

Kazimierz Kłysik

**STRUKTURA PRZESTRZENNA
MIEJSKIEJ WYSPIY CIEPŁA W ŁODZI**

**SPATIAL STRUCTURE
OF THE URBAN HEAT ISLAND IN ŁÓDŹ**

Badanie przestrzennej struktury miejskiej wyspy ciepła na obszarze Łodzi prowadzono metodą patrolową przy użyciu czujników HMP-35 firmy Vaisala umieszczonych na pięciu samochodach. Serie pomiarowe wykonywano w dniach, kiedy warunki pogodowe stwarzały szanse intensywnego rozwoju wyspy ciepła. Stwierdzono występowanie 2 typów miejskiej wyspy ciepła – komórkowego i zgeneralizowanego. Pierwszy typ występuje w warunkach bezchmurnych i bezwietrznych nocy (prędkość wiatru na stacji zamiejskiej do 1–2 m/s). Zróżnicowanie termiczne osiąga wówczas największe rozmiary, a każda dzielnica, nawet peryferyjnie usytuowana względem centrum miasta, wyróżnia się jako odrębne ognisko ciepła. Obszary nie zabudowane, w tym parki śródmiejskie, są wówczas terenami chłodu. Drugi typ występuje przy wietrze zamiejskim w granicach 2–4 m/s i przyjmuje postać jednej, uogólnionej wyspy ciepła z centrum nieco przesuniętym względem środka miasta zgodnie z kierunkiem wiatru. Przy wietrze powyżej 4 m/s nocna wyspa ciepła w Łodzi jest bardzo słaba, praktycznie zanika.

WSTĘP

Badania indywidualności klimatu miast mają długą, ponad 150-letnią tradycję. W wielkich miastach umiarkowanych szerokości geograficznych (Londyn, Paryż) już wówczas zauważono, że różnorodne formy działalności człowieka skoncentrowane na względnie małym obszarze przyczyniają się do wytworzenia własnego, specyficznego klimatu terenów zurbanizowanych. Miasto, jego układ urbanistyczny i formy architektoniczne budowli nie tylko chronią człowieka przed niekorzystnymi wpływami zjawisk atmosferycznych, ale są samoistnym czynnikiem klimatotwórczym (Landsberg 1981; Oke 1973, 1991).

Najbardziej ewidentnym przejawem odrębności klimatu miasta jest wzrost temperatury powietrza w przyziemnej warstwie powietrza miejskiego

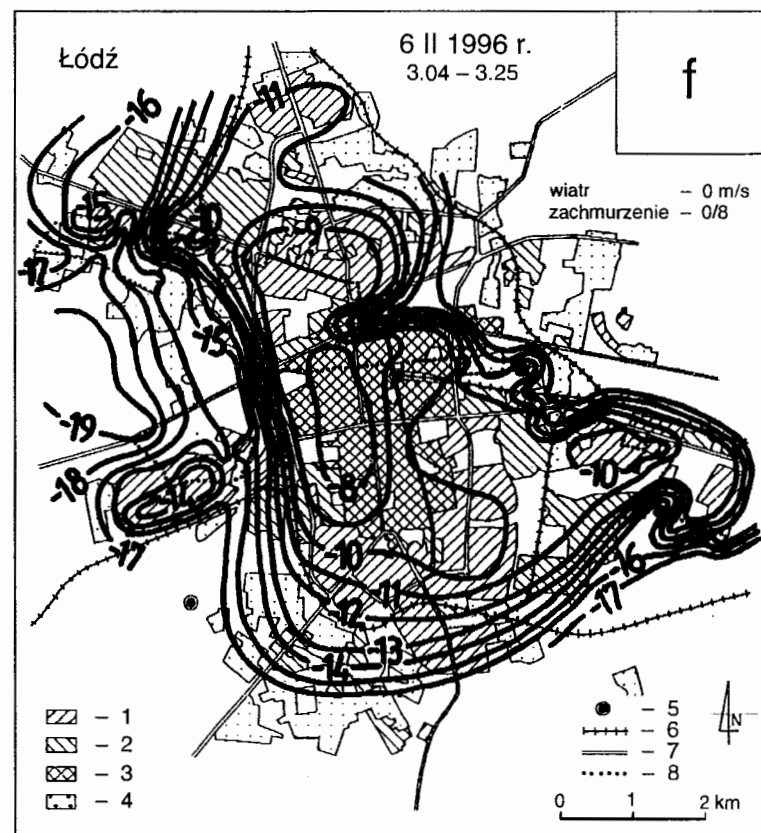
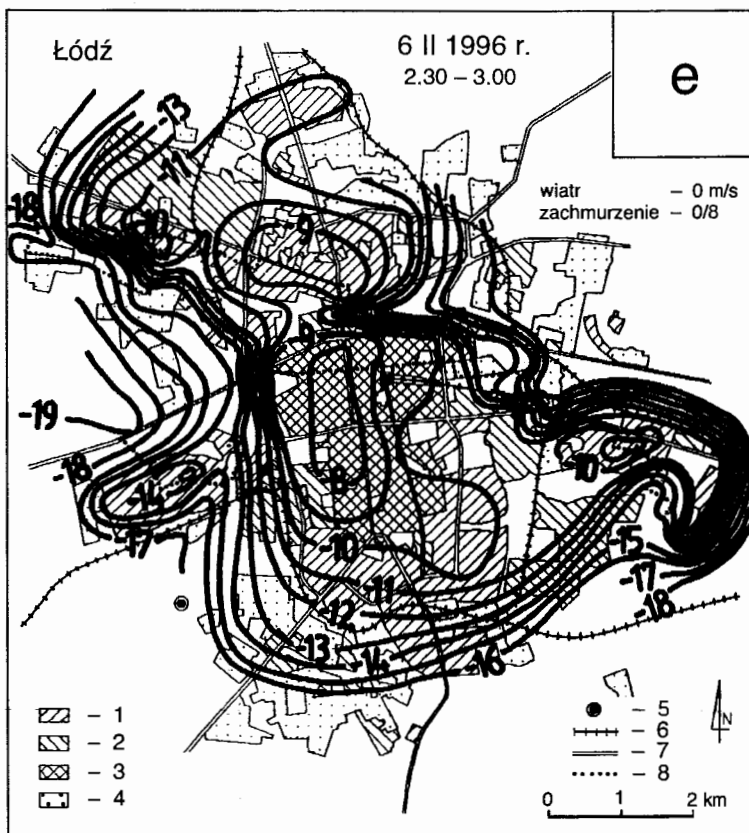
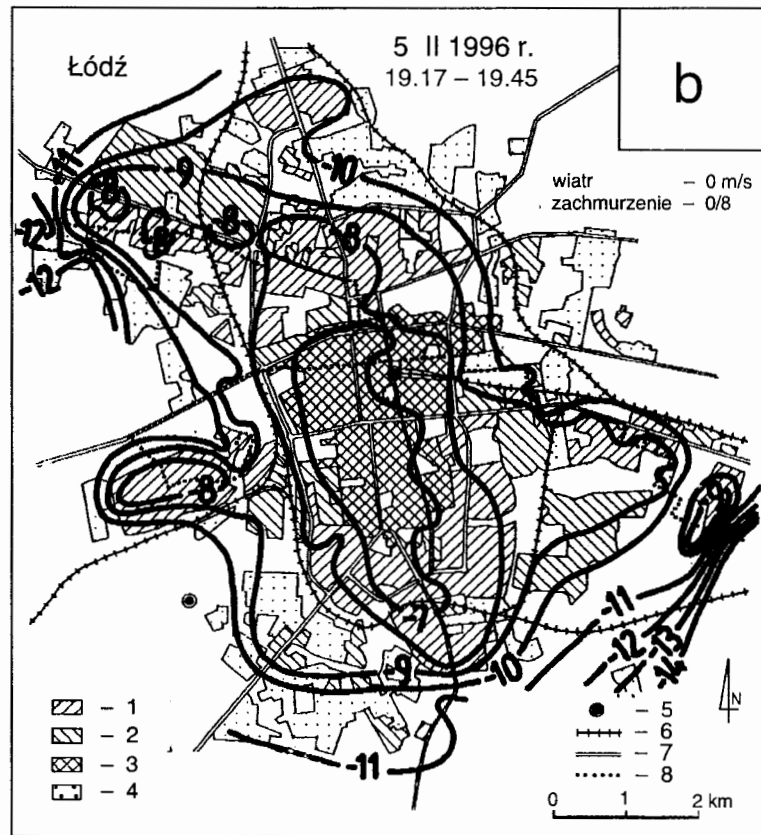
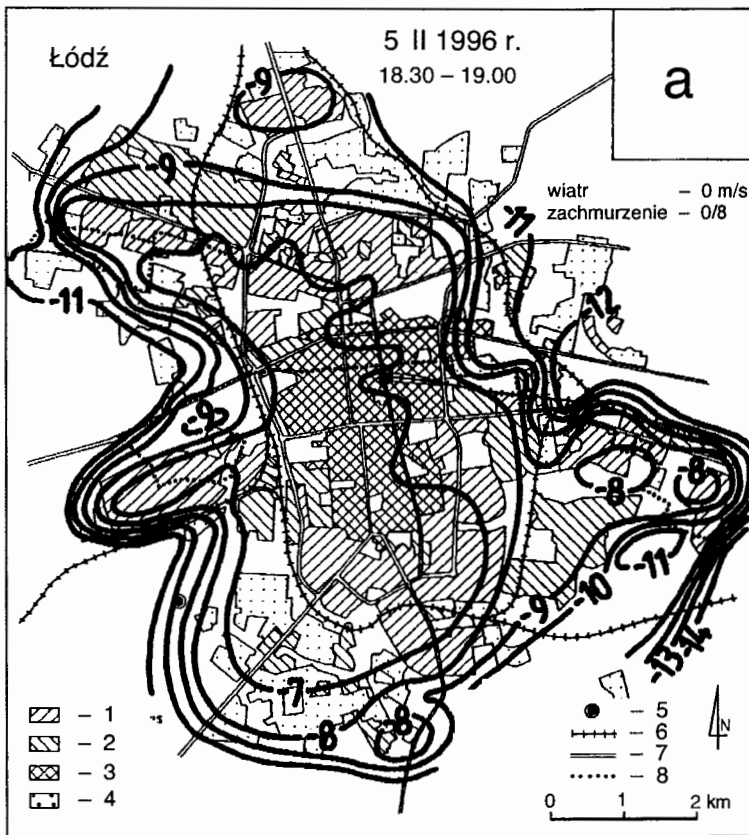
(zwłaszcza wśród budynków) w stosunku do temperatury powietrza za miastem na odpowiadających sobie wysokościach. Zjawisko to nosi nazwę miejskiej wyspy ciepła, przybiera zróżnicowane formy przestrzenne i cechuje się znaczną zmiennością w biegu dobowym i rocznym (Sundborg 1950; Bornstein 1968). Duża liczba meteorologicznych procesów i czynników geograficznych zaangażowana w tworzenie się wyspy ciepła powoduje, że posiada ona oprócz cech ogólnych, wspólnych i wszędzie występujących – także pewne indywidualne cechy, zależne od czynników o charakterze lokalnym, np. wielkości emisji ciepła sztucznego, charakteru rzeźby terenu, układu urbanistycznego miasta, intensywności zabudowy, rodzaju materiałów budowlanych (ich termoizolacyjności) itp. (Kłysik 1996; Terjung i wsp. 1973).

Najlepiej poznane są cechy miejskiej wyspy ciepła w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych, gdzie więcej niż połowa ludności żyje w skupiskach miejskich. Badania klimatu lokalnego miast stymulowane są nie tylko potrzebą poznania genezy licznych wtórnych skutków istnienia nadwyżki ciepła miejskiego, ale także bardzo praktycznymi potrzebami planowania urbanistycznego, koniecznością zapobiegania wysokim stężeniom zanieczyszczeń powietrza i dążeniem do kształtowania optymalnych warunków bioklimatycznych.

Celem niniejszego opracowania jest prezentacja wybranych empirycznych badań nad przestrzennym zróżnicowaniem miejskiej wyspy ciepła przeprowadzonych w ostatnich latach w Łodzi. Ze względu na swe położenie geograficzne, wielkość i strukturę zabudowy Łódź wydaje się bardzo reprezentatywnym poligonem badań klimatologicznych. Szczegółowa charakterystyka terenu badań przedstawiona jest w innej pracy autora, zamieszczonej w tym tomie.

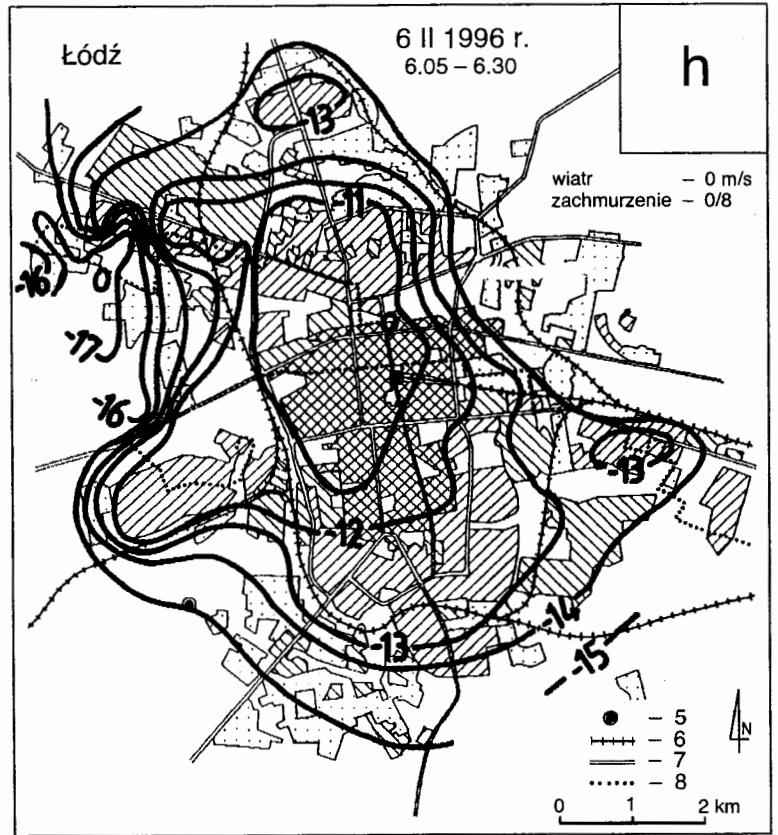
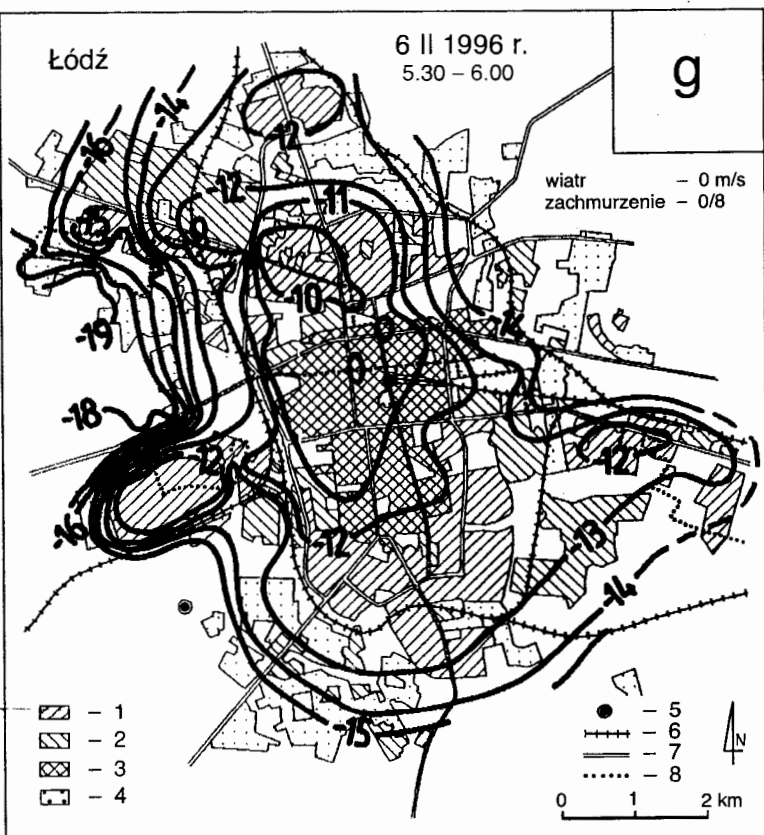
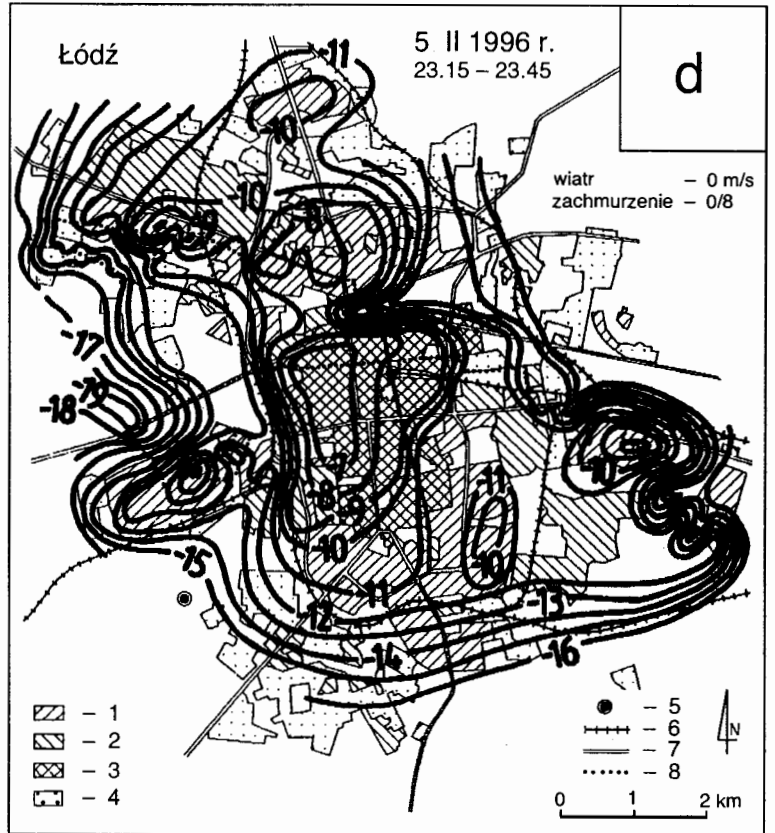
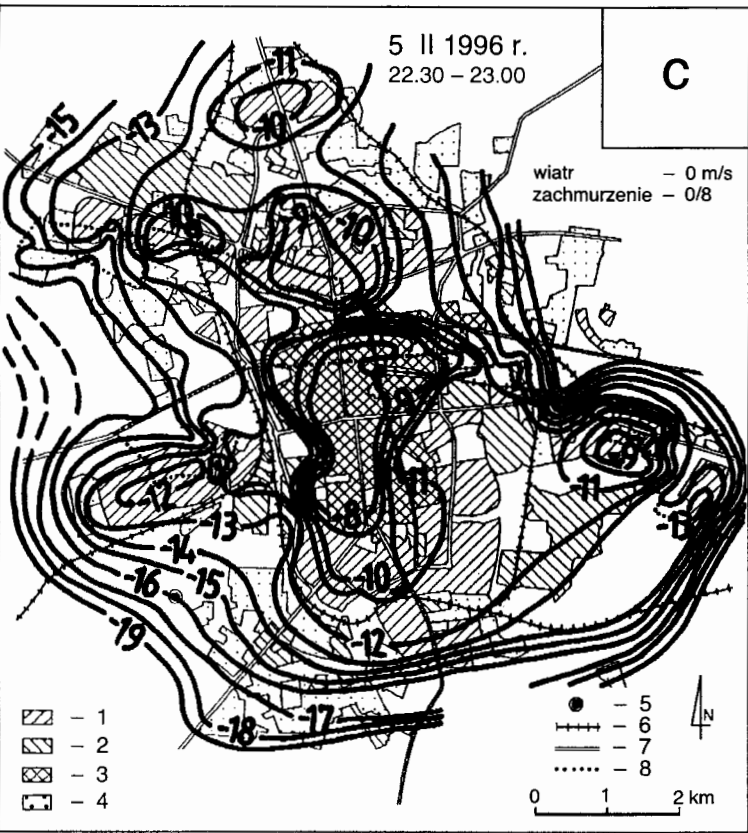
WYNIKI BADAŃ

Jak już wspomniano wcześniej, natężenie wyspy ciepła, zwłaszcza w zimie, może przybierać sporadycznie wartości bardzo duże, powyżej 8°C, a nawet więcej. Prowadzone w Łodzi od wielu lat badania nad przestrzenną strukturą i intensywnością miejskiej wyspy ciepła w różnych typach zabudowy zapoczątkowane były przez prof. S. Zycha (1961). Od tego czasu okresowo działały na terenie miasta stacje meteorologiczne w różnych typach zabudowy, wykonywano także pomiary patrolowe temperatury powietrza przy użyciu radiosondy A-22 umieszczonej na samochodzie (Kłysik 1977, 1985). Jednakże dopiero możliwość użycia czujników Vaisala HMP-35 pozwoliła na badania przestrzennego zasięgu wyspy ciepła i jej związków ze strukturą



Rys. 1. Przestrzenny zasięg miejskiej wyspy ciepła w Łodzi w
 Typy zabudowy: 1 – mieszkaniowa, 2 – przemysłowa, 3 – mieszana mieszkaniowo-prze
 ulice, 8 – tra

Fig. 1. Sequence of the spatial pattern of air temperature
 Types of building: 1 – housing estates, 2 – industrial areas, 3 – mixed industrial areas,
 8 – measure



nocy 5/6 lutego 1996 r. (a-h – kolejne etapy rozwoju mvc)
 myślowa, 4 – jednorodzinna, 5 – stacje meteorologiczne, 6 – linie kolejowe, 7 – główne
 sy przejazdów

in the area of Łódź on the night of 5/6 February 1996
 4 – suburban residential areas, 5 – meteorological stations, 6 – railways, 7 – main streets,
 ment routes

urbanistyczną miasta. Wykorzystywano do tego pięć samochodów osobowych, które w określonych dniach, kiedy prognozy meteorologiczne były zachęcające, wykonywały przejazdy wzdłuż ustalonych, rozchodzących się promieniście od środka miasta tras. Punkt centralny stanowiła zawsze stacja meteorologiczna przy dworcu kolejowym Łódź-Fabryczna.

Wielokrotnie wykonywane badania pozwoliły na stwierdzenie, że w Łodzi występują dwa typy miejskiej wyspy ciepła:

1. typ komórkowy – w warunkach pogody bezwietrznej,
2. typ uogólniony – w warunkach słabego wiatru 2–4 m/s.

Pierwszy typ występuje w warunkach pogody bezwietrznej (0–1 m/s) i bezchmurnej. Na podstawie obserwacji smug dymów z wysokich kominów stwierdzono, że sprzyjającym warunkiem jest także mały gradient prędkości wiatru z wysokością, a najlepiej, gdy ciszę lub bardzo słaby wiatr obserwuje się w warstwie co najmniej 200–300 m nad miastem i okolicą. Najbardziej wyrazistą postać wyspy ciepła typu komórkowego udało się zarejestrować w Łodzi w serii pomiarów w dniach 5–6 lutego 1996 r. W dniu 5 lutego, wcześnie rano przeszedł nad Łodzią aktywny front chłodny z niewielkimi opadami śniegu, za frontem napłynęła znad Skandynawii bardzo mroźna masa powietrza arktycznego. Za frontem chłodnym rozbudował się szybko wyż baryczny, zachmurzenie zanikło już we wczesnych godzinach popołudniowych i tylko nad miastem nieco dłużej utrzymywała się lokalna chmura *Cu*. Wiatr szybko ucichł w warstwie co najmniej 200 m (stwierdzono na podstawie kształtu smug dymów przemysłowych z wysokich kominów), a temperatura powietrza szybko zaczęła spadać. W tej sytuacji zaplanowano serię pomiarów wg z góry ustalonego schematu.

W czasie pierwszego, wieczornego przejazdu pięciu samochodów (rys. 1) stwierdzono różnicowanie temperatury powietrza od $-14,0^{\circ}\text{C}$ za miastem do ok. $-6,5^{\circ}\text{C}$ w centralnych, najgęściej zabudowanych rejonach miasta. W miarę upływu czasu, w kolejnych przejazdach stwierdzano, że temperatura powietrza w terenach zamiejskich szybko spadała i już przed północą najniższe zanotowane wartości osiągnęły $-19,0^{\circ}\text{C}$ na pokrytych śniegiem polach i w lokalnych obniżeniach. Przy bezwietrznej pogodzie – za miastem, a także w dzielnicach peryferyjnych – pojawiły się lokalne mgły. Na drzewach osadzała się obfita szadź. W ciepłych dzielnicach mieszkaniowych sąsiadujących z polami obserwowano efekt powstawania mgły z mieszania; cieplejsze i wilgotniejsze powietrze z bezpośredniego sąsiedztwa bloków mieszając się z mroźnym powietrzem znad pól dawało efekt „dymienia bloków” na podobieństwo dymienia arktycznych mórz. Relatywnie wysoką zawartość pary wodnej w powietrzu „miejskim” potwierdza następująca obserwacja: jeden z samochodów wykonujących pomiary miał uszkodzone ogrzewanie. O godz. 2.50 podczas przejazdu na trasie park podmiejski (temp. powietrza około $-15,0^{\circ}\text{C}$) – centrum miasta (temp. około $-8,5^{\circ}\text{C}$), osiadł

na szybie bardzo gęsty szron, uniemożliwiający jazdę. Przy wilgotności względnej około 92% daje to w powietrzu miejskim ciśnienie pary wodnej rzędu 3 hPa, podczas gdy powietrze zamiejskie zawierało wówczas tylko 1,1–1,5 hPa pary wodnej.

Wyspa ciepła osiągnęła największe natężenie w godz. 23.00–3.00, a następnie słabła wraz z nasilaniem się zamglań, które przekształciły się przed świtem w chmurę *St.* Poranek 6 lutego 1996 r. był szary, mglisty, typowy dla polskiej zimy, ze słabym wiatrem wschodnim. Wczesnie rano zaobserwowano opad słupków lodowych z chmury *St.* Dwie godziny przed południem chmury i mgły zaniknęły, zaświeciło słońce, a na wszystkich drzewach zalegała gruba szadź miękka.

Zasadniczą cechą przestrzennego zróżnicowania temperatury w mieście w ciągu tej nocy było trwałe istnienie ognisk ciepła, których zasięg pokrywał się z rejonami najintensywniejszej zabudowy. Oprócz rejonu centralnego, także każda peryferyjnie usytuowana dzielnica mieszkaniowa bardzo ostro wyróżniała się od otoczenia pod względem termicznym. Szczególnie ciepły teren w mieście to centralny rejon zwartej zabudowy o wąskich ulicach, gdzie „sky view factor” osiąga najmniejsze wartości (widoczność nieba jest najmniejsza i w związku z tym wypromieniowanie efektywne ciepła jest bardzo małe). Jest to zgodne z wynikami wielu autorów prezentujących wyniki kartowania termicznego obszarów miasta (Oke 1971, 1981; Moreno-García 1994). Tereny niezabudowane pomiędzy dzielnicami mieszkaniowymi (ogrody, parki, tereny kolejowe) były wówczas ostro wyróżniającymi się obszarami chłodu. Kontrasty termiczne na granicy zabudowy blokowej i zaśnieżonych pól (poziome gradienty temperatury) dochodziły do kilku stopni Celsjusza na 100 m odległości.

Najtrwalszym „jądrem” wyspy była najcieplejsza, centralna część miasta. W tym rejonie temperatura powietrza w ciągu całej nocy nie spadła poniżej $-10,5^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w terenie zamiejskim spadła poniżej $-19,0^{\circ}\text{C}$. Obszar najcieplejszy pokrywa się z najbardziej zagęszczonym fragmentem miasta, gdzie kubatura budynków sięga ponad $4\,000\,000\text{ m}^3$ na 1 km^2 .

Wyjątkowo intensywna (do 12°C) i utrzymująca się przez całą noc wyspa ciepła w mieście zawdzięczała swoje istnienie – jak można sądzić – sprzyjającym okolicznościom, na które składały się:

1. Adwekcja chłodnego, arktycznego powietrza, w którym za frontem chłodnym rozbudował się wyż baryczny.

2. Sprzyjające warunki radiacyjne i anemometryczne, typowe dla formowania się miejskiej wyspy ciepła, pogłębiające straty ciepła w terenie zamiejskim i warunkujące powstanie bardzo silnej przyziemnej inwersji radiacyjnej w warstwie granicznej. Ekstremalnie silna inwersja jest warunkiem istnienia intensywniej wyspy ciepła.

urbanistyczną miasta. Wykorzystywano do tego pięć samochodów osobowych, które w określonych dniach, kiedy prognozy meteorologiczne były zachęcające, wykonywały przejazdy wzdłuż ustalonych, rozchodzących się promieniście od środka miasta tras. Punkt centralny stanowiła zawsze stacja meteorologiczna przy dworcu kolejowym Łódź-Fabryczna.

Wielokrotnie wykonywane badania pozwoliły na stwierdzenie, że w Łodzi występują dwa typy miejskiej wyspy ciepła:

1. typ komórkowy – w warunkach pogody bezwietrznej,
2. typ uogólniony – w warunkach słabego wiatru 2–4 m/s.

Pierwszy typ występuje w warunkach pogody bezwietrznej (0–1 m/s) i bezchmurnej. Na podstawie obserwacji smug dymów z wysokich kominów stwierdzono, że sprzyjającym warunkiem jest także mały gradient prędkości wiatru z wysokością, a najlepiej, gdy ciszę lub bardzo słaby wiatr obserwuje się w warstwie co najmniej 200–300 m nad miastem i okolicą. Najbardziej wyrazistą postać wyspy ciepła typu komórkowego udało się zarejestrować w Łodzi w serii pomiarów w dniach 5–6 lutego 1996 r. W dniu 5 lutego, wcześnie rano przeszedł nad Łodzią aktywny front chłodny z niewielkimi opadami śniegu, za frontem napłynęła znad Skandynawii bardzo mroźna masa powietrza arktycznego. Za frontem chłodnym rozbudował się szybko wyż baryczny, zachmurzenie zanikło już we wczesnych godzinach popołudniowych i tylko nad miastem nieco dłużej utrzymywała się lokalna chmura *Cu*. Wiatr szybko ucichł w warstwie co najmniej 200 m (stwierdzono na podstawie kształtu smug dymów przemysłowych z wysokich kominów), a temperatura powietrza szybko zaczęła spadać. W tej sytuacji zaplanowano serię pomiarów wg z góry ustalonego schematu.

W czasie pierwszego, wieczornego przejazdu pięciu samochodów (rys. 1) stwierdzono różnicowanie temperatury powietrza od $-14,0^{\circ}\text{C}$ za miastem do ok. $-6,5^{\circ}\text{C}$ w centralnych, najgęściej zabudowanych rejonach miasta. W miarę upływu czasu, w kolejnych przejazdach stwierdzano, że temperatura powietrza w terenach zamiejskich szybko spadała i już przed północą najniższe zanotowane wartości osiągnęły $-19,0^{\circ}\text{C}$ na pokrytych śniegiem polach i w lokalnych obniżeniach. Przy bezwietrznej pogodzie – za miastem, a także w dzielnicach peryferyjnych – pojawiły się lokalne mgły. Na drzewach osadzała się obfita szadź. W ciepłych dzielnicach mieszkaniowych sąsiadujących z polami obserwowano efekt powstawania mgły z mieszania; cieplejsze i wilgotniejsze powietrze z bezpośredniego sąsiedztwa bloków mieszając się z mroźnym powietrzem znad pól dawało efekt „dymienia bloków” na podobieństwo dymienia arktycznych mórz. Relatywnie wysoką zawartość pary wodnej w powietrzu „miejskim” potwierdza również następująca obserwacja: jeden z samochodów wykonujących pomiary miał uszkodzone ogrzewanie. O godz. 2.50 podczas przejazdu na trasie park podmiejski (temp. powietrza około $-15,0^{\circ}\text{C}$) – centrum miasta (temp. około $-8,5^{\circ}\text{C}$), osiadł

na szybie bardzo gęsty szron, uniemożliwiający jazdę. Przy wilgotności względnej około 92% daje to w powietrzu miejskim ciśnienie pary wodnej rzędu 3 hPa, podczas gdy powietrze zamiejskie zawierało wówczas tylko 1,1–1,5 hPa pary wodnej.

Wyspa ciepła osiągnęła największe natężenie w godz. 23.00–3.00, a następnie słabła wraz z nasilaniem się zamgleń, które przekształciły się przed świtem w chmurę *St.* Poranek 6 lutego 1996 r. był szary, mglisty, typowy dla polskiej zimy, ze słabym wiatrem wschodnim. Wcześniej rano zaobserwowano opad słupków lodowych z chmury *St.* Dwie godziny przed południem chmury i mgły zaniknęły, zaświeciło słońce, a na wszystkich drzewach zalegała gruba szadź miękka.

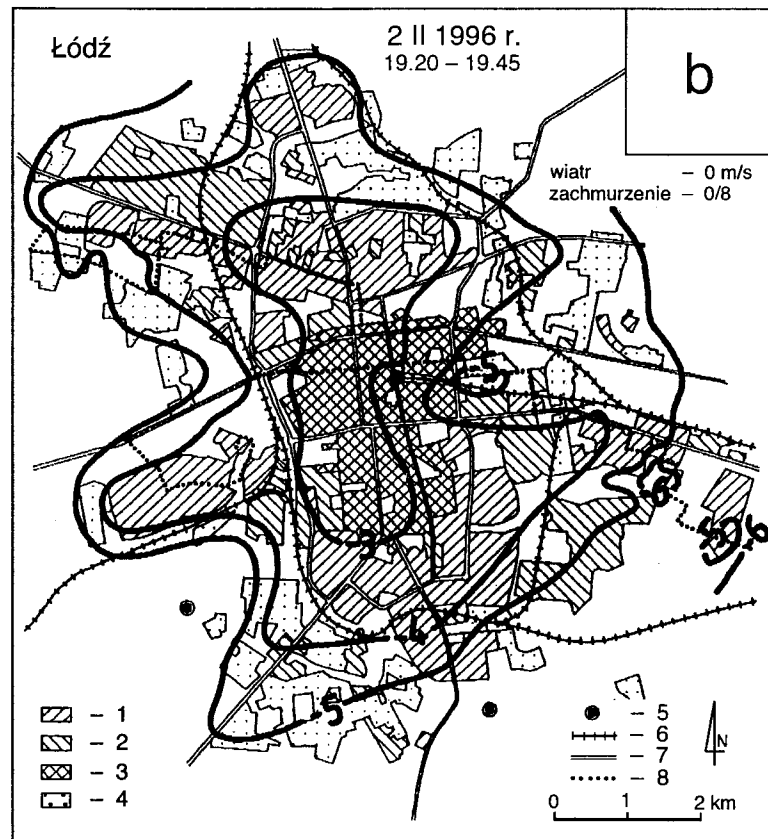
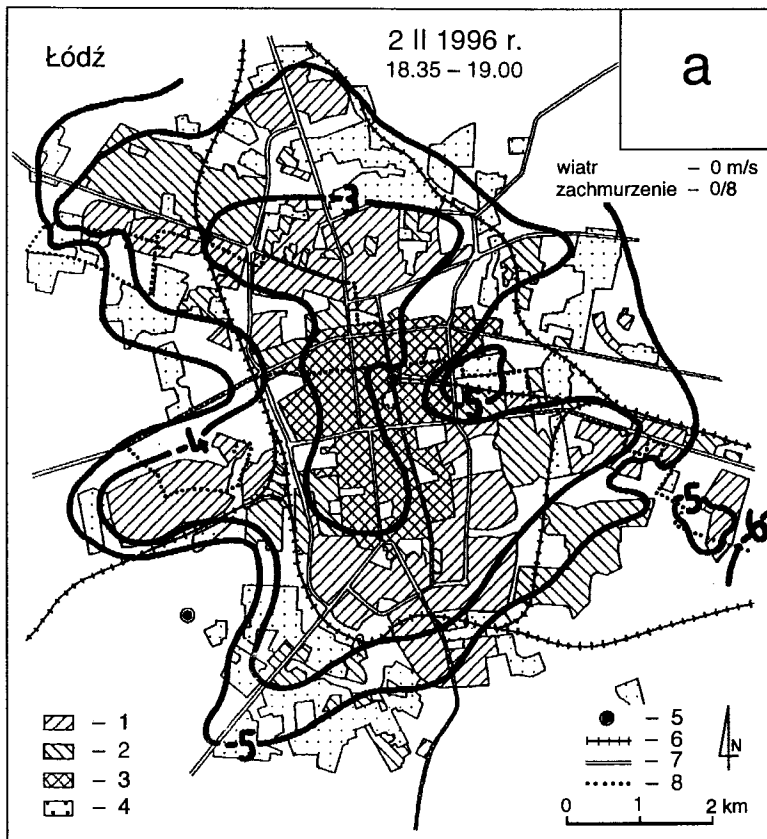
Zasadniczą cechą przestrzennego zróżnicowania temperatury w mieście w ciągu tej nocy było trwałe istnienie ognisk ciepła, których zasięg pokrywał się z rejonami najintensywniejszej zabudowy. Oprócz rejonu centralnego, także każda peryferyjnie usytuowana dzielnica mieszkaniowa bardzo ostro wyróżniała się od otoczenia pod względem termicznym. Szczególnie ciepły teren w mieście to centralny rejon zwartej zabudowy o wąskich ulicach, gdzie „sky view factor” osiąga najmniejsze wartości (widoczność nieba jest najmniejsza i w związku z tym wypromieniowanie efektywne ciepła jest bardzo małe). Jest to zgodne z wynikami wielu autorów prezentujących wyniki kartowania termicznego obszarów miasta (Oke 1971, 1981; Moreno-García 1994). Tereny niezabudowane pomiędzy dzielnicami mieszkaniowymi (ogrody, parki, tereny kolejowe) były wówczas ostro wyróżniającymi się obszarami chłodu. Kontrasty termiczne na granicy zabudowy blokowej i zaśnieżonych pól (poziome gradienty temperatury) dochodziły do kilku stopni Celsjusza na 100 m odległości.

Najtrwalszym „jądrem” wyspy była najcieplejsza, centralna część miasta. W tym rejonie temperatura powietrza w ciągu całej nocy nie spadła poniżej $-10,5^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w terenie zamiejskim spadła poniżej $-19,0^{\circ}\text{C}$. Obszar najcieplejszy pokrywa się z najbardziej zagęszczonym fragmentem miasta, gdzie kubatura budynków sięga ponad $4\,000\,000\text{ m}^3$ na 1 km^2 .

Wyjątkowo intensywna (do 12°C) i utrzymująca się przez całą noc wyspa ciepła w mieście zawdzięczała swoje istnienie – jak można sądzić – sprzyjającym okolicznościom, na które składały się:

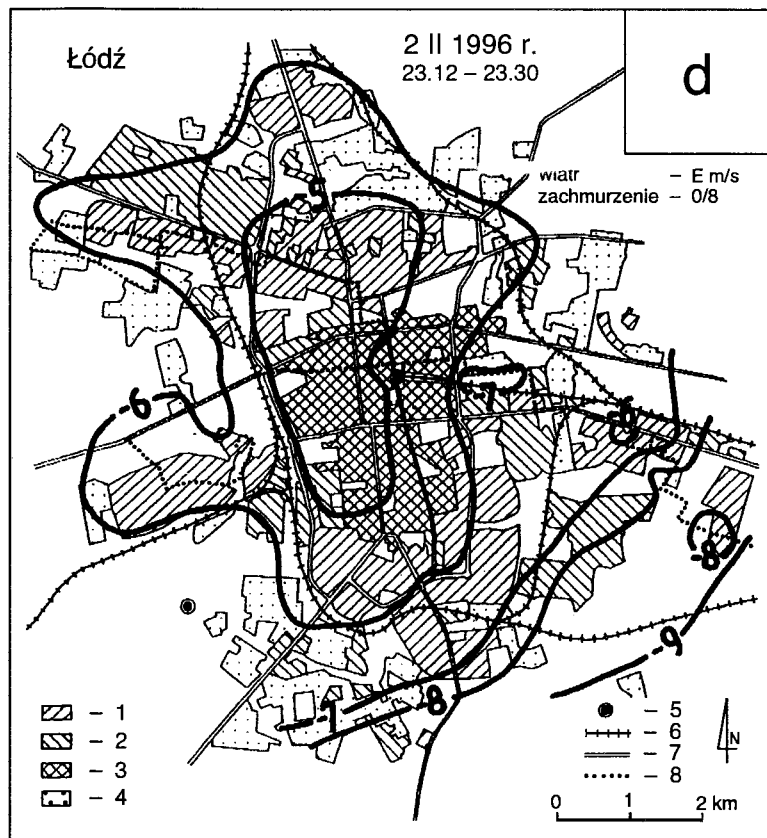
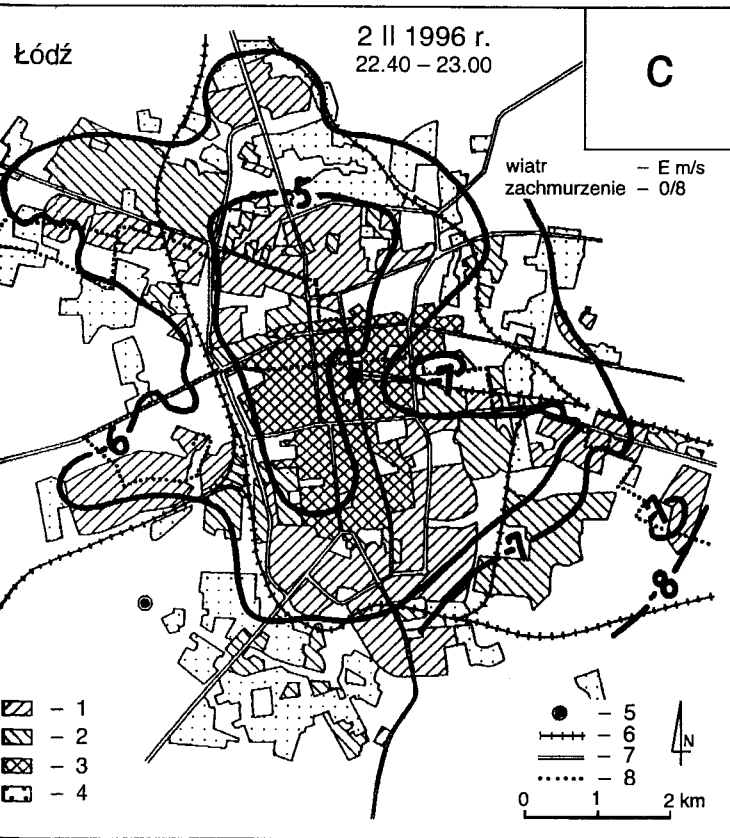
1. Adwekcja chłodnego, arktycznego powietrza, w którym za frontem chłodnym rozbudował się wyż baryczny.

2. Sprzyjające warunki radiacyjne i anemometryczne, typowe dla formowania się miejskiej wyspy ciepła, pogłębiające straty ciepła w terenie zamiejskim i warunkujące powstanie bardzo silnej przyziemnej inwersji radiacyjnej w warstwie granicznej. Ekstremalnie silna inwersja jest warunkiem istnienia intensywnej wyspy ciepła.



Rys. 2. Struktura przestrzenna miejskiej wyspy ciepła w Łodzi w nocy 2/3 lu

Fig. 2. Sequence of the spatial distribution of air temperature in the area



go 1996 r. (a-d – kolejne etapy rozwoju mwc). Oznaczenia jak na rys. 1
of Łódź on the night of 2/3 February 1996. Explanations as in Fig. 1

3. Intensywna emisja ciepła sztucznego w warunkach bardzo silnego mrozu – przy bezwietrznej pogodzie ciepło antropogenne powodować może znaczny efekt termiczny.

Trzeba podkreślić, że wyspy ciepła o takiej intensywności nie stwierdzono dotychczas nigdy, mimo iż badania klimatu miasta mają w Łodzi bardzo długą historię.

Znacznie częściej występującą formą wyspy ciepła jest postać uogólniona, istniejąca przy wietrze o prędkości 2–4 m/s. Jej natężenie jest zazwyczaj znacznie mniejsze (do 4°C), a kształt przestrzenny izoterm nawiązuje do ogólnego kształtu miasta. Centrum obszaru ciepła przesunięte jest zwykle zgodnie z kierunkiem wiatru, a dzielnice peryferyjne słabo wyróżniają się pod względem termicznym od swego otoczenia. Oczywiście, warunkiem istnienia uogólnionej wyspy ciepła w mieście – podobnie jak w poprzednim przypadku – jest małe zachmurzenie, ale nawet długotrwałe korzystne warunki radiacyjne nie są w stanie wytworzyć intensywnej wyspy ciepła, gdy prędkość wiatru za miastem przekracza 4 m/s.

Szczegółowy przykład zasięgu przestrzennego wyspy ciepła drugiego typu przedstawia rys. 2. Dzień 2 lutego 1996 r. był bardzo pogodny i bezwietrzny; przed zachodem Słońca dymy z wysokich kominów miejskich elektrowni unosiły się prosto ku górze do wysokości około 400 m – wieczorem niebo zaciągnęły jedynie cienkie chmury Cs. O godz. 18.40 temperatura powietrza za miastem spadła już poniżej -5°C, a w centrum miasta było prawie o 3°C cieplej. Na powierzchni ziemi płatami leżał śnieg, a stan pogody zapowiadał możliwość utworzenia się bardzo intensywnej nadwyżki ciepła miejskiego. Jednakże cztery godziny później (około godz. 23.00), mimo bezchmurnej pogody (pełnia Księżycy), natężenie wyspy ciepła nie wzrosło, temperatura powietrza obniżyła się zarówno za miastem, jak i w mieście o około 2–3°C. Główną przyczynę stanowiła wzrastająca prędkość wiatru, prowadząca nawet do zmniejszania się istniejących już różnic (rys. 2c). W tych warunkach wyspa ciepła ma więc małe natężenie i kształt ogólnie nawiązujący do kształtu miasta. Jednakże centrum cieplej komórki jest przesunięte nieco względem centrum miasta zgodnie z kierunkiem wiatru. W omawianym przypadku wschodni i północno-wschodni wiatr spowodował, że ognisko wyspy ciepła znajdowało się na zachód od centrum miasta. Jest charakterystyczne, że w tej sytuacji pogodowej dzielnice mieszkaniowe o dużej gęstości zaludnienia i wielkiej emisji ciepła sztucznego położone na peryferiach, nie miały charakterystycznej nadwyżki ciepła. Struktura zabudowy (oddzielnie stojące bloki mieszkalne) nie sprzyja tutaj stagnacji powietrza – przeciwnie – w przypadku wiatru rzędu 2–4 m/s turbulencyjne mieszanie jest tu szczególnie intensywne i przeciwdziała formowaniu się lokalnych ognisk wyspy ciepła.

UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione cechy przestrzennego zróżnicowania temperatury powietrza w okresie nocnym w warunkach łódzkich stanowią modelowe przykłady rozwoju dwóch typów miejskiej wyspy ciepła. Cechy ukształtowania powierzchni obszaru miasta, istnienie dużego obszaru o jednorodnej zabudowie w centralnej części miasta oraz specyficzny typ pogody sprzyjający kształtowaniu się silnej inwersji radiacyjnej – złożyły się na okoliczności, w których mogła uformować się miejska wyspa ciepła o ekstremalnie dużym natężeniu. Jej natężenie było o kilka stopni większe, aniżeli wynikałoby to z dotychczasowych badań w Łodzi, a także w innych miastach, w tym wielomilionowych, w umiarkowanych szerokościach geograficznych.

Praca została wykonana w ramach grantu Komitetu Badań Naukowych nr 6P04E 036 08.

LITERATURA

- Bornstein R., 1968, *Observation of the Urban Heat Island Effect in New York*, J. Appl. Meteor., No 7, s. 575–582
- Landsberg H. E., 1981, *The Urban Climate*, New York Academic Press, s. 285.
- Kłysik K., Tarajkowska M., 1977, *Niektóre cechy termicznej struktury przyziemnych warstw atmosfery nad miastem*, Przegl. Geofiz., z. 1, s. 43–48
- Kłysik K., 1985, *Wpływ struktury termiczno-wilgotnościowej przyziemnych warstw powietrza na klimat lokalny w wybranych warunkach terenowych*, Acta Geogr. Lodz., nr 49, s. 119
- Kłysik K., 1996, *Spatial and Seasonal Distribution of Anthropogenic Heat Emission in Łódź, Poland*, Atm. Environ., Vol. 30, No 20, s. 3397–3404
- Moreno-Garcia C. M., 1994, *Intensity and Form of the Urban Heat Island in Barcelona*, Int. J. Climat., Vol. 14, s. 705–710
- Oke T. R., East C., 1971, *The Urban Boundary Layer in Montreal*, Boundary Layer Meteor. I, s. 411–437
- Oke T. R., 1973, *City Size and Urban Heat Island*, Atm. Environ., Vol. 7, s. 769–779.
- Oke T. R., 1981, *Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations*, J. Climatol., Vol. I, s. 237–254
- Oke T. R., 1991, *Boundary Layer Climates*, 2nd Ed. Methuen, London–New York, s. 433
- Sundborg A., 1950, *Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area*, Tellus, Vol. 2(3), s. 221–231
- Terjung W. H., Louie S., 1973, *Solar Radiation and Urban Heat Islands*, Ann. Assoc. of Amer. Geogr., Vol. 6, s. 181–207
- Zych S., 1961, *Zagadnienia klimatu Łodzi*, Przegl. Techn., nr 9

3. Intensywna emisja ciepła sztucznego w warunkach bardzo silnego mrozu – przy bezwietrznej pogodzie ciepło antropogenne powodować może znaczny efekt termiczny.

Trzeba podkreślić, że wyspy ciepła o takiej intensywności nie stwierdzono dotychczas nigdy, mimo iż badania klimatu miasta mają w Łodzi bardzo długą historię.

Znacznie częściej występującą formą wyspy ciepła jest postać uogólniona, istniejąca przy wietrze o prędkości 2–4 m/s. Jej natężenie jest zazwyczaj znacznie mniejsze (do 4°C), a kształt przestrzenny izoterm nawiązuje do ogólnego kształtu miasta. Centrum obszaru ciepła przesunięte jest zwykle zgodnie z kierunkiem wiatru, a dzielnice peryferyjne słabo wyróżniają się pod względem termicznym od swego otoczenia. Oczywiście, warunkiem istnienia uogólnionej wyspy ciepła w mieście – podobnie jak w poprzednim przypadku – jest małe zachmurzenie, ale nawet długotrwałe korzystne warunki radiacyjne nie są w stanie wytworzyć intensywnej wyspy ciepła, gdy prędkość wiatru za miastem przekracza 4 m/s.

Szczegółowy przykład zasięgu przestrzennego wyspy ciepła drugiego typu przedstawia rys. 2. Dzień 2 lutego 1996 r. był bardzo pogodny i bezwietrzny; przed zachodem Słońca dymy z wysokich kominów miejskich elektrowni unosiły się prosto ku górze do wysokości około 400 m – wieczorem niebo zaciągnęły jedynie cienkie chmury Cs. O godz. 18.40 temperatura powietrza za miastem spadła już poniżej -5°C, a w centrum miasta było prawie o 3°C cieplej. Na powierzchni ziemi płatami leżał śnieg, a stan pogody zapowiadał możliwość utworzenia się bardzo intensywnej nadwyżki ciepła miejskiego. Jednakże cztery godziny później (około godz. 23.00), mimo bezchmurnej pogody (pełnia Księżycy), natężenie wyspy ciepła nie wzrosło, temperatura powietrza obniżyła się zarówno za miastem, jak i w mieście o około 2–3°C. Główną przyczynę stanowiła wzrastająca prędkość wiatru, prowadząca nawet do zmniejszania się istniejących już różnic (rys. 2c). W tych warunkach wyspa ciepła ma więc małe natężenie i kształt ogólnie nawiązujący do kształtu miasta. Jednakże centrum cieplej komórki jest przesunięte nieco względem centrum miasta zgodnie z kierunkiem wiatru. W omawianym przypadku wschodni i północno-wschodni wiatr spowodował, że ognisko wyspy ciepła znajdowało się na zachód od centrum miasta. Jest charakterystyczne, że w tej sytuacji pogodowej dzielnice mieszkaniowe o dużej gęstości zaludnienia i wielkiej emisji ciepła sztucznego położone na peryferiach, nie miały charakterystycznej nadwyżki ciepła. Struktura zabudowy (oddzielnie stojące bloki mieszkalne) nie sprzyja tutaj stagnacji powietrza – przeciwnie – w przypadku wiatru rzędu 2–4 m/s turbulencyjne mieszanie jest tu szczególnie intensywne i przeciwdziała formowaniu się lokalnych ognisk wyspy ciepła.

UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione cechy przestrzennego zróżnicowania temperatury powietrza w okresie nocnym w warunkach łódzkich stanowią modelowe przykłady rozwoju dwóch typów miejskiej wyspy ciepła. Cechy ukształtowania powierzchni obszaru miasta, istnienie dużego obszaru o jednorodnej zabudowie w centralnej części miasta oraz specyficzny typ pogody sprzyjający kształtowaniu się silnej inwersji radiacyjnej – złożyły się na okoliczności, w których mogła uformować się miejska wyspa ciepła o ekstremalnie dużym natężeniu. Jej natężenie było o kilka stopni większe, aniżeli wynikałoby to z dotychczasowych badań w Łodzi, a także w innych miastach, w tym wielomilionowych, w umiarkowanych szerokościach geograficznych.

Praca została wykonana w ramach grantu Komitetu Badań Naukowych nr 6P04E 036 08.

LITERATURA

- Bornstein R., 1968, *Observation of the Urban Heat Island Effect in New York*, J. Appl. Meteor., No 7, s. 575–582
- Landsberg H. E., 1981, *The Urban Climate*, New York Academic Press, s. 285.
- Kłysik K., Tarajkowska M., 1977, *Niektóre cechy termicznej struktury przyziemnych warstw atmosfery nad miastem*, Przegl. Geofiz., z. 1, s. 43–48
- Kłysik K., 1985, *Wpływ struktury termiczno-wilgotnościowej przyziemnych warstw powietrza na klimat lokalny w wybranych warunkach terenowych*, Acta Geogr. Lodz., nr 49, s. 119
- Kłysik K., 1996, *Spatial and Seasonal Distribution of Anthropogenic Heat Emission in Łódź, Poland*, Atm. Environ., Vol. 30, No 20, s. 3397–3404
- Moreno-Garcia C. M., 1994, *Intensity and Form of the Urban Heat Island in Barcelona*, Int. J. Climat., Vol. 14, s. 705–710
- Oke T. R., East C., 1971, *The Urban Boundary Layer in Montreal*, Boundary Layer Meteor. I, s. 411–437
- Oke T. R., 1973, *City Size and Urban Heat Island*, Atm. Environ., Vol. 7, s. 769–779.
- Oke T. R., 1981, *Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations*, J. Climatol., Vol. I, s. 237–254
- Oke T. R., 1991, *Boundary Layer Climates*, 2nd Ed. Methuen, London–New York, s. 43
- Sundborg A., 1950, *Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area*, Tellus, Vol. 2(3), s. 221–231
- Terjung W. H., Louie S., 1973, *Solar Radiation and Urban Heat Islands*, Ann. Assoc. of Amer. Geogr., Vol. 6, s. 181–207
- Zych S., 1961, *Zagadnienia klimatu Łodzi*, Przegl. Techn., nr 9

SUMMARY

The researches concerning urban heat island in Łódź have been conducted with use of HMP-35 sensors made by Vaisala, which were placed on 5 different cars. The measurements have been made only when the weather conditions have been considered to be appropriate for development of UHI. Two different types of UHI have been noticed – cellular and general. The cellular type is connected with cloudless and windless weather (wind speed on the outskirts 1–2 m/s). Temperature's differences are the most significant and UHI can be observed individually over each district. Green areas (especially parks) have lower temperature than build-up area. The general type is connected with wind's speed about 2–4 m/s on the outskirts and can be observed as a one global heat island all over the city but with the centre a little displaced according to the wind's direction. When it's blowing faster than 4 m/s UHI at night almost vanish.