

Klimat Wrocławia

Alfred Dubicki

Maria Dubicka

Mariusz Szymanowski

Klimat Wrocławia odznacza się cechami typowymi dla klimatu przejściowego strefy szerokości umiarkowanych. Ścierające się wpływy oceaniczne i kontynentalne powodują dużą zmienność klimatu, przejawiającą się bogactwem stanów pogodowych. Położenie Wrocławia na przedpolu Sudetów, przy dominującym napływie mas z kierunków zachodnich i południowych, powoduje uprzywilejowanie termiczne miasta. Dodatkowe modyfikacje, typowe dla dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych, takie jak wyspy ciepła i opadów atmosferycznych oraz zróżnicowanie bioklimatyczne, generowane są poprzez zmianę właściwości fizycznych wynikającą ze sposobu zagospodarowania i użytkowania terenów zurbanizowanych. Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu jest zjawiskiem stwierdzonym i jako takie powinno być podstawą do przemyślnych działań w zakresie planowania przestrzennego i rozwiązań planistycznych.

Rosnące zapotrzebowanie na informacje o klimacie powoduje, że coraz częściej uwzględnia się wzajemne oddziaływania zachodzące w obrębie środowiska atmosferycznego i na jego pograniczu ze środowiskiem wodnym i lądowym, a odchodzi się od tradycyjnego, prostego opisu cech wieloletniego reżimu pogody. Klimat rozumiany jako całokształt procesów zachodzących w atmosferze wpływa na działalność człowieka i rezultaty osiągnięte w różnych sferach życia gospodarczego. Zespół elementów meteorologicznych (temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, natężenie promieniowania słonecznego i inne), odczuwany przez organizm człowieka, powoduje reakcje biologiczne i psychiczne w ustroju ludzkim. Wielkomiejski charakter współczesnej cywilizacji, poprzez znaczną koncentrację ekonomicznej i społecznej aktywności człowieka, ukształtował na obszarach miejskich jakościowo odmienny typ mezoklimatu miejskiego, o cechach niekorzystnych dla jego mieszkańców.

Charakterystyka klimatu Wrocławia obejmuje trzy aspekty, takie jak: główne cechy klimatu, specyfikę klimatu miasta i wybrane zagadnienia klimatu odczuwalnego (bioklimatu człowieka), będzie próbą oceny jego bodźcowości oraz określenia podstawowych cech struktury klimatu i bioklimatu aglomeracji miejsko-przemysłowej Wrocławia.

Podstawę opracowania stanowią dane meteorologiczne z Obserwatorium Uniwersytetu Wro-

clawskiego lat 1981–2000 oraz z sieci automatycznych stacji meteorologicznych zlokalizowanych na terenie miasta, jak i z mobilnej stacji pomiarowej (lata 1997–2000).

Główne cechy klimatu

Wrocław leży w centrum Dolnego Śląska, Niziny Śląskiej i Równiny Wrocławskiej rozciętej doliną Odry. W krajobrazie miasta dominuje Odra wraz z jej odnogami, kanałami, starorzeczami i rozlewiskami (łącznie 54,5 km długości w granicach miasta), tworząc główną oś ekologiczną przestrzennego układu miasta w kierunku wschód – zachód. To oraz 12 wysp czynią Wrocław wyjątkowym miastem w Polsce. Istotną z punktu widzenia warunków klimatycznych Wrocławia, bardziej urozmaiconą rzeźbę terenu, tworzy obszar Pogórza Sudetów oraz częściowo Sudety na południu i Wzgórza Trzebnickie na północy.

Położenie miasta w dolinie Odry i na przedpolu Sudetów powoduje jego uprzywilejowanie termiczne określane jako „wrocławsko-opolski obszar ciepła”. Podobnie jak obszary ciepła „krakowski” i „tarnowski”, jest on konsekwencją dynamicznego ogrzewania się mas powietrza osiadających po zawietrznej stronie masywu górskiego. Występują wówczas charakterystyczne dla gór i ich przedpola wiatry fenowe (halne). Należy podkreślić, że

we Wrocławiu zjawiska fenopochodne obserwowane są przeciętnie w ciągu 71 dni w roku (Kwiatkowski, 1975). Usytuowanie miasta w dolinie Odry ma także negatywne następstwa sprzyjające, zwłaszcza w antycyklonalnych sytuacjach synoptycznych, słabemu przewietrzaniu i kształtowaniu się niekorzystnych zjawisk klimatycznych w postaci częstych zamgłęi i wyższej wilgotności powietrza.

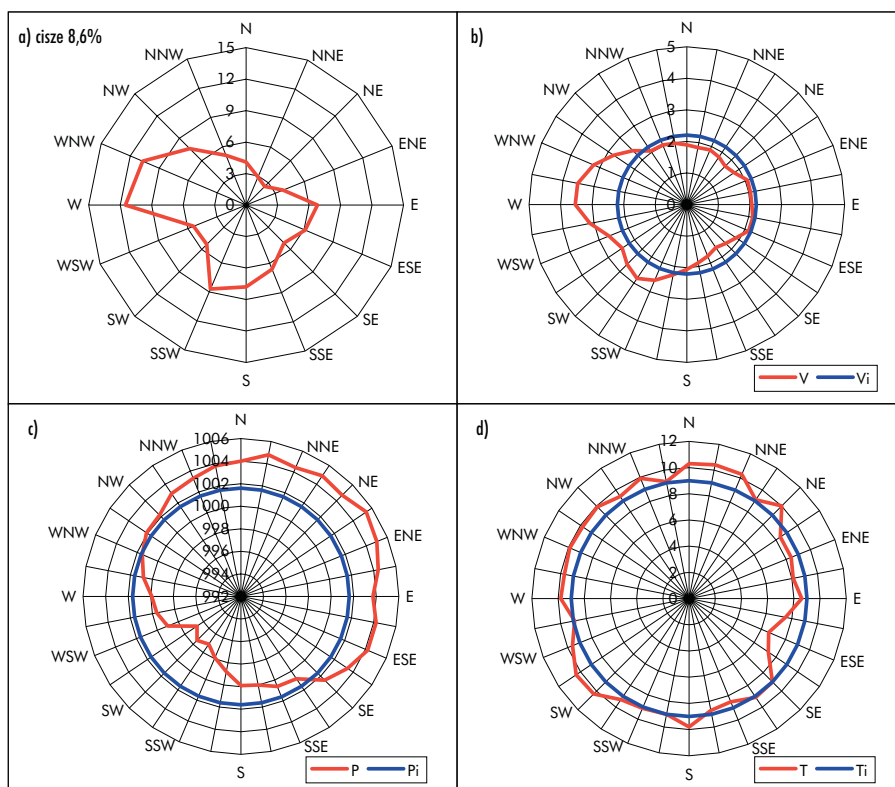
Warunki klimatyczne Wrocławia są jednak ściśle związane z klimatem Polski i Europy, a położenie geograficzne w tej części strefy umiarkowanej decyduje o dużej zmienności warunków pogodowych. Wiąże się to z częstym i aktywnym przemieszczaniem układów barycznych i napływem wilgotnych mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego oraz znacznie suchszych z rozległego kontynentu azjatyckiego. Cechą klimatu Polski jest jego przejściowy charakter, przejawiający się zarówno cechami klimatu morskiego, jak również znacznym udziałem właściwości klimatu kontynentalnego. W efekcie we Wrocławiu przeważa wiatr o kierunkach z sektorów zachodniego i południowego (rys. 1). Jest on obserwowany w ciągu, odpowiednio, 27,6% i 23,1% dni w roku

i związany jest z napływem polarno-morskich mas powietrza.

Średnia roczna temperatura powietrza we Wrocławiu wynosi $9,0^{\circ}\text{C}$, miesiąca najzimniejszego (stycznia) $-0,4^{\circ}\text{C}$, a najcieplejszego (lipca) $18,8^{\circ}\text{C}$ (tab. 1). Amplituda roczna temperatury, będąca miarą stopnia kontynentalizmu klimatu, wynosi $19,2^{\circ}\text{C}$. Stawia to Wrocław wśród obszarów nizinnej części Polski, odznaczających się najniższymi wielkościami tego wskaźnika. Omawiane 20-lecie (1981–2000) należało jednak do najcieplejszych w ciągu ostatnich 100 lat, gdzie średnia temperatura wyniosła $8,5^{\circ}\text{C}$. W latach 1881–2000 do najcieplejszych należał rok 2000 ze średnią roczną temperaturą powietrza $10,4^{\circ}\text{C}$. W najchłodniejszych latach – 1940 i 1956 średnia roczna wyniosła $6,6^{\circ}\text{C}$. Największą zmiennością temperatury cechują się miesiące zimowe, od $+4,4^{\circ}\text{C}$ (I 1921 r.), do $-11,2^{\circ}\text{C}$ (I 1940 r.). Mniejsza była zmienność temperatury w miesiącach letnich. Najcieplejszy, $22,1^{\circ}\text{C}$, był lipiec 1994 r., zaś najchłodniejszy, $15,7^{\circ}\text{C}$, lipiec 1997 r.

Prawidłowości przebiegu rocznego temperatury powietrza w Polsce określane są przez 6 termicznych pór roku (tab. 2). We Wrocławiu zima

Rysunek 1. Róża wiatru: a) częstość [%] kierunku wiatru i średnie wielkości, b) prędkości wiatru [m/s], c) ciśnienia atmosferycznego [hPa], d) temperatury powietrza [$^{\circ}\text{C}$] we Wrocławiu w latach 1981–2000



termiczna rozpoczyna się przeciętnie 19 XII i trwa 65 dni; przedwiośnie – 22 II (34 dni); wiosna – 28 III (65 dni); lato – 1 VI i jest najdłuższą termiczną porą roku (92 dni); jesień rozpoczyna się 1 IX (68 dni), a przedzimy – 8 XI (41 dni). Okres wegetacyjny trwa przeciętnie 226 dni i należy do najdłuższych w Polsce.

Zachmurzenie jest elementem meteorologicznym, który w istotny sposób kształtuje warunki dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi. Stosunkowo mało we Wrocławiu jest dni pogodnych (przeciętnie 27 dni), podczas gdy dni pochmurne obserwowane są w ciągu 203 dni w roku. Suma roczna usłonecznienia, rozumiana jako czas, w którym do powierzchni ziemi dociera promieniowanie bezpośrednie, podobnie jak na całej Nizinie Śląskiej wynosi około 1500 godzin.

Opady atmosferyczne

Wrocław, otoczony od północy Wzgórzami Trzebnickimi, zaś od południa i południowego zachodu krawędzią Przedgórze Sudeckiego, położony w osi Niziny Śląskiej, należy do miast

o opadach niskich. Opady atmosferyczne występują w ciągu 167 dni w roku, zaś średnia suma roczna opadu z okresu 1901–2000 wynosi 583 mm. Podobne wielkości średnich sum wieloletnich kształtują się również w okolicach Wrocławia (Oborniki Śl. 622 mm, Ligota Piękna 584 mm, Brzeg Dolny 588 mm, Jelcz-Laskowice 568 mm, Kąty Wrocławskie 592 mm i Oława 594 mm). W stosunku do obszarów górskich, będących głównym źródłem zasilania rzek i potoków, opady we Wrocławiu stanowią niewiele więcej niż 50% ich wysokości. Zakres zmienności sum rocznych w stuleciu 1901–2000 charakteryzuje stosunkowo szeroki przedział od 318 do 892 mm. W stosunku do średniej wieloletniej (583 mm) wielkości te układały się w przedziale od –265 do 491 mm. Średnie sumy roczne o wielkościach 880 mm i 838 mm odpowiadają prawdopodobieństwu 1 i 2%. Z kolei prawdopodobieństwu 5 i 10% odpowiadają wielkości 776 i 724 mm (tab. 3). Wysokość opadu odpowiadająca wartości średniej wieloletniej jest równa prawdopodobieństwu 50% i teoretycznie może występować co drugi rok. Sumy roczne poniżej 500 mm dotyczą lat suchych i mogą występować z prawdopodobieństwem 90 do 100%.

Tabela 1. Średnie miesięczne, sezonowe i roczne wielkości głównych elementów klimatu we Wrocławiu w latach 1981–2000

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Z	W	L	J	R
T	-0,4	0,3	4,1	8,9	14,2	16,9	18,8	18,0	13,6	9,1	3,6	0,7	0,2	9,1	17,9	8,8	9,0
Tmax	4,2	5,5	7,8	12,3	16,1	19,1	22,1	21,5	16,5	12,3	6,8	3,3	4,3	12,1	20,9	11,9	12,3
Tmin	-9,0	-7,9	-0,8	6,4	10,5	14,7	16,1	15,9	10,8	6,9	-0,1	-4,3	-7,1	5,4	15,5	5,9	4,9
U	82,0	79,7	74,9	69,4	69,4	71,5	71,1	74,2	80,9	81,6	84,4	85,0	82,2	71,2	72,3	82,3	77,0
V	2,7	2,6	2,7	2,3	2,1	2,1	2,0	1,7	1,9	2,0	2,3	2,5	2,6	2,4	1,9	2,1	2,2
Z	7,6	7,6	7,7	7,4	7,0	7,5	7,0	6,7	7,4	7,1	8,0	8,1	7,8	7,4	7,1	7,5	7,4
SS	54,2	74,4	107,5	159,3	213,1	188,3	221,1	207,0	127,1	110,6	54,9	40,6	167,2	479,9	616,4	292,6	1556,0
R	31,0	30,0	40,7	36,5	52,7	76,6	79,5	65,7	46,0	32,9	37,7	38,0	99,0	129,9	221,8	116,6	567,3

T – temperatura [°C], Tmax – temperatura maksymalna [°C], Tmin – temperatura minimalna [°C], U – wilgotność względna [%], V – prędkość wiatru [m/s], Z – zachmurzenie [0-10], SS – usłonecznienie [godz.], R – opad [mm].

Tabela 2. Termiczne pory roku we Wrocławiu

	Zima	Przedwiośnie	Wiosna	Lato	Jesień	Przedzimy	Okres wegetacyjny
Średnia dobowa temperatura powietrza	≤ 0,0°C	0,1–5,0°C	5,1–14,9°C	≥ 15,0°C	5,1–14,9°C	0,1–5,0°C	≥ 5,0°C
Początek	19 XII	22 II	28 III	1 VI	1 IX	8 XI	28 III
Końiec	21 II	27 III	31 V	31 VIII	7 XI	18 XII	7 XI
Czas trwania (liczba dni)	65	34	65	92	68	41	226

Tabela 3. Wielkości średnich sum rocznych opadów o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia we Wrocławiu

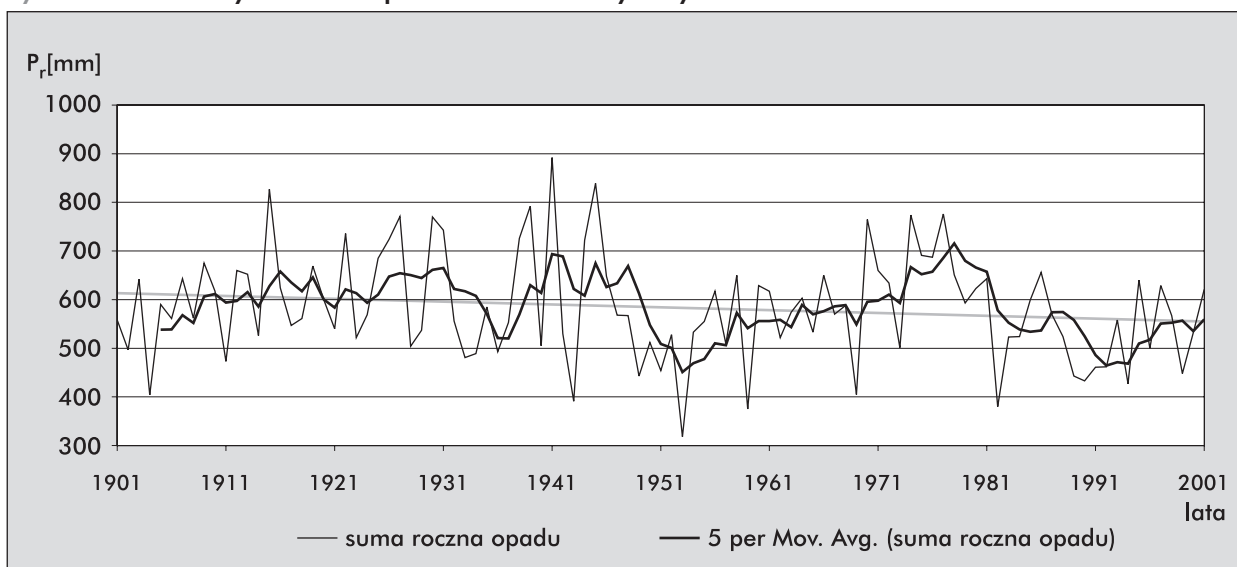
P _{p%}	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	70	90	95	99	99,9
[mm]	1016	977	923	880	838	776	724	668	570	516	450	422	375	332

Częstość występowania lat mokrych, tj. takich, w których roczne sumy opadów były wyższe od średniej sumy wieloletniej, jest niewielka, w granicach 26%. Oznacza to, że lata mokre zdarzają się przeciętnie co 4 lata. W rzeczywistości występują one seriami. Serie lat mokrych z opadami wyższymi niż 600 mm występowały w latach: 1907–1931, 1938–1946 i 1970–1981 (rys. 2). Potwierdzają to także odchylenia sum rocznych opadu od wielkości średniej wieloletniej. W wielu przypadkach badanego stulecia przekroczyły one ± 200 mm (rys. 3). Najwyższa suma roczna 892 mm wystąpiła we Wrocławiu w roku 1941. Warto podkreślić, że rok 1941 należał nie tylko do lat mokrych, ale także do śnieżnych i mroźnych.

Tylko dla półrocza zimowego tego roku suma opadów przewyższała o 17 mm sumę roczną roku suchego, którym był rok 1953 z sumą roczną opadu 318 mm. Częstość występowania sum rocznych przekraczających 800 mm jest niewielka. Oprócz roku 1941 wystąpiły one jeszcze dwukrotnie – w roku 1915 (827 mm) i w 1945 (839 mm). Sumy roczne z roku 1941, 1915 i 1945 odpowiadają prawdopodobieństwu $p=1$ i 2%. Seriami występują także lata suche. W stuleciu 1901–2000 okres niskich opadów przypada na lata 1947–1969 oraz 1982–2000, z wyjątkiem roku 1986, 1995 i 1997 (rys. 3).

We wszystkich rozpatrywanych latach miniego stulecia bardziej obfite w opady były półrocza

Rysunek 2. Sumy roczne opadów atmosferycznych we Wrocławiu w latach 1901–2000



Rysunek 3. Odchylenie sum rocznych opadów atmosferycznych od średniej sumy wieloletniej we Wrocławiu w latach 1901–2000

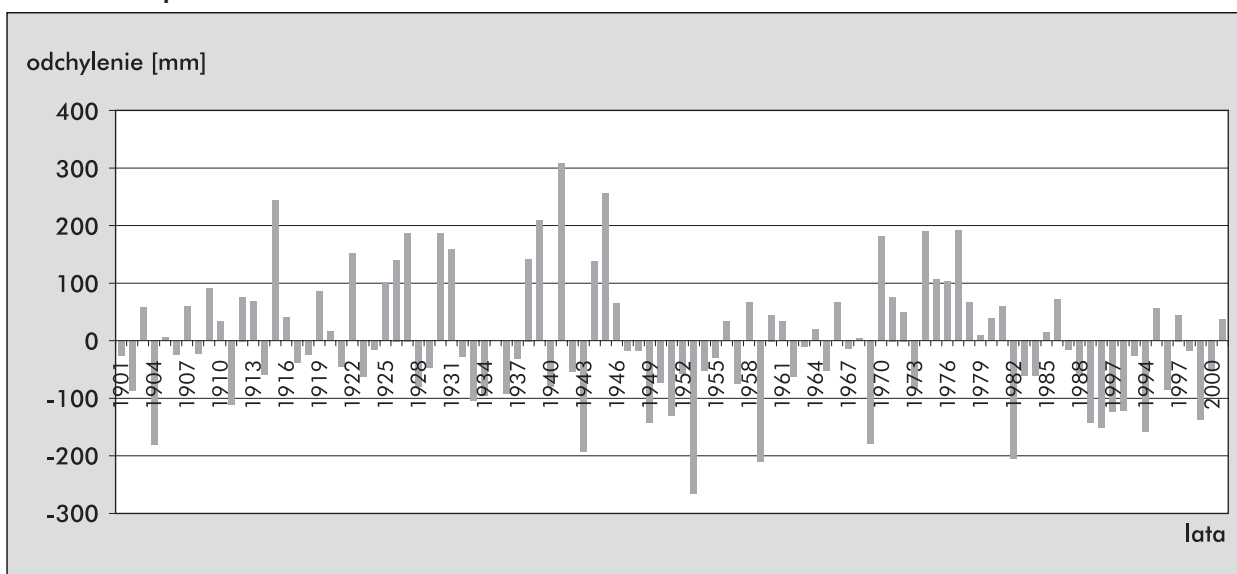


Tabela 4. Sumy roczne opadów we Wrocławiu z okresów wezbrań w latach 1902–1997

Rok	okres wystąpienia opadów	Dobowe sumy opadów dla kolejnych dni wezbrania, [mm]					Suma opadu z okresu wezbrania, [mm]	Stosunek ΣP wezbrania/ $\Sigma \bar{P}$ miesięcznej w %	H_{\max} w Miedoni, [cm]
		1	2	3	4	5			
1902	14-16.VI						80	114	928
1903	9-11.VII	3,1	22	22,8	-	-	47,9	58,4	937
1960	23-25.VII	0,5	11	0	-	-	11,5	14	790
1965	9-13.VI	9,7	0,1	5,5	0,8	5,2	21,3	30,4	766
1966	24-25.VII	25	10,7	-	-	-	35,7	43,5	772
1968	26-28.VII	4,8	22,3	1,4	-	-	28,5	34,8	751
1970	16-18.VIII	20,3	22,1	4,2	-	-	46,6	64,7	786
1972	20-21.VIII	12,7	2,2	0,7	-	-	15,6	21,7	798
1977	18-23.VIII	1,4	20,9	0,8	11,3	61	95,4	132,5	781
1977	31-31.VII / 1-3.VIII	1,2	24,9	20,7	44,6	0,9	92,3	128	700
1985	6-10.VIII	40	20	24	22	3	109	151	838
1997	3-7.VII	5,9	14,8	6,1	32,9	26,7	86,4	105,4	1045
1997	18-21.VII	49,5	44,5	16,8	0,4	-	111,2	135,6	730

letnie. Ich udział w sumie rocznej określono na 66%. Absolutnie najwyższą wartość 589 mm zanotowano w półroczu letnim w 1931 roku oraz 580 mm w roku 1927. Opady atmosferyczne należą więc do tych elementów klimatu, które w przebiegu rocznym i wieloletnim charakteryzują się dużą zmiennością. Obserwuje się także zróżnicowanie przestrzenne wysokości opadu w obrębie miasta. W tym przypadku oprócz charakteru opadu istotną rolę odgrywa struktura i charakter zabudowy miasta, a także kierunek przemieszczających się wilgotnych deszczowych mas powietrza. Interesującym przykładem może być rozkład opadu z 6.06.1971 roku. W czasie kilkugodzinnej ulewy w różnych dzielnicach miasta notowano: Biskupin 47,4 mm, Ogród Botaniczny 109,0 mm, Strachowice 47,8 mm, Stabłowice 63,9 mm, Psie Pole 48,1 mm, Oporów 34,6 mm, Karłowice 55,3 mm, Tarnogaj 63,2 mm i Czechnica 44,3 mm (Dubicki i in., 1994). Ponadto badania pola opadów wykazały, że istotny wpływ na wysokość opadu ma charakter zabudowy. Nad obszarami o zwartej zabudowie opady, w stosunku do terenów peryferyjnych, są wyższe o około 11%. Uprzywilejowanie zwartej zabudowy pod względem wysokości opadów występuje w ciągu całego roku. Bezpośredni wpływ miasta Wrocławia na opad obserwowany jest w strefie 10–15 km od granic miasta. Z badań Schmucka (1967) dotyczących rozkładu wysokości opadów wybranych epizodów, a także dla półroczy zimowego, letniego i roku na terenie miasta wyraźnie uprzywilejowanymi są dzielnice Starego Miasta, Śródmieścia oraz Krzyków i Karłowic. Oś najwyższych opadów przebiega z NE na SW. Wyraźnie niższe opady występują w dzielnicach wschodnich (Bis-

kupin, Swojec) a także zachodnich (Schmuck, 1967). W okresie 1946–1980, tj. latach, w których dekady 1951–1960, 1961–1970 i 1971–1980 należały do mokrych, wyróżniono 25 okresów opadów trwających 20 i więcej dni. Najdłuższy z nich trwał 39 dni (7 XII 1966 – 13 I 1967), a suma opadów, która wówczas wystąpiła wynosiła 75,0 mm. Najobfitszym w opady był 22-dniowy okres na przełomie czerwca i lipca 1980 roku (22 VI – 13 VII 1980 r.), w którym zanotowana wysokość opadów wynosiła 196,4 mm (Dubicka, 1994).

Sumy miesięczne, większe niż 100 mm, w skali roku, występują zaledwie w 6%. Takie zdarzenia występują najczęściej w miesiącach wezbrań i powodzi. Stąd też zdarza się wielokrotnie, że sumę miesięczną kształtują kilkudniowe intensywne opady typu burzowego bądź frontального o charakterze rozlewnym obejmującym znaczne obszary. Przykładem mogą być kilkudniowe opady powodziowe z czerwca 1902 roku, lipca i sierpnia 1970, a także sierpnia 1985 oraz lipca 1997 roku. Opady z okresu wezbrań i powodzi stanowiły od 105 do 135% miesięcznej normy (tab. 4).

Rozległy obszar dorzecza Odry, a w związku z tym znaczne przestrzenne zróżnicowanie wysokości opadu powoduje, że nie zawsze wysokim opadem w górnej części dorzecza odpowiadają wysokie opady we Wrocławiu. Miało to miejsce w latach 1903, 1960, 1965, 1966, 1968 i 1970, kiedy wysokie opady objęły głównie górne dorzecze Odry. Tam też uformowała się fala wezbrania. Opady we Wrocławiu były niewielkie, a ich sumy stanowiły tylko 30–70% normy miesięcznej (tab. 4).

Obfite i intensywne opady występują najczęściej w lipcu i sierpniu, następnie w czerwcu (tab. 4).

Tabela 5. Średnie dziesięcioletnie sumy opadu dla ciepłej i chłodnej pory roku oraz roku we Wrocławiu w latach 1901–2000

Okres	IV-IX [mm]	X-III [mm]	Rok [mm]
1901-1910	345,6	230,9	576,5
1911-1920	365	226	591
1921-1930	397	239	636
1931-1940	387	205	592
1941-1950	381	230	611
1951-1960	350	167	517
1961-1970	390	193	583
1971-1980	441	218	659
1981-1990	353	176	529
1991-2000	340	182	522

W stuleciu 1901–2000 miesiącem szczególnie mokrym był lipiec 1980 r., o sumie miesięcznej 214 mm. Wielkość ta stanowiła 36,1% sumy rocznej opadu. Wysoką sumę miesięczną 206 mm zanotowano także w czerwcu 1926 roku (Dubicka, 1991).

Przeciwnością okresów opadowych są serie dni bezopadowych. W skali roku występuje przeciętnie 6,6 takich okresów o długości 9 do 17 dni. Stanowiły one 87% wszystkich ciągów bezopadowych. Okresy bezopadowe, trwające od 18 do 28 dni, uznawane za umiarkowane posuchy, stanowiły tylko 12%, zaś długo trwające do 50 dni zdarzają się rzadko. Są to już długotrwale posuchy. Wiedza na temat tych dni jest ważna zarówno z punktu widzenia gospodarki wodnej, jak i tworzenia się susz. W ostatnich latach XX wieku dni bez opadu było stosunkowo dużo. Znalazło to swoje odbicie, w określonym dla Wrocławia malejącym trendzie opadów atmosferycznych (rys. 2). Generalnie opady z każdym rokiem są coraz niższe. Zmienił się ich charakter. Coraz częściej występują burze i opady ulewne, którym towarzyszą duże prędkości wiatru i wyładowania

atmosferyczne. Powstaje nowy typ zagrożeń często zbliżony do występujących w krajach śródziemnomorskich. Intensywne, typu burzowego opady powodują lokalne groźne wylewy połączone z silnym niszczącym wiatrem. Malejący trend opadów atmosferycznych uwidacznia się także w wielkościach średnich dziesięcioletnich (tab. 5). Jeśli do roku 1950 dekadowe wielkości wykazywały raczej tendencje rosnące, to od roku 1951 przy niewielkich wahaniach, z wyjątkiem lat 1971–1980, średnie sumy dziesięcioletnie układają się znacznie poniżej średniej wieloletniej (tab. 5).

Warto podkreślić, że malejący trend opadów oraz ujemny klimatyczny bilans wodny dotyczy całości obszarów nizinnych dorzecza Odry.

Częstość typów pogody

Do pełnej charakterystyki klimatu, z punktu widzenia człowieka wraz z jego działalnością oraz szaty roślinnej i zwierząt, istotna jest wiedza o jednoczesnym współdziałaniu elementów meteorologicznych. Przykładowo, informacja jak często pojawiają się dni z jednoczesnym wystąpieniem wysokiej temperatury powietrza, niskiej wilgotności, małego zachmurzenia, braku opadów atmosferycznych itd., a więc, ile było dni z określonymi typami pogody, odzwierciedla strukturę klimatu. We Wrocławiu najczęściej, w ciągu 250 dni w roku, występuje pogoda ciepła (tab. 6). Przeważa wówczas typ pogody pochmurnej bez opadu (141 dni w roku). Pogoda słoneczna jest obserwowana zaledwie w ciągu 26 dni. W typie pogody ciepłej ponad połowa dni (129 dni w roku) to pogoda umiarkowanie ciepła z temperaturą średnią dobową od 5,1 do 15,0°C. Znacznie rzadziej, w ciągu 32 dni, występuje pogoda chłodna (średnia temperatura dobową od 1,0 do 5,0°C). Sporadycznie pojawia się typ pogody gorącej, kiedy średnia dobowa przekracza 25,0°C.

Tabela 6. Średnia roczna liczba dni z poszczególnymi typami pogody we Wrocławiu (Woś, 1995)

Typ pogody	Słoneczna	Pochmurna	Z dużym zachmurzeniem	Bez opadu	Z opadem	Razem
Ciepła T _i , T _{max} , T _{min} > 0,0°C	26,2	146,0	78,0	140,6	109,6	250,2
Przymrozkowa T _{max} > 0,0°C, T _{min} ≤ 0,0°C	11,6	47,8	27,1	55,1	31,4	86,5
Mroźna T _i , T _{max} , T _{min} < 0,0°C	3,4	12,4	12,6	18,3	10,1	28,4
Razem	41,2	206,2	117,7	214,0	151,1	365,1

T – średnia temperatura dobową, T_{max} – temperatura maksymalna, T_{min} – temperatura minimalna.

Odmienne cechy nosi typ pogody przymrozkowej, do którego zaliczono dni, w których temperatura maksymalna powietrza osiągnęła wielkość powyżej $0,0^{\circ}\text{C}$, a temperatura minimalna była ujemna. Takich dni jest przeciętnie 86 w roku. Około 30% z nich to dni z pogodą przymrozkową bardzo chłodną (średnia dobowa od $0,1$ do $5,0^{\circ}\text{C}$).

Najrzadziej, przeciętnie w ciągu 28 dni w roku, występuje typ pogody mroźnej, kiedy temperatura powietrza w ciągu całej doby jest ujemna.

Największym podobieństwem pod względem częstości typów pogody odznaczają się wiosna i jesień, przy czym wiosną częściej występuje typ pogody przymrozkowej. Lato cechuje się najmniejszą różnorodnością pogód. Spośród 3 typów pogody cieplej dominuje pogoda bardzo ciepła (średnia temperatura dobowa od $15,1$ do $25,0^{\circ}\text{C}$), występująca w ciągu 67 dni. W zimie przeważa typ pogody przymrozkowej, a dużą zmienność warunków pogodowych w tym sezonie odzwierciedlają, pojawiające się z taką samą częstością, typy pogody cieplej i pogody mroźnej.

Charakterystyka klimatyczna kwartałowych pór roku

Struktura sezonowa klimatu Wrocławia, zagadnienie ważne m.in. dla praktycznej działalności człowieka, zostanie przedstawiona poprzez analizę wielkości poszczególnych elementów i stanów pogody według kalendarzowych pór roku. Dokumentują ją kompleksowe róże wiatru opracowane dla następujących elementów klimatu: prędkości wiatru, ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza. Przykładowo, termiczna róża wiatru pozwala określić temperaturę powietrza napływającego z danego kierunku w odniesieniu do wielkości przeciętnej.

Zima – to pora charakteryzująca się najwyższym ciśnieniem atmosferycznym, kształtowanym przez układy wysokiego ciśnienia dominujące wówczas nad wschodnią Europą. Pora ta odznacza się największą zmiennością ciśnienia w ciągu roku, wahającą się od $1031,1$ hPa (10 XII 1991) do $953,6$ hPa (26 II 1989). Oddziaływanie, ciepłych w tej porze roku, wód Oceanu Atlantyckiego i rozległego układu niskiego ciśnienia, zwanego Niżem Islandzkim, przejawia się przewagą kierunków wiatru z sektorów zachodnich i południowych [CD]¹. Niezwykle rzadko natomiast obserwowane są kierunki wiatru z sektora pół-

nocnego. Najczęstszym kierunkom wiatru towarzyszy napływ mas powietrza polarno-morskich, ciepłych i wilgotnych. Kształtują one wyższe niż przeciętnie temperatury powietrza, przekraczające przy kierunkach południowo-zachodnich 4°C . Masy napływające z kierunków południowych i zachodnich, przepływając ponad barierę orograficzną Sudetów ogrzewają się i stają się suchsze, przy czym w górach obserwowane są wiatry fenowe, a na ich przedpolu – zjawiska fenopochodne. We Wrocławiu występują one przeciętnie w ciągu 18 dni, a ich wizualnym wskaźnikiem są obserwowane chmury soczewkowate piętra średniego (*Altostratus lenticularis*), oraz silny, porywisty i ciepły wiatr. W takiej sytuacji, w dniu 21 II 1990 r., temperatura maksymalna powietrza osiągnęła $20,1^{\circ}\text{C}$.

Intensywne zimowe odwilże, charakterystyczne dla obszaru Polski i Europy, pojawiają się najczęściej pod koniec stycznia (23–26 I) i na początku lutego (6–7 II) oraz w trzeciej dekadzie grudnia (24–26 XII). Ten ostatni okres, charakteryzujący się ponad 70-procentowym prawdopodobieństwem wystąpienia, nosi nazwę odwilży bożonarodzeniowej.

Największe ochłodzenia związane są z napływem mas arktycznych w układach wysokiego ciśnienia z sektorów północnych i wschodnich. Najniższa temperatura powietrza, związana z adwekcją takich mas powietrza, w dniu 8 I 1985 wyniosła $-27,6^{\circ}\text{C}$. Cechą charakterystyczną zimy kwartałowej jest dodatnia temperatura powietrza ($+0,2^{\circ}\text{C}$), duże zachmurzenie i małe usłonecznienie. Ta pora roku odznacza się także najmniejszymi opadami atmosferycznymi, stanowiącymi zaledwie 18% sumy rocznej. Pokrywa śnieżna utrzymuje się przeciętnie w ciągu 35 dni.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że we Wrocławiu w omawianym 20-leciu ponad połowa zim odznaczała się dodatnią temperaturą powietrza, osiągając podczas 6 najcieplejszych kwartałów ponad $2,0^{\circ}\text{C}$.

Wiosna – odznacza się najniższym ciśnieniem atmosferycznym, najczęściej też pojawia się, napływające z północy powietrze arktyczne. Adwekcji tej chłodnej i suchej masy towarzyszy pogoda zmienna, z małym zachmurzeniem, znacznymi ochłodzeniami i występowaniem, często groźnych dla rolnictwa, późnych, majowych przymrozków. Wiosną, częściej niż w pozostałych sezonach, obserwowane są kierunki wiatru ze wschodu [CD]. Pojawiają się one analogicznie często jak

¹ Patrz załącznik graficzny na CD.

kierunki zachodnie. Wiatr wschodni odznacza się jednak znacznie mniejszą prędkością, nie przekraczającą przeciętnie 2 m/s. Charakterystyczne dla tej pory roku są krótkie, kilkakrotnie powtarzające się okresy częstszego napływu powietrza z sektora południowego. Towarzyszą im wyższe niż przeciętne temperatury, osiągające nawet 12,0°C. Prawidłowością termiczną sezonu wiosennego jest okres „nadmiernego ciepła” od 7 do 9 III oraz od 2 do 9 IV. Nie ujawnia się natomiast w okresie od 12 do 15 V, znany, między innymi w pogodoznawstwie ludowym, majowy sezon chłodu, tzw. zimni święci (ogrodnicy). Charakterystyczną cechą wiosny jest duża zmienność temperatury powietrza, którą odzwierciedlają ekstrema temperatury: +31,1°C (17 V 2000) i -15,4°C (3 III 1986).

Średnia temperatura wiosny wynosi 9,1°C. Najcieplejsza była wiosna 2000 r. (11,0°C), a najchłodniejsza, zaledwie 6,5°C, była wiosna 1987 r. Wiosna, obok lata jest najbardziej słoneczną porą roku, jest cieplejsza od jesieni i wyróżnia się większą liczbą dni gorących.

Lato – decydujący wpływ na kształtowanie się pogody, przy znacznie słabszym Niżu Islandzkim, wywiera Wyż Azorski. Wzmaga to napływ wilgotnego, stosunkowo chłodnego powietrza morskiego z zachodu i północnego zachodu, a więc znad Atlantyku. Przejawia się to powtarzającymi się ochłodzeniami, zwłaszcza w czerwcu i lipcu, określanymi jako chłodne lato albo „monsun europejski” (od 21 VI do 22 VII). Przeważającym z tego sektora kierunkom wiatru towarzyszą największe prędkości. Kierunki wiatru z sektora wschodniego i związany z tym napływ mas powietrza kontynentalnego kształtują wyższe niż przeciętnie temperatury powietrza, osiągające 20°C [CD].

Sezon letni odznacza się najmniejszą prędkością wiatru i najmniejszym zachmurzeniem. Najbardziej pogodnym miesiącem jest sierpień, charakteryzujący się najkorzystniejszymi warunkami usłonecznienia. Średnia temperatura powietrza w lecie wynosi 17,9°C. Najcieplejszy w 20-leciu sezon letni wystąpił w 1992 r., osiągając 20,4°C, a najchłodniejszy w 1984 r. – 16,3°C. Najcieplejsze letnie dni, kiedy temperatura maksymalna we Wrocławiu osiągnęła 37,9°C (31 VIII 1994) były związane z napływem z południowego wschodu powietrza zwrotnikowego. Dni gorących (T_{max} 25°C) w lecie występuje przeciętnie 40.

Opady letnie mają charakter krótkotrwały, o dużej intensywności, a sumy dobowe mogą przekroczyć 57 mm (6 VII 1999). Sezon ten odznacza się najwyższą sumą opadów, które stanowią około 40% sumy rocznej.

Jesień – pod względem kierunków wiatru wykazuje wyraźne podobieństwo do sytuacji typowej dla kwartału zimowego, zaś częstość słabego, nie przekraczającego 2 m/s, wiatru (przeciętnie 48 dni) jest prawie tak samo duża jak w lecie [CD]. Najbardziej uprzywilejowane pod względem termicznym są, podobnie jak w zimie, kierunki napływu mas z południowego zachodu. Zjawiska fenopochodne obserwowane są podczas 24 dni, tj. znacznie częściej niż w pozostałych sezonach. Chłodniejsze, o ponad 2°C niż przeciętnie, sytuacje pogodowe związane są z północno-wschodnim kierunkiem wiatru.

Spśród miesięcy jesiennych wyróżnia się październik z częstym występowaniem pogody cieplej o małym zachmurzeniu, bez opadu, określanej jako kompleks pogody „złotej polskiej jesieni” lub „babiego lata” (8–17 X). Przy napływie mas powietrza zwrotnikowego w dniu 4 X 1985 r. temperatura maksymalna osiągnęła 26,8°C. W przeciwieństwie do października listopad należy do miesięcy o największym zachmurzeniu i najczęstszych opadach oraz odznacza się występowaniem w połowie miesiąca adwekcji chłodu określanej jako „oziębienie jesiennie”.

Średnia temperatura powietrza w tym sezonie wynosi 8,8°C, najcieplejsza była jesień w 2000 r. (10,4°C), a najchłodniejsza w 1993 r. (7,1°C). Typ pogody przymrozkowej jesienią występuje rzadziej niż wiosną. Pokrywa śnieżna jesienią jest obserwowana przeciętnie w ciągu 3 dni.

Mezoklimat miejski

Klimat jest jednym z elementów środowiska najbardziej wrażliwych na zmiany w sposobie zagospodarowania i użytkowania terenu. Przeobrażenia środowiska klimatycznego współczesnego miasta pod wpływem urbanizacji i industrializacji przejawiają się w zmianach charakterystyk morfologicznych i fizycznych, które w konsekwencji powodują zmiany warunków bilansu radiacyjnego, cieplnego i wodnego oraz prowadzą do powstania, obejmujących obszary miejskie, wysp: ciepła, zanieczyszczeń powietrza, opadów atmosferycznych, a także zmian w lokalnej cyrkulacji powietrza (tab. 7). Wobec powyższych faktów nie może budzić zdziwienia postępujący równoległe do procesów urbanizacji wzrost zainteresowania specyfiką klimatu miast. Badania te mają długą, blisko 170-letnią historię.

Aby ocenić należycie rozmiar zmian w środowisku klimatycznym, musimy uzmysłowić sobie, jak wielką ingerencją w naturalne środowisko jest aglomeracja miejska. Tysiące kilometrów kwa-

Tabela 7. Wpływ miasta na elementy klimatu (Landsberg, 1981)

Element klimatu	Stopień zmienności
Substancje zanieczyszczające:	
• pyłowe	do 10 razy większe
• gazowe	5 – 25 razy większe
Promieniowanie słoneczne:	
• całkowite	0 – 20% mniejsze
• ultrafioletowe	5 – 30% mniejsze
Uśłonecznienie	5 – 15% mniejsze
Zachmurzenie	5 – 10% większe
Opady:	
• suma roczna	5 – 15% więcej
• śniegu w centrum	5 – 10% mniejsze
• burze	10 – 15% więcej
Temperatura:	
• średnia roczna	0,5 – 3,0°C większa
Wilgotność względna:	
• średnia roczna	5 – 10% mniejsza
Prędkość wiatru:	
• średnia roczna	20 – 30% mniejsza

dratowych sztucznych powierzchni, o zwiększonej pojemności i przewodnictwie cieplnym, umożliwiających łatwiejsze magazynowanie i wymianę energii słonecznej. Te same powierzchnie impregnują miasto uniemożliwiając wsiąkanie w podłoże wody opadowej, która odprowadzana jest systemami kanalizacji. Z drugiej strony, znaczny wpływ na bilans wodny wywiera dostawa wody poprzez wodociągi i w procesach irygacyjnych. Centra miast – obszary zwartej, niejednokrotnie bardzo wysokiej zabudowy, w istotny sposób modyfikują intensywność przepływu powietrza, warunkując tym samym wymianę ciepła i pary wodnej. Jeżeli do tego dodamy emisję zanieczyszczeń pyłowych i gazowych wpływającą na bilans promieniowania, a także emisję ciepła powstającą w procesach spalania paliw w trakcie działalności przemysłowej, transportowej i komunalnej, otrzymamy w rezultacie środowisko, pod względem energetyczno-hydrologicznym, kompletnie odmienne od obszarów naturalnych czy też użytkowanych rolniczo. Z kolei, skala i obszar oddziaływania wymienionych czynników zależą w bezpośredni sposób od układu urbanistycznego, architektonicznego i ekonomicznego miasta. W efekcie na terenie miast mamy do czynienia z mozaiką mikroklimatów, a poszczególne organizmy miejskie mogą odznaczać się znacznymi różnicami, szczególnie jeżeli dodatkowo położone są w odmiennych strefach klimatycznych bądź występuje modyfikujący wpływ takich czynników środowiskowych, jak rzeźba terenu i obecność dużych zbiorników wodnych. Jednakże podobień-

stwa w kierunku i skali zmian pozwalają wydzielić klimat obszarów zurbanizowanych jako charakteryzujący się unikalnymi i odmiennymi cechami od klimatu obszarów niezurbanizowanych.

Miejska wyspa ciepła

Jednym z najbardziej typowych, a zarazem spektakularnych efektów zmian klimatycznych w obszarach zurbanizowanych jest zjawisko wzrostu temperatury w mieście w stosunku do terenów otaczających, znane jako miejska wyspa ciepła (MWC). MWC jest kompleksowym wykładnikiem oddziaływania czynników antropogenicznych w środowisku miejskim, gdzie silnie przekształcona powierzchnia oraz uwalnianie ciepła w procesach przemysłowych i komunalnych wywołują szereg modyfikacji warunków meteorologicznych. We Wrocławiu, stosownie do jego wielkości, struktury i uprzemysłowienia, MWC jest zjawiskiem częstym i potęguje przestrzenne zróżnicowanie warunków klimatycznych i bioklimatycznych. W swojej klasycznej, zależnej od różnic w bilansie energetycznym terenów miejskich i pozamiejskich, postaci, MWC występuje nocą podczas bezchmurnej i bezwietrznej pogody. W takich warunkach meteorologicznych należy oczekiwać największych różnic temperatury powietrza pomiędzy obszarem zurbanizowanym i terenami otaczającymi.

Program badań klimatu Wrocławia realizowany jest przez Zakład Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego od roku 1997. W jego ramach prowadzone są systematyczne pomiary elementów meteorologicznych przy wykorzystaniu automatycznych stacji meteorologicznych oraz metodą patrolową, za pomocą mobilnych stacji meteorologicznych. Stacje automatyczne zostały zlokalizowane w różnych typach zabudowy i w różnej odległości od centrum miasta:

- obszar peryferyjny, niezabudowany reprezentuje stacja I, ulokowana w zachodniej części miasta, przy ul. Granicznej, pomiędzy osiedlami Strachowice i Jerzmanowo, położona w odległości około 12 km od centrum. Jest to jednocześnie stacja referencyjna – dane z tej stacji przyjęte są jako punkt odniesienia w analizie MWC;
- obszar niskiej zabudowy jednorodzinnej z dużym udziałem zieleni reprezentowała w latach 1997–1999 stacja II, położona przy ul. Parafialnej na Ołtaszynie (ok. 5,5 km od centrum). Od roku 1998 pomiary w podob-

Tabela 8. Intensywność wyspy ciepła we Wrocławiu w latach 1997–2000 jako różnica temperatury powietrza [°C] pomiędzy obszarami zabudowanymi (stacje II, III, IV – opis w tekście) a stacją peryferyjną (stacja I)

	Rok	Lato	Zima	Rok	Lato	Zima	Rok	Lato	Zima
	stacja IV – stacja I			stacja III – stacja I			stacja II – stacja I		
PRZECIĘTNE									
doba	1,0	1,1	0,9	0,7	0,8	0,5	0,3	0,4	0,1
dzień	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,1
noc	1,6	2,3	1,1	1,1	1,6	0,6	0,4	0,6	0,1
MAKSYMALNE									
dzień	6,4	6,4	5,9	6,5	6,0	3,6	6,4	3,6	3,1
noc	8,4	7,8	8,4	9,0	7,4	4,9	6,2	3,9	4,1
MINIMALNE									
dzień	-3,7	-3,6	-2,1	-4,9	-4,1	-2,9	-4,4	-3,0	-2,8
noc	-3,9	-1,5	-3,6	-3,8	-1,9	-3,6	-4,8	-2,3	-3,9

nym typie zabudowy prowadzone są na Biskupinie przy ul. Kosiby;

- c) stację III ulokowano wewnątrz osiedla mieszkaniowego Gaj przy ul. Orzechowej o wysokiej (5–11 kondygnacji) zabudowie, w odległości ok. 3,5 km od centrum;
- d) stację centralną (IV) posadowiono wśród 4–5 kondygnacyjnej, zwartej zabudowy przy ul. Teatralnej.

Pomiary patrolowe, służące analizie przestrzennej zjawisk meteorologicznych, prowadzone są za pomocą mobilnych stacji meteorologicznych, umożliwiających pomiary temperatury i wilgotności powietrza w sposób zdalny podczas ruchu pojazdu.

Intensywność i częstość MWC

Najczęściej stosowaną miarą intensywności

wyspy ciepła jest różnica temperatury pomiędzy obszarem zabudowanym a niezabudowanym. Dla potrzeb analizy MWC we Wrocławiu jako punkt odniesienia przyjęto dane ze stacji I.

Średnie roczne natężenie MWC w najcieplejszym, centralnym obszarze miasta wynosi 1,0°C i zmienia się od 0,5°C w dzień do 1,6°C w nocy (tab. 8). W zabudowie wysokiej i willowej średnie wielkości wynoszą odpowiednio 0,7 i 0,3°C. Wyspy ciepła o największej intensywności należy oczekiwać podczas letnich nocy: od 2,3°C w centrum, przez 1,6°C w zabudowie wysokiej do 0,6°C w zabudowie jednorodzinnej.

W świetle badań prowadzonych w miastach Europy i Ameryki Północnej, maksymalną intensywność MWC w mieście o liczbie ludności ok. 640 tys. należy szacować na 7,6°C. Z bezpośrednich pomiarów wynika, iż natężenie MWC we

Tabela 9. Częstość występowania [%] wyspy ciepła we Wrocławiu w latach 1997–2000 jako frekwencja różnic temperatury powietrza (dT) pomiędzy obszarami zabudowanymi (stacje II, III, IV – opis w tekście) a stacją peryferyjną (stacja I)

	Rok	Lato	Zima	Rok	Lato	Zima	Rok	Lato	Zima
	stacja IV – stacja I			stacja III – stacja I			stacja II – stacja I		
DZIEŃ									
< 0,0	19,1	25,9	8,7	29,7	31,8	18,4	31,6	33,4	31,2
0,0-0,5	38,1	33,2	37,5	42,7	38,2	50,1	45,4	38,7	54,5
> 0,5	42,8	40,9	53,8	27,6	30,0	31,5	23,0	27,9	14,3
≥ 1,0	17,3	20,4	15,4	11,2	14,1	9,8	7,9	10,7	3,8
≥ 3,0	2,0	2,6	0,9	1,1	1,4	0,4	0,2	0,1	0,1
≥ 5,0	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
NOC									
< 0,0	3,8	2,0	5,1	10,8	6,2	16,8	26,5	18,4	36,1
0,0-0,5	19,1	10,5	26,0	28,9	18,7	36,8	41,6	33,4	44,3
> 0,5	77,1	87,5	68,9	60,3	75,1	46,4	31,9	48,2	19,6
≥ 1,0	50,6	71,8	33,4	38,6	55,8	22,9	18,0	29,3	10,3
≥ 3,0	15,5	29,2	5,9	9,9	17,1	1,6	1,1	1,3	0,7
≥ 5,0	3,8	7,4	1,8	1,7	2,1	0,0	0,1	0,0	0,0

Wrocławiu może sięgać $9,0^{\circ}\text{C}$ i może wystąpić nocą praktycznie w każdej porze roku.

Sytuacje, w których obszar miasta jest chłodniejszy niż tereny niezabudowane (tzw. jezioro chłodu) wiążą się w przeważającej mierze z porą dnia, tuż po wschodzie słońca, kiedy to tereny pozamiejskie ogrzewają się szybciej od osłoniętych terenów zabudowanych. Ekstremalne stany „jeziora chłodu” należy jednak wiązać z czynnikiem adwekcyjnym, kiedy to dochodzi do wymiany powietrza podczas napływu świeżej masy powietrza o odmiennej charakterystyce termicznej.

Analiza częstości występowania MWC potwierdza uprzywilejowanie termiczne centrum miasta podczas letnich nocy, kiedy to aż 98% przypadków stanowią wielkości dodatnie analizowanych różnic (tab. 9).

Wyspa ciepła o dużej intensywności ($33,0^{\circ}\text{C}$) w lecie występuje znacznie częściej niż zimą, stanowiąc w nocy 29,2% przypadków w centrum, 17,1% w zabudowie wysokich osiedli i tylko 1,3% w zabudowie willowej. Sytuacje, w których występuje MWC o bardzo dużej intensywności ($35,0^{\circ}\text{C}$) nocą w lecie, stanowią 7,4% przypadków, a nie są obserwowane w dzielnicy willowej. Pora dzienna charakteryzuje się mniejszym rozproszeniem różnic temperatury i mniejszą częstością dużych różnic.

Rozkład częstości MWC w lecie i zimą prowadzi do wniosku o termicznym uprzywilejowaniu obszarów intensywnej zabudowy w sezonie letnim, przy czym w porze cieplej, odznaczającej się niższymi prędkościami wiatru i mniejszym zachmurzeniem, dominującą rolę pełni możliwość akumulacji i wymiany energii w systemie sztuczna powierzchnia czynna – atmosfera. Zimą, przy mniej korzystnych warunkach meteorologicznych, znaczącą rolę pełni emisja ciepła sztucznego, szczególnie w obszarach centrum, gdzie jej strumień jest ponad 3,5-krotnie większy niż w obszarze rozpatrywanej jednorodzinnej zabudowy willowej.

Dobowy i roczny cykl MWC

Analiza przebiegu dobowego intensywności MWC według wielkości godzinnych umożliwiła określenie przeciętnych terminów jej pojawiania się i zaniku oraz tempa nagrzewania się i wychładzania miasta w stosunku do terenów niezabudowanych. Dobowy rytm intensywności wyspy ciepła zaznacza się w skali całego roku (rys. 4). W porze cieplej szybki wzrost jej intensywności występuje od godz. 18 do 21. Maksimum intensywności wynosi przeciętnie ponad 2°C i przypada między godz. 22 a 24. Najwyższe wielkości MWC notowane są w maju w godzinach nocnych

(23–4) przeciętnie ponad $2,6^{\circ}\text{C}$, zaś maksimum drugorzędne zarysowuje się w sierpniu. Wyraźny spadek intensywności następuje od godz. 6, osiągając minimum o godz. 9, kiedy uprzywilejowanie termiczne miasta jest małe (do $0,4^{\circ}\text{C}$) bądź dochodzi do wytworzenia się „jeziora chłodu”, szczególnie w lipcu i sierpniu, pomiędzy godz. 8 a 11.

W sezonie chłodnym MWC jest słabiej wykształcona. Jej wyraźny rozwój następuje w godz. od 16 do 18, osiągając największą intensywność pomiędzy godz. 19 a 7. W ciągu trzynastu godzin nocnych centrum miasta jest przeciętnie cieplejsze o $1,2^{\circ}\text{C}$, zaś w godzinach południowych nadwyżka ciepła wynosi $0,4^{\circ}\text{C}$. Mniejszą amplitudę dobową MWC w tej porze roku, pomimo znaczniejszej emisji ciepła antropogenicznego, która w sezonie grzewczym we Wrocławiu jest czterokrotnie większa niż poza tym sezonem, kształtują głównie warunki meteorologiczne – większa prędkość wiatru i duże zachmurzenie.

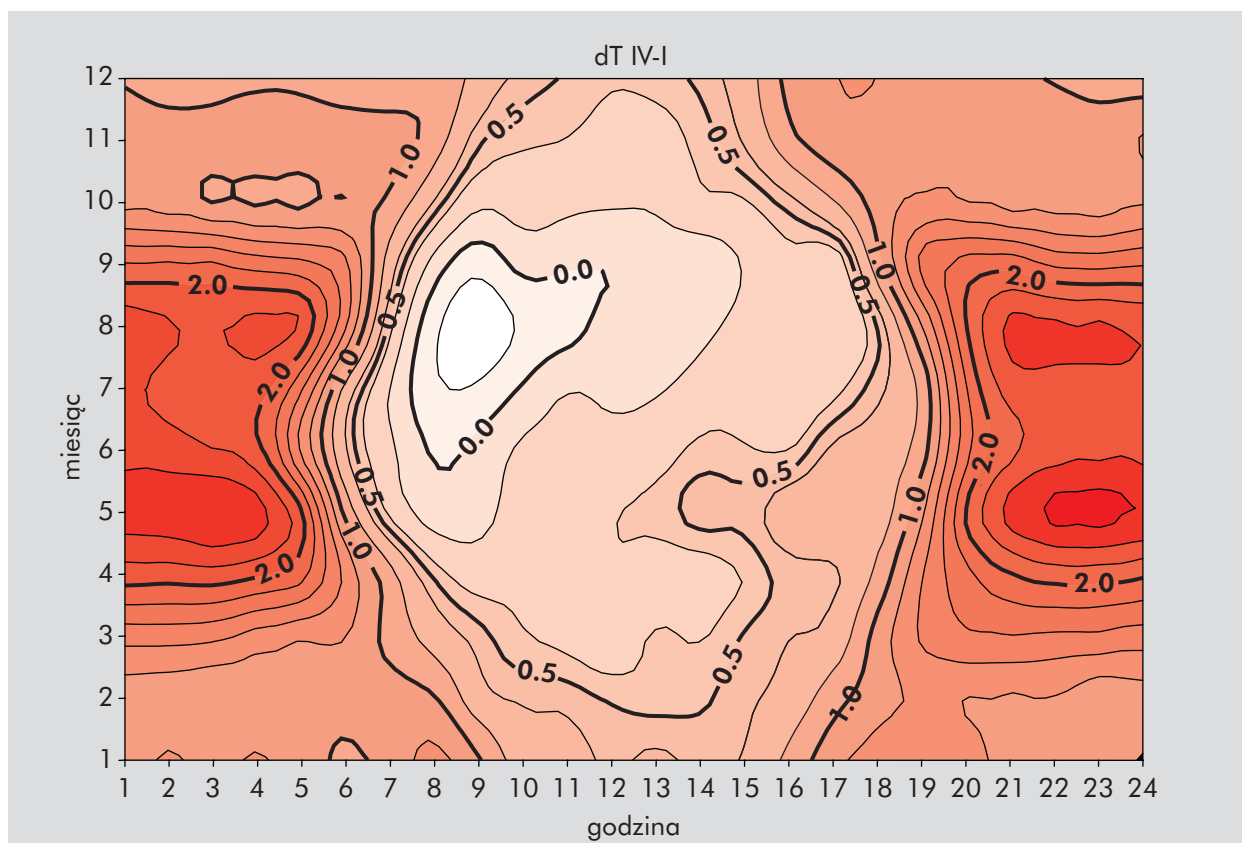
W przebiegu rocznym, według wielkości średnich miesięcznych, maksymalna intensywność wyspy ciepła występuje w maju, osiągając $1,3^{\circ}\text{C}$, zaś minimalna w październiku i grudniu $0,8^{\circ}\text{C}$.

Słabo zaznaczone uprzywilejowanie termiczne miasta ($dT_{IV-I} < 0,5^{\circ}\text{C}$) jest cechą charakterystyczną dziennej pory doby, tj. w godz. 11–15 w sezonie chłodnym, zaś w godz. 8–18 w półroczu ciepłym. W efekcie największa intensywność wyspy ciepła występuje w lecie, osiągając przeciętnie $2,0^{\circ}\text{C}$, zaś w zimie $1,1^{\circ}\text{C}$. Uprzywilejowanie termiczne Wrocławia w sezonie letnim potwierdzają wyniki badań prowadzonych w innych miastach na świecie.

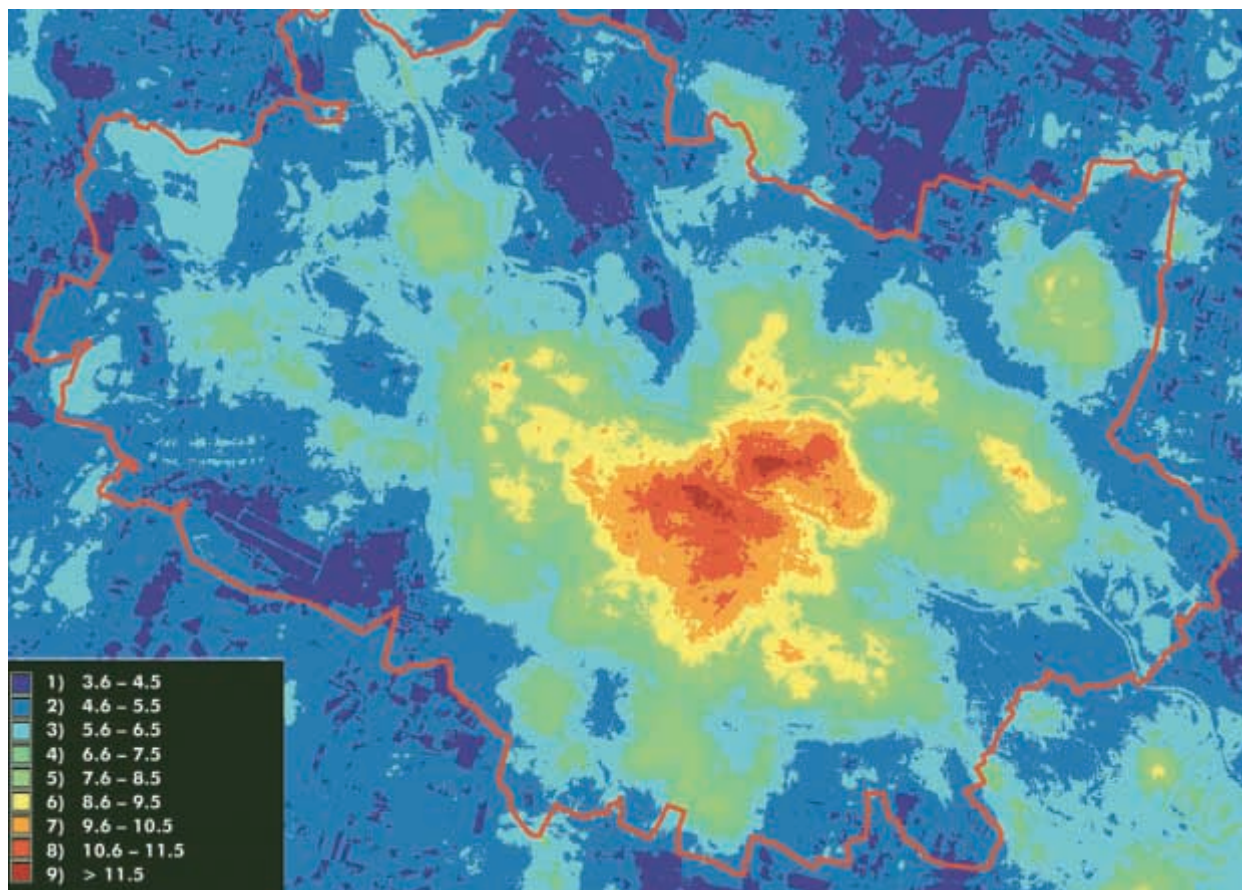
Warunki meteorologiczne a intensywność wyspy ciepła

O intensywności i dynamice MWC w cyklu dobowym, obok takich czynników, jak charakter podłoża i struktura zabudowy oraz odległość od centrum miasta, decydują warunki pogodowe. Analiza związku różnic godzinnych wielkości temperatury powietrza pomiędzy typem zwartej zabudowy i obszarem peryferyjnym a zachmurzeniem i prędkością wiatru wykazała ich zróżnicowanie w zależności od pory doby i pory roku. Generalnie, w skali całego roku, bez względu na porę doby, największa intensywność MWC ($dT_{IV-I} > 3,0^{\circ}\text{C}$) występuje w warunkach małego zachmurzenia (poniżej $3/8$ stopnia) i małej prędkości wiatru (poniżej 2 m/s). Wzrost prędkości wiatru powyżej 5 m/s , bez względu na stopień zachmurzenia, powoduje zanik lub znaczną redukcję intensywności MWC. Wyspa ciepła o umiarkowanej

Rysunek 4. Cykl dobowy i roczny miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu w latach 1997–2000



Rysunek 5. Miejska wyspa ciepła [°C] we Wrocławiu w dniu 22 V 2001, godz. 23:00 GMT



intensywności ($dT_{IV-I} > 1,0^{\circ}\text{C}$) istnieje natomiast jeszcze przy całkowitym zachmurzeniu, jeśli prędkość wiatru nie przekracza 1 m/s.

Bardzo wyraźna jest reakcja intensywności MWC na zachmurzenie ogólne i zachmurzenie piętra dolnego, które najsilniej oddziałuje na zmniejszenie promieniowania efektywnego. Wyspa ciepła, wprawdzie słabsza, może istnieć także przy całkowitym zachmurzeniu piętra dolnego. Jej intensywność, niezależnie od stopnia zachmurzenia, wynosi przeciętnie 1°C . Uprzywilejowanie termiczne miasta ($dT_{IV-I} > 0,5^{\circ}\text{C}$) w tych warunkach zachmurzenia jest obserwowane w sytuacjach, kiedy prędkość wiatru nie przekracza 3–4 m/s. Jeśli niezależnie od stopnia zachmurzenia piętra dolnego intensywność wyspy ciepła wynosząca 1°C utrzymuje się przy prędkościach wiatru rzędu 1 m/s, to przy ogólnym stopniu zachmurzenia analogiczna wielkość jej intensywności jest zachowana przy prędkości wiatru 3 m/s. Oznacza to, że nie tylko ogólny stopień zachmurzenia, lecz przede wszystkim chmury piętra dolnego w sposób zasadniczy wpływają na redukcję intensywności MWC. Pojemność cieplna miasta oraz dodatkowe źródła ciepła antropogenicznego są tak znaczące, że nawet przy całkowitym zachmurzeniu istnieje wyraźnie zaznaczona wyspa ciepła.

Pozioma struktura MWC

Z typowym przykładem wystąpienia MWC o bardzo dużej intensywności mieliśmy do czynienia w nocy z 22 na 23.05.2001 r. Wtedy to, w warunkach antycyklonalnej sytuacji synoptycz-

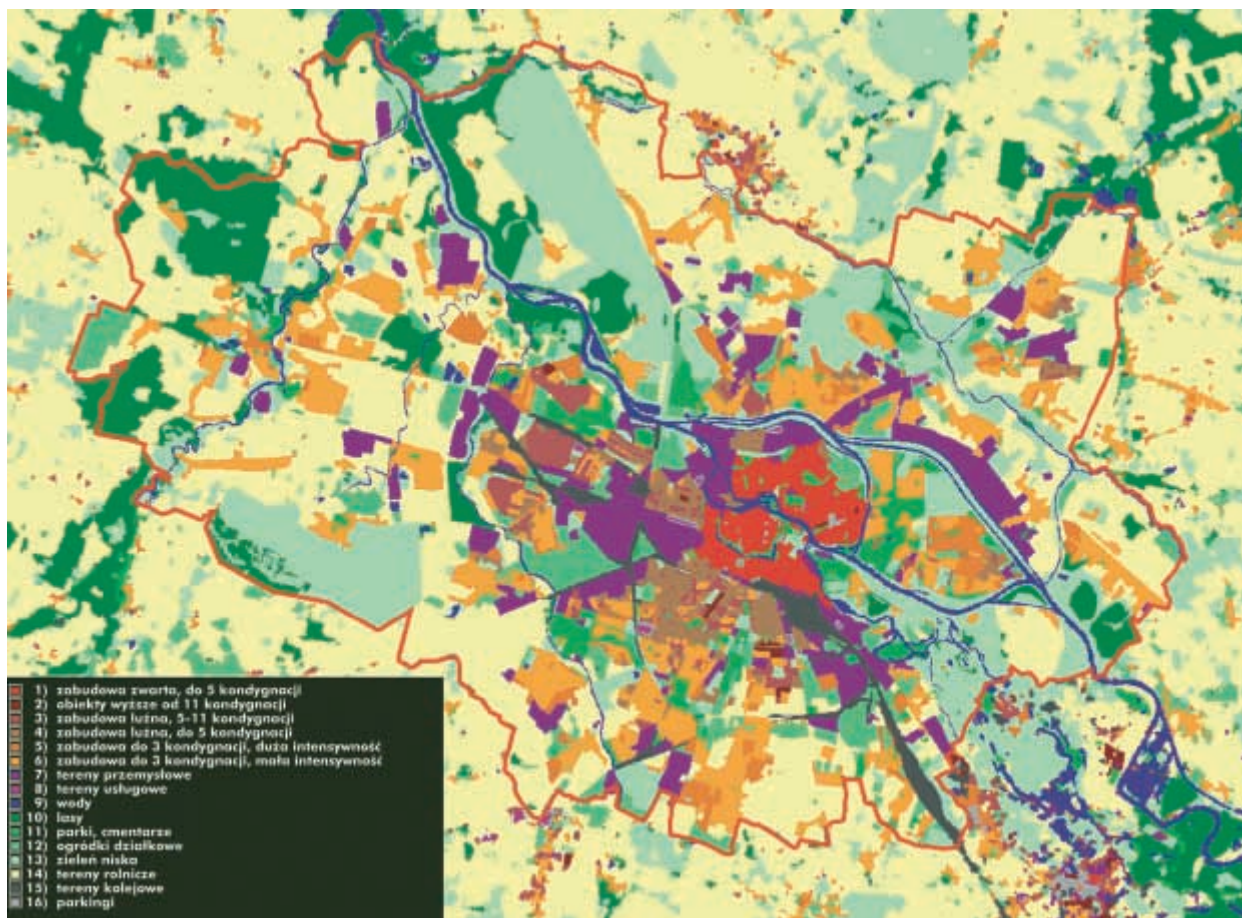
nej, przy braku zachmurzenia i słabym wietrze, doszło do znacznej modyfikacji pola temperatury we Wrocławiu. Intensywność MWC o godzinie 23.00 czasu GMT, a więc około 3 godziny po zachodzie Słońca, w najcieplejszej, centralnej części miasta osiągnęła $8,7^{\circ}\text{C}$ (rys. 5). Poziomy rozkład temperatury powietrza na wysokości 2 m nad poziomem gruntu ściśle nawiązywał do struktury użytkowania terenu i układu urbanistyczno-architektonicznego miasta (rys. 6). Najniższą temperaturę ($3,6^{\circ}\text{C}$) odnotowano w północnej części miasta, na obszarze rozciągających się pomiędzy Odrą, Widawą a terenami pól irygacyjnych. Najwyższą temperaturą (do $12,3^{\circ}\text{C}$) charakteryzowały się centralne rejony miasta: Stare Miasto, Ołbin i Plac Grunwaldzki, rozdzielone obszarem niższej temperatury wzdłuż południowego koryta Odry. Taką dwudzielność należy utożsamiać raczej z przerwą w ciągłej, zwartej zabudowie niż z ochładzającym wpływem rzeki. Z charakterystyczną dla centrum miasta, zwartą zabudową do 5 kondygnacji, związane było najwyższe średnie natężenie MWC ($6,6^{\circ}\text{C}$ – tab. 10).

Nieznacznym wzrostem temperatury charakteryzowały się rolnicze i łąkowe tereny peryferii miasta, m.in. rozległe powierzchnie pól irygacyjnych w północnej i lotniska w południowo-zachodniej części miasta. Strefa MWC o intensywności przekraczającej 4°C zajmowała 21,3% powierzchni miasta, tj. ok. $62,4 \text{ km}^2$ i nawiązywała do rozmieszczenia zabudowy mieszkalno-przemysłowej. W sprzyjających warunkach meteorologicz-

Tabela 10. Średnie (a), maksymalne (b) i minimalne (c) natężenie miejskiej wyspy ciepła [$^{\circ}\text{C}$] w klasach użytkowania terenu. Wrocław, 22.05.2001, 23.00 GMT

Rodzaj użytkowania terenu	a	b	c
Zwarta zabudowa, do 5 kondygnacji	6,6	8,6	3,0
Zabudowa wyższa, od 11 kondygnacji	6,2	8,7	4,1
Zabudowa luźna, 5-11 kondygnacji	5,3	8,4	2,6
Zabudowa luźna, do 5 kondygnacji	5,5	8,7	0,9
Zabudowa do 3 kondygnacji, duża intensywność	3,7	7,0	0,4
Zabudowa do 3 kondygnacji, mała intensywność	3,0	7,6	0,2
Tereny przemysłowe	4,7	8,0	1,1
Tereny usługowe	5,2	8,0	2,8
Wody	3,3	8,2	0,7
Lasy	2,0	4,7	0,4
Parki, cmentarze	3,7	8,4	0,5
Ogródki działkowe	2,9	6,7	0,2
Zieleń niska, łąki	1,9	7,8	0,0
Tereny rolnicze	1,9	5,3	0,3
Tereny komunikacyjne – parkingi	5,4	7,8	2,0
Tereny komunikacyjne – kolejowe	4,0	7,7	0,5

Rysunek 6. Mapa użytkowania terenu we Wrocławiu



nych dzielnice i osiedla izolowane od głównego obszaru ciągłej zabudowy generowały własne, mniejsze wyspy ciepła, w wyniku czego powstała specyficzna, „komórkowa” struktura pola temperatury. Doskonałym przykładem tego zjawiska były wyspy ciepła dzielnicy Psie Pole i osiedli w zachodniej i południowej części miasta w linii: Leśnica, Muchobór Wielki, Oporów, Klecina, Ołtaszyn. „Klifową” część wyspy, charakteryzującą się najwyższymi poziomymi gradientami temperatury, stanowiły obrzeża obszaru ciągłej zabudowy obejmujące osiedla: Kozanów, Kuźniki, Nowy Dwór na zachodzie, Swojczyce i Bartoszewice na wschodzie, Różanka, Karłowice i Kowale na północy oraz Krzyki, Gaj i Tarnogaj na południu. W ten obszar klinowo wcinały się obszary chłodu od strony pól irygacyjnych na północnym zachodzie i terenów wodonośnych na południowym wschodzie. Wyraźne jezioro chłodu tworzyła zachodnia i środkowa część Wielkiej Wyspy wraz z terenami ogródków działkowych na zachód od koryta Starej Odry.

Dotychczasowe badania wskazują, iż struktura MWC powstającej podczas bezchmurnej i bezwietrznej pogody w różnych porach roku odznacza się znacznym podobieństwem, a modyfikacje

dotyczą głównie jej intensywności i rejonu występowania najniższej temperatury.

Klimat odczuwalny

Właściwości klimatyczne, rozpatrywane w aspekcie biologicznego oddziaływania, określają klimat odczuwalny (bioklimat) danej miejscowości. Ocena bodźcowości klimatu wyrażona stanem odczuwania zespołu elementów meteorologicznych przez organizm człowieka jest niezmiernie złożona z uwagi na relacje biologiczne i psychiczne w ustroju ludzkim. Elementy klimatu oddziałują nieprzerwanie na organizm człowieka z różnym natężeniem zmieniającym się w czasie i przestrzeni. Działanie poszczególnych bodźców może być zwiększone, m.in. przez ich współdziałanie (synergizm), powodując, że słaby bodziec wzmacnia efekt działania innych bodźców. Na przykład deficyt tlenu w atmosferze miasta w czasie letnich upałów powoduje silne objawy niedotlenienia krwi (hipoksemię) i wpływa niekorzystnie na chorych na niewydolność układu krążenia. Wnętrza dużych miast, odznaczające się wyższą temperaturą i większą zawartością pary wodnej od terenów pozamiejskich, są obszarami

obniżonego ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia cząsteczkowego tlenu. Deficyt tlenu pogłębiają niedostatek obszarów zieleni i pobieranie znacznych ilości tlenu na potrzeby przemysłowe, komunalne i komunikacyjne.

Zróznicowanie typów bioklimatu kształtowane jest również przez takie elementy środowiska, jak: rzeźba terenu, rodzaj podłoża, szata roślinna, stosunki wodne i użytkowanie terenu. Ten ostatni element nabiera istotnego znaczenia w przypadku obszarów miejskich. Sprawia, że mimo iż nizinna część Polski cechuje się „bioklimatem słabo bodźcowym”, to we Wrocławiu jest to „bioklimat terenów zurbanizowanych o cechach obciążających” (Kozłowska-Szczęśna i in., 1997).

Charakterystykę klimatu Wrocławia z punktu widzenia odczuwalności środowiska atmosferycznego przez organizm człowieka oparto o tzw. zespół termiczny, grupujący w sobie kilka parametrów fizycznych atmosfery, głównie temperaturę i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru. Powszechność występowania we Wrocławiu MWC potęguje przestrzenne zróznicowanie warunków bioklimatycznych, podczas gdy obszar intensywnej wyspy ciepła cechuje się stosunkowo małym zróznicowaniem temperatury powietrza, w wyniku czego centrum organizmu miejskiego w stosunku do obszaru pozamiejskiego odznacza się słabą bodźcowością termiczną. Amplituda dobową temperatury w centrum Wrocławia w około 90 dniach w roku nie przekracza 4°C , która to wielkość jest charakterystyczną dla bodźców obojętnych dla organizmu człowieka. W dzielnicach o zabudowie willowej i w strefie podmiejskiej słabe bodźce są obserwowane podczas 60 dni w roku. Dwukrotnie rzadziej niż w strefie podmiejskiej, warunki termiczne określane jako bodźce ostre (amplituda dobową powyżej 12°C), występują w centrum miasta. Wzrasta tu również uciążliwość warunków termicznych, bowiem dni gorących jest 6-krotnie więcej niż na peryferiach. Dłuższe działanie wysokiej temperatury powietrza, a więc wzrost liczby dni gorących i upalnych, liczby dni parnych i deficytu tlenu stanowi latem silne obciążenie układu termoregulacyjnego człowieka. Zmniejszenie liczby dni mroźnych oraz skrócenie okresu przymrozkowego przyczyniają się do złagodzenia bodźców termicznych zimą, wiosną i jesienią. Prowadzi to do obniżenia bodźcowości klimatu i obniżenia sprawności termoregulacji ustroju, określanej jako zjawisko domestykacji.

Ocenę cech klimatu odczuwalnego Wrocławia przeprowadzono także na podstawie temperatury efektywnej (odczuwalnej), uwzględniającej kom-

pleksowy wpływ temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz prędkości wiatru na kształtowanie się odczuwalności cieplnej człowieka. Ogólnie biorąc, wielkości temperatury efektywnej (TE) są najwyższe w centrum miasta i maleją w miarę przesuwania się ku jego peryferiom. Zimą największe różnice temperatury efektywnej na korzyść centrum miasta, dochodzące do 8°TE , występują w godzinach wczesnorannych (6–8 godz.) i 7°TE w godzinach popołudniowych (14–16 godz.). W tej porze roku najwyraźniejsze złagodzenie odczuwalności cieplnej człowieka występuje w centrum miasta, gdzie średnie wielkości TE w ciągu całej doby są dodatnie, zaś w obszarze podmiejskim oraz w typie zabudowy niskiej willowej i wysokiej blokowej – ujemne. Tereny silnie zurbanizowane zdecydowanie przeciwdziałają nadmiernemu w zimie ochłodzeniu, co powoduje, że zabudowę śródmiejską i parki cechują najkorzystniejsze warunki klimatu odczuwalnego. Odczucie „bardzo zimno” i „zimno” występuje dwa, a nawet trzykrotnie rzadziej.

W miesiącach letnich dwukrotnie mniejsze niż zimą są różnice TE między centrum a pozostałymi typami zabudowy miejskiej. Złagodzenie warunków odczuwalności cieplnej w zabudowie śródmiejskiej zaznacza się wzrostem częstości występowania zakresu TE od $17,0^{\circ}$ do $22,9^{\circ}$, charakteryzującego warunki termiczne najkorzystniejsze dla człowieka wykonującego lekką pracę (np. spacerującego). W lecie sytuacje te w porze dziennej są dwukrotnie częściej obserwowane w centrum miasta niż w obszarze podmiejskim, zaś w nocy ponad czterokrotnie częściej. Jednocześnie w centrum nie występuje w lecie odczucie „bardzo zimno”, a odczucie „zimno” notowane jest sporadycznie. W dzielnicach willowych natomiast ich częstość wzrasta, obejmując w obszarze podmiejskim 26% godzin (dzień) i 36% godzin (noc). Odczucie „ciepło” i „gorąco” występuje w centrum miasta dwukrotnie częściej niż na jego peryferiach.

Reasumując, można stwierdzić, że w obrębie granic administracyjnych Wrocław cechuje się wyraźną sezonowością warunków bioklimatycznych. W okresie lata panującą pogodę odczuwa się najczęściej jako „orzeźwiająco” i „chłodno”, wiosną odczucia „chłodno” i „zimno” pojawiają się prawie tak samo często, jesienią nieco częściej występuje odczucie cieplne „chłodno”, a w zimie środowisko atmosferyczne odczuwa się na ogół jako „zimno” w centrum miasta i jako „bardzo zimno” w obszarze podmiejskim.

Znaczne zróznicowanie klimatu odczuwalnego Wrocławia związane jest ze sposobem zagospoda-

rowania poszczególnych zespołów urbanistycznych miasta. Wyspa ciepła powoduje złagodzenie bodźców cieplnych zimą, wiosną i jesienią, a stwarza warunki obciążające organizm człowieka nadmiernym ciepłem w lecie.

Podsumowanie

Wrocław, jako miasto średniej wielkości i o umiarkowanym natężeniu procesów społeczno-ekonomicznych, nie stwarza zagrożeń klimatyczno-ekologicznych, tak charakterystycznych dla wielomilionowych aglomeracji miejsko-przemysłowych, jak Los Angeles, Meksyk czy Londyn. Środowisko klimatyczne Wrocławia dalekie

jest jednak od stanu optymalnego. Harmonijny rozwój miasta wymaga uwzględnienia w pracach planistyczno-projektowych czynników klimatycznych. Umiejętna melioracja klimatu poprzez wykorzystanie terenów zielonych i układów zabudowy zwiększających poziomą i pionową wymianę powietrza może w krótkim czasie doprowadzić do znacznej poprawy warunków życia mieszkańców. Z uwagi jednak na złożony, wieloczynnikowy wpływ miasta na klimat lokalny, opracowanie procesu decyzyjnego i uzyskiwanie pełnej informacji o możliwych konsekwencjach natury ekologicznej, wynikających z projektowanych rozwiązań urbanistycznych, powinno być rezultatem wyników badań klimatologicznych.

Summary

The climate of Wrocław is characterised by typical features of temporary and moderate climate zones. The encounter of oceanic and continental influences occurring in the area causes large variability of climate manifested by wealth of weather states. The city is thermally privileged due to its location on the Sudeten Mountains footsteps and due to the prevailing affluence of weather masses from west and south. Additional climate modifications, typical for large urban agglomeration such as islands of warmth, precipitation and bioclimatic differentiation are generated by changes of physical propriety resulting from the type of management and utilisation of urban land. The existence of urban warmth islands in Wrocław causes a number of unfavourable climatic changes. Some of them cause periodical thermal fluctuations resulting in a growing number of hot and sultry days. These fluctuations could lead to overheating of human body especially during summer period.

Literatura

1. Dubicka M., 1994, *Wpływ cyrkulacji atmosfery na kształtowanie warunków klimatu (na przykładzie Wrocławia)*, St. Geogr. LX, Wrocław, s. 296.
2. Dubicka M., Szymanowski M., 2000, *Struktura miejskiej wyspy ciepła i jej związek z warunkami pogodowymi i urbanistycznymi Wrocławia*, Acta Univ. Wratisl., 22, Studia Geogr., 74, s. 99-118.
3. Dubicka M., Szymanowski M., 2001, *Modyfikowanie klimatu lokalnego przez obszary zurbanizowane*, [w:] *Kształtowanie przestrzeni zurbanizowanej w myśl zasad ekorozwoju*, Polski Klub Ekologiczny, Wrocław, s. 41-53.
4. Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*, IGiPZ PAN, Warszawa, s. 200.
5. Kwiatkowski J., 1975, *Zasięg fenów sudeckich i ich wpływ na mezoklimat regionów południowo-zachodniej i środkowej Polski*, Przegl. Geof., 20 (28), 1.
6. Landsberg H.E., 1981, *The urban climate*, Academic Press, s. 285.
7. Woś A., 1995, *Struktura sezonowa klimatu Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 146.