

Kazimierz Kłysik, Krzysztof Fortuniak

**DOBOWY I ROCZNY CYKL WYSTĘPOWANIA
MIEJSKIEJ WYSPI CIEPŁA W ŁODZI**

**DAILY AND ANNUAL CYCLE
OF URBAN HEAT ISLAND OCCURRENCE IN ŁÓDŹ**

W latach 1992–1996 działała w centrum Łodzi Miejska Stacja Meteorologiczna Zakładu Meteorologii i Klimatologii UŁ, wyposażona w standardowe przyrządy i obsługiwana w reżimie pracy stacji klimatologicznej. Dla określenia intensywności miejskiej wyspy ciepła wykorzystano różnicę temperatury powietrza pomiędzy stacją śródmiejską a stacją zamiejską – w tym przypadku lotniskową stacją synoptyczną Łódź-Lublinek (Tu–Tr). Występowanie miejskiej wyspy ciepła cechuje się wyraźną cyklicznością dobową i roczną. Największe dodatnie różnice notowano zawsze w terminie nocnym w okresie lata – najczęściej występują wówczas warunki do tworzenia się i trwania przez całą noc nadwyżki ciepła w mieście. W zimie mvc zaznacza się rzadziej, a jej intensywność nie jest z reguły duża, co wynika ze wzmożonej prędkości wiatru o tej porze roku. Określono związek natężenia miejskiej wyspy ciepła w Łodzi z wielkością zachmurzenia ogólnego i prędkością wiatru w poszczególnych terminach obserwacyjnych.

WSTĘP

Ogromna liczba publikacji, które ukazały się w ostatnich czterdziestu latach, przyczyniła się do lepszego poznania znaczenia poszczególnych procesów i czynników klimatotwórczych, decydujących o swoistych cechach klimatu miejskiego. W wielu badaniach wskazuje się, że właściwie każdy składnik bilansu radiacyjnego i cieplnego może w określonych warunkach stanowić przyczynę istnienia wyspy ciepła, poczynając od ciepła sztucznego, na które najdawniej wskazywano jako na główne źródło swoistych cech klimatu miasta, aż po złożone procesy wymiany energii drogą promieniowania w ulicznych „kanionach” starych miast.

W miarę postępu badań zmianie ulegały niektóre poglądy na rolę poszczególnych procesów i czynników klimatotwórczych w kształtowaniu warunków klimatycznych i bioklimatycznych miasta. Ponad wszelką wątpliwość

duże znaczenie posiada emisja ciepła antropogennego, wzrost ilości energii zużywanej na bezpośrednie ogrzewanie atmosfery z powodu dużego udziału powierzchni sztucznych (asfalty, chodniki, dachy) kosztem energii zużywanej gdzie indziej na parowanie oraz istnienie dużych powierzchni pionowych, które zmieniają bilans radiacyjny terenów przyległych oraz modyfikują warunki wymiany pionowej powietrza. W konkretnych warunkach terenowych ważne znaczenie mogą wykazywać inne procesy i czynniki, np. zmienione albedo powierzchni miejskich, zwiększone promieniowanie zwrotne atmosfery, czy wreszcie ogromna zdolność magazynowania ciepła przez masę betonu, asfaltu, kamieni i innych materiałów budowlanych. Wpływa to na wielką bezwładność cieplną miasta i powietrza wewnątrz zabudowy miejskiej.

Celem pracy jest analiza porównawcza wyników pomiarów meteorologicznych prowadzonych w latach 1992–1996 na dwóch stacjach – śródmiejskiej, położonej w centrum Łodzi, oraz zamiejskiej, zlokalizowanej na podmiejskim lotnisku.

GLÓWNE CECHY MIASTA

Łódź jest drugim pod względem liczby mieszkańców miastem w Polsce (około 850 tys.). Miasto jest położone na obszarze wyniesionym nad poziom morza w granicach od 180 m n.p.m. w zachodniej części (Retkinia) do 235 m n.p.m. we wschodniej części (Widzew-Wschód). Ogólna powierzchnia w granicach administracyjnych miasta wynosi ponad 200 km², ale tylko około 80 km² stanowi powierzchnia zabudowana. Deniwelacje terenu w obszarze intensywnie zabudowanym wynoszą do 55 m przy odległości 12 km pomiędzy terenami zabudowanymi położonymi najniżej i najwyżej. Takie różnice hipsometryczne są tego samego rzędu co wysokość najwyższych bloków w centralnych rejonach miasta. Ogólnie teren jest lekko nachylony ku południowemu wschodowi, a małe dolinki powodują, że wysokości względne przeciętnie wynoszą około 10 m na km². Wysokość zabudowy przewyższa znacznie naturalne deniwelacje terenu. Tak więc z klimatologicznego punktu widzenia teren Łodzi można uznać za mało urozmaicony pod względem hipsometrycznym, co jest cechą wyjątkowo korzystną dla badań klimatu lokalnego miasta na tle otoczenia.

WYNIKI

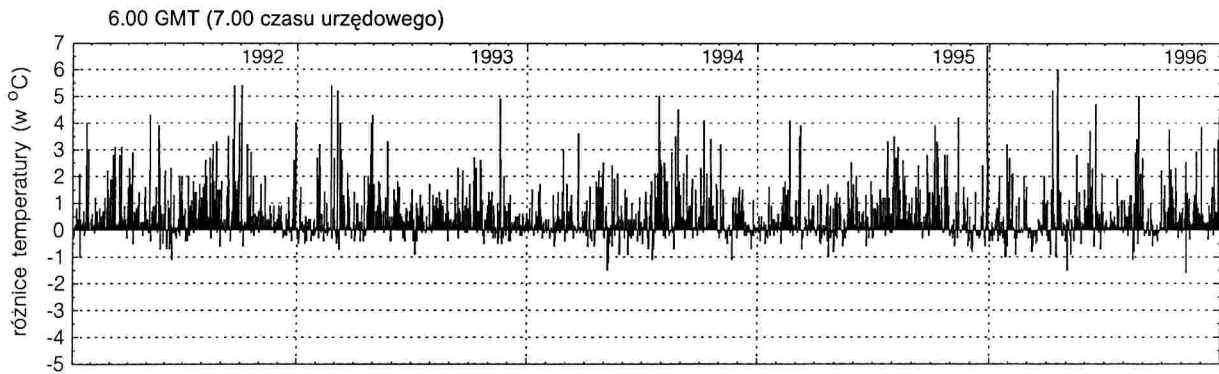
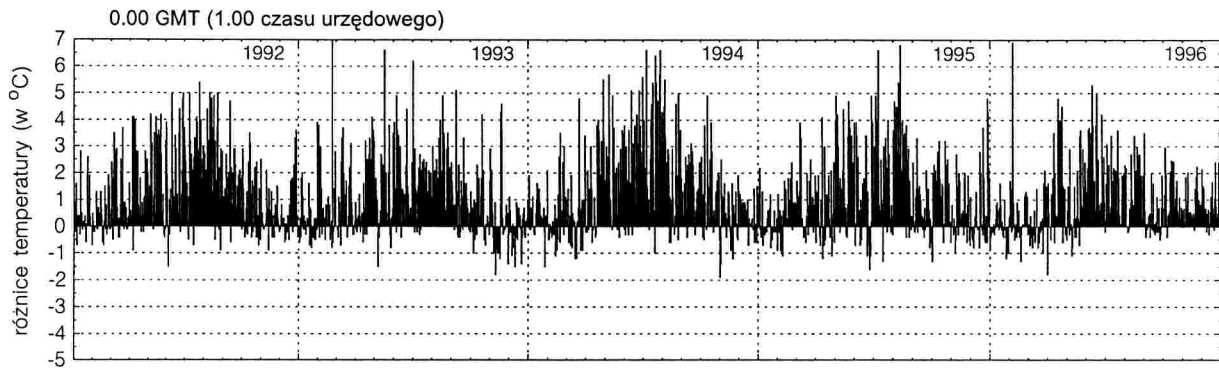
Najczęściej używanym wskaźnikiem intensywności (natężenia) miejskiej wyspy ciepła bywa różnica temperatury pomiędzy stacją miejską i zamiejską (Tu–Tr). W niniejszej pracy przyjęto wielkość tej różnicy jako miarę oddziaływania miasta na warunki termiczne.

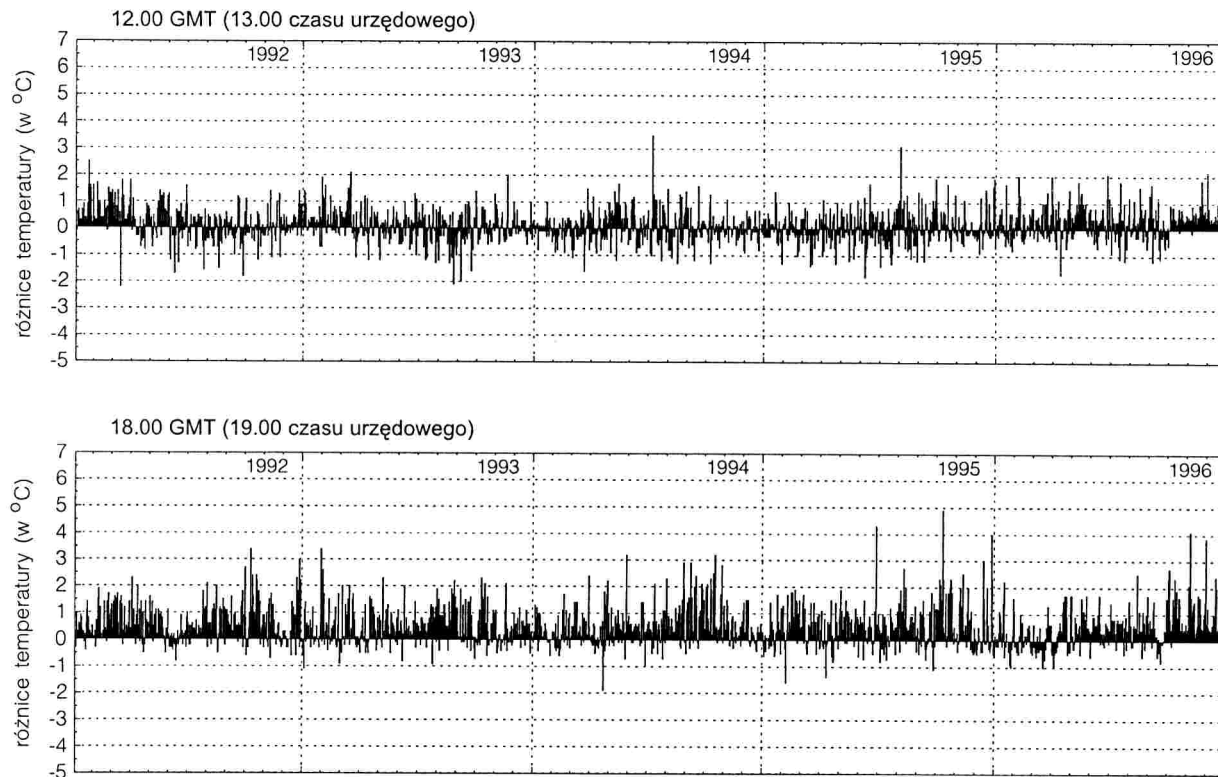
W literaturze klimatologicznej spotkać można różnorodne poglądy, poparte odpowiednimi wyliczeniami, na temat dobowej i rocznej zmienności wyspy ciepła w miastach oraz znaczenia poszczególnych czynników w procesie jej formowania się. Poglądy na ten temat prezentuje Oke (1974, 1991), Landsberg (1981), wcześniej Kratzer (1956) i wielu innych autorów. Wiadomo, że miejska wyspa ciepła najczęściej ma charakter nietrwały, najintensywniej zaznacza się w nocy w warunkach pogody bezwietrznej i bezchmurnej, zanika na ogół w ciągu dnia.

Na przykładzie danych z Łodzi prześledzić można przebieg różnic $T_u - T_r$ w poszczególnych terminach obserwacyjnych w przebiegu rocznym (rys. 1). Najistotniejszą cechą czasowej zmienności natężenia różnic pomiędzy centralnymi rejonami miasta a terenami zamiejskimi (lotnisko Lublinek) jest bardzo wyraźny rytm roczny. W południe centrum Łodzi może być zarówno cieplejsze, jak i chłodniejsze, co częściej zdarza się w lecie. Jest jasne, z jakich powodów powietrze w centrum miasta może być cieplejsze (ciepło antropogenne, bezwładność termiczna budowli, powierzchnie pionowe, modyfikacje bilansu radiacyjnego i cieplnego powierzchni czynnej). W godzinach południowych w letnich dniach o pogodzie radiacyjnej wewnątrz miasta panują duże kontrasty termiczne. Przy powierzchni ziemi w rejonach dużej gęstości zabudowy powietrze może być chłodniejsze niż poza miastem, ponieważ duża część powierzchni gruntu jest zacieniona. Dużą rolę odgrywa wówczas powierzchnia dachów, które wytwarzają warstwę powietrza cieplejszego na wysokości 15–30 m nad gruntem dzięki pochłanianiu dużej części promieniowania słonecznego.

Trzeba zauważyć, że w południe zarówno dodatnie, jak i ujemne różnice nie są duże – decyduje o tym ogólnie chwiejna stratyfikacja powietrza w warstwie granicznej, która umożliwia konwekcję i turbulencyjne mieszanie powietrza. Chwiejność równowagi jest więc przyczyną względnie małych przekształceń pionowego profilu temperatury w obrębie warstwy powietrza miejskiego. Zdarzające się w terminie południowym, sporadycznie nawet w lecie, większe różnice na korzyść miasta (ponad 1°C) zawdzięczają swe istnienie przede wszystkim gwałtownym adwekcjom chłodnego powietrza z frontem chłodnym. Powietrze miejskie z pewnym opóźnieniem reaguje na ochłodzenie – efekt ten jest wyraźniejszy, gdy przejście frontu chłodnego nad miastem następowало krótko przed południowym terminem obserwacyjnym.

Wieczorem, o godz. 19.00 czasu lokalnego, miasto jest już prawie zawsze cieplejsze – nadwyżka ciepła miejskiego znajduje się w początkowej fazie formowania się, a jej natężenie osiąga na ogół wartość $1-2^{\circ}\text{C}$. Wyspa ciepła miejskiego, w świetle pomiarów z poszczególnych terminów obserwacyjnych, jest najlepiej wyrażona w środku nocy (termin 01 czasu urzędowego), jakkolwiek jej największe natężenie występuje przed wschodem słońca. W lecie pierwszy termin obserwacyjny przypada parę godzin po wschodzie słońca.





Rys. 1. Występowanie miejskiej wyspy ciepła (różnic $T_u - T_r$) w Łodzi w latach 1992–1996 w głównych terminach obserwacji klimatologicznych

Fig. 1. Near-surface air temperature differences ($T_u - T_r$) between city centre and airport in Łódź at 0.00, 6.00, 12.00, 18.00 GMT (1.00, 7.00, 13.00, 19.00 local time) for five years observations (1992–1996)

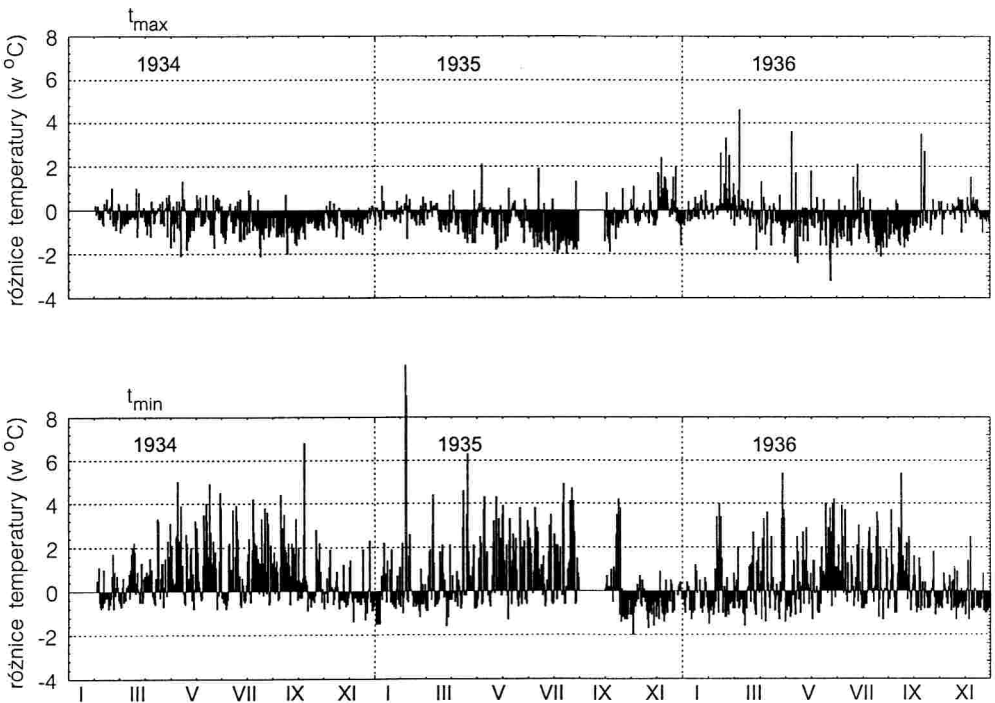
Zasadniczą cechą przebiegu rocznego jest występowanie największych różnic w okresie letnim (czerwiec–sierpień), które dochodzą do 3–4°C, a czasami nawet do 6°C. Średnio najmniejsze różnice występują w okresie zimowym. Ten rytm roczny zaobserwowano w ciągu każdego z badanych lat. We wszystkich porach roku, kiedy wieczorem lub w pierwszej połowie nocy pojawia się choćby krótkie roz pogodzenie, a wiatr cichnie – pojawia się nadwyżka ciepła miejskiego. W okresie zimowym w warunkach klimatu Polski znacznie rzadziej występują warunki do tworzenia się trwałej nadwyżki ciepła miejskiego. Częściej panują warunki pogodowe z dużym zachmurzeniem i silnym wiatrem, który nie cichnie nocą (wpływ atlantyckich cyklonów z częstymi frontami atmosferycznymi). Dlatego w miesiącach listopad–marzec różnice dodatnie nawet w nocy są małe i występują rzadziej. W okresie tym względnie często pojawiają się różnice ujemne. Dominującą rolę odgrywa w takich przypadkach adwekcja powietrza ciepłego za aktywnymi frontami ciepłymi, która – w połączeniu z bezwładnością termiczną murów domów – w okresie nocnym daje efekt w postaci oziębiającego wpływu miasta w stosunku do ciepłego powietrza napływającego za frontem. Zdarzają się również sytuacje przeciwne, w których dominującą rolę w kształtowaniu się wyższych temperatur powietrza w mieście odgrywa intensywna adwekcja zimnego powietrza za frontem chłodnym. Rozbudowujący się za frontem chłodnym wyż tworzy sprzyjające warunki do występowania wyspy ciepła o szczególnie dużym natężeniu do 8–10°C. Takie przypadki miały miejsce kilkakrotnie w badanym okresie.

W terminie porannym (godz. 7.00 czasu miejscowego), który w zimie przypada jeszcze w nocy, a w lecie już w pełni dnia, miejska wyspa ciepła ma charakter rezydualny. W zimie – ukształtowana nocą nadwyżka ciepła utrzymuje się jeszcze w mało zmienionej postaci do godzin porannych, w lecie natomiast w okresie porannym już znacząco zmniejsza swą intensywność lub w ogóle zanika. Tak więc przebieg roczny natężenia wyspy ciepła w porannym terminie obserwacyjnym bardziej zależy od czasu wschodu słońca w stosunku do terminu obserwacji niż od rzeczywistej dynamiki warunków pogodowych.

Przebieg roczny różnic temperatury maksymalnej i minimalnej jest bardzo zbliżony odpowiednio do przebiegu różnic z terminu południowego i z północy.

Podobnie jak współcześnie, także w latach 1934–1936 działała w centrum miasta stacja meteorologiczna, zlokalizowana jednakże wśród bardzo gęstej zabudowy, na skraju małego śródmiejskiego parku. Rysunek 2 przedstawia analogiczne różnice T_u – T_r dotyczące temperatury maksymalnej i minimalnej z tego historycznego okresu. O ile w zakresie temperatury minimalnej rytm roczny oraz wielkość różnic są podobne jak w okresie współczesnym, o tyle w zakresie temperatury maksymalnej różnice znacznie częściej bywały ujemne (miasto chłodniejsze). Wynika to z faktu, że stacja przed II wojną światową zlokalizowana była wśród zwartej zabudowy centrum, a nie – jak obecnie

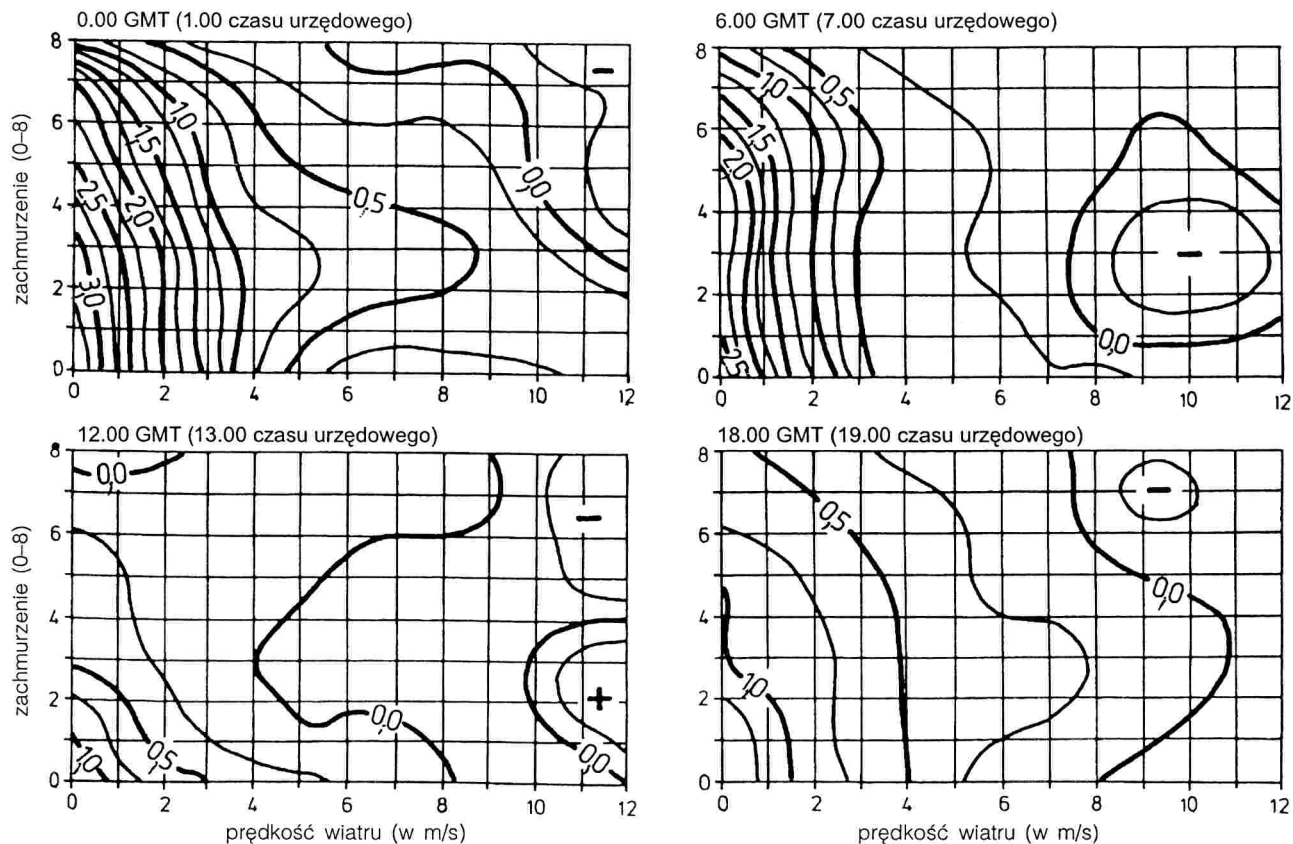
– na dużym śródmiejskim placu. Topoklimatyczne badania wykazują, że obecna stacja nie leży w najcieplejszym miejscu w mieście. Tak więc samo położenie stacji i jej najbliższe sąsiedztwo odgrywa tutaj decydującą rolę. Z tego porównania wynika również wniosek, że o wielkości nadwyżki ciepła miejskiego w przypadku Łodzi decyduje przede wszystkim typ zabudowy (rodzaj, wysokość budynków i intensywność zabudowy, sky view factor), a nie tylko wielkość miasta. Łódź w ciągu ostatnich sześćdziesięciu lat podwoiła liczbę mieszkańców i 3–4-krotnie zwiększyła wielkość obszaru zabudowanego.



Rys. 2. Różnice temperatury maksymalnej i minimalnej między stacją miejską i zamiejską w Łodzi w latach 1934–1936

Fig. 2. Differences (in °C) in maximum and minimum daily air temperature between the city centre and airport in Łódź in the period 1934–1936

Wszystkie czynniki o charakterze geograficznym mogą wpływać na wielkość wyspy ciepła tylko wówczas, gdy sprzyjają temu ogólne warunki pogodowe, głównie prędkość wiatru i zachmurzenie. Na podstawie 3-letniej serii pomiarów wykonano obliczenia dotyczące przeciętnej intensywności wyspy ciepła w zależności od tych elementów meteorologicznych na stacji zamiejskiej (rys. 3).



Rys. 3. Zależność pomiędzy prędkością wiatru (w m/s) i zachmurzeniem ogólnym nieba (w skali 8-stopniowej) a intensywnością miejskiej wyspy ciepła w Łodzi w poszczególnych terminach obserwacyjnych w latach 1992–1994

Fig. 3. Air temperature differences (in °C) between city centre and airport in Łódź in relation to cloudiness and wind speed at 0.00, 6.00, 12.00, 18.00 GMT based on observations from the period 1992–1994

W nocy, zgodnie z oczekiwaniami, największą intensywność wyspa ciepła osiąga w warunkach bezwietrznych i bezchmurnych, ale zależność od zachmurzenia jest słaba. Praktycznie tylko przy zachmurzeniu całkowitym natężenie miejskiej nadwyżki ciepła ulega znacznemu osłabieniu. W warunkach Łodzi granicą prędkości wiatru, przy której można jeszcze mówić o utrzymaniu się nadwyżki ciepła miejskiego, jest prędkość około 3–4 m/s na stacji lotniskowej. Jest również regułą, że przy silnym wietrze różnice $T_u - T_r$ mogą przybierać wartości ujemne w każdej porze dnia.

WNIOSKI

Miejska wyspa ciepła, której miarą są różnice pomiędzy temperaturą powietrza w centrum miasta i poza miastem, cechuje się pulsacyjnym charakterem zarówno w rytmie dobowym, jak i rocznym. Najważniejszymi czynnikami kształtującymi rytm dobowy są różnice właściwości fizycznych powierzchni czynnej w terenie zurbanizowanym i zamieszkim, a więc czynniki lokalne, które modyfikują przebieg wszystkich procesów klimatotwórczych. Wśród przyczyn wywołujących roczną cykliczność natężenia wyspy ciepła za najważniejsze można uznać czynniki makrocyrkulacyjne, które stwarzają, bądź nie, warunki sprzyjające powstawaniu nadwyżki ciepła w mieście. W Polsce w okresie letnim występują znacznie częściej warunki powodujące istnienie nocnej miejskiej wyspy ciepła (osłabiona prędkość wiatru i małe zachmurzenie). W zimie, mimo dłuższych nocy i ogólnie ujemnego salda bilansu promieniowania, częstość sytuacji pogodowych korzystnych dla rozwoju miejskiej wyspy ciepła jest mniejsza. Istotne jest wszakże stwierdzenie, że jeśli sytuacja cyrkulacyjna w okresie zimowym jest sprzyjająca, mogą wówczas występować skrajnie duże różnice temperatury powietrza, przewyższające znacznie przypadki wyspy ciepła z okresu letniego.

Praca została wykonana przy finansowym wsparciu Komitetu Badań Naukowych – grant nr 6PO4E 036 08.

LITERATURA

- Kratzer P. A., 1956, *Das Stadtklima*, Braunschweig
- Kłysik K., Zawadzka A., Gajda-Pijanowska I., 1995, *Wstępne wyniki rocznej działalności Miejskiej Stacji Meteorologicznej w Łodzi*, [w:] *Klimat i bioklimat miast*, red. K. Kłysik, Wyd. UŁ, Łódź, s. 79–86
- Kłysik K., Fortuniak K., *Urban Heat Island in Łódź, Poland – Temporal Variability and Spatial Differentiation*, *Atm. Environ.* (w druku)

- Landsberg H. E., 1981, *The Urban Climate*, Academic Press, s. 285
Oke T. R., 1974, *Review of Urban Climatology 1968–1973*, WMO, Tech. Note, No 134
Oke T. R., 1991, *Boundary Layer Climates*, 2nd ed., Methuen, London–New York, s. 435
Zych S., 1961, *Zagadnienia klimatu Łodzi*, Przegl. Techn., nr 9

Zakład Meteorologii i Klimatologii
Uniwersytetu Łódzkiego

SUMMARY

During the period of 1992–1996 the meteorological station belonging to Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź worked in the city centre of Łódź. The station was equipped with standard instruments and attended as a normal climatological station. The difference between air temperature in a city centre (Tu) and on the outskirts of Łódź on the local airport Łódź-Lublinek (Tr) was used to define the intensity of urban heat island. Its significant diurnal and annual periodicity have been observed. The biggest positive differences have always been noticed during the summer nights when the weather conditions are most suitable to the creation and duration of heat surplus in city. During winter, UHI is a scarcity and its intensity is much less significant in average (it is caused by rise of wind's speed during this season). The relations between intensity of UHI in Łódź, wind speed and cloudiness have also been analyzed.