

10.2478/bfpz-2013-0015

WYSTĘPOWANIE MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA W MIEŚCIE ŚREDNIEJ WIELKOŚCI NA PRZYKŁADZIE STARGARDU SZCZECIŃSKIEGO

KRZYSZTOF STANISŁAW SZYŁOBRYT, EWA BEDNORZ, LESZEK KOLENDOWICZ

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: Seasonal and diurnal occurrence of urban heat island (UHI) in Stargard Szczeciński, in the period from January 2011 to February 2012 was analysed in the study. The basis for the analysis was the measurements of air temperature taken at half hour intervals in three stations located in the industrial area, the city centre and a green area in the suburbs. The UHI was most intense in the night hours and in the warm seasons of the year. Furthermore the relationships between the spatial temperature differences and meteorological elements was investigated. Equations for the relationships between the intensity of UHI and cloudiness or wind speed prove that low cloudiness and low wind speed intensify the UHI, while the relationship between the UHI and the air temperature is not linear.

Keywords: Urban heat island, temperature, wind speed, cloudiness

WSTĘP

Na kształtowanie klimatu aglomeracji miejskiej wpływa zespół czynników antropogenicznych współzależnych od czynników naturalnych (Lewińska 2000). Najlepiej rozpoznane są procesy zachodzące w przygruntowej warstwie atmosfery, zwanej warstwą dachową (Oke 1978). Dochodzi w niej do wymiany energii pomiędzy atmosferą a zabudowaniami oraz kanionami ulicznymi. Procesy zachodzące w przyziemnej warstwie są dobrze zbadane. Spowodowane jest to rozwiniętą siecią pomiarów, dokonywanych zazwyczaj na wysokości do 2 m n.p.t. zarówno w stałych stacjach pomiarowych, jak i doraźnych, lokowanych w celu zbadania lokalnych warunków klimatycznych. Parametrami najpowszechniej wykorzystywanymi do opisywania klimatu miasta, w tym określenia rozmiaru miejskiej wyspy ciepła (MWC lub UHI – urban heat island), są temperatura i wilgotność.

Do badań klimatu miasta wykorzystuje się zazwyczaj dwie lub więcej stacji. Jedna z nich znajduje się na obszarze peryferyjnym miasta i do niej przyrównuje się pomiary ze stacji położonej w centrum miasta lub w miejscu, w którym można domniemywać różnic w wartościach parametrów meteorologicznych. Przez wiele

lat dominował pogląd, że MWC jest najbardziej intensywna w okresie zimowym, kiedy to emitowane jest ciepło pochodzące z gospodarstw domowych i zakładów energetyki cieplnej. Jednak w ciągu ostatnich lat, w wyniku odchodzenia od indywidualnych form ogrzewania mieszkań, obserwuje się, iż większe znaczenie dla intensywności MWC mają warunki klimatyczne oraz lokalne miasta.

Występowanie MWC ma charakter nieciągły, zależny od czynników naturalnych i antropogenicznych. Do najczęściej opisywanych czynników naturalnych należą: zachmurzenie nieba, prędkość i kierunek wiatru, rodzaj napływających mas powietrza oraz rodzaj cyrkulacji (Sochacka, Puławska 2008). Z czynników antropogenicznych zwykle wymienia się liczbę mieszkańców miasta oraz rodzaj i sposób rozmieszczenia budynków – największe różnice występują na obszarach o zwartej zabudowie z wąskimi ulicami (Klemm 1995). Oke (1995) jako podstawowe czynniki występowania specyficznego klimatu miasta wymienia:

- 1) geometrię ulic – kaniony uliczne, z którymi związane są szorstkość podłoża i stopień widoczności nieba,
- 2) zanieczyszczenie powietrza, które zwiększa promieniowanie zwrotne atmosfery oraz pochłanianie promieniowania krótkofalowego, co powoduje wzrost temperatury powierzchni ziemi,
- 3) pojemność cieplną budynków, która wpływa na magazynowanie energii w ciągu dnia i jej uwalnianie nocą,
- 4) mniejszą ewapotranspirację powodującą wzrost wypromieniowania energii cieplnej z gruntu,
- 5) antropogeniczny strumień ciepła pochodzący ze spalania paliw.

Czynnikami redukującymi wyspę ciepła są duże obszary przewietrzające, na przykład jeziora, parki, lasy (Wójcicka 1971). Miasto powoduje zmianę wszystkich elementów bilansu cieplnego. W wyniku większego zanieczyszczenia zdecydowanie bardziej intensywny jest strumień promieniowania zwrotnego atmosfery, co powoduje wolniejsze wychładzanie się śródmieścia w porównaniu z jego obrzeżami (Fortini 1985).

Wraz z urbanizacją i rozwojem miast rośnie intensywność MWC (Klemm 1995). W połowie ubiegłego stulecia Sapożnikowa (1953) podawała, że „różnica temperatury powietrza w mieście i okolicach wynosi przeciętnie ponad 0,5°”. Kratzer (1956), stosując klasyfikację ze względu na liczbę ludności, podaje, że w miastach poniżej 500 tys. mieszkańców średnie podwyższenie temperatury wynosi około 1°C. Na przestrzeni niespełna 60 lat wyspa ciepła w Kioto wzrosła o 1,5°C w porównaniu z danymi z drugiej dekady XX w. (Saite, Sekiguti 1978). W 1963 r. badania przeprowadzone w Poznaniu wykazały występowanie średnich różnic na poziomie 0,8°C (Szczurbacki 1967). Obecnie najsilniej rozwijające się ośrodki badań klimatu miasta w Polsce skupione są wokół uniwersytetów w: Warszawie, Łodzi, Krakowie i Wrocławiu.

Temat klimatu miasta, zwłaszcza charakterystyki MWC, w dużych miastach Polski doczekał się wielu opracowań. Jednak spośród monografii dotyczących

miast średniej wielkości w ostatnich latach pojawiła się jedynie praca Kielbasy (2008), w której opisano klimat lokalny Konina. Wcześniej scharakteryzowano klimat oraz bioklimat Ostrowca Świętokrzyskiego (Kłysik i in. 1984) i Przemyśla (Michna 1964). Pomiary, jakimi posłużono się w tych pracach, nie miały jednak charakteru ciągłego w całym okresie badań lub dotyczyły jedynie wąskiego przedziału czasu.

CEL BADAŃ

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka warunków termicznych Stargardu Szczecińskiego od stycznia 2011 do lutego 2012 r. Zbadano różnice temperatury pomiędzy stacją w centrum miasta a stacją w dolinie rzeki i w dzielnicy przemysłowej oraz wykazano ich przyczyny. Klimat miasta ukazano w ujęciu całego okresu badań, pór dnia, pór roku i miesięcy. Zaprezentowano także zależności występowania MWC od: zachmurzenia, prędkości wiatru, temperatury minimalnej i amplitudy temperatury.

Podjęto próbę zweryfikowania poglądu Chendlera (1965), iż „efekt termiczny mniejszych miast może być zaskakująco znaczny”. Stargard Szczeciński jako jedno ze średnich miast Polski (pomiędzy 50 a 100 tys. mieszk.) nie miał dotychczas opracowania klimatologicznego.

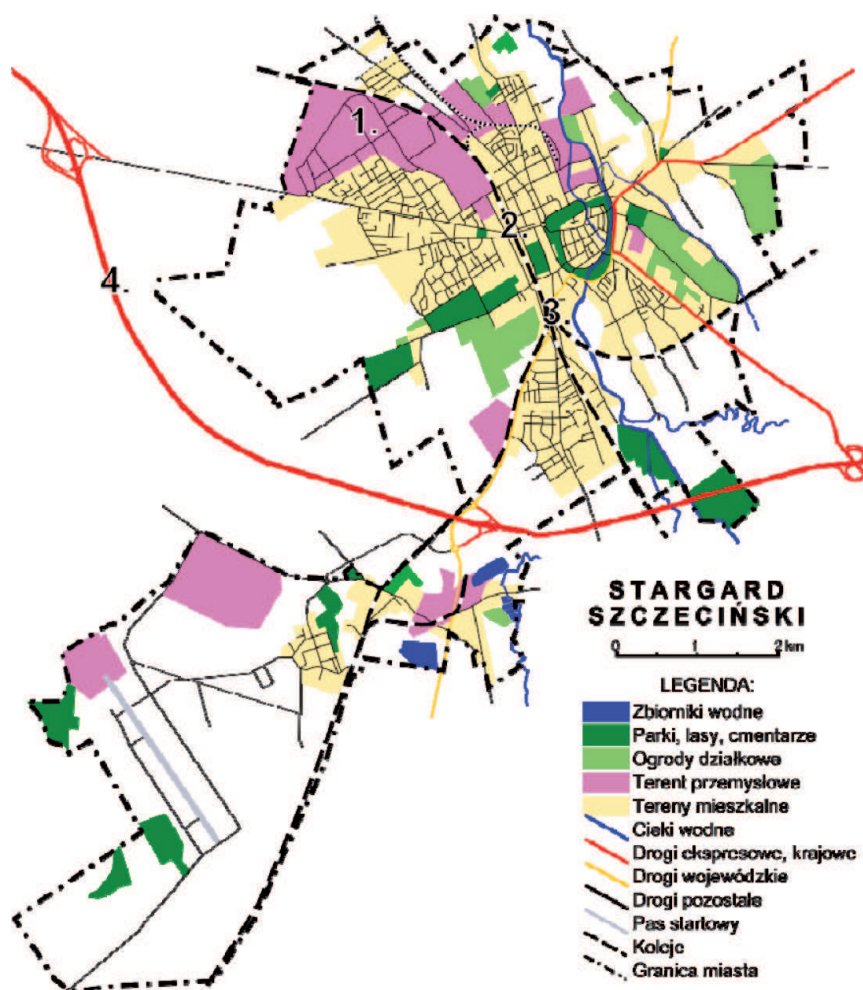
Samo miasto, według danych Głównego Urzędu Statystycznego (2011), w końcu roku 2010 liczyło 69 633 mieszkańców i zajmowało powierzchnię 48 m². Największy udział powierzchni zagospodarowanych miasta mają grunty zabudowane i zurbanizowane (46%). Grunty rolne stanowią około 33% powierzchni, 1,5% to grunty leśne i zadrzewione, 0,8% – wody płynące i stojące, 15% stanowią tereny różne (Plan rozwoju lokalnego gminy – miasta Stargardu Szczecińskiego, 2005).

LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH

Lokalizacja trzech punktów pomiarowych jest kompromisem pomiędzy potrzebami badania klimatologicznego a możliwościami umieszczenia stacji w dostatecznie chronionym miejscu, które gwarantowałoby bezpieczeństwo sprzętu pomiarowego. Reprezentują one odmienne typy zabudowy (ryc. 1, 2).

Stacja nr 1 – PEC

Stanowisko reprezentuje zabudowę przemysłową. Znajduje się w północno-zachodniej części miasta, na terenie Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej (PEC)



Ryc. 1. Plan Stargardu Szczecińskiego wraz z lokalizacją punktów pomiarowych
1 – PEC, 2 – Starco, 3 – Ujęcie, 4 – Obwodnica; Szyłobryt, na podstawie map topograficznych GUGiK (1999)

Fig. 1. Map of Stargard Szczeciński with measurement points
1 – PEC, 2 – Starco, 3 – Ujęcie, 4 – Obwodnica; Szyłobryt, at the base of topographic maps GUGiK (1999)

Spółka z o.o. w Stargardzkim Parku Przemysłowym, przy ul. Nasiennej 6. Punkt pomiarowy zlokalizowany był na wolnej przestrzeni porośniętej trawą, daleko od zabudowań (ryc. 1, 2).

Stacja nr 2 – Starco

Stargard Szczeciński ze względu na duże zniszczenia wojenne utracił historyczne Stare Miasto, które w większości miast uznawane jest za „serce miasta”. Za Lendzionem (2008) przyjęto, że centrum miasta opiera się na trójkącie opisanym na ulicach: Kardynała St. Wyszyńskiego, Marszałka J. Piłsudskiego, Hetmana St. Czarnieckiego oraz łączącym je pl. Wolności.



Ryc. 2. Położenie stacji: PEC (1), Starco (2), Ujęcie (3)

Źródło: 2011 MGGP Aero/Google Earth

Fig. 2. Location of the stations: PEC (1), Starco (2), Ujęcie (3)

Source: 2011 MGGP Aero/Google Earth

Ze względu na bezpieczeństwo stanowiska pomiarowego oraz odpowiednie warunki (m.in. maksymalnie odsłonięty horyzont, oddalenie od ścian budynków i zadrzewień) punkt znajdował się w odległości 60 m od ul. Kardynała St. Wyszyńskiego. Położony był na terenie Zakładu Mleczarskiego Starco Spółka z o.o. przy ul. Księcia Barnima I 5 (ryc. 1, 2). Otoczenie punktu cechuje zabudowa o średniej intensywności, z dużą koncentracją usług. W pobliżu krzyżują się ważne drogi publiczne oraz znajduje się stacja PKP Stargard Szczeciński.

Stacja nr 3 – Ujęcie

Punkt zlokalizowany był na terasie zalewowej rzeki Iny, na terenie ujęcia wody Stargard-Południe, przy ul. Warszawskiej 24, należącym do Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej Spółka z o.o. (ryc. 1, 2). Położony był z dala od zabudowań, 70 m od brzegu rzeki oraz 140 m od drogi publicznej.

Stacja nr 4 „Obwodnica”

Oprócz stacji pomiarowych założonych do celów niniejszego opracowania wykorzystano także dane dotyczące prędkości wiatru z drogowej stacji meteorologicznej Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, która jest zlokalizowana przy ekspresowej obwodnicy miasta (S-10), około 1500 m na południe od węzła Stargard Szczeciński-Zachód, w odległości około 15 m od skrajni drogi.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY OPRACOWANIA

Do pomiarów wykorzystano trzy stacje meteorologiczne HOBO Pro v2 firmy Onset zamontowane w białych plastikowych osłonach radiacyjnych. Umieszczono je na wysokości 2 m n.p.g. Czujniki dokonywały pomiarów temperatury powietrza i wilgotności względnej w interwale czasowym co 30 min. Wszystkie dane przedstawiono według czasu zimowego CET (UTC+1).

Jako uzupełnienie własnych pomiarów w pracy wykorzystano dane o prędkości wiatru pochodzące ze stacji meteorologicznej Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. Ze względu na awarię stacji pomiarowej brak jest charakterystyki warunków anemometrycznych od 29 stycznia do 11 lutego 2011 r. Do określenia wielkości zachmurzenia wykorzystano dane ze stacji hydrologiczno-meteorologicznej w Szczecinie-Dąbiu, oddalonej od centrum Stargardu Szczecińskiego o 28 km w linii prostej. Materiały do analizy otrzymano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

W opracowaniu wykorzystano 400-dniową serię pomiarową od 14 stycznia 2011 (od godz. 12:00) do 17 lutego 2012 r. (do godz. 16:30). Dane dla nocy i dni zaklasyfikowano dla poszczególnych miesięcy na podstawie godziny wschodu i zachodu słońca (tab.).

Dane ze stacji śródmiejskiej (Starco) porównywano ze stacjami położonymi na obrzeżach miasta – PEC i Ujęcie. Różnica temperatury pomiędzy PEC a Ujęcie zauważalna jest w sposób pośredni – jako różnica wartości dwóch porównywanych relacji (Starco–Ujęcie i Starco–PEC). W opracowaniu posłużono się podstawowymi statystykami: rozkładem liczebności, wskaźnikiem korelacji, analizą regresji oraz analizą graficzną.

WYNIKI

W badanym okresie średnia temperatura powietrza ze wszystkich trzech stacji wynosiła 8,8°C. W porównaniu do średniej z wielolecia 1981–2010 dla stacji IMGW w Szczecinie (odległej w linii prostej od centrum miasta o 28 km) temperatura powietrza w Stargardzie Szczecińskim była niższa o 0,3°C. Najwyższą

Tabela. Przedziały godzinowe pór dnia w kolejnych miesiącach (UTC+1)
Table. Hours of day and night in months (UTC+1)

Miesiąc <i>Month</i>	Dzień <i>Day</i>	Noc <i>Night</i>
I	8:30–16:00	16:30–8:00
II	7:30–17:00	17:30–7:00
III	6:30–18:00	18:30–6:00
IV	5:30–18:30	19:00–5:00
V	4:30–19:30	20:00–4:00
VI	4:00–20:00	20:30–3:30
VII	4:00–20:00	20:30–3:30
VIII	5:00–19:00	19:30–4:30
IX	6:00–18:00	18:30–5:30
X	6:30–17:00	17:30–6:00
XI	7:30–16:00	16:30–7:00
XII	8:30–15:30	16:00–8:00

wartość (32,8°C) zanotowano 6 czerwca 2011 r. na stacji Starco, najniższą natomiast 6 lutego 2012 na stacji Ujęcie (–25,6°C).

Przedstawione w literaturze badania nad wieloma miastami prowadzą do uogólnień. Według Oke (1978), maksymalne natężenie wyspy ciepła przyjmuje postać logarytmiczną:

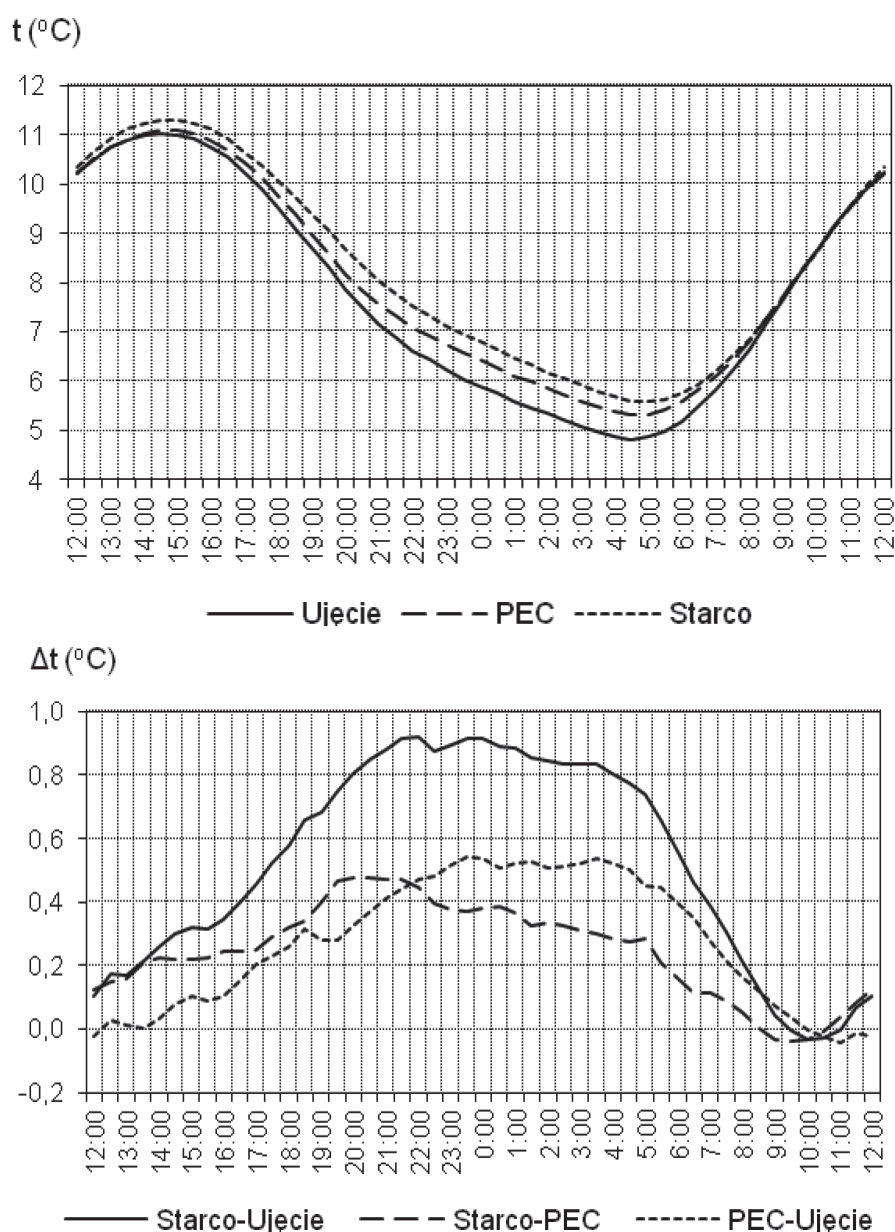
$$UHI_{\max} = a \cdot \log(P) - b.$$

Współczynniki a i b otrzymują różne wartości w zależności od kontynentu czy państwa; P oznacza liczbę mieszkańców, od której głównie zależy wielkość MWC. Według wzoru maksymalna intensywność wyspy ciepła w Stargardzie Szczecińskim powinna osiągnąć 5,68°C.

Średnia różnica temperatury w badanym okresie pomiędzy Starco a Ujęciem wynosiła 0,53°C, maksymalne odnotowane natężenie wyspy ciepła zaś 6,4°C.

Przebieg dobowy i sezonowy intensywności MWC

W Stargardzie Szczecińskim rozwój MWC rozpoczyna się średnio około godziny 16:00, kiedy następuje zahamowanie wzrostu temperatury i jej spadek (ryc. 3). Następnie obserwowany był stały przyrost średniej różnicy temperatur. Maksymalne natężenie wyspy ciepła notowane było po 4–7 godz. Najwcześniej,



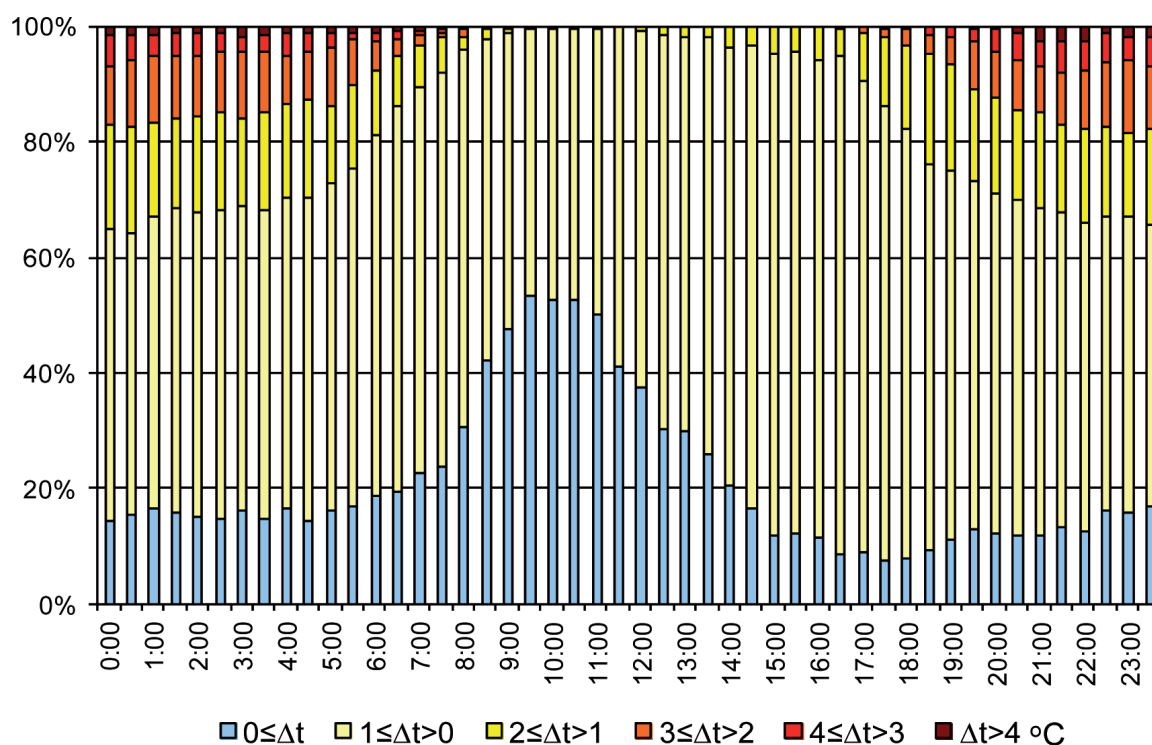
Ryc. 3. Średni dobowy przebieg temperatury powietrza t [$^{\circ}\text{C}$] w trzech stacjach i różnic temperatury powietrza Δt [$^{\circ}\text{C}$]

Fig. 3. Mean diurnal course of the air temperature t [$^{\circ}\text{C}$] in three stations and differences in temperature Δt [$^{\circ}\text{C}$]

ale jednocześnie najmniejszą różnicę, osiągała relacja temperatury pomiędzy Starco i PEC (maks. 0,48 $^{\circ}\text{C}$ w godzinach 20:00–21:00). Pomędzy Starco a Ujęcie najwyższe natężenie MWC osiągało było o 21:30–22:00 i wynosiło 0,92 $^{\circ}\text{C}$. Najpóźniej maksymalna różnica temperatury powietrza osiągnięta była pomiędzy PEC a Ujęcie (0,54 $^{\circ}\text{C}$ o 23:30). Wraz ze stabilizacją wychładzania powietrza normowała się także wyspa ciepła. Utrzymywała ona stałą wielkość aż do początku ogrzewania powietrza o poranku. Dalsze nagrzewanie powietrza powodowało zacieranie różnic temperatury pomiędzy stacjami aż do powstania

jeziora chłodu (ujemna wartość różnicy temperatur w centrum i na obrzeżach). Nie było ono intensywne i w zależności od stacji było notowane od godziny 9:00 do 12:00. Przebieg średniej temperatury powietrza od 9:00 do 13:00 był niemal identyczny dla wszystkich stacji (ryc. 3).

Częstość występowania MWC o różnej intensywności była ściśle uzależniona od pory dnia (ryc. 4). Dodatnie różnice temperatury najczęściej odnotowane były w godzinach nocnych i wieczornych (80%). Około godziny 10:00 w ponad 50% przypadków występowało jezioro chłodu, natomiast dodatnie różnice temperatury nie przekraczały 2°C. Nocą różnice poniżej 0°C pojawiały się z częstością 15%, a najczęściej występowała MWC o natężeniu 0–1°C (od 47% w godzinach porannych do 87% przypadków w godzinach popołudniowych). Natężenie miejskiej wyspy ciepła powyżej 3°C notowano zwykle o godzinie 21:30 (8% przypadków o tej godzinie). Najwięcej przypadków z różnicą temperatury powyżej 0°C obserwowano w późnych godzinach popołudniowych. Proces ten spowodowany był silną emisją zmagazynowanej energii cieplnej na terenach zamieszkanych. W centrum wypromieniowanie przebiega wolniej, ponieważ materiały budowlane odznaczają się znacznie większą pojemnością cieplną (Fortuniak 2003).



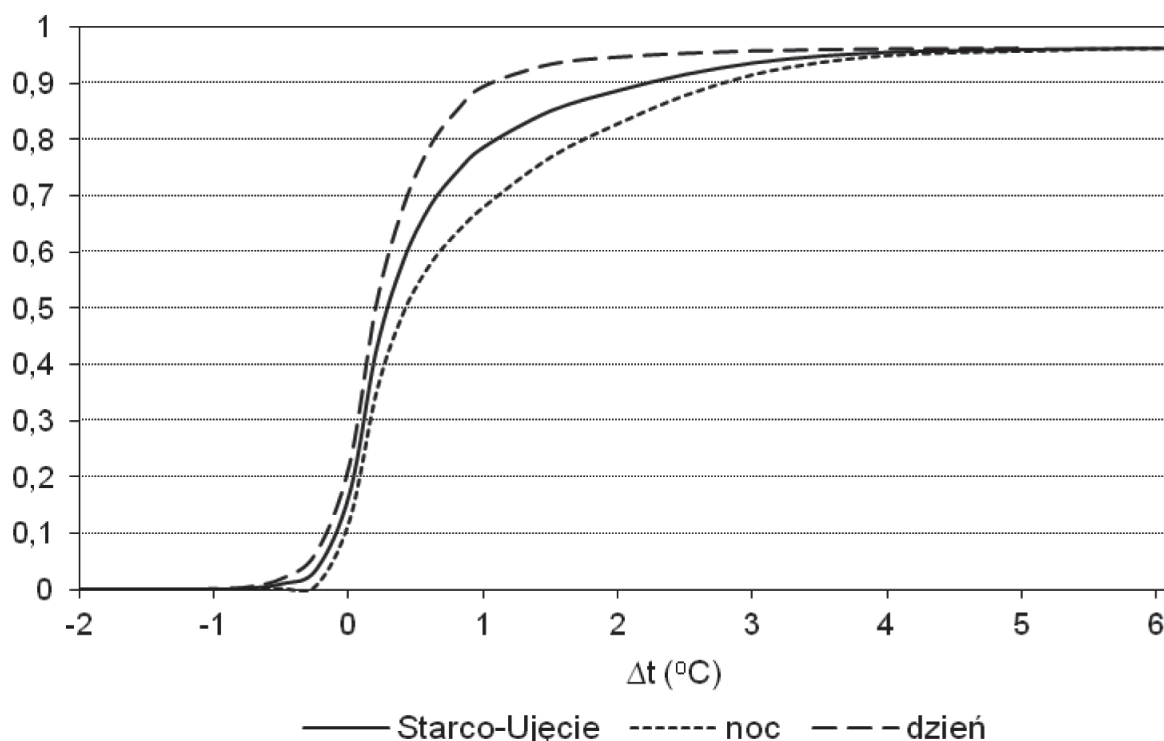
Ryc. 4. Częstość występowania MWC o określonej intensywności [°C] pomiędzy Starco a Ujęcie w poszczególnych przedziałach czasowych

Fig. 4. Frequency of occurrence of UHI with particular intensity [°C] between Starco and Ujęcie in time intervals

Prawdopodobieństwo wystąpienia różnicy temperatur powietrza (niezależnie czy dodatnich, czy ujemnych) było większe nocą niż w ciągu dnia (ryc. 5). Największe rozbieżności pomiędzy porami dnia występowało przy intensywności wyspy ciepła pomiędzy $0,2$ – $2,5^{\circ}\text{C}$. W skrajnych przypadkach prawdopodobieństwo wystąpienia MWC nocą było większe o ponad 20%. Przy różnicy poniżej 0°C i powyżej 4°C różnice między dniem i nocą zacierały się.

Przebieg temperatury powietrza w centrum Stargardu Szczecińskiego i na jego obrzeżach jest typowy dla klimatu miasta. Brak dokładnych danych godzinowych w opracowaniach średnich miast nie pozwala na ocenę charakteru przebiegu dla innych podobnej wielkości ośrodków miejskich. Średni maksymalny wymiar wyspy ciepła obserwowany był także w godzinach wieczornych, a jego wartości wynosiły $1,3^{\circ}\text{C}$ dla Wrocławia (Szymanowski 2004), $1,3^{\circ}\text{C}$ dla Łodzi (Fortuniak 2003), $1,5^{\circ}\text{C}$ dla Krakowa (Bokwa 2010).

Prace z lat 70. i 80. XX w. charakteryzowały sezonowy przebieg miejskiej wyspy ciepła jako zależny głównie od antropogenicznych źródeł energii (Koenig 1979). Przez to maksymalny wymiar wyspy obserwowany był w półroczu zimowym. Od lat 90. ubiegłego wieku zauważalne jest przesunięcie maksymalnego rocznego natężenia MWC na półrocze ciepłe, na przykład w Łodzi (Kłysik i in. 1995) oraz we Wrocławiu (Dubicki i in. 2002). W przypadku Warszawy panują dwa odmienne poglądy. Wawer (1995) zauważa, że średnio wyspa ciepła



Ryc. 5. Dystrybuanta empiryczna – prawdopodobieństwo wystąpienia MWC pomiędzy Starco a Ujęcie

Fig. 5. Empirical distribution – probability of occurrence of UHI between Starco and Ujęcie

największym nasileniem odznacza się latem. Późniejsze opracowanie natomiast dowodzi wyższej różnicy temperatury od grudnia do marca (Stopa-Boryczka i in. 2001). Zmianę tę wyraźnie widać w opracowaniu dla Krakowa (Bokwa 2010), dla lat 1971–2009. Gołaszewski i współpracownicy (2007) zauważają, iż warunki pogodowe mniej sprzyjają powstawaniu wyraźnych kontrastów termicznych pomiędzy centrum i peryferiami. Znacząco duże różnice występują jedynie w czasie silnych mrozów kształtowanych pod wpływem układów wysokiego ciśnienia.

Przebieg sezonowy jest powiązany z długością dnia i zachmurzeniem, a także zależną od nich ilością energii słonecznej dostarczonej do powierzchni ziemi. W sposób oczywisty predestynuje to do występowania wyższych różnic między wiosenną a letnią. W porze chłodnej największy wpływ na kształtowanie wyspy ciepła ma oddziaływanie człowieka, głównie emisja ciepła sztucznego, pochodzącego ze spalania paliw. Z tego samego powodu minimalna dodatnia różnica temperatury zimą występuje przez większość doby i cechuje się niskim zróżnicowaniem dobowym. Latem zaś przebieg wyspy jest bardziej urozmaicony.

Ponieważ wyspa ciepła jest zjawiskiem dynamicznym, powstającym przy splocie korzystnych warunków, to średnie różnice pomiędzy stacjami nie są zbyt wielkie. Średnio najniższe wartości MWC obserwowano w okresie zimowym, a przeciętna ich wartość wynosiła $0,27^{\circ}\text{C}$. Zimą 2011/2012 r. zarówno w relacji Starco–Ujęcie, jak i PEC–Ujęcie odnotowano najniższe średnie miesięczne wartości MWC. Wynosiły one odpowiednio $0,1^{\circ}\text{C}$ i $-0,01^{\circ}\text{C}$. W przypadku rozpatrywania różnic temperatury w podziale na półrocza wyższą średnią wartość osiąga w półroczu letnim – $0,66^{\circ}\text{C}$ (Starco–Ujęcie), w zimowym zaś $0,42^{\circ}\text{C}$ (Starco–Ujęcie). Najwyższe średnie wartości zanotowano we wrześniu – $0,92^{\circ}\text{C}$ (Starco–PEC) i $0,58^{\circ}\text{C}$ (PEC–Ujęcie). Analizując pory roku, najwyższe wartości odnotowywano wiosną ($0,69^{\circ}\text{C}$) (tab. 2).

W ciągu nocy (podział na dzień i noc na podstawie godzin wschodu i zachodu słońca zgodnie z tab. 1) największa średnia miesięczna intensywność MWC przypada na maj ($1,64^{\circ}\text{C}$). Jednak poziom powyżej 1°C MWC utrzymywała od kwietnia do września 2011 r. (z wyłączeniem lipca) oraz w lutym 2012. Najmniejsza intensywność przypadała na grudzień i wynosiła $0,12^{\circ}\text{C}$. Średnia wartość różnicy temperatury pomiędzy Starco a Ujęcie to $0,86^{\circ}\text{C}$.

W ciągu dnia średnia wyspa ciepła wynosiła $0,25^{\circ}\text{C}$ (Starco–Ujęcie). Najwyższe wartości różnic temperatury podczas dnia pomiędzy stacjami Starco i Ujęcie obserwowano w maju ($0,44^{\circ}\text{C}$). Rozpatrując pory roku, najwyższe wartości odnotowano latem, średnio $0,38^{\circ}\text{C}$, a najniższe zimą.

Maksymalną wartość różnic temperatury zanotowano w ciągu nocy pomiędzy stacjami Starco a Ujęcie w maju 2011 r. – $6,4^{\circ}\text{C}$. Podobnie jak w przypadku danych dla dnia także nocą najniższe wartości maksymalne notowano zimą. Najniższa maksymalna różnica osiągnięta została w styczniu 2011 r. i wynosiła $2,32^{\circ}\text{C}$. Jedynie w październiku 2011 r. maksymalny wymiar wyspy ciepła

Tabela 2. Średnie miesięczne różnice temperatury [°C] pomiędzy Starco–Ujęcie (St–Uj) i PEC–Ujęcie (PEC–Uj)

Table 2. Monthly mean temperature differences [°C] between Starco–Ujęcie (St–Uj) and PEC–Ujęcie (PEC–Uj)

Miesiąc/Month	Doba/Diurnal		Dzień/Day		Noc/Night	
	St–Uj	PEC–Uj	St–Uj	PEC–Uj	St–Uj	PEC–Uj
01.2011	0,18	0,07	0,08	0,07	0,22	0,07
02.2011	0,20	0,14	0,04	0,03	0,30	0,23
03.2011	0,55	0,28	0,17	0,09	0,93	0,47
04.2011	0,66	0,12	0,32	0,11	1,09	0,14
05.2011	0,86	0,50	0,44	0,18	1,64	1,10
06.2011	0,73	0,26	0,40	0,14	1,48	0,53
07.2011	0,50	0,18	0,36	0,11	0,80	0,34
08.2011	0,67	0,41	0,39	0,16	1,10	0,80
09.2011	0,92	0,70	0,38	0,25	1,50	1,19
10.2011	0,58	0,46	0,24	0,20	0,87	0,69
11.2011	0,55	0,47	0,21	0,15	0,75	0,67
12.2011	<i>0,10</i>	0,12	0,06	0,05	<i>0,12</i>	0,15
01.2012	0,13	<i>-0,01</i>	<i>0,02</i>	<i>-0,01</i>	0,19	<i>-0,01</i>
02.2012	0,74	0,17	0,39	0,06	1,01	0,24
Średnia/Mean	0,53	0,28	0,25	0,11	0,86	0,47

Wartości maksymalne wyróżniono pogrubioną czcionką, minimalne italikiem

pomiędzy Starco a Ujęcie w ciągu dnia był wyższy od występującego w nocy. Jednak notowane wówczas wysokie wartości różnicy temperatury pod koniec lub na początku dnia były wygasaniem lub początkową fazą formowania nocnej wyspy ciepła.

W ciągu dnia najwyższa obserwowana różnica temperatury została zanotowana pomiędzy Starco a Ujęcie w lutym 2012 r. i wynosiła 4,8°C. Najniższe spośród maksymalnych różnic odnotowywano zimą (Starco–Ujęcie – 0,87°C) (tab. 3).

Najniższą wartość minimalną w ciągu dnia – różnicę pomiędzy Starco a Ujęcie – odnotowano w kwietniu 2011 r., wynosiła ona –1,94°C. Znacznie większy wymiar jeziora chłodu występował w październiku i kwietniu pomiędzy PEC a Starco, odpowiednio –2,71°C i –2,5°C. Najniższa minimalna wartość w nocy pomiędzy Starco a Ujęcie odnotowana została we wrześniu, wynosiła 0,0°C. Oznacza to, że w miesiącu tym nie występowały ujemne różnice temperatury.

Niezależnie od rozpatrywanego parametru (średnia, maksimum czy minimum) największe różnice pomiędzy Starco a Ujęcie notowane były w półroczu letnim. Zimą różnice te zmniejszały się. Półrocze letnie cechowało się dużą zmiennością różnic temperatury powietrza. W związku z tym w miesiącach

Tabela 3. Miesięczne maksymalne i minimalne wartości różnic temperatury [°C] pomiędzy stacjami Starco–Ujęcie (St–Uj) i PEC–Ujęcie (PEC–Uj)

Table 3. Monthly maximum and minimum values of temperature differences [°C] between Starco–Ujęcie (St–Uj) i PEC–Ujęcie (PEC–Uj)

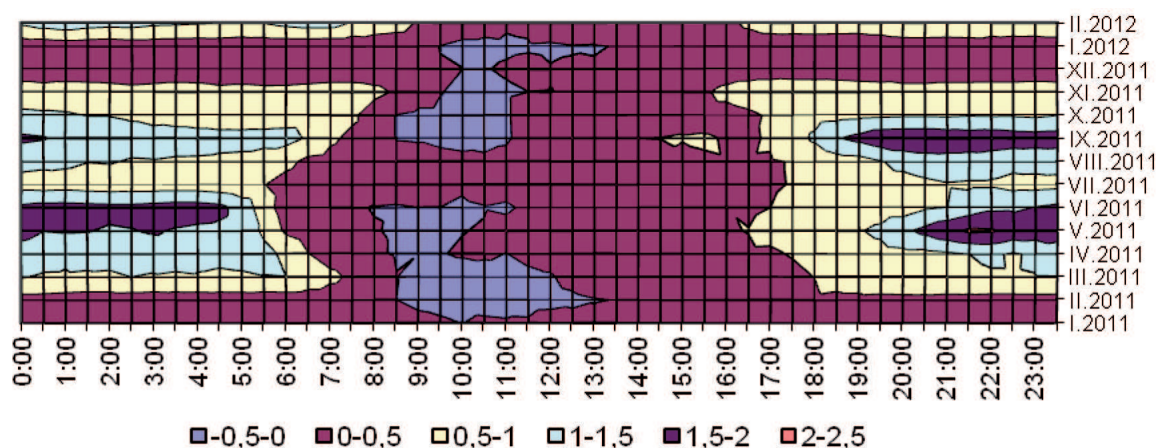
Miesiąc/ Month	Maksymalna/Maximum				Minimalna/Minimum			
	dzień/day		noc/night		dzień/day		noc/night	
	St–Uj	PE–Uj	St–Uj	PE–Uj	St–Uj	PE–Uj	St–Uj	PE–Uj
01.2011	1,47	1,72	2,32	2,22	–0,95	–0,97	–0,36	–1,09
02.2011	1,42	1,23	2,33	2,31	–0,81	–0,84	–0,31	–1,57
03.2011	2,86	2,74	3,76	4,20	–1,11	–2,11	–0,66	–2,74
04.2011	4,79	3,73	5,81	5,13	–1,94	–2,15	–0,36	–3,23
05.2011	4,56	5,82	6,44	6,34	–0,95	–1,63	–0,10	–2,01
06.2011	3,92	3,98	4,67	3,98	–1,74	–2,22	–0,12	–2,01
07.2011	2,92	3,22	4,38	3,90	–0,67	–1,42	–0,02	–1,29
08.2011	2,61	3,03	4,04	3,69	–0,62	–1,81	–0,24	–1,34
09.2011	3,67	3,69	4,67	4,54	–1,09	–1,08	0,00	–0,70
10.2011	4,58	4,25	4,54	4,82	–1,15	–1,50	–0,28	–1,63
11.2011	3,32	2,76	3,45	3,24	–0,59	–0,61	–0,27	–0,63
12.2011	1,02	0,92	2,51	3,70	–0,42	–0,62	–0,33	–0,34
01.2012	0,87	1,10	3,15	1,11	–0,79	–1,05	–0,35	–2,01
02.2012	4,80	2,53	5,93	4,54	–0,81	–2,04	–0,75	–3,77
Średnia/Mean	4,80	5,82	6,44	6,34	–1,94	–2,22	–0,75	–3,77

Wartości maksymalne wyróżniono pogrubioną czcionką, minimalne italikiem

letnich obserwowano zazwyczaj wartości najwyższe zarówno przy średnich, maksymalnych, jak i minimalnych miesięcznych. Zima zaś cechowała się mniejszą rozpiętością występujących różnic temperatur powietrza.

Ponieważ przebieg roczny MWC ma charakter nieprzewidywalny, w zależności od długości serii pomiarowej, warunków lokalnych i termicznych w następujących po sobie latach można uzyskać zupełnie odmienne rezultaty. Średnia różnica temperatury powietrza w najbardziej charakterystycznej relacji w lutym 2012 r. była o 0,54°C wyższa od notowanej rok wcześniej. W związku z tym porównywanie sezonowości pomiędzy miastami w różnych okresach dokonuje się poprzez zagregowanie pomiarów do czterech lub dwóch pór.

Na rycinie 6 przedstawiono średni roczny i dobowy przebieg różnicy temperatury w całym okresie badań pomiędzy Starco i Ujęcie. Zarówno w przebiegu dobowym, jak i rocznym przeważało występowanie MWC. Jedynie w godzinach przedpołudniowych od stycznia 2011 r. do czerwca i od września do stycznia 2012 notowano ujemne różnice temperatury. W lutym 2012 r. jezioro chłodu nie występowało ze względu na bardzo niskie temperatury powietrza. Nie pojawiło



Ryc. 6. Termoizoplety rocznego i dobowego przebiegu intensywności MWC [°C] od stycznia 2011 r. do lutego 2012 (Starco–Ujęcie)

Fig. 6. Thermoisoplets of annual and monthly course of UHI intensity [°C] from January 2011 to February 2012 (Starco–Ujęcie)

się również w lipcu i sierpniu. Najwyraźniejszą wyspę ciepła odnotowywano w maju, czerwcu i wrześniu. Średnie różnice temperatury w godzinach wieczornych i nocnych przekraczały $1,5^{\circ}\text{C}$, z wyjątkiem maja, kiedy w godzinach 21:30–22:00 przekraczały 2°C .

Rozpatrując występowanie MWC rozumianej jako różnica temperatury pomiędzy Starco a Ujęcie, dla pór roku, należy stwierdzić, że najrzadziej występowała ona zimą. W chłodnej porze roku podczas 35% pomiarów odnotowano pojawienie się jeziora chodu (od 0 do -1°C). W 59% przypadków wyspa ciepła nie była większa niż 1°C . Wiosną notowano największe różnice temperatury pomiędzy Starco a Ujęcie, pora ta charakteryzowała się największą zmiennością. MWC obserwowano w 81% przypadków, natomiast w blisko 4,5% wyspa ciepła miała wymiar większy niż 3°C . Lato charakteryzowało się najmniejszą zmiennością występowania różnicy temperatur. Było też porą, w której najczęściej występowała MWC. W 88% odnotowano pojawienie się dodatnich różnic temperatury (68% w przedziale $0-1^{\circ}\text{C}$, 12% zaś w przedziale $1-2^{\circ}\text{C}$). Ujemne różnice występowały jedynie w 12% wszystkich obserwacji. Jesień charakteryzowała się podobnym do lata odsetkiem występowania dodatnich różnic temperatury (87%), mniejszą częstością pojawiania się kontrastów termicznych z przedziałów $0-1^{\circ}\text{C}$ oraz większą w każdym z przedziałów od 1 do 5°C .

W relacji Starco–PEC w każdej porze roku wyspa ciepła odznaczała się mniejszym nasileniem. Zimą i wiosną dodatnia różnica temperatury była niższa o 5% w porównaniu do Starco–Ujęcie, latem kontrast osiągał 13%. Jesienią zanotowano największą różnicę w częstości występowania MWC (22%). Odmienne niż w relacji Starco–Ujęcie najwyższy odsetek dodatniej różnicy temperatury występował wiosną (76%). Wyspa ciepła o dużym nasileniu (powyżej 3°C) odnotowana została jedynie wiosną, w zaledwie 0,27%, to jest 12 przypadków.

Największe prawdopodobieństwo wystąpienia MWC zanotowano pomiędzy Starco a Ujęciem. Możliwość powstania dodatniej wyspy ciepła wynosiła 83%, o niskim natężeniu (1–2°C) – 21%, o dużym natężeniu (> 3°C) zaś 6%. Najmniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia dodatnich różnic temperatury obserwowano między PEC a Starco.

Wpływ warunków meteorologicznych na występowanie MWC

Na powstawanie i kształtowanie się MWC powietrza wpływ mają różne czynniki, takie jak: prędkość i kierunek wiatru, ewapotranspiracja, albedo, szorstkość podłoża, emisja ciepła sztucznego, zachmurzenie nieba czy pionowy gradient temperatury (Landsberg 1981). Zależności te wyrażane są najczęściej jako korelacje. W niniejszym opracowaniu przeanalizowano wpływ prędkości wiatru, zachmurzenia ogólnego nieba, średniej temperatury powietrza oraz amplitudy temperatury powietrza na intensywność MWC.

Prędkość wiatru

W wyniku badań przeprowadzonych w miastach europejskich, azjatyckich i północnoamerykańskich dowiedziono ścisłej zależności pomiędzy siłą wiatru a intensywnością MWC. Zmniejszenie prędkości wiatru w godzinach wieczornych i nocnych jest wynikiem obniżenia temperatury powierzchni ziemi, które powoduje wzrost stabilności atmosfery. Zmniejszona konwekcja wywołuje spadek prędkości wiatru w przyziemnej warstwie atmosfery i zmniejszenie się turbulencyjnego strumienia ciepła, co, wreszcie, prowadzi do ochłodzenia powierzchni (Fortuniak 2003). Wraz ze wzrostem prędkości wiatru maleje stabilność MWC, a powyżej wartości krytycznej, która ma postać logarytmiczną zależną od liczby mieszkańców (P), właściwie nie występuje. Oke (1978) sformułował wzór na wartość krytyczną redukującą wyspę ciepła, który daje zadowalające wyniki w miastach pomiędzy 50 a 800 tys. mieszkańców:

$$W_{pr} = 3,4 \log P - 11,6 \text{ [m/s]}.$$

W przypadku Stargardu Szczecińskiego prędkość wiatru, która ogranicza występowanie wyspy ciepła, obliczona na podstawie powyższej zależności, wynosi 4,87 m/s.

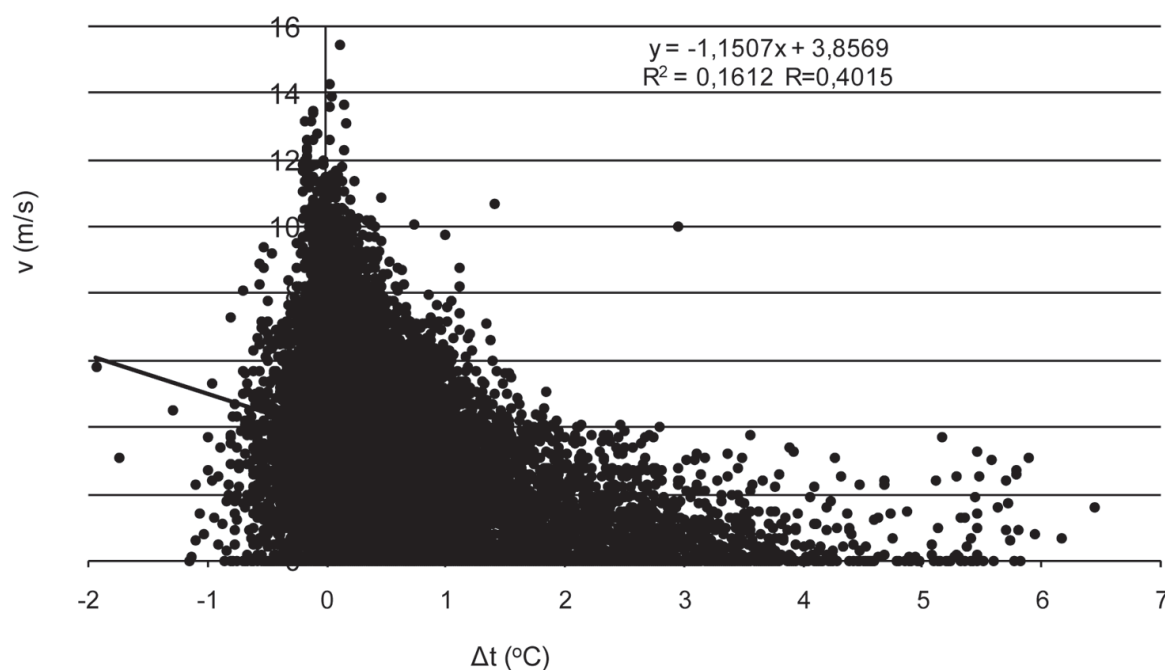
Największa zależność pomiędzy prędkością wiatru a różnicą temperatury była widoczna dla różnicy temperatury pomiędzy Starco a Ujęcie. Najczęściej przy silnym wietrze wyspa ciepła oscylowała w granicach zera lub obserwowano wystąpienie jeziora chłodu. Znaczące różnice temperatury notowane są jedynie do 4 m/s, a więc prędkość progowa dla Stargardu Szczecińskiego jest

nieznacznie niższa aniżeli wynikałoby to z zależności sformułowanej przez Oke. Spadek prędkości wiatru o każdy 1 m/s statystycznie powoduje wzrost prawdopodobnej wyspy ciepła o 1°C (ryc. 7, 8). Współczynnik korelacji (R) obliczony tylko dla godzin nocnych jest nieznacznie wyższy i wynosi 0,45.

Zachmurzenie ogólne nieba

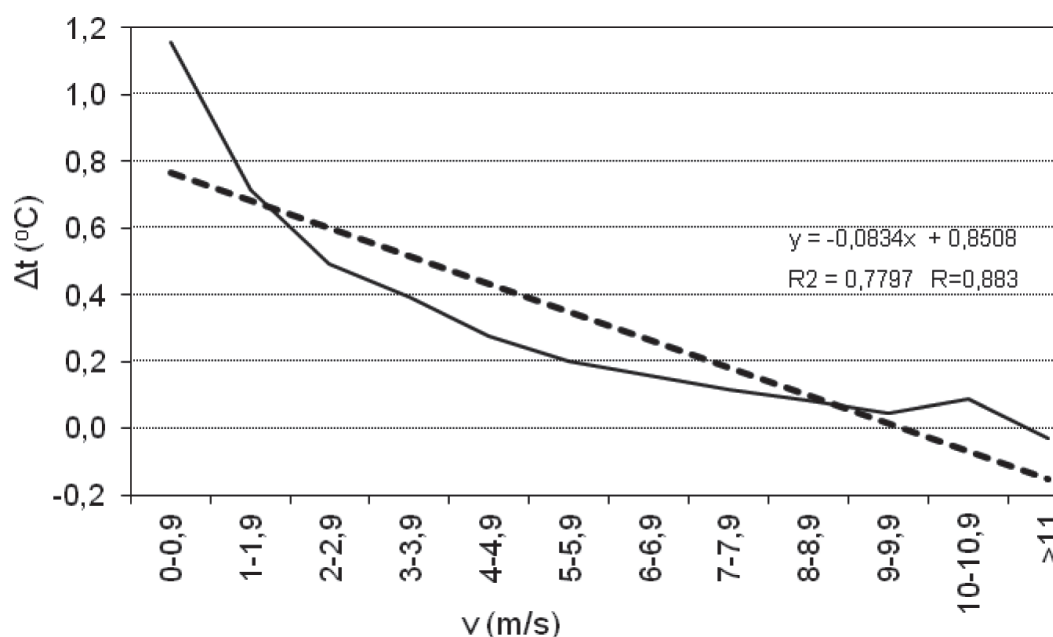
Historia badań zależności zachmurzenia i występowania różnic temperatury powietrza sięga połowy ubiegłego wieku. Wówczas w szwedzkiej Uppsali Sundborg przeprowadził pomiary zależności występowania MWC od zachmurzenia i prędkości wiatru. Te oraz późniejsze badania pozwoliły na sformułowanie ogólnego wniosku, że wraz ze zmniejszaniem zachmurzenia ogólnego nieba wzrasta możliwość wystąpienia wyspy ciepła (przy innych korzystnych czynnikach). Wyraźniejsza zależność zauważalna jest w porze cieplej ze względu na wpływ czynników radiacyjnych (Szymanowski 2004).

Ze wzrostem zachmurzenia nieba wrasta promieniowanie zwrotne atmosfery, co powoduje zmniejszenie pionowych gradientów temperatury, zwłaszcza na peryferiach miasta. O ile związek pomiędzy różnicami temperatury i wilgotności a prędkością wiatru jest wyraźny, to relacja z zachmurzeniem nieba nie jest silna. Brak zachmurzenia nie gwarantuje pojawienia się wyspy ciepła, jednak wzrost zachmurzenia prowadzi do zmniejszenia się prawdopodobnego wymiaru



Ryc. 7. Zależność pomiędzy intensywnością MWC (Starco–Ujęcie) a prędkością wiatru z linią i równaniem trendu

Fig. 7. Relationship between UHI intensity (Starco–Ujęcie) and wind speed with a trend line and quotation



Ryc. 8. Zależność pomiędzy intensywnością MWC (Starco–Ujęcie) a prędkością wiatru uśrednioną w klasach co 1 m/s

Fig. 8. Correlation between UHI intensity (Starco–Ujęcie) and the wind speed for mean values in intervals by 1 m/s

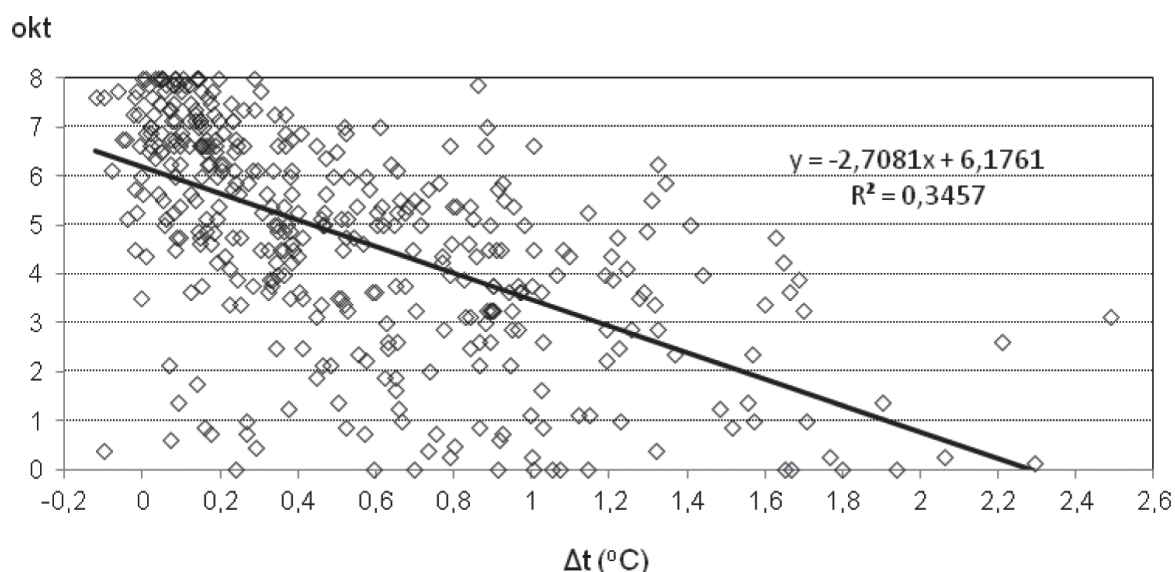
różnicy. Ważny jest także rodzaj chmur, gdyż każdy z rodzajów odmiennie wpływa na kształtowanie MWC. Najsilniej na jej zanik wpływają chmury warstwowe piętra niskiego, najslabiej zaś chmury wysokie (Fortuniak 2003).

Na rycinie 9 przedstawiono zależność pomiędzy średnią dobową intensywnością MWC a średnim dobowym zachmurzeniem ogólnym nieba w całym okresie badań. Duże różnice temperatury powietrza obserwowane były najczęściej przy braku zachmurzenia lub przy małym zachmurzeniu. Wraz ze wzrostem zachmurzenia szansa na intensywną MWC maleje.

Największa wartość MWC osiągnięta była nocą przy braku lub przy małym zachmurzeniu. Przy zachmurzeniu sięgającym maksymalnie 2 oktantów różnica temperatury powietrza nocą pomiędzy Starco a Ujęciem była wyższa od 1,4°C. Najniższe wartości osiągnięte były przy zachmurzeniu całkowitym i nie przekraczały 0,3°C.

Analiza poszczególnych parametrów może nie dawać zadowalających rezultatów, ponieważ nie występują one samodzielnie, w oderwaniu od pozostałych elementów meteorologicznych. Zestawienie przynajmniej dwóch podstawowych parametrów (prędkości wiatru i zachmurzenia ogólnego nieba) daje jeszcze silniejsze związki niż przy rozpatrywaniu każdego z osobna.

W ciągu całej doby najwyższy średni poziom MWC notowano przy wietrze nieprzekraczającym 0,9 m/s oraz zachmurzeniu do 2 oktantów (1,7°C). W przypadku uwzględnienia tylko zachmurzenia 0–2 oktanty wyspa ciepła wynosiła 1,0°C, a przy uwzględnieniu prędkości wiatru poniżej 1 m/s – 1,2°C. Różnica



Ryc. 9. Zależność średniej dobowej różnicy temperatury powietrza w relacji Starco–Ujęcie Δt [°C] od średniego dobowego zachmurzenia nieba [okt]

Fig. 9. Relationship between the mean daily temperature difference Starco–Ujęcie Δt [°C] and the mean daily total cloudiness [okt]

temperatury powyżej 1,0°C notowana była jeszcze tylko w dwóch przypadkach, kiedy występowało zachmurzenie umiarkowane i słaby wiatr, podczas zachmurzenia dużego i całkowitego oraz wiatru powyżej 6 m/s MWC właściwie nie występowała.

Znacznie większe wartości notowane były nocą. Przy małym zachmurzeniu i warunkach bezwietrznych wyspa ciepła wynosiła 2,0°C. Przy ciszy i umiarkowanym zachmurzeniu wartość MWC w nocy równa była 1,5°C.

W tabeli 4 pokazano wpływ prędkości wiatru na kształtowanie miejskich kontrastów termicznych. Wzrost siły wiatru o 1 m/s zmniejsza wyspę ciepła o 0,7°C, podczas gdy wzrost poziomu zachmurzenia o 3 oktanty powoduje spadek o 0,5°C.

Tabela 4. Intensywność MWC (Starco–Ujęcie) [°C] przy różnej prędkości wiatru [m/s] i zachmurzeniu [okt]

Table 4. UHI intensity (Starco–Ujęcie) [°C] at different wind speed [m/s] and cloudiness [okt]

		Zachmurzenie/Cloudiness [okt]					
		doba/diurnal			noc/night		
		0–2	3–5	6–8	0–2	3–5	6–8
v [m/s]	0,0–0,9	1,7	1,2	0,5	2,0	1,5	0,6
	1,0–2,9	1,0	0,6	0,3	1,3	1,1	0,4
	3,0–5,9	0,5	0,3	0,2	0,8	0,5	0,2
	≥ 6,0	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1

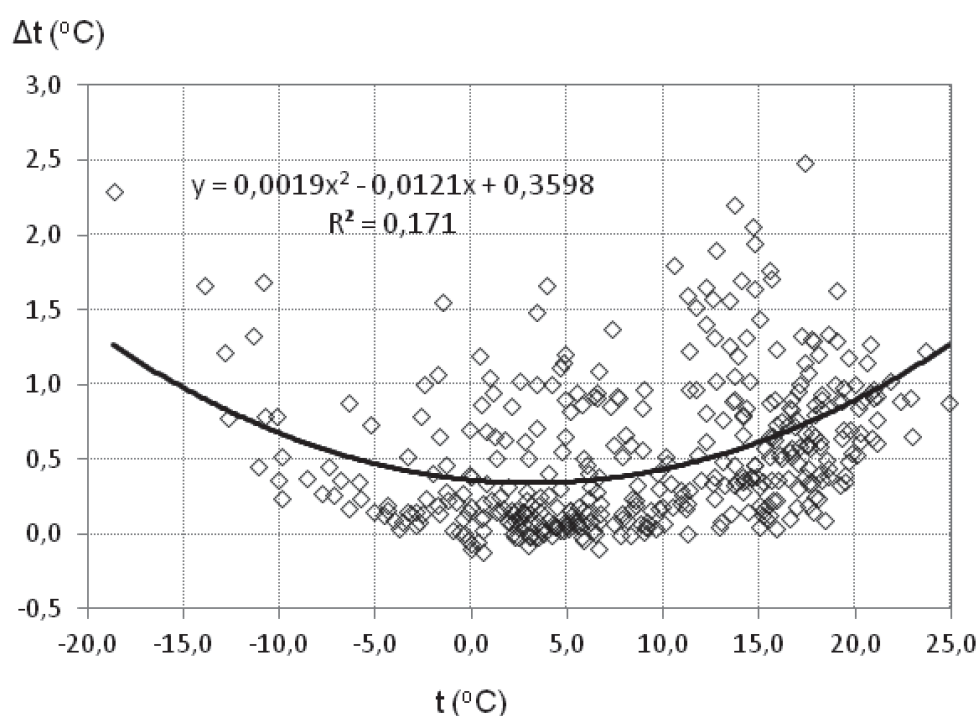
Średnia temperatura powietrza

Występowanie MWC zależy od temperatury powietrza. Na rycinie 10 przedstawiono związek pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza na stacji Ujęcie a średnią różnicą temperatury powietrza pomiędzy Starco i Ujęcie. Wyspa ciepła o znaczących rozmiarach występowała najczęściej przy skrajnych wartościach średniej dobowej temperatury powietrza, najrzadziej natomiast przy temperaturze oscylującej wokół 0°C. Zależność ta latem związana jest z czynnikami radiacyjnymi, nagrzewaniem powierzchni zabudowań i ulic. Zimą natomiast głównym czynnikiem jest wzmożone spalanie paliw w celu ogrzania domostw, co wiąże się z emisją ciepła sztucznego.

Amplituda temperatury powietrza

Zagadnienie zależności pomiędzy MWC a amplitudą temperatury było rzadko poruszane w literaturze. Jedynie Ludwiczak (2008) zbadał poziom regresji między amplitudą temperatury a MWC.

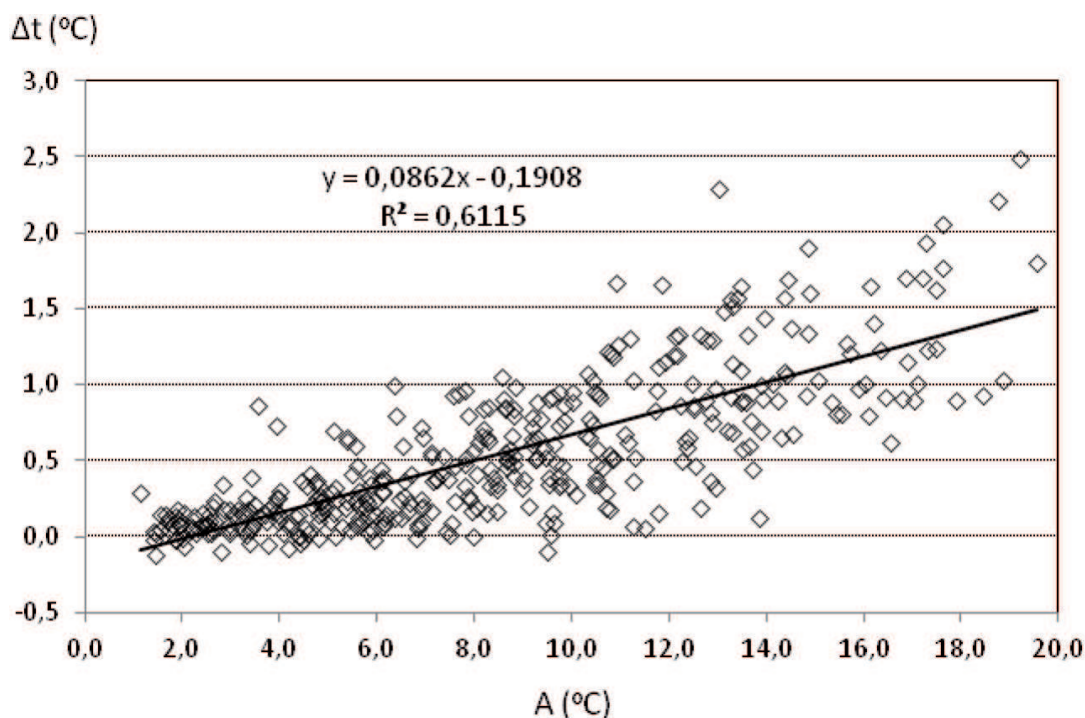
Podobnie jak w przypadku poprzednich charakterystyk, najsilniejsza zależność między średnią dobową różnicą temperatury a dobową amplitudą temperatury widoczna jest dla relacji Starco–Ujęcie. Pomiędzy Starco a Ujęcie wzrost



Ryc. 10. Zależność średniej dobowej różnicy temperatury powietrza w relacji Starco–Ujęcie Δt [$^{\circ}\text{C}$] od średniej dobowej temperatury powietrza na stacji Ujęcie t [$^{\circ}\text{C}$]

Fig. 10. Relationship between the mean daily temperature difference Starco–Ujęcie Δt [$^{\circ}\text{C}$] and mean daily air temperature at Ujęcie t [$^{\circ}\text{C}$]

amplitudy o 10°C powoduje wzrost różnicy temperatury o $0,86^{\circ}\text{C}$ (współczynnik korelacji $R = 0,78$, $\alpha = 0,001$) (ryc. 11).



Ryc. 11. Zależność intensywności MWC (Δt , Starco–Ujęcie) od dobowej amplitudy temperatury powietrza w stacji Ujęcie (A)

Fig. 11. Relationship between UHI intensity (Δt , Starco–Ujęcie) and daily range of temperature in Ujęcie (A)

PODSUMOWANIE

Niniejsze opracowanie obejmowało głównie analizę występowania różnic temperatury powietrza pomiędzy centrum miasta a jego obrzeżami w przekroju sezonowym oraz dobowym. Wykazano zależności kontrastów temperatury od wybranych czynników meteorologicznych. Ustalono, iż:

- 1) na terenie Stargardu Szczecińskiego występuje typowa, jak na miasto tej wielkości, wyspa ciepła; w badanym okresie średnia różnica temperatury pomiędzy centrum a obrzeżem miasta wynosiła $0,53^{\circ}\text{C}$,
- 2) kontrasty termiczne pomiędzy różnymi typami zabudowy i obrzeżami ujawniały się najwyraźniej w nocy, około trzech godziny po zachodzie słońca, kiedy – w wyniku różnego tempa wypromieniowania energii cieplnej – obszary zamieszkane stawały się znacznie chłodniejsze od miasta,
- 3) największe różnice temperatury miasta i obrzeży odnotowywano w półroczu ciepłym; nie zdarzyły się w czasie największych upałów, a przy umiarkowanej temperaturze powietrza; najbardziej intensywna MWC wynosiła

- 6,4°C, odnotowana była w maju przy sprzyjających warunkach meteorologicznych,
- 4) średnio najmniejsze różnice odnotowano w półroczu zimowym; były one jednak najbardziej stabilne; MWC przy sprzyjających warunkach meteorologicznych utrzymywała się przez całą dobę; było to prawdopodobnie związane z dodatkową emisją ciepła pochodzącego ze spalania paliw kopalnych w celu ogrzewania domostw,
 - 5) w półroczu zimowym większe znaczenie dla występowania i utrzymywania się różnic temperatury powietrza mają czynniki antropogeniczne, latem zaś czynniki meteorologiczne i ukształtowanie terenu,
 - 6) najważniejszym czynnikiem meteorologicznym kształtującym warunki klimatu lokalnego miasta są prędkość i kierunek wiatru; cisza lub słaby wiatr do 0,9 m/s pozwalały na wystąpienie wyspy ciepła wynoszącej średnio około 1,2°C; wraz ze wzrostem prędkości wiatru malała średnia różnica temperatury; przy prędkości wiatru powyżej 6 m/s wynosiła ona zaledwie 0,1°C,
 - 7) brak lub małe zachmurzenie (do 2 okt) w znaczący sposób zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia bardziej intensywnej wyspy ciepła; średnio dla całej doby różnica wynosiła 1,0°C,
 - 8) współistnienie obu czynników, czyli warunki bezchmurne i bezwietrzne, uprawdopodobniało pojawienie się znacznych kontrastów termicznych, średnia wyspa ciepła w takich warunkach wynosiła 2,0°C,
 - 9) MWC pojawia się najczęściej w czasie skrajnych wartości temperatury powietrza (zarówno dodatnich, jak i ujemnych); latem spowodowane jest to oddziaływaniem czynników radiacyjnych, zimą zaś większy jest wpływ ciepła sztucznego,
 - 10) ze wzrostem dobowej amplitudy temperatury powietrza wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia różnic temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza.

LITERATURA

- Bokwa A., 2010: *Wieloletnie zmiany struktury mezklimatu miasta na przykładzie Krakowa*. Uniw. Jagielloński, Kraków.
- Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M., 2002: *Klimat Wrocławia*. [W:] K. Smolnicki, M. Szykasiuk (red.), *Informator o stanie środowiska Wrocławia*. Informator 2002, Wrocław.
- Fortini J., 1985: *Wpływ rzeźby terenu i zabudowy mieszkaniowej na kształtowanie się warunków klimatu lokalnego*. Inst. Kształtowania Środowiska, Warszawa.
- Fortuniak K., 2003: *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1999: *Mapa topograficzna Polski*, arkusz N-33-91-C-c-3 Stargard Szczeciński, skala 1 : 10 000.
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 1999: *Mapa topograficzna Polski*, arkusz N-33-103-A-a-1 Stargard Szczeciński–Kłuczewo, skala 1 : 10 000.

- Gołaszewski D., Przewoźniczuk W., Majewski G., 2007: *Intensywność warszawskiej miejskiej wyspy ciepła w sezonach grzewczych lat 2005/2006 i 2006/2007 w różnych warunkach pogodowych*. Przegl. Nauk. Inż. i Kształtowanie Środowiska, 37, 74–83.
- Kielbasa B., 2008: *Klimat lokalny Konina w nawiązaniu do stosunków termiczno-wilgotnościowych w sezonie letnim 2005*. Bad. Fizjogr. nad Pol. Zach., Ser. A. Geogr. Fiz., 59, 89–103.
- Klemm K., 1995: *Fizyka miasta*. Kated. Fiz. Budowli i Materiałów Budowlanych, Łódź.
- Kłysik K., Kożuchowski K., Tarajkowska M., 1984: *Zasady klasyfikacji klimatu i oceny bioklimatu terenów miejskich*. Mat. I Ogólnopol. Konf. nt. „Klimat i bioklimat miast”, Łódź, 22–24 listopada 1984 r., Uniw. Łódzki, Łódź.
- Kłysik K., Zawadzka A., Gajda-Pijanowska I., 1995: *Wstępne wyniki rocznej działalności Miejskiej Stacji Meteorologicznej w Łodzi*. [W:] K. Kłysik (red.), *Klimat i bioklimat miast*. Wyd. Nauk. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- Koenig R., 1979: *Effects of industrial influences on local cloudiness and rainfall*. Water, Air and Soil Pollution, Vol. 12, No. 1.
- Kratzer P.A., 1937: *Das Stadtklima*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- Landsberg H., 1981: *The Urban Climate*. New York.
- Lendzion A., 2008: *Czy istnieje „miasto bez serca”? – Przykład Stargardu Szczecińskiego*. Czas. Techn., z. 2–A.
- Lewińska J., 2000: *Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie*. Inst. Gosp. Przem. i Komun., Kraków.
- Ludwiczak K., 2008: *Regresja elementów meteorologicznych w Warszawie względem jej okolic*. [W:] K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski (red.), *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii 1952–2007*. Uniw. Warszawski, Warszawa.
- Michna E., 1964: *Klimat Przemysła*. Roczniki Przemysła, t. 11, Przemysł.
- Oke T., 1978: *Boundary Layer Climates*. Routledge, New York–London.
- Oke T., 1995: *Boundary Layer Climates*. Methuen, London.
- Plan rozwoju lokalnego gminy – miasta Stargardu Szczecińskiego, 2005: Urząd Miasta Stargardu Szczecińskiego, Stargard Szczeciński.
- Sapożnikowa S., 1953: *Mikroklimat i klimat lokalny*. PWRiL, Warszawa.
- Sochacka U., Puławska U., 2008: *Warunki meteorologiczne sprzyjające powstawaniu śródmiejskiej wyspy ciepła w Warszawie w 1992 roku*. [W:] K. Błażejczyk, M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka, J. Wawer, W. Żakowski (red.), *Klimat Wielkiej Warszawy w pracach magisterskich Zakładu Klimatologii 1952–2007*. Uniw. Warszawski, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Wawer J., 2001: *Badania środowiska fizjograficznego aglomeracji warszawskiej*. Pr. Geogr., 180.
- Szczerbacki M., 1967: *Klimat miasta Poznania*. [W:] J. Jankowiak (red.), *Zagadnienia klimatu i warunków higienicznych na obszarze Poznania i strefy podmiejskiej*. PTPN, Poznań.
- Szymanowski M., 2004: *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*. Act. Univ. Wratisl., 2690, Stud. Geogr., 77, Wyd. Uniw. Wrocławskiego, Wrocław.
- Wawer J., 1995: *Wpływ warunków pogodowych na intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie i Łodzi*. [W:] K. Kłysik (red.), *Klimat i bioklimat miast*. Wyd. Nauk. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- Wójcicka I., 1971: *Uciążliwość klimatu miasta i możliwość jego poprawy za pomocą roślinności*. COIB IUia, Warszawa.