej parceli, co wpływa na ochłodzenie powietrza. Osiedla, które otoczone są gęstym lasem (Bemowo – 9,3°C) lub znajdują się w bliskim jego sąsiedztwie (Zielonka – 9,3°C), odznaczają się niższą temperaturą powietrza od pozostałych (Zacisze – 9,6°C). Na obniżenie temperatury wpływa także fakt, że osiedla te (Zielonka i Bemowo) są zlokalizowane na obrzeżach zabudowy miasta. Obszary z dużym udziałem roślinności wysokiej wyróżniają się niską temperaturą także wśród punktów zlokalizowanych w terenach otwartych. Najchłodniej w ciągu całego roku jest w Powsinie (8,9°C), natomiast Legionowo i Okęcie charakteryzują się podobnymi wartościami temperatury (odpowiednio 9,1 i 9,2°C). Tereny przemysłowe prezentują zabudowę typową dla dużych i małych zakładów (Żerań) oraz zabudowę mieszaną, gdzie zakłady przemieszane są z zabudową domów jednorodzinnych (Ursus). Charakterystyczna dla jednorodnych terenów przemysłowych jest wysoka średnia roczna temperatura powietrza (9,8°C). W Ursusie natomiast warunki termiczne zbliżone są do tych panujących na osiedlach domów jednorodzinnych (9,3°C).

Wilgotność względna powietrza była mierzona tylko w 6 punktach pomiarowych (ryc. 2). Największe średnie roczne wartości rejestrowano w Zielonce i na Żeraniu (83%). Zauważono, że w tym samym typie zagospodarowania terenu (tereny przemysłowe) występuje największa (Żerań – 83%) i najmniejsza (Ursus – 76%) średnia roczna wilgotność względna. Centrum miasta (Twarda – 81%) charakteryzuje się relatywnie wysoką wilgotnością względną w stosun-



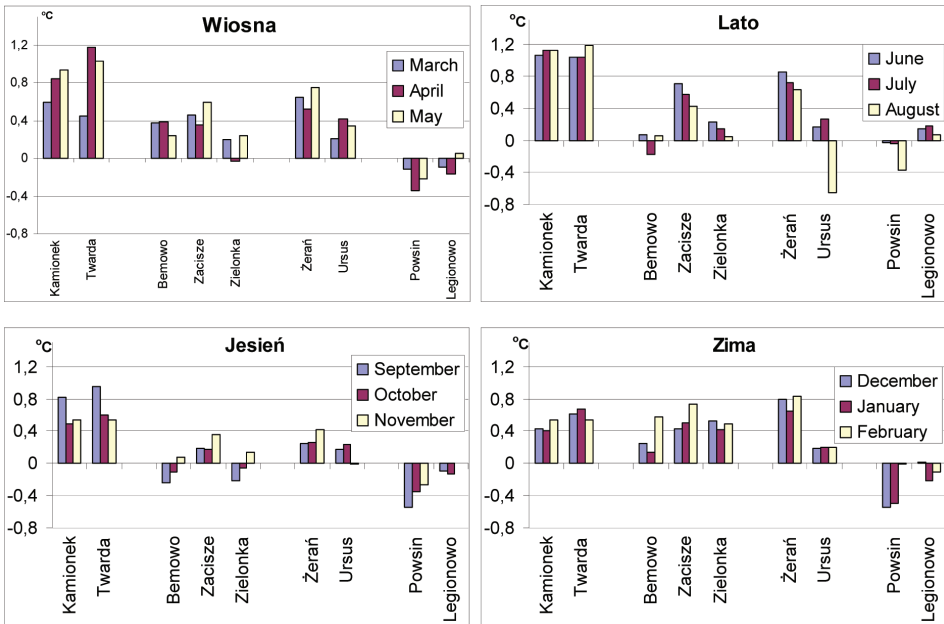
Ryc. 2. Średnia roczna wartość temperatury (T) i wilgotności względnej (f) powietrza na wybranych punktach sieci mikroklimatycznej

Fig. 2. Annual average of air temperature (T) and relative air humidity (f) in selected point of microclimatic network

ku do południowo-wschodnich obrzeży miasta (Ursus – 76%, Okęcie – 77%), choć nieco mniejszą niż w północno-zachodnich (Zielonka i Żerań). Średnia roczna wilgotność względna w Ogrodzie Botanicznym w Powsinie (80%), a więc na obszarze, na którym dominuje roślinność wysoka, jest zbliżona do wartości występującej w centrum miasta (Twarda), gdzie roślinność jest marginalna, a przeważa zabudowa, asfalt i chodniki. Analiza średnich rocznych wartości wilgotności względnej powietrza wykazała, że następuje zwiększenie zawartości wilgoci w powietrzu z zachodu na wschód, o czym świadczą dane ze stacji Ursus – 76%, Twarda – 81%, Zielonka – 83%.

Lokalizacja punktu Okęcie w rejonie lotniska sprawia, że jest on wykorzystywany także jako reper do określenia wpływu miasta na warunki termiczne i wilgotnościowe aglomeracji warszawskiej.

Odchylenia temperatury powietrza od wartości na Okęciu (ryc. 3) informują o wyraźnym wpływie gęstej zabudowy mieszkaniowej na warunki termiczne miasta (Kamionek, Twarda). Wiosną, jesienią i zimą zwarta zabudowa śródmiejska, którą reprezentuje punkt Twarda, wpływa silniej na ocieplenie powietrza niż ciągi wieżowców na Kamionku. Szczególnie jest to widoczne w kwietniu, kiedy to na Twardej jest cieplej niż na Kamionku o 0,4°C i w styczniu (0,3°C). Wśród badanych typów zabudowy jednorodzinnej tylko na Zaciszu przez cały rok odczuwalny jest wpływ miasta na wartości temperatury. Największe różnice w stosunku do Okęcia występują w czerwcu (0,7°C), a najmniejsze w październiku (0,2°C). Wiosną ocieplający wpływ zabudowy jest większy na Bemowie (kwiecień 0,4°C) niż w Zielonce, gdzie w tym miesiącu jest on niezauważalny. Latem sytuacja jest odwrotna – większy wpływ zabudowy zaznacza



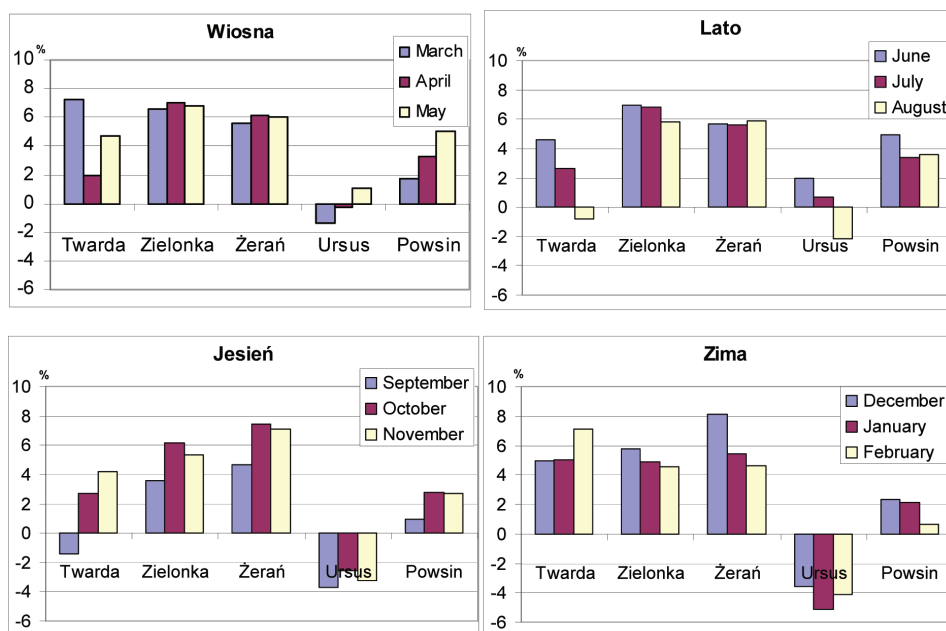
Ryc. 3. Odchylenia temperatury powietrza od wartości występujących na stacji Warszawa-Okęcie

Fig. 3. Average deviation of mean daily air temperature from Warszawa-Okęcie station

się w Zielonce (czerwiec $0,2^{\circ}\text{C}$) niż na Bemowie, gdzie w lipcu jest chłodniej niż na Okęciu ($-0,2^{\circ}\text{C}$). Jesienią sytuacja termiczna w obu punktach jest podobna, natomiast zimą bardzo silnie wpływ zabudowy na temperaturę otoczenia zaznacza się w Zielonce (powyżej $0,4^{\circ}\text{C}$ we wszystkich trzech miesiącach). Teren typowo przemysłowy, reprezentowany przez Żerań, charakteryzuje się dodatnimi odchyleniami temperatury powietrza w ciągu całego roku w stosunku do Okęcia. Największe różnice zarejestrowano latem (czerwiec $0,8^{\circ}\text{C}$) i zimą (grudzień i luty $0,8^{\circ}\text{C}$). Najmniejszy wpływ zabudowy przemysłowej Żerania na temperaturę zaznacza się jesienią. Ursus natomiast charakteryzuje się wartościami odchylen znacznie mniejszymi niż Żerań. Największy wpływ zabudowy w Ursusie na temperaturę powietrza stwierdza się w kwietniu.

Analiza odchylen temperatury w Powsinie od punktu referencyjnego Okęcie wykazała całkowity brak wpływu zabudowy miejskiej na warunki termiczne w Powsinie. Legionowo natomiast wykazuje ocieplający wpływ zabudowy latem oraz nieznaczne dodatnie odchylenia temperatury w maju i grudniu.

W analizowanym okresie przebieg roczny wilgotności względnej powietrza na Okęciu charakteryzuje się maksimum występującym w listopadzie i minimum przypadającym na kwiecień. W maju wilgotność powietrza jest na tym samym poziomie co w lipcu. Odchylenia wartości wilgotności względnej w sto-



Ryc. 4. Odchylenia wilgotności względnej powietrza od wartości występujących na stacji Warszawa-Okęcie

Fig. 4. Average deviation of mean daily relative humidity from Warszawa-Okęcie station

sunku do punktu referencyjnego (ryc. 4), reprezentującego warunki pozamiejskie, wskazują na zwiększoną zawartość wilgoci w powietrzu w mieście. Zarówno tereny centrum miasta o zwartej zabudowie i niewielkim odsetku zieleni miejskiej, jak i osiedla domów jednorodzinnych zlokalizowanych na obrzeżach miasta odznaczają się wyższą wilgotnością względną niż punkt referencyjny. Podobną wilgotność powietrza rejestruje się na terenach przemysłowych Żerania. Zarejestrowano tam największe (8%) przewyższenie średniej miesięcznej wilgotności względnej w stosunku do tej na Okęciu w grudniu. Jedynie na terenach przemysłowych Ursusa notuje się mniejszą wilgotność powietrza, głównie jesienią i zimą. Od sierpnia do kwietnia na tych terenach występuje zmniejszenie wilgoci w powietrzu w porównaniu z punktem referencyjnym. Największa różnica wartości (5%) przypada na styczeń.

PODSUMOWANIE

Zróznicowanie przestrzenne temperatury powietrza wynika ze sposobu zagospodarowania terenu, a także lokalizacji w stosunku do centrum miasta. Najcieplej jest w punktach położonych w środku miasta, o zwartej zabudowie,

niezależnie od zmniejszenia dopływu promieniowania w wyniku zakrycia horyzontu przez bloki mieszkalne.

Przykłady zabudowy jednorodzinnej pokazują wpływ struktury zabudowy i gęstości roślinności na warunki termiczne otoczenia. Skupienie budynków, planowe budownictwo oraz otoczenie osiedli domów jednorodzinnych, np. las na Bemowie, wpływają na wartość temperatury powietrza w granicach 1°C. Ocieplający wpływ miasta na badane osiedla domów jednorodzinnych widoczny jest wiosną i zimą. Latem i jesienią tam, gdzie dominuje gęsta roślinność (Bemowo, Zielonka), zmniejszają się odchylenia temperatury powietrza od punktu referencyjnego.

Na terenach przemysłowych, podobnie jak w zabudowie zwartej, dominuje wpływ miasta na warunki termiczne. Jednakże Ursus, zlokalizowany na peryferiach Warszawy, wykazuje znacznie mniejsze odchylenia. Tereny otwarte, fizjograficznie zbliżone do punktu referencyjnego, wiosną, jesienią i zimą nie wykazują ocieplającego wpływu miasta na temperaturę powietrza, natomiast w Ogrodzie Botanicznym w Powsinie jest znacznie chłodniej niż na Okęciu przez cały rok.

Analiza zróżnicowania wilgotności względnej powietrza wykazała jej zwiększenie w ciągu całego roku w rozpatrywanych punktach miasta w stosunku do Okęcia, z wyjątkiem Ursusa, gdzie od sierpnia do kwietnia stwierdzono zmniejszenie wilgotności. Wykazano także, że w badanym okresie średnia roczna wilgotność względna powietrza wzrasta ze wschodu na zachód, niezależnie od sposobu użytkowania terenu.

LITERATURA

- Adamczyk A.B., 2002, *Mapa odchyień temperatury promieniowania wykonana na podstawie zdjęcia satelitarnego*. [w:] K. Błażejczyk (red.), *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dok. Geogr., IGiPZ PAN, 26.
- Adamczyk A.B. 2004, *Variation in active surface temperature in the Nara Region of Japan*. Geographia Polonica, 77, 1, 77–87.
- Adamczyk A.B. 2009, *Zróżnicowanie termiczne obszarów zalesionych w otoczeniu Warszawy*. [w:] A. Andrzejewska, A. Lubański (red.), *Trwałość i efektywność ochrony przyrody w Polskich Parkach Narodowych*. 2009, KPN, Izabelin, 189–198.
- Adamczyk A.B., Błażejczyk K., 1998. *Cyfrowe mapy topoklimatyczne Warszawy*. Acta Univ. Lodzensis, Folia Geogr. Phys., 3, 505–513.
- Adamczyk A.B., Błażejczyk K., 2006, *Spatial differentiation in active surface temperature in Warsaw*. [w:] 6th 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*. Wyd. UŁ, Łódź, 11–20.
- Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dok. Geogr., IGiPZ PAN, 26.
- Błażejczyk K., 1996, *Topoklimat Warszawy*. Conference Papers, 25, 13–25.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Atlas Warszawy*, 4, *Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia*. IGiPZ PAN, Warszawa.
- Lorenc H., Mazur A., 2003, *Współczesne problemy klimatu Warszawy*. IMGW, Warszawa.
- Wawer J., 1997, *Miejska wyspa ciepła*. Prace i Studia Geogr. 20, UW, 145–197.