

◆◆◆◆ ORIGINALNE PRACE ◆◆◆◆ I PRZYCZYNKI

Ewelina KRAWCZYK, Krzysztof FORTUNIAK
UNIwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych

Szymon WILK
UNIwersytet Łódzki, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych

MIEJSKA WYSPA CIEPŁA W ŁODZI W LATACH 2015-2018 NA TLE WCZEŚNIEJSZYCH BADAŃ

URBAN HEAT ISLAND IN ŁÓDŹ IN 2015-2018
IN RELATION TO PREVIOUS STUDIES

Wstęp

Rozwój miast to proces, którego skutkiem jest znaczna modyfikacja środowiska przyrodniczego, w tym lokalnych warunków klimatycznych. Miasto wpływa praktycznie na wszystkie elementy meteorologiczne (Oke i in. 2017), a zasięg tego oddziaływania rozciąga się niejednokrotnie na obszar znacznie większy niż objęty bezpośrednimi procesami urbanizacyjnymi. Jedną z najbardziej ewidentnych cech klimatu miasta jest zjawisko miejskiej wyspy ciepła (MWC, ang. urban heat island – UHI). Określenie wywodzi się od rozkładu izoterm w obrębie miasta, który przypomina wyspę – obszary o wyższej temperaturze otoczone są terenami chłodniejszymi (Oke 1987; Oke i in. 2017). Po raz pierwszy efekt ten został opisany już na początku XIX wieku przez Howarda (1833) na podstawie pomiarów temperatury powietrza w Londynie. Kolejne badania, prowadzone w wielu ośrodkach miejskich, pozwoliły zdefiniować pewne uniwersalne cechy różnic temperatury powietrza pomiędzy centrum miasta a terenami zamieszkimi (Sundborg 1950; Bornstein 1968; Oke 1982; Arnfield 2003; Fortuniak 2019), dotyczące ich zmienności dobowej i sezonowej, zależności od prędkości wiatru i zachmurzenia czy wielkości miasta. Miejska wyspa ciepła rozwija się głównie w nocy – wówczas różnice temperatury powietrza są największe – a zanika po wschodzie Słońca, w dzień przeważnie nie występując (Unwin 1980; Adebayo 1987; Schmidlin 1989; Djen 1992; Jauregui 1997; Kaszewski, Siwek 1998; Magee i in. 1999; Montávez i in. 2000; Arnfield 2003; Fortuniak 2003; Szymanowski 2004; Bokwa 2010, 2019; Szyłobryt i in. 2013; Błażejczyk i in. 2014; Przybylak, Uscka-Kowalkowska 2019; Półrolniczak i in. 2019; Żmudzka 2019). W godzinach porannych miasto może być nieco chłodniejsze niż tereny zamieszkane, co bywa określane jako

jezioro chłodu (Unwin 1980; Tapper 1990; Steinecke 1999; Arnfield 2003; Szyłobryt i in. 2013). W biegu rocznym charakterystyczne są wyższe wartości MWC w okresie letnim niż zimowym (Schmidlin 1989; Kłysik, Fortuniak 1999; Philandras i in. 1999; Morris i in. 2001; Arnfield 2003; Nowak 2009; Szyłobryt i in. 2013; Bokwa 2019). Wzrost prędkości wiatru i zachmurzenia powoduje natomiast redukcję kontrastów termicznych (Ackerman 1985; Stopa-Boryczka i in. 1994; Kidder, Essenwanger 1995; Wawer 1995; Eliasson 1996; Magee i in. 1999; Morris i in. 2001; Szymanowski 2004). Zaobserwowano również logarytmiczną zależność między liczbą mieszkańców a maksymalną miejską wyspą ciepła (Oke 1973; Wienert, Kuttler 2005; Fortuniak 2019).

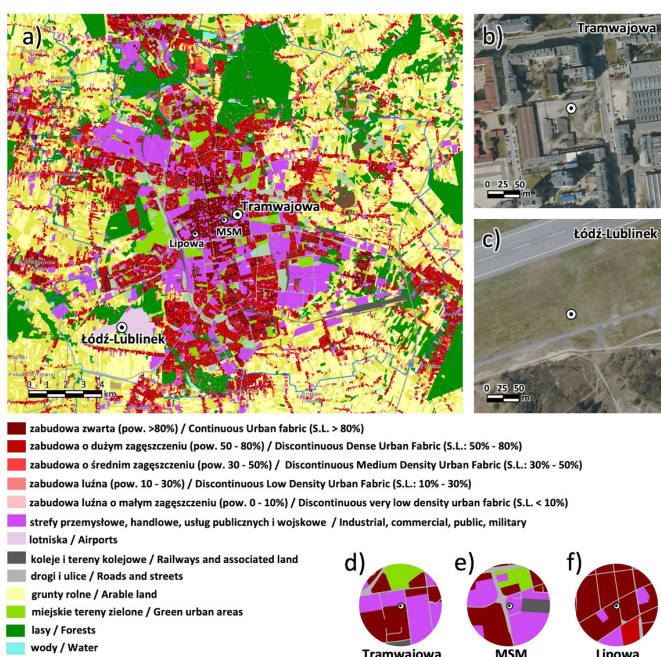
Miejska wyspa ciepła w Łodzi była przedmiotem licznych opracowań (Kłysik 1998; Kłysik, Fortuniak 1998, 1999; Fortuniak 2001, 2003; Fortuniak i in. 2006; Fortuniak, Kłysik 2008; Szczesniewska, Wibig 2008; Fortuniak i in. 2019), które pozwoliły na określenie charakterystyk klimatycznych tego zjawiska, jego dynamiki i zależności od elementów meteorologicznych. Opracowania te bazowały jednak głównie na danych pomiarowych sprzed ok. 15-20 lat lub starszych. W ostatnim czasie zaobserwować można było natomiast wiele zmian, zarówno w liczbie mieszkańców, jak i szeroko rozumianym metabolizmie czy morfologii miasta (Orbaniak 2007; Kaniewicz, Michalski 2012; Dankowska i in. 2019). Postępująca zmiana klimatu również mogła spowodować modyfikację klimatycznych uwarunkowań MWC. Dlatego celem niniejszego opracowania jest charakterystyka MWC w Łodzi w latach 2015-2018 i ocena w jakim stopniu wcześniejsze ustalenia dotyczące tego zjawiska pozostają aktualne.

Obszar badań i dane

Łódź położona jest w centralnej Polsce, na granicy Wysoczyzny Łaskiej, do której należy jej zachodnia część, oraz Wzniesień Łódzkich w części wschodniej. Powierzchnia administracyjna wynosi 293 km², z czego 46% stanowią tereny zabudowane. Miasto charakteryzuje się koncentryczną strukturą, zarówno pod względem intensywności zabudowy terenu, jak i wysokości budynków. Centralną część Łodzi stanowi obszar o zwartej zabudowie z licznymi zabytkowymi obiektami architektonicznymi, których historia sięga XIX wieku. Dzielnice te otoczone są przez nowsze, powojenne tereny przemysłowe, osiedla mieszkaniowe i tereny rekreacyjne. Pod względem liczby ludności Łódź jest trzecim co do wielkości miastem w Polsce – obecnie ma nieco ponad 664 tys. mieszkańców. Jednak wartość ta systematycznie maleje od 1988 roku, wówczas Łódź zamieszkiwało ponad 854 tys. ludzi (Orbaniak 2007; Urząd Statystyczny w Łodzi 2022). W tym samym czasie nastąpiły wyraźne przekształcenia urbanistyczne i funkcjonalne w centralnych dzielnicach miasta (Kaniewicz, Michalski 2012; Dankowska i in. 2019). Ich najbardziej charakterystycznym przejawem jest rewitalizacja XIX-wiecznych kompleksów przemysłowych, ze zmianą funkcji na mieszkaniową, biurową oraz handlowo-rekreacyjną. Łódzki przemysł również uległ znacznym przemianom. Przede wszystkim zmalało jego znaczenie w gospodarce miasta i strukturze zatrudnienia mieszkańców na rzecz sektora

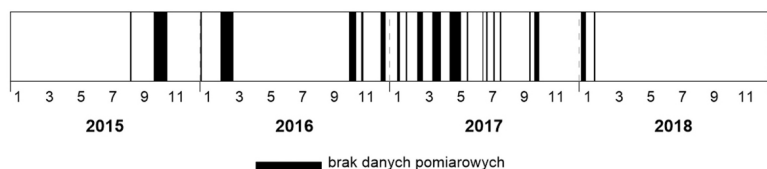
usług. Dużym zmianom uległa również struktura gałęziowa przemysłu – tradycyjnie kojarzony z Łodzią przemysł włókienniczy nie odgrywa już obecnie istotnej roli, wzrosło natomiast znaczenie przemysłu elektromaszynowego i elektronicznego.

W związku z przebudową dworca kolejowego Łódź-Fabryczna i rewitalizacją zażytkowej elektrociepłowni EC1 zlikwidowana została Miejska Stacja Meteorologiczna Katedry Meteorologii i Klimatologii UŁ (MSM), wykorzystywana we wcześniejszych badaniach jako reprezentatywna dla warunków miejskich (Fortuniak i in. 2019). Jej funkcje przejął punkt pomiarowy przy ulicy Tramwajowej (51°46'17"N, 19°28'33"E, 215 m n.p.m.) usytuowany ok. 800 m na wschód od stacji MSM, z którego dane wykorzystano w niniejszym opracowaniu (rys. 1a). Klatka meteorologiczna zlokalizowana jest na wybetonowanym parkingu z pojedynczymi drzewami, otoczonym przez jednokondygnacyjne



Rys. 1. Lokalizacja analizowanych punktów pomiarowych (Tramwajowa, Łódź-Lublinek) oraz punktów wykorzystywanych we wcześniejszych opracowaniach (MSM, Lipowa) na mapie typów pokrycia terenu Łodzi (a); najbliższe otoczenie punktów pomiarowych Tramwajowa (b) i Łódź-Lublinek (c); typy pokrycia terenu w promieniu 500 m od punktów Tramwajowa (d), MSM (e) i Lipowa (f). Mapa typów pokrycia terenu za *Urban atlas* 2018 (a, d) i *Urban atlas* 2006 (e, f) (<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>).

Fig. 1. Location of the analyzed measuring sites (Tramwajowa, Łódź-Lublinek) and sites used in previous studies (MSM, Lipowa) on the map of land cover types in the area of Łódź (a); the nearest surroundings of Tramwajowa (b) and Łódź-Lublinek (c) sites; types of land cover within a radius of 500 m from sites: Tramwajowa (d), MSM (e), and Lipowa (f). Map of land cover types after: *Urban atlas* 2018 (a, d) and *Urban atlas* 2006 (e, f) (<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>).



Rys. 2. Braki danych pomiarowych na punkcie pomiarowym
Tramwajowa w Łodzi w latach 2015-2018.

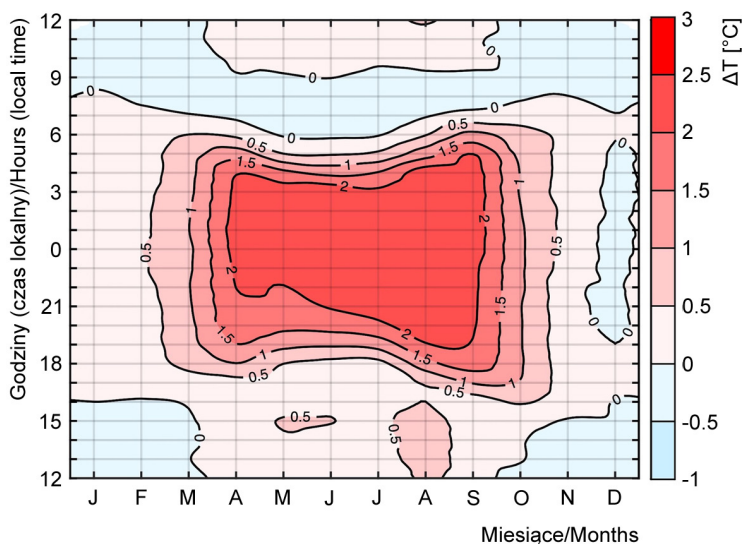
Fig. 2. Missing data at the Tramwajowa site in Łódź in 2015-2018.

budynki (rys. 1b). W nieco większym oddaleniu znajdują się budynki o 3-5, a w pojedynczych przypadkach 12 kondygnacjach. Warunki zamiejskie reprezentują dane ze stacji meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) Łódź-Lublinek (51°43'05"N 19°23'13"E, 172 m n.p.m.). Stacja pomiarowa zlokalizowana jest na odkrytej płycie lotniska, w bezpośredniej bliskości pasa startowego (rys. 1c). Należy jednocześnie zaznaczyć, że chociaż w poprzednich opracowaniach również wykorzystywano dane z tej stacji, to klatka meteorologiczna znajdowała się wówczas w ogródku meteorologicznym znajdującym się w pobliżu starego budynku portu lotniczego.

Do analiz pozyskano wyniki pomiarów temperatury powietrza na wysokości 2 m n.p.g., prowadzonych w obu punktach pomiarowych w latach 2015-2018. Dane są średnimi, 10-minutowymi z wartości chwilowych, przy czym w analizie zostały uwzględnione wyniki dla 1-godzinowego kroku czasowego. Dane dla stacji meteorologicznej Łódź-Lublinek są kompletne. W przypadku pomiarów przy ul. Tramwajowej braki obejmują 150 dni, co stanowi 10,3% okresu pomiarowego (rys. 2). Dni, dla których pomiary ze stacji Tramwajowa nie były dostępne, nie zostały uwzględniane. Analizie poddano zarówno godzinowe wartości różnic temperatury powietrza między stacją miejską (Tramwajowa) i zamiejską (Łódź-Lublinek), oznaczane jako ΔT , jak i maksymalne dobowe wartości MWC oznaczane jako ΔT_{mx} . Ze względu na wyraźny rytm dobowy MWC (rys. 3), ΔT_{mx} określono jako najwyższą wartość ΔT zanotowaną między godziną 12.00 dnia bieżącego a 12.00 dnia poprzedniego (w całej pracy stosowany jest czas środkowoeuropejski, UTC+1). Ponieważ MWC pojawia się głównie w nocy, wyznaczenie ΔT_{mx} dla klasycznej doby (godz. 0.00-24.00) mogłoby spowodować dwukrotne uwzględnienie jednego epizodu MWC w konsekwentnych dobach.

Wyniki

Czasową zmienność różnic temperatury powietrza między stacją miejską a zamiejską w Łodzi w latach 2015-2018 (rys. 3) można uznać za typową dla kształtowania i zaniku miejskiej wyspy ciepła. Największe różnice pojawiają się w nocy, co wynika z odmiennego tempa wychładzania w godzinach wieczornych oraz porannego nagrzewania tych terenów (Johnson 1985). Po wschodzie Słońca MWC zanika, a w godzinach porannych



Rys. 3. Izotermy średnich różnic temperatury powietrza (ΔT) pomiędzy punktami pomiarowymi Tramwajowa (centrum miasta) i Łódź-Lublinek (tereny zamiejskie) w Łodzi w latach 2015-2018.

Fig. 3. Isotherms of average air temperature differences (ΔT) between the measuring sites Tramwajowa (city center) and Łódź-Lublinek (rural areas) in Łódź in 2015-2018.

różnice temperatury między miastem a terenami otaczającymi przyjmują lekko ujemne wartości. W ciągu dnia średnie wartości ΔT są niewielkie. Pewnym ewenementem MWC w analizowanym okresie jest utrzymywanie się w grudniu ujemnych średnich wartości ΔT praktycznie przez całą dobę. Efekt ten nie był wcześniej obserwowany (Fortuniak 2003 – dalej oznaczany jako F2003). Kolejną różnicą w stosunku do lat 1997-1999 analizowanych w F2003 są zdecydowanie wyższe wartości średniej ΔT w nocy w półroczu ciepłym. Obecnie praktycznie od kwietnia do września w nocy średnia ΔT przekracza $2,0^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w latach 1997-1999 był to $1,0^{\circ}\text{C}$, a jedynie w sierpniu pojawiały się wartości wyższe od $1,5^{\circ}\text{C}$. O nasileniu się MWC świadczy również wzrost średnich różnic temperatury dla całego okresu, które dla lat 1997-1999 wynosiły $0,58^{\circ}\text{C}$ (względem MSM – w dalszej części opracowania tę stację przyjęto jako reprezentującą warunki w latach 1997-1999), a dla lat 2015-2018 są nieco wyższe, $0,65^{\circ}\text{C}$. W miesiącach letnich (czerwiec-sierpień) średnie ΔT dla całej doby wzrosło, w stosunku do końca ubiegłego wieku, odpowiednio od $0,79^{\circ}\text{C}$ do $1,08^{\circ}\text{C}$, natomiast dla godzin między 22.00 a 2.00 w nocy, które można utożsamiać z porą występowania właściwej MWC, wzrost ten jest już wyraźnie widoczny – od $1,45^{\circ}\text{C}$ do $2,37^{\circ}\text{C}$.

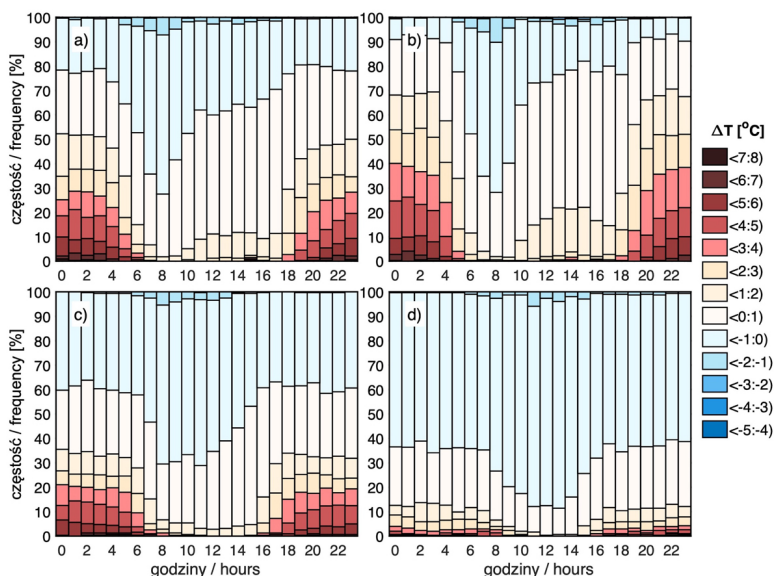
Jednocześnie należy podkreślić, że niezależnie od różnic ilościowych, ukształtowanie izolacji jest zbliżone dla obu okresów pomiarowych, co jest wynikiem fizycznych procesów prowadzących do formowania się MWC. Oprócz wyraźnego uprzywilejowania godzin nocnych, cechą charakterystyczną zmienności rocznej średnich dobowych

przebiegów kontrastów termicznych jest stosunkowo powolne formowanie się MWC we wczesnych godzinach nocnych późną wiosną (kwiecień-maj) w stosunku do relatywnie gwałtownego wzrostu ΔT o analogicznej porze w III kwartale roku, głównie w sierpniu i we wrześniu. Efekt ten można przypisać długookresowej bezwładności termicznej miasta związanej z sezonową zmiennością temperatury.

Oprócz wartości średnich, istotnych informacji o dobowej zmienności ΔT dostarcza częstość występowania przedziałów różnic temperatury w poszczególnych godzinach (rys. 4). Również w świetle tych danych we wszystkich sezonach utrzymuje się wyraźny dobowy rytm MWC – niezależnie od bezwzględnych wartości częstości każdego z sezonów, dodatnie różnice temperatury pojawiają się częściej w godzinach nocnych niż w ciągu dnia. Najbardziej uprzywilejowane do formowania się MWC są miesiące letnie. Od czerwca do sierpnia występowanie dodatnich różnic temperatury w godzinach nocnych dotyczy przeszło 90% analizowanych przypadków. Wiosną odsetek ten jest nieco niższy i wynosi ok. 80%. W pozostałych sezonach częstość pojawienia się warunków sprzyjających $\Delta T > 0^{\circ}\text{C}$ zdecydowanie spada. W miesiącach jesiennych (od września do listopada) w godzinach nocnych jest to jeszcze ok. 60%, natomiast zimą zaledwie niecałe 40%. Widoczne są tu wyraźne zmiany w stosunku do lat 1997-1999 (F2003). O ile wiosną i latem prawdopodobieństwo wystąpienia $\Delta T > 0^{\circ}\text{C}$ w nocy jest praktycznie identyczne dla końca ubiegłego wieku i obecnie analizowanego okresu, to już w przypadku miesięcy jesiennych jest ono o ok. 20 pkt. procentowych niższe. Spadek ten jest jeszcze bardziej gwałtowny w sezonie zimowym i przekracza 30 pkt. procentowych.

W ciągu dnia w stosunku do lat 1997-1999 wzrosła częstość przypadków, kiedy miasto jest chłodniejsze niż tereny peryferyjne. Wiosną i latem widoczne jest to głównie w godzinach porannych, dla których w 60-70% przypadków występuje „jezioro chłodu”. Podobny efekt obserwowany był przez wielu autorów. Sprzyjające temu warunki pojawiają się wczesnym rankiem, gdyż po wschodzie Słońca szybszemu nagrzewaniu ulegają tereny zamieszkane ze względu na mniejszą pojemność cieplną podłoża. Jednakże badania F2003 wykazały, że efekty tego typu mogą mieć również lokalny charakter związany z najbliższym otoczeniem punktu pomiarowego, modyfikującym warunki radiacyjne (przesłonięcie horyzontu i umieszczenie czujnika w cieniu w określonych godzinach). Dlatego wnioski o występowaniu „jeziora chłodu” jako cechy charakterystycznej całego obszaru analizowanego miasta należy formułować ostrożnie. Najwięcej przypadków $\Delta T < 0^{\circ}\text{C}$ pojawia się zimą w godzinach południowych. Stanowią one wtedy ponad 85%. W większości są to jednak różnice bardzo niewielkie, mieszczące się na granicy błędu pomiarowego – w ponad 71% przypadków zimą wartość bezwzględna ΔT nie przekracza $0,5^{\circ}\text{C}$. Jesienią przypadki $|\Delta T| < 0,5^{\circ}\text{C}$ stanowią ok. 60%, wiosną 50%, a latem wartość ta spada do 39%, przy czym w godzinach nocnych (22.00-2.00) w tym sezonie jest to zaledwie 17%.

Ponieważ pojawiające się sporadycznie, zarówno dodatnie, jak i ujemne, niewielkie różnice temperatury między punktami pomiarowymi nie muszą być wynikiem oddziaływania miasta na klimat lokalny, istotne znaczenie dla poznania MWC ma analiza przypadków dużych różnic temperatury, świadczących o wyraźnym uformowaniu się



Rys. 4. Częstość występowania różnic temperatury (ΔT) z określonych przedziałów w godzinach dla kolejnych pór roku (a – wiosna, b – lato, c – jesień, d – zima) w Łodzi w latach 2015-2018.

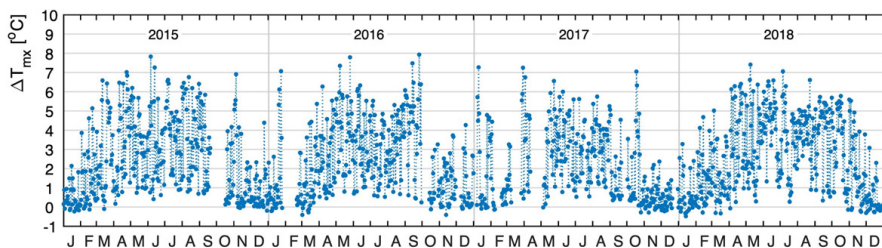
Fig. 4. The frequency of occurrence of temperature differences (ΔT) from selected intervals in hours for seasons (a – spring, b – summer, c – autumn, d – winter) in Łódź in 2015-2018.

MWC. Choć nie istnieje ogólnie przyjęty próg ΔT , powyżej którego MWC można uznać za dobrze wykształconą, w celu porównania z F2003 w niniejszym opracowaniu szczególną uwagę zwrócono na $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$, mimo że rys. 4 sugeruje, iż już dla progu $\Delta T > 2^{\circ}\text{C}$ prawdopodobieństwo uznania za MWC przypadkowych fluktuacji pola temperatury jest stosunkowo niewielkie. Oczywiście nawet wysoki próg ΔT nie gwarantuje wyeliminowania kontrastów związanych z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych czy chmur burzowych.

Analiza częstości występowania wyraźnie uformowanej MWC, dla której $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$, w układzie godzinowym potwierdza znaną tezę o nocnym charakterze tego zjawiska. W ciągu dnia praktycznie nie obserwuje się przypadków $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$, natomiast w godzinach nocnych najwięcej tego typu epizodów zanotowano w okresie letnim. Prawdopodobieństwo ich wystąpienia w tym sezonie sięga 40%. Podobnie jak w przypadku wszystkich różnic dodatnich, jest ono niższe wiosną (do 30%) i jesienią (ok. 20%), natomiast zimą zdecydowanie spada, do zaledwie ok. 4%. W porównaniu do lat 1997-1999 obserwowany jest ponad dwukrotny wzrost częstości pojawiania się MWC o $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$ w godzinach nocnych we wszystkich sezonach. W poprzednim okresie częstość ta nie przekraczała 15% w miesiącach letnich, 9% wiosną i 7% jesienią. Nawet zimą, pomimo ogólnego spadku liczby przypadków z dodatnią różnicą temperatury, prawdopodobieństwo wystąpienia dobrze wykształconej MWC nieznacznie wzrosło, od niecałych 3% do nieco ponad 4%.

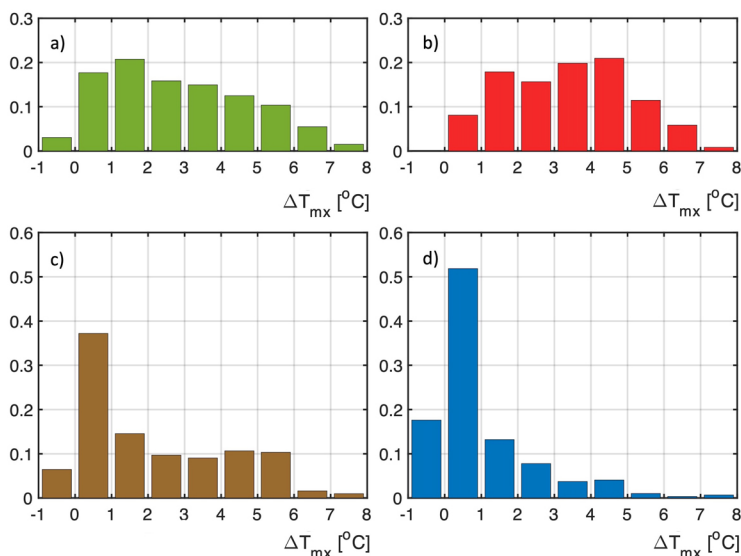
Wyraźnym rytmem rocznym cechują się maksymalne dobowe różnice temperatury ΔT_{mx} (rys. 5). Dla miesięcy półrocza chłodnego (tj. od października do marca) zanotowano znacznie niższe wartości niż w przypadku półrocza ciepłego (od kwietnia do września). Analogiczny rytm obserwowano w latach 1997-1999 (F2003, rys. 3.4), jednak wartości w półroczu ciepłym były wówczas zdecydowanie niższe, z rzadka przekraczające 5°C . Najwyższa zanotowana wówczas wartość ΔT_{mx} była jednak nieco wyższa, $8,7^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w latach 2015-2018 jest to $7,9^{\circ}\text{C}$. Przypadek ten wystąpił 25 września 2016 r. o godzinie 4.00. Sprzyjającym dla kształtowania tak dużej różnicy temperatury powietrza była mała prędkość wiatru (ok. 1 ms^{-1}), której przez większość nocy towarzyszył brak zachmurzenia. W latach 1997-1999 oprócz wymienionej najwyższej wartości ΔT_{mx} nie wystąpiły przypadki $\Delta T_{mx} > 7^{\circ}\text{C}$, natomiast w obecnie analizowanym okresie dziesięć takich przypadków zanotowano w półroczu ciepłym (miesiące IV-IX), zaś cztery podczas miesięcy półrocza chłodnego. W analizowanych latach 2015-2018, niezależnie od znacznego zróżnicowania sezonowego częstości pojawiania się określonych przedziałów ΔT_{mx} (rys. 6), najwyższe zanotowane w każdej porze roku wartości są zbliżone: wiosną i latem było to $7,8^{\circ}\text{C}$ (odnotowane 25 maja 2016 r., godz. 3.00 oraz 5 czerwca 2015 r., godz. 2.00), jesienią wspomniane $7,9^{\circ}\text{C}$, a zimą $7,3^{\circ}\text{C}$ (9 stycznia 2017 r., godz. 1.00).

Szczegółowe częstości występowania ΔT_{mx} w poszczególnych przedziałach temperatury w sezonach prezentuje rys. 6. Wyniki potwierdzają uprzywilejowanie sezonu letniego do występowania MWC o dużym natężeniu (rys. 6b). Dominujące są w tym sezonie maksymalne dobowe różnice temperatury z przedziału $4-5^{\circ}\text{C}$ (ponad 20%), a prawdopodobieństwo pojawienia się MWC o natężeniu mieszczącym się w wyższych przedziałach temperatury również pozostaje większe niż dla pozostałych sezonów. Latem 59% dób cechuje się występowaniem MWC o wartościach ΔT_{mx} przekraczających 3°C , podczas gdy wiosną dni takich jest 44%, jesienią 32%, a zimą zaledwie 10%. Częstości te są we wszystkich przypadkach zdecydowanie wyższe dla badanego okresu niż dla lat 1997-1999 (F2003), w których latem zanotowano zaledwie 31% dób z $\Delta T_{mx} > 3^{\circ}\text{C}$, wiosną 24%, jesienią 15%, a zimą nieco ponad 7%.



Rys. 5. Maksymalne dobowe wartości różnic temperatury powietrza (ΔT_{mx}) pomiędzy punktami pomiarowymi Tramwajowa (centrum miasta) i Łódź-Lublinek (tereny zamiejskie) w Łodzi w latach 2015-2018.

Fig. 5. Maximum daily values of air temperature differences (ΔT_{mx}) between the measuring sites Tramwajowa (city center) and Łódź-Lublinek (rural areas) in Łódź in 2015-2018.

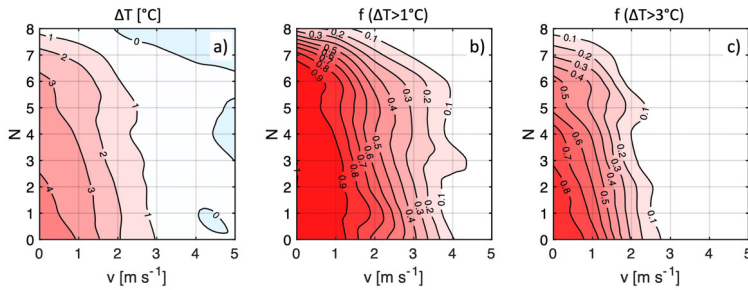


Rys. 6. Częstość występowania maksymalnych dobowych różnic temperatury w przedziałach jednostopniowych w poszczególnych porach roku (a – wiosna, b – lato, c – jesień, d – zima) w Łodzi w latach 2015-2018.

Fig. 6. The frequency of occurrence of maximum daily temperature differences in one-degree intervals in seasons (a – spring, b – summer, c – autumn, d – winter) in Łódź in 2015-2018.

Zimą i jesienią wartość modalna rozkładu ΔT_{mx} mieści się w przedziale 0-1°C. W ponad 68% przypadków zimą ΔT_{mx} nie przekracza 1°C. Ponieważ różnice tego rzędu kształtują się na poziomie naturalnego zróżnicowania przestrzennego pola temperatury niezależnego od stopnia urbanizacji, należy uznać, że w sezonie tym w 2/3 dób MWC prawdopodobnie praktycznie nie występuje, co stanowi znaczny wzrost w porównaniu do lat 1997-1999 (F2003), kiedy stanowiły one niespełną połowę przypadków. Podobną, lecz mniej silną tendencję, można zaobserwować jesienią. W analizowanym okresie pomiarowym doby z $\Delta T_{mx} < 1^\circ\text{C}$ stanowią 44% przypadków, podczas gdy w latach 1997-1999 było ich mniej niż 40%.

Spośród wielu elementów meteorologicznych wpływających na intensywność MWC największe znaczenie ma prędkość wiatru (v) i zachmurzenie (N). Oba parametry mogą osłabiać nocne wychładzanie podłoża poprzez intensyfikację turbulencyjnej wymiany ciepła z wyższymi warstwami powietrza (wiatr) i redukcję promieniowania efektywnego (zachmurzenie). W konsekwencji wraz z rozwojem zachmurzenia i prędkości wiatru maleje MWC. Aby skwantyfikować wpływ tych elementów na rozwój MWC w Łodzi, wykorzystano wartości ΔT od zachodu do wschodu Słońca (rys. 7). Przyjęcie pełnej doby zawyżałoby wagę niewielkich różnic o charakterze przypadkowym, jakie występują w godzinach dziennych i w większości przypadków nie są związane z MWC, rozumianą jako różnice temperatury powstające w wyniku procesów fizycznych związanych z urbanizacją terenu.



Rys. 7. Różnice temperatury powietrza (ΔT) pomiędzy punktami pomiarowymi Tramwajowa (centrum miasta) i Łódź-Lublinek (tereny zamiejskie) w godzinach nocnych w zależności od prędkości wiatru (v) i zachmurzenia (N): a – wartości średnie, b – częstość (f) występowania różnic $\Delta T > 1^\circ\text{C}$, c – częstość występowania różnic $\Delta T > 3^\circ\text{C}$. Łódź lata 2015-2018.

Fig. 7. Differences in air temperature (ΔT) between the measuring sites Tramwajowa (urban) and Łódź-Lublinek (rural) at night depending on wind speed (v) and cloudiness (N): a – average values, b – frequency (f) of differences $\Delta T > 1^\circ\text{C}$, c – the frequency of occurrence of the differences $\Delta T > 3^\circ\text{C}$. Łódź 2015-2018.

Największe wartości ΔT , przekraczające średnio 4°C , pojawiają się podczas bezwietrznych nocy przy zachmurzeniu nieprzekraczającym 2 oktantów (rys. 7a). W przeszło 80% przypadków miasto jest wtedy o ponad 3°C cieplejsze niż obszary peryferyjne (rys. 7c), a prawie zawsze (prawdopodobieństwo $> 95\%$) różnica ta przekracza 1°C . Przedstawione zależności wskazują również na dominujący wpływ prędkości wiatru na redukcję MWC. Nawet w przypadku bezchmurnych nocy, jeśli prędkość wiatru staje się wyższa od 3 ms^{-1} , wówczas kontrasty termiczne powyżej 3°C praktycznie zanikają (rys. 7c), prawdopodobieństwo wystąpienia $\Delta T > 1^\circ\text{C}$ gwałtownie spada (rys. 7b), a średnie wartości ΔT nie przekraczają 1°C (rys. 7a). Wzrost zachmurzenia w mniejszym stopniu redukuje MWC. Nawet przy 6/8 pokrycia nieba, przy niewielkich prędkościach wiatru, może pojawić się dobrze rozbudowana MWC. Dopiero pełne zachmurzenie uniemożliwia formowanie się miejskiej nadwyżki ciepła.

Dyskusja i wnioski

Przeprowadzona analiza miejskiej wyspy ciepła w Łodzi w latach 2015-2018 potwierdza ogólne prawidłowości dotyczące zmienności dobowej i sezonowej tego zjawiska oraz jego zależności od prędkości wiatru i zachmurzenia. Niewątpliwie zastanawiające są wyraźne różnice w stosunku do rezultatów otrzymanych przez F2003 na podstawie danych z lat 1997-1999. Niestety precyzyjne wskazanie przyczyn tych różnic wymagałoby wielu dodatkowych badań, nie zawsze możliwych do przeprowadzenia.

Najbardziej naturalnym wytłumaczeniem różnic wydaje się zmiana lokalizacji punktów pomiarowych. Jednakże w latach 1997-1999 pomiary prowadzone były na dwóch stacjach miejskich (Lipowa i MSM) ulokowanych w większej odległości od siebie niż

odległość między MSM i obecnie analizowanym punktem Tramwajowa (rys. 1), a wyniki z obu wówczas wykorzystywanych stacji były bardzo zbliżone. Wszystkie trzy punkty pomiarowe są zlokalizowane w centrum Łodzi, dlatego na podstawie rezultatów z lat 1997-1999 można przypuszczać, że znajdują się w obrębie stosunkowo rozległego jądra MWC, cechującego się małym zróżnicowaniem temperatury. Analiza najbliższego otoczenia punktów pomiarowych również nie daje przesłanek do wnioskowania o uprzywilejowaniu termicznym stanowiska przy ul. Tramwajowej. Dominujące typy pokrycia terenu w promieniu 500 m wokół punktów Tramwajowa i MSM (rys. 1d-e) to zabudowa zwarta (Tramwajowa – 42%, MSM – 32%) oraz strefy przemysłowo-handlowo-usługowe (Tramwajowa – 37%, MSM – 42%). Za zbliżony należy uznać też udział terenów zielonych (Tramwajowa – 13%, MSM – 10%) i powierzchni ulic (6% i 9% odpowiednio). Natomiast punkt Lipowa ulokowany był w obszarze zabudowy zwartej (79%) i o dużym zagęszczeniu (7%) oraz stref przemysłowo-handlowo-usługowych (9%) bez zwartych obszarów zieleni miejskiej w promieniu 500 m (rys. 1f). Pomimo to w latach 1997-1999 nie zanotowano tak wyraźnych różnic między MSM i Lipową, jak przy porównaniu obu okresów pomiarowych. Przyczyn różnic trudno również upatrywać we wpływie przesłonięcia horyzontu, gdyż współczynnik widoku nieba dla MSM i Lipowej wynosił odpowiednio 0,97 i 0,66, a w przypadku Tramwajowej jest to 0,78. Można zatem przyjąć, że porównanie obu okresów pomiarowych w zdecydowanie większym stopniu reprezentuje rzeczywiste zmiany, jakim podlegała w tym czasie MWC w Łodzi, niż różnice wynikające ze zmian lokalizacji miejskiego punktu pomiarowego.

Obserwowana ewolucja MWC w stosunku do rezultatów z lat 1997-1999 może być skutkiem oddziaływania zarówno czynników zewnętrznych (regionalne uwarunkowania klimatyczne), jak i wewnętrznych (struktura i metabolizm miasta). Regionalne uwarunkowania klimatyczne determinują liczbę dni z warunkami pogodowymi sprzyjającymi powstawaniu dobrze wykształconej MWC. W przypadku dwóch stosunkowo krótkich okresów poddanych analizie różnice częstości pojawiania się takich dni mogą być konsekwencją zarówno przypadkowych fluktuacji związanych z naturalną zmiennością klimatu, jak i trwałą tendencją wynikającą z postępującej zmiany klimatu – średnia temperatura powietrza w Łodzi wzrosła z 8,2°C dla lat 1981-2000 do 9,1°C dla lat 2001-2020, a rok 2015 i 2018 należały do najcieplejszych w historii łódzkich pomiarów. Spośród czynników wewnętrznych należy rozważyć różne procesy jakim podlegało miasto w ciągu ostatnich 20 lat. Na przykład działania mające na celu ograniczenie zużycia energii na ogrzewanie poprzez docieplanie budynków mogą skutkować mniejszą emisją ciepła antropogenicznego zimą, przy jednoczesnym większym wychładzaniu powierzchni (ze względu na mniejszą admitancję termiczną materiałów izolacyjnych) powodującym relatywnie niższe wartości temperatury powietrza. Jednocześnie latem warstwa izolacyjna budynków może powodować efekt odwrotny. Inne zmiany zachodzące w Łodzi na przestrzeni ostatnich lat, takie jak poprawa warunków aerosanitarnych czy zmniejszenie ogólnej liczby ludności, powinny raczej prowadzić do zmniejszania się MWC niż jej nasilania. Dlatego przyczyn obserwowanych w stosunku do lat 1997-1999 różnic należy prawdopodobnie upatrywać w większej liczbie sytuacji synoptycznych sprzyjających formowa-

niu się MWC, będącej wynikiem obserwowanych w regionie zmiany bądź zmienności klimatu. Weryfikacji tej hipotezy mogłyby dostarczyć podobne badania porównawcze w innych ośrodkach miejskich.

Chociaż przeprowadzona analiza nie przynosi nowatorskich pod względem jakościowym ustaleń, klimatologiczna analiza zjawiska miejskiej wyspy ciepła bazująca na bieżących danych pomiarowych jest ważna ze względu na wzrastające znaczenie tej problematyki w kształtowaniu polityki rozwoju miasta. Adaptacja miast do zmiany klimatu jest jednym z głównych motywów wielu inicjatyw podejmowanych w ramach tej polityki, dlatego istotne jest, aby bazowały one na informacjach zweryfikowanych na bazie aktualnych danych.

L i t e r a t u r a

- Ackerman B., 1985, Temporal march of the Chicago heat island, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24 (6), 547-554, DOI: 10.1175/1520-0450(1985)024<0547:TMOTCH>2.0.CO;2.
- Adebayo Y.R., 1987, A note on the effect of urbanization on temperature in Ibadan, *Journal of Climatology*, 7 (2), 185-192, DOI: 10.1002/joc.3370070209.
- Arnfield A.J., 2003, Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, *International Journal of Climatology*, 23 (1), DOI: 10.1002/joc.859.
- Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C., 2014, *Miejska wyspa ciepła w Warszawie: uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*, IGIiPZ PAN, Wydawnictwo Akademickie Sedno, Warszawa, 171 s.
- Bokwa A., 2010, *Wieloletnie zmiany struktury mezoklimatu miasta na przykładzie Krakowa*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 258 s.
- Bokwa A., 2019, Rozwój badań nad klimatem lokalnym Krakowa, *Acta Geographica Lodziensia*, 108, 7-20.
- Bornstein R.D., 1968, Observation of the urban heat island effect in New York City, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 7 (4), 575-582, DOI: 10.1175/1520-0450(1968)007<0575:OOTTUHI>2.0.CO;2.
- Urban Atlas, 2006, Copernicus Land Monitoring Service, dostępne online <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2006>.
- Urban Atlas, 2018, Copernicus Land Monitoring Service, dostępne online <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>.
- Dankowska M., Koter M., Krystkowski T., Kwiatkowska N., Makowski A., Marczewski M., Saciuk M., Salm J., Stefański K., Stępniewski M., Szot M., Walczak B. M., Warsza R., Wesołowski J., 2019, *Łódź w okresie III RP, [w:] Atlas historyczny Miasta Łodzi, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź*.
- Djen C.S., 1992, The urban climate of Shanghai, *Atmospheric Environment. Part B: Urban Atmosphere*, 26 (1), 9-15, DOI: 10.1016/0957-1272(92)90033-O.
- Eliasson I., 1996, Intra-urban nocturnal temperature differences: a multivariate approach, *Climate Research*, 7 (1), 21-30.

- Fortuniak K., 2001, Wpływ właściwości termicznych podłoża na intensywność miejskiej wyspy ciepła – analiza modelowa nocnego wychładzania powierzchni gruntu, *Prace i Studia Geograficzne*, 29, 297-302.
- Fortuniak K., 2003, Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 233 s.
- Fortuniak K., 2019, Badania klimatu miast w Polsce, *Przegląd Geofizyczny*, LXIV, 73-106.
- Fortuniak K., Kłysik K., 2008, Osobliwości klimatu miast na przykładzie Łodzi, [w:] *Klimat i bioklimat miast*, K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 477-488.
- Fortuniak K., Kłysik K., Wibig J., 2006, Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Łódź, *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3), 91-101, DOI: 10.1007/s00704-005-0147-y.
- Fortuniak K., Pawlak W., Podstawczyńska A., Siedlecki M., Wibig J., Wilk S., 2019, Łódzkie badania klimatu miasta, *Acta Geographica Lodziensia*, 108, 35-49.
- Howard L., 1833, *The climate of London*, Vol. 1-3, Harvey & Darton, Londyn.
- Jauregui E., 1997, Heat island development in Mexico City, *Atmospheric Environment*, 31 (22), 3821-3831, DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00136-2.
- Johnson D. B., 1985, Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U.K., *International Journal of Climatology*, 5 (2), 221-225, DOI: 10.1002/joc.3370050208.
- Kaniewicz S., Michalski W., 2012, Zmiany w przestrzeni Miasta Łodzi w latach 1994-2009, [w:] *Atlas Miasta Łodzi, Suplement 2, Łódzkie Towarzystwo Naukowe*, Łódź.
- Kaszewski B.M., Siwek K., 1998, Cechy przebiegu dobowego temperatury powietrza w centrum i na peryferiach Lublina, *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica*, 3, 213-220.
- Kidder S.Q., Essenwanger O.M., 1995, The effect of clouds and wind on the difference in nocturnal cooling rates between urban and rural areas, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 34 (11), 2440-2448, DOI: 10.1175/1520-0450(1995)034<2440:TEOCAW>2.0.CO;2.
- Kłysik K., 1998, Struktura przestrzenna miejskiej wyspy ciepła w Łodzi, *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica*, 3, 385-391.
- Kłysik K., Fortuniak K., 1998, Dobowy i roczny cykl występowania miejskiej wyspy ciepła w Łodzi, *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica*, 3, 23-32.
- Kłysik K., Fortuniak K., 1999, Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland, *Atmospheric Environment*, 33 (24-25), 3885-3895, DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00131-4.
- Magee N., Curtis J., Wendler G., 1999, The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska, *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 39-47, DOI: 10.1007/s007040050109.
- Montávez J.P., Rodríguez A., Jiménez J.I., 2000, A study of the urban heat island of Granada, *International Journal of Climatology*, 20 (8), 899-911, DOI: 10.1002/1097-0088(20000630)20:8<899::AID-JOC433>3.0.CO;2-I.
- Morris C.J.G., Simmonds I., Plummer N., 2001, Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40 (2), 169-182, DOI: 10.1175/1520-0450(2001)040<0169:QOTIOW>2.0.CO;2.
- Nowak A., 2009, Analiza miejskiej wyspy ciepła na obszarze Poznania, *Prace Geograficzne*, 122, 99-110.
- Oke T.R., 1987, *Boundary Layer Climates*, 2nd edition, Routledge, London, 464 s.

- Oke T.R., 1973, City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment*, 7 (8), 769-779, DOI: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.
- Oke T.R., 1982, Bibliography of urban climate 1977-1980, WMO, WCP-No. 45, dostępne online https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7656.
- Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A., 2017, *Urban Climates*, Cambridge University Press, Cambridge, DOI: 10.1017/9781139016476.
- Orbaniak W., 2007, *Ludność Łodzi i innych wielkich miast w Polsce w latach 1984-2006*, Urząd Statystyczny w Łodzi.
- Philandras C.M., Metaxas D.A., Nastos P.T., 1999, Climate variability and urbanization in Athens, *Theoretical and Applied Climatology*, 63, 65-72, DOI: 10.1007/s007040050092.
- Pórolniczak M., Kolendowicz L., Majkowska-Juskowiak A., 2019, Stan badań klimatu Poznania ze szczególnym uwzględnieniem pola temperatury i zjawiska miejskiej wyspy ciepła, *Acta Geographica Lodziensia* 108, 79-92.
- Przybylak R., Uscka-Kowalkowska J., 2019, Badania klimatu miejskiego w Toruniu prowadzone przez Katedrę Meteorologii i Klimatologii UMK – zarys historii i uzyskanych wyników, *Acta Geographica Lodziensia*, 108, 93-107.
- Schmidlin T.W., 1989, The urban heat island at Toledo, Ohio, *Ohio Journal of Science*, 89, 38-41.
- Steinecke K., 1999, Urban climatological studies in the Reykjavík subarctic environment, Iceland, *Atmospheric Environment*, 33 (24-25), 4157-4162, DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00158-2.
- Stopa-Boryczka M., Kopacz-Lembowicz M., Błażek E., Kicińska B., Żmudzka E., 1994, The heat island in Warsaw and its effects, *Miscellanea Geographica*, 6, 93-102.
- Sundborg A., 1950, Local climatological studies of the temperature condition in an urban area, *Tellus*, 2 (3), 222-232, DOI: 10.1111/j.2153-3490.1950.tb00333.x.
- Szcześniewska J., Wibig J., 2008, The influence of UHI on the intensity and duration of heat waves, [w:] *Klimat i bioklimat miast*, K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 561-570.
- Szyłobryt K.S., Bednora E., Kolendowicz L., 2013, Występowanie miejskiej wyspy ciepła w mieście średniej wielkości na przykładzie Stargardu Szczecińskiego, *Badania Fizjograficzne. Seria A: Geografia Fizyczna*, A64, 247-268.
- Szymanowski M., 2004, Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu, *Studia Geograficzne*, 77, 228 s.
- Tapper N.J., 1990, Urban influences on boundary layer temperature and humidity: results from Christchurch, New Zealand, *Atmospheric Environment. Part B: Urban Atmosphere*, 24 (1), 19-27, DOI: 10.1016/0957-1272(90)90005-F.
- Unwin D.J., 1980, The synoptic climatology of Birmingham's heat island, *Weather*, 35, (2), 43-50, DOI: 10.1002/j.1477-8696.1980.tb03484.x.
- Urząd Statystyczny w Łodzi, 2022, <https://lodz.stat.gov.pl/dane-o-województwie-lodzkiem/>.
- Wawer J., 1995, Wpływ warunków pogodowych na intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie, [w:] *Klimat i bioklimat miast*, K. Kłysik (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 71-78.
- Wienert U., Kuttler W., 2005, The dependence of the urban heat island intensity on latitude – A statistical approach, *Meteorologische Zeitschrift*, 14 (5), 677-686, DOI: 10.1127/0941-2948/2005/0069.

Żmudzka E., 2019, Badania klimatu Warszawy prowadzone w Zakładzie Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (1951–2018), *Acta Geographica Lodziensia*, 108, 127-139.

S t r e s z c z e n i e

W opracowaniu scharakteryzowano miejską wyspę ciepła (MWC) w Łodzi na podstawie pomiarów wykonywanych w latach 2015-2018 na dwóch stanowiskach: Tramwajowa (stacja miejska) i Łódź-Lublinek (stacja zamiejska). Analizie poddano różnice temperatury między stacją miejską a zamiejską (ΔT) obliczone z 1-godzinnym krokiem czasowym. Wyznaczono średnie wartości ΔT w godzinach dla poszczególnych miesięcy i określono dobową zmienność częstości występowania ΔT z określonych przedziałów temperatury w sezonach. Zbadano częstość występowania maksymalnych dobowych wartości ΔT (między godz. 12.00 dnia bieżącego a 12.00 dnia poprzedniego) i ich przebieg wieloletni. Przeanalizowano zależność MWC od prędkości wiatru i zachmurzenia. Otrzymane wyniki zostały porównane z wcześniejszym opracowaniem dotyczącym lat 1997-1999. W obecnie analizowanym okresie w miesiącach letnich zaobserwowano znacznie silniejsze kontrasty termiczne między centrum Łodzi a obszarami peryferyjnymi, ze średnimi przekraczającymi w nocy 2°C. W stosunku do lat 1997-1999 ponad dwukrotnie wzrosła częstość $\Delta T > 3^\circ\text{C}$. Zimą średnie wartości ΔT są nieco niższe niż w poprzednim okresie, wzrosła natomiast liczba przypadków $\Delta T < 0^\circ\text{C}$, przy jednoczesnym niewielkim wzroście prawdopodobieństwa pojawienia się $\Delta T > 3^\circ\text{C}$. Maksymalna wartość ΔT zanotowana w bieżącym okresie wynosi 7,9°C i jest nieco niższa niż dla lat 1997-1999 (8,7°C). W przeciwieństwie do końca ubiegłego wieku najwyższe zanotowane w sezonach wartości ΔT są do siebie zbliżone, a liczba $\Delta T > 7^\circ\text{C}$ jest zdecydowanie wyższa. Choć przeprowadzone badania nie pozwalają wskazać przyczyn zaobserwowanych tendencji MWC, za najbardziej prawdopodobne należy uznać zmiany ogólnych warunków klimatycznych w regionie oraz zmiany w strukturze i metabolizmie miasta.

Słowa kluczowe: miejska wyspa ciepła, klimat miast, Łódź, temperatura powietrza.

S u m m a r y

The study characterizes the urban heat island (UHI) in Łódź in 2015-2018 on the basis of measurements at two sites: Tramwajowa (urban) and Łódź-Lublinek (rural). The temperature differences between the city and rural sites (ΔT) were calculated with a 1-hour time step. Average values of ΔT in hours for individual months were determined and the daily variability of the frequency of occurrence of ΔT for selected temperature ranges in seasons was determined. The frequency of occurrence of maximum daily ΔT (between noon of the current day and noon of the previous day) and its long-term course were examined. The dependence of UHI on wind speed and cloudiness was analyzed. The obtained results were compared with the previous study concerning the years 1997-1999. In the currently analyzed period much stronger thermal contrasts were observed between the

center of Łódź and the peripheral areas in summer, with averages exceeding 2°C at night. In relation to the years 1997–1999, the frequency of $\Delta T > 3^\circ\text{C}$ has more than doubled. In winter, the average values of ΔT are slightly lower than in the previous period, while the number of cases of $\Delta T < 0^\circ\text{C}$ has increased, with a slight increase in the probability of the appearance of $\Delta T > 3^\circ\text{C}$. The maximum value of ΔT recorded in the current period is 7.9°C and is slightly lower than for the years 1997–1999 (8.7°C). Contrary to the end of the last century, the highest values of ΔT are similar in all seasons, and the number of $\Delta T > 7^\circ\text{C}$ is much higher. Although the presented research does not allow to identify the causes of the observed UHI trends, the most probable are changes in the climatic conditions in the region and changes in the structure and metabolism of the city.

Keywords: urban heat island, urban climate, Łódź, air temperature.