

**Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz,
Małgorzata Czarnecka**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny,
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa,
Zakład Meteorologii i Klimatologii
71–469 Szczecin, ul. Papieża Pawła VI 3
e-mail: jadwiga.nidzgorska-lencewicz@zut.edu.pl,
malgorzata.czarnecka@zut.edu.pl

DEFORMACJA WARUNKÓW ANEMOMETRYCZNYCH W SZCZECINIE

Deformation of the anemometric conditions in Szczecin

Summary. On the basis of hourly results of automatic measurements carried out at three immission stations in the years 2005–2009 in the system of air quality monitoring, the differentiation of wind speed and direction in the area of the Szczecin agglomeration was described. It was shown that, in comparison with the open area, the largest deformation of the anemometric conditions that occur when SW winds blow, is characteristic of the densely built-up area in the centre of the town and a smaller deformation of these conditions is characteristic of a multi-storey built-up region. In the central part of Szczecin, the wind speed is more than twice as low as that in the unbuilt-up area, in the outskirts of the town, and the frequency of stillness periods amounts to 16% during a year and increases up to about 30% in night hours in spring and summer.

Słowa kluczowe: zabudowa miejska, teren otwarty, deformacja prędkości i kierunku
Key words: city buildings, open space, deformation speed and direction

WSTĘP

Przejawem odrębności topoklimatu miasta jest silna modyfikacja przepływu powietrza wywołana zwiększoną szorstkością aerodynamiczną podłoża. W bogatej literaturze z zakresu klimatu miasta wykazano, że w obrębie zabu-

dowy miejskiej prędkość wiatru jest na ogół o 20–30%, a w centrum nawet o 30–50% mniejsza niż na peryferiach, częściej notowane są wiatry bardzo słabe i ciche, a rzadziej wiatry silne (Fortuniak 2003, za Lee, Lewińska 2000). W skali mikroklimatu ruch powietrza jest bardzo skomplikowany, gdyż kształtuje się pod wpływem wielu czynników, takich jak np. układ komunikacyjny, charakter zabudowy, wysokość, rozstaw i orientacja budynków, odległość między nimi, i dlatego jest bardzo trudny do oszacowania (Kuchcik 2003, Xie i in. 2005). W wielu pracach udowodniono wpływ warunków anemometrycznych na występowanie, intensywność i pionowy zasięg miejskiej wyspy ciepła (Fortuniak 2003, Kassomenos, Katsoulis 2006, Stopa-Boryczka 1992, Szymanowski 2004, Unger 1996). Według Szymanowskiego (2004) w aglomeracji Wrocławia wzrost prędkości wiatru powyżej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w nocy i powyżej $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w dzień, bez względu na stopień zachmurzenia, powoduje zanik lub znaczną redukcję wyspy ciepła. Z kolei wyniki badań Stopy-Boryczki (1992) wykazały, że w Warszawie zanik różnicy temperatury między miastem i otoczeniem następuje dopiero przy prędkości wiatru ponad $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a wzrostowi prędkości wiatru poza miastem o $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ odpowiada spadek różnicy średniej temperatury o $0,11\text{--}0,15^\circ\text{C}$.

Bodźce anemometryczne istotnie kształtują odczuwalność ciepłą człowieka. Osłabienie prędkości wiatru w obszarze miejskim bywa szczególnie dokuczliwe w upalne letnie dni, utrudnia bowiem chłodzenie organizmu (Matzarakis i in. 2009, Czarnecka i in. 2011).

Wiatr jest również elementem decydującym o warunkach aerosanitarnych powietrza, zwłaszcza w miastach o dużym zanieczyszczeniu. W zależności od kierunku może on być zarówno efektywnym czynnikiem oczyszczania powietrza miejskiego, jak i zasadniczym czynnikiem napływu zanieczyszczeń z lokalnych źródeł komunalnych, przemysłowych czy też z transportu drogowego (Czarnecka, Nidzgorska-Lencewicz 2008).

Szczegółowe rozpoznanie i charakterystyka warunków anemometrycznych w skali lokalnej, zwłaszcza w obrębie zabudowy miejskiej, może być postawą rozwiązań praktycznych, np. konkretnych rozwiązań planistycznych zmierzających do poprawy warunków bioklimatycznych i aerosanitarnych. Tymczasem źródłem dotychczasowej wiedzy o warunkach anemometrycznych w rejonie Szczecina były pomiary w jedynej stacji meteorologicznej IMGW w Szczecinie-Dąbiu. Możliwości oszacowania zróżnicowania klimatu miasta pojawiły się wraz z uruchomieniem systemu automatycznych pomiarów meteorologicznych, w ramach monitoringu jakości powietrza, prowadzonych przez WIOŚ w Szczecinie. Celem niniejszej pracy jest próba określenia czasowej i przestrzennej zmienności prędkości i kierunku wiatru w obrębie aglomeracji szczecińskiej.

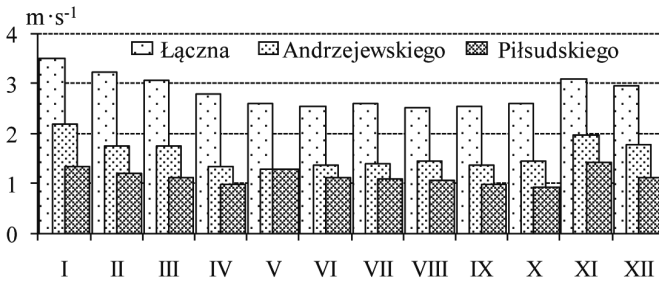
MATERIAŁY I METODY

Materiały podstawowe obejmowały wyniki chwilowych pomiarów prędkości i kierunku wiatru na wysokości 10 m n.p.m., z pełnych godzin według UTC, z trzech punktów w aglomeracji Szczecina, z lat 2005–2009. Automatyczne stacje meteorologiczne, z których uzyskano dane, funkcjonują w systemie monitoringu jakości powietrza w ramach WIOŚ. Stacja przy ul. Piłsudskiego jest zlokalizowana w obrębie zwartej zabudowy, w centralnej części miasta, natomiast dwie pozostałe stacje, przy ulicy Łącznej i ulicy Andrzejewskiego, znajdują się na obrzeżach miasta. Stacja przy ul. Łącznej reprezentuje teren otwarty, w sąsiedztwie niskiej, luźnej zabudowy jednorodzinnej, a punkt pomiarowy przy ul. Andrzejewskiego znajduje się w obrębie wielokondygnacyjnej zabudowy blokowej, w pobliżu głównej drogi dojazdowej do Szczecina.

WYNIKI

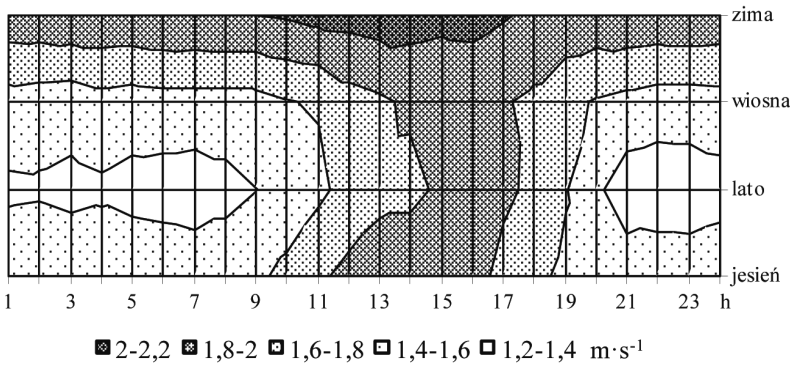
W badanym 5-leciu przeciętnie największe prędkości wiatru występowały w niezabudowanym rejonie Szczecina, przy ul. Łącznej i wahały się od około $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w sierpniu do $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w styczniu (ryc. 1). W zabudowanych dzielnicach miasta prędkości wiatru były o połowę mniejsze. Szczególnie niekorzystne warunki przewietrzania panowały w śródmiejskiej, najbardziej zanieczyszczonej części Szczecina, gdzie w żadnym miesiącu roku średnia prędkość wiatru nie przekraczała $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a w niektórych nawet $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. W obrębie luźniejszej, wielokondygnacyjnej zabudowy osiedlowej, przy ul. Andrzejewskiego, prędkość wiatru była przeciętnie o około $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ mniejsza niż w centrum miasta. Największe osłabienie prędkości wiatru w rejonie zwartej zabudowy miejskiej rejestrowano w czasie kalendarzowej zimy – w ciągu całej doby wynosiło ponad $1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a w godzinach 10–17 nawet ponad $2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ryc. 2). W pozostałych porach roku wyraźnie mniejsze różnice prędkości wiatru między rejonami reprezentowanymi przez stacje przy ul. Piłsudskiego i Łącznej występowały w godzinach między 19 a 9, szczególnie w okresie kalendarzowego lata. Wielkość i struktura czasowa zróżnicowania prędkości wiatru w aglomeracji szczecińskiej są podobne jak w innych miastach (np. Stopa-Boryczka 1992, Siedlecki 2003).

Rejon zwartej zabudowy w centrum Szczecina charakteryzował się także bardzo dużą deformacją kierunku wiatru, co ilustruje wybitnie asymetryczna róża wiatru (ryc. 3). Zdecydowana, ponad 70%, przewaga wiatrów z kierunków NW i W oraz S i SE, o prędkościach nieprzekraczających $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (z wyjątkiem wiatrów S), a bardzo mała częstość wiatrów N i SW jest skutkiem lokalizacji punktu pomiarowego w prześwicie pomiędzy dwoma budynkami i może być



Ryc. 1. Średnia miesięczna prędkość wiatru (2005–2009)

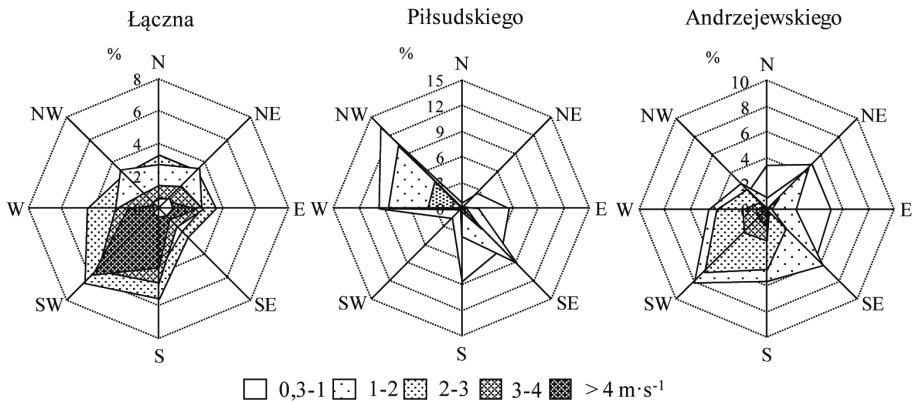
Fig. 1. Monthly mean wind speed (2005–2009)



Ryc. 2. Zmniejszenie średnich godzinnych prędkości wiatru w obrębie zwartej zabudowy śródmiejskiej (ul. Piłsudskiego) w porównaniu do terenu otwartego (ul. Łączna) (2005–2009)

Fig. 2. The decrease in the hourly mean wind speed within the densely built-up central part of the city (Piłsudskiego street) as compared to the open area (Łączna street) (2005–2009)

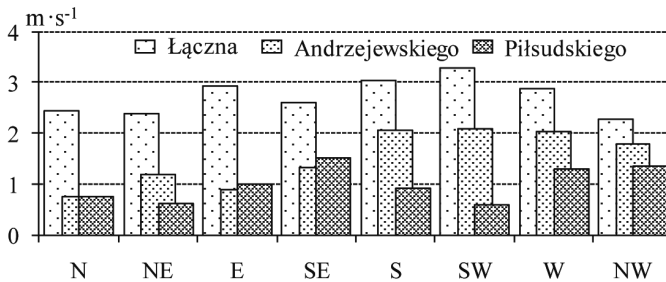
dobrym przykładem wpływu zabudowy na pole wiatru. Rozkład kierunków wiatru zarówno w rejonie luźniejszej zabudowy osiedlowej (ul. Andrzejewskiego), jak i w obszarze niezabudowanym (ul. Łączna), wykazywał duże podobieństwo do wieloletniego rozkładu (1956–1990), charakterystycznego dla rejonu stacji IMGW w Szczecinie-Dąbiu, gdzie od marca do września przeważają wiatry W, a od października do lutego – wiatry SW (Czarnecka 1996). W latach 2005–2009 obie części miasta odznaczały się w ciągu roku przewagą wiatrów SW, ale także dużą częstością wiatrów S, znacznie częstszych niż wiatry W. W obu dzielnicach miasta, oddalonych od centrum, przeciętnie największe prędkości osiągały głównie wiatry z kwadrantu S-W, natomiast najmniejsze – z kwadrantu NE-SE. W rejonie zabudowy osiedlowej, przy ul. Andrzejewskiego, częściej niż w terenie niezabudowanym, przy ul. Łącznej, występowały przede wszystkim wiatry SE, których prędkość na ogół nie przekraczała 2 m·s⁻¹.



Ryc. 3. Częstość (%) kierunku wiatru w przyjętych przedziałach prędkości w ciągu roku (2005–2009)

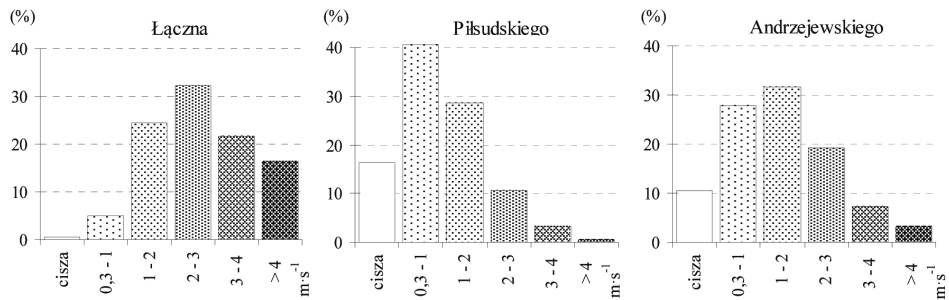
Fig. 3. The frequency (%) of wind direction in speed intervals during a year (2005–2009)

W obrębie aglomeracji szczecińskiej kontrastowe różnice w prędkości wiatru, ponad 2,5 m·s⁻¹, występowały przy wiatrach z kierunku SW, ale niewiele mniejsze, około 2 m·s⁻¹, także jeszcze przy wiatrach z kierunków S i E (ryc. 4). Zdecydowanie najmniejsze zróżnicowanie prędkości wiązało się z wiatrami NW.



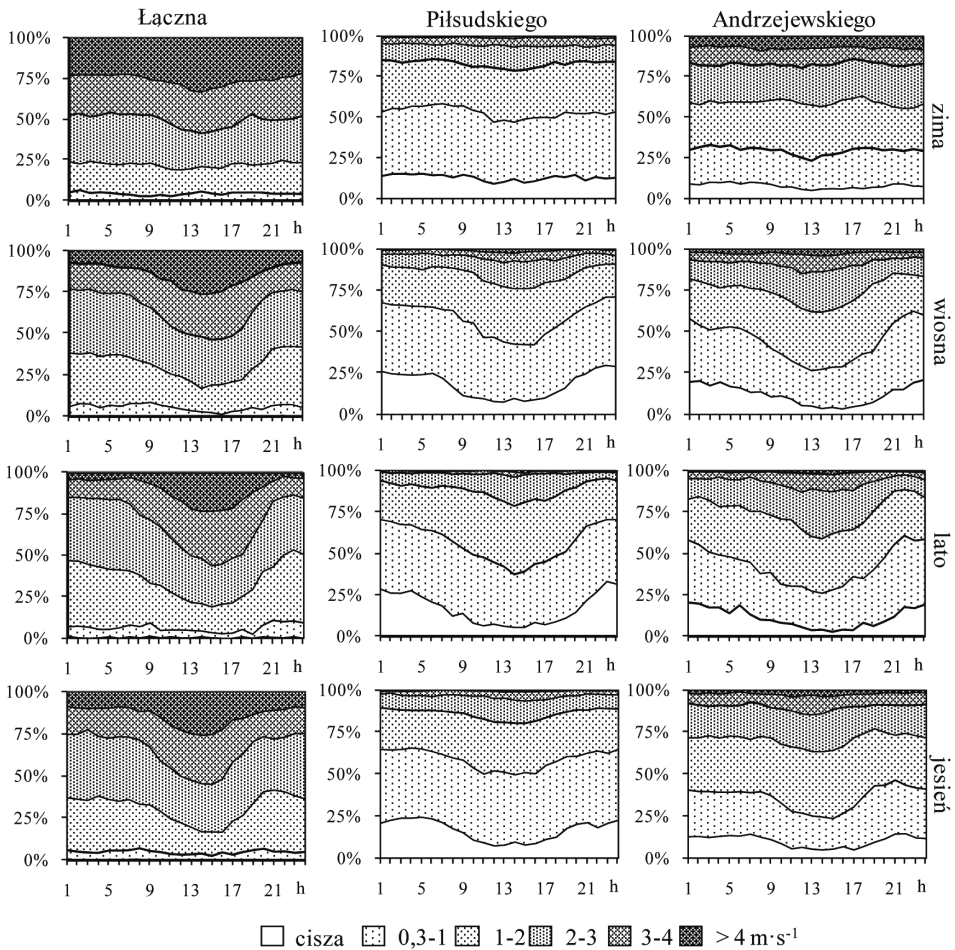
Ryc. 4. Średnia roczna prędkość wiatru według kierunków (2005–2009)

Fig. 4. Annual mean wind speed according to the directions (2005–2009)



Ryc. 5. Częstość (%) wiatru w przedziałach prędkości w ciągu roku (2005–2009)

Fig. 5. The frequency (%) of wind speed at intervals during a year (2005–2009)



Ryc. 6. Częstość wiatru w przedziałach prędkości w ciągu doby w porach roku (2005–2009)

Fig. 6. The frequency of wind speed at intervals during a day in the seasons (2005–2009)

W latach 2005–2009 w niezabudowanym rejonie Szczecina w ponad połowie przypadków w ciągu roku prędkość wiatru kształtowała się od 2 do 4 m·s⁻¹, przy około 10% przewadze zakresu prędkości 2–3 m·s⁻¹, a udział wiatrów o prędkości ponad 4 m·s⁻¹ wynosił około 16% (ryc. 5). W centralnej części miasta prędkość wiatru najczęściej (około 40%) nie przekraczała 1 m·s⁻¹, a prędkości ponad 4 m·s⁻¹ rejestrowano sporadycznie. O korzystniejszych warunkach wentylacyjnych w obrębie zabudowy osiedlowej przy ul. Andrzejewskiego, w porównaniu do centrum miasta, decydowała przede wszystkim około dwukrotnie większa częstość wiatrów o prędkościach od 2 do 4 m·s⁻¹ i mniejsza częstość cisz atmosferycznych.

Duże deformacje prędkości wiatru pod wpływem zabudowy uwidoczniły się we wszystkich porach roku (ryc. 6). Bardzo słabe warunki przewietrzania są istotnym elementem ryzyka naruszenia standardów jakości powietrza podczas sytuacji smogowych. Dlatego też szczególnie niekorzystne warunki w zanieczyszczonych rejonach zabudowy miejskiej stwarzały cisze atmosferyczne, których częstość w godzinach nocnych, wiosną i latem, wzrastała nawet do około 30% w centrum Szczecina i do blisko 25% w zabudowie osiedlowej. W terenie niezabudowanym cisze rejestrowano bardzo rzadko. W około 50% przypadków w ciągu całej doby podczas kalendarzowej zimy, a także w godzinach od 14 do 16 w pozostałych porach roku, prędkość wiatru kształtowała się ponad $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zgodnie z klasyfikacją Parczewskiego (1960), w rejonach zabudowanych Szczecina we wszystkich porach roku, podobnie jak w rejonie Stargardu Szczecińskiego (Czarnecka, Nidzgorska-Lencewicz 2007), prędkości wiatru w latach 2005–2009 stwarzały w przyziemnej warstwie atmosfery jedynie warunki słabej turbulencji. Turbulencja umiarkowana, pojawiająca przy prędkościach ponad $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, występowała jedynie w obszarze niezabudowanym, z częstością około 20%, przy czym zimą w czasie całej doby, natomiast w pozostałych porach roku głównie w godzinach 11–16.

WNIOSKI

1. Największymi deformacjami prędkości oraz kierunku wiatru, w porównaniu do terenu niezabudowanego, charakteryzuje się rejon zwartej zabudowy w centrum Szczecina.
2. Przejawem wyraźnego osłabienia wentylacyjnej roli wiatru w centrum miasta, w porównaniu do terenu otwartego, są o połowę mniejsze prędkości w ciągu całego roku, zdecydowana przewaga wiatrów bardzo słabych (do $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) oraz duży udział cisz atmosferycznych, zwłaszcza w godzinach nocnych wiosną oraz latem.
3. W aglomeracji Szczecina największe zróżnicowanie częstości i prędkości wykazują wiatry południowo-zachodnie.
4. W rejonie wielokondygnacyjnej zabudowy osiedlowej większe deformacje dotyczą prędkości wiatru, mniejsze natomiast – kierunku.

Literatura

Czarnecka M., 1996, *Współczesny stan klimatu Szczecina*. [w:] K. Koźuchowski (red.), *Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Szczecina i współczesne zmiany klimatyczne w rejonie Morza Bałtyckiego*, Uniwersytet Szczeciński, Rozprawy i Studia, 224, 12–29.

- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., 2007, *Charakterystyka turbulencji na podstawie prędkości wiatru w rejonie Stargardu Szczecińskiego*. Acta Agroph., 9 (2), 321–332.
- Czarnecka M., Mąkosza A., Nidzgorska-Lencewicz J., 2011, *Variability of meteorological elements shaping biometeorological conditions in Szczecin, Poland*. Theor. Appl. Climatol., 104, 1–2, 110, DOI: 10.1007/s00704-010-0326-3.
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., 2008, *Warunki meteorologiczne kształtujące jakość powietrza w Szczecinie w styczniu i lipcu w roku 2006*. Acta Agroph., 12 (1), 55–72.
- Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wyd. UŁ, Łódź.
- Kassomenos P. A., Katsoulis B.D., 2006, *Mesoscale and macroscale aspects of the morning Urban Heat Island around Athens, Greece*. Meteorol. Atmos. Phys., 94, 209–218.
- Kuchcik M., 2003, *Warunki topoklimatyczne w różnych dzielnicach Warszawy*. [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geogr., IGiPZ PAN, 188, 179–190.
- Lewińska J., 2000, *Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie*. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków.
- Matzarakis A., Rocco M., Najjar G., 2009, *Thermal bioclimate in Strasbourg – the 2003 heat wave*. Theor. Appl. Climatol., 98, 3–4, 209–220.
- Parczewski W., 1960, *Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru w zastosowaniu do opracowań klimatologicznych i bioklimatologicznych*. Prz. Geof., 5 (13), 2, 117–122.
- Siedlecki M., 2003, *Urban-rural wind speed differences in Łódź*. Fifth International Conference on Urban Climate, 1–5 September 2003, Łódź, Poland, 1, 459–462.
- Stopa-Boryczka M., 1992, *Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez zabudowę w Warszawie*. Prace i Studia Geogr., 11, 39–73.
- Szymanowski M., 2004, *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*. Studia Geogr., 77, Acta Univ. Wrat., 2690.
- Unger J., 1996, *Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary*. Theor. Appl. Climatol., 54, 147–151.
- Xie X., Huang Z., Wang J., 2005, *Impact of building configuration on air quality in street canyon*. Atm. Envir., 39, 4519–4530.