

**Dariusz GOŁASZEWSKI, Wiesława PRZEWOŹNICZUK,
Grzegorz MAJEWSKI**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Zakład Meteorologii i Klimatologii
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS
Division of Meteorology and Climatology

Intensywność warszawskiej miejskiej wyspy ciepła w sezonach grzewczych lat 2005/2006 i 2006/2007 w różnych warunkach pogodowych

The intensity of the urban heat island in Warsaw in the heating seasons 2005/2006 and 2006/2007 in different weather conditions

Słowa kluczowe: wyspa ciepła, klimat miasta, temperatura powietrza

Key words: urban heat island, urban climate, air temperature

Wprowadzenie

Jedną z przyczyn modyfikacji klimatu lokalnego jest działalność człowieka, prowadząca do zmiany naturalnych właściwości podłoża, czego konsekwencją jest zmiana właściwości fizykochemicznych atmosfery (radiacyjnych, termicznych, wilgotnościowych, cyrkulacyjnych). Fakt ten zauważono już w XIX wieku. Rozwój bioklimatologii w XX wieku sprawił, iż zaczęto mówić o konieczności zminimalizowania czynników negatywnie wpływających na bioklimat miast. Aby klimat miasta

stał się bardziej przyjazny człowiekowi, powinno się uwzględnić tego rodzaju zjawiska w planach zagospodarowania terenu. Jednak duże aglomeracje miejskie powstawały na przestrzeni kilku wieków, kiedy to powyższe aspekty nie były brane pod uwagę. Warszawa jest przykładem miasta, w którym występują różne typy zabudowy, charakteryzujące się odmiennymi cechami środowiska, w tym również klimatu lokalnego.

W literaturze spotyka się przykłady oszacowania zmian poszczególnych elementów klimatu na obszarze dużego miasta. Szorstkość terenu zabudowanego powoduje osłabienie średniej prędkości wiatru o 20–30%, wilgotność względna ulega obniżeniu około 6%, promieniowanie słoneczne jest mniejsze o 0–20%, suma roczna opadów większa o 5–15%,

a średnia roczna temperatura powietrza jest większa o 0,5–3,0°C (Szymanowski za Landsberg 1981).

W niniejszej pracy podjęto próbę oceny wpływu warunków meteorologicznych w sezonie grzewczym na intensywność miejskiej wyspy ciepła (MWC) w Warszawie.

Material i metody

Najpowszechniejszą miarą wyspy ciepła jest jej intensywność (natężenie), określane jako różnica temperatury powietrza pomiędzy miastem i obszarami zewnętrznymi – dT_{U-R} (Szymanowski 2005).

Podstawę obliczeń stanowiły dane meteorologiczne, zarejestrowane przez 6 automatycznych stacji monitoringu atmosfery. Pięć spośród rozpatrywanych stacji działa w ramach Systemu Oceny Jakości Powietrza w województwie mazowieckim, a wyniki pomiarów udostępniane są przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie w trybie on-line. Są to następujące stacje, zlokalizowane na obszarach o różnych typach zabudowy:

- MzLegionZegIMGW – stacja tła regionalnego (zlokalizowana w Legionowie przy ul. Zegrzyńskiej),
- MzWarszTarKondra – stacja tła miejskiego (zlokalizowana w Warszawie na Targówku przy ul. Kondratowicza),
- MzWarszNiepodKom – stacja komunikacyjna (zlokalizowana w Warszawie w Śródmieściu w Alejach Niepodległości),

- MzWarszKrucza – stacja tła miejskiego (zlokalizowana w Warszawie w Śródmieściu przy ul. Kruczej),
- MzPiastPułask – stacja tła miejskiego (zlokalizowana poza aglomeracją warszawską – w Piastowie, tak aby reprezentowała tło obszaru miasta o liczbie mieszkańców mniejszej od 50 tys.).

Szóstarozpatrywana stacja (MzWarszSGGW) należy do Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego i zlokalizowana jest na terenie kampusu akademickiego na Ursynowie, na obszarze zabudowanym. Stacja ta również jest włączona do mazowieckiej sieci monitoringu atmosfery.

W pracy oparto się również na wynikach opublikowanych w artykule Gołaszewskiego i in. (2007), który dotyczył okresu badawczego 1.09.2003 r. – 31.08.2006 r. i wykazał istnienie warszawskiej miejskiej wyspy ciepła przez cały rok, lecz o największej intensywności podczas letnich nocy. Za względu na skrajnie różne warunki pogodowe podczas następujących po sobie dwóch zim (tj. wyjątkowo ostrej zimy 2005/2006 i łagodnej 2006/2007) postanowiono rozszerzyć okres obliczeniowy o zimę 2006/2007 i zbadać, jak temperatura powietrza w okresie grzewczym wpływała na intensywność MWC w Warszawie. W tym celu obliczono:

- podstawowe charakterystyki klimatologiczne temperatury powietrza, tj. średnie dobowe, miesięczne, roczne i ekstremalne,
- liczbę dni charakterystycznych dla poszczególnych pór roku,
- porównano te charakterystyki ze średnimi wieloletnimi charakterysty-

kami klimatologicznymi dla Warszawy Ursynowa.

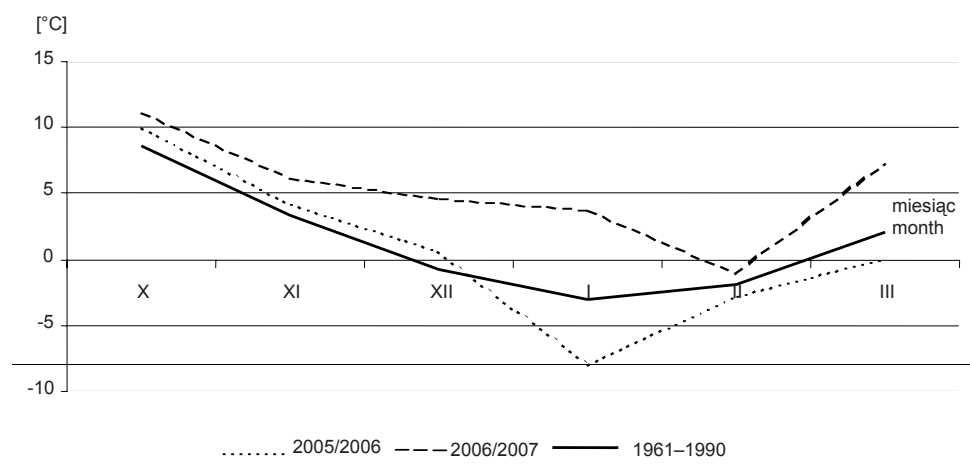
Na tej podstawie oceniono warunki pogodowe obu okresów grzewczych, a następnie obliczono średnie godzinowe różnice temperatury powietrza zmierzonej na wysokości 2 m n.p.g. między stacjami położonymi na terenie Warszawy a stacją tła miejskiego w Legionowie – dT_{U-R} [°C], które są uznane za miarę intensywności MWC, oraz przeanalizowano rozkłady częstości tych różnic w poszczególnych miesiącach sezonów grzewczych w cyklu dobowym.

Wyniki

Na rysunku 1 widać znaczące różnice w przebiegu średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza z okresów grzewczych lat 2005/2006 oraz 2006/2007 w porównaniu do średnich wieloletnich wartości temperatury

powietrza w poszczególnych miesiącach, obliczonych dla stacji Ursynów SGGW w wieloleciu 1961–1990. Sezon 2005/2006 był zimniejszy, natomiast sezon 2006/2007 znacznie cieplejszy od analogicznego uśrednionego w latach 1961–1990. Tak mroźny styczeń, jak w 2006 roku, pojawił się na przestrzeni trzydziestu lat 1961–1990 czterokrotnie, natomiast marzec 2007 roku, ze średnią miesięczną temperaturą powietrza powyżej 7°C, nie miał precedensu. Styczeń o średniej miesięcznej temperaturze powietrza powyżej 3°C wystąpił dwukrotnie: w 2007 i 1983 roku. W ciągu ostatnich 2 lat mieliśmy więc rekordowo zimny i rekordowo ciepły sezon grzewczy.

W tabeli 1 zestawiono charakterystyki klimatologiczne temperatury powietrza obliczone na podstawie pomiarów na wszystkich rozpatrywanych stacjach dla obu sezonów grzewczych. Ze względu na braki w danych pomiarowych na stacjach MzWarszKrucza i MzWarsz-



RYSUNEK 1. Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w sezonach grzewczych w latach 2005/2006, 2006/2007 oraz 1961–1990 na stacji MzWarszSGGW

FIGURE 1. Courses of mean monthly air temperature values in heating seasons 2005/2006, 2006/2007 and period 1961–1990 for MzWarszSGGW station

TABELA 1. Charakterystyki klimatologiczne sezonów grzewczych 2005/2006 oraz 2006/2007 obliczone na podstawie danych z automatycznych stacji monitoringu atmosfery

TABLE 1. Climatological characteristics of heating seasons 2005/2006 and 2006/2007 calculated for the data from automatic atmosphere monitoring stations

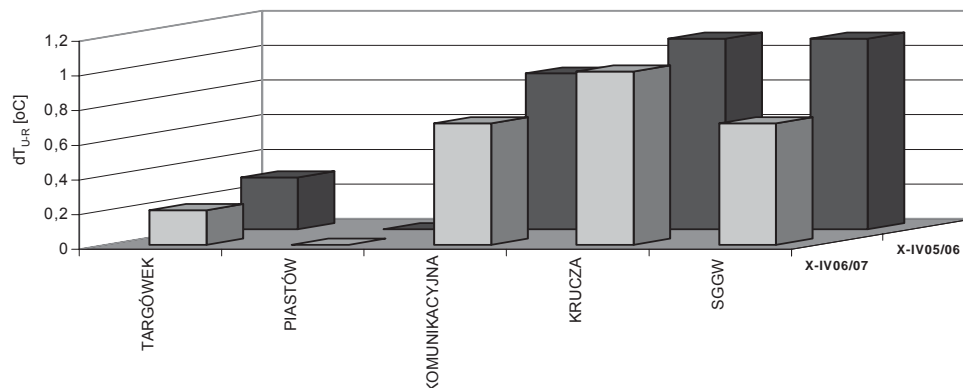
Stacja Station	Temperatura Temperature [°C]			Liczba dni z temperaturą Number of days with temperature			
	t_{sr}	t_{max}	t_{min}	$t_{\text{min}} < 0^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{max}} > 15^{\circ}\text{C}$
MzLegionZegIMGW 2005/2006	1,1	21,5	-25,9	110	55	5	22
MzLegionZegIMGW 2006/2007	5,5	24,6	-15,9	48	14	–	29
MzPiastPułask 2005/2006	1,1	21,5	-26,6	110	60	5	21
MzPiastPułask 2006/2007	5,5	25,0	-14,8	50	12	–	30
MzWarszNiepodlKom 2005/2006	2,0	21,2	-22,6	97	55	3	22
MzWarszNiepodlKom 2006/2007	6,2	24,3	-14,2	35	12	–	29
MzWarszSGGW 2005/2006	2,1	22,0	-26,3	95	43	5	25
MzWarszSGGW 2006/2007	6,2	24,5	-15,5	38	11	–	36

TarKondra nie wzięto tych stacji pod uwagę przy porównywaniu charakterystyk klimatologicznych. Dane z tych stacji zostały wykorzystane jedynie do obliczania intensywności miejskiej wyspy ciepła.

Porównując charakterystyki klimatologiczne, można stwierdzić podobieństwo warunków termicznych w rejonach stacji zlokalizowanych na terenie miasta na obszarze o zwartej zabudowie. Wartości średnie temperatury powietrza na tych stacjach były w sezonie 2006/2007 identyczne, a w sezonie 2005/2006 nieznacznie się różniły i były mniej więcej o 1°C wyższe od średnich wartości temperatury powietrza na stacjach w Legionowie i Piastowie. Analizując temperaturę ekstremalną, należy zwrócić uwagę na pewne uprzywilejowanie stacji MzWarszNiepodlKom. Zakres zmienno-

ści temperatury powietrza jest tu nieco mniejszy niż na innych stacjach, co może wynikać ze specyfiki położenia stacji pomiarowej. Jest ona zlokalizowana w kanyonie ulicznym, przy ruchliwej arterii komunikacyjnej. W takim miejscu zimą jest większa emisja ciepła ze sztucznych źródeł, a latem ograniczony dopływ promieniowania słonecznego, co może zimą spowodować podwyższenie temperatury minimalnej, a latem obniżenie temperatury maksymalnej. Na tej stacji i na stacji MzWarszSGGW, zlokalizowanej w terenie zabudowanym, jest mniejsza liczba dni przymrozkowych i mroźnych niż poza aglomeracją warszawską.

Na rysunku 2 przedstawiono uśrednione w badanym okresie różnice temperatury powietrza między poszczególnymi stacjami a stacją w Legionowie (dT_{U-R}). Widać wyraźnie, że MWC była na wszystkich



RYSUNEK 2. Średnie natężenie miejskiej wyspy ciepła (dT_{U-R}) w sezonach grzewczych 2005/2006 i 2006/2007

FIGURE 2. Mean intensity of urban heat island (dT_{U-R}) in heating seasons 2005/2006 and 2006/2007

stacjach bardziej intensywna w sezonie 2005/2006 – chłodniejszym od sezonu 2006/2007. Najcieplejsze, w stosunku do terenów zamiejskich, było śródmieście Warszawy i Ursynów. Średnia intensywność miejskiej wyspy ciepła mieściła się w granicach 0,8–1,2°C. Nieznacznie cieplejszy od terenów zamiejskich był Targówek (ok. 0,2°C), położony w odległości kilkunastu kilometrów od śródmieścia Warszawy. Nie wystąpił natomiast kontrast termiczny między stacją w Piastowie i w Legionowie.

Wyniki przeprowadzonej analizy częstości występowania godzinowych różnic temperatury powietrza między miastem a terenami pozamiejskimi w obu sezonach grzewczych przedstawiono w tabeli 2. Widać wyraźnie, że największe kontrasty termiczne występowały na stacjach w śródmieściu Warszawy, częściej w sezonie chłodniejszym (2005/2006) i przeważnie nocą. Na stacji MzWarszSGGW w sezonie 2005/2006 różnice o wartościach z przedziału 1,1–1,5°C stanowiły ponad 90% przypadków. Natomiast sytuacje ujemnych

kontrastów termicznych, czyli tzw. jeziora chłodu, występowały bardzo rzadko na stacjach śródmiejskich. Pojawiały się jedynie sporadycznie i występowały tylko w ciągu dnia – stanowiły średnio 5% przypadków. Występowały one głównie na stacji w Piastowie i znacznie rzadziej (ok. 20% przypadków) na stacji MzWarszTarKondra.

Ze szczegółowej analizy częstości występowania najmniejszych i największych kontrastów termicznych między miastem a terenami pozamiejskimi w poszczególnych miesiącach sezonu grzewczego wynika, że zjawisko odwrócenia wyspy ciepła, czyli powstania tzw. jeziora chłodu, na stacjach w Warszawie najczęściej występowało w marcu i kwietniu, w ciągu dnia, między godzinami 8 a 15. Szczególnie wyraźnie zaznacza się to na stacji MzWarszSGGW. Natomiast na stacji w Piastowie taka sytuacja występowała w obu rozpatrywanych sezonach we wszystkich miesiącach i porach doby i stanowiła 42% wszystkich przypadków, kontrasty zaś termiczne

TABELA 2. Rozkład częstości różnic temperatury powietrza między stacją w Warszawie a stacją w Legionowie w okresie 01.10.2003 r. – 31.03.2007 r.

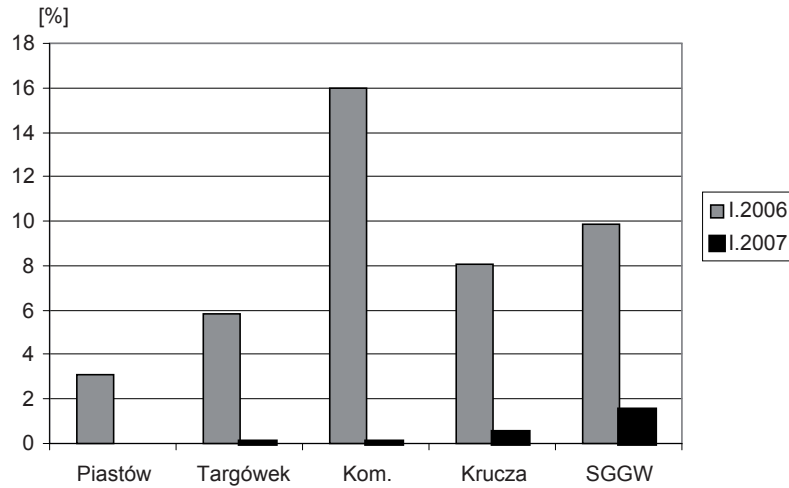
TABLE 2. Frequency distribution of differences of air temperature between station in Warsaw and the station in Legionowo in the period 01.10.2003 – 31.03.2007

Stacja Station	pora dnia time of the day	Zakres różnic / Range of differences				
		-0,4–0°C	0,1–0,5°C	0,6–1,0°C	1,1–1,5°C	>1,6 °C
2005/2006						
MzWarszKrucza	noc / night [%]			47	35	18
	dzień / day [%]			58	35	7
MzWarszNiepodlKom	noc / night [%]		18	35	35	12
	dzień / day [%]	5	26	52	16	1
MzWarszTarKondra	noc / night [%]	14	86			
	dzień / day [%]	18	71	11		
MzPiastPułask	noc / night [%]	62	34	4		
	dzień / day [%]	56	40	3		
MzWarszSGGW	noc / night [%]			2	93	5
	dzień / day [%]	7	18	30	45	
2006/2007						
MzWarszKrucza	noc / night [%]			50	37	13
	dzień / day [%]			85	13	2
MzWarszNiepodlKom	noc / night [%]		35	36	16	13
	dzień / day [%]	10	54	32	1	1
MzWarszTarKondra	noc / night [%]	21	79			
	dzień / day [%]	13	87			
MzPiastPułask	noc / night [%]	73	26	1		
	dzień / day [%]	53	43	3		
MzWarszSGGW	noc / night [%]	2	4	67	24	3
	dzień / day [%]	4	33	54	8	1

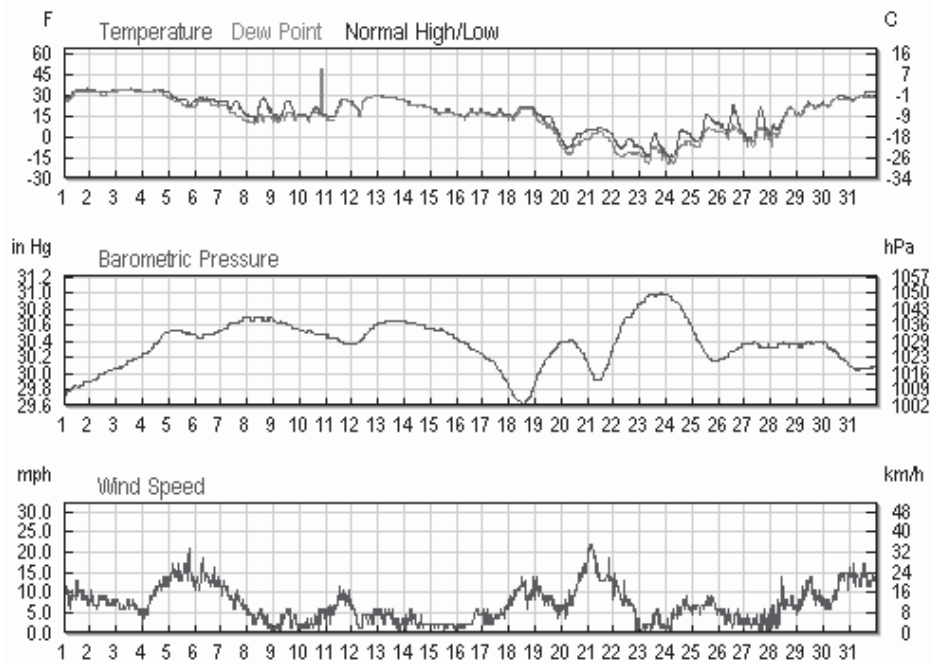
($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) stanowiły tu zaledwie 2,5%.

Najwięcej kontrastów termicznych ($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) zanotowano na stacji komunikacyjnej (MzWarszNiepodlKom), a więc w samym centrum miasta. Tu również najwięcej było przypadków $dT_{U-R} > 3^{\circ}\text{C}$. Różnica w liczbie największych kontrastów termicznych między sezonami 2005/2006 i 2006/2007 najwyraźniej zarysowała się w styczniu, co zostało przedstawione na rysunku 3. W pozostałych miesiącach różnice między

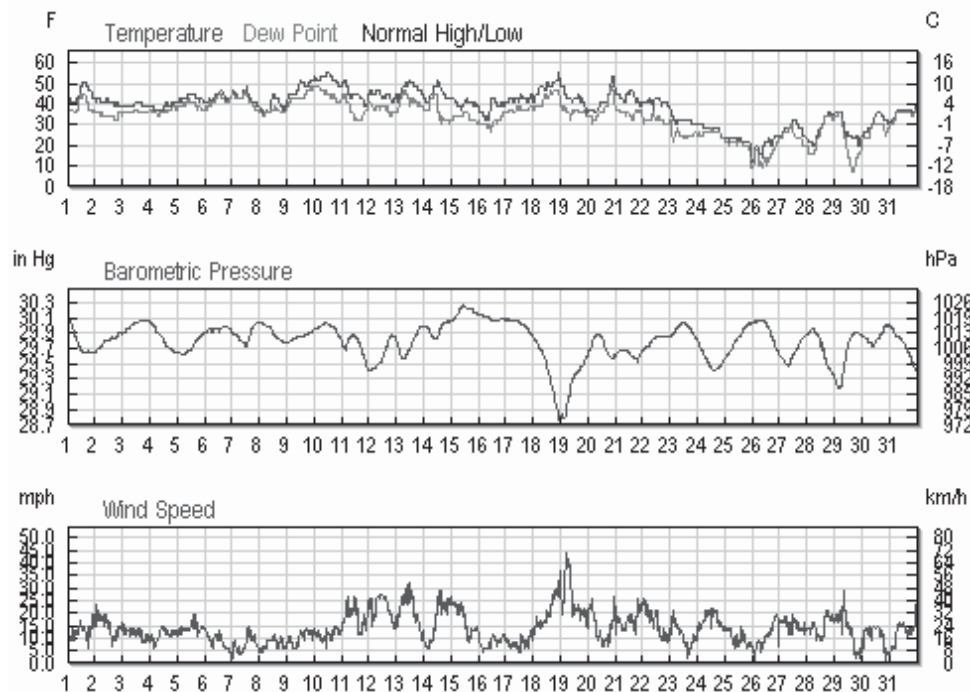
sezonami nie są aż tak duże. Wynika to niewątpliwie z odmienności warunków meteorologicznych, jakie panowały w styczniu 2006 i 2007 roku. Zimą na ogół warunki pogodowe sprzyjające powstawaniu miejskiej wyspy ciepła występują rzadziej niż w lecie. Częściej bowiem pojawiają się układy cyklonalne, przy których panuje lepsza wymiana ciepła między centrum miasta a jego peryferiami, przez co kontrasty termiczne zacierają się, jednak styczeń 2006 roku był miesiącem wyjątkowym. Widać to



RYSUNEK 3. Częstość kontrastów termicznych ($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) w styczniu w sezonach grzewczych
 FIGURE 3. The frequency of thermal contrasts ($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) in January in heating seasons



RYSUNEK 4. Dobowy przebieg temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego i prędkości wiatru w styczniu 2006 roku na stacji Warszawa Okęcie (<http://polish.wunderground.com/global/stations>)
 FIGURE 4. Daily courses of air temperature, atmospheric pressure and wind speed in January 2006 in Warszawa Okęcie station (<http://polish.wunderground.com/global/stations>)



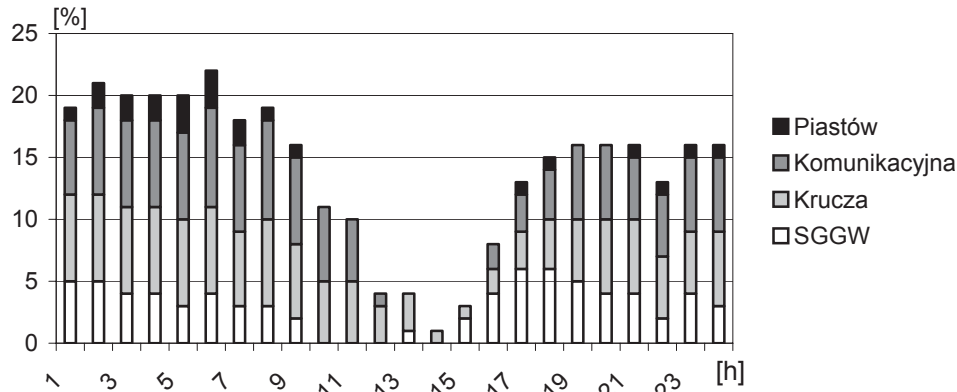
RYSUNEK 5. Dobowy przebieg temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego i prędkości wiatru w styczniu 2007 roku na stacji Warszawa Okęcie (<http://polish.wunderground.com/global/stations>)
 FIGURE 4. Daily courses of air temperature, atmospheric pressure and wind speed in January 2007 in Warszawa Okęcie station (<http://polish.wunderground.com/global/stations>)

zarówno na rysunku 1, jak i na rysunkach 4 i 5, przedstawiających dobowy przebieg ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza i prędkości wiatru w styczniu 2006 i 2007 roku, na stacji Warszawa Okęcie.

Na rysunku 4 widać między innymi, jak wysokie i stabilne było ciśnienie atmosferyczne w styczniu 2006 roku w porównaniu ze styczniem 2007 roku. Przez większą część stycznia 2006 roku na pogodę wpływał silnie rozbudowany układ wysokiego ciśnienia. Temperatura powietrza w tym czasie była wyjątkowo niska: temperatura minimalna osiągnęła $-26,0^{\circ}\text{C}$, a średnia miesięczna wynosiła $-8,0^{\circ}\text{C}$, co niewątpliwie spowodowało

zwiększenie emisji ciepła sztucznego. Na duże kontrasty termiczne między miastem a obszarami pozamiejskimi miało również wpływ albedo powierzchni tych terenów oraz mniejsza niż w styczniu 2007 roku prędkość wiatru. Występowanie dużych kontrastów termicznych w nocy spowodowane było silnym wychładzaniem radiacyjnym terenów peryferyjnych.

Na rysunku 6 przedstawiono dobowy przebieg liczby kontrastów termicznych ($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) w styczniu 2006 roku. Na wszystkich stacjach taka różnica temperatury między miastem a terenem pozamiejskim występowała przez prawie całą dobę, ale najrzadziej pojawia-



RYSUNEK 6. Dobowy przebieg częstości występowania kontrastów termicznych ($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) na wybranych stacjach w styczniu 2006 roku

FIGURE 6. Daily courses of frequency of thermal contrast ($dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$) in selected stations in January 2006

ła się w ciągu dnia w godzinach 11–17. Na rysunku tym nie uwzględniono stacji MzWarszTarKondra, gdyż różnice $dT_{U-R} > 2^{\circ}\text{C}$ tu nie występowały, na stacji zaś w Piastowie (MzPiastPułask) pojawiały się sporadycznie. Obie te stacje sąsiadują bezpośrednio z terenami zielonymi, a budynki odległe są od nich o 50 m (MzWarszTarKondra) i 100m (MzPiastPułask).

Wnioski

1. Przedstawione wyniki potwierdziły znany z literatury fakt, że warunki pogodowe zimą mniej sprzyjają powstawaniu dużych kontrastów termicznych między śródmieściem a terenami peryferyjnymi niż wiosną.
2. Jednak wyjątkowo mroźna pogoda w okresie grzewczym 2005/2006, kształtująca się pod wpływem długo utrzymujących się układów wysokiego ciśnienia, sprzyjała tworzeniu się wyspy ciepła o dużej intensywności.

Literatura

- GOŁASZEWSKI D., MAJEWSKI G., PRZEWOŹNICZUK W. 2007: Oddziaływanie budownictwa kubaturowego i sztucznych źródeł ciepła na intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura* 6 (1): 23–32.
- KŁYSIK K. 1998: Struktura przestrzenna miejskiej wyspy ciepła w Łodzi. W: *Klimat i bioklimat miast. Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.* 3: 385–391.
- LEWIŃSKA J. 1991: *Klimat miasta – vademe-kum urbanisty*. IGPIK, Warszawa.
- LORENC H. 2004: *Klimat*. Rozdz. 3: *Klimat miasta (na przykładzie Warszawy)*. Wydaw. IMGW, Warszawa.
- SZYMANOWSKI M. 2005: *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu. Studia Geograficzne* 77. <http://polish.wunderground.com/history/station/12375/>

Summary

The intensity of the urban heat island in Warsaw in the heating seasons 2005/2006 and 2006/2007 in different weather conditions. In this paper a research

was carried out on urban heat island intensity during heating seasons 2005/2006 and 2006/2007 considerably different in terms of meteorological conditions. Data coming from automatic gauging stations published by WIOŚ were used for that purpose. A reference point for urban heat island intensity calculation was the data from regional background station in Legionowo. It was found that exceptionally cold weather in January 2006, shaped by the influence of long-lasting high pressure systems, caused the creation of a heat island of high intensity.

Authors' address:

Dariusz Gołaszewski, Wiesława Przewoźniczuk,
Grzegorz Majewski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: wieslawa_przewozniczuk@sggw.pl