# Ocena znaczenia zielonej infrastruktury dla kształtowania warunków klimatycznych (mezoklimatu i topoklimatu) na obszarze Wrocławskiego Obszaru Metropolitalnego (WROM)

**Opracowanie wykonane na zlecenie Instytutu Rozwoju Terytorialnego we Wrocławiu**

**Autorzy opracowania:**
**dr Bartłomiej Miszuk**
**dr Irena Otop**
**mgr Marzenna Strońska**

**Wrocław| styczeń 2014**

This project is implemented through the CENTRAL EUROPE Programme co-financed by the ERDF.

**Imprint**

Responsible: **Dolnoslaskie Region – Institute for Territorial Development**
ul. Świdnicka 12/16
Ilona Szarapo
Phone/Fax +48 71 344 52 45
ilona.szarapo@irt.wroc.pl

Elaborated by: **Instytut Meteorologii I Gospodarki Wodnej**
**Państwowy Instytut Badawczy**
01-673 Warszawa ul. Podleśna 61
**ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU**
**Zakład Badań Regionalnych**
ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław
tel. (071) 32 00 100
Kierownik Zakładu - dr inż. Mariusz Adynkiewicz – Piragas
Dyrektor Oddziału we Wrocławiu - dr inż. Ryszard Kosierb

**Information about the CENTRAL EUROPE programme**

CENTRAL EUROPE is a European Union programme that encourages cooperation among the countries of Central Europe to improve innovation, accessibility and the environment and to enhance the competitiveness and attractiveness of their cities and regions.

CENTRAL EUROPE invests 231 million EUR to provide funding to transnational cooperation projects involving public and private organisations from Austria, the Czech Republic, Germany, Hungary, Italy, Poland, the Slovak Republic and Slovenia.

The programme is financed by the European Regional Development Fund (ERDF) and it runs from 2007 to 2013. Interested partnerships were invited to propose their projects following public calls for proposals, which were widely publicised.

## 1. Uwarunkowania prawne związane z ochroną klimatu

Prawo zmian (ochrony) klimatu jest stosunkowo nowym działem prawa, ma wymiar globalny, regionalny i krajowy (Karski 2010). Przedmiotem prawa zmian klimatu jest kwestia ochrony systemu klimatycznego jako zasobu środowiska.

Obserwowane ocieplenie klimatu oraz pesymistyczne scenariusze zmian klimatycznych skłoniły społeczność międzynarodową do podjęcia działań na rzecz ochrony naturalnego składu atmosfery oraz ochrony klimatu. W roku 1992 w Rio de Janeiro została podpisana Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych (UNFCCC) w sprawie zmian klimatu. Celem tej Konwencji jest doprowadzenie do ustabilizowania koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze na poziomie, który zapobiegałby niebezpiecznej antropogenicznej ingerencji w system klimatyczny. Konwencja została ratyfikowana przez ponad 180 państw, zobowiązuje Strony do współpracy w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych, adaptacji do zmian klimatu oraz podejmowania inicjatyw na rzecz zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska. Polska jest stroną Konwencji od 1994 roku, co oznacza obowiązek podjęcia działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych.

W trakcie Trzeciej Konferencji Stron Konwencji Klimatycznej w Kioto w grudniu 1997 roku podpisano Protokół do Konwencji, nazywany Protokołem z Kioto. Protokół z Kioto nakłada na kraje rozwinięte zobowiązania do redukcji emisji gazów cieplarnianych, ustanawia limity emisji, a także daje sygnatariuszom Protokołu możliwość tzw. handlu emisjami, w przypadku przekroczenia limitu lub stwierdzonej mniejszej emisji w stosunku do ustalonej wartości granicznej. Polska ratyfikowała Protokół z Kioto w grudniu 2002 roku. Redukcja emisji gazów cieplarnianych przez Polskę ma wynosić 6% w stosunku do roku bazowego 1988.

Problematyka zmian klimatu jest priorytetem w polityce ochrony środowiska Unii Europejskiej. Unia Europejska przyjmuje zobowiązania prawa międzynarodowego w zakresie zapobiegania zmianom klimatu, jak również ustanawia zapisy w prawie unijnym, wiążące dla państw członkowskich.

Ważnym instrumentem UE na rzecz ochrony klimatu jest wprowadzony w 2005 roku system handlu uprawnieniami do emisji (European Union Emission Trading Scheme – EU ETS).

Działaniem UE w zakresie integrowania polityki klimatycznej i energetycznej jest pakiet energetyczno-klimatyczny, nazywany pakietem klimatycznym lub potocznie pakietem 3x20. Dokument ten został przyjęty na szczycie Rady Europejskiej w grudniu 2008 roku. Państwa członkowskie Unii są zobowiązane do osiągnięcia w roku 2020 następujących celów:

- ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla o 20%,
- wzrostu o 20% efektywności energetycznej,
- osiągnięcia 20% udziału energii produkowanej z odnawialnych źródeł energii, dla Polski wyznaczony cel został określony na 15%.

W Polsce zagadnienia ochrony środowiska są ujęte w najważniejszym dokumencie prawnym czyli Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej z kwietnia 1997 roku. W Art. 5 Konstytucji RP znajduje się zapis, że Rzeczpospolita Polska zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju. Artykuł 74 zobowiązuje władze publiczne do:

- prowadzenia polityki zapewniającej bezpieczeństwo ekologiczne współczesnemu i przyszłym pokoleniom,
- ochrony środowiska,
- wspierania działania obywateli na rzecz ochrony i poprawy stanu środowiska.

Nowy porządek konstytucyjny wymagał przygotowania dostosowanej do tych zapisów polityki ekologicznej państwa. Dokument Polityka Ekologiczna Państwa został przyjęty przez Sejm RP w sierpniu 2001 roku. Głównym celem polityki ekologicznej państwa jest zapewnienie bezpieczeństwa ekologicznego oraz stworzenie podstaw dla opracowania i realizacji strategii zrównoważonego rozwoju kraju. Dokument ten jako jeden z podstawowych celów wyznacza kierunki działań prowadzące do zmniejszenia energochłonności gospodarki oraz określa priorytety w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Ustawa Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150, z późn. zm.) stanowi, aby dokument polityka ekologiczna państwa był sporządzany na najbliższe 4 lata z perspektywa 4-letnią. Obecnie obowiązującym dokumentem jest Polityka Ekologiczna Państwa w latach 2009-2012 z perspektywą do roku 2016.

W listopadzie 2003 roku Rada Ministrów przyjęła dokument „Polityka Klimatyczna Polski. Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020". Priorytetem w tym zakresie jest udział Polski w międzynarodowych działaniach na rzecz ochrony globalnego klimatu.

Polityka klimatyczna Polski jest integralnym elementem polityki ekologicznej państwa. W zakresie łagodzenia zmian klimatu stanowi jeden z przykładów realizowania zasady zrównoważonego rozwoju. Uregulowania prawne związane z ochroną klimatu dotyczą przede wszystkim problemów związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych. Większość regulacji prawnych związanych z klimatem w polskim prawodawstwie dotyczy ochrony klimatu z punktu widzenia wytycznych dla

sektora energetycznego oraz adaptacji do zmian klimatu. Prawo ochrony klimatu jest z reguły konsekwencją regulacji wspólnotowych i obecnie, w skali krajowej, odznacza się ono słabym usystematyzowaniem instrumentów oraz brakiem długofalowej wizji działań (Karski 2010).

Zapisy dotyczące podejmowania działań mających wpływ na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych znajdują się w wielu aktach prawnych. Są to:

- Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. z dnia 30 czerwca 2001 r. z późniejszymi zmianami). Ustawa stanowi, że zasady zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska są podstawą dla sporządzania i aktualizacji opracowań zagospodarowania przestrzennego gmin. W opracowaniach tych jednym z zadań jest zapewnienie równowagi przyrodniczej i racjonalnej gospodarki zasobami środowiska m.in. poprzez zapewnienie ochrony walorów krajobrazowych środowiska i warunków klimatycznych oraz uwzględnienie również innych potrzeb dotyczących ochrony powietrza, wód, gleby, ziemi, ochrony przed hałasem, wibracjami i polami elektromagnetycznymi.
- Ustawa o Ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Dz. U. z 2004 r. Nr 92, poz. 880). W zapisie Ustawy uwzględnione zostały wytyczne dla ochrony, odpowiedniego użytkowania i odnawiania zasobów przyrody dotyczących m.in. krajobrazu, zieleni w miastach czy zadrzewień. W świetle zapisu ustawy tereny zieleni w miastach pełnią funkcje estetyczne, rekreacyjne, zdrowotne lub osłonowe, a w jej skład, obok parków, zieleńców, ogrodów itp., wchodzi również zieleń występująca przy ulicach, placach, lotniskach czy zakładach przemysłowych. Ustawa uwzględnia również pojęcie zadrzewień, w skład których według ustawy o lasach z 1991 r. zalicza się pojedyncze drzewa lub krzewy niebędące lasem wraz z terenem, na którym występują i pozostałymi składnikami szaty roślinnej terenu. Za zakładanie i utrzymanie terenów zieleni odpowiedzialna jest rada gminy.
- Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. (Dz. U. z 1997 Nr 54, poz. 348 z późn. zmianami). Z punktu widzenia polityki klimatycznej zapisy tej ustawy określają zasady gospodarowania energią i oszczędzania jej zasobów oraz wspierają wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii.

Natomiast do zapisów prawnych związanych z adaptacją do zmian klimatu zaliczyć można jedynie słabo powiązane regulacje. W tym przypadku są to przede wszystkim ustawy związane z zagrożeniami ze strony katastrof naturalnych, w tym również te spowodowane ekstremalnymi warunkami klimatycznymi (m.in. wyładowaniami atmosferycznymi, ekstremalnymi wartościami

temperatury powietrza, silnym wiatrem, intensywnymi opadami atmosferycznymi, suszą itp.). Zaliczyć do nich można:

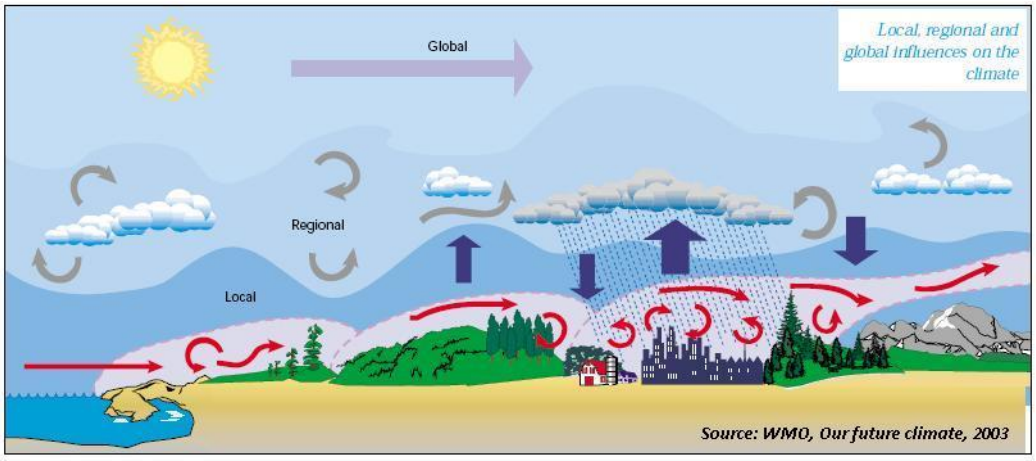
- Ustawę Prawo wodne z dnia 18.01.2001 (Dz. U. z dnia 11.10.2001 r.),
- Ustawę o stanie klęski żywiołowej z dnia 18.04.2002 (Dz. U. z dnia 22 maja 2002 r.),
- Ustawę o zarządzaniu kryzysowym z dnia 26.04.2007 (Dz. U. z dnia 21.05.2007 r.),
- Ustawę o zmianie ustawy o zarządzaniu kryzysowym z dnia 17.07.2009 r. (Dz. U. z dnia 19.08.2009 r.).

W zakresie adaptacji do zmian klimatu Ministerstwo Środowiska opracowało „Strategiczny Plan Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030".

## 2. Charakterystyka elementów klimatu WROM podlegających modyfikacji ze względu na obecność terenów otwartych i zieleni oraz sposobów ich zagospodarowania

Klimat jest jednym z komponentów środowiska naturalnego. Wszystkie elementy środowiska są ze sobą powiązane i biorą udział w obiegu energii i wymianie materii warunkującej życie organiczne.

Warunki klimatyczne danego obszaru kształtowane są przez czynniki klimatu oraz procesy klimatotwórcze, które oddziałują w skali globalnej, regionalnej oraz lokalnej (ryc. 1)




Ryc. 1. Globalne, regionalne i lokalne czynniki wpływające na klimat; [źródło: WMO, 2003]

Do czynników determinujących warunki klimatyczne Dolnego Śląska, a zarazem WROM-u należą (Sobik 2005):

- czynniki astrofizyczne,
- czynniki cyrkulacyjne,

- czynniki geograficzne,
- czynniki antropogeniczne.

Czynniki astrofizyczne, do których należą szerokość geograficzna, kąt padania promieni słonecznych oraz długość dnia, decydują o wielkości dopływu energii promieniowania słonecznego. We Wrocławiu średnia roczna suma promieniowania całkowitego wynosi 3685 $MJ \cdot m^{-2}$ (Dubicka 1994).

Warunki cyrkulacyjne należą do najważniejszych czynników wpływających na klimat Dolnego Śląska i WROM. Przez cały rok dominuje cyrkulacja z sektora zachodniego i związany z tym napływ mas powietrza polarno-morskiego, które występują podczas 46% dni. Udział mas powietrza polarno-kontynentalnego wynosi ok. 38%, a mas powietrza arktycznego ok. 10% (Dubicka 2000). Dominacja mas powietrza polarno-morskiego jest charakterystyczna dla wszystkich pór roku, z maksimum częstości latem. Natomiast masy powietrza polarno-kontynentalnego, zwykle napływające ze wschodu i występujące przy układach wyżowych, najczęściej obserwowane są w okresie zimy i na wiosnę. Charakterystyczny jest wzrost częstości mas powietrza zwrotnikowego i powietrza arktycznego w przejściowych porach roku, wiosną i jesienią (Kożuchowski 2011).

W ciągu całego roku przeważają sytuacje synoptyczne cyklonalne (Sobik 2005), które średnio występują przez 56% dni. Osłabienie aktywności cyklonalnej zaznacza się od sierpnia do października oraz w marcu, maju i czerwcu (Dubicka 1994).

Do czynników geograficznych wpływających na klimat zaliczane są: położenie w stosunku do kontynentów i oceanów, zróżnicowanie hipsometryczne, układ rzeźby oraz forma użytkowania terenu. Region WROM położony jest w odległości około 400 km od Morza Bałtyckiego. Istotnym czynnikiem jest równoleżnikowy przebieg położonych na północy nizin, rozciągających się wzdłuż Morza Północnego i Bałtyckiego, umożliwiający swobodny napływ świeżych mas powietrza z zachodu, północy i wschodu.

Ważnym czynnikiem klimatycznym jest położenie WROM-u w otoczeniu obszarów o urozmaiconej rzeźbie terenu, Wzgórz Trzebnickich na północy oraz Przedgórza Sudeckiego i Sudetów na południu. Położenie WROM na przedpolu Sudetów powoduje jego uprzywilejowanie termiczne, będące efektem zjawisk fenowych, związanych z dynamicznym nagrzewaniem się mas powietrza po zawietrznej części masywu górskiego (Dubicki i in. 2002).

WROM o powierzchni 3794 km$^2$ w przewadze położony jest na Nizinie Śląskiej, znacznie mniejszy obszar obejmuje Wał Trzebnicki i Obniżenie Milicko-Głogowskiego oraz Przedgórze Sudeckie. W skali mezoregionów obszar WROM, w przeważającej części położony jest w obrębie trzech jednostek fizyczno-geograficznych: Równiny Wrocławskiej, Pradoliny Wrocławskiej oraz Równiny Oleśnickiej. Tylko niewielka, południowa część WROM-u obejmuje obszar Masywu Ślęży, Równiny Świdnickiej, Wzgórz Strzegomskich, Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich i Wysoczyzny Rościsławskiej.

Przeważająca część obszaru WROM-u odznacza się małym zróżnicowaniem hipsometrycznym. Wyjątek stanowią jedynie dwa regiony: Wał Trzebnicki oraz Masyw Ślęży, położone w obrębie wypukłych form terenu, charakteryzujące się większym zróżnicowaniem wysokości bezwzględnej. W przypadku Wału Trzebnickiego jego najwyższe wzniesienia położone są na wysokości ponad 250 m n.p.m. Masyw Ślęży wznosi się ponad 500 m nad otaczające równiny, z kulminacją na wysokość 718 m n.p.m. Wpływ wysokości bezwzględnej na klimat jest widoczny zwłaszcza w Masywie Ślęży, gdzie spadek temperatury powietrza wraz z wysokością wynosi około 0,54$^o$C (Błaś i Sobik 1998).

Wrocław położony jest w centralnej części Dolnego Śląska, na Nizinie Śląskiej, która rozcięta jest doliną Odry. Cechą charakterystyczną krajobrazu miasta jest duża liczba kanałów, rozlewisk, odnóg i starorzeczy Odry, których łączna długość w obrębie Wrocławia wynosi ok. 55 km. Odra tworzy główną oś ekologiczną przestrzennego układu miasta w kierunku wschód-zachód (Dubicki i in. 2002). Położenie Wrocławia w obrębie doliny Odry może powodować słabe przewietrzanie i stosunkowo częste występowanie zamgleń i wyższej wilgotności względnej powietrza (Dubicki i in. 2002). Sytuacje takie obserwowane są zwłaszcza w czasie występowania typów pogody o charakterze radiacyjnym, odznaczającej się ciszą lub małą prędkością wiatru, a także niskim stopniem zachmurzenia, który sprzyja wychładzaniu się podłoża w godzinach nocnych. W konsekwencji czynniki te mogą powodować powstawanie mgieł o charakterze radiacyjnym. W czasie występowania typów pogody cyklonalnej, z większym zachmurzeniem i większa prędkością wiatru, obserwowane jest intensywne przewietrzanie terenu.

Miasto Wrocław położone jest w obrębie trzech mezoregionów: Równiny Oleśnickiej, Pradoliny Wrocławskiej i Równiny Kąckiej, która stanowi część Równiny Wrocławskiej (Walczak 1970, Kondracki 2000). W obszarze miasta można wyróżnić następujące mikroregiony (Walczak 1970):

- prawobrzeżna aglomeracja Wrocławia będąca częścią Równiny Oleśnickiej; obejmuje północne i północno-wschodnie dzielnice miasta z Psim Polem i osiedlami nad Widawą,
- miejski mikroregion doliny Odry z dzielnicami: Stare Miasto i Śródmieście,
- lewobrzeżna aglomeracja Wrocławia, będąca częścią Równiny Kąckiej i obejmująca dzielnice Fabryczna i Krzyki.

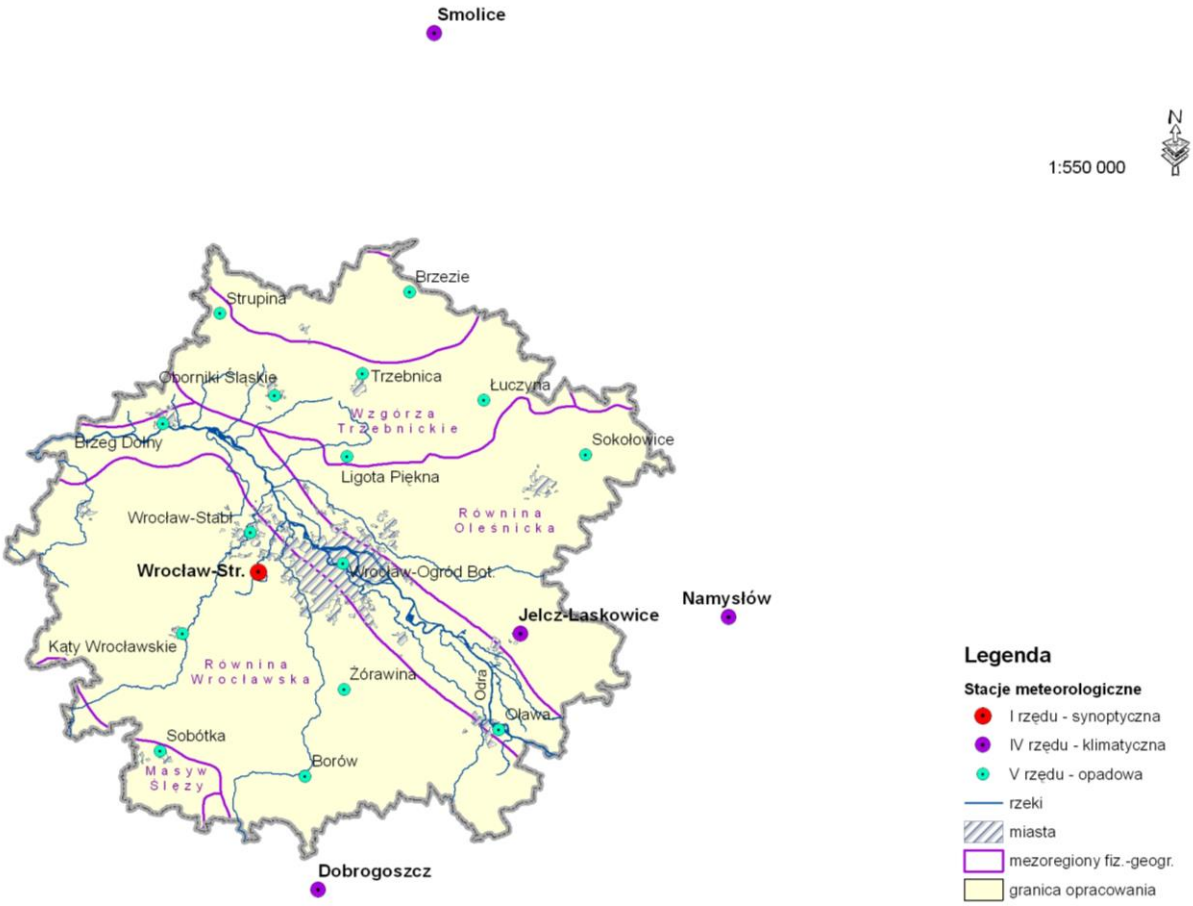
Zróżnicowanie hipsometryczne Wrocławia wynosi 41 m (od 107 m n.p.m. u ujścia Widawy do 148 m n.p.m w Lesie Mokrzańskim). Najwyżej położonymi osiedlami są usytuowane w południowej części miasta: Oporów i Klecina, których wysokość wynosi 136-137 m n.p.m. (Czerwiński 2002).

Czynnikiem klimatotwórczym jest również pokrycie terenu oraz zmiany w strukturze użytkowania terenu, które decydują o zróżnicowaniu warunków meteorologicznych w skali mikroklimatycznej. Na terenie WROM przeważają grunty orne, które stanowią około 60% powierzchni. Mniejszy odsetek stanowią lasy (ok. 19%), a tereny zabudowane zajmują ok. 8%. Lasy występują przede wszystkim w północno-wschodniej części regionu, na Równinach Namysłowskiej i Jelczańskiej, w rejonie Wzgórz Trzebnickich oraz na południu w Masywie Ślęży, a także wzdłuż głównych rzek regionu.

W obszarach zurbanizowanych czynnikami, które znacząco wpływają na warunki klimatyczne w skali lokalnej są: przekształcanie pokrycia terenu, zabudowa mieszkaniowa oraz emisja zanieczyszczeń i ciepła antropogenicznego. Zabudowa mieszkaniowa na terenie Wrocławia stanowi ok. 22% jego powierzchni. Zabudowa zwarta, o wysokości do 5 kondygnacji, zajmuje 2,2% obszaru miasta, głównie w dzielnicy Stare Miasto. Zabudowa luźna, o wysokości do 5 kondygnacji obejmuje obszar 2,7%, przede wszystkim w południowej i zachodniej części miasta. Na zewnątrz strefy zabudowy ciągłej zlokalizowane są osiedla blokowe (1,7%), o wysokości 5-11 kondygnacji. Na peryferiach miasta dominuje zabudowa niska o małej lub dużej intensywności. Najliczniej reprezentowanym typem zabudowy mieszkalnej jest zabudowa niska, rozproszona, o wysokości do 3 kondygnacji, która stanowi 12,6% obszaru miasta (Szymanowski 2004). Oprócz terenów zieleni, rolniczych oraz zabudowy mieszkalnej znaczną powierzchnię miasta zajmują również zakłady przemysłowe (7,6%). Tereny zieleni we Wrocławiu stanowią ok. 36% powierzchni miasta (Szymanowski 2004). Wśród nich najliczniej reprezentowana jest tzw. zieleń niska i łąki (19%) oraz lasy komunalne (8%). Nieco mniejszy udział mają ogrody działkowe (6%) oraz parki i cmentarze (3%). W przypadku zbiorowisk łąkowych największe ich obszary zostały przekształcone w pola wodonośne między Odrą i Oławą w południowo-wschodniej części

miasta oraz pola irygacyjne w części północno-zachodniej. Niemal 1/3 obszaru Wrocławia (29%) stanowią grunty rolne.

Pod względem klimatycznym, w świetle klasyfikacji klimatów W. Köppena, rejon WROM położony jest w strefie klimatów umiarkowanych ciepłych (Cfb), o dość równomiernym rozkładzie opadów w ciągu roku, z temperaturą powietrza najcieplejszego miesiąca wyższą niż 10oC, a najchłodniejszego wyższą od -3oC. Według klasyfikacji A. Wosia (1999) obszar WROM położony jest w regionie dolnośląskim środkowym, który charakteryzuje się znaczną częstością występowania pogody umiarkowanie ciepłej (131 dni), bardzo ciepłej (87 dni) oraz przymrozkowej (83 dni). Region ten posiada słabo wyrażoną granicę z regionem Południowowielkopolskim, która biegnie wzdłuż Wału Trzebnickiego. Natomiast wyraźnie rysuje się natomiast granica klimatyczna z Sudetami.



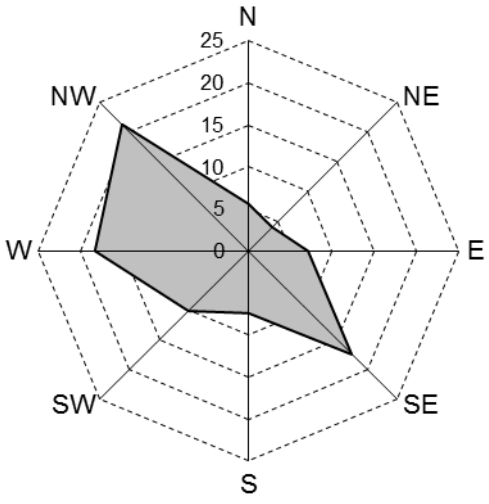

Ryc. 2. Rozmieszczenie stacji pomiarowych IMGW-PIB na obszarze i w otoczeniu WROM [opracowanie własne]

Charakterystykę klimatu WROM przedstawiono na podstawie danych pomiarowych z wielolecia 1971-2000. Dane pochodziły ze stacji meteorologicznych IMGW-PIB, zlokalizowanych na obszarze i w najbliższym otoczeniu WROM (tab. 1; ryc. 2).

Tab.1. Stacje meteorologiczne IMGW-PIB w obszarze i w otoczeniu WROM

| Stacja meteorologiczna | Szerokość geogr. [°,' N] | Długość geogr. [°,' E] | Wysokość [m n.p.m.] | Mezoregion wg Kondrackiego (2000) |
|---|---|---|---|---|
| Wrocław-Strachowice | 51 06 | 16 54 | 120 | Równina Wrocławska |
| Smolice | 51 42 | 17 11 | 109 | Wysoczyzna Kaliska |
| Namysłów | 51 04 | 17 43 | 155 | Równina Oleśnicka |
| Dobrogoszcz | 50 46 | 17 01 | 175 | Równina Wrocławska |

Wiatr w obszarze WROM uwarunkowany jest regionalną cyrkulacją atmosferyczną oraz podlega modyfikacji wywołanej przebiegiem dolin i wzniesień oraz pokryciem terenu. Wyniki pomiarów ze stacji Wrocław-Strachowice wykazują dominację występowania kierunku wiatru NW (21%), przy znacznym udziale kierunku W (18,3%) i SE (17,4%), ryc. 3a. Najrzadziej występuje wiatr z kierunku NE (4,9%). Cisze atmosferyczne stanowią 8,9%. Zmiany ciśnienia atmosferycznego w cyklu rocznym powodują zmiany w rozkładzie dominujących kierunków wiatru. Zimą oraz jesienią wzrasta udział wiatru z kierunku SE. Natomiast wiosną i latem przeważa wiatr z kierunku NW (ryc. 3b).



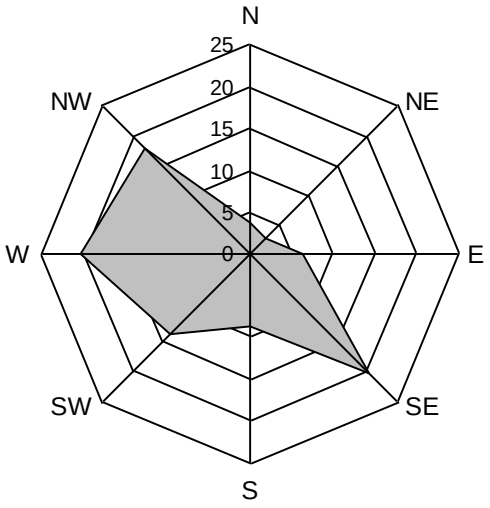

cisze – 8,9 %

Ryc. 3a. Roczna częstość kierunków wiatru na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2000 (źródło: opracowanie własne)

Średnia roczna prędkość wiatru z okresu 1971-2000 na stacji Wrocław-Strachowice (zachodnia peryferyjna część miasta) wynosi 3,2 m/s. W wyniku znacznej szorstkości terenów miejskich, w centrum miasta obserwowane jest osłabienie prędkości wiatru względem terenów pozamiejskich o około 30%, a w zabudowie osiedlowej strefy zewnętrznej miasta o 15-20% (Dubicka 1994). Na stacji Wrocław-Biskupin (1981-2000) średnia roczna prędkość wiatru wynosi 2,2 m/s (Dubicki i in., 2002). W przebiegu rocznym najwyższe prędkości wiatru występują w miesiącach od listopada do marca ze średnią miesięczną prędkością obserwowaną na stacji Wrocław-Strachowice w zakresie 3,8-3,6 m/s. Największe prędkości wiatru są związane z kierunkami z sektora zachodniego.

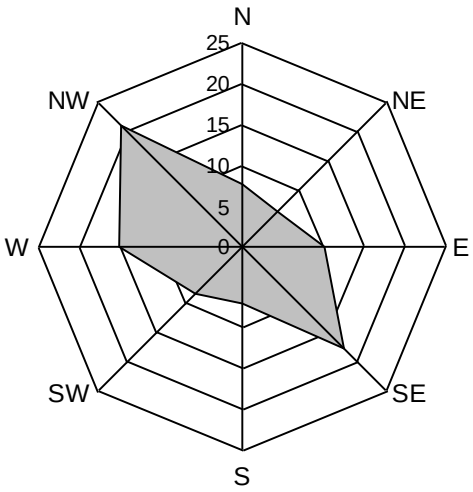
**Zima (XII-II)**

cisze-6,5%




**Wiosna (III-V)**

cisze-7,1%

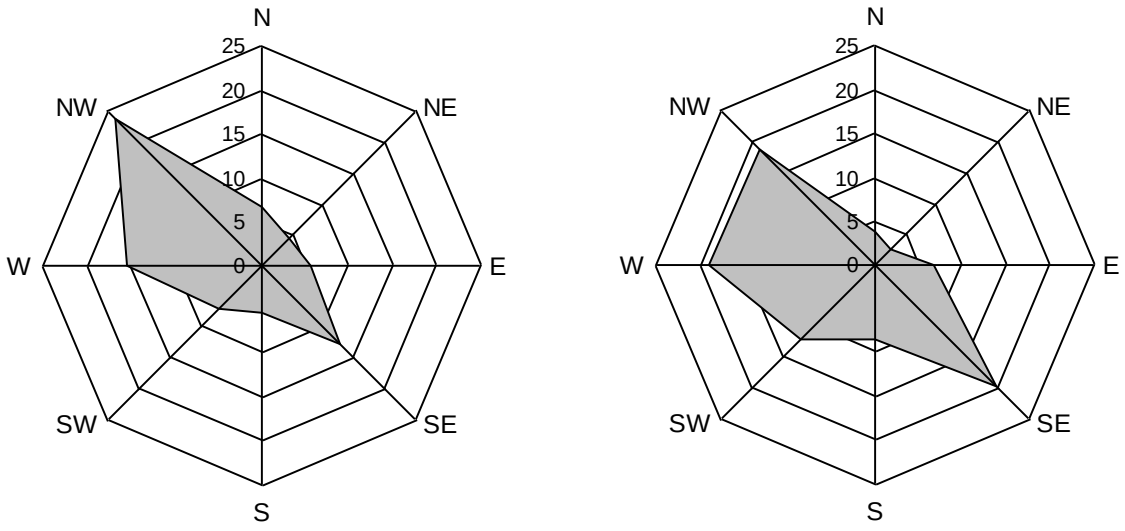



**Lato (VI-VIII)**

cisze-12,4%

**Jesień (IX-XI)**

cisze-9,5%




Ryc. 3b. Sezonowa częstość kierunków wiatru na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2000 (źródło: opracowanie własne)

Średnia roczna temperatura powietrza na obszarze WROM wynosi około 8,5°C, z maksimum przypadającym w lipcu (ok. 18°C) i minimum w styczniu (od -0,5 do -1,2°C). Dni mroźne ($T_{max}$ <0°C) pojawiają się w okresie od listopada do kwietnia z maksymalną częstością obserwowaną w styczniu (8-9 dni), natomiast dni bardzo mroźne ($T_{max}$ <-10 °C) są notowane sporadycznie od grudnia do marca (tab. 2).

Na obszarze WROM dni gorące, z maksymalną dobową temperaturą powietrza przekraczającą 25°C, występują od kwietnia do października, a ich największa częstość obserwowana jest w lipcu i sierpniu kiedy ich łączna liczba dochodzi do 23-25 w ciągu tych dwóch miesięcy. Dni upalne ($T_{max}$ >30°C) występują zdecydowanie rzadziej i podobnie jak dni gorące również najczęściej notowane są w lipcu (ok. 2 dni) oraz w sierpniu (2-3 dni).

Amplituda roczna temperatury powietrza wynosi 19,2°C, co sprawia, że Wrocław charakteryzuje się jednym z najniższych wartości wskaźnika kontynentalizmu w Polsce (Dubicki i in., 2002).

Z cyklem rocznym temperatury powietrza związane jest występowania termicznych pór roku. Najdłuższą porą roku jest termiczne lato (ze średnią dobową temperatura powietrza > 15°C), które na obszarze WROM występuje średnio przez ponad 90 dni. Termiczna zima (ze średnią dobową temperatura powietrza <0°C) trwa ok. 40 dni i rozpoczyna się średnio pod koniec III dekady grudnia. Termiczna wiosna i termiczna jesień (5°C<$T_{śr\ dobowa}$<15°C) przeciętnie trwają odpowiednio 68 dni i 63 dni. Wiosna rozpoczyna się w III dekadzie marca i trwa do końca maja. Termiczna jesień rozpoczyna

się na początku października. Dodatkowo wyróżnić można także pory przejściowe - przedwiośnie i przedzimie, które występują średnio przez 43 i 52 dni. Sezon wegetacyjny na obszarze WROM, z trwałym występowaniem średniej temperatury dobowej powyżej 5°C, występuje przeciętnie przez 228 dni w roku (Głowicki i in., 2004). Obszar WROM należy do regionów o najdłuższych czasie trwania sezonu wegetacyjnego w Polsce.

W przypadku opadów atmosferycznych, suma roczna na obszarze WROM wynosi średnio 546-580 mm (tab. 3). Wyższe sumy są notowane na wzniesieniach w obszarze Wału Trzebnickiego oraz Masywu Ślęży, gdzie wynoszą ponad 650 mm. Opady atmosferyczne średnio w roku są notowane podczas 155-165 dni. Największa liczba dni z opadem dobowym o wysokości co najmniej 0,1 mm przypada na styczeń i grudzień, kiedy są one obserwowane przez około połowę liczby dni w tych miesiącach. Natomiast opady o większej sumie dobowej (co najmniej 1 mm) najczęściej notowane są w czerwcu oraz lipcu.

Pokrywa śnieżna pojawia się w okresie od października do maja. Maksimum liczby dni z pokrywą śnieżną notowane jest w styczniu i różnicuje się nieznacznie od ok. 11 dni w Smolicach do niespełna 15 w Namysłowie. W ciągu roku średnia liczba dni z pokrywą śnieżną waha się od 32 (Smolice) do 43 (Namysłów). Przeciętnie największa grubość pokrywy śnieżnej w całym regionie WROM przypada na styczeń.

W przypadku zachmurzenia, we Wrocławiu jego średni stopień (w skali 0-10) wynosi 7,4, z maksimum przypadającym w grudniu (8,1) i minimum obserwowanym w czerwcu, kiedy średnie zachmurzenie wynosi 6,7. Natomiast średnie roczne usłonecznienie wynosi 1523 godziny, z maksimum przypadającym w lipcu (221,1 godz.), a minimum (40,6 godz.) w grudniu (Szymanowski 2004). Najlepsze warunki usłonecznienia występują w ciepłej porze roku, podczas połowy dni w miesiącach od maja do sierpnia czas trwania promieniowania bezpośredniego przekracza 6 godzin (Dubicka 1994).

Tab. 2. Wybrane charakterystyki termiczne dla stacji meteorologicznych IMGW-PIB uwzględnionych w opracowaniu na podstawie danych z wielolecia 1971-2000; (źródło: opracowanie własne) (WR- Wrocław-Strachowice, SM – Smolice, NA – Namysłów, DO – Dobrogoszcz)

| **Średnia temperatura powietrza [°C]** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **Rok** |
| **WR** | -1,0 | 0,0 | 3,7 | 7,9 | 13,4 | 16,1 | 17,9 | 17,6 | 13,4 | 8,6 | 3,4 | 0,6 | 8,5 |
| **SM** | -1,2 | -0,2 | 3,5 | 8,0 | 13,6 | 16,4 | 18,1 | 17,9 | 13,4 | 8,6 | 3,4 | 0,5 | 8,5 |
| **NA** | -1,1 | -0,1 | 3,5 | 7,8 | 13,4 | 16,2 | 17,9 | 17,5 | 13,2 | 8,6 | 3,4 | 0,4 | 8,4 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DO** | -0,5 | 0,1 | 3,8 | 7,9 | 13,3 | 16,2 | 18,0 | 17,9 | 13,6 | 9,0 | 3,9 | 0,9 | 8,7 |

| **Średnia liczba dni bardzo mroźnych (Tmax <-10 °C)** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **ROK** |
| **WR** | 0,8 | 0,1 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | . | . | 0,1 | 1,1 |
| **SM** | 0,8 | 0,1 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | . | . | 0,2 | 1,1 |
| **NA** | 0,8 | 0,2 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | . | . | 0,2 | 1,1 |
| **DO** | 0,7 | 0,2 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | . | . | 0,1 | 1,1 |

| **Średnia liczba dni mroźnych (Tmax <0°C)** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **ROK** |
| **WR** | 7,9 | 5,6 | 1,2 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | 1,9 | 5,6 | 22,2 |
| **SM** | 8,8 | 6,1 | 1,5 | 0,1 | . | . | . | . | . | . | 2,1 | 6,9 | 25,4 |
| **NA** | 9,2 | 6,6 | 1,6 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | 2,3 | 6,9 | 26,6 |
| **DO** | 7,7 | 5,7 | 1,5 | 0,0 | . | . | . | . | . | . | 1,8 | 5,6 | 22,3 |

| **Średnia liczba dni gorących (Tmax >25°C)** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **ROK** |
| **WR** | . | . | . | 0,6 | 3,7 | 7,3 | 12,2 | 13,2 | 3,0 | 0,1 | . | . | 40,2 |
| **SM** | . | . | . | 0,6 | 3,7 | 6,9 | 11,3 | 13,0 | 2,7 | 0,0 | . | . | 38,2 |
| **NA** | . | . | . | 0,5 | 3,6 | 7,0 | 11,1 | 11,9 | 2,2 | 0,0 | . | . | 36,4 |
| **DO** | . | . | . | 0,5 | 3,7 | 6,9 | 12,2 | 13,2 | 3,1 | 0,1 | . | . | 39,7 |

| **Średnia liczba dni upalnych (Tmax >30°C)** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | **I** | **II** | **III** | **IV** | **V** | **VI** | **VII** | **VIII** | **IX** | **X** | **XI** | **XII** | **ROK** |
| **WR** | . | . | . | . | 0,0 | 1,1 | 2,2 | 2,6 | 0,2 | . | . | . | 6,1 |
| **SM** | . | . | . | . | . | 0,9 | 2,2 | 2,6 | 0,1 | . | . | . | 5,8 |
| **NA** | . | . | . | . | 0,0 | 0,9 | 1,9 | 2,3 | 0,1 | . | . | . | 5,2 |
| **DO** | . | . | . | . | 0,1 | 1,0 | 2,3 | 3,1 | 0,2 | . | . | . | 6,6 |

Tab. 3. Wybrane charakterystyki opadowe i śnieżne dla stacji meteorologicznych IMGW-PIB uwzględnionych w opracowaniu na podstawie danych z wielolecia 1971-2000; (źródło: opracowanie własne)

(WR- Wrocław-Strachowice, SM – Smolice, NA – Namysłów, DO – Dobrogoszcz)

| Średnie sumy opadów atmosferycznych [mm] | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Rok |
| **WR** | 28,2 | 24,1 | 30,5 | 36,9 | 57,1 | 78,7 | 90,8 | 64,0 | 50,6 | 37,9 | 36,8 | 34,3 | 569,9 |
| **SM** | 31,3 | 27,6 | 34,4 | 32,2 | 47,1 | 64,6 | 80,5 | 64,9 | 46,5 | 37,5 | 37,9 | 41,7 | 546,2 |
| **NA** | 31,8 | 25,6 | 33,7 | 36,0 | 58,5 | 66,4 | 89,6 | 66,0 | 48,9 | 42,2 | 38,6 | 41,4 | 578,7 |
| **DO** | 20,3 | 21,5 | 26,2 | 39,9 | 63,8 | 84,3 | 95,1 | 68,4 | 57,8 | 35,7 | 33,5 | 25,9 | 572,4 |

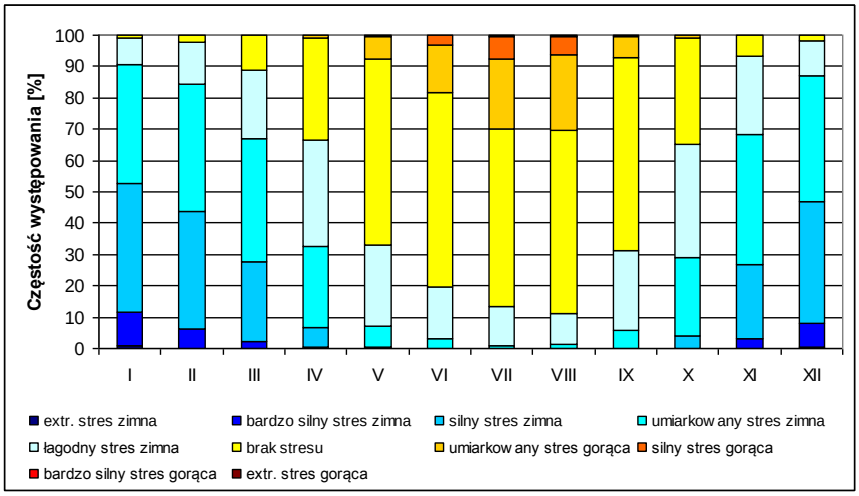
| Liczba dni z opadem ≥ 0,1 mm | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Rok |
| **WR** | 14,1 | 12,8 | 13,7 | 11,4 | 12,7 | 13,5 | 13,5 | 11,7 | 12,3 | 11,3 | 14,5 | 16,1 | 157,7 |
| **SM** | 15,1 | 13,2 | 12,6 | 11,1 | 11,8 | 13,1 | 12,9 | 11,9 | 11,3 | 12,1 | 14,4 | 16,0 | 155,7 |
| **NA** | 15,0 | 13,7 | 13,7 | 12,4 | 12,7 | 14,1 | 13,4 | 11,7 | 12,6 | 13,4 | 15,6 | 17,2 | 165,5 |
| **DO** | 13,7 | 12,8 | 14,5 | 13,14 | 13,1 | 14,6 | 13,8 | 12,3 | 12,8 | 11,6 | 14,1 | 14,9 | 161,5 |

| Średnia liczba dni z opadem ≥ 1 mm | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Rok |
| **WR** | 7,3 | 6,3 | 7,7 | 7,3 | 9,0 | 9,7 | 9,6 | 7,9 | 8,1 | 6,8 | 8,1 | 8,7 | 96,5 |
| **SM** | 8,6 | 7,5 | 7,6 | 7,4 | 8,3 | 9,1 | 9,5 | 8,5 | 7,8 | 7,1 | 8,7 | 10,6 | 100,6 |
| **NA** | 8,1 | 6,8 | 8,1 | 7,1 | 8,8 | 9,8 | 9,6 | 8,1 | 8,0 | 7,6 | 9,1 | 9,8 | 100,9 |
| **DO** | 5,6 | 5,5 | 6,7 | 7,8 | 9,2 | 10,6 | 10,5 | 8,6 | 8,4 | 6,5 | 6,8 | 7,0 | 93,1 |

| Średnia wysokość pokrywy śnieżnej [cm] | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Rok |
| **WR** | 8,4 | 8,1 | 5,7 | 3,7 | . | . | . | . | . | 4,0 | 5,1 | 4,9 | 7,0 |
| **SM** | 9,4 | 9,2 | 6,6 | 5,0 | . | . | . | . | . | 5,0 | 5,9 | 5,6 | 8,0 |
| **NA** | 8,2 | 8,6 | 6,0 | 5,1 | 1,0 | . | . | . | . | 3,7 | 5,1 | 5,0 | 7,1 |
| **DO** | 7,8 | 8,0 | 6,6 | 3,1 | . | . | . | . | . | 4,0 | 4,5 | 4,1 | 6,6 |

| Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną [dni] | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stacja | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Rok |
| **WR** | 13,7 | 9,8 | 3,5 | 0,7 | . | . | . | . | . | 0,1 | 3,4 | 8,0 | 39,1 |
| **SM** | 11,1 | 8,8 | 2,6 | 0,3 | . | . | . | . | . | 0,0 | 2,0 | 6,7 | 31,5 |
| **NA** | 14,5 | 10,8 | 4,0 | 0,6 | 0,0 | . | . | . | . | 0,1 | 3,7 | 9,6 | 43,3 |
| **DO** | 12,0 | 9,9 | 3,6 | 0,9 | . | . | . | . | . | 0,0 | 3,1 | 7,1 | 36,5 |

Warunki klimatu odczuwalnego (bioklimatu) WROM przedstawiono na podstawie jednego z najnowocześniejszych narzędzi stosowanych w bioklimatologii człowieka, jakim jest wskaźnik obciążeń cieplnych UTCI (*Universal Thermal Climate Index*). Wskaźnik UTCI obliczany jest w oparciu o tzw. wielowęzłowe modele bilansu cieplnego ciała człowieka. W obliczeniach UTCI uwzględniana jest temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru i czynniki radiacyjne. Wartości wskaźnika grupowane są w 10 klasach obciążeń cieplnych, od *ekstremalnego stresu zimna* do *ekstremalnego stresu gorąca* (ryc. 4). Na podstawie danych z lat 1971-2010 można stwierdzić, że w obszarze WROM w okresie półrocza ciepłego przeważają dni z brakiem obciążeń cieplnych, których największa częstość przypada na czerwiec i wrzesień. W lipcu oraz w sierpniu ich frekwencja jest nieznacznie niższa z uwagi na częściej niż w innych miesiącach pojawiający się stres gorąca. W okresie tym dni z umiarkowanym, silnym i bardzo silnym stresem gorąca stanowią około 30%. Tak duża częstość występowania dni z dyskomfortem gorąca spowodowana jest głównie wysokimi wartościami temperatury powietrza, dużą częstością stanów parności, a także mniejszą niż w pozostałej części roku prędkością wiatru oraz intensywniejszym promieniowaniem słonecznym.



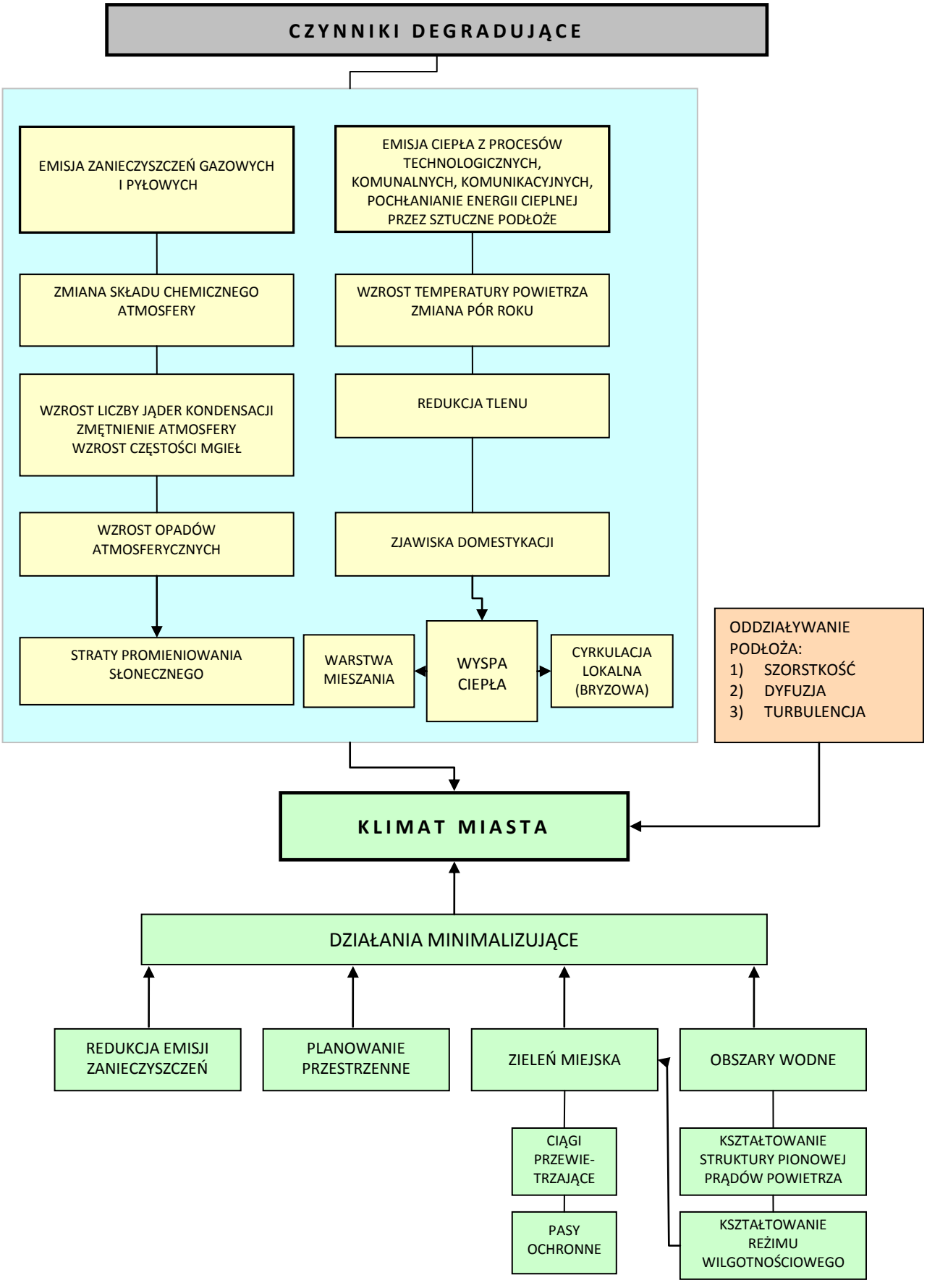

Ryc. 4. Częstość występowania dni z poszczególnymi klasami obciążeń cieplnych na stacji meteorologicznej Wrocław-Strachowice w latach 1971-2010 [opracowanie własne]

Liczba dni z korzystnymi dla organizmu człowieka sytuacjami pogodowymi nie powodującymi obciążeń cieplnych organizmu znacznie maleje w czasie półrocza chłodnego, zwłaszcza w miesiącach zimowych. Od grudnia do lutego łącznie notowanych jest jedynie kilka takich dni, w pozostałych dniach obserwowane są sytuacje pogodowe powodujące stres zimna o różnej intensywności. Największe natężenie stresu zimna notowane jest w styczniu, kiedy dni z silnym, bardzo silnym i

ekstremalnym stresem zimna stanowią ponad połowę liczby dni w tym okresie. Wynika to przede wszystkim z niekorzystnych warunków termiczno-wilgotnościowych (niskie wartości temperatury powietrza oraz wysoka wilgotność względna powietrza), stosunkowo wysokiej prędkości wiatru oraz mniej korzystnych w porównaniu do półrocza ciepłego warunków nefologiczncyh i radiacyjnych.

Przedstawione powyżej charakterystyki klimatologiczne na obszarze miasta ulegają modyfikacji wskutek oddziaływania czynników antropogenicznych, takich jak: wzrost udziału powierzchni sztucznych, emisja zanieczyszczeń i ciepła z procesów antropogenicznych, a także zabudowa (ryc. 5). Czynniki te powodują wytworzenie się specyficznego klimatu miejskiego, który różni się od warunków obserwowanych w strefie pozamiejskiej. Skala i zakres oddziaływania tych czynników zależy m.in. od wielkości miasta, liczby mieszkańców oraz układu urbanistycznego czy warunków topograficznych oraz obecności dużych zbiorników wodnych. Jednak podobieństwo obserwowanych zmian pozwala wyodrębnić klimat obszarów zurbanizowanych, z charakterystycznymi, odmiennymi cechami od klimatu obszarów pozamiejskich. Warunki klimatologiczne Wrocławia, które charakteryzują się typowymi cechami klimatu obszarów zurbanizowanych zostały przedstawione w następnym rozdziale.

Ryc. 5. Schemat czynników i procesów antropogenicznych wpływających na klimat obszarów zurbanizowanych za Lewińska (2000), zmodyfikowany


CZYNNIKI DEGRADUJĄCE
EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH I PYŁOWYCH
EMISJA CIEPŁA Z PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH, KOMUNALNYCH, KOMUNIKACYJNYCH, POCHŁANIANIE ENERGII CIEPLNEJ PRZEZ SZTUCZNE PODŁOŻE
ZMIANA SKŁADU CHEMICZNEGO ATMOSFERY
WZROST TEMPERATURY POWIETRZA ZMIANA PÓR ROKU
WZROST LICZBY JĄDER KONDENSACJI ZMĘTNIENIE ATMOSFERY WZROST CZĘSTOŚCI MGIEŁ
REDUKCJA TLENU
WZROST OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH
ZJAWISKA DOMESTYKACJI
STRATY PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO
WARSTWA MIESZANIA
WYSPA CIEPŁA
CYRKULACJA LOKALNA (BRYZOWA)
ODDZIAŁYWANIE PODŁOŻA:
1) SZORSTKOŚĆ
2) DYFUZJA
3) TURBULENCJA
KLIMAT MIASTA
DZIAŁANIA MINIMALIZUJĄCE
REDUKCJA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ
PLANOWANIE PRZESTRZENNE
ZIELEŃ MIEJSKA
OBSZARY WODNE
CIĄGI PRZEWIE-TRZAJĄCE
PASY OCHRONNE
KSZTAŁTOWANIE STRUKTURY PIONOWEJ PRĄDÓW POWIETRZA
KSZTAŁTOWANIE REŻIMU WILGOTNOŚCIOWEGO

## 3. Ocena zagrożeń dla klimatu lokalnego w związku z postępującym procesem urbanizacji terenów otwartych

Przekształcenie środowiska naturalnego w wyniku procesu urbanizacji powoduje modyfikację poszczególnych elementów klimatu lokalnego (tab. 4). Największą rolę w kształtowaniu specyfiki klimatu miasta odgrywają takie czynniki jak: zmiana właściwości fizycznych podłoża, zmiana intensywności przepływu powietrza warunkująca wymianę ciepła i pary wodnej, zmniejszenie parowania powierzchni czynnej, emisja ciepła antropogenicznego oraz zanieczyszczenie pyłowe i gazowe atmosfery (Lewińska 2000). Klimat miasta przyczynia się do formowania specyficznych ekosystemów miejskich (Kożuchowski 2005).

Tab. 4. Wielkość zmian elementów klimatu na obszarze dużego miasta w porównaniu z terenami wiejskimi (Landsberg 1981, za: Dubicka i Szymanowski 2001)

| Elementy klimatu | Stopień zmienności |
|---|---|
| **Substancje zanieczyszczające**: | |
| jądra kondensacji | do 10 razy więcej |
| cząstki | do 10 razy więcej |
| gazowe domieszki | do 5-25 razy więcej |
| **Promieniowanie słoneczne**: | |
| całkowite na powierzchnię poziomą | 0-20% mniejsze |
| ultrafioletowe zimą | 30% mniejsze |
| ultrafioletowe latem | 5% mniejsze |
| czas promieniowania słonecznego | 5-15% krótszy |
| **Zachmurzenie** | 5-10% większe |
| **Mgły**: | |
| zimą | 100% więcej |
| latem | 30% więcej |
| **Opady**: | |
| suma roczna | 5-15% większa |
| liczba dni z opadem poniżej 5 mm | 10% większa |
| opad śniegu na zawietrznym krańcu miasta | 10% większy |
| opad śniegu w centrum miasta | 5-10% mniejszy |
| burze | 10-15% więcej |
| **Temperatura powietrza**: | |
| średnia roczna | 0,5-3,0$^{o}$C większa |
| minimalna zimą | 1,0-2,0$^{o}$C większa |
| maksymalna latem | 1,0-3,0$^{o}$C większa |
| **Wilgotność względna**: | |
| średnia roczna | 6% mniejsza |
| zimą | 2% mniejsza |
| latem | 8% mniejsza |
| **Prędkość wiatru**: | |
| średnia roczna | 20-30% mniejsza |
| maksymalna w porywach | 10-20% mniejsza |
| liczba dni z ciszą | 5-20% mniejsza |

Modyfikacja klimatu lokalnego na obszarach zurbanizowanych dotyczy przede wszystkim bilansu promieniowania słonecznego oraz bilansu cieplnego powierzchni czynnej. W wyniku procesów zachodzących w atmosferze miasta wzrasta udział promieniowania rozproszonego na skutek zwiększonej ilości aerozoli, niższe jest promieniowanie odbite (albedo) z powierzchni czynnej o różnych właściwościach fizycznych. Natomiast zróżnicowanie bilansu cieplnego powierzchni czynnej miasta względem terenów pozamiejskich wynika z odmiennej: wymiany ciepła przez przewodzenie, turbulencyjnej wymiany ciepła, wymiany ciepła utajonego oraz emisji ciepła ze spalania surowców energetycznych (Lewińska 2006).

Modyfikacja warunków meteorologicznych na terenie miasta jest najbardziej charakterystyczna w przypadku temperatury powietrza. Wyższe wartości temperatury powietrza obserwowane zwłaszcza w centrum miasta, odznaczającym się zwartą zabudową o dużym udziale powierzchni sztucznych, są typowym efektem zmian klimatu w obszarach zurbanizowanych. Ten wzrost temperatury powietrza nazywany jest miejską wyspą ciepła, jest ona również wskaźnikiem oceny wpływu miast na klimat lokalny (Dubicka 1994).

Badania prowadzone przez Uniwersytet Wrocławski (Dubicka 1994, Dubicka i Szymanowski 2001, Szymanowski 2004) wykazały, że miejska wyspa ciepła obserwowana jest we Wrocławiu w ciągu całego roku, odznacza się jednak zmienną intensywnością, zarówno w cyklu dobowym jak i rocznym. Intensywność tego zjawiska określana jest różnicą temperatury powietrza miedzy obszarem zabudowanym a obszarem pozamiejskim.

Średnie roczne natężenie wyspy ciepła we Wrocławiu, w centrum miasta, wynosi 1$^{o}$C i zmienia się od 0,5$^{o}$C w dzień do 1,6$^{o}$C w nocy (Dubicki i in, 2002). W zabudowie wysokiej (5-11 kondygnacji) wynosi 0,7$^{o}$C, a w zabudowie niskiej z dużym udziałem zieleni 0,3$^{o}$C (tab. 5).

We Wrocławiu największą intensywność miejska wyspa ciepła osiąga w porze nocnej w miesiącach letnich, wynosi średnio 2,3$^{o}$C w centrum, 1,6$^{o}$C w zabudowie wysokiej oraz 0,6$^{o}$C w zabudowie niskiej (Dubicka 1994; Dubicki i in, 2002). Jest to uwarunkowane przede wszystkim mniejszym w porównaniu do sezonu zimowego stopniem zachmurzenia oraz mniejszą prędkością wiatru, co powoduje silniejsze nagrzewanie się terenów o dużym udziale powierzchni sztucznych oraz mniejszym stopniu przewietrzania. Natomiast zimą większe znaczenie w kształtowaniu miejskiej wyspy ciepła ma emisja ciepła antropogenicznego.

Tab. 5. Intensywność miejskiej wyspy ciepła (°C)we Wrocławiu w latach 1997-2000 jako różnica temperatury powietrza między obszarami zabudowanymi, a stacją peryferyjną (źródło: Dubicki i in. 2002)

| | Rok | Lato | Zima | Rok | Lato | Zima | Rok | Lato | Zima |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Stacja IV - stacja I (centrum miasta – peryferia) | | | Stacja III - stacja I (wysoka zabudowa – peryferia) | | | Stacja II - stacja I (niska zadudowa – peryferia) | | |
| Średnie różnice temperatury powietrza (°C) | | | | | | | | | |
| 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 różnice temperatury powietrza (°C) | | | | | | | | | |
| 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 |

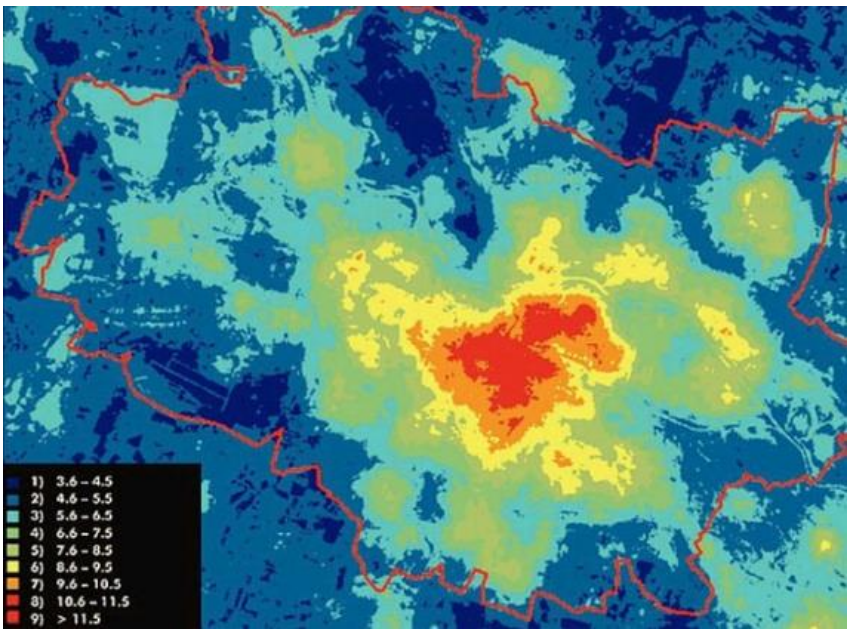
Objaśnienia:
Stacja I – obszar peryferyjny, stacja referencyjna; stacja II – obszar niskiej zabudowy z dużym udziałem zieleni; stacja III – osiedle o zabudowie wysokiej, położony ok. 3,5 km od centrum; stacja IV – obszar zabudowy zwartej, 4-5 kondygnacyjnej (ul. Teatralna)

Wystąpienie oraz intensywność miejskiej wyspy ciepła, oprócz takich czynników jak: charakter podłoża, zabudowa czy odległość od centrum, zależy również od warunków meteorologicznych, a przede wszystkim od zachmurzenia oraz prędkości wiatru. Badania prowadzone we Wrocławiu (Dubicka 1994; Dubicki i in, 2002) wykazały, że bez względu na porę doby, największa intensywność miejskiej wyspy ciepła występuje przy małym zachmurzeniu oraz prędkości wiatru poniżej 2 m/s. Wzrost prędkości wiatru powyżej 4 m/s w nocy i 1 m/s w dzień, bez względu na stopień zachmurzenia, powoduje zanik lub znaczne obniżenie intensywności miejskiej wyspy ciepła (Szymanowski 2004).

W przebiegu dobowym największe natężenie miejskiej wyspy ciepła obserwowane jest w godzinach nocnych, w czasie pogody o charakterze antycyklonalnym. W ciągu dnia zjawisko miejskiej wyspy ciepła zanika lub słabnie, z uwagi na konwekcję oraz turbulencyjną wymianę powietrza pomiędzy miejscami nasłonecznionymi i zacienionymi, co powoduje wyrównanie temperatury powietrza na tych terenach.

Poziomą strukturę miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu przedstawili Dubicki, Dubicka i Szymanowski (2002) na przykładzie sytuacji z 22 na 23 maja 2001, trzy godziny po zachodzie Słońca (ryc. 6). Sytuacja ta charakteryzowała się dużą intensywnością miejskiej wyspy ciepła związaną z warunkami pogody antycyklonalnej, o słabym wietrze i przy braku zachmurzenia. Rozkład temperatury powietrza ściśle nawiązywał do struktury użytkowania terenu i układu zabudowy. Najwyższa temperatura (powyżej 11,5°C) występowała w centrum miasta: Stare Miasto, Ołbin,

okolice Placu Grunwaldzkiego, a najniższa na północy miasta w rejonie pól irygacyjnych (3,6°C). W warunkach meteorologicznych sprzyjających dużej intensywności miejskiej wyspy ciepła, również osiedla izolowane od obszaru ciągłej zabudowy tworzą mniejsze wyspy ciepła np. dzielnica Psie Pole (Dubicki i in., 2002).




Ryc. 6. Zróżnicowanie temperatury powietrza we Wrocławiu w dniu 22.05.2001 r. o godz. 23.00 GMT (źródło: Dubicki i in. 2002)

Na terenach o zwartej i intensywnej zabudowie, gdzie nie ma możliwości łagodzenia lokalnych warunków klimatycznych poprzez zwiększeniem powierzchni terenów zieleni, dobrym rozwiązaniem jest stosowanie jasnych barw elewacji. Z uwagi na większy stopień odbijania promieniowania słonecznego przez jaśniejsze obiekty, na terenie intensywnie zabudowanych części miasta o jaśniejszych barwach elewacji notowane są mniejsze wartości promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię czynną, co w konsekwencji prowadzi do mniej intensywnego nagrzewania się ich w porównaniu do powierzchni ciemnych. Przykładowe wielkości albedo (stosunek promieniowania odbitego do promieniowania całkowitego padającego na daną powierzchnię) zostały przedstawione w tabeli 6.

Tab. 6. Albedo [%] wybranych powierzchni czynnych

| Powierzchnie naturalne | Albedo [%] | Powierzchnie sztuczne | Albedo [%] |
|---|---|---|---|
| Śnieg świeży | 80-95 | Cegła | 20-40 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Śnieg zanieczyszczony | 40-50 | Beton | 10-35 |
| Łąki | 20-30 | Dachówka | 10-35 |
| Lasy liściaste | 15-20 | Asfalt | 5-20 |
| Lasy iglaste | 10-15 | - | - |
| Gleby ciemne | 5-15 | - | - |

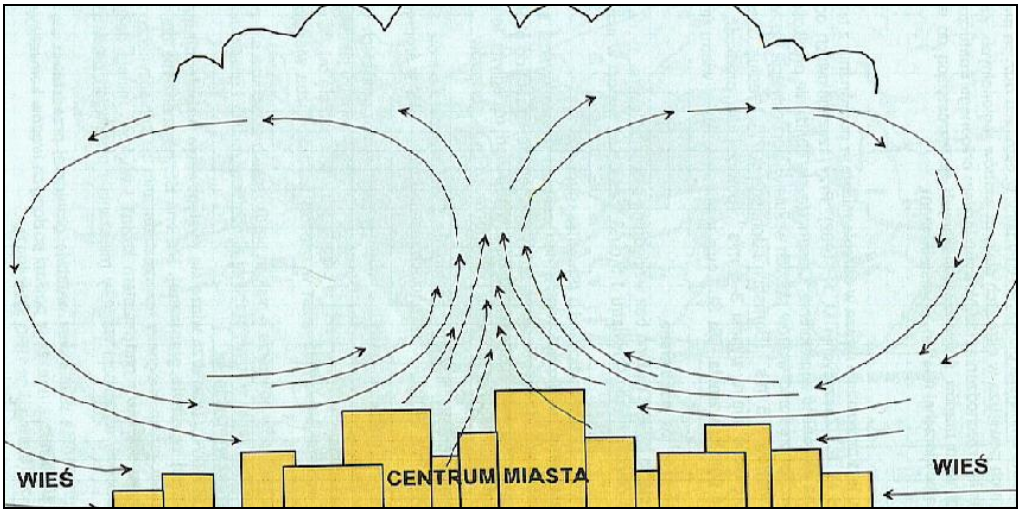
Podobnie jak w przypadku temperatury powietrza, o odmienności klimatycznej miasta świadczą również warunki wilgotnościowe. Są one ściśle uzależnione od temperatury powietrza, jednakże zabudowa miejska oraz obszary zieleni dodatkowo modyfikują ich zróżnicowanie przestrzenne na terenie miasta. Na kształtowanie się struktury wilgotnościowej miasta wpływ mają przede wszystkim zmniejszenie parowania terenowego i ograniczenie kondensacji wskutek dużego udziału powierzchni sztucznych, a także spływ powierzchniowy i występowanie antropogenicznych źródeł emisji pary wodnej. Skutkiem tego jest zróżnicowanie warunków wilgotnościowych w cyklu dobowym i rocznym oraz powstawanie deficytu pary wodnej w powietrzu. W odróżnieniu jednak od różnicowania się temperatury powietrza w obszarach miejskich, największe wartości i maksimum częstości występowania deficytu pary wodnej w przebiegu dobowym obserwowane są w godzinach dziennych. Natomiast w czasie pogody odznaczającej się niskim stopniem zachmurzenia i małą prędkością wiatru, zwłaszcza w chłodnej porze roku i głównie w godzinach nocnych wystąpić może zjawisko nadmiaru pary wodnej w powietrzu.

We Wrocławiu, w centrum miasta, silnie zaznacza się niedobór pary wodnej w godzinach dziennych oraz jej nadmiar w ciągu nocy, na pozostałym obszarze miasta oraz na jego peryferiach warunki te występują w ograniczonej formie (Dubicka i in. 2003, Rosiński 2005). Deficyt pary wodnej w powietrzu, wynikający z braku naturalnego źródła pary wodnej w centrum miasta, obserwowany jest podczas całego dnia latem i przez kilka godzin zimą. Natężenie deficytu w lipcu osiąga przeciętnie -1,9 hPa, a zimą około -0,5 hPa. Nadmiar pary wodnej w centrum miasta, najczęściej jest obserwowany w godzinach nocnych chłodnej pory roku oraz w miesiącach od kwietnia do czerwca. Na obszarze miasta z przewagą udziału zieleni miejskiej w stosunku do powierzchni sztucznych, zjawisko to ma charakter ograniczony, a okresy odznaczające się nadmiarem pary wodnej występują wyłącznie w godzinach nocnych w czerwcu, lipcu oraz we wrześniu.

Oddziaływanie miasta na warunki wilgotnościowe jest również zauważalne w przypadku wilgotności względnej powietrza. W centrum Wrocławia, ze względu na wyższą w stosunku do innych obszarów temperaturę powietrza w ciągu nocy, w okresie letnim obserwowany jest spadek

wilgotności o nawet o ok. 16%, podczas gdy w innych rejonach miasta spadek ten wynosi około 10% a na obszarach zlokalizowanych na obrzeżach miasta tylko 2,5% (Rosiński 2005).

Bardzo ważną rolę w kształtowaniu klimatu miasta odgrywa wiatr. Jest on jednym z głównych czynników meteorologicznych wpływających na zanikanie miejskiej wyspy ciepła. W charakterystyce klimatu miasta pojawia się m.in. pojęcie tzw. bryzy miejskiej oraz miejskiego systemu ruchów powietrza (ryc. 7). Lokalna cyrkulacja na terenie miasta może powodować zarówno pozytywne jak i negatywne skutki w ekosystemie miasta. Do korzystnych aspektów zaliczyć można m.in. generowanie napływu powietrza z obszarów otaczających miasto, a także poprawę warunków przewietrzenia i samooczyszczania się atmosfery. Niekorzystne działanie systemów lokalnej cyrkulacji polegać może m.in. na napływie zanieczyszczonego powietrza z obszarów uprzemysłowionych, występowaniu tzw. efektów tunelowych, powodujących znaczny wzrost prędkości wiatru w wąskich arteriach, a także wzrost strat ciepła z otoczenia w dniach chłodnych (Tamulewicz 1997).




Ryc. 7. Układ prądów powietrza podczas pogody radiacyjnej (Lewińska 2000 za Bernatzky 1979)

W obszarach zurbanizowanych modyfikacji ulega również rozkład opadów atmosferycznych. W stosunku do regionów pozamiejskich zwiększeniu na terenie miasta ulegają takie charakterystyki jak: suma opadu, liczba dni z opadem oraz wydłużenie czasu ich trwania, a także wzrost częstości występowania opadów gradu, burz oraz opadów o silnym natężeniu (Dubicka i Szymanowski 2001). Opady atmosferyczne ulegają zróżnicowaniu również na obszarze samego miasta, istotny wpływ na wysokość opadu ma pokrycie terenu i charakter zabudowy. Opady w centrum miasta o zwartej zabudowie są wyższe o około 11% względem peryferii miasta.

W przypadku Wrocławia, obszar miejski oddziałuje na wielkość i strukturę opadu w promieniu 10-15 km od granic miasta (Schmuck 1967). Badania Schmucka (1967) wykazały, że wyższymi opadami charakteryzują się dzielnice i osiedla: Stare Miasto, Śródmieście, Krzyki i Karłowice względem dzielnic wschodnich i zachodnich miasta.

Wzrost opadów w obszarach zurbanizowanych można rozpatrywać w kategorii wad i zalet dla ekosystemu miejskiego. Wyższe opady na terenach miejskich przyczyniają się do skuteczniejszego oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń, zaś niekorzystnym skutkiem jest wzrost zanieczyszczeń wód gruntowych oraz utrudnienia komunikacyjne związane z występowaniem opadów (Tamulewicz 1997).

Modyfikacja klimatu lokalnego miasta, związanego ze zmianą warunków termicznych, wilgotnościowych, wietrznych oraz solarnych, charakteryzuje się przeważnie niekorzystnym oddziaływaniem na organizm człowieka. Wpływ warunków pogodowych na człowieka został udowodniony w licznych publikacjach poświęconych dziedzinie biometeorologii człowieka. Obszar dużego miasta, z uwagi na znaczną liczbę mieszkańców oraz specyficzne lokalne warunki klimatyczne, jest szczególnie podatny na wysoki stopień oddziaływania pogody zarówno na zdrowie i samopoczucie jego mieszkańców.

Organizm człowieka jest narażony na działanie różnego rodzaju bodźców, wśród których można wyróżnić zespoły bodźców: fizycznych, chemicznych i biologicznych (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997). W kontekście warunków pogodowych najbardziej istotnym jest zespół bodźców fizycznych, do którego można zaliczyć bodźce termiczno-wilgotnościowe (temperatura i wilgotność względna powietrza), bodźce radiacyjne (promieniowanie słoneczne), bodźce akustyczne (natężenie hałasu) oraz bodźce mechaniczne (prędkość wiatru).

W przypadku temperatury powietrza za niekorzystne sytuacje pogodowe uważa się takie, w których maksymalne wartości temperatury osiągają co najmniej 25$^{o}$C („dni gorące”) lub 30$^{o}$C („dni upalne”). We Wrocławiu, w lipcu oraz sierpniu co drugi dzień klasyfikowany jest jako „gorący” lub „upalny” (Sikora 2005). W przypadku dużego miasta jakim jest Wrocław, wskutek nierównomiernego nagrzewania się poszczególnych jego rejonów wynikającego z różnego udziału powierzchni sztucznych, najbardziej narażone na pojawianie się tego typu warunków termicznych są tereny charakteryzujące się zwartą zabudową, zlokalizowane głównie w centrum miasta. Największe zróżnicowanie termiczne względem obszarów peryferyjnych jest obserwowane przede wszystkim w czasie pogody antycyklonalnej. Mała prędkość wiatru nie powoduje wówczas wyrównywania

warunków termicznych na całym obszarze, a jednocześnie obserwowany jest mały stopień zachmurzenia, który przyczynia się do zwiększenia promieniowania słonecznego, powodującego zmienne nagrzewanie się różnego rodzaju powierzchni czynnej na terenie Wrocławia.

Obszary o zwartej zabudowie i charakteryzujące się dużym udziałem powierzchni sztucznych odznaczają się również nieco innymi w porównaniu do pozostałych części miasta warunkami występowania tzw. „dni mroźnych" i „bardzo mroźnych", w których temperatura maksymalna powietrza jest mniejsza niż 0$^{o}$C i -10$^{o}$C. W tym przypadku, zwłaszcza w czasie pogody o charakterze antycyklonalnym, na obszarach pokrytych powierzchnią sztuczną stopień wychładzania się przebiega bardziej intensywnie niż na terenach o większym udziale powierzchni zielonych i z podłożem naturalnym.

Niekorzystne oddziaływanie warunków termicznych pojawia się w przypadku wysokich amplitud dobowych temperatury powietrza. O niekorzystnym wpływie można mówić w sytuacji, kiedy dobowa amplituda temperatury powietrza wynosi powyżej 8$^{o}$C (Błażejczyk 2004). Obszary o zwartej zabudowie i przewagą powierzchni sztucznej odznaczają się szybszym nagrzewaniem, jak również oddawaniem ciepła. Natomiast obszary zlokalizowane w większej odległości od centrum miasta, usytuowane często w otoczeniu terenów zieleni, charakteryzują się łagodniejszym przebiegiem termicznym w ciągu doby.

Podobnie jak temperatura powietrza, czynnikiem kształtującym odczucia cieplne człowieka jest również wilgotność powietrza. Zarówno jej wysokie, jak i zbyt niskie wartości mają duże znaczenie dla zachowania równowagi cieplnej człowieka. Wysoka wilgotność powietrza utrudnia oddychanie i oddawanie ciepła z organizmu w procesie parowania, przez co powoduje powstawanie odczucia parności. Stan wysokiej wilgotności powietrza potęguje również odczucia zimna w czasie chłodnej pogody i odczucia gorąca przy wysokiej temperaturze powietrza. Natomiast w przypadku niskiej wilgotności powietrza, zintensyfikowaniu ulega proces strat wody z organizmu (Błażejczyk 2004, Sikora 2005).

Szczególnie niekorzystne jest występowanie stanów parności, według kryterium Scharlaua pogoda parna występuje kiedy wartość ciśnienia pary wodnej wynosi ≥18,8 hPa. We Wrocławiu dni parne najczęściej obserwowane są w lipcu i sierpniu, kiedy ich częstość dochodzi do 25%. Cechą charakterystyczną jest zróżnicowanie ciśnienia pary wodnej między obszarami o niskiej i niezbyt intensywnej zabudowie (Biskupin), a terenem podmiejskim (Strachowice). Większe wartości obserwowane są na Biskupinie, co wynika z faktu występowania w niedalekiej odległości rezerwuaru wilgoci jakim jest Park Szczytnicki (Sikora 2005). Podobne cechy obserwowane są również w innych

rejonach miasta położonych w otoczeniu terenów zieleni, zwłaszcza parków miejskich, gdzie przez cały rok występuje dodatnie odchylenie ciśnienia pary wodnej w porównaniu do obszarów podmiejskich. Wzrost ciśnienia pary wodnej jest również zauważalny na terenach zlokalizowanych bliżej zbiorników wodnych.

Bardzo ważnym elementem wpływającym na odczucia cieplne człowieka oraz na jego bilans cieplny jest prędkość wiatru. Podobnie jak w przypadku wilgotności powietrza niekorzystne oddziaływanie można zaobserwować w czasie sytuacji pogodowych odznaczających się zarówno zbyt niskimi jak i wysokimi jego wartościami. Brak wiatru, określany jako cisza atmosferyczna, sprzyja stagnacji powietrza i zawartych w nim zanieczyszczeń. Ponadto powoduje utrudnienia w oddawaniu nadmiaru ciepła z organizmu człowieka do otoczenia, stwarzając tym samym ryzyko przegrzania organizmu (Błażejczyk 2004). Wysokie prędkości wiatru, definiowane zwykle w oparciu o kryterium prędkości przekraczającej 8 m/s, mają duże znaczenie ze względu na nadmierne wychładzania organizmu, co jest bardzo istotne zwłaszcza w chłodnej porze roku. Na terenie dużego miasta, w którym prędkość wiatru ulega silnej modyfikacji, zróżnicowanie warunków anemometrycznych odgrywa szczególna rolę. W centrum Wrocławia, gdzie z uwagi na zabudowę notowana jest mniejsza prędkość wiatru, częściej niż w innych rejonach Wrocławia obserwowane są sytuacje pogodowe z ciszą atmosferyczną. Odczucie dyskomfortu z tym związane zauważalne jest zwłaszcza w okresie letnim, w czasie pogody antycyklonalnej, kiedy słaba wymiana ciepła między organizmem człowieka a otoczeniem jest utrudniona zarówno przez brak wiatru, jak i wysoką temperaturę powietrza. Natomiast w przypadku oddziaływania silnego wiatru, jego niekorzystny wpływ jest notowany najczęściej na obrzeżach miasta oraz w rejonach, gdzie obserwowana jest lokalna cyrkulacja powietrza spowodowana specyficzną zabudową w postaci np. wąskich arterii komunikacyjnych czy wielokondygnacyjnych brył bloków mieszkalnych, powodujących efekt tunelowy, a także lokalne zawirowania i gwałtowny wzrost prędkości wiatru. Oddziaływanie to, w kontekście bilansu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, jest zauważalne najczęściej zimą, kiedy straty ciepła z organizmu podczas występowania silnego wiatru są największe. Centrum Wrocławia jest zdecydowanie najmniej wietrznym rejonem miasta. Na terenach pozamiejskich prędkość wiatru jest pięciokrotnie, a w obszarach o zabudowie willowej i wysokich blokowiskach dwukrotnie wyższa niż w centrum miasta (Sikora 2005). Największe różnice pomiędzy terenami miejskimi a podmiejskimi obserwowane są ciągu dnia, kiedy różnica prędkości wiatru względem terenów podmiejskich wynosi średnio 2 m/s w przypadku centrum miasta oraz 1,4 m/s dla osiedli willowych i wielokondygnacyjnych. W okresie nocy wartości te są o około połowę mniejsze.

W przypadku bodźców radiacyjnych (promieniowanie słoneczne), które są bardzo istotne w procesie kształtowania się bilansu cieplnego ciała człowieka oraz w kontekście klimatoterapii, podobnie jak wcześniej omówione elementy meteorologiczne, ulegają one również modyfikacji i zróżnicowaniu na terenie miasta. Przyczyną tego jest większa ilość zanieczyszczeń zawartych w powietrzu, większe zachmurzenie, a także układ architektoniczny uniemożliwiający dopływ promieniowania bezpośredniego do niektórych terenów miasta przy niskim kącie padania promieni słonecznych (Lewińska 2000, Sikora 2005). Z uwagi na deformację pola temperatury pod wpływem różnej ekspozycji słonecznej i wiatru, największe zróżnicowanie termiczne pomiędzy terenami o różnych ekspozycjach jest obserwowane przeważnie w godzinach porannych (Stopa-Boryczka i in. 2011). Sytuacja taka jest obserwowana zwłaszcza w przypadku ulic o przebiegu wschód-zachód. Dodatkowo, w rejonach o intensywnej i wysokiej zabudowie, ograniczeniu ulega również dopływ promieniowania rozproszonego. Natomiast w przypadku dużej wysokości słońca nad horyzontem i wartości promieniowania osiągającego 800 W/m$^2$, organizm człowieka może otrzymać większą jego ilość z uwagi na odbijanie promieniowania od elewacji budynku (Błażejczyk 2002). We Wrocławiu wartości promieniowania całkowitego różnicują się od 130 W/m$^2$ do ponad 220 W/m$^2$ na terenie podmiejskim. Na osiedlach wysokich bloków mieszkalnych średnia roczna wartość promieniowania była niższa o około 30 W/m$^2$ w porównaniu do obszarów podmiejskich (Sikora 2005).

Omówione elementy meteorologiczne wpływają na organizm człowieka poprzez wzajemne współdziałanie. W celu określenia tego oddziaływania, skonstruowane zostały liczne wskaźniki biometeorologiczne, przy pomocy których oblicza się kompleksowe oddziaływanie warunków pogodowych na organizm człowieka i jego bilans cieplny. Jednym z takich wskaźników jest temperatura odczuwalna (STI), obliczana w oparciu o model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, która uwzględnia w obliczeniach temperaturę i wilgotność względną powietrza, prędkość wiatru oraz warunki radiacyjne.

We Wrocławiu najczęściej notowane są sytuacje pogodowe odznaczające się występowaniem klas odczuć cieplnych z klasy „chłodno", które obserwowane są przez około 50% dni w roku. Pogoda charakteryzująca się występowaniem odczuć cielnych z klasy „ciepło" oraz z niekorzystnym dla organizmu człowieka stresem gorąca jest notowana podczas 29% dni w roku, a w okresie od maja do października przez ponad 50% dni. Natomiast typy pogody powodujące występowanie stresu zimna obserwowane są z częstością 7%, z maksimum przypadającym na grudzień, kiedy notowanych jest średnio 10 dni z tego typu pogodą (Sikora 2005).

Na terenach miejskich, odznaczających się intensywną zabudową i ograniczonym stopniem przewietrzania w stosunku do terenów pozamiejskich, bardzo niekorzystnym czynnikiem jest emisja zanieczyszczeń. Według wyników raportów rocznych WIOŚ (http://air.wroclaw.pios.gov.pl) dotyczących zanieczyszczenia powietrza na terenie Wrocławia, większość parametrów zanieczyszczeń kształtuje się w przedziale do 50% ustalonej normy. Wyjątek stanowią jedynie dwutlenek azotu ($NO_2$) oraz tlenki azotu ($NO_x$). W 2012 r. stężenie dwutlenku azotu w północnej części Wrocławia (Karłowice) stanowiło wartość między 50% a 75% normy (24µg/m$^3$), a w 2011 r. między 75% a 100% normy (32µg/m$^3$) osiągając maksimum w okresie półrocza chłodnego (do 44 µg/m$^3$ w listopadzie 2011 r. i do36 µg/m$^3$ w lutym 2012 r.). Najmniejsze stężenia są notowane w okresie letnim, w czerwcu oraz lipcu 2011 i 2012 r. wyniosły 16-20 µg/m$^3$. W południowych rejonach miasta (Krzyki) obserwowane są wyższe stężenia. Wartości stężeń tlenku azotu przekraczają normę i w 2011 r. wyniosły aż 64 µg/m$^3$.

W przypadku tlenków azotu zwykle obserwowane są wartości przekraczające obowiązujące normy. Średnie roczne stężenie tlenków azotu na północy Wrocławia wyniosło 37 µg/m$^3$ w 2012 r. oraz 47 µg/m$^3$ w 2011 r. Podobnie jak w przypadku dwutlenku azotu, największe stężenia są obserwowane w okresie półrocza chłodnego, a zwłaszcza w zimie (65 µg/m$^3$ w listopadzie 2012 r. oraz 65 i 57 µg/m$^3$ w listopadzie i styczniu 2011 r.). Na Krzykach stężenia tlenków azotu są znacznie większe. W 2011 r. ich średnia wartość wyniosła 183 µg/m$^3$, a w styczniu osiągnęła aż 230 µg/m$^3$.

Przekroczenie norm stężeń zarówno dwutlenku azotu jak i tlenków azotu jest charakterystyczne dla obszaru dużego miasta. Ponieważ największe stężenia tlenków azotu obserwowane są w okresie zimowym, mogą one odgrywać poważną rolę w kształtowaniu tzw. smogu zimowego na terenie miasta.

## 4. Znaczenie i funkcje terenów otwartych oraz elementów istniejącej zielonej infrastruktury Wrocławskiego Obszaru Metropolitalnego w kontekście kształtowania warunków klimatycznych

Tereny zieleni w obszarach zurbanizowanych są elementem, który pozytywnie oddziałuje na zdrowie mieszkańców oraz na ich samopoczucie. Obszary przyrodnicze w miastach pełnią kilka funkcji:

- ekologiczną,
- użytkową - głównie rekreacyjne,

- akustyczną (tłumienie hałasu),
- ochronną (w procesach ochrony przed zanieczyszczeniami),
- klimatotwórczą,
- estetyczną.

W obszarze WROM głównymi klasami użytkowania terenu (wg bazy danych Corine Land Cover 2006) są grunty orne (ok. 60 %) oraz lasy (ok. 19%), tereny zurbanizowane zajmują około 8%. Natomiast obszary objęte różnymi formami ochrony stanowią około 15% powierzchni WROM.

Przytoczone w poprzednim rozdziale informacje dotyczące różnicowania się warunków klimatycznych na obszarze miasta i terenach pozamiejskich wskazują na istotny wpływ różnych form użytkowania terenu na lokalne warunki klimatyczne. W dużym stopniu oddziałują one na warunki termiczno-wilgotnościowe, cyrkulacyjne i aerosanitarne miasta. Rodzaj pokrycia terenu, z uwagi na zróżnicowane albedo, ma duże znaczenie dla warunków radiacyjnych, a pokrywa roślinna silnie oddziałuje na kształtowanie się warunków termicznych.

*Wpływ zieleni na warunki termiczne i wilgotnościowe*

Modyfikacja warunków termicznych na terenach zieleni jest przede wszystkim związana z charakterem pochłaniania i akumulacji ciepła w porze dziennej oraz jego oddawaniem w porze nocnej. Tereny zieleni są chłodniejsze i bardziej wilgotne niż obszar zabudowany, jednak zróżnicowanie termiczne zależy od pory roku i charakteru zieleni.

W przebiegu dobowym największe zróżnicowanie termiczne między parkiem a terenami zabudowanymi występuje od godzin popołudniowych do godzin rannych. Badania prowadzone w Warszawie wykazały, że w parkach przeciętnie temperatura jest niższa o ok. 2-3$^{o}$C latem oraz około 1$^{o}$C zimą (Kopacz-Lembowicz i in. 1984).

W porównaniu do powierzchni otwartych średnia dobowa temperatura powietrza na terenie parków może być 7-20% niższa (tab. 7), zaś w przypadku maksymalnej temperatury powietrza o 9-23% niższa, zaś w przypadku temperatury minimalnej o 5-15% wyższa (Lewińska 2000).

Tab. 7. Modyfikacja wybranych elementów meteorologicznych na terenach zieleni w mieście strefy umiarkowanej w stosunku do terenów otwartych, na przykładzie Bratysławy (Bencat i Supuka, 1988, za: Lewińska 2000)

$T_{śr}$ - średnia temperatura powietrza, $T_{max}$ - temperatura maksymalna powietrza, $U_{śr}$ - średnia wilgotność względna powietrza, $U_{max}$ - maksymalna wilgotność względna powietrza)

| Tereny zieleni | $T_{śr}$ | $T_{max}$ | $U_{śr}$ | $U_{max}$ |
|---|---|---|---|---|
| Park leśny | -20% | -23% | +36% | +27% |
| Park miejski | -14% | -17% | +33% | +25% |
| Mały park | -7% | -9% | +26% | +12% |

Tereny zieleni są wyspami chłodu i wilgoci, zwłaszcza w okresie letnim (Kopacz-Lembowicz 1984). Największe kontrasty termiczne oraz wilgotnościowe między terenami zieleni a zabudową występują w okresie letnim podczas pogody radiacyjnej.

Wartości średniej dobowej wilgotności względnej powietrza w parkach, w porównaniu do terenu otwartego są o 25-35% wyższe (Lewińska 2000).

*Wpływ zieleni na warunki anemometryczne*

Tereny zieleni, zwłaszcza zieleń wysoka, ma również duży wpływ na kształtowanie prędkości wiatru oraz stanowi dobrą ochronę przed silnym wiatrem. Przy wykorzystaniu odpowiedniej lokalizacji pasów zieleni, można modyfikować prędkość i kierunek wiatru. W przypadku pasów zieleni wysokiej, prędkość wiatru jest modyfikowana po stronie zawietrznej w odległości od 8- do 60-krotnej wysokości drzew, a po stronie dowietrznej w odległości od 2- do 10-krotnej wysokości drzew. W lasach i parkach prędkość wiatru znacznie maleje. W odległości około 50 m od krawędzi lasu/parku obserwowana prędkość wiatru stanowi 55-75% wartości obserwowanej na terenie otwartym, natomiast już w odległości 200 m wartość ta spada do zaledwie 2% (Yoshino 1975).

W obszarze między zielenią wysoką zlokalizowaną równolegle do kierunku wiatru, prędkość wiatru może zwiększyć się o nawet o 120% (Lewińska 2000). Podobne warunki wietrzne są obserwowane również w przypadku obszarów położonych między zielenią wysoką, a zwartą zabudową wysokokondygnacyjną o podobnym układzie. Ma to duże znaczenie w aspekcie odpowiedniego przewietrzania.

Tereny zieleni, wskutek różnic w pochłanianiu i oddawaniu ciepła w porównaniu do obszarów zabudowanych, przyczyniają się również do powstania lokalnej cyrkulacji wymiany powietrza, zwłaszcza podczas pogody radiacyjnej, bezwietrznej.

*Wpływ zieleni na obieg wody*

Tereny zieleni spełniają również bardzo ważną funkcję w naturalnym obiegu wody w przyrodzie. Rośliny posiadają dużą powierzchnię transpiracji, a wyparowana woda ochładza powietrze i powoduje wzrost wilgotności powietrza (Bartnicka i Ullman 2009). W przypadku kiedy tereny zieleni zlokalizowane są w bliskiej odległości od zabudowań spełniają również bardzo ważną funkcję osuszania fundamentów, poprzez intensywne pobieranie wody z gruntu. W przypadku terenów intensywnie zabudowanych woda opadowa zwykle odprowadzana jest kanałami, przez co naturalny obieg wody jest zaburzony. Utrudnienie tego obiegu może być również spowodowane przez intensywne parowanie wody z powierzchni dachów, co odgrywa szczególnie istotną rolę zwłaszcza w okresie letnim.

*Wpływ zieleni na tłumienie hałasu*

Lokalizacja terenów zieleni w niedalekiej odległości od głównych arterii komunikacyjnych przyczynia się do tłumieniu hałasu. Stosowanie wzdłuż ulic pasów zieleni z rzędami drzew wysokich i krzewów, może zmniejszać 2-3-krotnie natężenie hałasu poprzez pochłanianie i odbijanie dźwięków (Łukaszewicz i Łukaszewicz 2006).

Pokrywa roślinna może stanowić czynnik tłumienia hałasu, gdy występuje w zwartych dość gęstych skupiskach na stosunkowo dużych obszarach, tworzących kilka pasów o szerokości po kilkanaście metrów (Lewińska 2000, za Laskowski 1987).

Drzewa i krzewy w pasach o szerokości 7-8 metrów zmniejszają hałas o 10-13dB. Natomiast dobrze rozwinięte drzewa o szerokości 40 metrów o 17-23 dB, a o szerokości 30 metrów ale przy rzadkiej gęstości o 8-11 dB (Kawoń i Żmuda 1984). Na tłumienie hałasu ma wpływ także ulistnienie. Drzewa ulistnione tłumią hałas 8 razy skuteczniej niż drzewa w stanie bezlistnym. Powierzchnia trawiasta obniża natężenie dźwięków od 6 do 8 dB w porównaniu do powierzchni gruntowej pozbawionej roślinności. Na podstawie wyników publikowanych badań można stwierdzić, że zieleń stanowi czynnik uzupełniający w technicznych środkach tłumienia hałasu oraz poprawia warunki akustyczne w mieście.

*Filtrująca rola zieleni*

Filtrująca rola zieleni przejawia się w zatrzymywaniu części substancji gazowych i pyłowych, zwłaszcza wzdłuż tras komunikacyjnych oraz w otoczeniu zakładów przemysłowych. Tereny zieleni stanowią rodzaju filtru, który jest oczyszczany podczas opadów atmosferycznych (Łukaszewicz i Łukaszewicz, 2006).

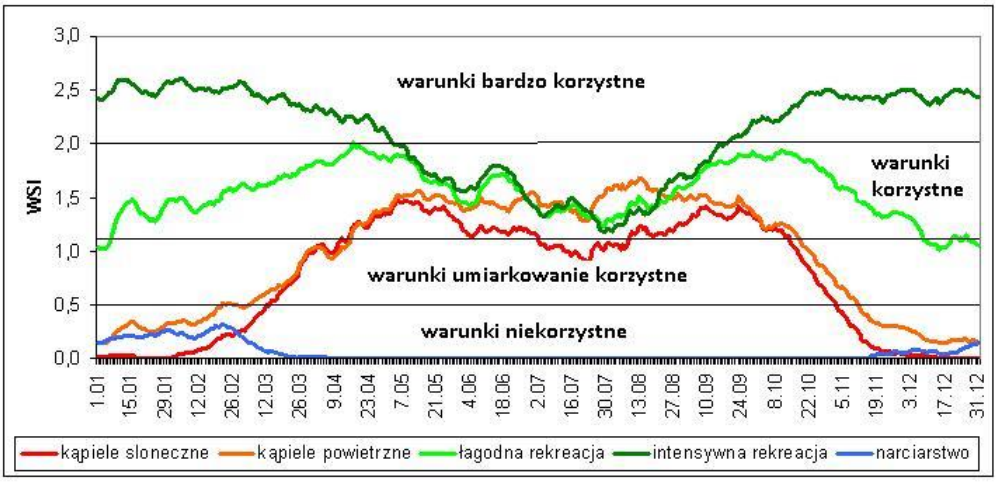
Skuteczność filtrującej roli zieleni wysokiej zależy od m.in.: struktury poziomej i pionowej zadrzewień, szerokości i stopnia zwartości pasów zieleni, warunków meteorologicznych oraz składu gatunkowego drzew. Optymalne warunki zapewniają zadrzewienia o luźnej zwartości (do 50%) umożliwiające przepływ powietrza zarówno nad drzewostanem oraz przenikanie powietrza do jego wnętrza. Sprzyjające warunki dla filtrującej roli zieleni występują podczas pogody bezwietrznej lub w przypadku małych prędkości wiatru (Czerwieniec i Lewińska 2000). Zieleń niska (tereny pokryte trawą) również pełni rolę filtra zanieczyszczeń w warstwie przyziemnej powietrza. Ponadto zieleń niska zapobiega wtórnemu zapyleniu z podłoża, które w warunkach miejskich jest bardzo uciążliwe.

Roślinność oprócz funkcji filtrującej, wpływa również na wzbogacenie powietrza w tlen. Występowanie w obrębie miasta i na obszarach z nim sąsiadujących: lasów, łąk oraz terenów otwartych w użytkowaniu rolniczym sprzyja napływaniu natlenionego powietrza do centrum miasta.

*Rekreacyjna funkcja zieleni w aspekcie warunków bioklimatycznych*

Tereny zieleni w miastach pełnią również funkcje terenów rekreacyjnych. Warunki klimatyczne odgrywają ważną rolę w turystyce i rekreacji. Na podstawie bilansu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem można określić zakres oddziaływania pogody na różne typy klimatoterapii, turystyki i rekreacji, m.in. kąpiele słoneczne i powietrzne oraz łagodne i intensywne formy rekreacji ruchowej (Błażejczyk 2004). W przypadku wymienionych form klimatoterapii (kąpiele słoneczne i powietrzne) najlepszym okresem dla ich uprawiania w obszarze WROM są miesiące od kwietnia do połowy października, z obniżeniem użyteczności w czerwcu i na początku lipca wskutek większego zachmurzenia i znacznej liczby dni z opadem atmosferycznym. Za okres niekorzystny można uznać półrocze chłodne, a zwłaszcza miesiące od listopada do połowy marca (Sikora 2005). W przypadku łagodnych form rekreacji (np. spacerów) najkorzystniejsze warunki pogodowe dla ich uprawiania są najczęściej obserwowane wiosną i latem, a zwłaszcza w miesiącach kwiecień-maj oraz wrzesień-październik. W sezonie zimowym użyteczność pogody jest zaniżona wskutek niekorzystnych

warunków termiczno-wilgotnościowych, powodujących stres zimna. W okresie lata natomiast, oprócz wspomnianego wcześniej dużego stopnia zachmurzenia i większej częstości występowania opadów atmosferycznych, użyteczność pogody jest dodatkowo obniżona wskutek częściej występującego stresu gorąca. W przypadku intensywnych form rekreacji (np. intensywny marsz, turystyka rowerowa), z uwagi na dużą produkcję ciepła metabolicznego, stres zimna nie odgrywa tak dużej roli jak w przypadku łagodnych form. Z tego względu półrocze chłodne cechuje się dość dobrymi warunkami dla uprawiania intensywnych form rekreacji. Z kolei w okresie lata użyteczność pogody dla ich uprawiania jest silnie zaniżona ze względu na dużą liczbę dni ze stresem gorąca (ryc. 8).




Ryc. 8. Przebieg wskaźnika użyteczności warunków pogodowych (WEI) dla stacji Wrocław-Strachowice dla wybranych form klimatoterapii, turystyki i rekreacji w latach 1971-2010 [opracowanie własne]

Użyteczność warunków pogodowych może być w znacznym stopniu modyfikowana przez roślinność, zwłaszcza lasy i parki. Podczas dni pogodnych, w przypadku form aktywności odznaczających się małą produkcja ciepła metabolicznego (np. odpoczynek lub spacery) na terenach zieleni obserwowane jest znaczne zróżnicowanie pod względem występowania stresu fizjologicznego pomiędzy parkami a terenami z zielenią niską. W przypadku parków natężenie stresu gorąca występuje przez znacznie krótszy okres niż jest to obserwowane na powierzchniach trawiastych. Natomiast podczas uprawiania intensywniejszych form aktywności (biegi, gry, zabawy itp.), różnice między parkiem a trawnikami są znacznie mniejsze (Jezioro 2008). Dla intensywnych form rekreacji małe różnice pod względem natężenia stresu fizjologicznego obserwowane są również w przypadku dni pochmurnych. W przypadku form łagodnych ważną rolę odgrywa prędkość wiatru, której większe wartości notowane są zwykle w czasie dni pochmurnych niż z pogodą antycyklonalną. Odgrywa ona

bardzo ważną rolę przede wszystkim na terenach otwartych, gdzie w dużym stopniu wpływa na kształtowanie się stresu fizjologicznego.

*Oddziaływanie zieleni na klimat lokalny*

Oddziaływanie zieleni na klimat lokalny jest uzależnione od wielu czynników jak: wielkość, kształt oraz zwartość terenów zieleni, zróżnicowanie roślinności (roślinność wysoka, niska), usytuowanie w systemie przyrodniczym aglomeracji, ale też pora roku, czy warunki meteorologiczne (pogoda cyklonalna, antycyklonalna).

Prowadzone badania wykazały, że zieleń wysoka wpływa na lokalne warunki klimatyczne (Czerwieniec i Lewińska 2000), gdy:

- park ma wymiary o długości boku lub średnicy co najmniej 400 m,
- inne badania wykazały, że system zieleni w mieście powinien tworzyć obszary o szerokości 700-1000 metrów złożone z obiektów o powierzchni ponad 70 ha, nie podzielonych trasami komunikacyjnymi, powinny one stanowić zaplecze dla mniejszych terenów zieleni, zlokalizowanych bliżej centrum miasta (Lewińska 2000),
- na warunki topoklimatyczne wpływają też mniejsze parki i ogrody (o powierzchni ok. 15-20 ha), zieleńce i ogrody (3-5 ha), płaszczyzny i pasma zieleni (o powierzchni co najmniej 3000 $m^2$ i minimalnej szerokości 9-12 m), a także pojedyncze drzewa,

Podobna sytuacja jest obserwowana dla zieleni niskiej (trawniki, łąki itp.) w przypadku, której wpływ na warunki topoklimatyczne jest zauważalny, gdy minimalna powierzchnia trawnika wynosi co najmniej 3000 $m^2$ (Bartnicka i Ullman 2009). Korzystniejszy efekt jest obserwowany w przypadku, gdy teren pokryty jest zróżnicowaną roślinnością (trawnik, drzewa, krzewy).

Badania wskazują, że ze względu na topoklimat podstawowy element systemu zieleni w skali dzielnicy nie powinien być mniejszy niż 40-50 ha powierzchni. Ponadto wskazuje się na konieczność lokalizacji zieleni w miarę możliwości w układzie ciągów przestrzennych, które zapewniają powiązania ekologiczne.

Powyższe zalecenie można wykorzystać w przypadku nowo powstających osiedli w strefie peryferyjnej Wrocławia. W planowaniu zieleni wysokiej należy również uwzględnić jej wpływie na warunki wietrzne i aerosanitarne. W sytuacji potrzeby przewietrzania intensywnie zabudowanego osiedla, należy w miarę możliwości zaprojektować jej przebieg zgodny z przeważającymi kierunkami

wiatru, pamiętając o zachowaniu odpowiedniej szerokości (co najmniej 500 m) korytarza przewietrzającego (Lewińska 2000).

*System przyrodniczy WROM*

Zachowanie harmonii układu przestrzennego aglomeracji miejsko-przemysłowej z warunkami fizjograficznymi i przyrodniczymi obszaru wpływa korzystnie na jakość życia mieszkańców. Zasadniczym elementem systemu przyrodniczego WROM jest dolina Odry wraz z dolinami jej dopływów, które pełnia rolę korytarzy przewietrzających. W skład systemu przyrodniczego wchodzą obszary objęte ochroną (parki krajobrazowe: Park Krajobrazowy Doliny Bystrzycy oraz Ślężański Park Krajobrazowy, rezerwaty przyrody, obszary Natura 2000), lasy oraz tereny otwarte w użytkowaniu rolniczym.

W systemie przyrodniczym WROM można wyróżnić (ryc. 9):

1. **Tereny węzłowe** - duże zespoły leśne (powyżej 70 ha) o funkcjach przyrodniczych i klimatotwórczych. Są to przede wszystkim obszary leśne w Masywie Ślęzy, na Wzgórzach Trzebnickich oraz w zachodniej części regiony między dolina Odry a doliną Widawy.
2. **Tereny pomocnicze** – lasy (o powierzchni poniżej 70 ha), parki, ogrody działkowe, sady, które są ważnym ogniwem zasilania układu przyrodniczego. Są to m.in.: parki miejskie: na Niskich Łąkach, Południowy, Szczytnicki, Wschodni, Zachodni oraz lasy miejskie: Osobowicki, Pilczycki, Starachowicki, Rędziński, Mokrzański.
3. **Tereny otwarte dolin rzecznych** – stanowią ciągi przyrodnicze, wykorzystywane jako korytarze przewietrzające.

   Doliny rzeczne wraz z przyległymi do nich obszarami kształtują warunki środowiskowe/życia mieszkańców w mieście wprowadzają do środowiska miejskiego powietrze bogate w tlen oraz o większej wilgotności oraz pełnią często funkcje rekreacyjne dla mieszkańców. Ich walory przyrodnicze przyczyniają się do regeneracji środowiska miejskiego poprzez oczyszczanie powietrza z pyłów i innych zanieczyszczeń. Doliny rzeczne dzięki ich ciągłości przestrzennej zapewniają powiązanie przyrodnicze aglomeracji miejskiej Wrocławia z obszarami przyrodniczymi poza jej obrębem, a zwłaszcza z obszarami węzłowymi.

   Łukaszewicz i Łukaszewicz (2006) proponują aby ciągi ekologiczne/przyrodnicze stanowiły pasy o szerokości minimum 300-400 metrów od brzegów rzek lub zbiorników wodnych. W

przypadku mniejszych cieków autorzy zalecają pozostawienie pasa zieleni o szerokość od 20 do 350 metrów po obu stronach rzeki, w zależności od warunków lokalnych.

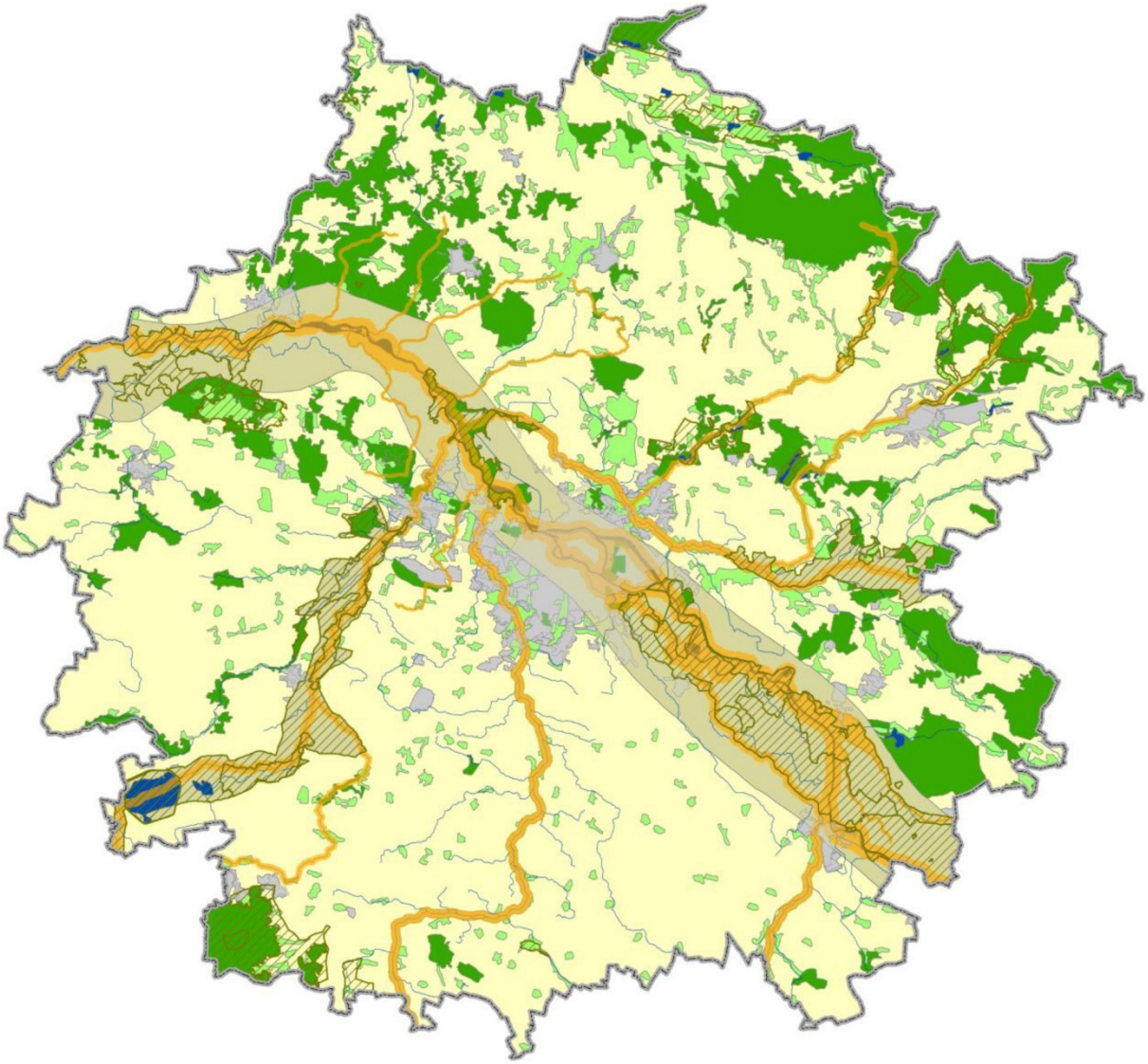
4. **Obszary otwarte w użytkowaniu rolniczym** – wspomagające system przewietrzania WROM przez swobodny dopływ powietrza do terenów zurbanizowanych.

*System przewietrzania*

System przewietrzania możemy podzielić na system zewnętrzny kształtowany przez regionalną cyrkulację powietrza oraz system wewnętrzny wywołany cyrkulacją lokalną. W obszarze WROM jak i na Dolnym Śląsku przeważa cyrkulacja z sektora zachodniego. Najważniejszym korytarzem przewietrzającym Wrocław oraz WROM jest dolina Odry, usytuowana na osi NW-SW. W regionie przeważa cyrkulacja zachodnia, wiatr z kierunku północno-zachodniego i zachodniego stanowi ponad 38%. Funkcję pomocniczą w przewietrzaniu pełnią doliny rzek: Bystrzycy, Ślęzy, Oławy i Widawy oraz mniejszych dopływów Odry.

Natomiast zróżnicowanie temperatury powietrza w obrębie miasta i związana z tym różnica ciśnienia powoduje powstanie lokalnej cyrkulacji powietrza między centrum a otoczeniem miasta. Cyrkulacja bryzowa występuje zwłaszcza w godzinach wieczornych i nocnych, kiedy miejska wyspa ciepła jest najbardziej intensywna. W wyniku cyrkulacji bryzowej powietrze kierowane jest do centrum miasta i wypiera cieplejsze powietrze, które zalega nad centrum. We Wrocławiu cyrkulacja bryzowa jest modyfikowana układem zabudowy oraz przebiegiem doliny Odry oraz dolin innych rzek jak: Bystrzyca, Ślęza, Oława i Widawa. Ponadto zróżnicowanie termiczne pomiędzy terenami zieleni a zabudową przyczynia się również do lokalnej cyrkulacji powietrza. Tereny zieleni wpływają na wymianę powietrza, wzmagając ruchy konwekcyjne oraz poziomy przepływ powietrza. Dotyczy to przede wszystkim roślinności wysokiej o dostatecznie dużej powierzchni. Roślinność niska (trawniki) pełni nieznaczną role w wymianie powietrza. Powierzchnie trawiaste o znacznej powierzchni mogą nawet utrudniać przewietrzanie z powodu inwersji termicznej (Łukaszewicz i in., 2006).

# SYSTEM PRZYRODNICZY WROM



1:275 000

N

Legenda

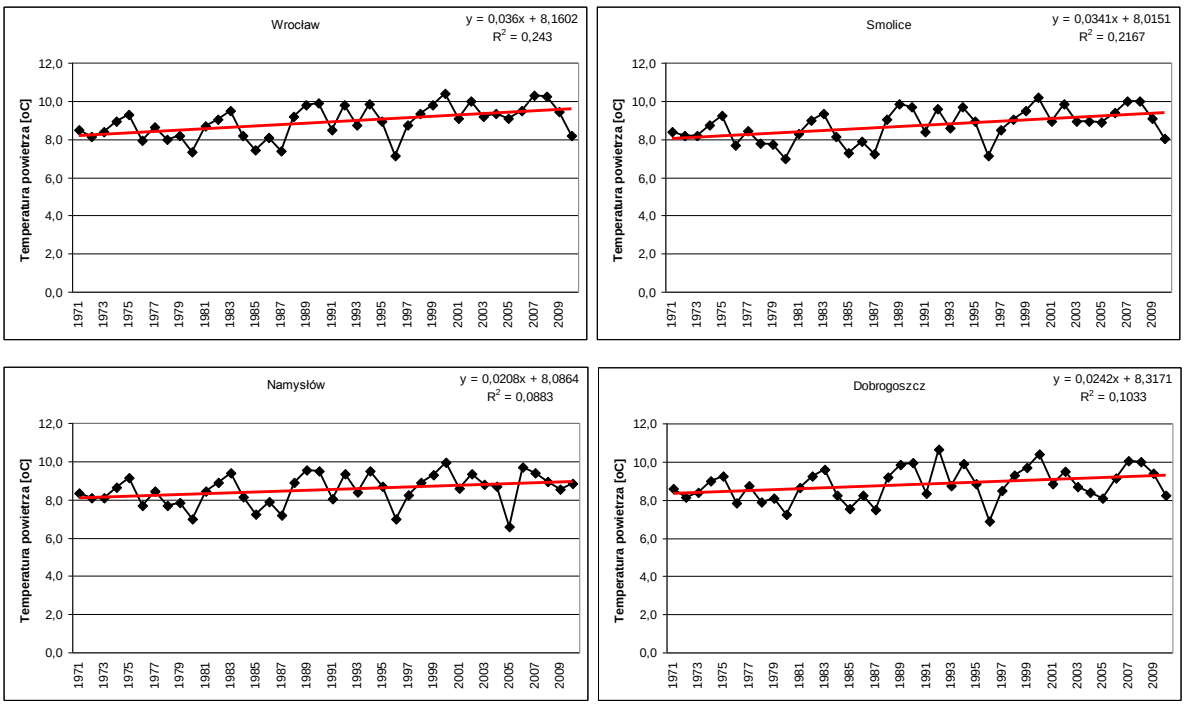
- Tereny węzłowe
- Tereny pomocnicze
- Tereny otwarte o użytkowaniu rolniczym
- Tereny dolin rzecznych
- System przewietrzania / korytarze przewietrzające
- Wody powierzchniowe
- Tereny zurbanizowane
- Obszary prawnie chronione
- Rzeki
- granica opracowania

## 5. Analiza i ocena trendów zmian topoklimatu na obszarze WROM

W ostatnich latach jednym z najbardziej istotnym problemów w badaniach klimatu są jego zmiany. Dotyczy to również obszarów miejskich, gdzie zmiany te są dodatkowo potęgowane przez modyfikację klimatu wskutek intensywnej urbanizacji. Zakres zmian może charakteryzować się różnym natężeniem i ulegać zróżnicowaniu nawet na niewielkim obszarze. W niniejszym opracowaniu wyznaczono trendy zmian dla wybranych elementów meteorologicznych dla okresu wieloletniego 1971-2010, dla stacji Wrocław-Strachowice (zachodnia, peryferyjna część Wrocławia) oraz stacji IMGW-PIB położonych we wschodniej (Namysłów), północnej (Smolice) i południowej (Dobrogoszcz) części obszaru WROM lub w jego otoczeniu (ryc. 2).

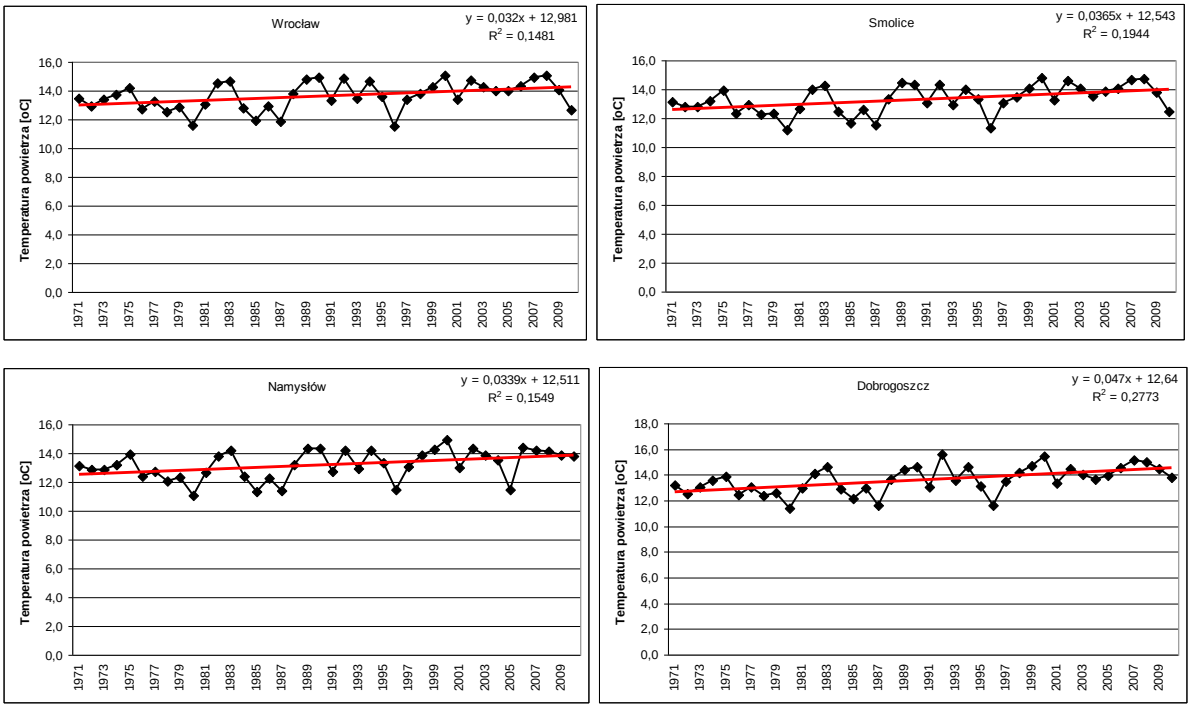
*Tendencje zmian rocznych wartości wybranych elementów meteorologicznych*

Na podstawie danych pomiarowych ze stacji Wrocław-Strachowice, z okresu 1971-2010, zauważyć można wzrost wartości temperatury powietrza. W przypadku średniej rocznej temperatury powietrza najwyższe wartości zostały odnotowane w ostatniej dekadzie. W latach: 2000, 2002, 2007 i 2008 średnia roczna temperatura powietrza przekroczyła 10$^{o}$C. Dekada 2001-2010 była również najcieplejszą spośród wszystkich rozpatrywanych dekad, od roku 1971. Średnia temperatura powietrza w ostatnim dziesięcioleciu wyniosła 9,4$^{o}$C, podczas gdy dla poprzednich okresów wyniosła 8,3$^{o}$C (1971-80), 8,7$^{o}$C (1981-1990) oraz 9,1$^{o}$C (1991-2000). Najchłodniejsze były lata: 1976, 1980, 1985, 1987 i 1996, kiedy średnia roczna temperatura powietrza była poniżej 8$^{o}$C. Przebieg rocznej temperatury powietrza w latach 1971-2010 charakteryzuje się trendem rosnącym, istotnym statystycznie (ryc. 10). W pozostałej części WROM, występuje tendencja wzrostowa średniej rocznej temperatury powietrza w analizowanym okresie.



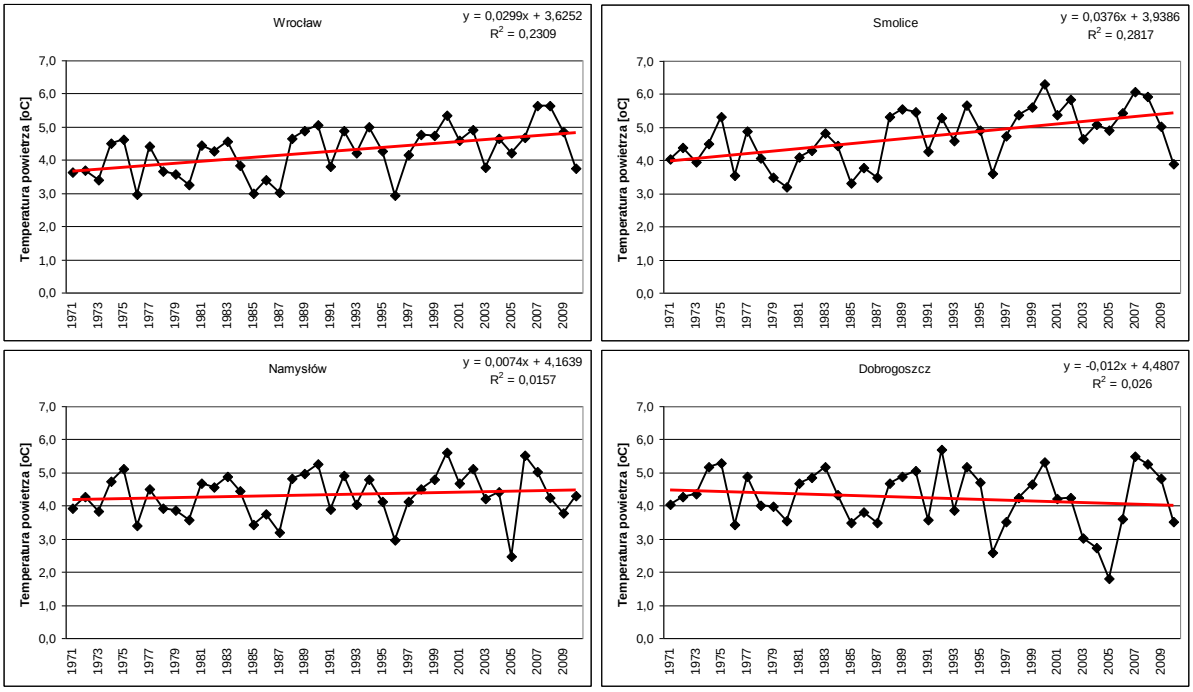

Ryc. 10. Przebieg i tendencja zmian średnich rocznych wartości temperatury powietrza na stacjach Wrocław-Strachowice, Smolice i Dobrogoszcz w latach 1971-2010

W porównaniu do średniej rocznej temperatury powietrza, wartości temperatury maksymalnej charakteryzują się większą zmiennością międzyroczną. W przebiegu wieloletnim temperatury maksymalnej na stacji Wrocław-Strachowice, trend jest rosnący, istotny statystycznie. Na pozostałych stacjach w obszarze i otoczeniu WROM średnie roczne wartości temperatury maksymalnej powietrza, odznaczają się również tendencją wzrostową, istotną statystycznie. Najwyższe wartości średniej maksymalnej temperatury powietrza na stacjach zlokalizowanych na terenie WROM zostały w większości odnotowane w ostatniej dekadzie (ryc. 11).



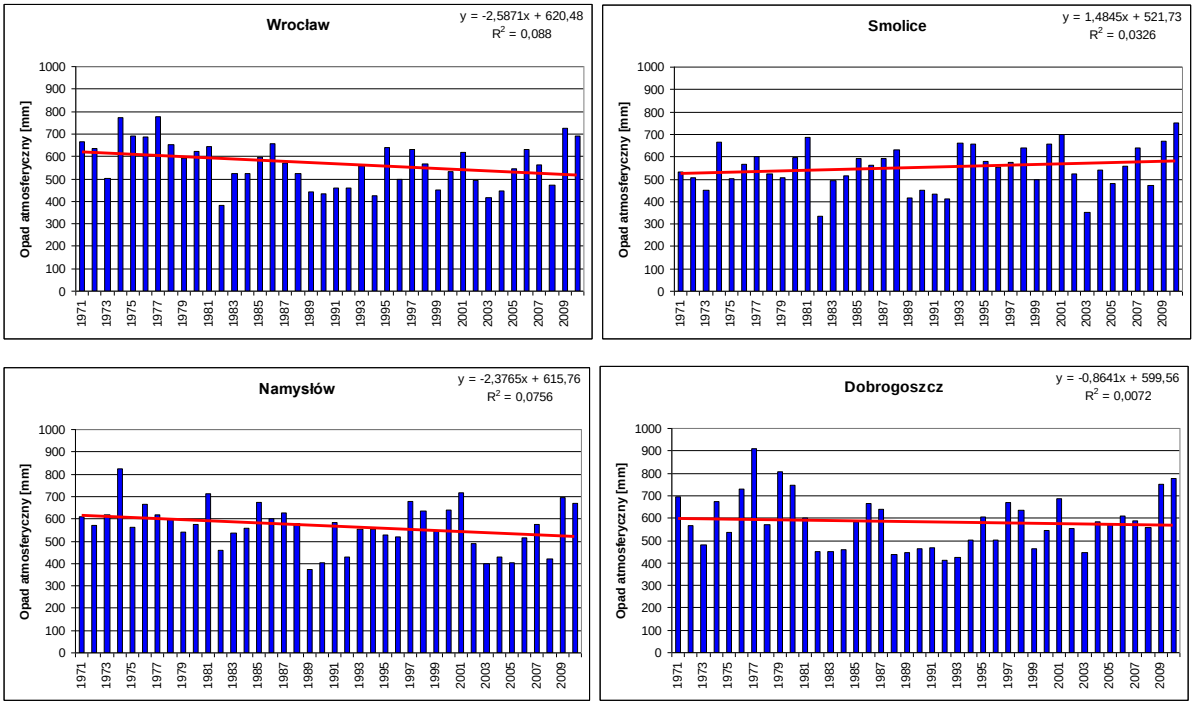

Ryc. 11. Przebieg i tendencja zmian średnich rocznych wartości temperatury maksymalnej powietrza na stacjach Wrocław-Strachowice, Smolice, Namysłów i Dobrogoszcz dla lat 1971-2010

W przypadku średniej temperatury minimalnej powietrza na stacji Wrocław-Strachowice zaobserwować można wyraźny trend rosnący, istotny statystycznie (ryc. 12). Najniższa średnia roczna temperatura minimalna (2,9$^{o}$C) wystąpiła w 1996 r. Przebieg średniej temperatury minimalnej w obszarach otaczających Wrocław cechuje dość duże zróżnicowanie pomiędzy analizowanymi stacjami. W przypadku północnej części regionu (Smolice), przebieg ten odznacza się znacznym wzrostem jej wartości, przy stwierdzonej istotności statystycznej. Z kolei dla stacji reprezentatywnej dla południowego obszaru WROM (Dobrogoszcz) zaobserwować można spadek temperatury minimalnej powietrza, zaś dla części wschodniej (Namysłów) niewielki wzrost. W przypadku stacji Namysłów i Dobrogoszcz brak jest jednak istotności statystycznej trendu zmian.



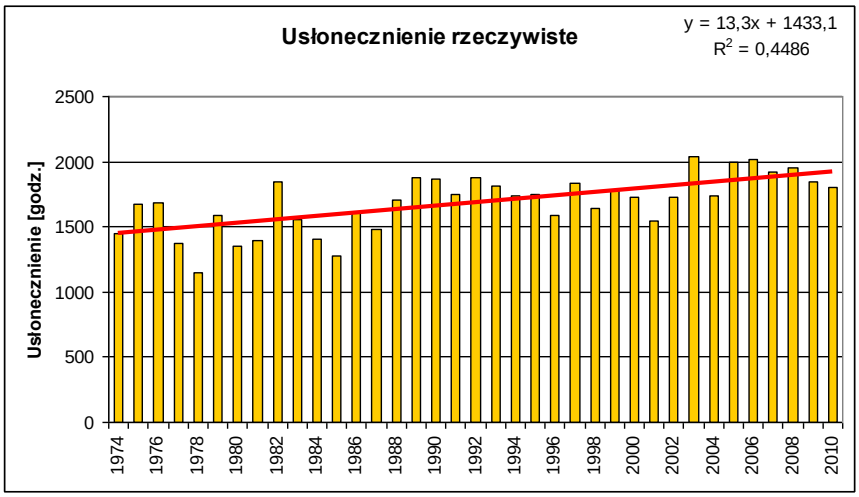

Ryc. 12. Przebieg i tendencja zmian średnich rocznych wartości temperatury minimalnej powietrza na stacjach Wrocław-Strachowice, Smolice, Namysłów i Dobrogoszcz w latach 1971-2010

Bardzo ważnym elementem meteorologicznym, wpływającym zarówno na bilans wodny, jak i w dużym stopniu warunkującym uprawianie określonych form turystyki i rekreacji, są opady atmosferyczne. Ich roczne sumy na terenie Wrocławia w latach 1971-2010 różnicowały się od 380 mm w 1982 r. do 776 mm w 1977 r. W przypadku poszczególnych dekad największe sumy zostały zaobserwowane w latach 1971-1980, kiedy wyniosły one średnio 659 mm. Natomiast najbardziej suchą okazała się dekada 1991-2000, kiedy średnia roczna suma opadu atmosferycznego osiągała zaledwie 522 mm. W całym analizowanym wieloleciu 1971-2010 stwierdzono trend malejący sum rocznych opadów, ale nieistotny statystycznie. W przypadku opadów atmosferycznych na pozostałych stacjach reprezentujących WROM również nie stwierdzono istotności statystycznej ich zmian. Tendencję wzrostową odnotowano na stacji w Smolicach, zaś spadek w Namysłowie i Dobrogoszczy (ryc. 13). Największe sumy roczne opadów zostały zaobserwowane w latach 1974 (Namysłów), 1977 (Dobrogoszcz) oraz 2010 (Smolice), a więc w większości przypadków w latach charakteryzujących się występowaniem zdarzeń powodziowych. Natomiast najmniejsze wartości odnotowane zostały w latach 1982 (Smolice) i 1989 (Namysłów), a także w 1992 (Dobrogoszcz), które charakteryzowały się występowaniem suszy.



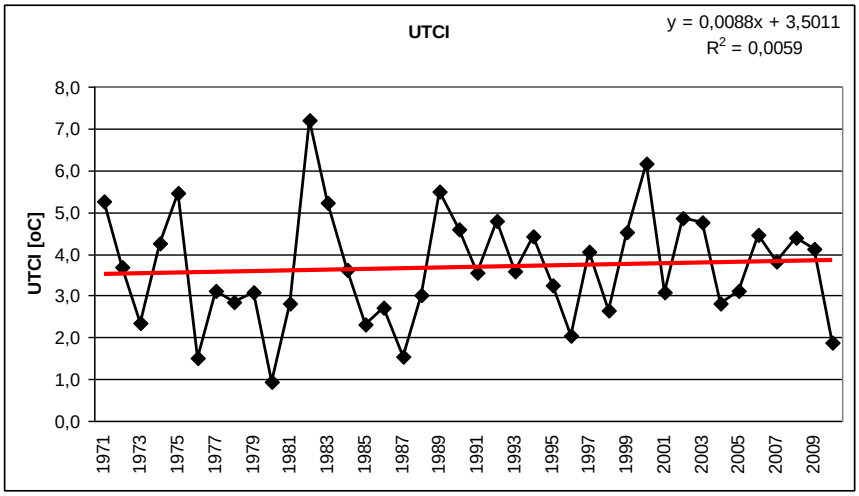

Ryc. 13. Przebieg i tendencja zmian rocznych sum opadów atmosferycznych na stacjach Wrocław-Strachowice, Smolice, Namysłów i Dobrogoszcz w latach 1971-2010

W kontekście warunków radiacyjnych bardzo ważnym czynnikiem jest czas trwania promieniowania bezpośredniego (usłonecznienia). Element ten, z uwagi na zmienną ilość pary wodnej i związane z tym zachmurzenie oraz zawartości zanieczyszczeń, może ulegać zróżnicowaniu przestrzennemu, w tym również na terenie dużego miasta. We Wrocławiu-Strachowicach pomiary usłonecznienie dokonywane są w południowo-zachodniej, peryferyjnej części miasta, dlatego też należy zaznaczyć, że omawiane wartości mogą być modyfikowane w obszarach zlokalizowanych w centrum Wrocławia, a także na terenach przemysłowych czy osiedlach o zwartej i intensywnej zabudowie mieszkalnej. Podobna prawidłowość dotyczy również poprzednio omawianych warunków termicznych. W przypadku usłonecznienia we Wrocławiu największe jego sumy zaobserwowano w latach 2003 i 2006 (ponad 2000 godzin), odznaczających się długimi okresami suszy i związanego z nimi małego stopnia zachmurzenia, a w konsekwencji również dobrymi warunkami solarnymi. Wysokie sumy odnotowano również w roku 2005 oraz w latach 2007-2008, kiedy roczne usłonecznienie przekroczyło 1900 godzin. Natomiast najmniejsze sumy zaobserwowane zostały w 1978 r., kiedy roczna suma usłonecznienia wyniosła 1152 godziny. W przebiegu sum usłonecznienia dla poszczególnych lat okresu 1974-2010 stwierdzono wyraźny trend rosnący, istotny statystycznie (ryc. 14).



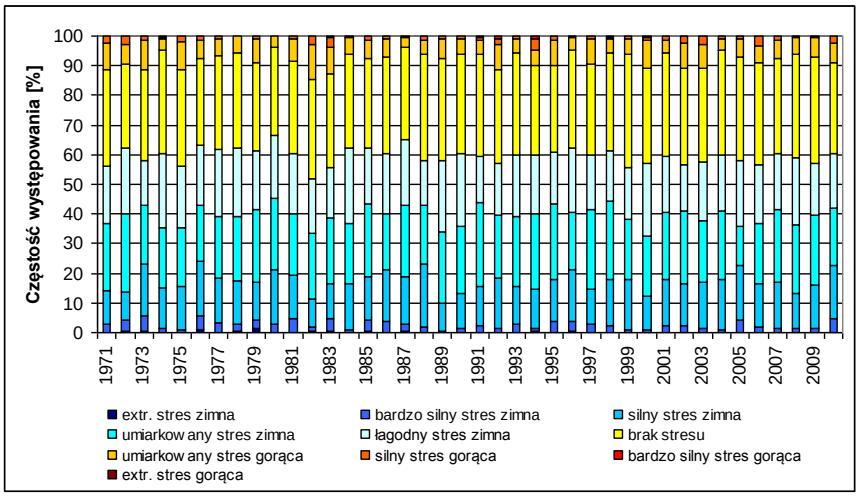

Ryc. 14. Przebieg i tendencja zmian rocznych sum usłonecznienia na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1974-2010

Z punktu widzenia warunków bioklimatycznych najważniejszymi elementami wpływającymi zarówno na zdrowie i samopoczucie człowieka, jak i bilans cieplny organizmu, są temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru oraz promieniowanie słoneczne. W przypadku wskaźnika UTCI we Wrocławiu-Strachowicach, jego średnia wartość dla omawianego okresu czterdziestolecia wyniosła 3,7$^{o}$C (obciążenia cieplne z klasy „łagodnego stresu zimna"). Najwyższa stwierdzona średnia roczna wartość UTCI (7,2$^{o}$C) została odnotowana w 1982 r., najniższa zaś, wynosząca 0,9$^{o}$C, wystąpiła w 1980 r. W przebiegu średnich rocznych wartości UTCI dla lat 1971-2010 zauważyć można ich nieznaczny wzrost, jednakże odznacza się on brakiem istotności statystycznej (ryc. 15).




Ryc. 15. Przebieg i tendencja zmian średnich rocznych wartości wskaźnika UTCI na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2010

W kontekście uprawiania turystyki i rekreacji bardzo ważnym czynnikiem są obciążenia cieplne organizmu. Niektóre sytuacje pogodowe mogą w znacznym stopniu niekorzystnie oddziaływać na organizm, zarówno w postaci nadmiernego stresu zimna, jak i gorąca. Z punktu widzenia kompleksowego oddziaływania warunków pogodowych na organizm człowieka określanego przy pomocy wskaźnika UTCI można stwierdzić, że we Wrocławiu (Wrocław-Strachowice) najczęściej obserwowane są sytuacje pogodowe nie powodujące większych obciążeń cieplnych organizmu. Średnio pojawiają się one przez ok. 120 dni w roku. Najmniejsza ich liczba została stwierdzona w 1972 r. (103 dni), największa zaś w 1999 r. (138 dni). Oprócz sytuacji pogodowych z brakiem stresu, stosunkowo często pojawiają się również sytuacje pogodowe z łagodnym (73 dni), umiarkowanym (81 dni) i silnym (54 dni) stresem zimna, z kolei w kontekście stresu gorąca najczęściej występują dni, w których obserwowany jest umiarkowany stres ciepła (24 dni). Dni z pozostałymi sytuacjami pogodowymi, w tym również te powodujące ekstremalne obciążenia cieplne organizmu, pojawiają się zdecydowanie rzadziej. W przypadku tendencji zmian częstości występowania dni z poszczególnymi obciążeniami cieplnymi, nie stwierdzono istotnie statystycznie trendu dla żadnej z rozpatrywanych klas obciążeń (ryc. 16).

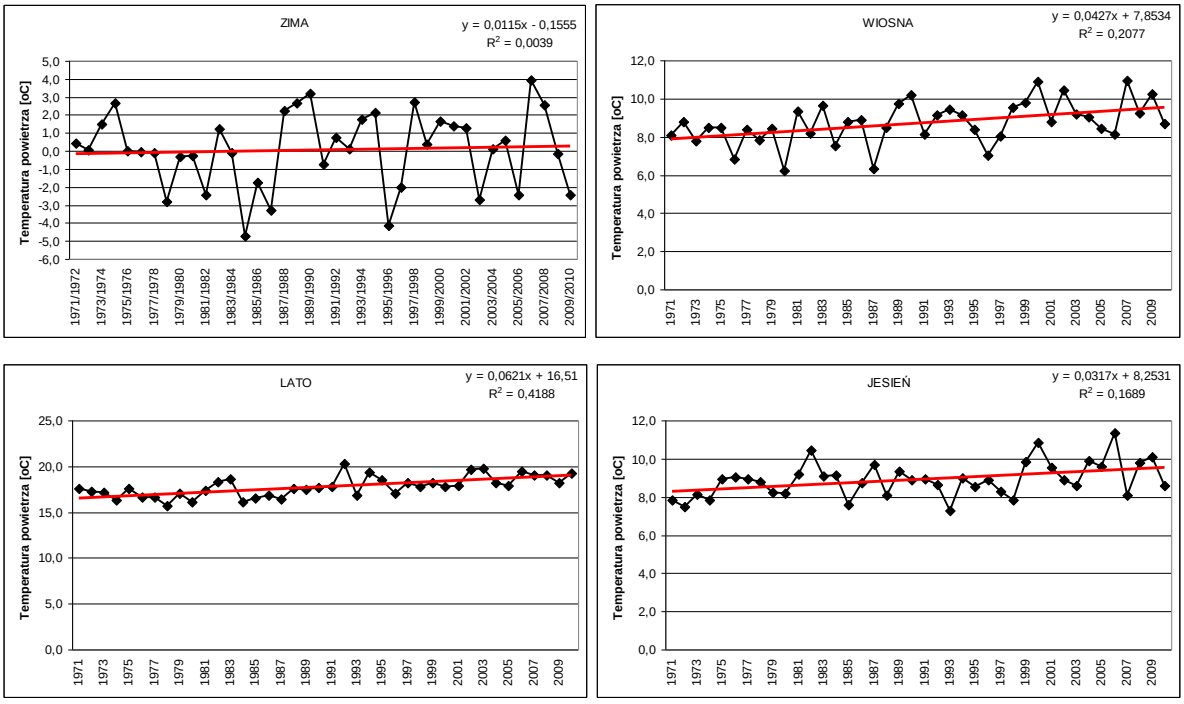



Ryc. 16. Przebieg częstości występowania poszczególnych rodzajów obciążeń cieplnych wg wskaźnika UTCI na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2010

*Tendencje zmian sezonowych wartości temperatury powietrza*

Zmiany omawianych elementów meteorologicznych można zaobserwować również w skali pór roku. We Wrocławiu-Strachowicach przebieg średnich wartości temperatury powietrza dla poszczególnych pór roku, charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem tendencji zmian (ryc. 17).

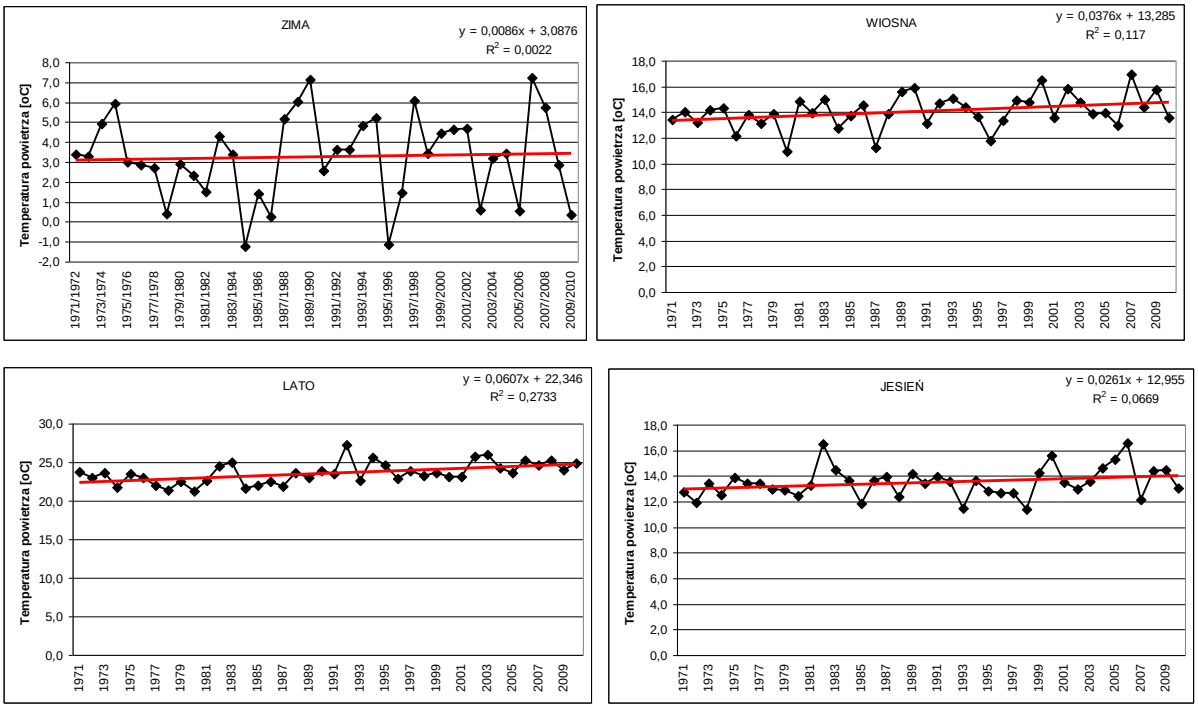
Zima klimatologiczna, trwająca w okresie grudzień-luty, odznacza się we Wrocławiu bardzo dużym zróżnicowaniem pomiędzy poszczególnymi latami. Najniższe wartości, zaobserwowane w sezonach 1984/85 i 1995/96, wynoszące odpowiednio -4,7°C i -4,1°C, znacznie odbiegają od wartości maksymalnej, która została odnotowana w sezonie 2007/08 i wyniosła 3,9°C. Pomimo tego, że dla okresu zimowego można zaobserwować nieznaczną tendencję wzrostową temperatury, to jednak trend ten nie jest istotny statystycznie. W przypadku wiosny i lata można zaobserwować wyraźniejsze trendy, odznaczające się istotnością statystyczną. Wynika to przede wszystkim z wyraźnie wyższych wartości temperatury powietrza w ostatnim okresie. Wiosną, największe wartości zostały odnotowane były w latach 2000 i 2007, latem zaś wartości te w ostatnim 20-leciu były średnio o prawie 1,5°C wyższe niż w okresie 1971-1990. W przypadku przebiegu dla jesieni brak jest istotności statystycznej, a najwyższe wartości, podobnie jak latem, przypadły na lata 2000 i 2007.



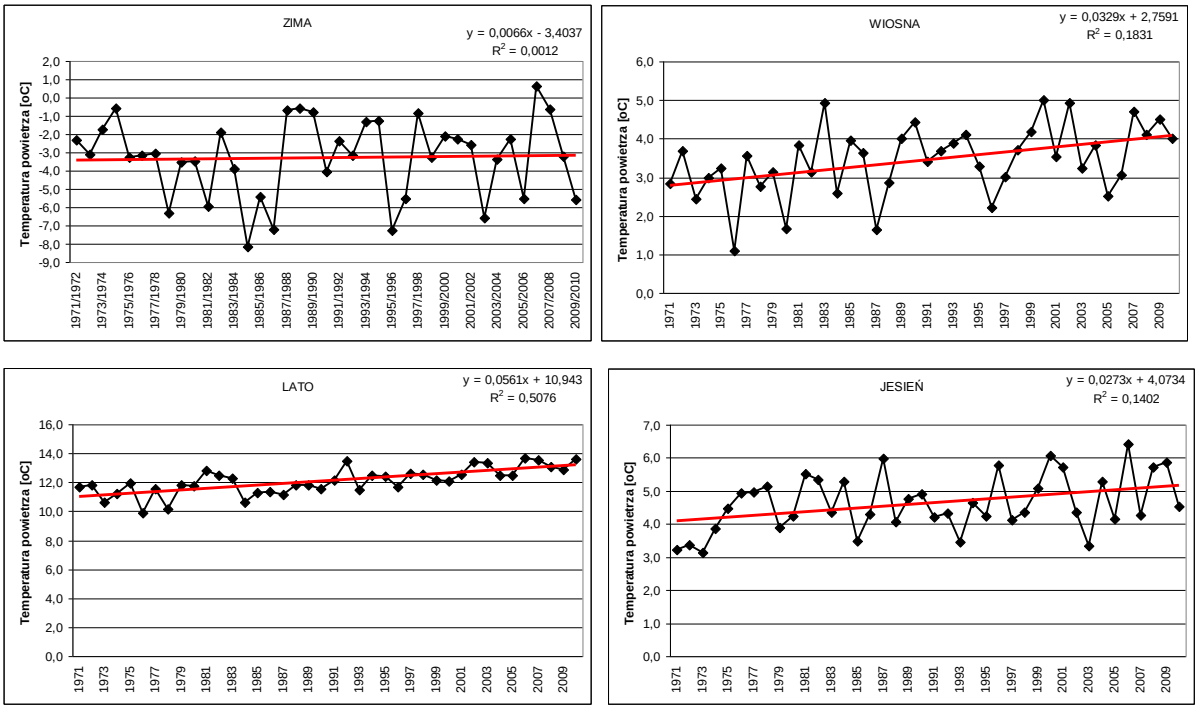

Ryc. 17. Przebieg i tendencja zmian średnich sezonowych wartości temperatury powietrza na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2010

Przebieg średnich rocznych wartości temperatury maksymalnej powietrza w latach 1971-2010 wykazuje wzrost we wszystkich porach roku, jednakże tylko dla okresu lata trend ten jest istotny statystycznie (ryc. 18). Natomiast temperatura minimalna powietrza, podobnie jak w przypadku temperatury maksymalnej, jedynie dla okresu lata odznacza się rosnącym, istotnym

statystycznie trendem (ryc. 19). W pozostałych porach roku, pomimo tendencji wzrostowej, trend ten nie jest statystycznie istotny.




Ryc. 18. Przebieg i tendencja zmian średnich sezonowych wartości temperatury maksymalnej powietrza na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2010



Ryc. 19. Przebieg i tendencja zmian średnich sezonowych wartości temperatury minimalnej powietrza na stacji Wrocław-Strachowice w latach 1971-2010

Przedstawione tendencje zmian warunków klimatycznych i bioklimatycznych na terenie WROM wskazują w na wzrost temperatury powietrza. Oznacza to, że utrzymanie się tendencji wzrostowej temperatury powietrza w przyszłości spowodować może intensyfikację parowania, co w konsekwencji doprowadzić może do zwiększenia się różnic w wilgotności powietrza pomiędzy intensywnie zabudowanymi, pozbawionymi roślinności centrami miast, a obszarami pozamiejskimi z dużym udziałem terenów zieleni. Bardzo ważnym aspektem jest znaczący wzrost (istotny statystycznie) rocznych sum usłonecznienia rzeczywistego. Długi czas występowania promieniowania bezpośredniego dodatkowo spotęgować może zjawisko miejskiej wyspy ciepła i lokalnej cyrkulacji powietrza poprzez intensywne nagrzewanie powierzchni sztucznych zlokalizowanych głównie w centrach miast. Dalszy wzrost sum usłonecznienia sugeruje zwiększenie częstości sytuacji pogodowych o charakterze antycyklonalnym, które odpowiedzialne są w największym stopniu za formowanie się miejskiej wyspy ciepła. Dodatkowo, w sytuacjach w których w przyszłości zaobserwowany zostałby dalszy wzrost wartości temperatury powietrza i usłonecznienia, w okresie letnim należy spodziewać się wzrostu częstości występowania typów pogody powodujących obciążenie cieplne organizmu człowieka z klas stresu gorąca. Zostałyby one prawdopodobnie w największym stopniu odnotowane na terenach o intensywnej zabudowie, gdzie obciążenia te, z uwagi na brak odpowiedniej przewiewności oraz znaczne nagrzewanie powierzchni sztucznych, w dużym stopniu zostałyby zintensyfikowane.

## 6. Waloryzacja klimatyczna WROM

Celem waloryzacji jest ocena oraz wskazanie obszarów o różnorodnej wartości topoklimatycznej WROM. Waloryzację warunków klimatycznych WROM opracowano na podstawie:

- numerycznego modelu terenu o rozdzielczości przestrzennej 90 m, (http://srtm.csi.cgiar.org),
- użytkowania terenu CORINE Land Cover 2006,
- rozkładu kierunku wiatru z wielolecia 1971-2000 ze stacji IMGW-PIB Wrocław-Strachowice,
- jednostek fizyczno-geograficznych wg podziału Kondrackiego (2000) .

Zastosowana metoda waloryzacji opiera się na szacunkowej metodzie wydzielania topoklimatów wg Paszyńskiego (1980), której podstawą wyznaczania jednostek przestrzennych jest bilans cieplny powierzchni czynnej. Metoda ta została zmodyfikowane na potrzeby waloryzacji obszarów

zurbanizowanych przez Lewińską (2000). Zgodnie z terminologią zaproponowaną przez Lewińską wydzielono:

- topoklimat antropogeniczny - na obszarach zurbanizowanych oraz
- topoklimat przyrodniczy na obszarach pozamiejskich, z przewagą terenów zieleni oraz użytkowanych rolniczo.

Następnie wydzielono 6 klas bonitacyjnych, które określają warunki topoklimatyczne, od bardzo korzystnych do niekorzystnych (ryc. 20).

Topoklimat przyrodniczy bardzo korzystny obejmuje: zbocza o ekspozycji SE-S-SW i nachyleniu >5$^{o}$; powierzchnie płaskie i wyniesione, użytkowane rolniczo. Ze względu na znacząca rolę klimatotwórczą obszarów leśnych oraz ich odmienność klimatyczną w skali lokalnej, wydzielenie zgodnie z podziałem Paszyńskiego (1980) topoklimaty leśne. W waloryzacji wydzielono podkategorię topoklimat przyrodniczy bardzo korzystny - leśny.

Topoklimat przyrodniczy korzystny – stoki i zbocza o ekspozycji W-NW-N-E-NE i nachyleniu >5$^{o}$, obszary dolin (Pradolina Wrocławska).

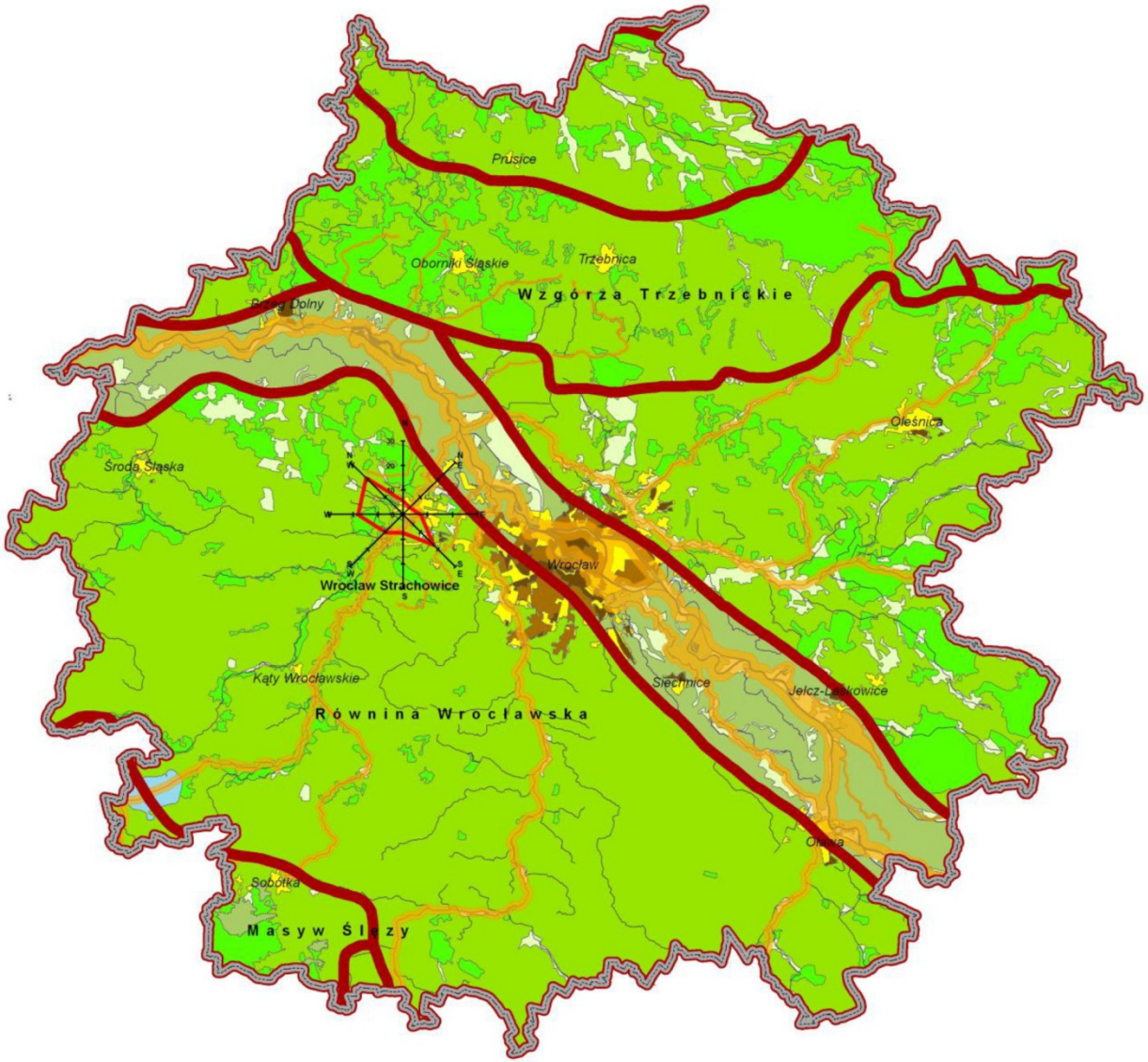
Topoklimat przyrodniczy przeciętny – łąki, tereny podmokłe.

Topoklimat antropogeniczny niekorzystny – obszar zwartej zabudowy oraz tereny przemysłowe i komunikacyjne.

Topoklimat antropogeniczny przeciętny – zabudowa wielorodzinna luźna.

Topoklimat antropogeniczny korzystny – zabudowa z przewagą jednorodzinnej, zieleń miejska.

# TOPOKLIMATY




1:275 000

N

Legenda

**Topoklimaty przyrodnicze**

- bardzo korzystne leśne
- bardzo korzystne
- korzystne
- przeciętne

**Topoklimaty antropogeniczne**

- korzystne
- przeciętne
- niekorzystne

**Topoklimat zbiorników wodnych**

**System przewietrzania / korytarze przewietrzające**

Mezoregiony fiz.-geogr.

**Rzeki**

**granica opracowania**

## 7. Zalecenia dla harmonijnego kształtowania systemu przyrodniczego WROM w celu ochrony oraz poprawy klimatu, przy użyciu dostępnych narzędzi prawnych i planistycznych

Kształtowanie systemu przyrodniczego WROM powinno być realizowane zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. Podstawowym założeniem zrównoważonego rozwoju jest takie prowadzenie polityki i działań w poszczególnych sektorach gospodarki i życia społecznego aby zachować walory i zasoby środowiska w stanie zapewniającym trwałe możliwości korzystania z nich, zarówno przez obecne jak i przez przyszłe pokolenia. Istotą zrównoważonego rozwoju jest równorzędne traktowanie racji społecznych, ekonomicznych i ekologicznych (II Polityka Ekologiczna Państwa).

Zagrożeniem dla WROM jest intensywna zmiana struktury użytkowania gruntów, która może prowadzić do tworzenia niespójnego układu przestrzennego, zwłaszcza na styku granic administracyjnych gminy Wrocław i gmin sąsiadujących. Szczególnie niekorzystna jest, jak wskazuje również *Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego 2020,* silna presja inwestycyjna w obszarach otwartych użytkowanych rolniczo o dobrych glebach oraz w dolinach rzecznych, które stanowią korytarze ekologiczne i przewietrzające. Zrównoważony rozwój w tym zakresie powinien służyć wypracowaniu kompromisu ekologicznego w celu ochrony najcenniejszych walorów środowiska przyrodniczego, w tym ochrony klimatu. *Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego 2020* szczególną rolę w tym zakresie przypisuje samorządowi województwa w celu budowania konsensusu w rozumieniu dobra wspólnego regionu. Szansą dla całego regionu jest integracja walorów oraz ochrony środowiska przyrodniczego w ramach wspólnej przestrzeni przyrodniczej.

W obszarach zurbanizowanych warunki geomorfologiczne i sieć hydrograficzna powinny wyznaczać podstawy systemu terenów otwartych oraz przewidzianych do zabudowy (Czerwieniec i Lewińska 2000). W obszarze WROM szczególnie ważne jest zachowanie istniejącego układu hydrograficznego i geomorfologicznego (dolina Odry wraz z jej dopływami) oraz cennych przyrodniczo i krajobrazowo obszarów chronionych (Park Krajobrazowy Doliny Bystrzycy, Ślężański Park Krajobrazowy, rezerwaty przyrody oraz obszary Natura 2000). Zachowanie harmonii układu przestrzennego aglomeracji wrocławskiej z warunkami fizjograficznymi i przyrodniczymi obszaru WROM wpłynie korzystnie na warunki życia mieszkańców i środowisko przyrodnicze.

Obszar WROM obejmuje również cenne przyrodniczo Wzgórza Trzebnickie oraz Masyw Ślęży, które odznaczają się specyficznymi warunkami termicznymi charakterystycznymi dla terenów wierzchowinowych i leśnych. Stanowią one również obszary węzłowe dla korytarzy przewietrzających WROM. Dlatego też należy dążyć, pomimo istniejącej presji inwestycyjnej, do utrzymania w ich obrębie istniejących powierzchni leśnych, z uwagi na korzystne oddziaływanie lasu na warunki klimatu lokalnego. Jest to również istotne ze względu na znaczenie tych obszarów dla rekreacji mieszkańców WROM.

System przyrodniczy powinien charakteryzować się ciągłością przestrzenną, tak aby tereny zieleni nie były izolowane ale tworzyły powiązania z terenami węzłowymi, zasilającymi system w zakresie: wymiany powietrza, obiegu wody, a przede wszystkim melioracji klimatu, w tym regulacji wymiany, produkcji tlenu i modyfikacji bilansu cieplnego powierzchni czynnej (Lewińska 2006). Zasadniczym elementem systemu przyrodniczego WROM są: dolina Odry wraz z dolinami jej dopływów, które pełnią rolę korytarzy przewietrzających oraz kompleksy leśne i tereny otwarte w użytkowaniu rolniczym. Doliny rzeczne (Odry, Bystrzycy, Ślęzy, Oławy, Widawy) zapewniają powiązanie przyrodnicze aglomeracji wrocławskiej z obszarami węzłowymi o szczególnym znaczeniu przyrodniczymi w tym m.in. z dużymi kompleksami leśnymi w Masywie Ślęzy, na Wzgórzach Trzebnickich oraz w zachodniej części regionu. Wykorzystując sieć hydrograficzną zalecane jest (Łukaszewicz i Łukaszewicz, 2006) tworzenie ciągów przyrodniczych, które obejmują po obu brzegach rzek lub zbiorników wodnych pasy o szerokości minimum 300-400 metrów. W przypadku mniejszych cieków w zależności od warunków lokalnych, zalecane jest pozostawienie pasa zieleni o szerokości od 20 do 350 metrów po obu stronach rzeki. Tak wyznaczone ciągi przyrodnicze powinny być wpisane do planów zagospodarowania przestrzennego (regionalnego i miejscowego) aby pozostały wolne od zabudowy jako powierzchnie przyrodnicze (Łukaszewicz i Łukaszewicz, 2006). Zabudowa tych terenów spowoduje trwałe, niekorzystne skutki m.in. pogorszenia się warunków wymiany powietrza.

Dolina Odry, która stanowi oś ekologiczną całego obszaru WROM, przecinając Wrocław w centralnej jego części z zachodu na wschód, w znacznym stopniu umożliwia przewietrzanie miasta. Przebieg doliny Odry jest zgodny z przeważającym kierunkiem wiatru z sektora NW, przez co stanowi zasadniczy korytarz przewietrzający Wrocławia oraz WROM. Dolina Odry oraz jej dopływów (Bystrzycy, Oławy, Ślęzy, Widawy) wprowadza do środowiska miejskiego powietrze bogate w tlen oraz o większej wilgotności, przyczyniają się również do oczyszczania powietrza z pyłów i innych

zanieczyszczeń. Wspomagającą rolę w przewietrzaniu miasta może spełniać również odpowiednio zaplanowany układ zabudowy i terenów zieleni (Lewińska, 2000). Melioracja klimatu poprzez wykorzystanie terenów zieleni i strukturę zabudowy może intensyfikować pionową i poziomą wymianę powietrza. Tereny zieleni wskutek różnic w pochłanianiu i oddawaniu ciepła w porównaniu do obszarów zabudowanych, przyczyniają się do powstania lokalnej cyrkulacji wymiany powietrza, zwłaszcza podczas pogody radiacyjnej, bezwietrznej.

W planowaniu i utrzymaniu terenów zieleni wysokiej WROM, aby uzyskać pozytywny wpływ na topoklimat, należy uwzględnić ich wielkość, układ oraz lokalizację. Podstawę systemu powinny stanowić obszary stosunkowo dużych parków lub lasów (tzw. tereny węzłowe), o powierzchni co najmniej 75-100 ha, które są zapleczem dla mniejszych jednostek o powierzchni 40-50 ha pełniących funkcje podstawowej jednostki w skali dzielnicy. Rolę wspomagającą pełnią mniejsze parki i ogrody (o powierzchni ok. 15-20 ha), zieleńce i ogrody (3-5 ha), płaszczyzny i pasma zieleni (o powierzchni co najmniej 3000 $m^2$ i minimalnej szerokości 9-12 m). Jednostki te powinny tworzyć lokalne tereny zieleni dla poszczególnych osiedli, a także kliny sięgające w głąb miasta. Taki układ zieleni przyczynia się do poprawy warunków termicznych (niwelowanie miejskiej wyspy ciepła), wilgotnościowych oraz wymiany powietrza, w tym powstawania cyrkulacji lokalnej. W znacznym stopniu wpływa on na niwelowanie tzw. „komórkowej" struktury pola temperatury powietrza (Dubicki i in. 2002), przejawiającej się występowaniem lokalnych wysp ciepła w poszczególnych dzielnicach lub osiedlach. W konsekwencji połączenia poszczególnych terenów zieleni uzyskana zostałaby większa skuteczność przewietrzania miasta i pozytywny wpływ na lokalne warunki klimatyczne.

W przypadku projektowania zabudowy zwartej, wysokiej, z uwagi na przebieg doliny Odry (oś północny zachód - południowy wschód), a także dominujące kierunki napływu mas powietrza z sektora zachodniego, należy uwzględniać zachowanie korytarzy przewietrzających na linii W-E, które również mogą spełnić funkcje ciągów komunikacyjnych wraz z pasem zieleni.

Na terenach o zwartej i intensywnej zabudowie, gdzie nie ma możliwości łagodzenia lokalnych warunków klimatycznych poprzez zwiększeniem powierzchni terenów zieleni, dobrym rozwiązaniem jest stosowanie jasnych barw elewacji. Z uwagi na większy stopień odbijania promieniowania słonecznego przez jaśniejsze obiekty, na terenie intensywnie zabudowanych części miasta o jaśniejszych barwach elewacji notowane są mniejsze wartości promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię czynną, co w konsekwencji prowadzi do mniej intensywnego nagrzewania się ich w porównaniu do powierzchni ciemnych.

Intensyfikacja ruchu ulicznego oraz powstawanie nowych tras komunikacyjnych wiąże się ze wzrostem natężenia hałasu w ich otoczeniu. Tereny zieleni mogą stanowić czynnik uzupełniający w technicznych środkach tłumienia hałasu. Szerokie pasy zieleni wysokiej (o szerokości co najmniej 70-100 m) w połączeniu z podłożem trawiastym w dużym stopniu redukują hałas (nawet o 50%). Drzewa i krzewy w pasach o szerokości 7-8 metrów zmniejszają hałas o 10-13dB. Natomiast dobrze rozwinięte drzewa o szerokości 40 metrów o 17-23 dB (Lewińska 2000 za Kawoń i Żmuda 1984).

W przypadku obszarów peryferyjnych, o luźnej zabudowie położonych w bliskiej odległości od głównych ciągów komunikacyjnych, zwłaszcza w pobliżu autostrad (np. gminy Kąty Wrocławskie, Długołęka) wprowadzenie szerokich pasów zieleni może oprócz funkcji akustycznych spełniać również rolę filtrującą zanieczyszczenia gazowe i pyłowe.

**Słownik**

**Albedo –** stosunek ilości promieniowania odbitego do ogólnej ilości promieniowania całkowitego padającego na daną powierzchnię (Lewińska 2000).

**Bryza miejska –** okresowy wiatr lokalny wynikający z różnicy temperatury i ciśnienia atmosferycznego dwóch ośrodków: miasta i obszaru zewnętrznego. Wieje przeważnie z obszarów zewnętrznych do wnętrza miasta (Lewińska 2000).

**Klimat –** charakterystyczny dla danego obszaru zespół zjawisk i procesów atmosferycznych, kształtujący się pod wpływem właściwości fizycznych i geograficznych tego obszaru, określony na podstawie wyników wieloletnich obserwacji i pomiarów (Niedźwiedź 2003).

**Klimat lokalny** – klimat określonego obszaru geograficznego, o wymiarach liniowych od ok. 100 m do ok. 10 km, kształtujący się głównie pod wpływem rzeźby terenu, szaty roślinnej i mezoskalowych cech podłoża, takich jak np. powierzchnie wodne, zabudowa miejska (Niedźwiedź 2003).

**Melioracja klimatu –** działania ukierunkowane na polepszanie warunków klimatu lokalnego przy takim zagospodarowaniu powierzchni terenu, aby uwzględnić wzajemny wpływ środowiska naturalnego i działalności człowieka.

**Mezoklimat –** klimat niewielkiego regionu geograficznego, małego obszaru Ziemi o wymiarach liniowych 10-100 km, charakteryzujący się wewnętrzną jednorodnością oraz odrębnością w odniesieniu do warunków klimatycznych obszarów sąsiadujących z nim i kształtujący się głównie pod wpływem rzeźby terenu (Niedźwiedź 2003).

**Mikroklimat** – klimat niewielkiego obszaru o powierzchni od kilku do kilkuset $m^2$, o właściwościach różniących dany obszar od klimatu otaczającego środowiska, np. klimat pola, zbocza, wąwozu, skraju lasu, brzegu jeziora, korony drzewa (Niedźwiedź 2003)

**Pogoda cyklonalna –** typ pogody kształtowany przez ośrodek niżu barycznego, odznaczająca się zwykle dużym stopniem zachmurzenia, silnym wiatrem, występowaniem opadów atmosferycznych oraz mniejszą amplitudą dobową temperatury i wilgotności powietrza.

**Pogoda radiacyjna –** pogoda bezchmurna lub z niewielkim zachmurzeniem, kiedy to lokalne różnice, np. w odniesieniu do temperatury powierzchni lub powietrza, są najsilniej wyrażone wskutek niejednakowych ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego lub uchodzącego promieniowania długofalowego (Niedźwiedź 2003).

**Róża wiatru –** diagram, najczęściej w postaci koła, przedstawiający częstość kierunków wiatru (Lewińska 2000).

**Topoklimat –** klimat miejsca lub stosunkowo niewielkiego terenu (1-100 $km^2$), którego cechy kształtują się pod wpływem czynników występujących na danym obszarze lub w jego najbliższym otoczeniu, takich jak np. rzeźba, rodzaj gleb, szata roślinna, zabudowa (Niedźwiedź 2003).

## Bibliografia

**Bartnicka M., Ullman I.,** 2009, *Wykorzystać wszystkie atuty zieleni*, ARCHITECTURAE et ARTIBUS – 2/2009, 17-22.

**Bencat F., Supuka J.,** 1988, *Rola roślinności i gleby w kształtowaniu środowiska życia człowieka na terenach miejskich*, [w:] Zasoby glebowe i roślinne – użytkowanie, zagrożenie, ochrona. PWRiL Warszawa.

**Błaś M., Sobik M.,** 1998, *Wybrane cechy klimatu Ślęży na tle klimatu Sudetów i Niziny Śląskiej w świetle dostępnych materiałów*, Acta Universitatis Wratislaviensis, No 2022, Prace Instytutu Geograficznego, Seria C. Meteorologia i Klimatologia, t. V, s. 55-68,

**Błażejczyk K.,** 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dok. Geogr., 26, 160.

**Błażejczyk K.,** 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Pr. Geogr., 192, 291.

**Czerwieniec M., Lewińska J.,** 2000, *Zieleń w mieście*. Inst. Gosp. Przestrz. i Komun., Kraków.

**Czerwiński J.,** 2002, *Wrocław-przewodnik*, Eko-graf, Wrocław, 264.

**Dubicka M.,** 1994, *Wpływ cyrkulacji atmosfery na kształtowanie warunków klimatu (na przykładzie Wrocławia)*, Studia Geogr. LX, Wyd. UWr, 295.

**Dubicka M,** 2000, *Klimat*, [w:] Encyklopedia Wrocławia, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 356-357.

**Dubicka M., Szymanowski M.,** 2000, *Struktura miejskiej wyspy ciepła i jej związek z warunkami pogodowymi i urbanistycznymi Wrocławia*, Acta Univ. Wratisl. No 2269, Wrocław.

**Dubicka M, Szymanowski M,** 2001, *Modyfikowanie klimatu lokalnego przez obszary zurbanizowane*, [w:] Kształtowanie przestrzeni zurbanizowanej w myśl zasad ekorozwoju, Polski Klub Ekologiczny, Wrocław, 41-52.

**Dubicka M., Rosiński D., Szymanowski M.,** 2003, *The influence of Urban Environment on Air Humidity in Wrocław*, Acta Iniv. Wratisl. No 2542, Wrocław.

**Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M.**, 2002, *Klimat Wrocławia.*, [w:] Środowisko Wrocławia - Informator 2002, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław, 9-25.

**Głowicki B., Otop I., Urban G., Tomczyński K.**, 2004, *Warunki klimatyczne województwa dolnośląskiego*. [w:] Opracowanie ekofizjograficzne dla województwa dolnośląskiego.

**Jezioro P.**, 2008, *Warunki bioklimatyczne parków miejskich w sezonie letnim na przykładzie Parku im H. Jordana w Krakowie*, [w:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), Klimat i bioklimat miast, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Katedra Meteorologii i Klimatologii, Łódź, 403-413.

**Karski L.**, 2010, *Klimat a prawo*, [w:] J. Leśny (red.), *I Ty masz wpływ na klimat*, Wielkopolskie Stowarzyszenie Sołtysów, Konin, 21-35.

**Kondracki J.,** 2000, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa, 441.

**Kopacz-Lembowicz M., Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K.,** *Wpływ zieleni miejskiej na klimat lokalny*, [w:] B. Szczepanowska (red.) Wpływ zieleni na kształtowanie środowiska miejskiego, Instytut Kształtowania Środowiska, PWN, Warszawa, 61–78.

**Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B.**, 1997, *Bioklimatologia człowieka. Metody ich zastosowania w badaniach bioklimatu Polski*, Monografie IGiPZ PAN, 1,200.

**Kożuchowski K.**, 2011, Klimat Polski. Nowe spojrzenie, PWN, Warszawa, 293.

**Kuchcik M.**, **Baranowski J.**, 2011, *Różnice termiczne między osiedlami mieszkaniowymi o różnym udziale powierzchni czynnej biologicznie*, Prace i Studia Geograficzne, T. 47, 365-372.

**Landsberg H.E**., 1981, *The urban climate*, Academic Press, New York, 285.

**Lewińska J.,** 2000, *Klimat miasta - zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Oddział w Krakowie, Kraków, 151.

**Lewińska J.,** 2006, *Ochrona klimatu miasta – potrzeba i możliwości kształtowania,* [w:] J. Trepińska, Z. Olecki (red.), Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego. Wyd. UJ, 185-191.

**Łukaszewicz A., Łukaszewicz Sz.,** 2006, *Rola i kształtowanie zieleni miejskiej*. Wyd. Nauk. UAM.

**Niedźwiedź T. (red.),** 2003, *Słownik meteorologiczny*, IMGW, Warszawa.

**Paszyński J.,** 1980, *Metody sporządzania map topoklimatycznych,* IGiPZ PAN, Dok. Geogr.

***Plan Zagospodarowania Przestrzennego dla Województwa Dolnośląskiego*,** Załącznik nr 1 do Uchwały nr XLVIII/873/2012 Sejmiku Województwa Dolnośląskiego z dnia 30 sierpnia 2012 r., Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne we Wrocławiu.

**Rosiński D.**, 2005, *Wpływ warunków meteorologicznych i użytkowania terenu na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie wilgotności powietrza we Wrocławiu*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Wrocław.

**Schmuck A.**, 1967, *Wpływ miasta na opady atmosferyczne (na przykładzie Wrocławia)*, „Przegl. Geod.", nr 12 (20), 3-4.

**Sikora S.**, 2005, *Warunki biometeorologiczne miasta na przykładzie Wrocławia*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Wrocław.

**Sobik M.**, 2005, *Procesy klimatotwórcze na Dolnym Śląsku*, [w:] J. Fabiszewski (red.): Przyroda Dolnego Śląska, 39-57.

**Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Wawer J.**, 2011, *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie*, Prace i Studia Geograficzne, T. 47, 373-381.

**Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego 2020,** www.umwd.dolnyslask.pl/rozwoj/aktualizacja-strategii-rozwoju-wojewodztwa-dolnoslaskiego.

**Szymanowski M.**, 2004, *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*, Stud. Geogr., 77, Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław, 288.

**Tamulewicz J.** 1997, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, w: Pogoda i klimat Ziemi, „Wielka Enc. Geogr. Świata", t.5, Kurpisz, Poznań, 331-341.

**Yoshino M.**, 1975, *Climate in small area*. *An Introduction to Local Meteorology*, Tokyo, University of Tokyo Press.

**Walczak W.,** 1970, *Obszar przedsudecki*, PWN, Warszawa, 415.

**Warczewska B., Mastalska-Cetera, 2010,** *Charakterystyka Wrocławskiego Obszaru Metropolitalnego ze szczególnym uwzględnieniem systemu przyrodniczego*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Oeconomica 245, 157-167.

**WMO,** 2003, *Our future climate***,** World Meteorology Organization report,

**Woś A.,** 1999, *Klimat Polski*, PWN, Warszawa