

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII i PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA nr 26

KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK

**ZNACZENIE CZYNNIKÓW
CYRKULACYJNYCH I LOKALNYCH
W KSZTAŁTOWANIU KLIMATU I BIOKLIMATU
AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ**



WARSZAWA 2002

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

Komitet Redakcyjny:

Krzysztof Błażejczyk (redaktor)

Bronisław Górz

Andrzej Kowalczyk

Teresa Kozłowska-Szczęśna

Roman Soja

Alojzy Woś

Barbara Jaworska (sekretarz)

Wydawca:
IG i PZ PAN

Adres redakcji:
00-818 Warszawa, ul. Twarda 51/55
tel.(48-22) 69 78 851
fax (48-22) 620 62 21

PL - ISSN 0012-5032
ISBN 83-87954-24-1

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII i PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA nr 26

KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK

**ZNACZENIE CZYNNIKÓW
CYRKULACYJNYCH I LOKALNYCH
W KSZTAŁTOWANIU KLIMATU I BIOKLIMATU
AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ**




WARSZAWA 2002

Recenzent:
Prof. dr hab. Kazimierz Kłysik

Abstract: The paper concerns the role of air circulation and local features of environment in climatic and bioclimatic conditions of Warsaw agglomeration. The studies bases on multiannual meteorological data for the most recent period of 1994-2001 for Warszawa-Okęcie meteorological station. Local features of climate were studied during special topoclimatic measurements carried out from January 2001 to June 2002 with the use of automatic meteorological mini stations. Topoclimatic maps of Warsaw agglomeration and its vicinity are presented as well.

Key words: air circulation, urban climate, Warsaw, urban bioclimate, topoclimate, topoclimatic maps

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Materiały źródłowe	7
Część I – Ogólne cechy klimatu i bioklimatu	11
1. Promieniowanie słoneczne	11
1.1. Promieniowania całkowite	11
1.2. Promieniowanie nadfioletowe	18
2. Usłonecznienie	21
3. Zachmurzenie	25
4. Ciśnienie atmosferyczne	27
5. Cyrkulacja atmosferyczna	30
6. Masy powietrza	32
7. Temperatura powietrza	35
8. Miejska wyspa ciepła	38
9. Wilgotność powietrza	43
9.1. Parność	45
10. Kierunek i prędkość wiatru	46
11. Opady atmosferyczne	51
12. Warunki biotermiczne	53
12.1. Przestrzenne zróżnicowanie warunków biotermicznych	62
Część II – Warunki pogodowe	77
1. Biotermiczna klasyfikacja pogody	77
1.1. Typy pogody	78
1.2. Podtypy pogody	79
1.3. Klasy pogody	80
1.4. Przydatność warunków pogodowych dla człowieka	82
2. Warunki pogodowe w Warszawie	83
2.1. Masy powietrza a warunki pogodowe	83
2.2. Kalendarz warunków pogodowych	90
2.3. Ocena przydatności warunków pogodowych w Warszawie	94
3. Zróżnicowanie warunków pogodowych na Nizinie Mazowieckiej	104
Część – III Zróżnicowanie topoklimatyczne południowej części Niziny Mazowieckiej	113
1. Elementy bazy danych	113
2. Klimatyczne cechy środowiska	115
3. Mapy analityczne	117
4. Syntetyczna mapa topoklimatyczna	117
5. Mapy biotopoklimatyczne	121
Podsumowanie	129
Literatura 	132
Załączniki:	
- 1. Szczegółowa lokalizacja stanowisk pomiarowych – <i>K. Błażejczyk, M. Ożga</i>	137
- 2. Wyniki szczegółowych badań klimatu odczuwalnego w Warszawie	
- - <i>M. Kuchcik</i>	139
- 3. Zróżnicowanie przestrzenne temperatury promieniowania – <i>A.B. Adamczyk</i>	151
- 4. Mapy topoklimatyczne i biotopoklimatyczne Niziny Mazowieckiej	
- - <i>K. Błażejczyk, A. Kunert</i>	157
<i>Influence of air circulation and local factors on climate and bioclimate of Warsaw agglomeration – summary</i>	159

1. Wstęp

Warszawa należy do miast o najdłuższej historii pomiarów meteorologicznych w Polsce, rozpoczęły się one bowiem już w lipcu 1647 r. W połowie XVII w. (1654/1655), Warszawa została włączona do pierwszej międzynarodowej sieci pomiarowej tzw. sieci florentyńskiej, obejmującej 11 miast na terenie Europy. Sieć ta działała do 1667 r. Początek systematycznych obserwacji przypada na 1 stycznia 1779 r., kiedy to ksiądz Jowita Fryderyk Bończa-Bystrzycki, nadworny astronom króla Stanisława Augusta, rozpoczął pomiary meteorologiczne. Do 1825 r. prowadzono je w kilku miejscach Starego Miasta, a 20 stycznia tegoż roku stację przeniesiono na teren Obserwatorium Astronomicznego (obok Ogrodu Botanicznego UW, w Alejach Ujazdowskich). W roku 1925 założono kolejną stację meteorologiczną na Bielanach, a w 1948 r. – na terenie lotniska na Okęciu.

Te stosunkowo długie serie pomiarowe pozwalają na dokonanie ogólnej charakterystyki klimatu regionu warszawskiego. Są one jednak niewystarczające do poznania klimatu panującego wewnątrz miasta i jego zróżnicowania przestrzennego, tak w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym. Trzy działające regularnie stacje i posterunki meteorologiczne IMGW nie są bowiem w stanie dostarczyć pełnych informacji o klimacie różnych części miasta o tak złożonej, jak Warszawa, strukturze urbanistycznej.

Każde miasto jest przykładem przemian środowiska spowodowanych działalnością człowieka, który sztucznie ukształtował podłoże atmosfery w postaci budynków, ulic, placów, parków itp. Zmiany takie, wywołane urbanizacją i uprzemysłowieniem, występują wyraźnie w środowisku atmosferycznym dużych aglomeracji. Miasto oddziałuje bowiem na warunki klimatyczne poprzez zmienione właściwości fizyczne podłoża atmosfery. Stwarzają one wewnątrz miasta specyficzne właściwości radiacyjne, termiczne, wilgotnościowe i wietrzne (Błażejczyk 1992, Fortini-Morawska 1990, Kozłowska-Szczęśna 1992, Kozłowska-Szczęśna i Błażejczyk 1996, Paszyński i in. 1971).

Stosunkowo długie tradycje w badaniach klimatu Warszawy i jej okolic ma Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (WGiSR UW). W dorobku Wydziału znajduje się około 100 pozycji dotyczących zagadnień klimatycznych, wykonanych w Zakładzie Klimatologii Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych. Wszystkie prace opublikowane oraz niepublikowane prace magisterskie i doktorskie zestawiono w opracowaniu zespołowym o charakterze informatora (Stopa-Boryczka, kier. zesp. 1994) pt. *Wkład geografów Uniwersytetu w badania środowiska Warszawy i okolic*. Niektóre wyniki badań klimatu Warszawy zostały zebrane w dwóch tomach: *Z badań klimatu Warszawy* (Stopa-Boryczka,

Kossowska-Cezak red., 1992), *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy* (Stopa-Boryczka i in. 1995).

Znaczne zasługi w badaniu różnych składników klimatu Warszawy ma także Zakład Klimatologii Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN. Powstały tu zarówno prace o charakterze szczegółowym (Błażejczyk 1996, Kozłowska-Szczęśna i Podogrocki 1995, Kraujalis 1980, Krawczyk 1968, Michałowska-Smak 1982), jak i opracowania syntetyzujące dotychczasową wiedzę o klimacie miasta (Kozłowska-Szczęśna i Błażejczyk 1996, Kozłowska-Szczęśna i in. 2001). Niektóre wyniki tych syntez zamieszczono w internecie, na stronie domowej IGiPZ PAN (www.igipz.pan.pl/klimat/warszawy).

Z innych placówek naukowo-badawczych zajmujących się różnymi zagadnieniami dotyczącymi klimatu Warszawy wymienić należy przede wszystkim: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW), Państwowy Zakład Higieny (PZH), Instytut Miasta (IM), Instytut Ochrony Środowiska (IOŚ), Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska (PIOŚ), Instytut Geodezji i Kartografii (IGiK) oraz Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej (IGPiK) (Bednarek 1979 a, b, 1990, Fortini-Morawska 1987, Lorenc 1991, Mączak 1990).

Pewne informacje o klimacie Warszawy można znaleźć w opracowaniu zbiorowym *Środowisko przyrodnicze Warszawy* (Biernacki, Kazimierski, Wróblewski, red. 1990), w atlasach: *Atlas Warszawy* (1975) i *Atlas Województwa Warszawskiego* (1993), w *Encyklopedii Warszawy* (1994). Przestrzenne zróżnicowanie podstawowych elementów klimatu Warszawy i niektórych charakterystyk bioklimatu miasta przedstawiono w pracy T. Kozłowskiej-Szczęśnej, K. Błażejczyka i B. Krawczyk (1996) *Atlas Warszawy, z. 4, Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia*. Szczegółowe, kartograficzne opracowanie topoklimatów centralnej części Warszawy znalazło się w zbiorowym tomie *Monografia przyrodnicza gminy Warszawa Centrum* (Głowacka i in. 1999).

Celem niniejszej pracy jest zbadanie i przedstawienie roli czynników cyrkulacyjnych oraz lokalnych w kształtowaniu warunków klimatycznych i bioklimatycznych panujących w obrębie aglomeracji warszawskiej, a także analiza przestrzennego zróżnicowania tych warunków.

Praca opiera się głównie na wynikach specjalnych, szczegółowych badań prowadzonych w ramach projektu badawczego KBN, 6 P04E 047 17.

2. Materiały źródłowe

Podstawą opracowania były dostępne dane meteorologiczne z sieci państwowej z okresów wieloletnich (1961-1970, 1981-1990 oraz 1994-2001). Jedynie w przypadku kierunków i prędkości wiatru wykorzystano dane z okresu 1951-1960, ponieważ dane aktualne, zwłaszcza w odniesieniu do kierunku wiatru, nie są podawane w dostępnych bazach danych i rocznikach meteorologicznych.

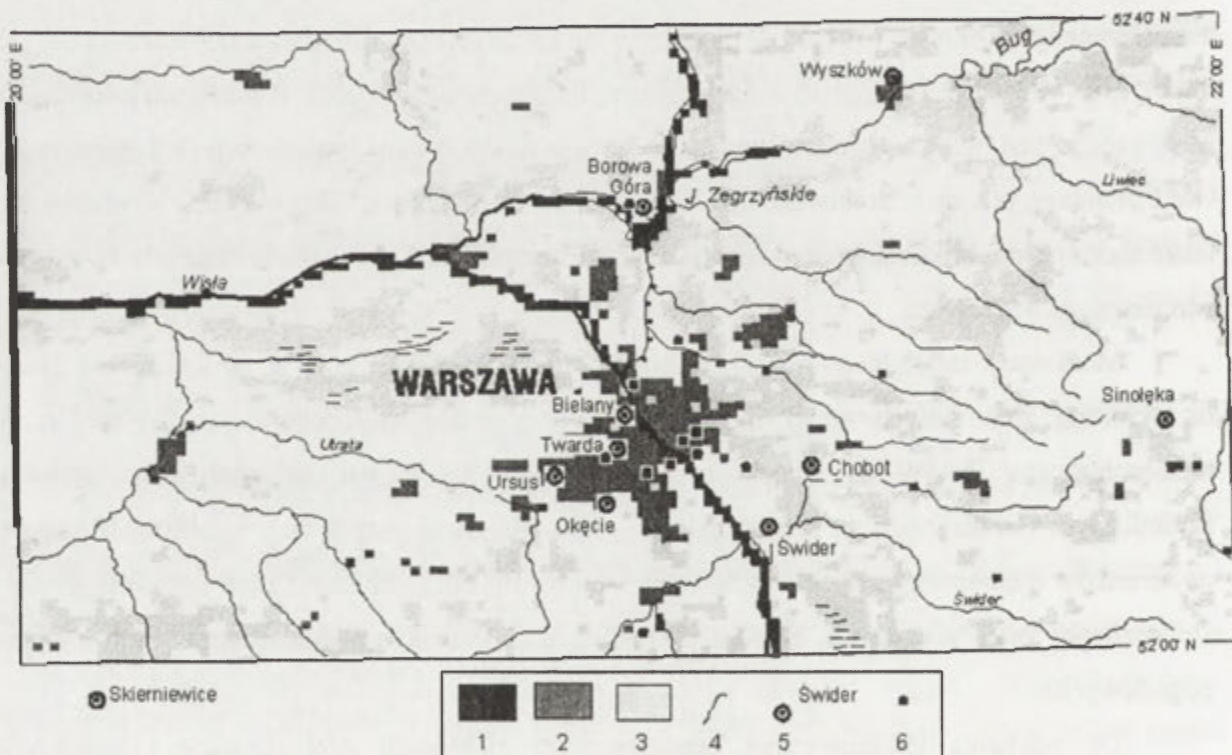
Wykorzystano zarówno materiały archiwalne zamieszczone w rocznikach meteorologicznych, jak również dane znajdujące się w specjalistycznych bazach: METEONORM (wersja 4.0), ESRA (European Solar Radiation Atlas) oraz NOAA. Do oceny cyrkulacji atmosferycznej w okresie 1961-1970 posłużono się katalogiem B. Osuchowskiej-Klein (1978), a dla okresu 1991-1999 katalogiem J. Lityńskiego (Pawłowska i in. 2000). Rodzaj masy powietrza zalegającego nad Warszawą określono na podstawie dolnych map synoptycznych z godziny 12 GMT znajdujących się w archiwum IMGW w Warszawie (Kuchcik i Ożga 2002). Wykorzystano także niektóre, opublikowane we wcześniejszych opracowaniach, dane wieloletnie dla Warszawy i środkowego Mazowsza.

Możliwości dokładnego poznania klimatu i bioklimatu Warszawy są ograniczone z uwagi na skromną sieć stałych stacji i posterunków obserwacyjnych obejmującą tylko: stację meteorologiczną IMGW na Okęciu oraz posterunki IMGW na Bielanach i w Ogrodzie Botanicznym (Obserwatorium Astronomiczne). Spośród znajdujących się w pobliżu Warszawy posterunków meteorologicznych wykorzystano dane z Belska (odnoszące się do promieniowania słonecznego) oraz Wyszkowa, Świdra, Skierniewic i Sinołęki (w odniesieniu do warunków pogodowych).

Do poznania zróżnicowania przestrzennego niektórych cech klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej konieczne było założenie własnej sieci pomiarowej. Składała się ona z dwóch automatycznych meteorologicznych stacji obserwacyjnych Zakładu Klimatologii IGiPZ PAN (w centrum Warszawy, przy ul. Twardej oraz w Borowej Górze koło Serocka, leżącej około 35 km na NE od Warszawy w terenie rolniczym) oraz 11 bioklimatycznych punktów pomiarowych usytuowanych w różnych częściach aglomeracji warszawskiej. Dzięki uprzejmości firmy Label uzyskano także dane pomiarowe za okres 2001-2002 z automatycznych stacji meteorologicznych w Ursusie i we wsi Chobot koło Halinowa. Na załączonych mapach (ryc. 1, 2) przedstawiono rozmieszczenie stacji i posterunków meteorologicznych oraz innych punktów pomiarowych, z których dane zostały wykorzystane w opracowaniu.

Punkty pomiarów bioklimatycznych reprezentowały różne jednostki urbanistyczne oraz różne formy użytkowania i zagospodarowania terenu. Lokalizację tych punktów przedstawiają ryciny 1 i 2, a ich ogólna charakterystyka jest następująca:

- Borowa Góra – reprezentuje teren pozamiejski, użytkowany rolniczo, oddalony od wszelkiej zabudowy,
- Twarda – reprezentuje podwórko w centrum Warszawy, otoczone budynkami o wysokości około 20 m, zacienione przez znaczną część dnia w ciągu roku,
- Grochów – reprezentuje zwartą zabudowę 2-3 piętrową, typową dla dużej części Warszawy, przez znaczną część dnia eksponowane na działanie promieni słonecznych,
- Łukowska – reprezentuje osiedle wieloblokowe (Ostrobramska), stanowisko w godzinach porannych znajdowało się w cieniu budynku,

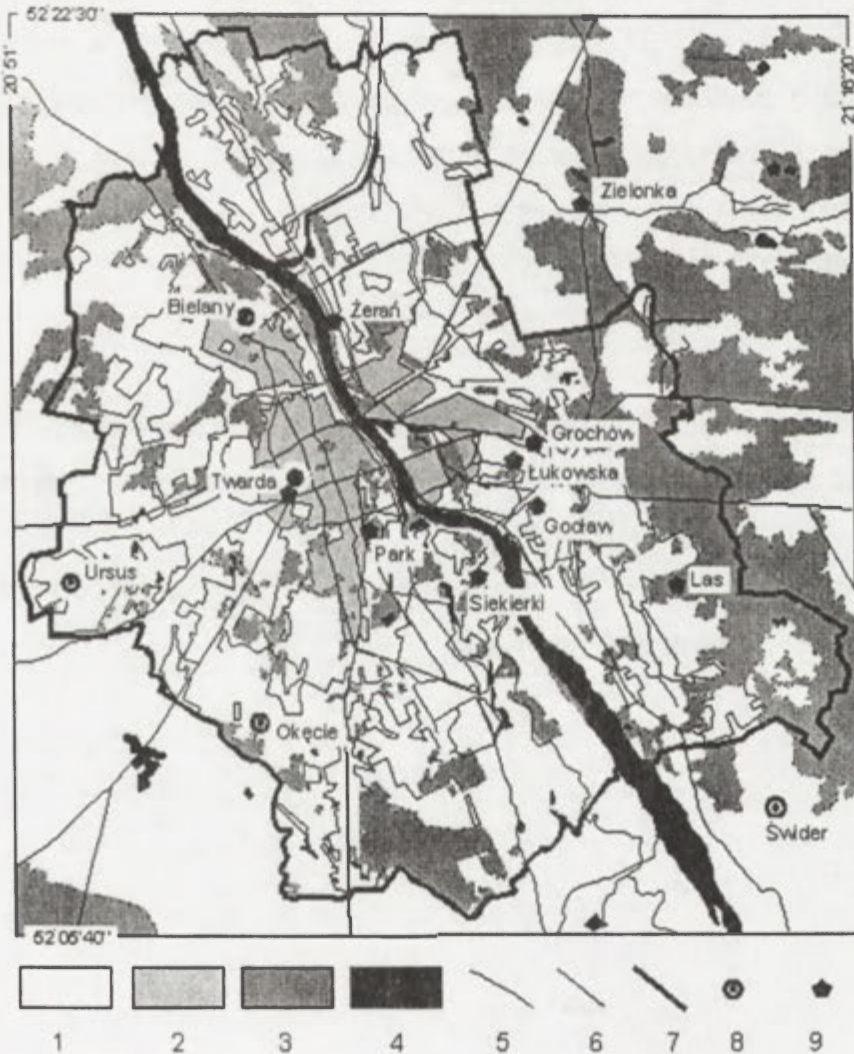


Ryc. 1. Rozmieszczenie stacji i posterunków meteorologicznych oraz punktów pomiarów bioklimatycznych, z których dane wykorzystano w opracowaniu; 1 – obszary wodne, 2 – miasta, 3 – lasy, 4 – rzeki, 5 – stacje i posterunki meteorologiczne, 6 – punkty pomiarów bioklimatycznych
Location of meteorological stations and posts as well as bioclimatic posts which data were used in this studies; 1 – water bodies 2 – cities, 3 – forests, 4 – rivers, 5 – meteorological posts and stations, 6 – bioclimatic posts

- Żerań – reprezentuje niską zabudowę usługowo-przemysłową otoczoną drzewami,
- Gocław – reprezentuje nowe osiedle domków jednorodzinnych, bez zieleni wysokiej, położone na tarasie nadzalewowym Wisły,
- Zielonka – reprezentuje osiedle podwarszawskie, z luźną zabudową jednopiętrową, usytuowaną wśród niewielkich ogrodów owocowych,
- Zalesie – jw.,

- Siekierki – reprezentuje zabudowę typu wiejskiego na tarasie zalewowym Wisły,
- Park – położony w Ogrodzie Botanicznym UW, pod okapem drzew, reprezentuje stary park z drzewostanem liściastym,
- Las – położony w pobliżu Międzylesia, reprezentuje zbiorowisko boru mieszanego świeżego, dominującego w lasach Mazowieckiego Parku Krajobrazowego.

Mapy ze szczegółową lokalizacją stacji i posterunków meteorologicznych oraz punktów pomiarów bioklimatycznych znajdują się w załączniku 1, na dołączonej płycie CD.



Ryc. 2. Rozmieszczenie stacji i posterunków meteorologicznych oraz punktów pomiarów bioklimatycznych na terenie Warszawy; 1 – zabudowa luźna, 2 – zabudowa zwarta, 3 – lasy i parki, 4 – wody, 5 – rzeki i kanały, 6 – główne drogi i ulice, 7 – granica administracyjna Warszawy, 8 – stacje i posterunki meteorologiczne, 9 – punkty pomiarów bioklimatycznych
 Location of meteorological stations and posts as well as bioclimatic posts over the territory of Warsaw; 1 – built-up area, 2 – downtown area, 3 – forests and parks, 4 – water bodies, 5 – rivers and canals, 6 – main roads and streets, 7 – administrative border of Warsaw, 8 – meteorological posts and stations, 9 – bioclimatic posts

Przeprowadzono również (w czerwcu i lipcu 2000 r.) serię szczegółowych pomiarów biotopoklimatycznych. Objęły one 30 różnych typów krajobrazu miejskiego położonych w Śródmieściu, na Woli i na Mokotowie. Odznaczały się one różną strukturą urbanistyczną, różnym usytuowaniem orograficznym oraz różnym stopniem pokrycia roślinnością. Niektóre wyniki tych pomiarów zostały omówione w załączniku 2.

Przestrzenne zróżnicowanie cech termicznych podłoża atmosfery zbadano opierając się na obrazie satelitarnym LANDSAT 5TM, wykonanym dnia 27 czerwca 1987 r. Wprawdzie zagospodarowanie terenu w roku 2002 różni się od tego w roku 1987, niemniej zmiany te obejmują tylko niewielką część obszaru aglomeracji warszawskiej. W stosunku do większości obszaru Warszawy i okolic wnioski wyciągnięte na podstawie przeanalizowanego obrazu satelitarnego mogą zostać odniesione do warunków panujących obecnie. Szczegóły dotyczące metody i wyników analizy zamieszczone są w załączniku 3.

Całość opracowania podzielono na 3 części:

- ogólne cechy klimatu i bioklimatu,
- warunki pogodowe,
- zróżnicowanie topoklimatyczne południowej części Niziny Mazowieckiej.

Niektóre zagadnienia szczegółowe oraz problemy wymagające dalszych badań omówiono w dwóch artykułach cząstkowych (zał. 2 i zał. 3).

Źródłowe materiały topograficzne oraz szczegółowe mapy topoklimatyczne znajdują się w załącznikach 1 i 4, na dołączonej płycie CD.

Część I

Ogólne cechy klimatu i bioklimatu

1. Promieniowanie słoneczne

Badania promieniowania słonecznego były prowadzone w różnych miejscach Warszawy od początku ubiegłego stulecia, a rozpoczął je w końcu 1900 r. W. Gorczyński.

Podstawą tego opracowania są średnie miesięczne i roczne sumy całkowitego promieniowania słonecznego z lat 1981-1990 zamieszczone w bazach danych: ESRA (Warszawa-Bielany i Belsk) oraz METEONORM (Warszawa-Okęcie). Dane ze stacji Warszawa-Bielany można traktować jako reprezentatywne dla obszaru zabudowanego, a dane z Warszawy Okęcia i Belska charakteryzują teren otwarty. Wykorzystano także wyniki własnych pomiarów z lat 2000-2002 prowadzonych w centrum Warszawy (ul. Twarda) i w Borowej Górze. Obejmowały one całkowite promieniowanie słoneczne (*Kglob*) i promieniowanie nadfioletowe (*UV*).

1.1. Promieniowanie całkowite

W przebiegu rocznym najwyższe wartości promieniowania całkowitego w obszarze zabudowanym Warszawy, podobnie jak w całej Polsce, przypadają na okres od maja do lipca (505-510 MJ m⁻² mies⁻¹), a najniższe w grudniu (41 MJ m⁻² mies⁻¹), co jest związane z wysokością Słońca, długością dnia i stopniem zachmurzenia nieba (tab. 1).

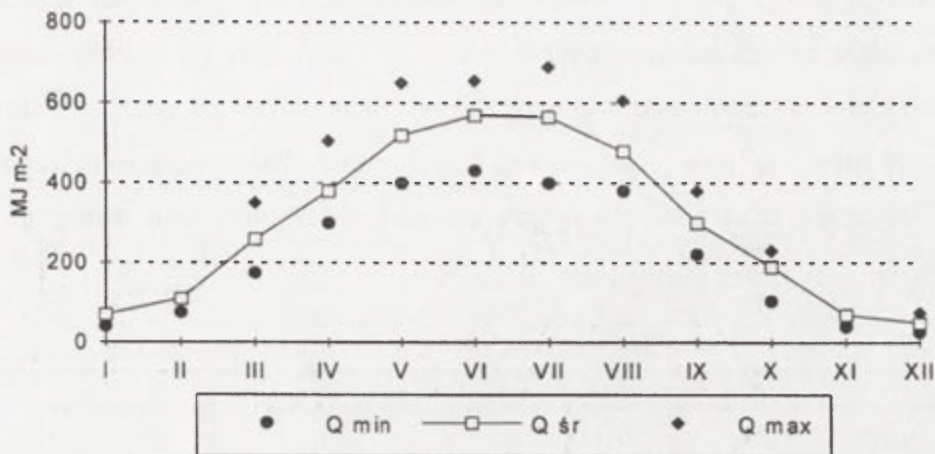
Tabela 1. Średnie sumy miesięczne i roczne całkowitego promieniowania słonecznego (*Kglob*) na stacjach: Warszawa-Okęcie, Warszawa-Bielany i Belsk (1981-1990)

Miesiąc	<i>Kglob</i>		
	Warszawa-Okęcie (MJ m ⁻²)	Warszawa-Bielany (MJ m ⁻²)	Belsk (MJ m ⁻²)
Styczeń	63	57	66
Luty	125	122	136
Marzec	248	224	243
Kwiecień	383	355	373
Maj	560	505	517
Czerwiec	531	494	508
Lipiec	565	510	521
Sierpień	479	431	453
Wrzesień	290	268	285
Październik	187	168	181
Listopad	83	74	78
Grudzień	46	41	46
Rok – 1981-1990 (1961-1990)	3560 (-)	3249 (3480)	3407 (3774)

Zródło: bazy danych ESRA i METEONORM

Zestawiając miesięczne i roczne sumy promieniowania słonecznego w Warszawie-Bielanach i w Belsku, który reprezentuje obszar użytkowany rolniczo, widać wyraźne zmniejszenie się ilości promieniowania słonecznego docierającego do podłoża atmosfery w mieście. W poszczególnych miesiącach zmniejszenie to waha się od około 4 MJ m⁻² w listopadzie i grudniu do 22 MJ m⁻² w sierpniu i 19 MJ m⁻² w marcu. Sumy roczne promieniowania słonecznego zarejestrowane na stacji Warszawa-Okęcie były natomiast o około 150 MJ m⁻² większe niż w Belsku. Jest to prawdopodobnie związane z różnicami w zachmurzeniu obserwowanym na tych stacjach oraz z przezroczystością atmosfery, która w Belsku może być nieznacznie mniejsza niż na Okęciu w związku z lokalnymi emitorami zanieczyszczeń powietrza, a w okresie jesiennym także rolniczym użytkowaniem terenu (znaczny areał pozbawiony wtedy stałej pokrywy roślinnej, co sprzyja unoszeniu do atmosfery pyłów z podłoża). W wartościach względnych różnice te wynoszą w mieście – w stosunku do obszaru rolniczego – od -2,1% w lipcu do -13,6% w styczniu. Największe osłabienie dopływu promieniowania słonecznego w Warszawie obserwuje się w miesiącach zimowych (od -9 do -14%), co jest niewątpliwie związane ze znacznym zanieczyszczeniem powietrza w mieście w tej porze roku. W stosunku do Okęcia obszar miasta charakteryzuje się około 10% osłabieniem promieniowania słonecznego przez okres całego roku.

Porównując wartości *Kglob* z okresów 1981-1990 i 1961-1990 zauważa się wyraźną zmianę przebiegu rocznego sum miesięcznych promieniowania całkowitego. W dziesięcioleciu 1981-1990 zdecydowanie mniejsze niż w okresie 1961-1990 są sumy promieniowania w miesiącach od kwietnia do sierpnia, co powoduje, że mniejsza jest także suma roczna *Kglob*, zarówno w Warszawie-Bielanach, jak i w Belsku (tab. 1). Dane z lat 1961-1990 wskazują, że największe miesięczne sumy promieniowania całkowitego występowały w czerwcu i lipcu, co jest związane z najwyższymi w tych miesiącach położeniami Słońca nad horyzontem (ryc. 3). W dziesięcioleciu 1981-1990 najwyższe sumy miesięczne *Kglob* przesunęły się w kierunku miesięcy wiosennych. W czerwcu, pomimo największych wysokości Słońca obserwuje się niewielkie zmniejszenie sum *Kglob*, w stosunku do maja i lipca. Jest to prawdopodobnie związane ze zmianami ogólnej cyrkulacji atmosferycznej w tym okresie i zwiększonym zachmurzeniem w czerwcu.



Ryc. 3. Przebieg roczny minimalnych (Q min), średnich (Q *śr*) i maksymalnych (Q max) sum miesięcznych całkowitego promieniowania słonecznego na stacji Warszawa-Bielany, 1961-1990 (Kozłowska-Szczęśna i Podogrocki 1995)

Annual course of minimal (Q min), average (Q *śr*) and maximal (Q max) monthly sums of global solar radiation, Warszawa-Bielany, 1961-1990

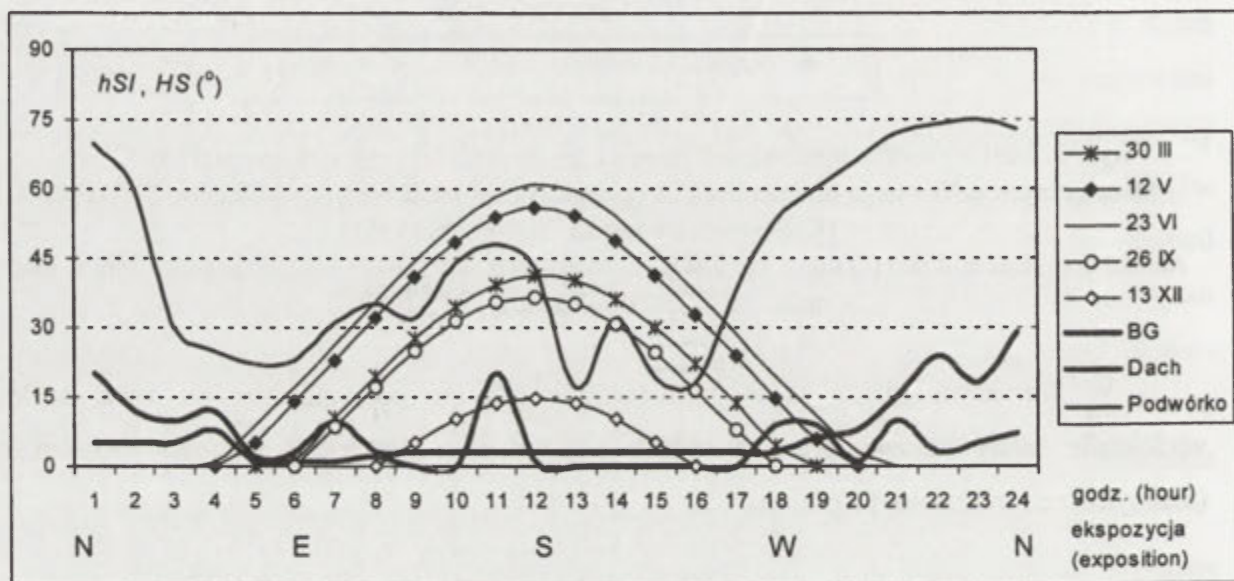
W Warszawie niższe są w porównaniu z terenem pozamiejskim nie tylko średnie wieloletnie sumy roczne promieniowania całkowitego, ale także wartości ekstremalne (maksymalne i minimalne) K_{glob} (tab. 2).

Tabela 2. Najwyższe i najniższe roczne sumy całkowitego promieniowania słonecznego (wg Kozłowskiej-Szczęśnej i Błazejczyka, 1996)

Stacja	K_{glob} (MJ m ² rok ⁻¹)		Okres
	maksimum	minimum	
Warszawa-Bielany	3949	3163	1961-1990
Belsk	4099	3304	1971-1990
Brwinów	4022	3197	1961-1980

Wpływ zabudowy miejskiej na dopływ promieniowania słonecznego ilustrują także wyniki własnych pomiarów prowadzonych w latach 2001-2002 synchronicznie w centrum Warszawy (przy ulicy Twardej) oraz w terenie pozamiejskim (w Borowej Górze). Pomiary całkowitego promieniowania słonecznego oraz promieniowania nadfioletowego (UV-A + UV-B) wykonywano przy pomocy czujników firmy Kipp&Zonen (CM3 oraz CUV3). Stacja meteorologiczna przy ulicy Twardej umieszczona jest na dachu budynku IGiPZ PAN, na wysokości około 25 m nad poziomem ulicy. Horyzont fizyczny jest w zasadzie odsłonięty. Jedyne wysoki budynek przesłaniający nieboskłon znajduje się na południe do punktu pomiarowego i powoduje zacienienie przyrządów aktynometrycznych w miesiącach zimowych w

godzinach 11-12. Drugi poziom pomiarowy znajduje się na wysokości około 3 m nad podwórkiem, gdzie zasłonięcie horyzontu było bardzo duże i tylko od połowy maja do połowy lipca promienie słoneczne docierały do przyrządów pomiarowych od godziny 7 do 16, a przez pozostałą część roku – jedynie przez kilka godzin dziennie. Stacja meteorologiczna w Borowej Górze leży w terenie rolniczym, a znaczniejsze zasłonięcie horyzontu występuje jedynie od północy (ryc. 4).



Ryc. 4. Wysokość Słońca (hSl) w Warszawie w wybranych dniach roku oraz zasłonięcie horyzontu (HS) przy różnej ekspozycji w punktach pomiarów aktywności promieniowania: Borowa Góra (BG), Twarda-dach (Dach) i Twarda-podwórko (Podwórko)

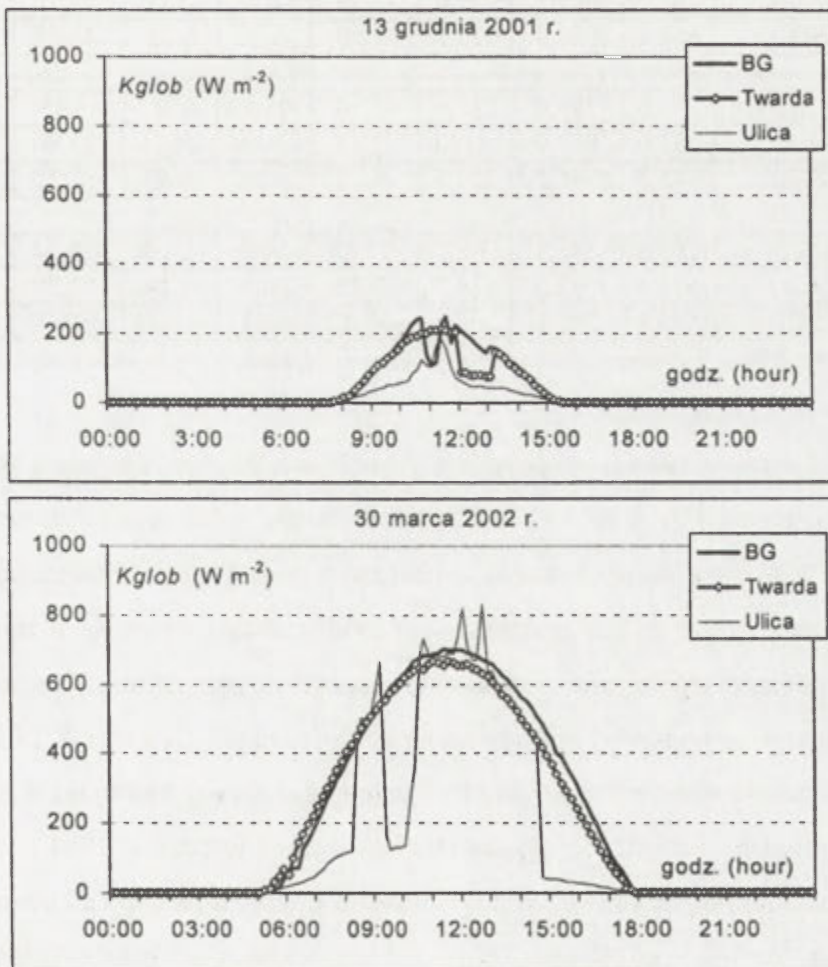
Sun altitude (hSl) in Warsaw in some days of the year as well as horizon shading (HS) at various expositions on actinometric measuring posts: Borowa Góra (BG), downtown-roof (Dach) and downtown-court (Podwórko)

Poniżej zamieszczono przykładowe przebiegi dobowe całkowitego promieniowania słonecznego podczas czterech wybranych dni roku, o niebie bezchmurnym lub z małym zachmurzeniem, reprezentujących różne pory roku (ryc. 5-6).

W grudniu, maksymalne natężenie promieniowania całkowitego w godzinach okołopołudniowych wynosiło około 200 W m^{-2} , przy tym wartości K_{glob} w mieście były w tym czasie średnio o 35% mniejsze niż w Borowej Górze. Przed i po południu promieniowanie całkowite było w mieście podobne jak poza miastem (tab. 3).

W marcu natężenie K_{glob} podczas słonecznych dni osiągało poza miastem wartość około 700 W m^{-2} ; w mieście było ono średnio o około 11 W m^{-2} mniejsze. Niemniej odchylenia te układały się odmiennie w różnych porach dnia. Przed południem natężenie promieniowania

całkowitego w centrum Warszawy (na poziomie dachów) było nieznacznie większe niż w Borowej Górze, natomiast w godzinach południowych i po południu – wyraźnie mniejsze. Jest to związane z dopływem przed południem do mierników dodatkowych ilości promieniowania odbitego od przeszklonych ścian wysokiego biurowca usytuowanego na południe od punktu pomiarowego. Zjawisko to wydaje się powszechne w centrum Warszawy, jako że coraz więcej buduje się tu wysokich budynków oddziałujących na tereny otaczające. Największe różnice K_{glob} pomiędzy Borową Górą a centrum miasta (poziom dachów) występowały w godzinach okołopołudniowych i wynosiły 48 W m^{-2} .



Ryc. 5. Przebiegi dzienne całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) w terenie pozamiejskim (BG – Borowa Góra) oraz w centrum Warszawy, na poziomie dachów (Twarda) i na poziomie ulicy (Ulica) w wybranych dniach półrocza chłodnego

Daily course of global solar radiation (K_{glob}) in the rural area (BG) and in Warsaw downtown: on the roof (Twarda) and street (Ulica) levels in selected days of cool half-year, 13 December 2001 (upper panel) and 30 March 2002 (lower panel)

Tabela 3. Charakterystyki całkowitego promieniowania słonecznego w wybranych dniach roku na stacji pozamiejskiej (BG – Borowa Góra) oraz miejskiej (Twarda (Tw) – poziom dachu, Ulica (Ul) – poziom ulicy)

Data	Charakterystyka <i>Kglob</i>	<i>Kglob</i> ($W m^{-2}$)			Relacje (%) <i>Kglob</i> obserwowanego na różnych stanowiskach			Różnice ($W m^{-2}$) <i>Kglob</i> pomiędzy poszczególnymi stanowiskami		
		BG	Twarda	Ulica	Tw/BG	Ul/BG	Ul/Tw	Tw-BG	Ul-BG	Ul-Tw
	wartość:									
13 grudnia 2001	Śr.	39,6	34,8	16,8	-12,07	-57,52	-51,69	-4,78	-22,78	-18,00
	Maks.	247,4	213,6	182,7	-13,66	-26,15	-14,47	-33,80	-64,70	-30,90
	SGP	153,2	98,6	45,3	-35,63	-70,44	-54,07	-54,60	-107,93	-53,33
30 marca 2002	Śr.	219,5	208,1	152,3	-5,19	-30,60	-26,79	-11,40	-67,15	-55,75
	Maks.	701,0	665,3	832,0	-5,09	18,69	25,06	-35,70	131,00	166,70
	SGP	644,2	595,9	633,1	-7,50	-1,72	6,25	-48,28	-11,07	37,22
12 maja 2002	Śr.	303,6	299,0	237,4	-1,50	-21,80	-20,61	-4,55	-66,19	-61,64
	Maks.	838,0	817,0	1014,0	-2,51	21,00	24,11	-21,00	176,00	197,00
	SGP	778,3	746,0	739,7	-4,15	-4,96	-0,84	-32,34	-38,63	-6,29
26 września 2001	Śr.	167,6	131,3	76,2	-21,68	-54,56	-41,98	-36,34	-91,44	-55,10
	Maks.	656,4	595,2	584,7	-9,32	-10,92	-1,76	-61,20	-71,70	-10,50
	SGP	543,4	345,5	292,5	-36,42	-46,17	-15,34	-197,93	-250,92	-52,98

Śr. – średnia dobową, Maks. – maksymalna, SGP – średnia dla godzin okołopołudniowych

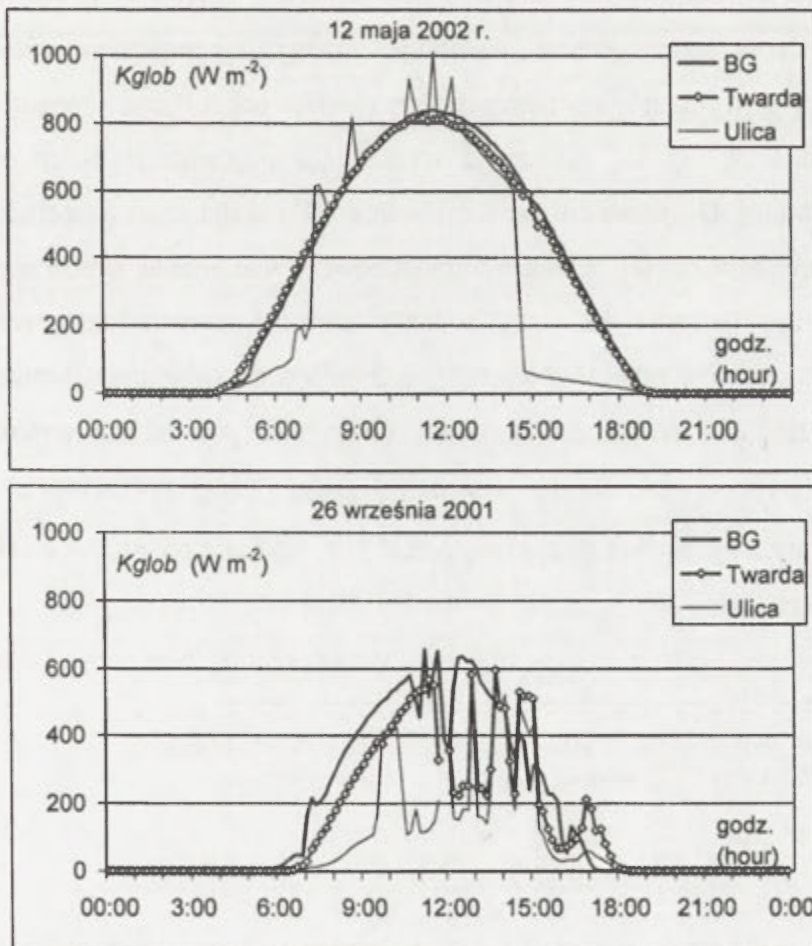
W maju, a więc w okresie o dużych wysokościach Słońca, natężenie promieniowania całkowitego przekraczało $800 W m^{-2}$. Podobnie jak w marcu widać niewielką, przedpołudniową przewagę *Kglob* w mieście w porównaniu z obszarem pozamiejskim. Niemniej w godzinach południowych średnie zmniejszenie promieniowania całkowitego wynosiło w mieście około $32 W m^{-2}$ (ryc. 6). Wiąże się to prawdopodobnie z obserwowanym w Warszawie znacznym zwiększeniem zmgłnienia atmosfery w godzinach popołudniowych (Krawczyk 1968).

We wrześniu nie obserwowano zjawiska przedpołudniowej nadwyżki *Kglob* w centrum miasta gdyż wspomniany wcześniej budynek biurowy nie był jeszcze w 2001 r. ukończony (nie obłożono go jeszcze szklanymi okładzinami). Natężenie promieniowania całkowitego osiągało w południe $656 W m^{-2}$ w Borowej Górze i $595 W m^{-2}$ w mieście, a osłabienie *Kglob* dochodziło w tym czasie do około 36% (tab. 3).

Ryciny 5 i 6 ilustrują jeszcze jedno zjawisko powszechnie występujące w centralnych, gęsto zabudowanych, częściach miast. Jest to znaczne osłabienie promieniowania słonecznego docierającego w niektórych godzinach do poziomu ulic i podwórek, a więc tam gdzie przebywa w ciągu dnia człowiek. Jest to związane z zacienieniem tych części terenu przez otaczające budynki. Jedynie w miesiącach od maja do lipca, gdy wysokość Słońca przekracza w południe 50° znaczna część ulic i dziedzińców może być przez prawie cały dzień poddana działaniu

bezpośredniego promieniowania słonecznego. W dnach kanionów ulicznych i wewnętrznych dziedzińców w czasie, gdy docierają tam promienie słoneczne obserwuje się okresowo zjawisko **znacznego** zwiększenia natężenia promieniowania całkowitego. Wartości maksymalne *Kglob* są **tam** niekiedy wyższe niż w poza miastem nawet o 130-170 W m⁻² (o 24-25%).

Uogólniając można stwierdzić, że natężenie promieniowania słonecznego w mieście, przy powierzchni terenu, stanowi od około 80% (od maja do lipca), poprzez 70% (w marcu, kwietniu i sierpniu) do około 40-45% (od września do lutego) promieniowania obserwowanego poza miastem. Należy dodać, że występuje duże zróżnicowanie przestrzenne dopływu promieniowania słonecznego do wnętrza miasta, zależne od jego struktury urbanistycznej (wysokość, gęstość i usytuowanie budynków).

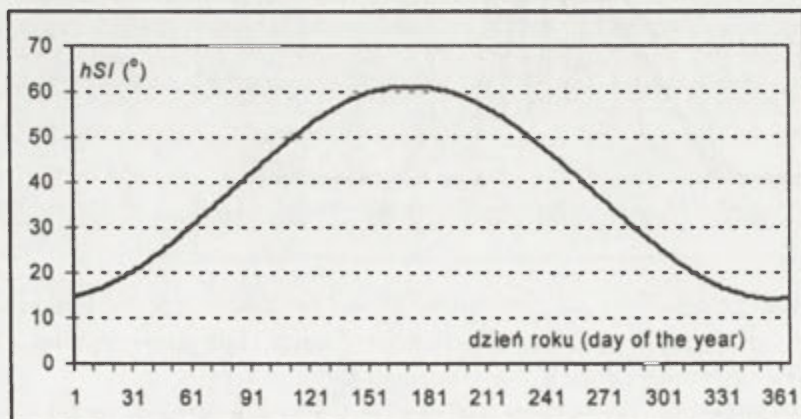


Ryc. 6. Przebiegi dzienne całkowitego promieniowania słonecznego (*Kglob*) w obszarze pozamiejskim (BG – Borowa Góra) oraz w centrum Warszawy, na poziomie dachów (Twarda) i na poziomie ulicy (Ulica) w wybranych dniach półrocza ciepłego

Daily course of global solar radiation (*Kglob*) in the rural area (BG) and in Warsaw downtown: on the roof (Twarda) and street (Ulica) levels in selected days of warm half-year, 12 May 2002 (upper panel) and 26 September 2001 (lower panel)

1.2. Promieniowanie nadfioletowe

Promieniowanie nadfioletowe (*UV*) jest aktywną biologicznie częścią widma promieniowania słonecznego i dzieli się na tzw. nadfiolet C ($< 0,28 \mu\text{m}$), nadfiolet B ($0,281-0,315 \mu\text{m}$) i nadfiolet A ($0,316-0,4 \mu\text{m}$). Na górnej granicy atmosfery na nadfiolet przypada około 5% dochodzącej od Słońca energii. Podczas przechodzenia przez atmosferę większość promieniowania *UV* ulega pochłonięciu i przy powierzchni Ziemi jego ilość w widmie promieniowania słonecznego wynosi średnio 1-2%. Niefioletowa część promieniowania słonecznego, a przede wszystkim *UV-A* i *UV-B*, jest najbardziej aktywna biologicznie, w tych przedziałach widma koncentruje się bowiem bakteriobójcze i hartujące oddziaływanie promieni nadfioletowych na organizm człowieka. Pobudza ono także czynności krwiotwórcze, zwiększa odporność organizmu na zakażenia, wywołuje zmiany czynnościowe układu nerwowego, pobudza gruczoły wydzielania wewnętrznego oraz działa odczulająco. Ponadto w naświetlanej nadfioletem skórze tworzy się substancja wywołująca pigmentację skóry oraz stymulująca wytwarzanie witaminy D_3 , przez co promieniowanie *UV* ma działanie przeciwnowotworowe. Zbyt duże dawki promieniowania *UV*, mogą natomiast powodować ujemne skutki w postaci oparzeń i gorączki, szybkiego starzenia się skóry, a także zaburzeń immunologicznych prowadzących między innymi do rozwoju nowotworów skóry i chorób oczu. W umiarkowanych szerokościach geograficznych działanie biologiczne nadfioletu *UV-A* występuje od 20° wysokości Słońca nad horyzontem, a *UV-B* od 30° . Na 52° szerokości geograficznej północnej, a więc szerokości geograficznej Warszawy, Słońce wznosi się ponad 30° nad horyzontem w okresie od 1 marca do 13 października (ryc. 7).



Ryc. 7. Wysokość Słońca (*hSI*) w Warszawie o godzinie 12:00 w kolejnych dniach roku
Annual course of Sun altitude (*hSI*) in Warsaw at noon hours

Procesy rozpraszania i pochłaniania promieniowania słonecznego podczas przechodzenia przez atmosferę ziemską powodują, że przy powierzchni Ziemi promieniowanie *UV* stanowi średnio około 1-2% promieniowania całkowitego. W przypadku znacznego zachmurzenia i dużego natężenia promieniowania rozproszonego ilość *UV* może dochodzić do 3-4% *Kglob* (Błażejczyk, Ożga 1999). Pomiary natężenia *UV* prowadzone w roku 2001 w centrum Warszawy i w Borowej Górze potwierdzają zacytowane wyżej wyniki badań. Poza miastem *UV* stanowiło od 3,4% w lutym do 4,0% we wrześniu promieniowania całkowitego. W centrum Warszawy ilość promieniowania nadfioletowego była nieco mniejsza niż poza miastem i wynosiła od 1,6% (w styczniu) do 3,9% (w lipcu i we wrześniu) *Kglob* (tab. 4).

Tabela 4. Udział promieniowania nadfioletowego w promieniowaniu całkowitym (%), Warszawa 2001 r.

Stacja	Miesiące												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Borowa Góra	3,80	3,36	3,56	3,82	3,65	3,88	3,75	3,65	4,02	3,83	3,81	3,86	3,79
Twarda	1,57	1,89	1,90	1,83	2,01	2,18	3,86	3,76	3,88	3,02	2,90	2,15	2,87

Maksymalne natężenia promieniowania nadfioletowego wahały się w sezonie pomiarowym 2001/2002 w obszarze pozamiejskim od około 5 $W m^{-2}$ w grudniu do 29 $W m^{-2}$ w maju i czerwcu. W centrum Warszawy wartości te wynosiły odpowiednio: 9 i 37 $W m^{-2}$ (tab. 5). Niewielka „nadwyżka” promieniowania *UV* w śródmieściu Warszawy, w porównaniu z obszarem pozamiejskim, obserwowana była w miesiącach zimowych.

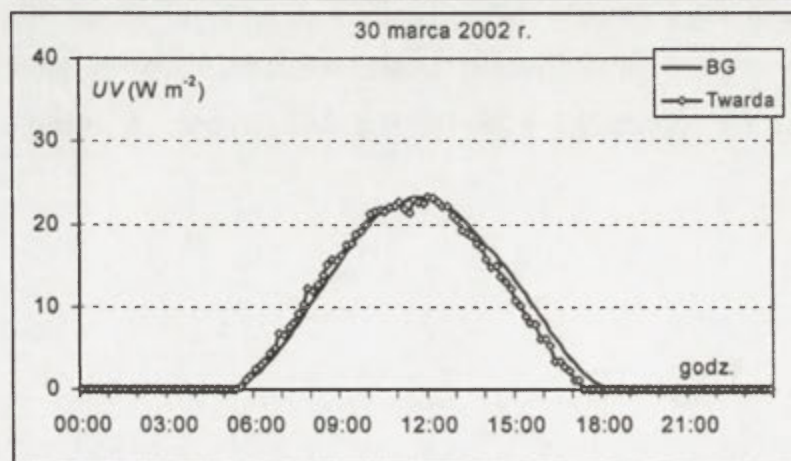
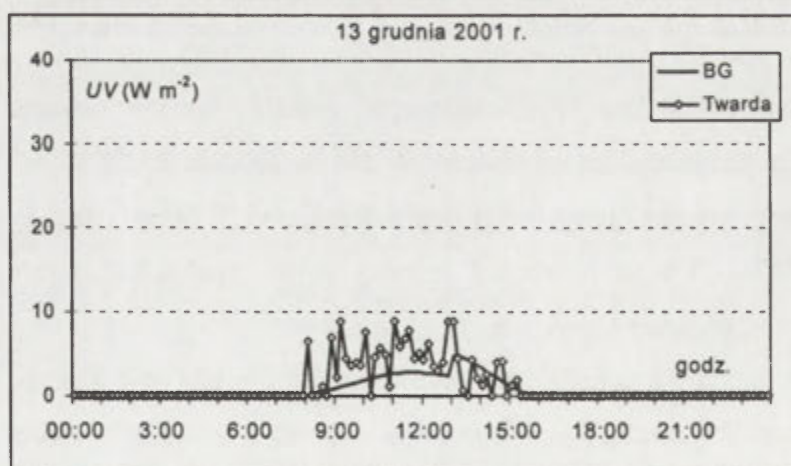
Cechą charakterystyczną promieniowania nadfioletowego w centrum miasta były znaczne wahania jego natężenia w ciągu dnia. W przeciągu jednej godziny wahania te dochodziły nawet do 10 $W m^{-2}$ (ryc. 8-9). Przyczyn tego zjawiska należy upatrywać w dużej zmienności zachmurzenia nad miastem oraz w okresowych fluktuacjach zanieczyszczenia atmosfery, które modyfikuje ilość promieniowania *UV* docierającego do powierzchni czynnej w mieście (Krawczyk 1968).



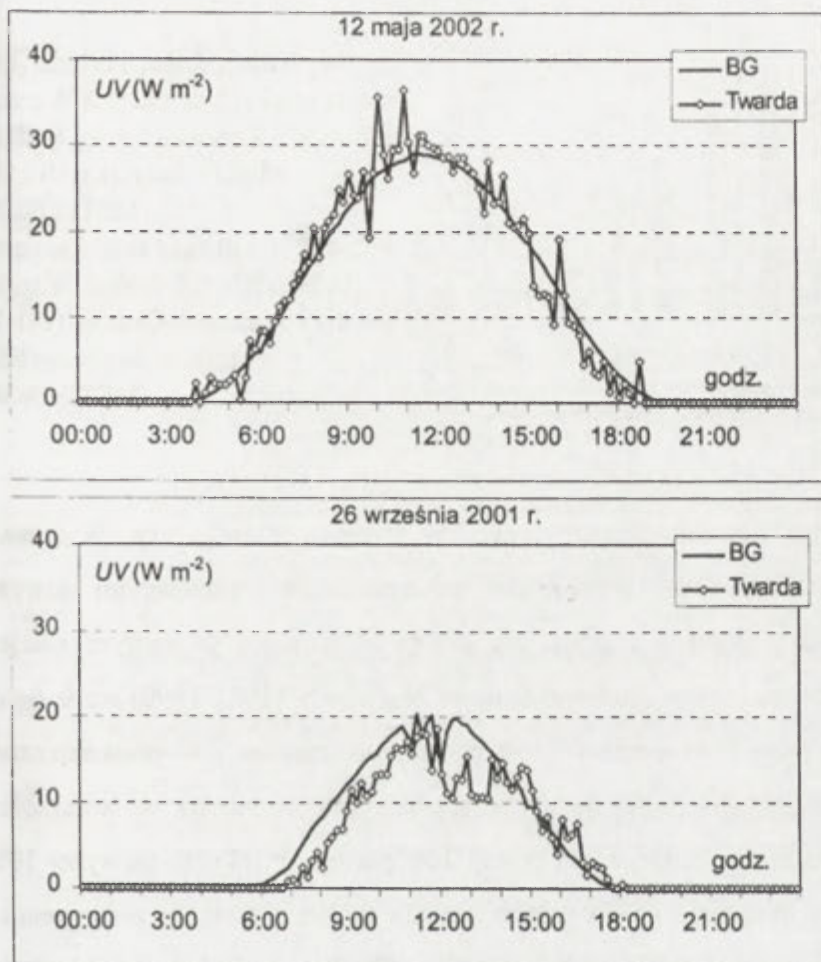
Tabela 5. Charakterystyki promieniowania nadfioletowego w Warszawie w wybranych dniach sezonu pomiarowego 2001/2002

Dzień	Charakterystyka UV	UV (W m ⁻²)	
		Borowa Góra	Twarda
13 grudnia 2001	Śr.	0,70	1,19
	Maks.	4,87	8,93
	SGP	3,45	3,97
30 marca 2002	Śr.	6,86	6,63
	Maks.	23,25	23,22
	SGP	20,81	20,17
12 maja 2002	Śr.	10,04	10,21
	Maks.	29,04	36,50
	SGP	26,55	26,72
26 września 2001	Śr.	5,30	4,36
	Maks.	20,35	18,49
	SGP	17,36	12,36

Śr. – średnia dobowa, Maks. – maksymalna, SGP – średnia dla godzin okołopołudniowych



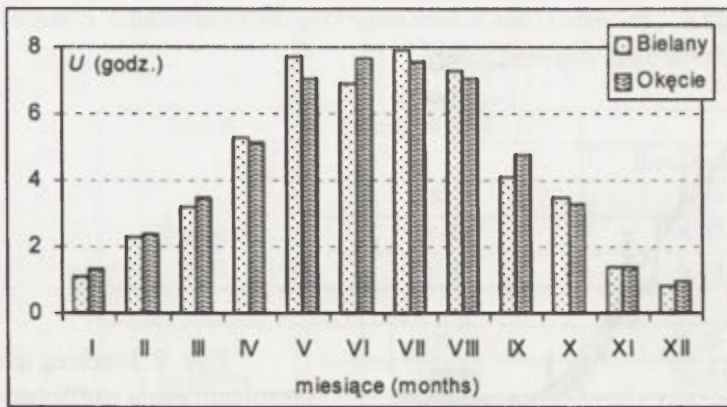
Ryc. 8. Przebieg dzienny promieniowania nadfioletowego (UV) w obszarze pozamiejskim (BG – Borowa Góra) oraz w centrum Warszawy, na wysokości dachów (Twarda), w wybranych dniach półrocza chłodnego Daily course of ultraviolet radiation (UV) in the rural area (BG) and in Warsaw downtown (Twarda) in selected days of cool half-year, 13 december 2001 (upper panel) and 30 March 2002 (lower panel)



Ryc. 9. Przebieg dzienny promieniowania nadfioletowego (UV) w obszarze pozamiejskim (BG – Borowa Góra) oraz w centrum Warszawy, na wysokości dachów (Twarda) w wybranych dniach półrocza ciepłego
Daily course of ultraviolet radiation (UV) in the rural area (BG) and in Warsaw downtown (Twarda) in selected days of warm half-year, 12 May 2002 (upper panel) and 26 September 2001 (lower panel)

2. Uśłonecznienie

Uśłonecznienie rzeczywiste, czyli liczba godzin, podczas których dopływa do podłoża atmosfery bezpośrednio promieniowanie słoneczne, jest mierzone w Warszawie od 1903 r. (Kozłowska-Szczęśna, Podogrocki 1995). Waha się ona średnio od około 1 godziny w grudniu i styczniu do ponad 7 godzin dziennie w okresie od maja do sierpnia (ryc. 10). Na wyraźną sezonowość tej charakterystyki klimatu wpływa przede wszystkim długość dnia oraz stopień zachmurzenia nieba. W przebiegu rocznym zauważa się w okresie letnim nieznaczne uprzywilejowanie, pod względem liczby godzin ze słońcem, północnej części Warszawy (stacja Warszawa-Bielany) w porównaniu z południowo-zachodnimi obrzeżami miasta (Warszawa-Okęcie).



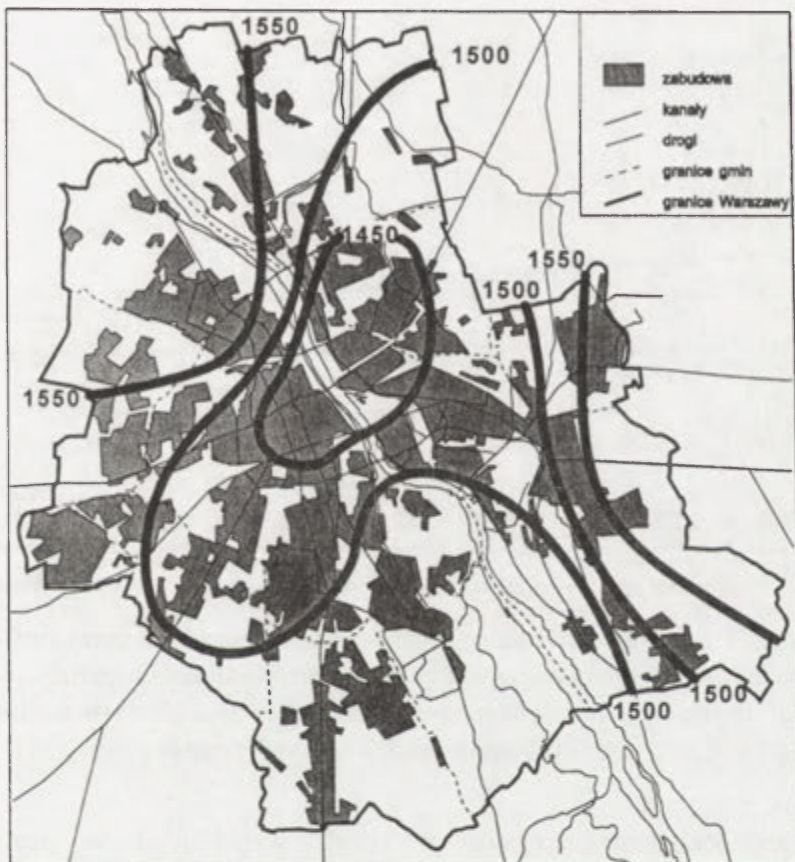
Ryc. 10. Średnie dzienne usłonecznienie rzeczywiste (U) na stacjach Warszawa-Bielany i Warszawa-Okęcie, 1981-1990 (źródło: bazy danych ESRA i METEONORM)
Mean daily values of sunshine duration (U , hours) at the stations Warszawa-Bielany i Warszawa-Okęcie, 1981-1990 (source: data bases ESRA, METEONORM)

Ogólnie biorąc, Nizina Środkowomazowiecka, w obrębie której leży Warszawa, charakteryzuje się stosunkowo wysokimi wartościami usłonecznienia wynoszącymi powyżej 1600 godzin średnio w roku (około 4,5 godz. na dobę). Natomiast w samym mieście usłonecznienie jest niższe. Średnie roczne usłonecznienie w Warszawie (1961-1990) waha się od 1590 godzin na peryferiach miasta do poniżej 1450 godzin w centrum i w prawobrzeżnej, północno-wschodniej jego części. Zmniejszenie sumy rocznej usłonecznienia w śródmieściu Warszawy wynosi w porównaniu np. z Belskiem ponad 160 godzin w roku tj. powyżej 10%. Największe, wynoszące 14%, skrócenie czasu usłonecznienia w Warszawie w zestawieniu z Belskiem obserwuje się w grudniu i styczniu, zaś najmniejsze (2-4%) w miesiącach od kwietnia do czerwca i we wrześniu (Kozłowska-Szczęsna, Podogrocki 1995). Także sumy skrajne usłonecznienia (maksymalne i minimalne) wskazują na obniżenie jego wartości w Warszawie (tab. 6).

Tabela 6. Największe i najmniejsze roczne sumy usłonecznienia w Warszawie i okolicach (Kozłowska-Szczęsna i Podogrocki 1995)

Stacja	Usłonecznienie (godz.)		Okres obserwacji
	maksymalne	minimalne	
Warszawa-Okęcie	1680	1285	1981-1990
Warszawa-Bielany	1819	1288	1957-1990
Warszawa-Śródmieście (Ministerstwo Komunikacji)	1702	1038	1951-1980
Swider	1729	1173	1959-1990
Międzylesie	1829	1386	1953-1974
Legionowo	1936	1150	1951-1990
Brwinów	1928	1268	1951-1990
Belsk	1926	1257	1961-1990

Rozkład przestrzenny średnich rocznych sum usłonecznienia przedstawiono na mapie (ryc. 11), wykonanej na podstawie danych z 5 stacji państwowej służby meteorologicznej zgromadzonych do 1990 r.

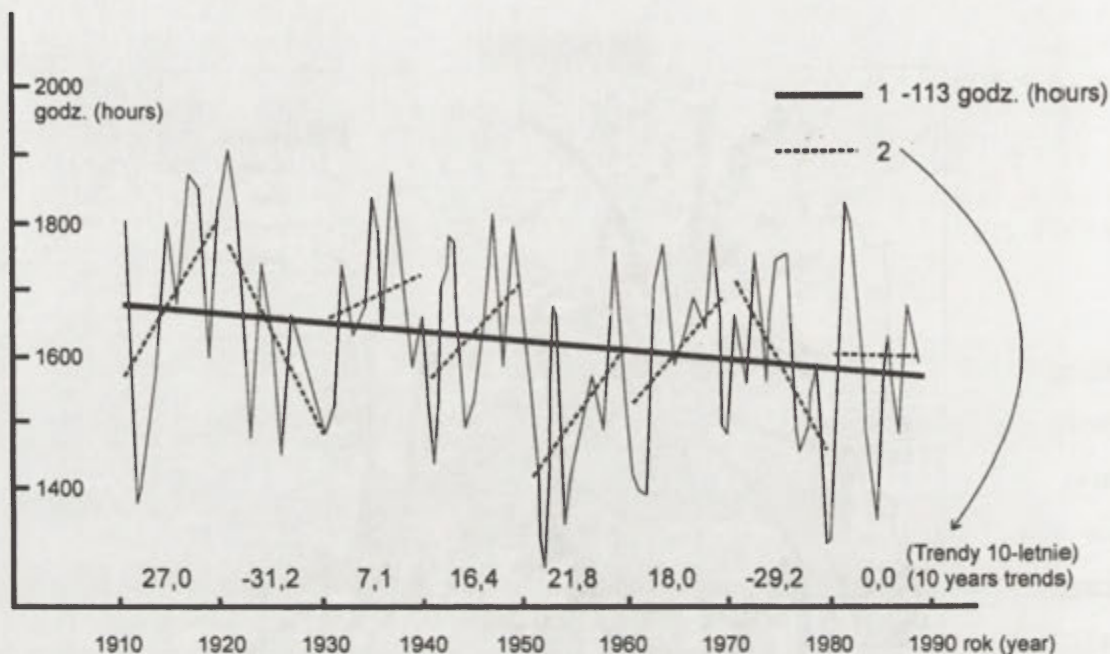


Ryc. 11. Średnie roczne sumy usłonecznienia (godz.) w Warszawie 1961-1990
(J. Podogrocki, w: Kozłowska-Szczęśna i in. 1996)
Mean yearly sums (hours) of sunshine duration in Warsaw, 1961-1990

Na podstawie długoletniej serii pomiarów (1903-1990) obliczono trend sum rocznych usłonecznienia dla Warszawy. Wykazuje on ogólny spadek liczby godzin ze słońcem wynoszący 78 minut na rok, choć w poszczególnych dziesięcioleciach trend ten miał niekiedy wartości dodatnie (ryc. 12).

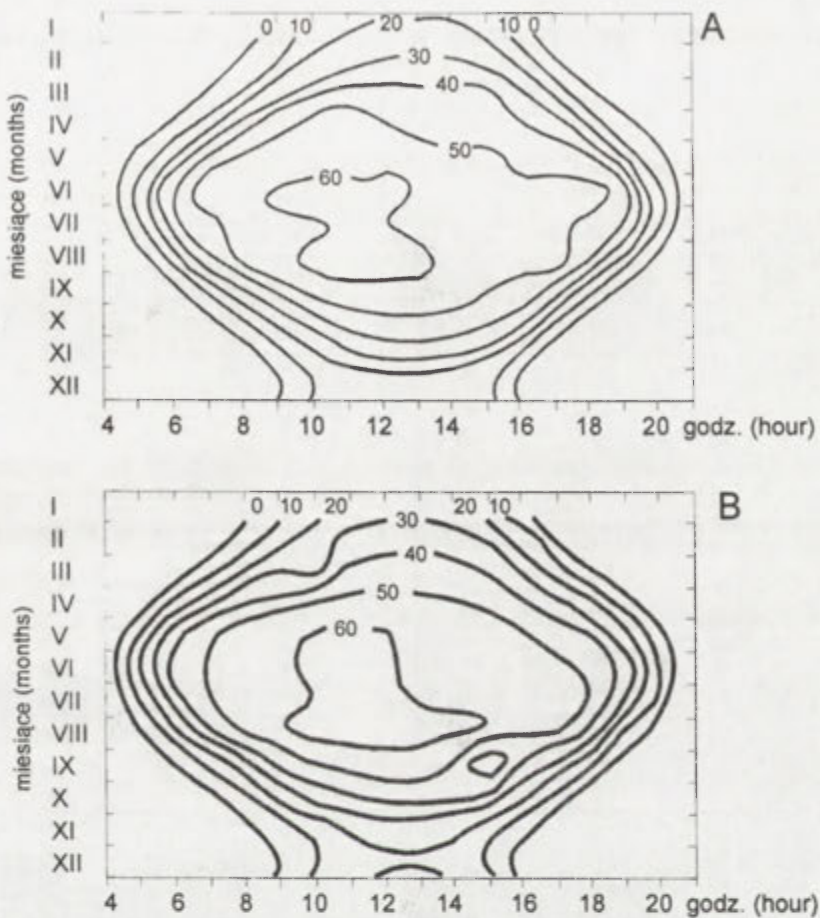
Trend obliczony dla innych stacji (za okres 1951-1990), mówi o znacznym zróżnicowaniu zmian usłonecznienia w okolicach Warszawy. Największy spadek usłonecznienia, o ponad 5 godzin rocznie, stwierdzono na prawym brzegu Wisły (Legionowo, Świder), co może być spowodowane osłabieniem radiacji przez zanieczyszczenia przenoszone z miasta przez przeważające wiatry z sektora zachodniego. Natomiast na obszarach położonych na południe od

Warszawy, np. w Belsku, trend usłonecznienia jest dodatni i wynosi 2 godziny rocznie (Kozłowska-Szczęśna, Błażejczyk 1996).



Ryc. 12. Trend usłonecznienia na stacji Warszawa-Bielany za okres 1903-1990 (Kozłowska-Szczęśna i Podogrocki 1995); 1 – trend stuletni, 2 – trendy 10-letnie
Trends of sunshine duration at Warszawa-Bielany meteorological station, 1903-1990;
1 – 100 years trend, 2 – 10 years trend

Analiza usłonecznienia względnego (czyli wyrażonego w procentach stosunku usłonecznienia rzeczywistego do usłonecznienia maksymalnie możliwego) pozwala na wyciąganie wniosków co do uprzywilejowania pod względem usłonecznienia jednych obszarów, a upośledzenia innych. I tak, w miejscach o największym zanieczyszczeniu powietrza usłonecznienie względne jest najniższe. W Warszawie na Bielanych wynosi ono 35,5% średnio w roku (Skierniewice 36,2%), w miesiącach letnich dochodzi do blisko 51% (Skierniewice 52,7%), a w zimowych – spada do poniżej 11% (Skierniewice 13,6%). Korzystne pod względem usłonecznienia względnego są obszary położone na północny-zachód i południowy-wschód od centrum miasta. Rozkład usłonecznienia względnego w kolejnych przedziałach godzinnych przedstawiają helioizoplety roczne opracowane dla Warszawy-Międzyzlesia (1951-1980) przez M. Kuczarskiego i dla Warszawy-Bielan (1961-1990) przez J. Podogrockiego (ryc. 13). Można stwierdzić, że usłonecznienie względne w przedziałach godzinnych wynosi maksymalnie 60-64% w miesiącach od czerwca do sierpnia. W miesiącach od maja do sierpnia w godzinach od 8 do 16, gdy w promieniowaniu słonecznym występuje najwięcej promieni nadfioletowych, usłonecznienie względne przekracza 50%.

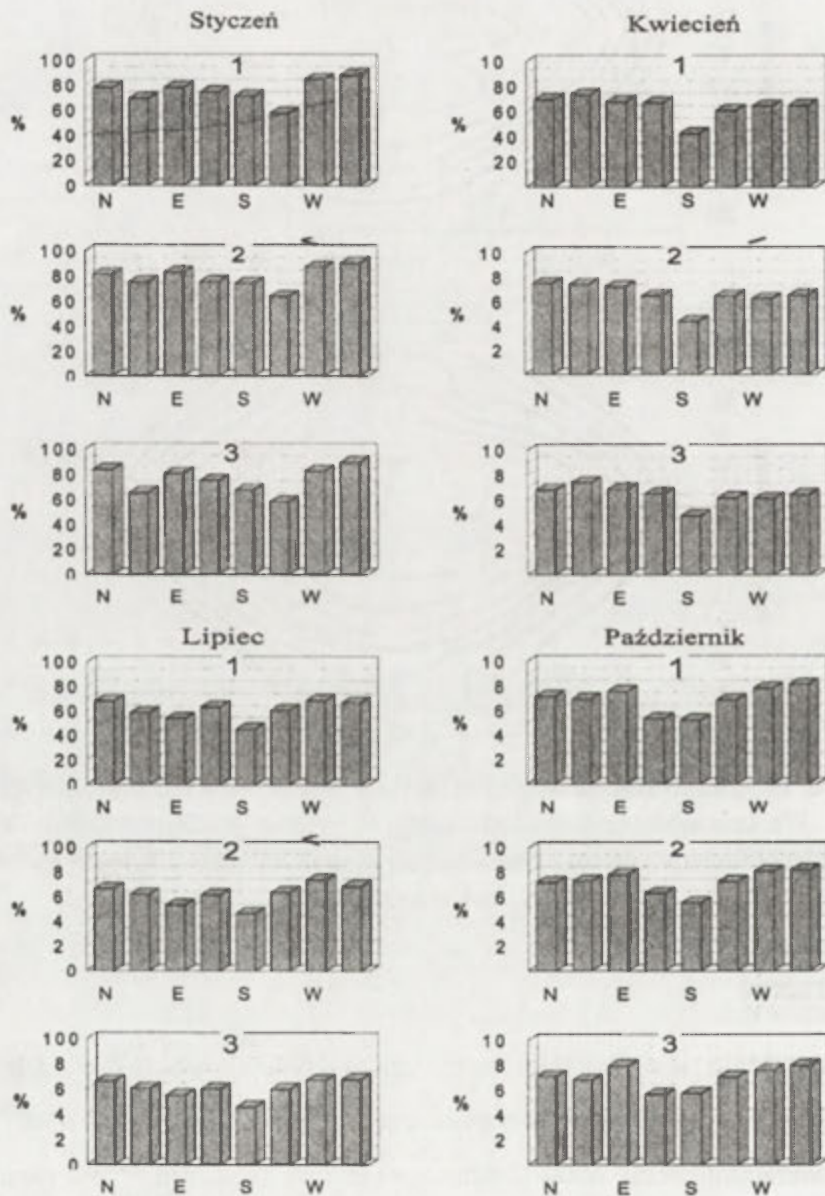


Ryc. 13. Usłonecznienie względne (w %) w przedziałach jednogodzinnych dla stacji Warszawa-Międzylesie, 1951-1980 (A) i Warszawa-Bielany, 1961-1990 (B)
 Helioisopleths of relative values of sunshine duration (%) for the stations Warszawa-Międzylesie, 1951-1980 (A) and Warszawa-Bielany, 1961-1990 (B)

3. Zachmurzenie

Zachmurzenie jest uzupełnieniem charakterystyki warunków solarnych. Od stopnia pokrycia nieba przez chmury zależy dopływ energii słonecznej w ciągu dnia i wypromieniowanie ciepła z powierzchni ziemi nocą. Zachmurzenie jest związane z rodzajem mas powietrza i kierunkiem, z którego napływają one nad obszar Polski. Przeanalizowano zachmurzenie obserwowane na stacjach: Warszawa-Bielany, Warszawa-Uniwersytet i Warszawa-Okęcie dla wybranych miesięcy: stycznia, kwietnia, lipca i października, w zależności od kierunku adwekcji mas powietrza. Ogólnie można stwierdzić, że największe pokrycie nieba chmurami występuje przy napływie powietrza z zachodu i północno-zachodu, a najmniejsze przy adwekcji powietrza z południa i południowo-wschodu. W przebiegu rocznym najmniejsze zachmurzenie występuje w kwietniu, czerwcu, wrześniu i w październiku, a największe – w miesiącach od

listopada do lutego (ryc. 14). Nie obserwuje się istotnych różnic zachmurzenia pomiędzy poszczególnymi stacjami i posterunkami meteorologicznymi znajdującymi się na terenie Warszawy.



Ryc. 14. Zachmurzenie (%) w zależności od kierunku napływu mas powietrza, 1971-1980
(wg J. Baranowski, w: Kozłowska-Szczęsna i in. 1996);

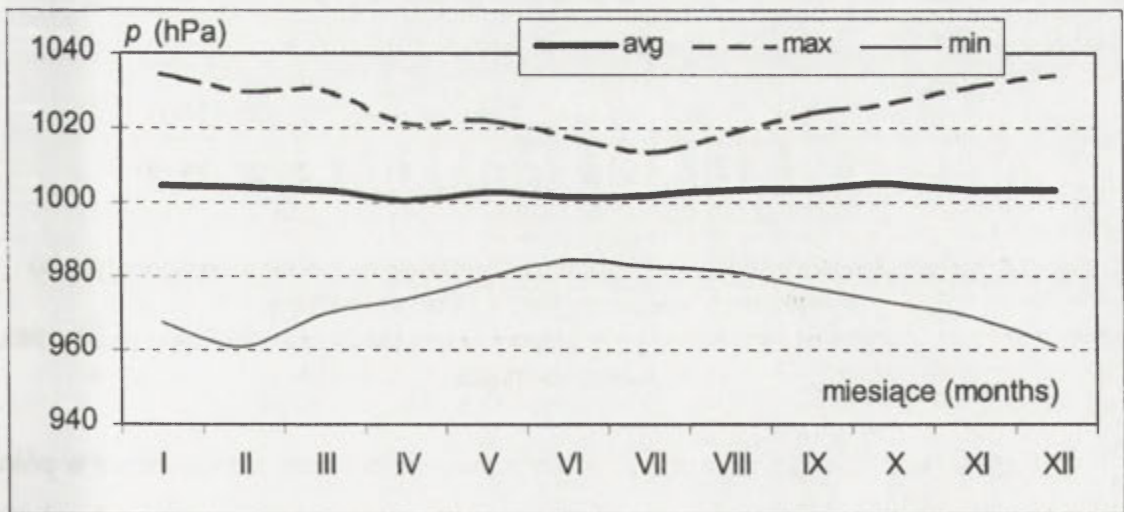
1- Warszawa-Bielany, 2 – Warszawa-Uniwersytet, 3 – Warszawa-Okęcie
Cloudiness (%) in relation to air advection, 1971-1980

Styczeń – January, Kwiecień – April, Lipiec – July, Październik – October

4. Ciśnienie atmosferyczne

Ważnym składnikiem warunków pogodowych i elementem klimatu jest ciśnienie atmosferyczne. Zarówno sama wartość ciśnienia, jak i jego zmiany z dnia na dzień, w istotny sposób wpływają na samopoczucie człowieka. Obserwuje się również zależności pomiędzy tymi charakterystykami pogody, a występowaniem niektórych zaburzeń zdrowia (Błażejczyk i in. 1998). Wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie rzeczywistym i jego zmiany w Warszawie analizowano na podstawie danych z lat 1966-1998 dla stacji Warszawa-Okęcie. Stosunkowo długi okres obserwacji pozwala na uchwycenie wszystkich anomalii ciśnienia występujących w trzech ostatnich dekadach XX wieku.

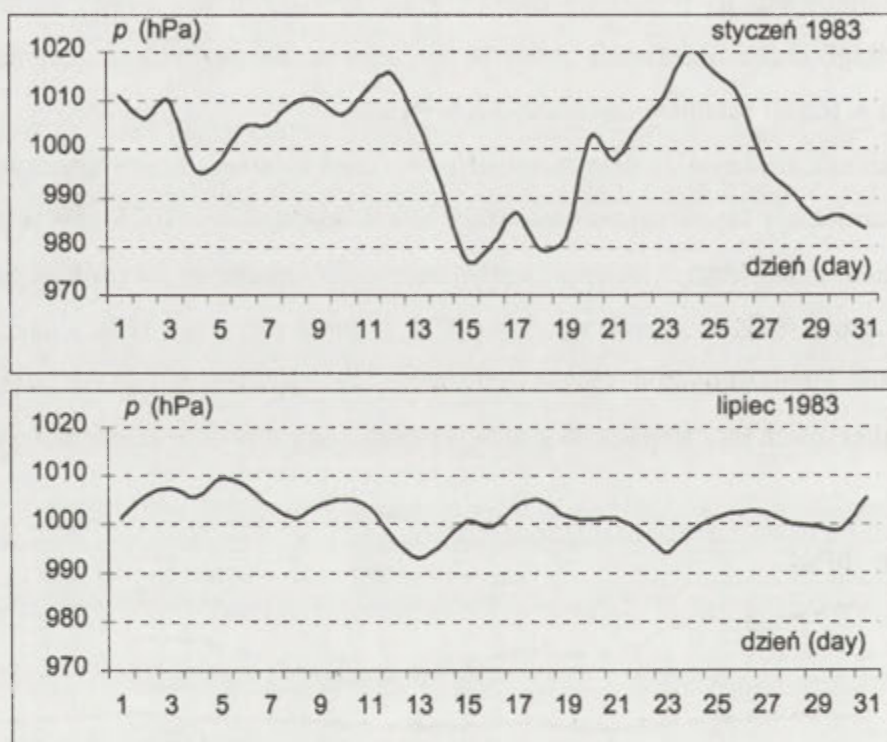
W przebiegu rocznym średnie miesięczne wartości ciśnienia atmosferycznego są bardzo wyrównane i zmieniają się w zakresie od 1001 hPa w kwietniu do 1005 hPa w październiku. Niemniej zakres zmienności ciśnienia jest znaczny. W badanym okresie jego najwyższa, zanotowana wartość średnia dobowa wyniosła 1034,7 hPa (3 stycznia 1993), a najniższa – 960,8 hPa (3 grudnia 1976). Ogólnie można stwierdzić, że największy zakres wahań ciśnienia występuje w miesiącach od listopada do marca, a najmniejszy – w okresie letnim (ryc. 15).



Ryc. 15. Przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego w Warszawie na poziomie rzeczywistym (p), 1966-1998; avg – wartość średnia miesięczna, max – najwyższa, zanotowana wartość p , min – najniższa, zanotowana wartość p

Annual course of mean station air pressure (p), 1966-1998; avg – mean monthly value, max – the highest recorded p value, min – the lowest recorded p value

Rycina 16 ilustruje zmienność ciśnienia w kolejnych dniach wybranych miesięcy: stycznia i lipca 1983. W styczniu 1983 ciśnienie atmosferyczne wahało się od 979 do 1020 hPa. W ciągu trzech dni, od 12 do 15 stycznia, wartość p spadła o ponad 38 hPa, aby po kilku dniach względnej stabilizacji wzrosnąć o ponad 40 hPa. Sytuacje takie pojawiają się w okresie chłodnym bardzo często. Natomiast w miesiącach letnich przypadki takie nie są notowane, a wahania ciśnienia są znacznie mniejsze niż zimą. Duże wahania ciśnienia występujące w krótkim czasie mają silne działanie bodźcowe na organizm człowieka (Kozłowska-Szczęśna i in. 1997).



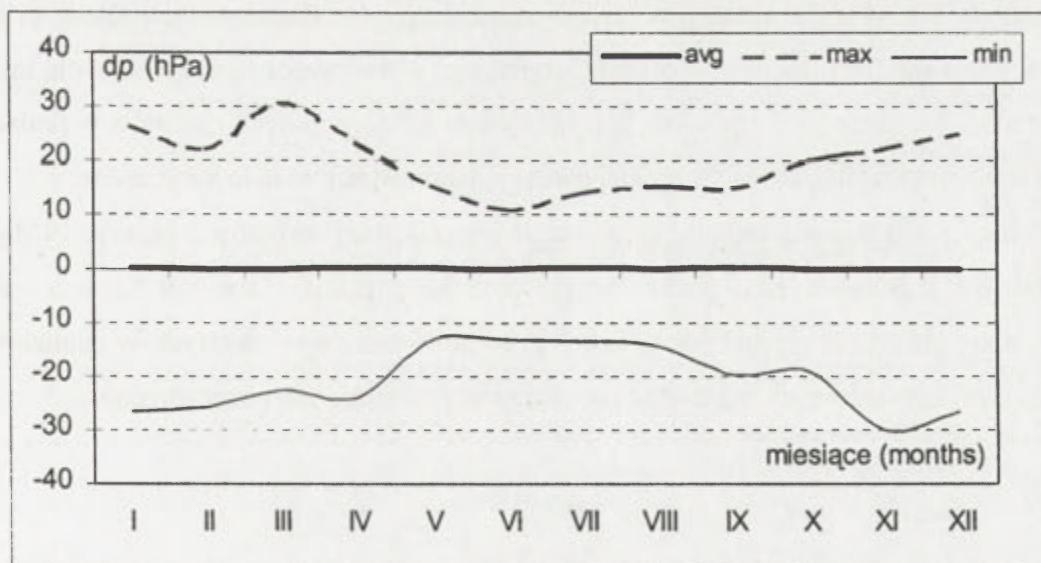
Ryc. 16. Średnie dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie rzeczywistym (p) w wybranych miesiącach 1983 r., Warszawa-Okęcie
 Mean daily values of station air pressure (p) in January (upper panel) and July (lower panel) 1983, Warszawa-Okęcie

O większej bodźcowości ciśnienia atmosferycznego w półroczu chłodnym niż w półroczu ciepłym świadczy także porównanie częstości występowania wartości p większych od 1015 i mniejszych od 985 hPa. Wartości ciśnienia od 985 do 1015 hPa uznano jako przeciętne, najslabiej oddziałujące na organizm człowieka (Baranowski i in. 1998, Błażejczyk i in. 1998) W okresie od października do marca stanowią one 15-25% wszystkich dni w miesiącu, natomiast w pozostałej części roku nie przekraczają 5%, a latem są sporadyczne (tab. 7). Z analizy tej charakterystyki ciśnienia widać także wyraźnie, że znacznie częściej pojawia się nad Warszawą ciśnienie o wartościach podwyższonych w stosunku do przeciętnych niż o wartościach obniżonych.

Tabela 7. Częstość (%) dni z wartością ciśnienia atmosferycznego wyższą od 1015 i niższą od 985 hPa, Warszawa 1966-1998

Ciśnienie (p):	Miesiące												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
>1015 hPa	19,8	18,3	12,2	2,2	2,3	0,3	0,0	0,2	3,3	13,4	12,4	16,2	8,4
< 985 hPa	5,6	4,7	3,8	2,1	0,7	0,1	0,2	0,3	0,5	2,1	3,1	7,4	2,6

Ciśnienie atmosferyczne jest zaliczane do mechanicznych bodźców biometeorologicznych. Natężenie tego bodźca ocenia się za pomocą jego międzydobowych zmian (dp). Przyjmuje się (Kozłowska-Szczęśna i in. 1997), że zmiany międzydobowe ciśnienia mniejsze od 4 hPa odczuwane są przez ludzi jako słabe, od 4,1 do 8 hPa – jako umiarkowane, od 8,1 do 16 hPa – jako silne, a powyżej 16 hPa – jako bardzo silne. Uśrednione dla całego badanego okresu wartości dp są zbliżone do zera. Niemniej wartości ekstremalne dp wahają się od +30 hPa w marcu do -30 hPa w listopadzie. W okresie letnim największe zanotowane zmiany międzydobowe ciśnienia atmosferycznego nie przekraczają ± 15 hPa (ryc. 17).



Ryc. 17. Przebieg roczny wartości międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego (dp) w kolejnych miesiącach; objaśnienia jak na ryc. 15
Annual course of day-to-day changes in air pressure (dp), explanations as on fig. 15

Analizując częstość występowania różnych, charakterystycznych wartości dp można stwierdzić, że stosunkowo wyrównana w przebiegu rocznym jest częstość bodźców umiarkowanych (20-31% dni w miesiącu). Wyraźnie zróżnicowana sezonowo jest natomiast częstość bodźców słabych, silnych i bardzo silnych. Sytuacje słabo bodźcowe stanowią od 40% dni w grudniu do 77% dni w lipcu. Częstość pojawiania się bodźców silnych zmienia się od 3%

w lipcu do 26% w grudniu. Bódźce bardzo silne nie występują od maja do sierpnia, zaś zimą notuje się je przez 3-5% dni w miesiącu (tab. 8).

Tabela 8. Częstość (%) bodźców atmosferycznych o różnym natężeniu, spowodowanych międzydobowymi zmianami ciśnienia atmosferycznego, Warszawa 1966-1998

Bodźce:	Miesiące												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
słabe	45,4	47,4	49,8	55,4	66,1	71,5	76,7	72,1	60,8	52,9	47,0	40,3	57,1
umiarkowane	28,5	28,3	29,1	29,6	26,5	24,4	20,5	23,9	28,9	29,8	31,4	29,3	27,5
silne	21,8	21,1	18,9	14,2	7,4	4,0	2,7	3,9	10,1	16,2	18,8	25,7	13,7
bardzo silne	4,2	3,1	2,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	2,8	4,7	1,6

5. Cyrkulacja atmosferyczna

Cyrkulacja atmosferyczna jest jednym z głównych czynników kształtujących warunki pogodowe i klimatyczne na danym obszarze. Do charakterystyki cyrkulacji atmosferycznej w Polsce używa się dwóch katalogów typów cyrkulacji: B. Osuchowskiej-Klein (1978) – obejmujący lata od 1901 do 1975 – oraz J. Lityńskiego (Pawłowska i in. 2000) – dla lat 1991-1999. Katalogi te różnią się w sposobie klasyfikowania poszczególnych rodzajów cyrkulacji, tak w odniesieniu do klasyfikowania kierunku adwekcji, jak i rodzaju układu barycznego.

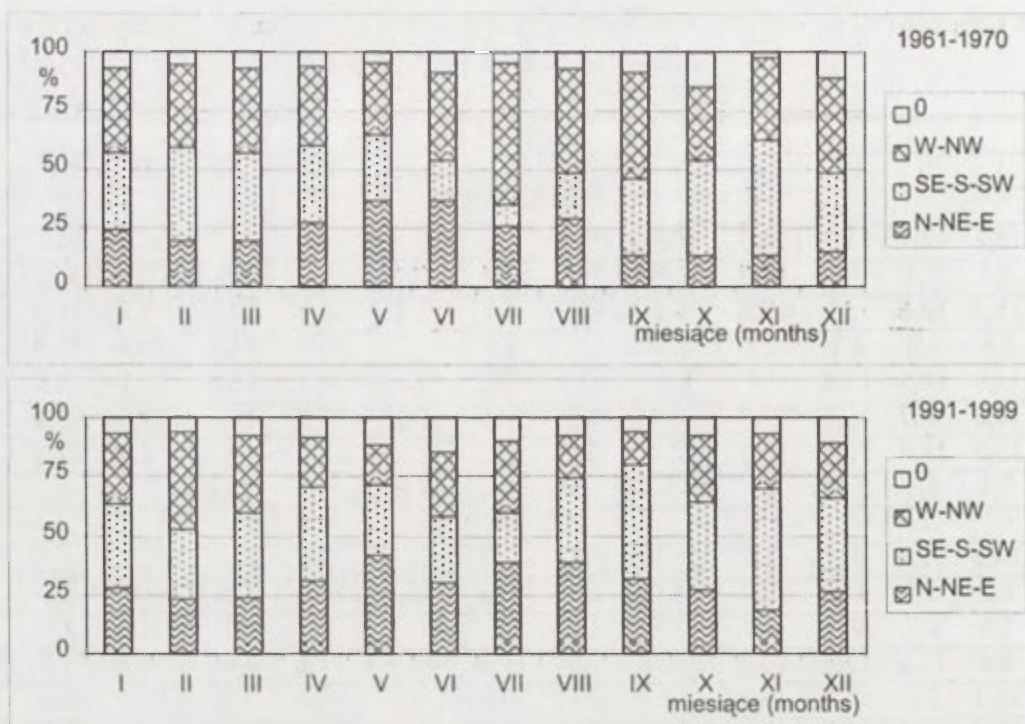
Ponieważ do badania klimatu aglomeracji warszawskiej wybrano 2 okresy: 1961-1970 i 1991-1999 dla każdego z nich posłużono się inną klasyfikacją. Tabela 9 zawiera częstości pojawiania się głównych kierunków adwekcji mas powietrza, wyróżnionych w analizowanych klasyfikacjach. Częstości tych nie można porównywać pomiędzy sobą bezpośrednio.

Tabela 9. Częstość (%) głównych kierunków napływu powietrza nad obszar aglomeracji warszawskiej, okresy: 1961-1970 i 1991-1999

Cyrku- lacja	Miesiące												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1961-1970													
NE	15,2	12,4	11,9	13,0	20,3	27,0	18,4	21,6	10,0	10,0	8,7	10,3	14,9
E	8,7	7,4	7,4	14,0	16,8	9,7	7,4	7,4	3,3	2,9	5,0	4,8	7,9
SE	15,2	18,8	13,2	18,3	11,6	8,3	4,2	8,1	14,3	13,2	17,3	11,9	12,9
S	6,8	6,0	4,8	5,3	8,1	2,0	1,3	5,2	3,7	11,3	15,3	10,0	6,6
SW	11,0	14,5	19,4	9,3	8,1	6,7	4,2	6,1	14,7	16,8	16,0	11,6	11,5
W	20,3	16,7	16,5	17,7	18,4	25,3	34,5	27,7	27,3	16,1	19,3	13,2	21,1
NW	15,5	18,4	20,0	16,3	12,3	12,7	25,2	17,1	18,0	14,5	16,0	27,4	17,8
0	7,4	5,7	6,8	6,0	4,5	8,3	4,8	6,8	8,7	15,2	2,3	10,6	7,3
1991-1999													
N	14,0	11,4	8,2	7,8	15,1	13,0	11,8	14,3	10,7	12,9	5,6	11,5	11,4
NE	8,2	3,5	6,5	13,7	15,1	9,3	15,1	12,9	10,0	7,9	4,8	6,1	9,4
E	5,4	8,7	9,3	9,3	11,8	8,1	11,8	11,5	10,7	6,1	8,5	8,6	9,2
SE	8,6	11,0	15,8	14,4	10,0	7,0	3,2	11,5	21,1	11,1	19,3	5,7	11,6
S	11,1	7,1	7,9	15,2	9,0	7,4	7,9	10,4	10,4	9,0	15,9	11,1	10,2
SW	16,1	11,0	12,2	10,4	10,0	13,0	9,7	13,6	17,0	17,6	15,6	22,9	14,1
W	13,3	20,5	12,2	6,7	5,0	10,7	15,4	7,5	4,8	10,4	10,4	11,5	10,7
NW	16,1	20,5	20,4	13,7	12,5	17,0	14,7	10,4	8,9	17,6	13,0	11,5	14,7
0	7,2	6,3	7,5	8,9	11,5	14,4	10,4	7,9	6,3	7,5	7,0	11,1	8,2

0 – nieokreślony kierunek adwekcji, źródła: B. Osuchowska-Klein (1978), Pawłowska i in. (2000)

Porównanie częstości adwekcji mas powietrza nad Warszawę w obydwóch badanych okresach staje się możliwe wtedy, gdy ograniczymy klasyfikacje do czterech grup cyrkulacji: 1) zachodniej i północno-zachodniej, 2) południowej, południowo-wschodniej i południowo-zachodniej, 3) północnej, północno-wschodniej i wschodniej oraz 4) nieokreślonej. W badanych okresach z podobną frekwencją notowano napływ powietrza z północy, północnego wschodu i wschodu. Jednocześnie zauważa się nieznaczne zwiększenie częstości pojawiania się tych typów cyrkulacji w miesiącach od maja do sierpnia. Z podobną częstością występowały w porównywanych okresach nieokreślone sytuacje cyrkulacyjne (ryc. 18).



Ryc. 18. Częstość cyrkulacji atmosferycznej z głównych kierunków nad Warszawą, wartości średnie miesięczne dla okresów: 1961-1970 i 1991-1999.

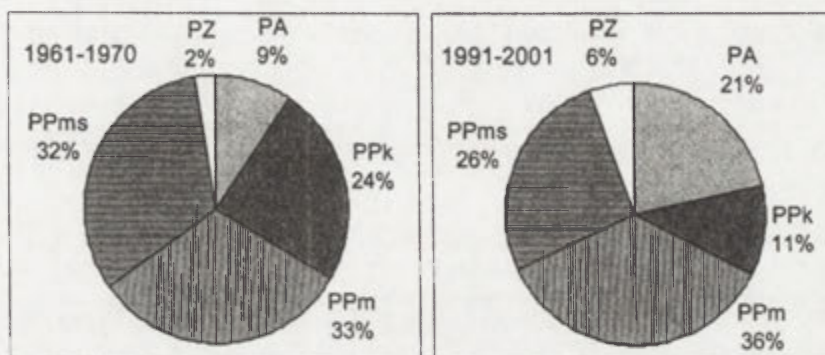
Frequency of main air circulation types, mean monthly values for the periods: 1961-1970 and 1991-1999

Znaczne różnice występują natomiast w przypadku częstości cyrkulacji zachodniej i północno-zachodniej. W okresie 1961-1970 stanowiła ona średnio w roku 39% dni, z kulminacją w lipcu (60%). W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku ten rodzaj cyrkulacji kształtował pogodę w Polsce jedynie przez 25% dni w roku, z maksimum w lutym (41%). Znacznie częściej niż w latach 1961-70 pojawiała się wtedy cyrkulacja południowo-zachodnia, południowa i południowo-wschodnia. Średnio w roku stanowiły one 36% dni, a najczęściej występowały jesienią (38-51%) oraz w grudniu (40%) (ryc. 18).

6. Masy powietrza

Zmiany, jakie nastąpiły w drugiej połowie XX wieku w odniesieniu do cyrkulacji atmosferycznej, wpłynęły także na zmiany rodzaju mas powietrza docierających i zalegających nad Niziną Mazowiecką. Nie dotyczą one częstości zalegania mas powietrza polarno-morskiego i polarno-morskiego starego. Łącznie występowały one przez 65% dni w latach 1961-1970 i 62% dni w okresie 1991-2001, przy czym pod koniec XX w. wzrosła nieco – w porównaniu z latami 60. – częstość pojawiania się mas PPM, a zmalała (z 1/3 do 1/4) częstość mas PPms. Kilkuprocentowy wzrost częstości – z 2 do 6% – zaobserwowano także w przypadku mas

powietrza zwrotnikowego. Największe zmiany nastąpiły natomiast w odniesieniu do częstości występowania mas powietrza polarno-kontynentalnego i arktycznego. W dziesięcioleciu 1961-1970 masy PPK zalegały nad środkową Polską przez około 1/4 dni w roku, a w ostatniej dekadzie ubiegłego wieku stanowiły jedynie 11% dni. Odwrotny trend wystąpił w przypadku mas PA, których częstość wzrosła z 9 do 21% (ryc. 19).



Ryc. 19. Częstość występowania nad Warszawą różnych mas powietrza w okresach: 1961-1970 i 1991-2001

Frequency of various air masses over the Warsaw in the periods: 1961-1970 and 1991-1999; PA – arctic, PPK – polar continental, PPM – polar maritime, PPms – transformed polar maritime, PZ – tropical

Bardzo wyraźne zmiany częstości różnych mas powietrza nastąpiły w poszczególnych miesiącach. W ostatniej dekadzie XX wieku prawie we wszystkich miesiącach (poza marcem) dominowały masy PPM stanowiąc od 31% dni w kwietniu do 44% dni w lutym. Jedynie w marcu i kwietniu bardzo wyraźnie zaznacza się zwiększony udział powietrza arktycznego. W dziesięcioleciu 1961-1970 obserwowano natomiast wyraźne sezonowe zmiany rodzajów mas powietrza: zimą dominowały masy PPK (32-39%), w marcu i kwietniu – PPM, a latem i jesienią masy PPms (34-41%) (tab. 10).

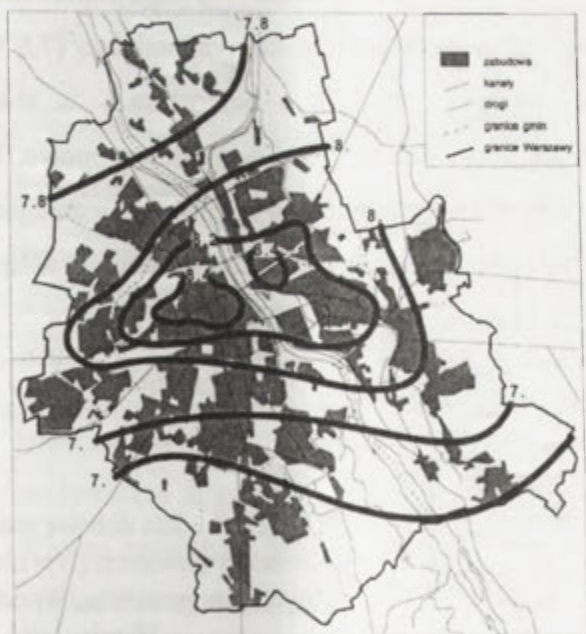
Tabela 10. Częstość występowania (%) różnych mas powietrza nad Warszawą w poszczególnych miesiącach w okresie 1961-1970 i 1991-2001

Masa	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VI	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970												
PA	9,9	13,1	12,3	19,7	15,5	5,3	0,6	4,2	8,6	11,3	7,3	6,1
PPk	39,0	32,3	31,6	20,7	14,5	28,6	14,5	20,6	22,2	17,4	17,0	32,9
PPm	20,3	28,0	35,2	28,0	28,4	31,9	44,2	35,8	31,5	33,9	33,0	28,4
PPms	31,0	24,5	20,0	25,7	37,4	33,6	37,1	36,4	35,4	33,6	40,7	31,9
PZ	0,3	2,1	1,0	6,0	4,2	0,7	3,6	2,9	2,3	3,9	2,0	0,6
1991-2001												
PA	19,1	25,4	35,2	29,7	27,6	11,5	5,6	7,3	23,0	24,9	22,4	23,8
PPk	17,0	5,5	14,4	10,3	10,8	6,1	11,1	14,7	11,8	7,0	13,0	13,5
PPm	33,4	44,4	29,3	30,6	34,9	36,7	38,1	33,1	32,8	38,7	35,4	38,7
PPms	29,9	23,8	19,9	20,9	19,9	30,9	35,8	33,7	28,8	21,7	25,8	23,8
PZ	0,6	1,0	1,2	8,5	6,7	14,8	9,4	11,1	3,6	7,6	3,3	0,3

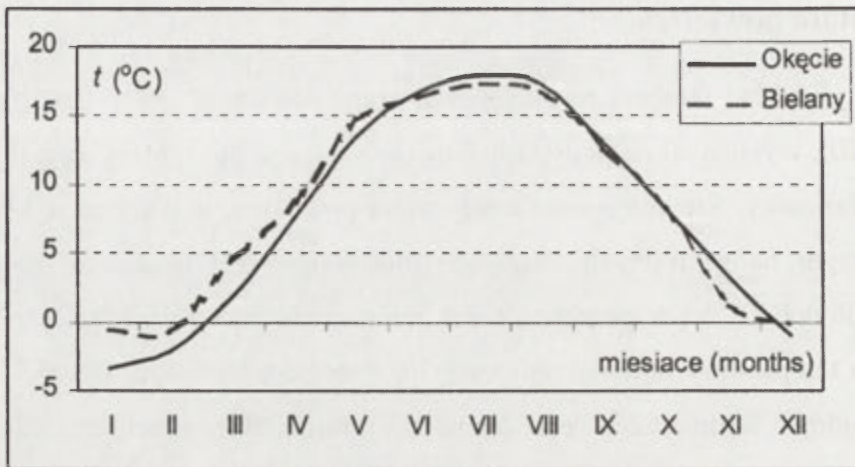
7. Temperatura powietrza

Rozkład średniej rocznej temperatury powietrza (1961-1980) przedstawiono na mapie (ryc. 20), wykonanej na podstawie danych z 6 stacji meteorologicznych zlokalizowanych na terenie Warszawy. Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie kształtuje się około 8°C, przy czym na centralnych obszarach miasta jest ona około 1,0 deg wyższa niż na peryferiach. Podobnie jest w poszczególnych miesiącach. Nieco większe różnice zaznaczają się w przypadku temperatury minimalnej i osiągają w półroczu ciepłym średnio około 1,5 deg. W półroczu chłodnym średnie odchylenie temperatury minimalnej w centrum miasta w stosunku to terenu otwartego wynosi około 1 deg (Kozłowska-Szczęśna, Błażejczyk 1996).

Dane z lat 1981-1990 wskazują na pewne zmiany – w stosunku do dwudziestolecia 1961-1980 – rozkładu temperatury powietrza (t) w Warszawie. Średnie miesięczne wartości t są w pierwszej połowie roku znacznie wyższe na Bielanach niż na Okęciu. W miesiącach letnich zaznacza się niewielkie uprzywilejowanie termiczne Okęcia w stosunku do Bielan, natomiast jesienią wartości temperatury są na obydwu stacjach zbliżone do siebie (ryc. 21).

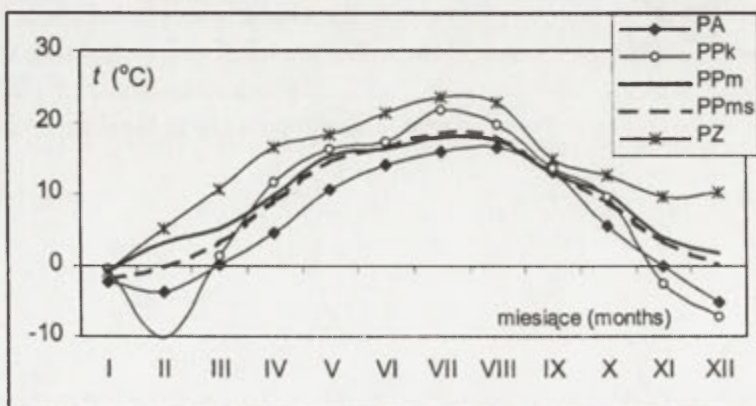


Ryc. 20. Rozkład średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie, 1961-1980 (B. Krawczyk, w: Kozłowska-Szczęśna i in. 1996)
Mean yearly air temperature in Warsaw, 1961-1980



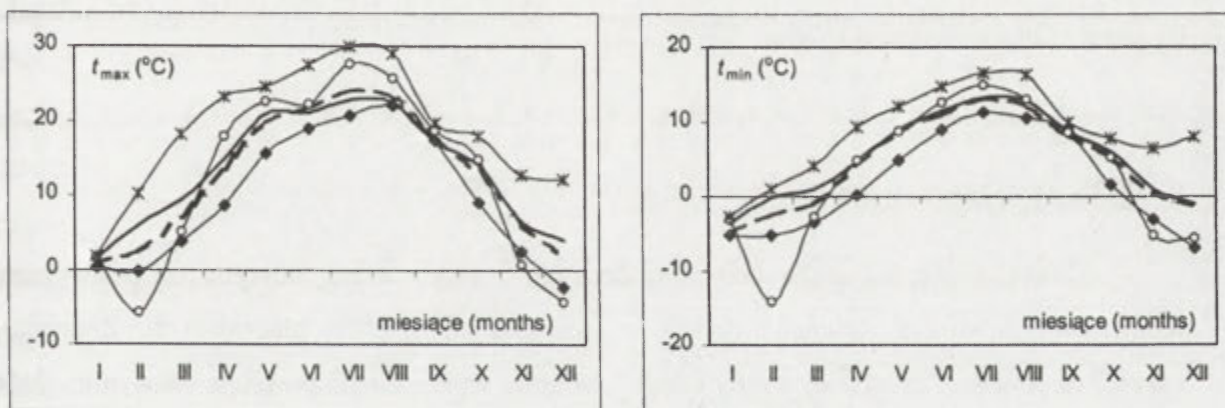
Ryc. 21. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza (t) na Okęcie i na Bielanych, 1981-1990
Mean monthly values of air temperature (t) at Okęcie and Bielany, 1981-1990

Wartości temperatury powietrza wyraźnie zależą od masy powietrza zalegającego nad danym obszarem (Niedźwiedź i in. 1994-1995). Analizę tego zróżnicowania w aglomeracji warszawskiej dokonano dla okresu 1994-2001 dla stacji Warszawa-Okęcie. W skali roku najniższa średnia dobowa temperatura powietrza panowała podczas występowania masy powietrza arktycznego ($5,7^{\circ}\text{C}$), następnie w masie powietrza polarno-kontynentalnego ($7,6^{\circ}\text{C}$), polarno-morskiego starego ($8,6^{\circ}\text{C}$) i polarno-morskiego ($9,4^{\circ}\text{C}$), a najwyższa – w masie powietrza zwrotnikowego ($13,7^{\circ}\text{C}$). Obserwuje się także pewne zróżnicowanie sezonowe. Od listopada do lutego (poza styczniem) najniższa temperatura powietrza występuje przy zaleganiu masy PPK. We wszystkich miesiącach najcieplejsze jest powietrze zwrotnikowe, niemniej w lipcu i sierpniu tylko niewiele niższa temperatura powietrza panuje w masie PPK (ryc. 22).



Ryc. 22. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza (t) w obrębie różnych mas powietrza, Warszawa-Okęcie, 1994-2001
Mean daily values of air temperature (t) at various air masses, Warszawa-Okęcie, 1994-2001; PA – arctic, PPK – polar continental, PPM – polar maritime, PPms – transformed polar maritime, PZ – tropica

Podobne relacje obserwuje się także w przypadku temperatury maksymalnej (t_{\max}) i temperatury minimalnej (t_{\min}) powietrza. Średnie roczne wartości t_{\max} i t_{\min} są najniższe w odniesieniu do masy powietrza arktycznego (odpowiednio, 9,7 i 1,8°C), a najwyższe – powietrza zwrotnikowego (18,9 i 8,6°C). Podobnie jak w przypadku temperatury średniej dobowej zauważa się, że wartości t_{\max} i t_{\min} w obrębie masy powietrza polarno-kontynentalnego wykazują wyraźną sezonowość. Zimą, a zwłaszcza w lutym, masa PPK charakteryzuje się najniższymi wartościami temperatury maksymalnej i minimalnej. Latem, wartości t_{\max} , a szczególnie t_{\min} , są w tej masie powietrza tylko niewiele niższe niż w masie powietrza zwrotnikowego (ryc. 23).



Ryc. 23. Średnie wartości maksymalnej (t_{\max}) i minimalnej (t_{\min}) temperatury powietrza w obrębie różnych mas powietrza, Warszawa-Okęcie 1994-2001; objaśnienia jak na ryc. 23

Mean values of maximal (t_{\max}) and minimal (t_{\min}) air temperature in various air masses, Warszawa-Okęcie 1994-2001; explanations as on Fig. 23

Wartości temperatury powietrza (średniej dobowej, maksymalnej i minimalnej) zależą nie tylko od masy powietrza ale także od kierunku jej adwekcji. Zimą najcieplejsze jest powietrze napływające z kierunków NW i SW, a najzimniejsze powietrze docierające z kierunku SE. Wiosną najwyższa średnia dobowa i maksymalna temperatura panuje przy adwekcji powietrza z południowego zachodu; w przypadku temperatury minimalnej najwyższe jej wartości występują przy napływie powietrza z południa. W tym samym okresie najzimniejsze powietrze napływa z północy lub północnego wschodu. Latem najwyższa temperatura występuje przy adwekcji powietrza z południowego wschodu, a najniższa – z północnego zachodu. Jesienią uprzywilejowane termicznie są masy powietrza napływające z południowego zachodu lub zachodu, a najchłodniejsze – przy adwekcji z kierunku NE (tab. 11).

Tabela 11. Średnie wartości temperatury powietrza (średniej dobowej – t , maksymalnej – t_{\max} i minimalnej – t_{\min}) w poszczególnych okresach roku przy różnych kierunkach adwekcji powietrza (Adw), Warszawa-Okęcie 1994-1999

Adw	t					t_{\max}					t_{\min}				
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
N	-1,0	5,6	16,4	6,4	6,8	1,4	9,8	21,2	9,9	10,6	-3,9	1,2	11,7	2,7	2,9
NE	-3,1	5,5	17,2	5,5	6,3	-0,9	9,4	21,9	8,8	9,8	-5,9	1,8	12,3	2,1	2,6
E	-4,0	7,4	18,5	6,0	7,0	-1,8	12,3	23,9	9,1	10,9	-6,6	2,3	13,0	2,8	2,9
SE	-5,2	8,6	20,9	6,1	7,6	-2,3	13,2	26,9	10,0	12,0	-8,0	3,9	13,9	2,3	3,0
S	-3,0	10,2	19,3	7,6	8,5	-0,3	15,5	24,7	11,6	12,9	-5,8	4,4	13,6	3,9	4,0
SW	1,5	10,5	19,4	9,3	10,2	4,5	15,8	25,4	13,6	14,8	-2,0	4,1	12,8	5,1	5,0
W	0,2	8,6	18,0	9,4	9,1	3,0	13,5	23,6	13,0	13,3	-2,7	2,8	12,1	5,7	4,5
NW	1,6	7,7	16,2	8,8	8,6	4,2	12,2	20,9	12,2	12,4	-1,4	3,2	11,5	5,5	4,7
0	-3,0	7,0	19,0	7,4	7,6	-0,2	11,8	24,6	10,7	11,7	-6,3	1,9	12,9	4,1	3,1

0 – nieokreślony kierunek adwekcji

8. Miejska wyspa ciepła

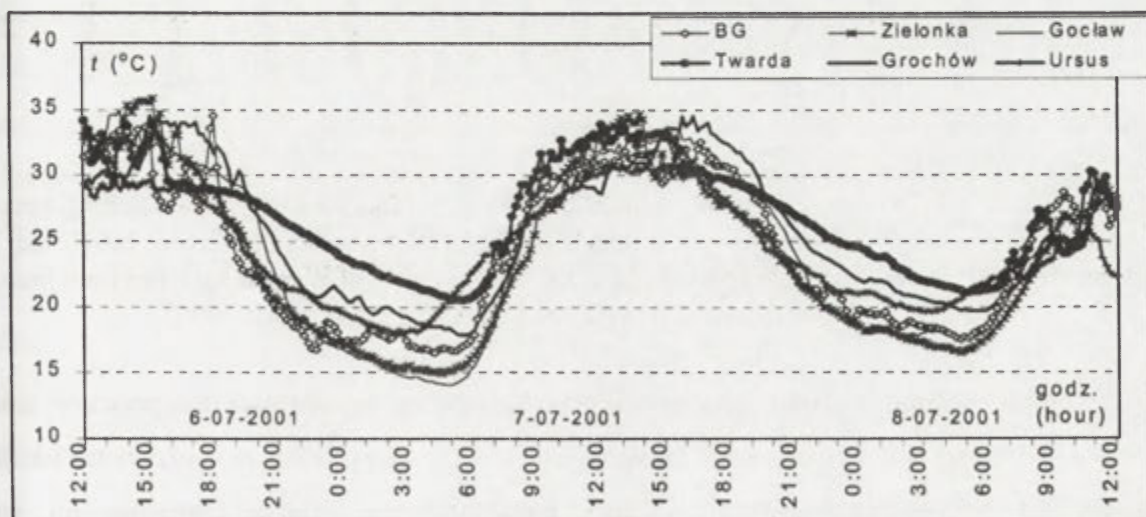
Charakterystyczną cechą dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych jest podwyższenie temperatury powietrza wewnątrz miasta w stosunku do terenów otaczających. Zjawisko to określa się mianem „miejskiej wyspy ciepła”. Miejska wyspa ciepła powstaje w wyniku dużego pochłaniania promieniowania słonecznego przez powierzchnię czynną miasta (na która składają się nawierzchnie ulic i placów, różnie eksponowane i nachylone ściany budynków oraz niezbyt rozległe zieleńce i parki) i dużej emisji ciepła ze sztucznych źródeł (wytwarzanego w procesach przemysłowych i komunalnych) oraz niewielkich jego strat na parowanie. W warunkach pozamiejskich dominują powierzchnie pokryte roślinnością i otrzymywana energia jest zużywana w znacznym stopniu na parowanie i transpirację. Oddziaływanie miejskiej wyspy ciepła uwidoczni się w złagodzeniu warunków termicznych zimą, wiosną i jesienią, natomiast latem może ona spowodować warunki termiczne uciążliwe dla człowieka (wzrost liczby dni gorących i upalnych).

Porównując absolutne wartości ekstremalnych temperatur powietrza można stwierdzić, że na stacji reprezentującej centrum Warszawy (Obserwatorium) zarówno najwyższe maksima, jak i najniższe minima są o około 1 deg wyższe w porównaniu z otoczeniem (tab. 12). Konsekwencją takiego rozkładu temperatur skrajnych powietrza są mniejsze amplitudy, a także mniejsza liczba dni mroźnych w roku w centrum miasta w zestawieniu z terenami otaczającymi.

Tabela 12. Absolutne maksima i minima temperatury powietrza w Warszawie i na sąsiednich stacjach 1951-1980 (wg Limanówki i in., 1993)

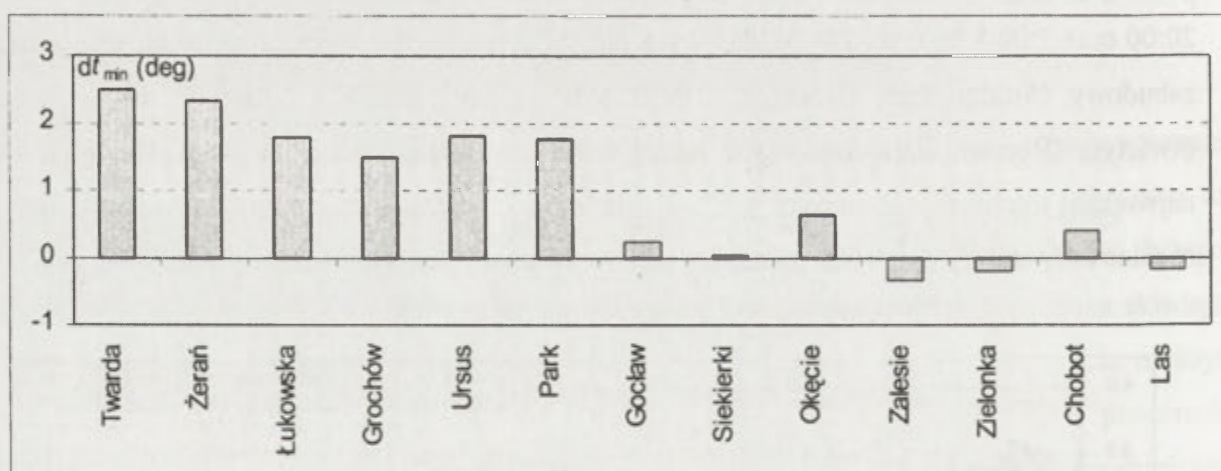
Stacja	Temperatura powietrza				Amplituda temperatury (deg)
	maksymalna (°C)	data wystąpienia	minimalna (°C)	data wystąpienia	
Warszawa-Observatorium	36,1	25.07.1963	-27,6	31.01.1956	63,7
Warszawa-Okęcie	35,3	25.07.1963	-28,8	19.01.1963	64,1
Brwinów	36,1	25.07.1963	-30,5	19.01.1963	66,6
Skierniewice	35,7	15.08.1952	-35,5	19.01.1963	71,2

Ilustracją ocieplającego wpływu miasta są wyniki pomiarów temperatury prowadzonych w 14 punktach aglomeracji warszawskiej. Rejestracje temperatury powietrza wykonywane od czerwca 2001 do maja 2002 r. potwierdzają istnienie miejskiej wyspy ciepła nad Warszawą. Tworzy się ona 2-3 godziny przed zachodem Słońca, a zanika następnego dnia, około 3-4 godziny po jego wschodzie. Na podanym przykładzie, z lipca 2001 r., były to godziny 19:00-20:00 oraz 7:00-8:00 (ryc. 24). Widać wyraźnie, że nocne spadki temperatury w obrębie zwartej zabudowy (Śródmieście, Grochów, Ursus) były znacznie mniej intensywne niż w terenie otwartym (Borowa Góra) lub wśród luźnej zabudowy podmiejskiej (Zielonka, Gołław). Swą największą intensywność miejska wyspa ciepła osiągała w czasie zbliżonym do wschodu Słońca; różnice temperatury powietrza pomiędzy porównywanymi punktami osiągały wtedy 5-7 deg.



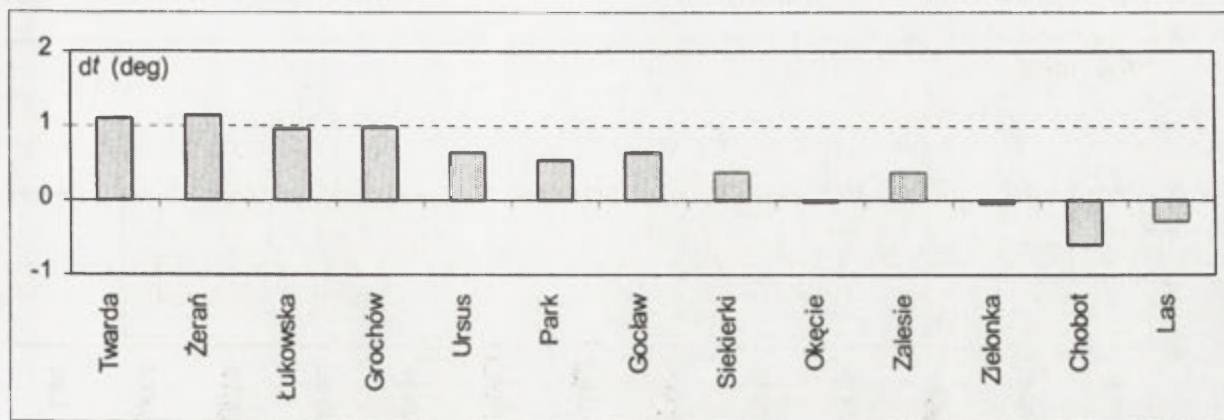
Ryc. 24. Przebieg dzienny temperatury powietrza zarejestrowanej na wybranych stanowiskach pomiarowych reprezentujących teren otwarty (BG), luźną, niską zabudowę podmiejską (Zielonka, Gołław) oraz zwartą zabudowę miejską (Twarda, Grochów, Ursus), 6-8 lipca 2001 r. Daily courses of air temperature registered at selected meteorological posts represented rural area (BG), suburban residential areas (Zielonka, Gołław) and dense urban districts (Twarda, Grochów, Ursus), 6-8 July 2001

Zestawiając wartości temperatury minimalnej powietrza z całego okresu badań można stwierdzić, że w cieplej porze roku jej różnice (dt_{\min}) pomiędzy terenem otwartym (Borowa Góra), a stanowiskami reprezentującymi zwartą zabudowę miejską dochodzą średnio do 1,5-3 deg. W miesiącach zimowych intensywność miejskiej wyspy ciepła nieco słabnie, choć i wtedy minimalna temperatura powietrza w centrum Warszawy jest wyższa niż na obrzeżach miasta o 1-1,5 deg. Ocieplający wpływ zabudowy miejskiej był najwyraźniej obserwowany w Śródmieściu, w centrum Grochowa i na wielkoblokowym osiedlu (Łukowska) oraz na Żeraniu i w Ursusie, ale także w Ogrodzie Botanicznym (Park). Ocieplający wpływ miasta nie był natomiast obserwowany w osiedlu o charakterze wiejskim (Siekierki) oraz w osiedlach o niskiej, luźnej zabudowie jednorodzinnej (Goćław, Zielonka, Zalesie i Chobot) oraz na Okęciu i wewnątrz lasu w Międzyzlesiu (ryc. 25).



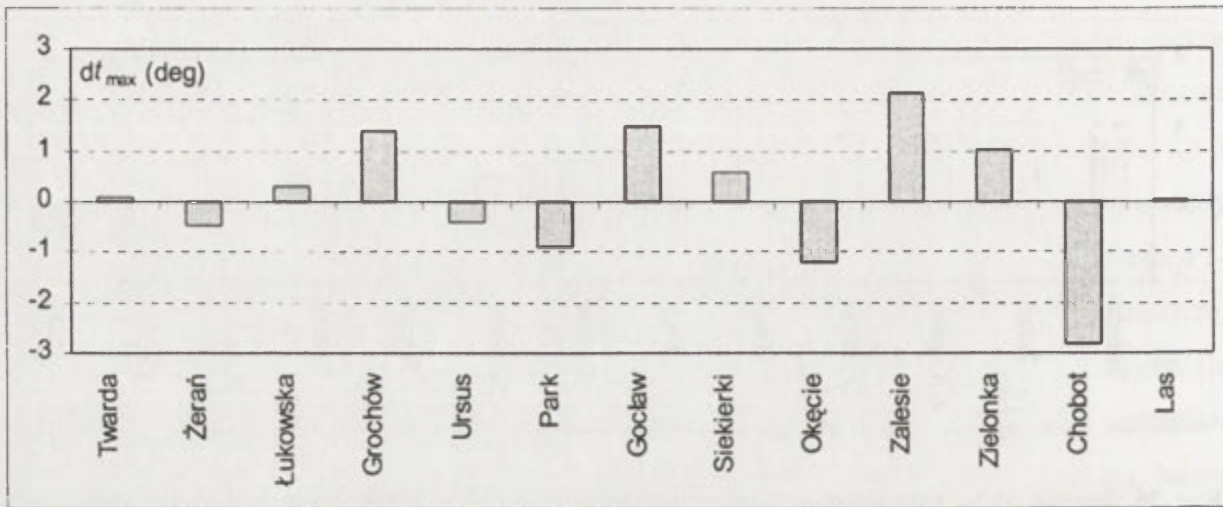
Ryc. 25. Średnie odchylenia temperatury minimalnej powietrza (dt_{\min}) w różnych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości obserwowanych w terenie otwartym (Borowa Góra), czerwiec 2001 – maj 2002
 Mean deviation of minimal air temperature (dt_{\min}) at various points of Warsaw agglomeration from its value observed in rural area (Borowa Góra), June 2001 – May 2002

Występowanie miejskiej wyspy ciepła ilustrują także wartości temperatury średniej dobowej (liczonej z wartości 10-cio minutowych). W tym przypadku zróżnicowanie termiczne aglomeracji zmniejsza się wyraźnie, lecz nadal centrum miasta (zarówno po stronie lewobrzeżnej, jak i praskiej) jest o około 1 deg cieplejsze niż jego peryferie (ryc. 26). W skali całej doby ocieplający wpływ miasta zaznacza się – poza obszarami najgęściej zabudowanymi – także na osiedlach Goćław i Siekierki oraz w Zalesiu.



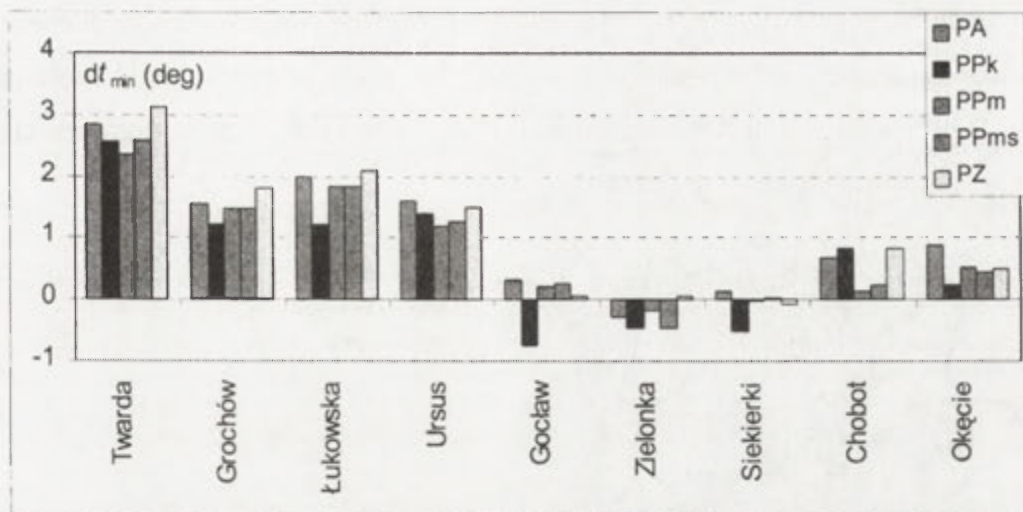
Ryc. 26. Średnie odchylenia średniej dobowej temperatury powietrza (dt) w różnych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości obserwowanych w terenie otwartym (Borowa Góra), czerwiec 2001 – maj 2002
Average deviations of mean daily air temperature (dt) at various points of Warsaw agglomeration from its value observed in rural area (Borowa Góra), June 2001 – May 2002

Uprzywilejowanie termiczne centrum miasta praktycznie zanika gdy analizowano zróżnicowanie temperatury maksymalnej powietrza. Średnie miesięczne wartości odchylenia tej charakterystyki termicznej od wartości t_{max} notowanych w Borowej Górze (dt_{max}) są w obrębie zwartej zabudowy Śródmieścia, na Żeraniu, na Łukowskiej i w Ursusie zbliżone do zera, a niekiedy nawet mają znak ujemny (co mówi o wyższych wartościach t_{max} poza miastem niż w mieście). Wyraźnie wyższa – w porównaniu z Borową Górą – temperatura maksymalna panowała natomiast na tych stanowiskach pomiarowych, które w ciągu dnia nie znajdowały się w cieniu budynków lub drzew, a jednocześnie istniejąca zabudowa hamowała ruch powietrza; było to centrum Grochowa oraz Gocław, Zalesie i Zielonka (ryc. 27). Tak więc, w godzinach okołopołudniowych o warunkach termicznych wewnątrz miasta decyduje przede wszystkim ogólna sytuacja pogodowa, a dopiero w drugiej kolejności rodzaj zabudowy. Zabudowa, poprzez złożony system zacieniania i nasłonecznienia poszczególnych fragmentów ulic i placów, tworzy bardzo urozmaicony obraz warunków termicznych w warstwie przygruntowej powietrza. Często cień budynku lub drzewa padający na podłoże w porze najwyższych położenia Słońca sprawia, że temperatura maksymalna ma tam wartość niższą niż w terenie odsłoniętym.



Ryc. 27. Średnie odchylenia temperatury maksymalnej powietrza (dt_{max}) w różnych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości obserwowanych w terenie otwartym (Borowa Góra), czerwiec 2001 – maj 2002
 Mean deviations of maximal air temperature (dt_{max}) at various points of Warsaw agglomeration from its value observed in rural area (Borowa Góra), June 2001 – May 2002

Intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie przeanalizowano także w zależności od rodzaju masy powietrza zalegającej nad Mazowszem. Okazało się, że w obrębie zabudowy wielkomiejskiej największe, dodatnie odchylenia temperatury minimalnej w stosunku do terenu otwartego (Borowa Góra) obserwuje się w czasie zalegania masy powietrza zwrotnikowego, a następnie – arktycznego (ryc. 28). Wyraźnie zmniejszona intensywność miejskiej wyspy ciepła występowała natomiast w masie powietrza polarno-kontynentalnego, zwłaszcza w prawobrzeżnej części Warszawy. Ta odmienność nagrzewania się różnych części miasta w tej masie powietrza zaznacza się także na stanowiskach położonych na tarasie Wisły (Gocław i Siekierki) oraz w Zielonce, gdzie dt_{min} w masie PPK przyjmuje ujemne wartości, tzn. występuje tam większe wychładzanie przygruntowej warstwy powietrza niż poza miastem (por. ryc. 24). Nie obserwuje się natomiast różnic w intensywności wyspy ciepła przy zaleganiu mas PPM oraz PPMs.

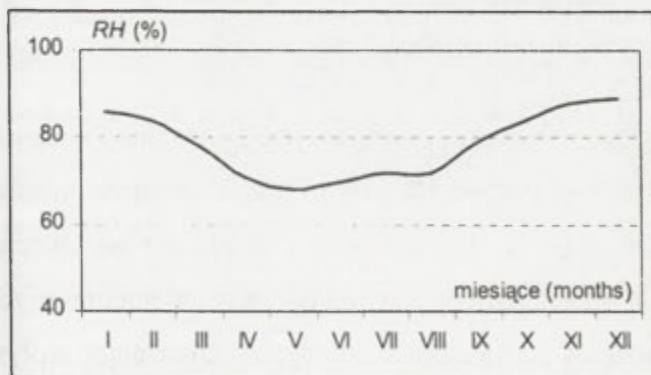


Ryc. 28. Średnie wartości odchyłeń temperatury minimalnej powietrza (dt_{min}) w stosunku do obszaru pozamiejskiego (Borowa Góra) obserwowane w niektórych punktach aglomeracji warszawskiej w różnych masach powietrza, czerwiec – grudzień 2001 r.

Mean deviation of minimal air temperature (dt_{min}) at some points of Warsaw agglomeration from its value observed in Borowa Góra (rural area) in various air masses, June – December 2001; explanations as at fig. 22

9. Wilgotność powietrza

Ogólnie biorąc średnie miesięczne wartości wilgotności względnej powietrza (RH) na Okęciu zmieniają się od 68% w maju do 89% w grudniu. W całym okresie zimowym wartości RH przekraczają 84%, natomiast latem wynoszą 70-72% (ryc. 29).

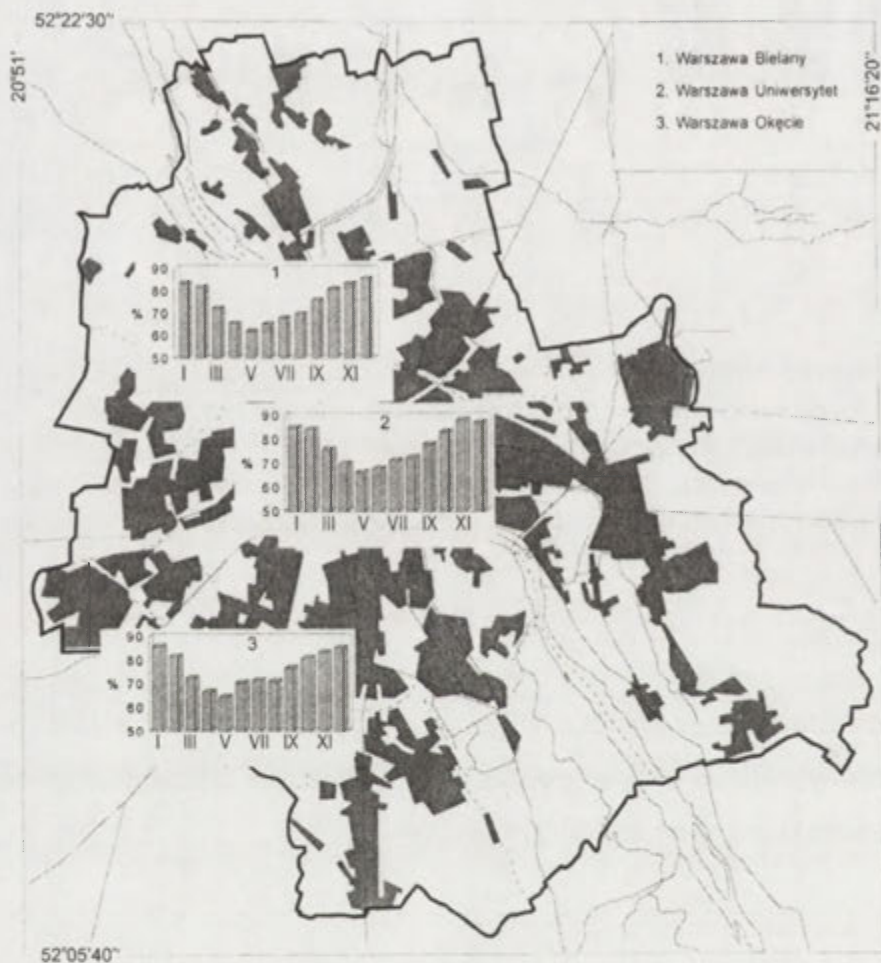


Ryc. 29. Przebieg roczny wilgotności powietrza (RH) na stacji Warszawa-Okęcie, wartości średnie z lat 1981-1990 (wg METEONORM 4.0)

Annual course of relative air humidity (RH), Warszawa-Okęcie 1981-1990 (by METEONORM 4.0)

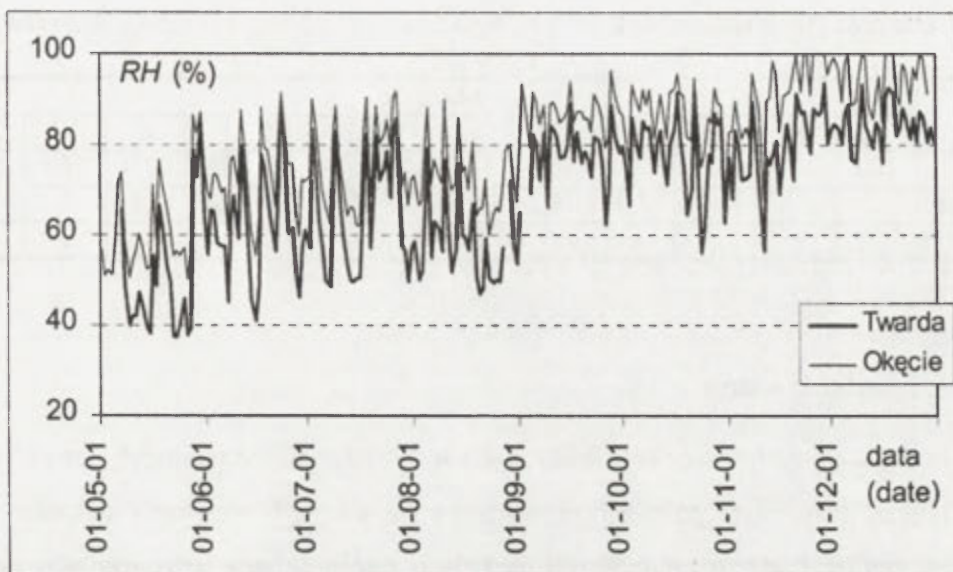
Wilgotność powietrza podlega wpływom antropogenicznym. Przejawia się to w zależności tej charakterystyki meteorologicznej między innymi od dopływu do atmosfery energii cieplnej i pary wodnej wytwarzanych w procesie spalania oraz od rodzaju podłoża i jego pojemności cieplnej. Na załączonym kartodiagramie (ryc. 30) przedstawiono przebieg roczny wilgotności względnej powietrza na trzech stacjach warszawskich: Bielany, Uniwersytet i Okęcie

(wartości średnie za okres 1971-1980). Na obszarach objętych oddziaływaniem miejskiej wyspy ciepła, odpowiadających terenom silnie przekształconym przez człowieka, wilgotność powietrza jest na ogół niższa aniżeli na krańcach miasta. Różnice te są większe w półroczu ciepłym, a mniejsze lub nawet zanikające – w chłodnym.



Ryc. 30. Wilgotność względna w Warszawie w okresie 1971-1980 (J. Baranowski, w: Kozłowska-Szczęśna i in. 1996)
Relative humidity in Warsaw, 1971-1980

Ilustracją wpływu zabudowy miejskiej na wilgotność powietrza jest porównanie średnich dziennych wartości *RH* mierzonych na stacjach Warszawa-Okęcie i Twarda (centrum miasta) w 2001 r. Na stacji śródmiejskiej wilgotność względna powietrza była niższa niż na Okęciu. W dniach pogodnych różnica to sięgała nawet 15% (ryc. 31). Jedynie podczas dni pochmurnych różnice wilgotności powietrza pomiędzy centrum a peryferiami zacierały się. Osuszający wpływ miasta wynika ze znacznego zmniejszenia – w stosunku do obszarów pozamiejskich – ilości naturalnych powierzchni pokrytych roślinnością, a co za tym idzie zmniejszoną ewapotranspiracją.



Ryc. 31. Średnie dzienne wartości wilgotności względnej powietrza (RH) na stacji śródmiejskiej (Twarda) i peryferyjnej (Okęcie), maj – grudzień 2001 (materiały własne oraz dane z bazy NOAA)
 Mean daily values of relative humidity at downtown (Twarda) and open air (Okęcie) stations
 May – December 2001

9.1. Parność

Organizm człowieka odczuwa jako szczególnie uciążliwe takie sytuacje meteorologiczne, które wiążą się z wysoką temperaturą powietrza oraz dużą jego wilgotnością. Są one określane jako parne i bywają niebezpieczne dla zdrowia, zwłaszcza u osób starszych lub z podwyższonym ciśnieniem tętniczym krwi. Do charakterystyki sytuacji parnych, ich częstości i natężenia, wykorzystano wskaźnik stresu cieplnego – HSI (Belding, Hatch 1955, Kozłowska-Szczęśna i in. 1997). HSI wyznacza się poprzez rozwiązanie równania bilansu cieplnego człowieka. Wraz ze wzrostem wartości HSI wzrasta natężenie odczucia parności. Na potrzeby tego opracowania zastosowano trzystopniową skalę natężenia parności: 0 – brak odczucia parności, 1 – parność umiarkowana (dobrze znoszona przez większość osób, ale stanowiąca problem dla ludzi starszych i dzieci), 2 – parność silna (uciążliwa dla większości osób).

Na podstawie danych z lat 1994-2001 ze stacji Warszawa-Okęcie można stwierdzić, że odczucie parności pojawia się w Warszawie od maja do października. W lipcu i sierpniu dni z umiarkowanym natężeniem parności stanowią nawet 52-56% dni. Dni o silnym natężeniu parności występują tylko latem przez 3-8% dni w miesiącu (tab. 13).

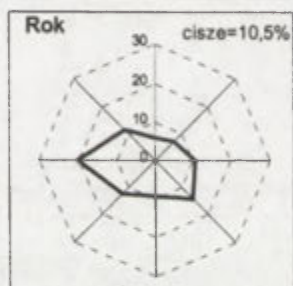
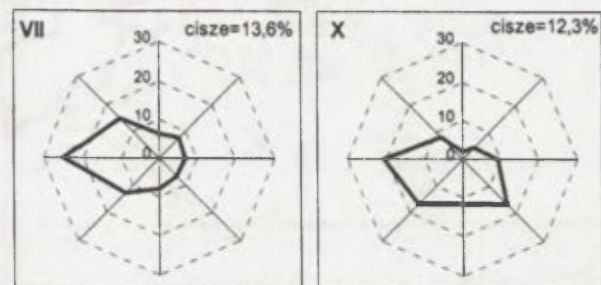
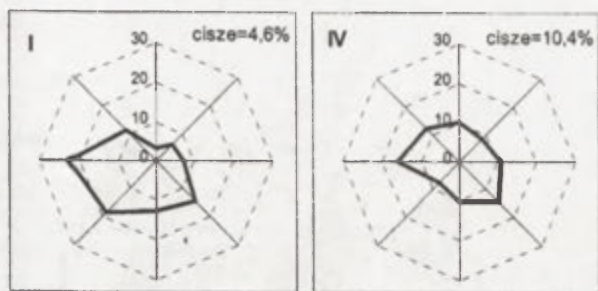
Tabela 13. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu odczucia parności, Warszawa-Okęcie, 1994-2001

Natężenie parności	Miesiące												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
brak	100	100	100	92,1	73,8	58,3	40,3	41,1	86,3	98,4	100	100	82,3
umiarkowane	.	.	.	7,9	26,2	36,7	51,6	55,6	13,8	1,6	.	.	16,3
silne	.	.	.	.	.	5,0	8,1	3,2	.	.	.	.	1,4

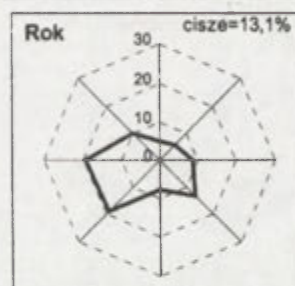
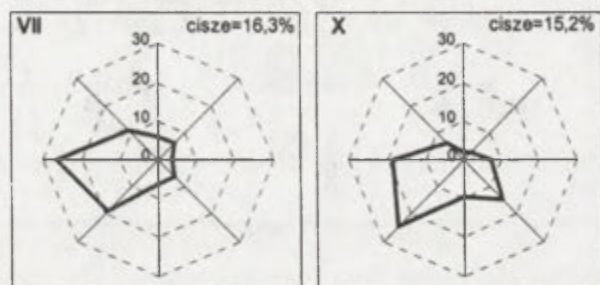
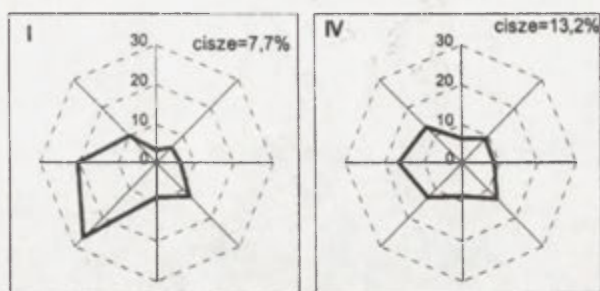
10. Kierunek i prędkość wiatru

Do oceny ogólnych warunków wietrznych w Warszawie mogą służyć dane obserwacyjne ze stacji Okęcie. Natomiast pomiary prowadzone na stacjach wewnątrz zespołu miejskiego pozwalają na analizę bądź to modyfikacji cyrkulacji ogólnej, bądź też cyrkulacji generowanej przez miasto. Opierając się na wynikach wieloletnich obserwacji meteorologicznych prowadzonych na Okęciu można stwierdzić, że najczęściej wieją tam wiatry zachodnie (ok. 20% przypadków), południowo-zachodnie i północno-zachodnie (od 11 do 15%) oraz południowo-wschodnie (osiągające w ostatnich latach nawet 17% częstości). Cisze atmosferyczne notowane są średnio w mniej niż w 10% przypadków, choć bywają okresy wietrzne, gdy ich udział spada do 2% (ryc. 32). Powyższy rozkład kierunków wiatru występuje przez większą część roku. Tylko w niektórych miesiącach zaznacza się przewaga wiatrów z innych kierunków: wschodu i południowego-wschodu w lutym, marcu i listopadzie oraz z południa i południowego-wschodu w grudniu.

Strumienie powietrza przepływające nad miastem ulegają modyfikacji. Podłoże, nad którym przepływa powietrze charakteryzuje się bowiem dużą szorstkością. Prowadzi to zarówno do osłabienia prędkości, jak i do zmian kierunku strumienia powietrza (Stull 1988). Na Bielanych, jak na Okęciu, średnio w roku dominują wiatry zachodnie i południowo-zachodnie (18-19%) oraz południowo-wschodnie (13%). W przypadku wiatrów SW dużą rolę odgrywa tzw. „efekt tunelowy” występujący między budynkami sąsiadującymi z posterunkiem meteorologicznym. W niektórych miesiącach (maj, czerwiec) często pojawiają się także wiatry północno-zachodnie (ryc. 33).



Ryc. 32. Częstość (%) występowania wiatrów z poszczególnych kierunków w wybranych miesiącach i w roku, Warszawa-Okęcie, 1951-1960
Frequency (%) of wind directions in selected months and in the year, Warszawa-Okęcie, 1951-1960



Ryc. 33. Częstość (%) występowania wiatrów z poszczególnych kierunków w wybranych miesiącach i w roku, Warszawa-Bielany, 1951-1960
Frequency (%) of wind directions in selected months and in the year, Warszawa-Bielany, 1951-1960

Interesująca jest analiza zmian kierunków, jakim podlegają nad miastem wiatry napływające nad Warszawę. Średnio w ciągu dnia większość kierunków wiatru notowanych na Okęciu ulega w Śródmieściu odchyleniu o $22,5^\circ$ na wschód, zaś w godzinach południowych, kiedy prędkość wiatru jest największa, skręt ten w pewnych przypadkach wynosi nawet 45° , tzn. wiatr zarejestrowany na Okęciu jako południowy (S) w Śródmieściu osiąga kierunek południowo-wschodni (SE), a wiatr SSW zmienia kierunek na SSE (Kossowska-Cezak, Bareja, 1998) (ryc. 34).

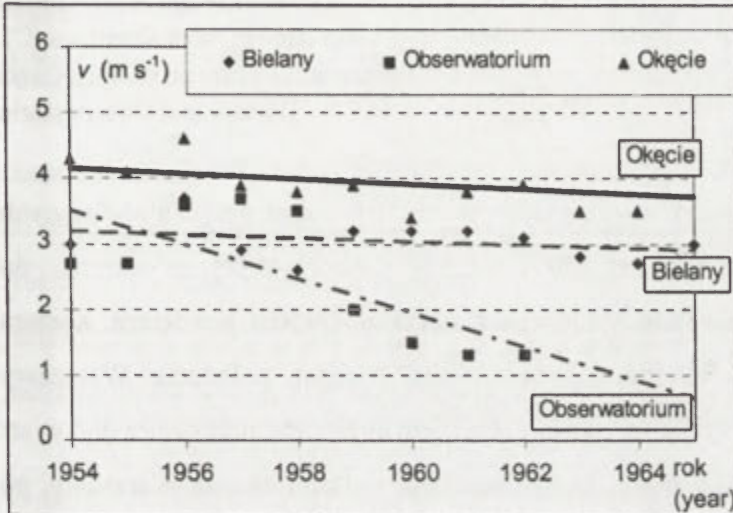


Ryc. 34. Kierunek wiatru na stacji śródmiejskiej (Warszawa-Uniwersytet) w porównaniu do kierunku wiatru na stacji Warszawa-Okęcie: a – W, b – SW, c – SSW, d – S, (wg Kossowskiej-Cezak i Barei 1998), grubość strzałki proporcjonalna do prędkości wiatru.

Wind direction on downtown station (Warszawa-Uniwersytet) in comparison to wind direction at station Warszawa-Okęcie noted as W (a), SW (b), SSW (c) and S (d), (by Kossowska-Cezak, Bareja 1998); arrow thickness proportional to wind speed

Ilustracją wpływu zabudowy miejskiej na prędkość ruchu powietrza ponad linią dachów jest zestawienie tendencji zmian prędkości wiatru i częstości cisz atmosferycznych w okresie od 1954 do 1965 roku. Był to okres intensywnej odbudowy Warszawy po zniszczeniach wojennych i jej rozbudowy. W szybkim tempie zwiększała się wtedy powierzchnia terenów zabudowanych i wysokość budynków, a poprzez to wzrastał współczynnik szorstkości podłoża. Systematyczne, duże zmniejszanie się prędkości wiatru obserwuje się zwłaszcza na stacji Obserwatorium

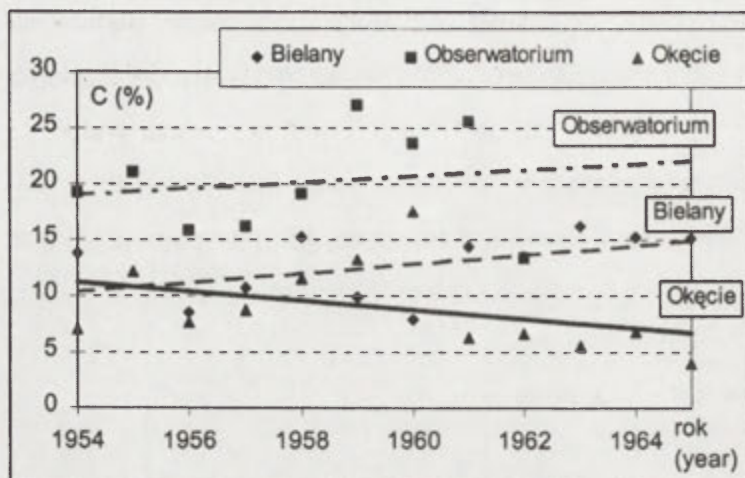
Astronomiczne, położonej w centrum miasta, w sąsiedztwie starych zespołów parkowych (Ogrodu Botanicznego UW i Łazienek). Na stacji Bielany, która w latach 1954-1964 leżała na obrzeżach Warszawy, tendencje zmian są podobne, jak na Okęciu. Niemniej jednak widać, że średnia prędkość wiatru była tam mniejsza o około 1 m s^{-1} niż na stacji lotniskowej (ryc. 35). Tendencje te obserwuje się zarówno dla wartości średnich rocznych, jak i w poszczególnych porach roku.



Ryc. 35. Średnie roczne wartości prędkości wiatru (v) na stacjach Okęcie, Bielany i Obserwatorium Astronomiczne
Mean yearly values of wind speed (v) on stations Okęcie, Bielany and Obserwatorium

Oslabienie ruchu powietrza nad miastem obserwuje się także bardzo wyraźnie przy analizie częstości cisz. Podczas, gdy na Okęciu liczba cisz systematycznie zmniejszała się (co jest cechą ogólnej cyrkulacji atmosferycznej), to na Bielanach i w Obserwatorium Astronomicznym obserwowano tendencję przeciwną. Liczba cisz stopniowo zwiększała się: na Bielanach – od 10% w 1954 r. do 15% w roku 1965, a w Obserwatorium Astronomicznym – od 20 do 23% (ryc. 36). Podobnie jak w przypadku tendencji zmian prędkości wiatru omówione wyżej tendencje zmian częstości cisz dotyczą wszystkich pór roku.

W latach 50. prędkość wiatru na Bielanach wynosiła średnio 85% prędkości notowanej na Okęciu, zaś na stacji Warszawa Obserwatorium sięgała 78%. W efekcie rozbudowy miasta, w 1977 roku w śródmieściu Warszawy wiatr zredukowany był już średnio do 43% prędkości notowanej na Okęciu, a w lecie i jesienią do 35%. Najsilniej wyciszane są wiatry z sektora północno-wschodniego (do 39%), a najmniej z kierunku południowego (54%) oraz południowo-zachodniego (50%).



Ryc. 36. Częstość występowania cisz atmosferycznych (C) w kolejnych latach na stacjach Okęcie, Bielany i Obserwatorium Astronomiczne
Frequency of calm situations (C) in consecutive years on stations Okęcie, Bielany and Obserwatorium

Wiatr jest jednym z najważniejszych elementów meteorologicznych ułatwiających oczyszczanie atmosfery z zanieczyszczeń. Przyjmuje się, że najkorzystniejsze warunki do rozpraszania zanieczyszczeń występują wtedy, gdy do obrzeży miasta powietrze dociera z prędkością powyżej 10 m s^{-1} (Niedźwiedź, Ustrnul 1989). Nizinne położenie Warszawy i warunki wentylacyjne jej okolic powodują, że za oczyszczający atmosferę można przyjąć wiatr na przedmieściach o prędkości powyżej 7 m s^{-1} , który docierając do śródmieścia Warszawy, po wyciszeniu do 50% ($3,5 \text{ m s}^{-1}$) powoduje wyraźny spadek stężenia zanieczyszczeń gazowych i pyłu w centrum miasta (Kuchcik 2000). Sytuacje takie pojawiają się stosunkowo rzadko; średnio w roku jest ich jedynie 12-13%. Najczęściej (16-20%) są one notowane w okresie od listopada do marca. Natomiast latem jest ich jedynie około 5% (tab. 14). Na Bielanach wiatry silne obserwowane są bardzo rzadko, około 5% średnio w roku (8-10% przypadków zimą i 1-3% przypadków latem).

Tabela 14. Częstość wiatrów o prędkości powyżej 7 m s^{-1} w różnych miesiącach i średnio w roku, Warszawa-Okęcie, 1951-1960

Okres	Kierunek wiatru								Razem
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
I	0,2	1,1	0,5	2,7	1,4	4,6	8,5	2,5	21,5
II	0,5	0,6	1,3	3,0	1,6	1,5	5,5	1,6	15,6
III	1,0	1,3	3,3	4,6	0,4	2,0	4,1	2,0	18,7
IV	1,2	0,6	0,6	2,1	1,3	0,8	3,7	2,8	13,1
V	1,3	0,8	0,8	1,1	0,4	0,4	3,6	2,5	10,9
VI	0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	1,4	0,9	4,6
VII	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,6	2,3	1,0	4,6
VIII	0,2	0,2	0,3	0,2	.	0,7	2,0	0,7	4,3
IX	0,3	.	0,2	0,6	0,2	1,4	4,0	0,6	7,3
X	0,1	0,1	0,2	0,8	0,3	1,6	3,7	0,7	7,5
XI	0,5	0,3	1,6	4,3	1,2	2,7	5,4	1,1	17,1
XII	0,2	0,4	2,8	2,5	0,6	3,4	7,6	2,0	19,5
Rok	0,5	0,5	1,0	1,9	0,7	1,7	4,3	1,5	12,1

Korzystny, z punktu widzenia rozpraszania zanieczyszczeń jest wzrost częstości wiatrów silnych w miesiącach zimowych, kiedy wzrasta zanieczyszczenie powietrza, niekorzystne jest jednak największe ich wyciszenie przez zabudowę miejską właśnie w tym okresie. Spadek prędkości wiatru i wzrost częstości cisz w porze cieplej, odczuwany szczególnie w centrum miasta, jest w pewien sposób rekompensowany lokalną cyrkulacją powietrza wywołaną różnicą temperatury pomiędzy sąsiadującymi ze sobą terenami o odmiennych cechach fizycznych oraz bryzą miejską. Zanieczyszczenia przypowierzchniowe w tej sytuacji rozcieńczane są dzięki silnej dyfuzji turbulencyjnej, towarzyszącej ruchom konwekcyjnym (Sorbjan 1983).

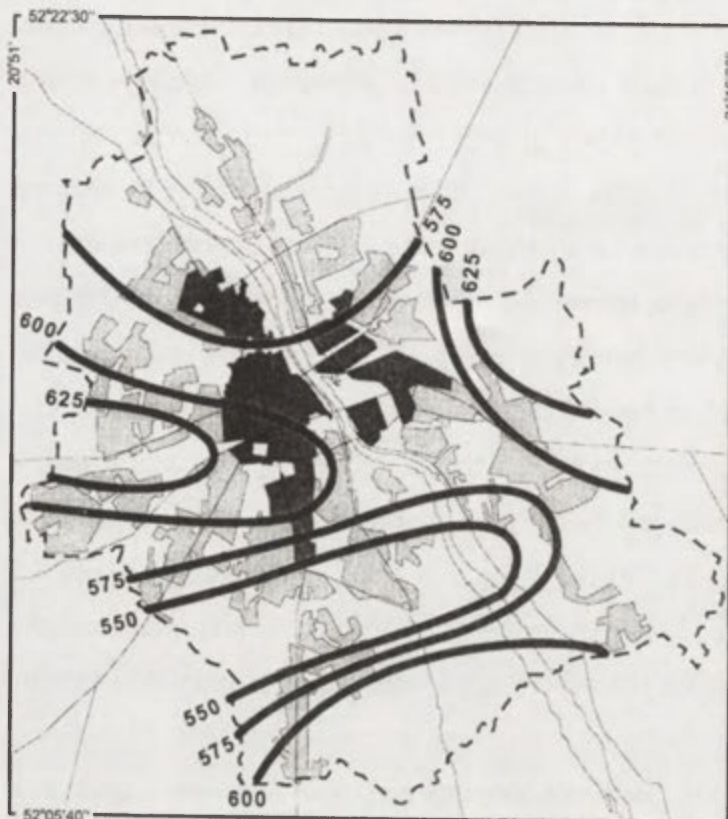
Niekorzystne dla przewietrzania miasta są takie sytuacje, gdy w jego otoczeniu panuje cisza atmosferyczna lub gdy prędkość wiatru jest bardzo mała ($< 2 \text{ m s}^{-1}$). Określa się je ogólnym mianem „sytuacji słabogradentowych”. Na Okęciu, średnio w roku, obejmują one około 1/3 wszystkich przypadków (około 10% cisz i 22% wiatrów bardzo słabych). W miesiącach letnich i jesienią odsetek sytuacji słabogradentowych jest największy i waha się od około 40% w maju i październiku do ponad 45% – w sierpniu.

W obrębie zabudowy miejskiej ruch powietrza ulega silnym modyfikacjom. Zagadnienie to omówiono odrębnie w załączniku nr 2.

11. Opady atmosferyczne

W skali lokalnej rozkład opadów atmosferycznych jest przede wszystkim uzależniony od rzeźby terenu. W przypadku Warszawy czynnik ten nie odgrywa jednak żadnej roli. Wyraźny wpływ na sumy opadów i na ich rozkład przestrzenny mają tu natomiast zanieczyszczenie powietrza oraz powstawanie nad miastem wymuszonych, pionowych prądów wstępujących (Lorenc 1991). Na obszarach o zwiększonym zanieczyszczeniu powietrza obserwuje się podwyższone sumy opadów; przyczyną tego jest zarówno zwiększona przez zanieczyszczenia ilość jąder kondensacji, jak i zwiększone zachmurzenie pochodzenia konwekcyjnego.

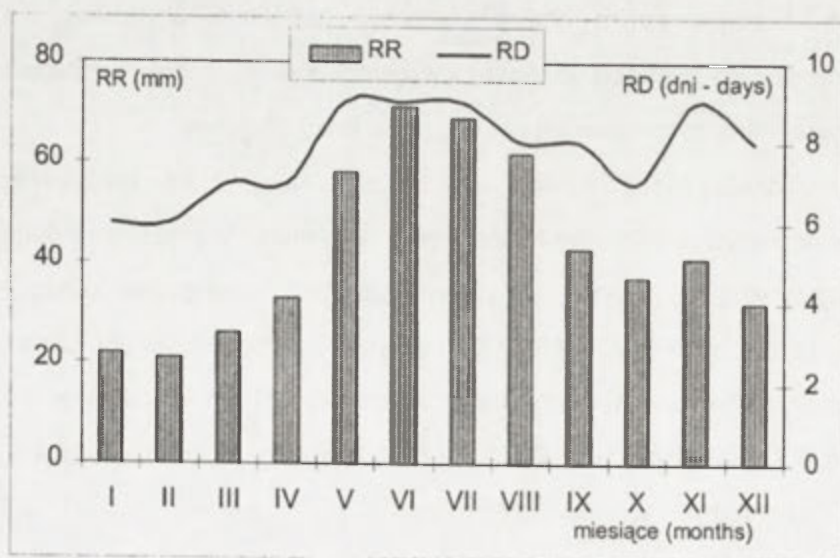
Na mapie (ryc. 37), wykonanej na podstawie danych z 7 stacji z lat 1961-1980, przedstawiono średnie roczne sumy opadów. Średnie roczne sumy opadów w Warszawie wahają się od poniżej 550 mm do powyżej 600 mm. Prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu ulewnego jest największe (powyżej 90%) na wschodnich (Kawęczyn) i zachodnich (Wola, Ursus) peryferiach miasta. W centrum Warszawy i w Kawęczynie jest średnio o około 40 dni więcej z opadem równym i wyższym od 0,1 mm aniżeli na południowych i północnych krańcach miasta, w przypadku opadów powyżej 1 mm różnica wynosi około 4 dni.



Ryc. 37. Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie, 1961-1980 (H. Lorenc, w: Kozłowska-Szczęśna i in. 1996)

Precipitation totals in Warsaw, 1961-1980

W przebiegu rocznym zdecydowanie dominują opady w okresie od maja do sierpnia. W każdym z tych miesięcy spada średnio ponad 50 mm deszczu. Najbardziej ubogie w opady są styczeń, luty i marzec, kiedy to spada tylko niecałe 30 mm opadu. Wtedy też jest najmniej dni z opadem (6-7 w miesiącu). Najwięcej dni z opadem (9) przypada na okres od maja do lipca oraz na listopad (ryc. 38).



Ryc. 38. Średnie miesięczne sumy opadu (RR) oraz liczba dni z opadem (RD) na stacji Warszawa-Okęcie, 1981-1990 (wg METEONORM 4.0)

Mean monthly precipitation totals (RR) and number of rainy days (RD), Warszawa-Okęcie, 1981-1990 (by METEONORM 4.0)

W ostatniej dekadzie XX wieku obserwowano wyraźne zmniejszenie się – w porównaniu z latami 1961-1970 – opadów śniegu i zalegania pokrywy śnieżnej. Średnio w roku liczba dni z pokrywą śnieżną o grubości > 10 cm zmniejszyła się z 29 do 5 dni. Także w poszczególnych miesiącach zmniejszenie liczby dni śnieżnych jest bardzo duże. W okresie 1994-2001 średnio tylko przez około 1 dzień w miesiącu obserwowano pokrywę śnieżną o grubości pozwalającej na uprawianie turystyki narciarskiej w okolicach Warszawy (tab. 15).

Tabela 15. Liczba dni z pokrywą śnieżną o grubości powyżej 10 cm

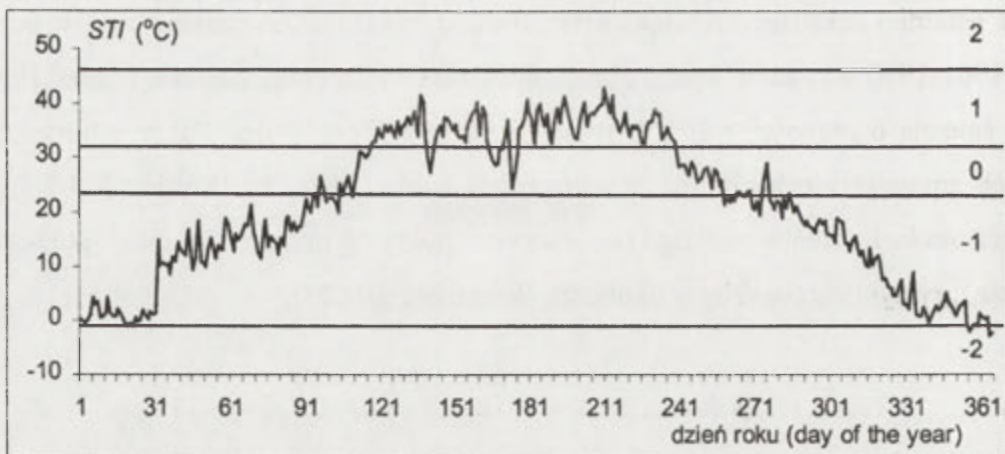
Okres	I	II	III	IV	XI	XII	Rok
1961-1970 *	8,7	9,1	4,9	0,3	1,0	5,1	29,1
1994-2001	0,8	0,9	1,3		1,0	1,3	5,1

* wg T. Łobozewicza (1979)

12. Warunki biotermiczne

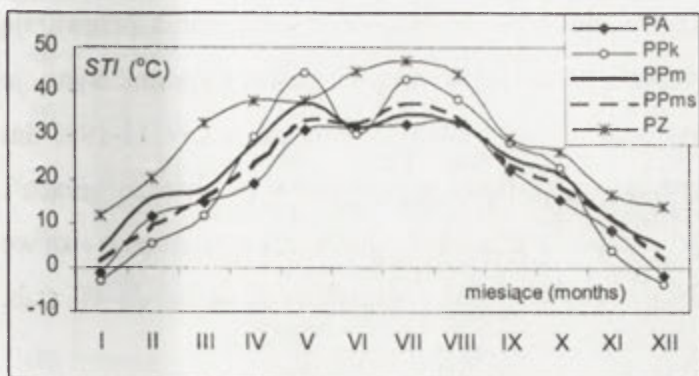
Pod pojęciem „warunki biotermiczne” należy rozumieć cały zespół czynników meteorologicznych oddziałujących na organizm człowieka i wywołujących w nim różne reakcje dostosowawcze do warunków otoczenia. Warunki te kształtują subiektywne odczucia cieplne, a ich miarą jest tzw. temperatura odczuwalna. Na jej wartość wpływa zespół elementów meteorologicznych, oddziałujących na receptory ciepła i zimna rozmieszczone w skórze. Są to głównie: temperatura powietrza, natężenie promieniowania słonecznego, prędkość wiatru i wilgotność powietrza. W badaniach bioklimatu aglomeracji warszawskiej zastosowano dwa wskaźniki. Dla danych wieloletnich obliczono tzw. temperaturę odczuwalną – *STI* (*Subjective Temperature Index* – Błażejczyk 2002), którą wyznacza się poprzez rozwiązanie równania bilansu cieplnego człowieka. Wykorzystano także wyniki pomiarów terenowych tzw. miernikiem odczuć cieplnych – *Tc* (Błażejczyk 1990 a).

Na podstawie danych z godziny 12 GMT z lat 1994-2001 obliczono dla każdego dnia wartość *STI*. Następnie wartości *STI* z poszczególnych dni uśredniono dla całego okresu badań. Na wykresie codziennych, uśrednionych wartości *STI* widać wyraźną sezonowość temperatury odczuwalnej. Waha się ona od około 0°C w grudniu i styczniu do $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$ w okresie od maja do sierpnia. Wtedy to obserwuje się znaczne wahania *STI* w następujących po sobie dniach. Okresy występowania odczuć cieplnych „komfortowo” są stosunkowo krótkie; obserwuje się je w drugiej połowie kwietnia oraz na przełomie sierpnia i września (ryc. 39).



Ryc. 39. Średnie wieloletnie wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej (*STI*) w poszczególnych dniach roku, Warszawa-Okęcie, 1994-2001; liniami poziomymi zaznaczono wartości graniczne *STI* poszczególnych odczuć cieplnych: -2 – zimno, -1 – chłodno, 0 – komfortowo, 1 – ciepło, 2 – gorąco
 Multiannual mean values of subjective temperature (*STI*), Warszawa-Okęcie 1994-2001; horizontal lines point limits of particular thermal sensations in man: -2 – cold, -1 – cool, 0 – comfortable, 1 – warm, 2 – hot

Wahania temperatury odczuwalnej pomiędzy kolejnymi dniami wynikają najczęściej ze zmiany rodzaju masy powietrza zalegającej nad danym obszarem. Oddziałuje ona bowiem nie tylko na temperaturę powietrza, ale także na dopływ promieniowania słonecznego i poziomy ruch powietrza. Wszystkie te czynniki wpływają na kształtowanie się temperatury odczuwanej przez człowieka. Najwyższe wartości *STI* występują w masie powietrza zwrotnikowego, 30,2°C średnio w roku, a latem nawet 44-47°C. Jedynie w maju cieplejsze warunki odczuwalne obserwuje się podczas zalegania masy powietrza polarno-kontynentalnego niż zwrotnikowego (ryc. 40). Najniższe wartości *STI* notuje się w masie powietrza arktycznego (18°C). Niemniej, od listopada do marca najniższa temperatura odczuwalna występuje w masie PPK, natomiast latem temperatura odczuwalna podczas zalegania masy PA jest podobna jak w masach PPM i PPms. W poszczególnych miesiącach wartości *STI* mogą się nawet różnić o 15-20 deg, w zależności od rodzaju zalegającej masy powietrza. Na przykład w marcu *STI* w masie powietrza polarno-kontynentalnego ma wartość średnią 11,7°C, a w masie powietrza zwrotnikowego – aż 32,8°C.



Ryc. 40. Średnie wartości temperatury odczuwalnej (*STI*) w różnych masach powietrza, Warszawa-Okęcie, 1994-2001
 Mean values of subjective temperature (*STI*) at various air masses, Warszawa-Okęcie, 1994-2001; PA – arctic, PPk – polar continental, PPM – polar maritime, PPms – transformed polar maritime, PZ – tropical

Podobnie, jak w przypadku temperatury powietrza, także temperatura odczuwalna zależy od kierunku adwekcji mas powietrza. W poszczególnych porach roku najwyższe wartości *STI* obserwuje się przy adwekcji powietrza: zimą – z zachodu, południowego zachodu i północnego zachodu, wiosną – z południowego zachodu, latem – z południowego wschodu, a jesienią – ponownie z południowego zachodu. Natomiast najniższe wartości *STI* notuje się zimą i jesienią – przy napływie powietrza ze wschodu, latem – z północy, a wiosną – z północnego wschodu (tab. 16).

Tabela 16. Średnie wartości temperatury odczuwalnej (*STI*) w poszczególnych porach roku przy różnych kierunkach adwekcji powietrza (Adw), Warszawa-Okęcie 1994-1999

Adw	<i>STI</i> (°C)				
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
N	5,2	21,5	30,6	14,6	18,0
NE	0,6	20,9	31,7	13,8	16,8
E	-1,9	24,8	35,1	13,5	17,9
SE	-0,6	24,2	41,0	15,7	20,1
S	2,7	26,8	36,8	18,0	21,1
SW	7,7	28,1	38,4	21,4	23,9
W	7,8	24,2	35,1	18,5	21,4
NW	7,6	22,3	30,8	17,6	19,6
0	1,8	23,6	36,8	14,1	19,1

0 – nieokreślony kierunek adwekcji

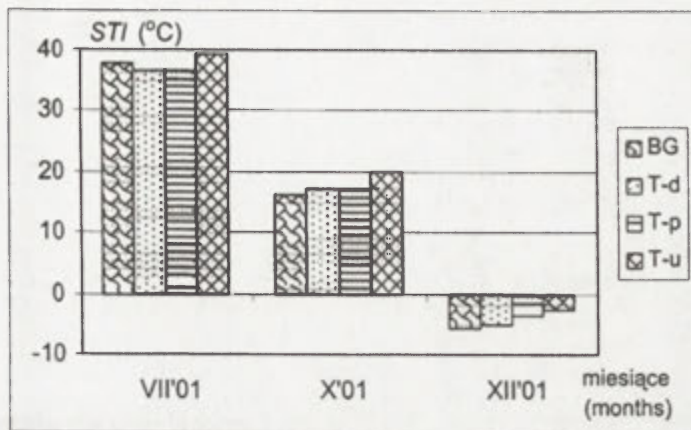
W analizach bioklimatycznych ważne są nie tylko wartości średnie temperatury odczuwalnej, ale częstość występowania jej wartości o określonych właściwościach biotermicznych, którym przypisuje się różne rodzaje odczuć cieplnych. Dane wieloletnie dla Okęcia wskazują, że najczęściej występują wartości *STI*, które większość osób określa jako „chłodno”; średnio w roku stanowią one około 44% dni, a w okresie od października do marca

ich częstość przekracza 60% (w listopadzie około 93% dni). Od maja do sierpnia przeważają warunki biotermiczne odczuwane jako „ciepło”, stanowiąc w sierpniu nawet 79% dni. Sytuacje pogodowe odczuwane jako „gorąco” występują głównie latem, stanowiąc wtedy 11-19% dni w miesiącu. Wtedy też sporadycznie pojawiają się warunki odczuwane jako „bardzo gorąco”. Komfortowe warunki biotermiczne występują średnio przez 17% dni w roku; najczęstsze są we wrześniu (58%) oraz w kwietniu (40%). Natomiast latem ich częstość spada nawet do 4% (tab. 17).

Tabela 17. Częstość (%) występowania różnych odczuć cieplnych, określonych na podstawie wskaźnika *STI*, Warszawa-Okęcie, 1994-2001

Odczucie cieplne	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
bardzo zimno	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
zimno	22,3	10,2	0,4	.	.	.	.	.	.	.	4,2	28,1	5,4
chłodno	77,7	89,8	90,3	37,1	1,2	.	.	0,4	11,3	61,7	93,3	71,9	44,3
komfort	.	.	9,3	40,0	34,7	13,3	3,6	8,9	57,9	31,9	2,5	.	16,9
ciepło	.	.	.	22,9	59,3	72,1	75,0	79,0	30,8	6,5	.	.	29,1
gorąco	.	.	.	.	4,8	14,2	19,4	11,3	.	.	.	.	4,2
bardzo gorąco	.	.	.	.	.	0,4	2,0	0,4	.	.	.	.	0,2

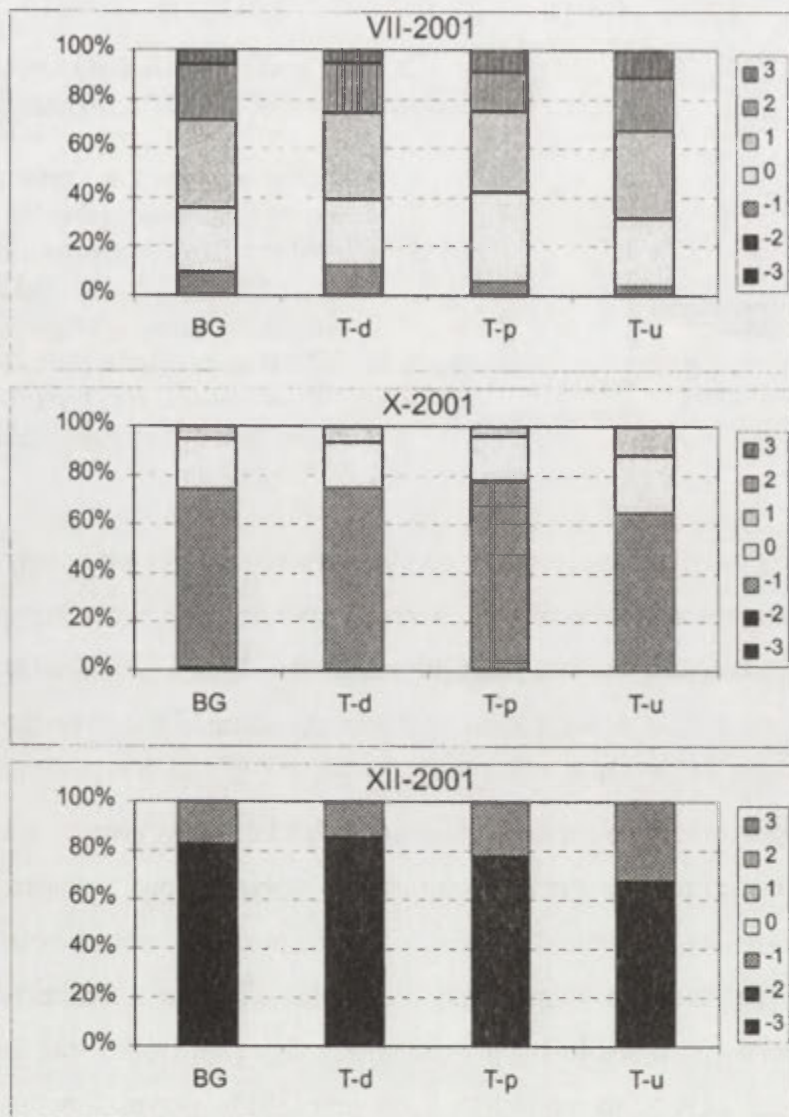
Do przeanalizowania wpływu zabudowy miejskiej na temperaturę odczuwaną przez człowieka wybrano dane z trzech miesięcy: lipca, października i grudnia 2001 r. Wykorzystując wyniki automatycznych pomiarów meteorologicznych prowadzonych synchronicznie w Borowej Górze (teren pozamiejski) oraz w centrum Warszawy, na ul. Twardej, obliczono wartości *STI* dla czterech typów terenu: terenu pozamiejskiego oraz dla poziomu dachów, poziomu podwórka oraz nasłonecznionego przez cały dzień fragmentu ulicy w Śródmieściu. W lipcu średnie wartości *STI* przekraczały na wszystkich stanowiskach 35°C, a na nasłonecznionej ulicy sięgały nawet 40°C. Podobnie, najwyższe średnie miesięczne wartości *STI* obserwowano na nasłonecznionym fragmencie ulicy w październiku i grudniu, a różnice w stosunku do terenu pozamiejskiego sięgały 4-5 deg (ryc. 41).



Ryc. 41. Średnie miesięczne wartości temperatury odczuwalnej (*STI*) w wybranych miesiącach 2001 r.; BG – Borowa Góra (teren pozamiejski), T-d – centrum Warszawy, poziom dachów, T-p – zacienione podwórko, T-u – nasłoneczniona ulica

Mean monthly values of subjective temperature (*STI*) at some months 2001; BG – rural area, T-d – downtown, roof level, T-p – shaded court, T-u – sunny street

Ocieplający wpływ zabudowy miejskiej, zwłaszcza tych jej fragmentów, które przez cały dzień są eksponowane na działanie promieni słonecznych, widać wyraźnie, gdy porównamy częstość występowania różnych odczuć cieplnych. W wybranych miesiącach 2001 r. obliczono je dla godzin od 8:00 do 20:00. W lipcu 2001 r. w ciągu dnia występowały warunki biotermiczne powodujące u człowieka odczucia ciepłe od „zimno” do „bardzo gorąco”. Najczęściej odczucia „gorąco” i „bardzo gorąco” obserwowano na nasłonecznionym odcinku ulicy (około 1/3 wszystkich obserwacji). W tym samym czasie w terenie pozamiejskim stanowiły one niespełna 29% przypadków, natomiast w mieście, na poziomie dachów – 26%, a na poziomie zacienianego okresowo podwórka – 25%. W październiku dominowały odczucia „chłodno”. Odczucia „komfortowo” i „ciepło” obserwowano przez około 1/4 przypadków w Borowej Górze oraz na poziomie dachów w mieście, przez 22% – na podwórku i aż przez 35% przypadków na nasłonecznionym fragmencie ulicy. W grudniu występowały tylko dwa rodzaje odczuć cieplnych: „zimno” i „chłodno”, z dominacją tych pierwszych. Niemniej i wtedy na nasłonecznionym fragmencie ulicy częściej obserwowano łagodzenie odczuć „zimno” niż w innych fragmentach zabudowy miejskiej i niż poza miastem (ryc. 42).

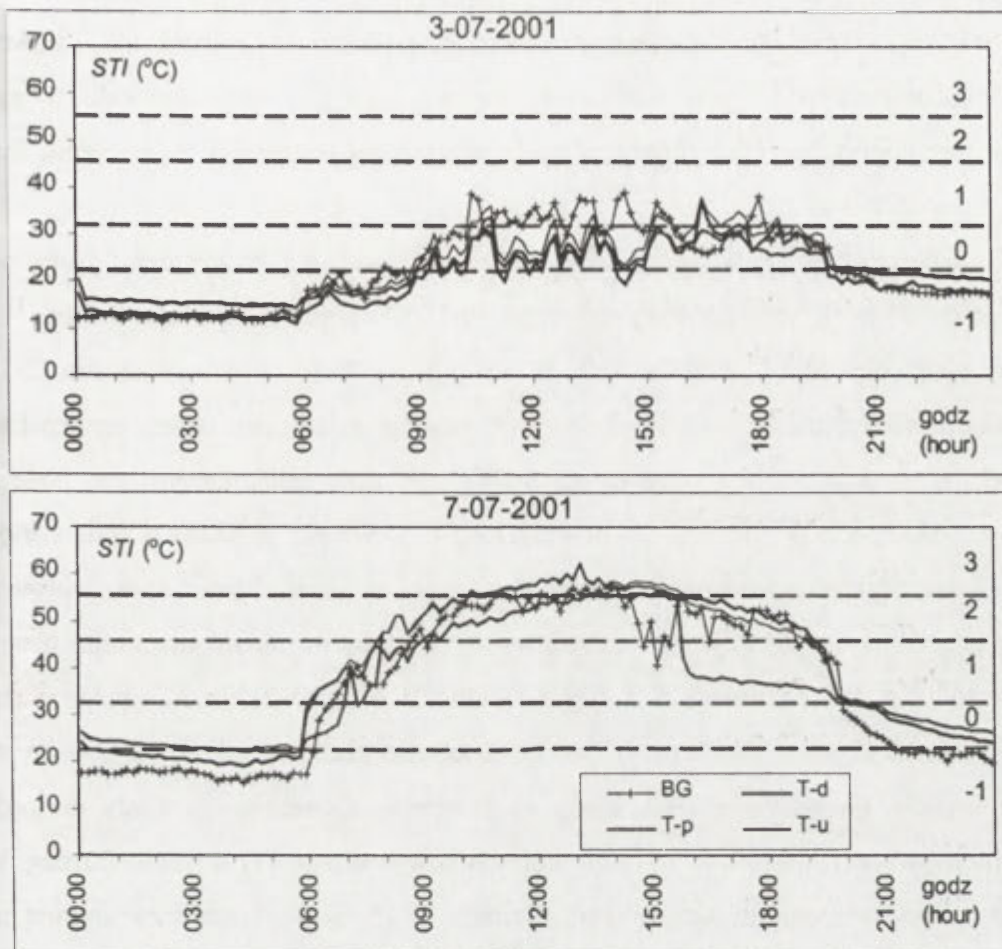


Ryc. 42. Częstość różnych odczuć cieplnych w wybranych miesiącach 2001 r. w terenie pozamiejskim (BG) oraz w centrum Warszawy: na poziomie dachów (T-d), na podwórku (T-p) oraz na nasłonecznionym odcinku ulicy (T-u); -3 – bardzo zimno, -2 – zimno, -1 – chłodno, 0 – komfortowo, 1 – ciepło, 2 – gorąco, 3 – bardzo gorąco

Frequency of various thermal sensations in selected months 2001 at rural area (BG) and in Warsaw downtown: on the roof level (T-d), at shaded court (T-p) and on sunny street (T-u); -3 – very cold, -2 – cold, -1 – cool, 0 – comfortable, 1 – warm, 2 – hot, 3 – very hot

Specyficzne oddziaływanie zabudowy miejskiej na warunki biotermiczne zaznacza się także przy analizie przebiegów dobowych temperatury odczuwalnej. Dla zilustrowania tego oddziaływania wybrano trzy dni pochmurne i trzy dni pogodne, po jednym w lipcu, październiku i grudniu 2001 r.

W lipcu, w dniu pochmurnym temperatura powietrza zmieniała się od 14 do 20°C, prędkość wiatru wynosiła 2-4 m s⁻¹, a natężenie promieniowania słonecznego nie przekraczało 450 W m⁻². W dniu pogodnym natężenie *Kglob* sięgało 870 W m⁻², temperatura powietrza dochodziła w południe do 33°C, a prędkość wiatru wynosiła 2-5 m s⁻¹ (ryc. 43).



Ryc. 43. Przebieg dzienny temperatury odczuwanej (*STI*) podczas wybranych dni letnich: pochmurnego (3-07-2001) i pogodnego (7-07-2001) w terenie pozamiejskim (BG) oraz w centrum Warszawy: na poziomie dachów (T-d), na podwórku (T-p) oraz na nasłonecznionej ulicy (T-u); liniami poziomymi zaznaczono zakresy *STI* odpowiadające różnym odczuciom cieplnym człowieka: -1 – chłodno, 0 – komfortowo, 1 – ciepło, 2 – gorąco, 3 – bardzo gorąco

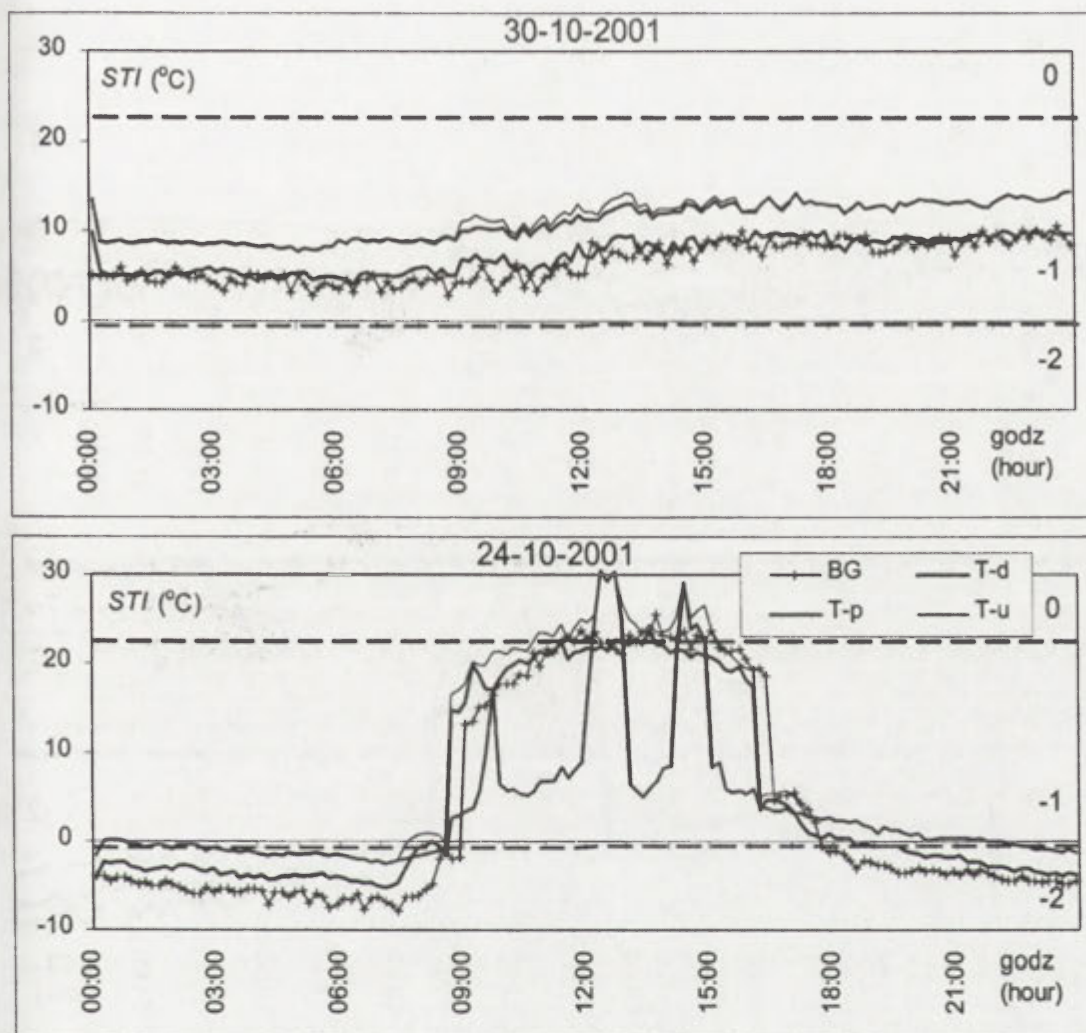
Daily course of subjective temperature (*STI*) at cloudy (3-07-2001) and sunny (7-07-2001) summer days in rural area (BG) and in Warszawa downtown: on the roof (T-d), on shaded court (T-p) and on sunny street (T-u); horizontal lines point limits of various sensations in man: -1 – cool, 0 – comfortable, 1 – warm, 2 – hot, 3 – very hot

W dniu pochmurnym temperatura odczuwalna miała nieco wyższe wartości w Borowej Górze niż centrum Warszawy. Wpłynął na to niewątpliwie nieco większy dopływ promieniowania słonecznego poza miastem niż w mieście, gdzie prawdopodobnie było ono osłabione poprzez zanieczyszczenie powietrza. Niemniej przebieg dobowy *STI* był stosunkowo wyrównany, a wartości temperatury odczuwalnej wahały się od około 10°C nocą do 20-35°C w ciągu dnia; odczucia cieplne zmieniały się od „chłodno” do „ciepło”. W dniu pogodnym zakres wahań *STI* był zdecydowanie większy niż w dniu pochmurnym: od 15-20°C nocą do około 55°C w godzinach okołopołudniowych. W ciągu dnia najwyższe wartości *STI* obserwowano na podwórku i na ulicy w centrum Warszawy. Temperatura odczuwalna na poziomie dachów była

podobna jak poza miastem, co jest związane z podobnymi warunkami insolacyjnymi, termicznymi i wietrznymi. Uprzywilejowanie biotermiczne podwórka zanikało w godzinach porannych oraz popołudniowych, kiedy to punkt pomiarowy znajdował się w cieniu budynków (ryc. 43).

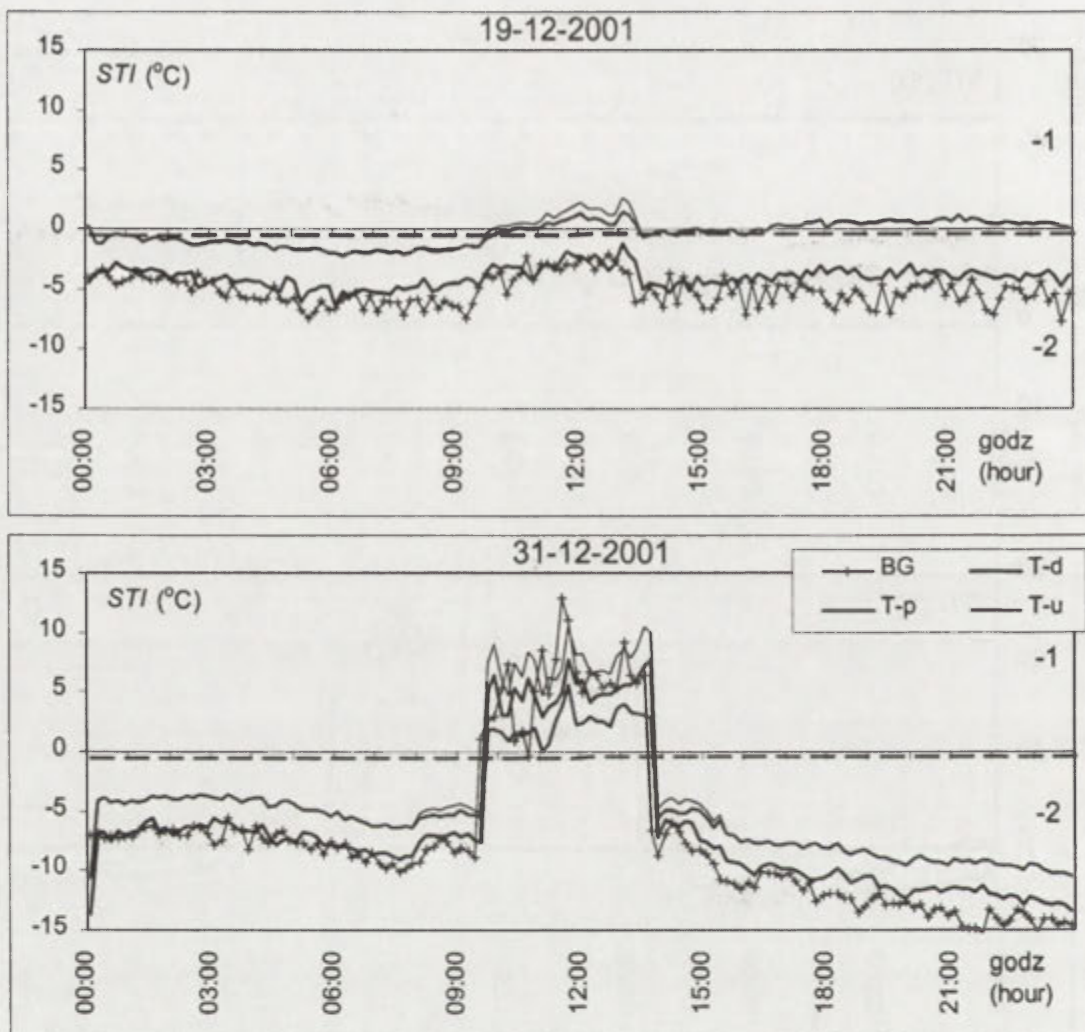
W październiku, dzień pochmurny charakteryzował się natężeniem promieniowania słonecznego do 50 W m^{-2} , temperaturą powietrza $10\text{-}13^\circ\text{C}$ i prędkością wiatru $3\text{-}6 \text{ m s}^{-1}$. W dniu pogodnym natężenie *Kglob* sięgało 450 W m^{-2} , a prędkość wiatru wynosiła $2\text{-}3 \text{ m s}^{-1}$. Temperatura powietrza miała przebieg dobowy typowy dla jesieni, nad ranem wystąpił niewielki przymrozek, a w ciągu dnia *t* wzrosła do $8\text{-}10^\circ\text{C}$. W dniu pochmurnym nie obserwowano praktycznie wahań dobowych *STI*. Jej wartości były wewnątrz zabudowy (podwórko, ulica) o około $5\text{-}7$ deg wyższe niż na poziomie dachów i poza miastem. Miało na to wpływ znaczne osłabienie prędkości wiatru wewnątrz zabudowy w stosunku do terenu otwartego (por. zał. 2). W dniu pogodnym zakres wahań *STI* sięgał około 30 deg. Nocą i nad ranem wartość *STI* wynosiła około -8°C poza miastem, -6°C – na poziomie dachów i około -2°C – na poziomie podwórka i ulicy. Po godzinie $8:30$, kiedy to promienie słoneczne docierały do podłoża ze znaczną intensywnością ($>200 \text{ W m}^{-2}$) nastąpił skokowy wzrost *STI* o około 20 deg. W ciągu kilkunastu minut temperatura odczuwalna wzrosła o 15 deg co oznacza zmianę odczucia cieplnego z „zimno” na „chłodno”. Na podwórku takie skokowe zmiany *STI* obserwowano w ciągu dnia kilkakrotnie, a były one każdorazowo związane z zacieleniem stanowiska pomiarowego. Po południu, wraz ze zmniejszeniem natężenia *Kglob* wartości *STI* obniżyły się równie szybko jak wzrosły w godzinach porannych. Uprzywilejowaniem biotermicznym w tych warunkach odznaczał się nasłoneczniony odcinek ulicy Twardej, gdzie dzięki dopływowi bezpośredniego promieniowania słonecznego i osłonięcia od wiatru temperatura odczuwalna była przez cały dzień wyższa niż poza miastem i na poziomie dachów (ryc. 44).

Podobną jak w październiku dynamikę zmian dobowych temperatury odczuwalnej obserwowano w grudniu. Jedynie okres, kiedy w dniu pogodnym wartości *STI* wyraźnie wzrastały na skutek dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego, był zdecydowanie krótszy niż jesienią i trwał od godziny 10 do 14 . Na skutek niskiego położenia Słońca i zacielenia podwórka przez cały dzień na tym stanowisku pomiarowym obserwowano najniższe wartości *STI*; były tam one o $5\text{-}10$ deg niższe niż na poziomie dachów lub na nasłonecznionym odcinku ulicy (ryc. 45).



Ryc. 44. Przebieg dzienny temperatury odczuwanej (*STI*) podczas wybranych dni jesiennych: pochmurnego (30-10-2001) i pogodnego (24-10-2001) w terenie pozamiejskim (BG) oraz w centrum Warszawy: na poziomie dachów (T-d), na podwórku (T-p) oraz na nasłonecznionym odcinku ulicy (T-u); liniami poziomymi zaznaczono zakresy *STI* odpowiadające różnym odczuciom cieplnym człowieka: -2 – zimno, -1 – chłodno, 0 – komfortowo

Daily course of subjective temperature (*STI*) at cloudy (30-10-2001) and sunny (24-10-2001) autumn days in rural area (BG) and in Warsaw downtown: on the roof (T-d), on shaded court (T-p) and on sunny street (T-u); horizontal lines point limits of various sensations in man: -2 – cold, -1 – cool, 0 – comfortable



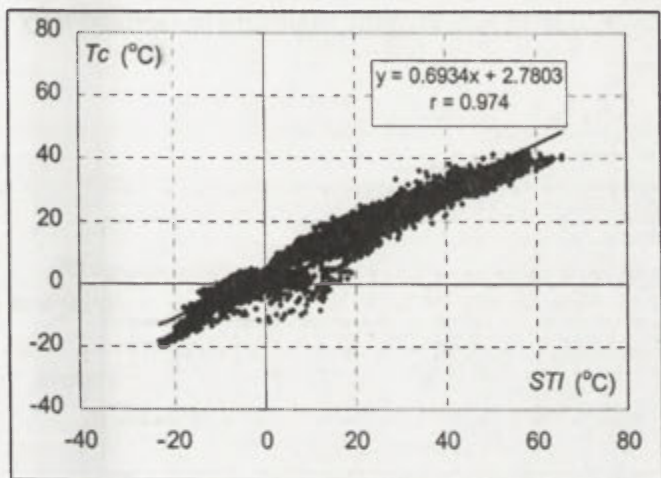
Ryc. 45. Przebieg dzienny temperatury odczuwanej (*STI*) podczas wybranych dni zimowych: pochmurnego (19-12-2001) i pogodnego (31-12-2001) w terenie pozamiejskim (BG) oraz w centrum Warszawy: na poziomie dachów (T-d), na podwórku (T-p) oraz na nasłonecznionym odcinku ulicy (T-u); linią poziomą zaznaczono zakresy *STI* odpowiadające różnym odczuciom cieplnym człowieka: -2 – zimno, -1 – chłodno

Daily course of subjective temperature (*STI*) at cloudy (19-12-2001) and sunny (31-12-2001) winter days in rural area (BG) and in Warszawa downtown: on the roof (T-d), on shaded court (T-p) and on sunny street (T-u); horizontal lines point limits of various sensations in man: -2 – cold, -1 – cool

12.1. Przestrzenne zróżnicowanie warunków biotermicznych

Warszawa i jej okolice posiadają złożoną strukturę urbanistyczną. Poza obszarami gęsto zabudowanymi (jak w omówionym wyżej rejonie ulicy Twardej) istnieją także inne formy zabudowy oraz inne rodzaje użytkowania terenu (parki, lasy, ogrody). Dlatego też, dla pełnego poznania wpływu czynników lokalnych na warunki biotermiczne założono na terenie aglomeracji warszawskiej sieć pomiarową temperatury powietrza i temperatury odczuwanej (T_c), mierzonej

za pomocą tzw. miernika odczuć cieplnych. Jego wskazania są uzależnione od podstawowych elementów meteorologicznych, kształtujących odczucia ciepłe: promieniowania słonecznego, temperatury powietrza i prędkości wiatru. Wskazania miernika odczuć cieplnych mogą być równoprawnym uzupełnieniem analiz opartych na wartościach *STI*. Pomiędzy wartościami *STI* i *T_c* istnieje silny związek, a współczynnik korelacji pomiędzy obydwoma wielkościami wynosi 0,974 (ryc. 46).



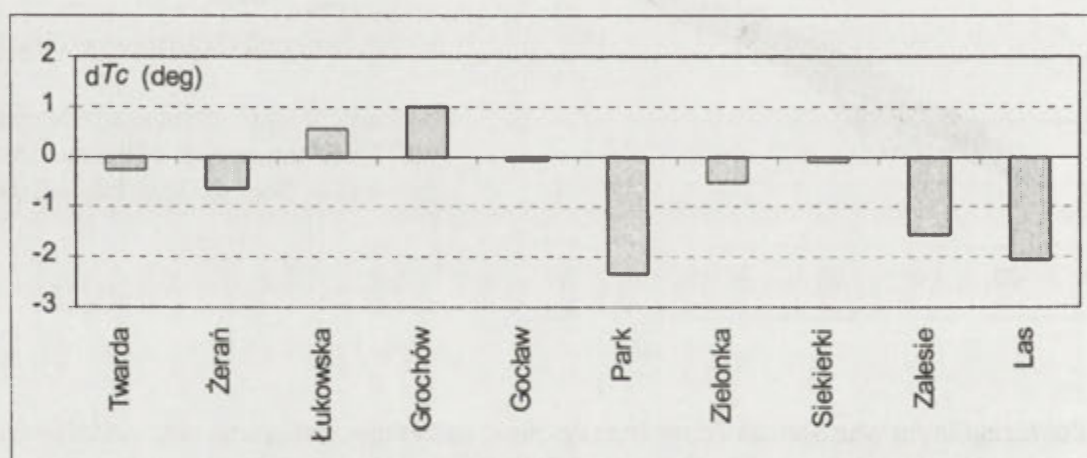
Ryc. 46. Związek pomiędzy temperaturą odczuwalną (*STI*) a wskazaniami miernika odczuć cieplnych (*T_c*), Borowa Góra, lipiec-grudzień 2001 r.
Relationships between subjective temperature (*STI*) and temperature of thermal sensation meter (*T_c*), Borowa Góra, July – December 2001

Poszczególnym wartościom *T_c* można przypisać następujące odczucia ciepłe człowieka:

<i>T_c</i> (°C)	Odczucie ciepłe
< -23,5	- bardzo zimno
-23,5 – 2,4	- zimno
2,5 – 18,4	- chłodno
18,5 – 24,9	- komfortowo
25,0 – 34,4	- ciepło
34,5 – 40,9	- gorąco
≥ 41,0	- bardzo gorąco.

Do analizy wpływu czynników lokalnych na warunki biotermiczne posłużono się odchyleniami pomiędzy wartościami *T_c* (średnimi dobowymi, minimalnymi i maksymalnymi) zanotowanymi na poszczególnych punktach pomiarowych a zmierzonymi poza miastem, w Borowej Górze.

W przypadku wartości średnich dobowych T_c zaznacza się uprzywilejowanie termiczne tych stanowisk, do których przez większość dnia docierało do podłoża bezpośrednie promieniowanie słoneczne. Były to stanowiska zlokalizowane na osiedlu wielkoblokowym (Łukowska) oraz w zwartej zabudowie centrum Grochowa. Na pozostałych stanowiskach położonych wśród zwartej zabudowy miejskiej (Twarda, Żerań), gdzie okresowo występowało znaczne zacienienie, warunki biotermiczne były zbliżone do panujących w Borowej Górze. Podobnie było w przypadku osiedli o luźnej zabudowie (Goćław, Siekierki, Zielonka). Na stanowiskach usytuowanych pod koronami drzew lub w ich bliskim sąsiedztwie dominowały wartości T_c niższe niż w Borowej Górze (ryc. 47).

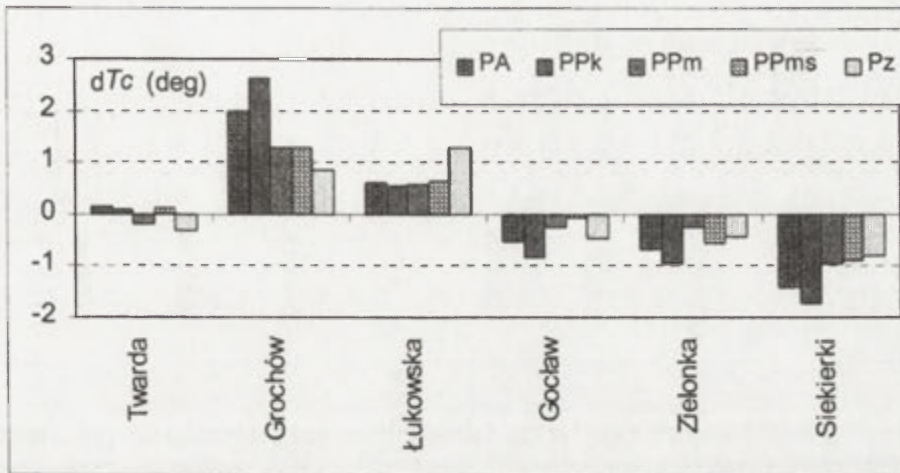


Ryc. 47. Średnie wartości odchylen średnich dobowych wskazań miernika odczuć cieplnych (dT_c) w różnych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości T_c obserwowanych w terenie pozamiejskim, czerwiec 2001 – maj 2002

Mean values of average daily deviations of thermal sensations meter temperature (dT_c) at various sites of Warsaw agglomeration in relation to T_c values observed in rural area, June 2001 – May 2002

Podobnie jak w przypadku temperatury powietrza przeanalizowano przestrzenne zróżnicowanie warunków biotermicznych, określonych za pomocą temperatury odczuwalnej – T_c , w zależności od zalegającej nad Mazowszem masy powietrza. Na Grochowie, ocieplający wpływ miasta zaznaczał się najsilniej w masie powietrza polarno-kontynentalnego i arktycznego. Na leżącym w pobliżu stanowisku „Łukowska” (osiedle wielkoblokowe) najwyższe wartości T_c występowały w masie powietrza zwrotnikowego. W masie PPK i PA warunki biotermiczne są najbardziej zróżnicowane przestrzennie. Obok wspomnianego już podwyższenia wartości T_c na Grochowie obserwuje się w tych masach powietrza także największe obniżenie temperatury odczuwalnej na Goćławiu, w Zielonce i na Siekierkach, a więc w miejscach o niskiej, luźnej

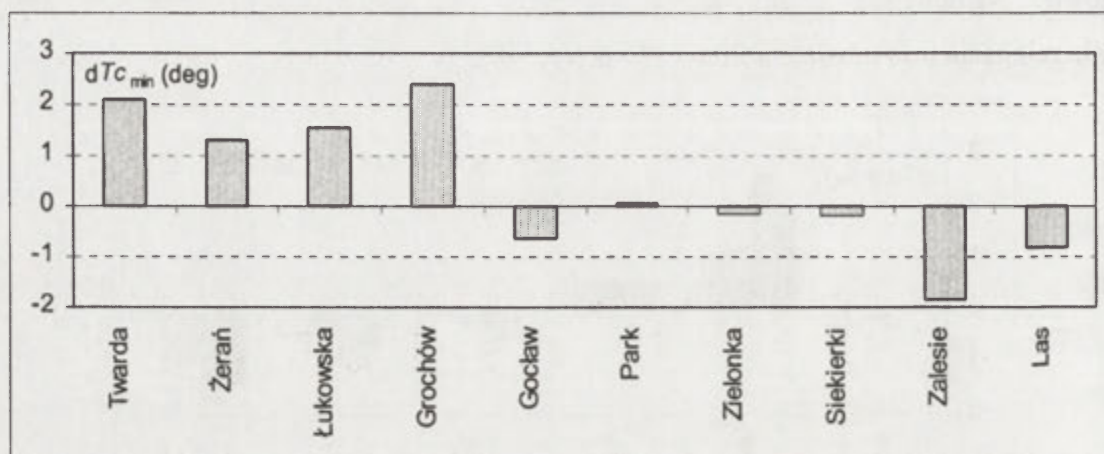
zabudowie. Najmniejsze zróżnicowanie warunków biotermicznych ma natomiast miejsce w czasie zalegania mas powietrza Pp i Ppms (ryc. 48).



Ryc. 48. Średnie wartości odchyłeń średnich dobowych wskazań miernika odczuć cieplnych (dT_c) w wybranych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości T_c obserwowanych w terenie pozamiejskim w różnych rodzajach mas powietrza, czerwiec – grudzień 2001

Mean values of average daily deviations of thermal sensations meter temperature (dT_c) at various sites of Warsaw agglomeration in relation to T_c values observed in rural area in various air masses, June – December 2001; PA – arctic, Ppk – polar continental, Ppm – polar maritime, Ppms – modified polar maritime, Pz – tropical

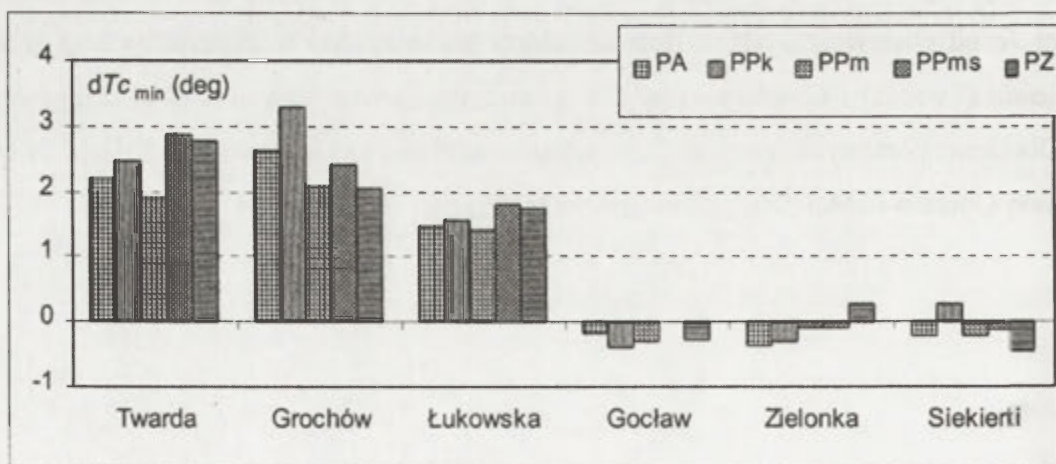
Ocieplający wpływ miejskiej wyspy ciepła na warunki biotermiczne obserwuje się najwyraźniej w godzinach porannych. Największe, dodatnie odchylenie najniższych, dobowych wartości T_c od obserwowanych w Borowej Górze występowało w obrębie zwartej zabudowy Śródmieścia (Twarda) i Grochowa (2-2,5 deg) oraz na Żeraniu i na ul. Łukowskiej (około 1,5 deg). Obniżenie porannych wartości T_c notowano natomiast na Gocławiu i w Zalesiu. Niższe niż w Borowej Górze wartości T_c rejestrowano także wewnątrz lasu (ryc. 49).



Ryc. 49. Średnie wartości odchyłeń najniższych dobowych wskazań miernika odczuć cieplnych ($dT_{c_{min}}$) w różnych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości $T_{c_{min}}$ obserwowanych w terenie pozamiejskim, czerwiec 2001 – maj 2002

Mean deviation values of minimal thermal sensations meter temperature ($dT_{c_{min}}$) at various sites of Warsaw agglomeration in relation to $T_{c_{min}}$ values observed in rural area, June 2001 – May 2002

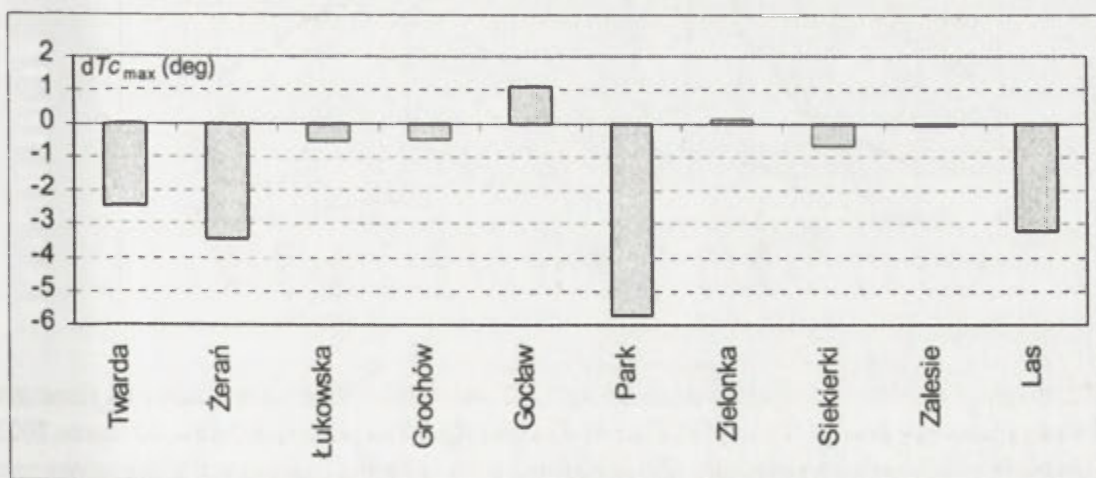
Na Grochowie i w Śródmieściu największych dodatnich odchyłeń $dT_{c_{min}}$ należy oczekiwać w czasie zalegania mas powietrza: PPK, PA i PPms, a niekiedy także – PZ. Z drugiej strony w masach PPK, PA i PZ mogą wystąpić najniższe, poranne wartości temperatury odczuwalnej w obrębie luźnej zabudowy podmiejskiej (ryc. 50).



Ryc. 50. Średnie wartości odchyłeń najniższych dobowych wskazań miernika odczuć cieplnych ($dT_{c_{min}}$) w wybranych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości $T_{c_{min}}$ obserwowanych w terenie pozamiejskim w różnych rodzajach mas powietrza, czerwiec – grudzień 2001

Mean deviation values of minimal thermal sensations meter temperature ($dT_{c_{min}}$) at various sites of Warsaw agglomeration in relation to $T_{c_{min}}$ values observed in rural area in various air masses, June – December 2002; explanations as on Fig. 48

Tak jak w przypadku maksymalnej temperatury powietrza, także w odniesieniu do maksymalnej temperatury odczuwalnej ($T_{c_{max}}$) widać wyraźną zależność ich wartości od lokalnych efektów zacienienia terenu przez okoliczne budynki lub/i drzewa. Wtedy, gdy cień ten padał na miejsce usytuowania miernika odczuć cieplnych w czasie, kiedy temperatura powietrza była najwyższa, rejestrowano niższe wartości T_c niż w terenie pozamiejskim. Dlatego też nie powinno dziwić, że ujemne odchylenia maksymalnej temperatury odczuwalnej obserwowano zarówno pod okapem drzew (Park, Las), jak i w Śródmieściu (Twarda) czy na Żeraniu (ryc. 51). Nie można jednak z tego wyciągać wniosku, że w obszarze zabudowanym lub przemysłowym mamy do czynienia ze złagodzeniem warunków biotermicznych latem. Jak bowiem zwrócono już uwagę przy szczegółowej analizie pola temperatury odczuwalnej (STI) w obrębie zwartej zabudowy śródmiejskiej przez większość dnia panują wyższe jej wartości niż poza miastem, a jedynie w krótkim okresie są one niższe. Warto przypomnieć, że w miejscach nasłonecznionych w mieście temperatura odczuwalna jest prawie zawsze wyższa niż poza miastem, co można zaobserwować na przykładzie Gocławia.



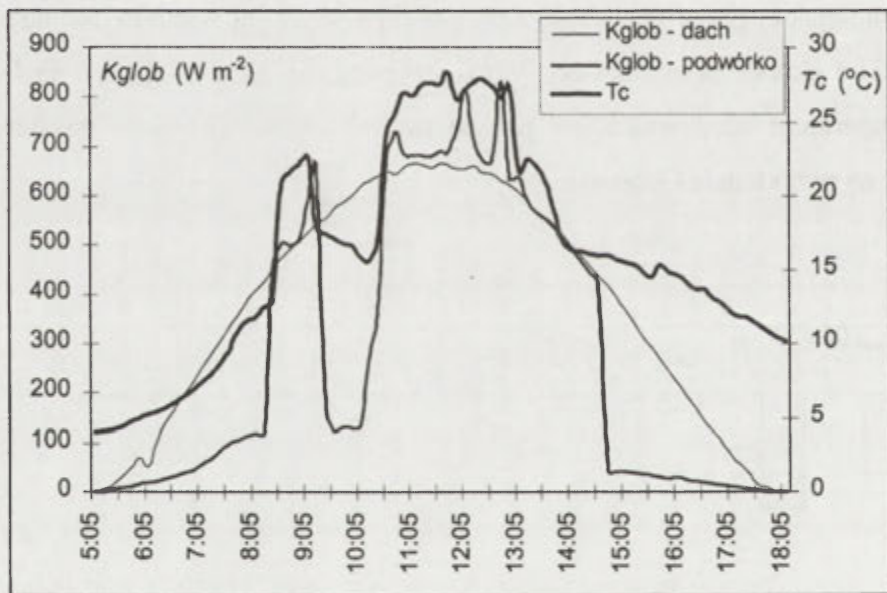
Ryc. 51. Średnie wartości odchylenia maksymalnych dobowych wskazań miernika odczuć cieplnych ($dT_{c_{max}}$) w różnych punktach aglomeracji warszawskiej od wartości $T_{c_{max}}$ obserwowanych w terenie pozamiejskim, czerwiec 2001 – maj 2002

Mean deviation values of maximal thermal sensations meter temperature ($dT_{c_{max}}$) at various sites of Warsaw agglomeration in relation to $T_{c_{max}}$ values observed in rural area, June 2001 – May 2002

Wpływ zacienienia na wartości temperatury odczuwalnej widać wyraźnie, gdy zestawimy dzienny przebieg promieniowania całkowitego (K_{glob}) docierającego do podwórka z jednoczesnymi wskazaniami miernika odczuć cieplnych (T_c). Na podanym przykładzie (ryc. 52), podczas pogodnego dnia, promienie słoneczne dopływały do dna podwórka tylko w wybranych godzinach. Wraz z dopływem promieni słonecznych do miernika odczuć cieplnych

widać skokowy – w ciągu 10 minut – wzrost temperatury odczuwalnej o 8-10 deg (godz. 8:30 i 10:30), co powodowało zmianę odczuć cieplnych nawet o dwie klasy: z „chłodno” na „ciepło”. Wraz z zasłonięciem tarczy słonecznej przez sąsiadujący budynek następował równie gwałtowny spadek wskazań miernika odczuć cieplnych o 6-8 deg w ciągu 10 minut.

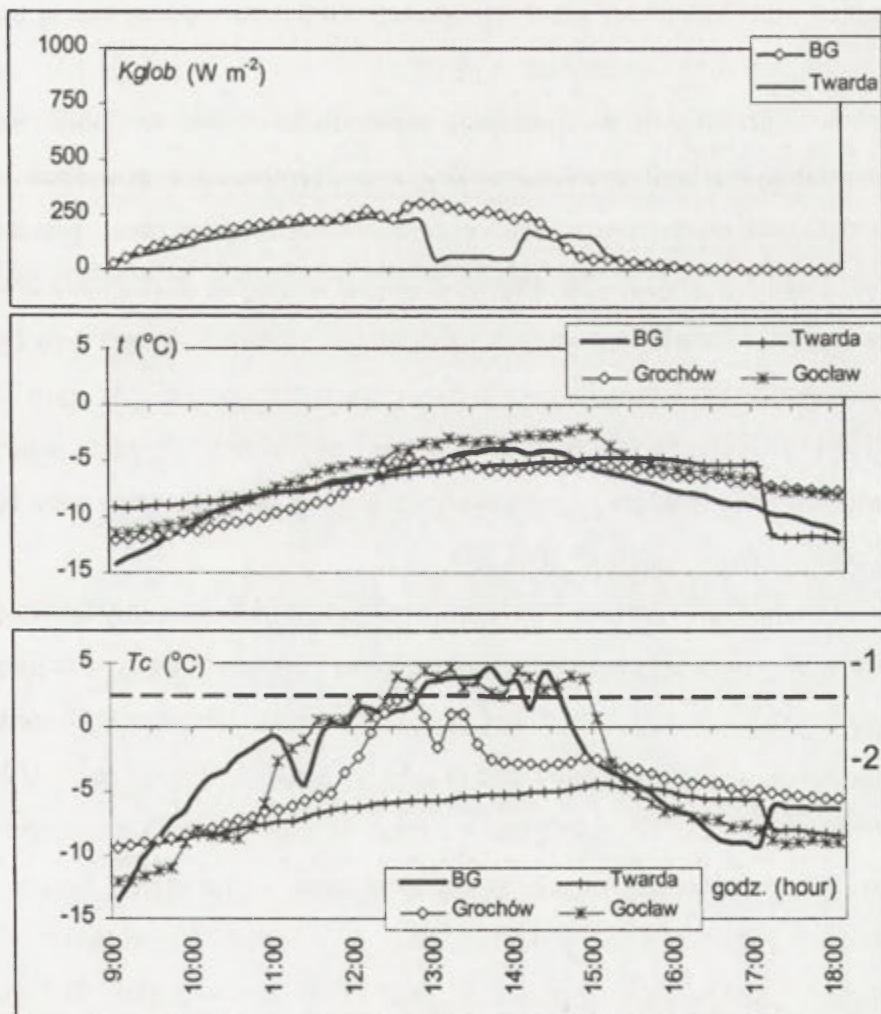
Takie gwałtowne zmiany warunków wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem są bardzo obciążające dla układu termoregulacyjnego i wymagają jego sprawności. Dlatego też głównie w miastach notowane są przypadki udarów cieplnych, a nawet zgonów związanych z falami gorąca i dużym dopływem promieniowania słonecznego (Matzarakis, Mayer 1991; Mayer, Matzarakis 1997; Kuchcik 2000).



Ryc. 52. Przebieg dzienny temperatury odczuwalnej (T_c) oraz całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) na podwórku przy ul. Twardej (Śródmieście) oraz K_{glob} na poziomie dachu, 30 marca 2002 r.
Daily course of subjective temperature (T_c) and global solar radiation (K_{glob}) at the downtown court (podwórko) and roof (dach), 30 March 2002

Z podobnym zjawiskiem nagłych, skokowych zmian temperatury odczuwalnej mamy do czynienia wtedy, gdy przechodzimy pomiędzy zacienioną a nasłonecznioną stroną ulicy lub gdy wychodzimy z parku na nasłonecznioną ulicę. Można to prześledzić porównując dzienny przebieg temperatury odczuwalnej (T_c) w niektórych punktach w mieście i poza miastem. Jako ilustrację wybrano trzy słoneczne dni reprezentujące różne pory roku: zimą (8 grudnia 2001 r.), wiosną (31 maja 2002 r.) i lato (15 lipca 2002 r.). Wszystkie dni charakteryzowały się słabym i umiarkowanym wiatrem ($1-3 \text{ m s}^{-1}$).

W dniu 8 grudnia 2001 r., podczas zalegania powietrza polarno-kontynentalnego, natężenie całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) wynosiło maksymalnie 300 W m^{-2} , a temperatura powietrza (t) wahała się od około -15°C o świcie do około -3°C w godzinach południowych. Pomimo niskiej temperatury powietrza, obserwowano w miejscach nasłonecznionych znaczące podwyższenie temperatury odczuwalnej, która w godzinach okołopołudniowych wskazywała na występowanie odczucia „chłodno” (ryc. 53).



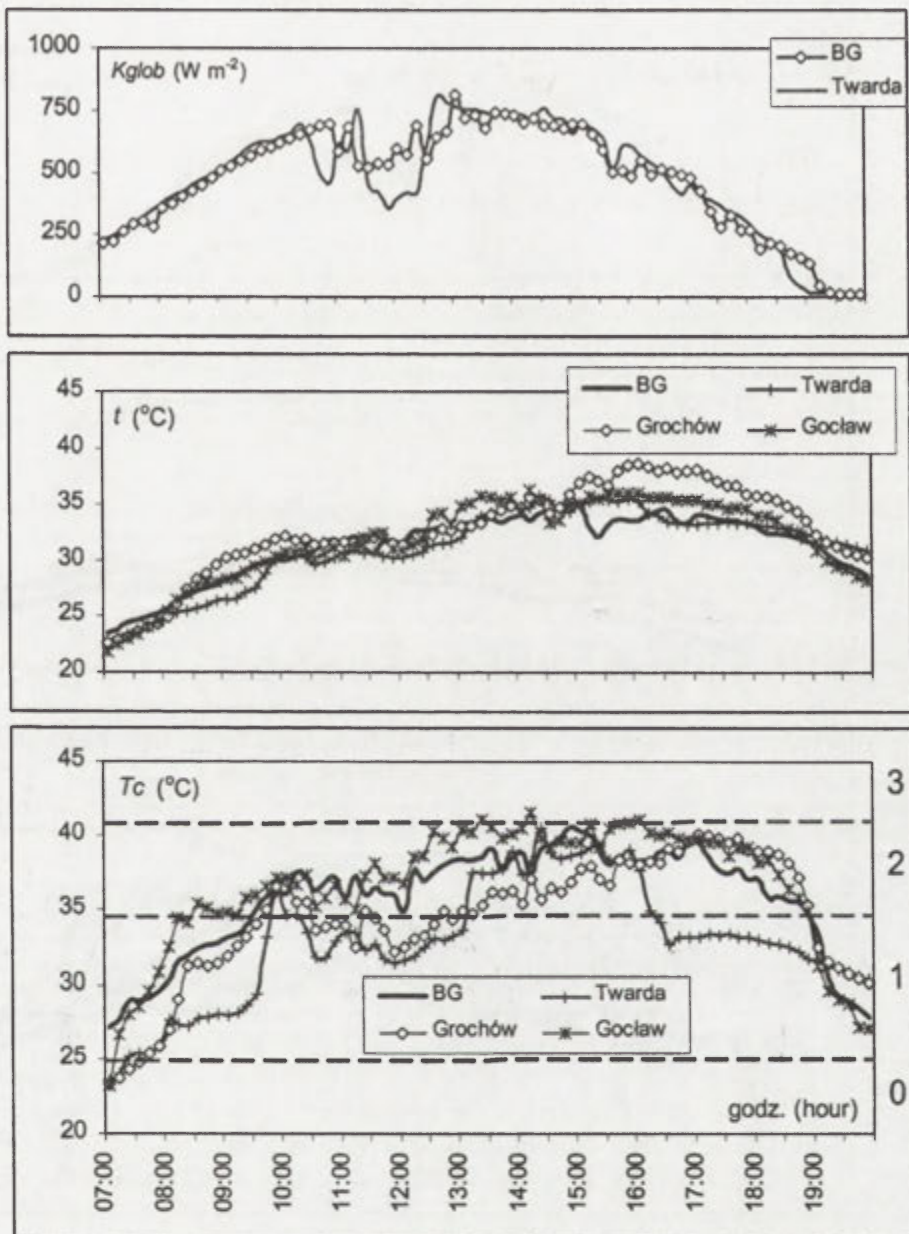
Ryc. 53. Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) oraz temperatura powietrza (t) i temperatura odczuwalna (T_c) podczas pogodnego dnia zimowego (8 grudnia 2001 r.) w wybranych punktach aglomeracji warszawskiej: poza miastem (BG), podwórko w centrum (Twarda), podwórko na Grochowie, osiedle jednorodzinne (Gocław); -2 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „zimno”,
-1 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „chłodno”

Intensity of global solar radiation (K_{glob}), air temperature (t) and subjective temperature (T_c) during sunny winter day (8 Dec 2001) at some sites of Warsaw agglomeration: rural area (BG), downtown court (Twarda), Grochów court, villa residential area (Gocław); -2 – T_c range of cold sensations,
-1 – T_c range of cool sensations

Taki przebieg dzienny T_c występował w Borowej Górze i na Gocławiu, gdzie nie było przeszkód w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego. Wśród zabudowy Grochowa promienie słoneczne docierały do dna podwórka tylko przez krótki czas, powodując wyraźne złagodzenie temperatury odczuwalnej. Natomiast w dnie głębokiego podwórka w centrum miasta (Twarda) panowało ciągłe zacienienie, które nie pozwalało na wzrost temperatury odczuwalnej. Była ona przez cały dzień znacznie niższa niż poza miastem i niż w miejscach nasłonecznionych w mieście.

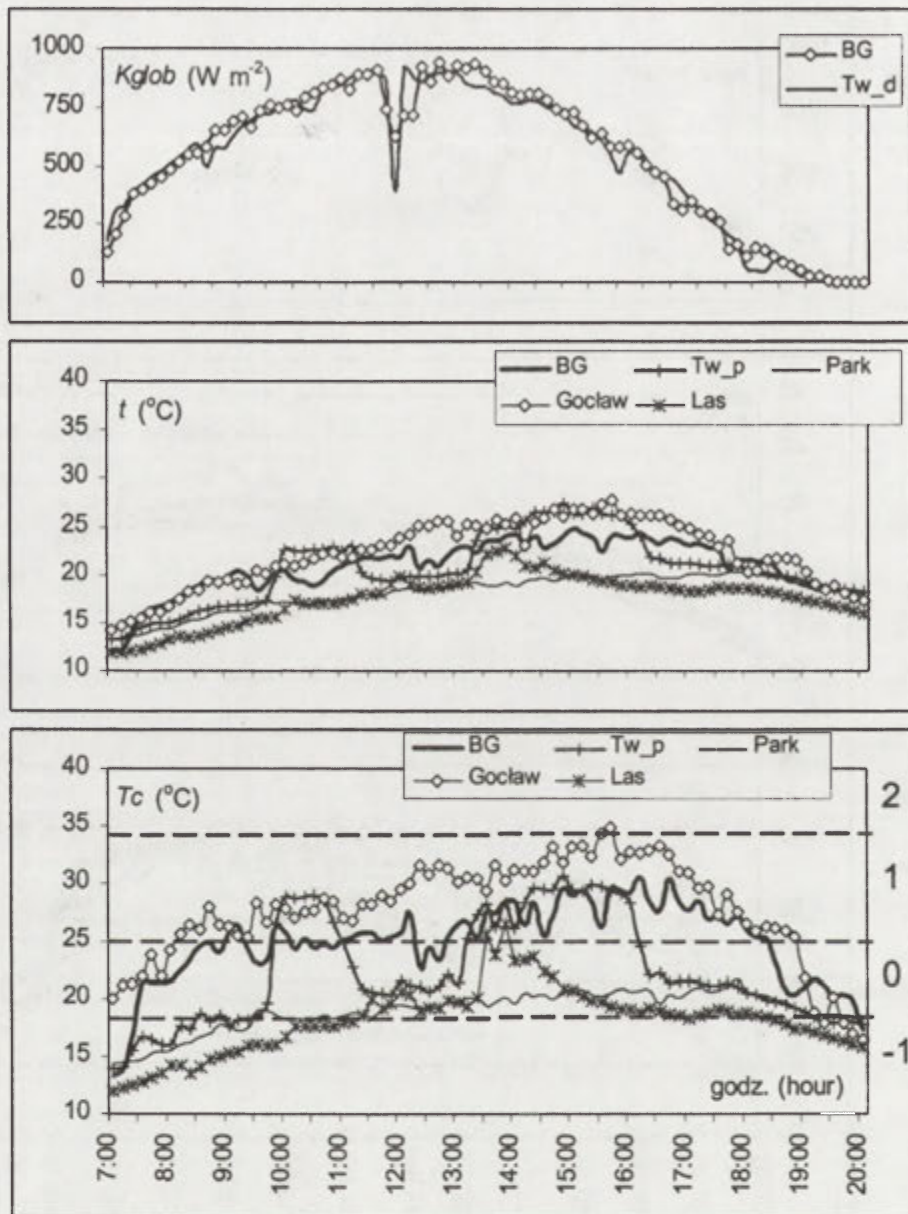
Interesująco przedstawiał się przebieg dzienny temperatury odczuwalnej podczas bardzo gorącego dnia letniego z adwekcją powietrza zwrotnikowego (15 lipca 2001 r.). Natężenie K_{glob} sięgało 850 W m^{-2} , przy czym w godzinach okołopołudniowych wystąpiło jego osłabienie związane ze wzrostem zachmurzenia konwekcyjnego. Temperatura powietrza poza miastem sięgała około 35°C . Na wartości temperatury odczuwalnej miały wpływ, podobnie jak zimą, warunki nasłonecznienia w punkcie pomiarowym. W zacienionych dnach podwórek wartości T_c były niższe niż w miejscach eksponowanych na działanie promieni słonecznych i przez znaczną część dnia wskazywały na występowanie jedynie odczucia „ciepło”. W tym samym czasie w Borowej Górze i na Gocławiu (ale także w Zielonce i na Siekierkach, gdzie panowały podobne jak na Gocławiu warunki insolacyjne) wartości T_c sięgały 40°C , a więc były bliskie granicy występowania odczuć „bardzo gorąco” (ryc. 54).

W dniu 31 maja 2002 r., podczas zalegania powietrza polarno-kontynentalnego, natężenie K_{glob} sięgało 900 W m^{-2} , a temperatura powietrza poza miastem – 24°C . Pomiary temperatury odczuwalnej wykonywano wtedy w Borowej Górze, w centrum Warszawy (Twarda), na osiedlu jednorodzinym (Gocław) oraz wewnątrz lasu (Las) i w Ogrodzie Botanicznym UW (Park). Poza opisanymi wyżej różnicami T_c pomiędzy centrum miasta i terenem pozamiejskim warto podkreślić wyraźne złagodzenie warunków odczuwalnych w parkach i lasach. Wartości T_c w tych środowiskach były niższe niż w terenie otwartym i zabudowanym nawet o 10-15 deg. Po południu, podczas gdy wśród zabudowy i poza miastem wartości T_c wskazywały na występowanie odczuć „ciepło”, to w lesie i w parku dominowało odczucie „komfortowo” (ryc. 55).



Ryc 54. Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) oraz temperatura powietrza (t) i temperatura odczuwalna (T_c) podczas pogodnego dnia letniego (15 lipca 2001 r.) w wybranych punktach aglomeracji warszawskiej: poza miastem (BG), podwórko w centrum (Twarda), podwórko na Grochowie, osiedle jednorodzinne (Gocław); 0 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „komfortowo”, 1 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „ciepło”, 2 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „gorąco”, 3 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „bardzo gorąco”

Intensity of global solar radiation (K_{glob}), air temperature (t) and subjective temperature (T_c) during sunny summer day (15 July 2001) at some sites of Warsaw agglomeration: rural area (BG), downtown court (Twarda), Grochów court, villa residential area (Gocław); 0 – T_c range of comfort sensations, 1 – T_c range of warm sensations, 2 – T_c range of hot sensations, 3 – T_c range of very hot sensations

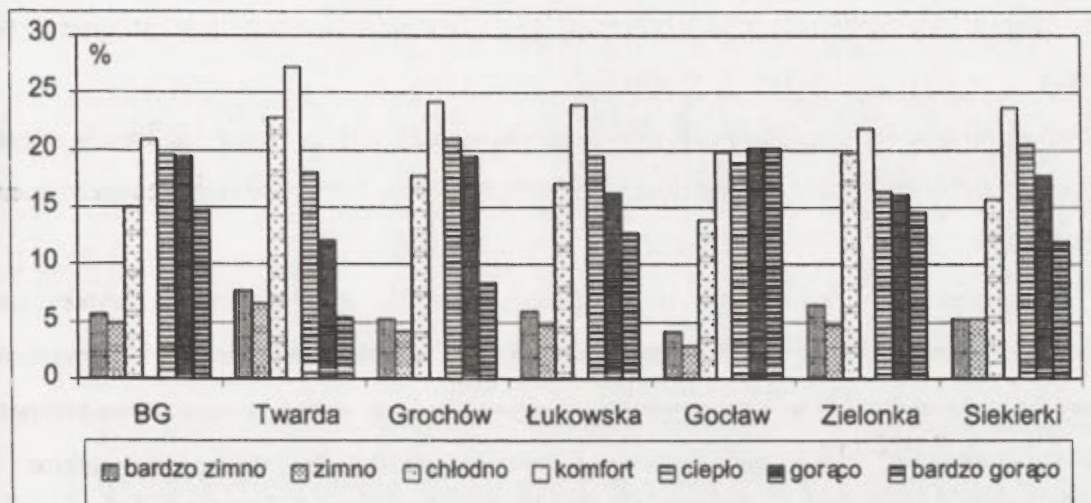


Ryc. 55. Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) oraz temperatura powietrza (t) i temperatura odczuwalna (T_c) podczas pogodnego dnia wiosennego (31 maja 2002 r.) w wybranych punktach aglomeracji warszawskiej: poza miastem (BG), podwórko w centrum (Twarda), osiedle jednorodzinne (Gocław), Park i Las; -1 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „chłodno”, 0 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „komfortowo”, 1 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „ciepło”, 2 – zakres T_c odpowiadający odczuciu „gorąco”

Intensity of global solar radiation (K_{glob}), air temperature (t) and subjective temperature (T_c) during sunny spring day (31 May 2001) at some sites of Warsaw agglomeration: rural area (BG), downtown court (Twarda), Grochów court, villa residential area (Gocław); 0 – T_c range of comfort sensations, 1 – T_c range of warm sensations, 2 – T_c range of hot sensations,

Ogólny obraz przestrzennego zróżnicowania warunków biotermicznych w Warszawie i w jej okolicach prezentuje rycina 56. Zawiera ona częstość odczuć ciepłych występujących w obrębie różnych rodzajów środowiska miejskiego i pozamiejskiego w okresie od czerwca do

września 2001 r. Obliczono je na podstawie pomiarów, wykonywanych w odstępach 10 minut, pomiędzy godz. 8:00 a 20:00.



Ryc. 56. Częstość (%) różnych odczuć cieplnych obserwowanych w wybranych miejscach aglomeracji warszawskiej, czerwiec – wrzesień 2001

Frequency (%) of various thermal sensations observed in some sites of Warsaw agglomeration, June – September 2001

Stosunkowo mało zróżnicowane przestrzennie jest pojawianie się w badanym okresie odczuć „bardzo zimno” i „zimno”. Na wszystkich porównywanych stanowiskach ich częstość wynosiła 3-8%. Częstość pozostałych odczuć cieplnych była bardzo zróżnicowana w różnych częściach aglomeracji. Na przykład odczucia „bardzo gorąco” pojawiały się z częstością od około 5% na podwórku przy ul. Twardej i 8% na podwórku w centrum Grochowa do 20% na nowym, jednorodzinym osiedlu Goćław; poza miastem (w Borowej Górze) sytuacje takie stanowiły około 15% przypadków. Wyraźną dominacją odczuć „chłodno” (23%) i „komfortowo” (27%) odznaczało się śródmiejskie podwórko (Twarda). W tym samym okresie poza miastem te dwie klasy odczuć cieplnych stanowiły po około 20% przypadków. Zmniejszona – w stosunku do Borowej Góry – częstość odczuć „komfortowo” była obserwowana tylko na stanowisku Goćław (ryc. 56).

Podsumowując tę część badań można stwierdzić, że na odczuwalne warunki termiczne w aglomeracji Warszawskiej wpływają:

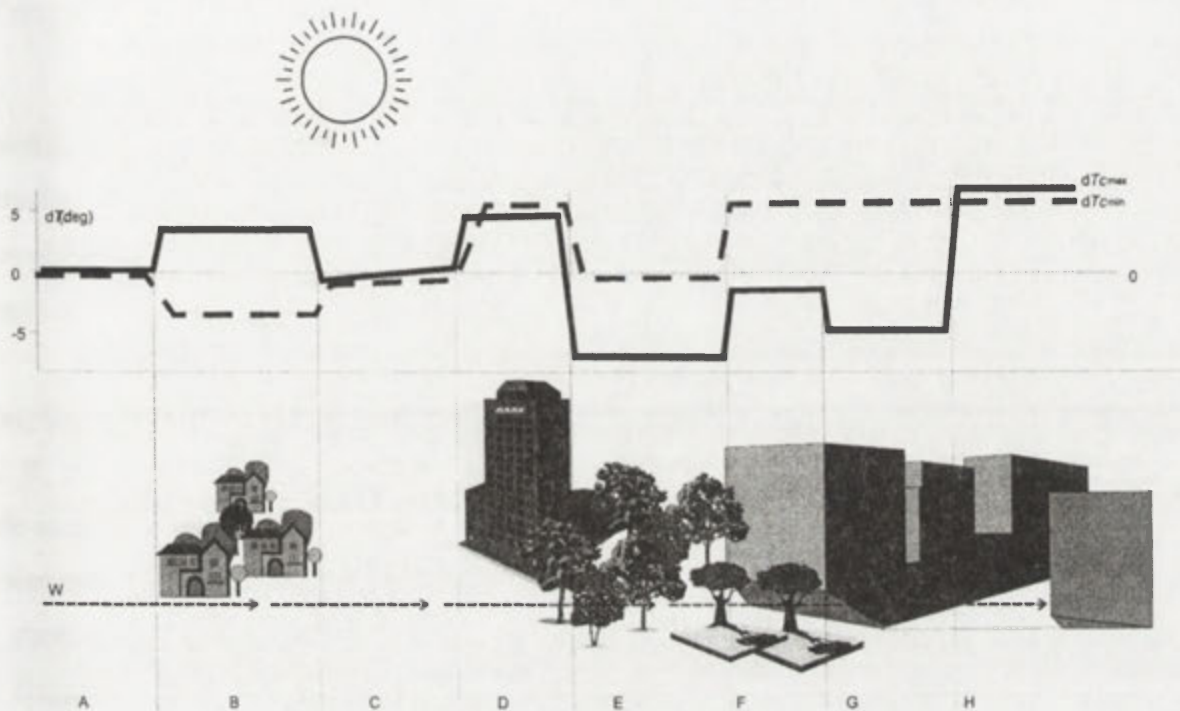
- czynniki astronomiczne, powodujące sezonowe zmiany natężenia promieniowania słonecznego i temperatury powietrza,

- czynniki cyrkulacyjne, to znaczy kierunek adwekcji powietrza oraz rodzaj zalegającej nad Mazowszem masy powietrza,
- czynniki antropogeniczne, przejawiające się głównie poprzez przekształcanie pokrycia terenu, powodujące występowanie nad obszarami silnie zurbanizowanymi tzw. miejskiej wyspy ciepła,
- czynniki lokalne (np. struktura zabudowy, zadrzewienia), poprzez modyfikowanie warunków dopływu promieniowania słonecznego do podłoża, przepływu powietrza oraz temperatury powietrza.

Największą kontrastowością dobową warunków biotermicznych charakteryzują się obszary osiedli jednorodzinnych. Nocami obserwuje się tam duże wychłodzenie przygruntowej warstwy powietrza i obniżenie temperatury odczuwalnej, natomiast w ciągu dnia temperatura odczuwalna jest znacząco wyższa niż w innych częściach miasta i w terenie pozamiejskim.

Największą kontrastowością przestrzenną warunków biotermicznych odznacza się centrum miasta, gdzie różnice biotermiczne pomiędzy nasłonecznionymi i zacienionymi fragmentami zabudowy sięgają w pogodne, gorące dni letnie nawet 15-20 deg.

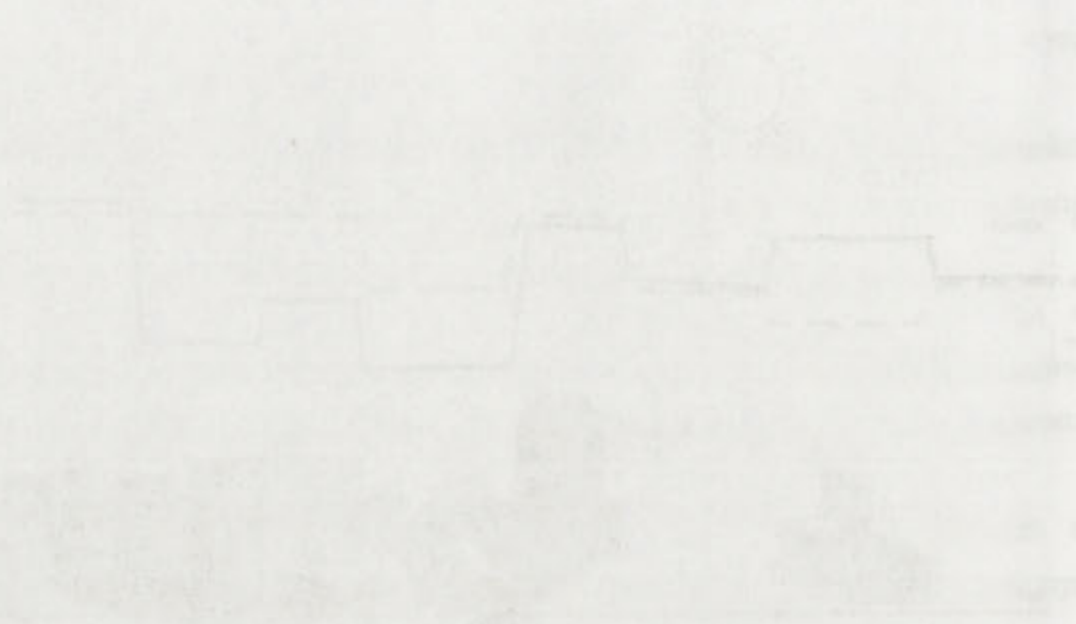
Na podstawie uogólnionych wyników pomiarów T_c można stworzyć następujący model zmian temperatury odczuwalnej podczas poruszania się pomiędzy różnymi rodzajami środowiska podmiejskiego i miejskiego. W ciągu dnia wysokie wartości temperatury odczuwalnej obserwowane są w obrębie eksponowanych na działanie promieni słonecznych fragmentów zabudowy miejskiej i podmiejskiej, a szczególnie wysokie – na nasłonecznionych odcinkach kanionów ulicznych. Z drugiej strony parki i fragmenty zabudowy o znacznym zacienieniu (przez drzewa i budynki) odznaczają się stosunkowo łagodnymi warunkami biotermicznymi. W godzinach nocnych i porannych zróżnicowanie przestrzenne warunków biotermicznych jest stosunkowo małe. Jako wyraźnie cieplejszy od otoczenia wyróżnia się obszar zwartej zabudowy miejskiej. Łagodząco na warunki biotermiczne wpływają obszary zieleni wysokiej (parki i lasy), w obrębie których wartości temperatury odczuwalnej są w ciągu dnia wyraźnie obniżone w stosunku do otoczenia, a nocą nie dochodzi na nich do znacznego wychłodzenia przygruntowej warstwy powietrza (ryc. 57).



Ryc. 57. Schemat zmian temperatury odczuwalnej w ciągu dnia ($dT_{c_{max}}$) i w ciągu nocy ($dT_{c_{min}}$) podczas przemieszczania się wzdłuż linii „W” poprzez różne rodzaje środowiska podmiejskiego i miejskiego:
 A – obszar rolniczy poza miastem (obszar odniesienia), B – osiedle podmiejskie,
 C – obszar rolniczy w granicach miasta, D – luźna zabudowa wysoka, E – park, F – zabudowa miejska, częściowo zacieniona, G – całkowicie zacieniony odcinek kanionu ulicznego, H – nasłoneczniony odcinek kanionu ulicznego

Model of the changes of subjective temperature during the day ($dT_{c_{max}}$) and during the night ($dT_{c_{min}}$) along „W” profile at various types of landscape: A – rural area out of the city (reference site),

B – suburban residential area, C – rural area in the city, D – no-dense, high settlements, E – park, F – partially shaded urbanised area, G – fully shaded side of street canion, H – sunny side of street canion



Część II

Warunki pogodowe

Jednym ze sposobów charakterystyki oraz oceny warunków klimatycznych i bioklimatycznych jest analiza całego zespołu elementów meteorologicznych składających się na aktualne warunki pogodowe. Poza ogólnymi klasyfikacjami pogody (np. Woś 2000) istnieją także klasyfikacje rozpatrujące sytuacje meteorologiczne z punktu widzenia ich oddziaływania na organizm człowieka (por. Błażejczyk 1983, 2001 a; 2002, Kozłowska-Szczęsna i in. 1997).

W obecnym opracowaniu do bioklimatycznej oceny warunków pogodowych zastosowano klasyfikację opracowaną przez K. Błażejczyka (2001 a, 2002). Klasyfikacja ta, zgodnie z sugestiami C. R. de Freitas (2001), obejmuje trzy kategorie informacji dotyczących pogody, ważne dla człowieka przebywającego, odpoczywającego lub pracującego na otwartym powietrzu:

- warunki wizualne (w oryginale aesthetic – estetyczne), na które składają się między innymi zachmurzenie, widzialność, długość dnia, usłonecznienie,
- fizyczny stan atmosfery, obejmujący między innymi opady, pokrywę śnieżną, wiatr, promieniowanie słoneczne (w tym nadfioletowe), zanieczyszczenie powietrza,
- warunki biotermiczne, przez które rozumie się łączny efekt warunków meteorologicznych oraz związanych z nimi reakcji fizjologicznych człowieka.

1. Biotermiczna klasyfikacja pogody

Przedstawiona poniżej biotermiczna klasyfikacja pogody może być używana do szczegółowej charakterystyki zarówno aktualnych warunków pogodowych, jak również stosowana jako podstawowa informacja dotycząca potencjału bioklimatycznego dowolnego okresu (dzień, miesiąc, pora roku) lub/i obszaru. Do scharakteryzowania warunków pogodowych z punktu widzenia ich oddziaływania na organizm człowieka i na możliwość długotrwałego przebywania na otwartym powietrzu oparto się na cechach biotermicznych pogody oraz na niektórych charakterystykach meteorologicznych.

W klasyfikacji uwzględniono cztery cechy biotermiczne warunków pogodowych:

1. odczucia cieplne człowieka, kształtujące się w wyniku procesu dostosowywania się organizmu do stanu fizycznego otaczającego powietrza,
2. intensywność bodźców radiacyjnych,
3. rodzaj stresu termofizjologicznego,

4. natężenie odczucia parności oraz trzy charakterystyki meteorologiczne:
5. kontrastowość warunków termicznych w ciągu dnia,
6. występowanie opadów atmosferycznych,
7. występowanie pokrywy śnieżnej.

W klasyfikacji posłużono się cyfrowym zapisem ocenianych składników pogody. Określają one kolejno: typ, podtyp i klasę pogody (tab. 18).

1.1. Typy pogody

Jednym z podstawowych elementów subiektywnej oceny warunków pogodowych jest obciążenie cieplne organizmu powodowane przez aktualne warunki termiczne, wilgotnościowe, radiacyjne i anemologiczne. W przypadku zajęć rekreacyjnych na świeżym powietrzu warunki te powinny przynosić człowiekowi odpoczynek, zadowolenie i satysfakcję oraz służyć regeneracji sił i profilaktyce zdrowia. Dla człowieka pracującego lub po prostu poruszającego się po mieście, ważne jest zachowanie pełnej sprawności psychofizycznej, a istotny wpływ na to mają aktualne warunki biotermiczne. Jednym z podstawowych warunków, jaki musi być spełniony, aby osiągnąć te cele jest zachowanie równowagi cieplnej organizmu przy najmniejszym obciążeniu układu termoregulacyjnego. Najpełniejszym sposobem oceny warunków biotermicznych, a więc obejmujących termiczne oddziaływania atmosfery na człowieka oraz wywołane nimi reakcje fizjologiczne organizmu jest analiza bilansu cieplnego (Błażejczyk 1993; 2001a, c).

Podstawową miarą warunków biotermicznych są subiektywne odczucia ciepła człowieka, związane z przebywaniem w konkretnych warunkach otoczenia. Do oceny odczuć cieplnych zastosowano wskaźnik *Temperatury Odczuwalnej (STI – Subjective Temperature Index)*, wyznaczony w wyniku pełnej analizy bilansu cieplnego człowieka. Wartości tego wskaźnika są podstawą zaliczenia danych warunków pogodowych do jednego z poniższych typów:

Typ pogody	STI (°C)	Charakterystyka opisowa:
-3	< -38,0	- pogoda bardzo zimna
-2	-38,0 – -0,5	- pogoda zimna
-1	-0,4 – 22,5	- pogoda chłodna
0	22,6 – 31,9	- pogoda komfortowa
1	32,0 – 45,9	- pogoda ciepła
2	46,0 – 54,9	- pogoda gorąca
3	≥ 55,0	- pogoda bardzo gorąca.

Oznaczenie typu pogody znajduje się na pierwszej pozycji zapisu cyfrowego.

Znak zapisu cyfrowego	Uwzględnione charakterystyki pogody:													
	Typ pogody:		Podtyp pogody:						Klasa pogody:					
	Dominujące odczucia cieplne:		Bodźce radiacyjne:		Stres fizjologiczny:		Intensywność parności:		Dobowe kontrasty termiczne:		Opad atmosferyczny:		Pokrywa śnieżna:	
	symbol	opis	symbol	opis	symbol	opis	symbol	opis	symbol	opis	symbol	opis	symbol	opis
1	-3 -2 -1 0 1 2 3	Bardzo zimna Zimna Chłodna Komfortowa Ciepła Gorąca Bardzo gorąca												
2			1 2 3	Słabe Umiarkowane Silne										
3					C H	Zimna Gorąca								
4							0 1 2	Brak Umiarkowana Duża						
5									0 1	Małe Duże				
6											0 1	Bez opadu Z opadem		
7													0 1	Bez śniegu Ze śniegiem

1.2. Podtypy pogody

W każdym z typów pogody wydziela się szereg jej podtypów na podstawie następujących cech warunków biotermicznych: intensywności bodźców radiacyjnych, rodzaju procesów adaptacyjnych organizmu do warunków otoczenia (stres fizjologiczny) oraz intensywności obciążeń termiczno-wilgotnościowych (stanów parności). Każdej z tych charakterystyk pogody przypisano odpowiednio: drugi, trzeci i czwarty znak zapisu cyfrowego.

Bardzo ważnym elementem pogody jest promieniowanie słoneczne (Błażejczyk 1994; 1998; Błażejczyk i in. 1993; Brown, Gillespie 1986; Nielsen i in. 1988). Do oceny intensywności bodźców radiacyjnych zastosowano wartość promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R'). Przyjęto następujące przedziały R' :

Drugi znak zapisu:	R' ($W m^{-2}$)	Bodźce radiacyjne:
1	$\leq 100,0$	– słabe
2	100,1 – 200,0	– umiarkowane
3	$>200,0$	– silne.

Trzeci znak zapisu informuje o rodzaju stresu termofizjologicznego związanego z przebywaniem w terenie otwartym. Dokonuje się tego na podstawie wartości wskaźnika PhS (*Physiological Strain*) w sposób następujący:

Trzeci znak zapisu	PhS	Rodzaj stresu fizjologicznego:
C	≥ 1	- stres zimna
H	< 1	- stres gorąca.

Wskaźnik PhS jest stosunkiem strat ciepła z organizmu człowieka poprzez unoszenie (konwekcję) oraz strat ciepła w wyniku parowania potu (ewaporacji). Wtedy, gdy przeważają konwekcyjne straty ciepła występuje fizjologiczny stres zimna, który przejawia się następującymi reakcjami organizmu: obniżeniem się temperatury skóry, osłabieniem przepływu krwi w obrębie mięśni i skóry, zwiększeniem ciśnienia krwi, zwiększeniem właściwości termoizolacyjnych skóry, a w warunkach silnego stresu zimna – drżeniem mięśniowym (Clark, Edholm 1985, Holmér 1988, ISO/DC 110*9).

Stres gorąca ma miejsce wtedy, gdy w wymianie ciepła z otoczeniem dominuje ewaporacja. Stan taki prowadzi do: zwiększenia przepływu krwi w obrębie skóry, zmniejszenia ciśnienia krwi (Clark, Edholm 1985; Mitchell 1977), zwiększenia częstości tętna (Błażejczyk i in. 1999), intensywnego pocenia się, którego skutkiem może być odwodnienie organizmu (Beaumont, Bullard

1965). Stres gorąca przejawia się także okresowymi zmianami temperatury skóry, od bardzo wysokiej podczas nagrzewania się suchej skóry do niskiej podczas fazy pocenia się (Błażejczyk 1993; 1998; Malchaire 1991).

Czwarty znak zapisu cyfrowego oznacza natężenie odczucia parności związanego z aktualnymi warunkami termiczno-wilgotnościowymi. Posłużono się w tym celu wartościami wskaźnika *HSI* (*Heat Stress Index* – Belding i Hatch 1955) wyznaczonego z równania bilansu cieplnego człowieka:

Czwarty znak zapisu	<i>HSI</i> (%)	Intensywność parności:
0	≤ 30,0	- brak
1	30,1 – 70,0	- umiarkowana
2	>70,0	- duża.

Tak więc w każdym typie pogody może wystąpić 18 jej podtypów (tab. 19). W praktyce jednak, pewne kombinacje elementów pogody wykluczają się (np. silne odczucie parności nie współwystępuje z fizjologicznym stresem zimna) lub też w pewnych typach pogody nie mogą pojawić się określone jej podtypy (np. w typie pogody zimnej i bardzo zimnej nie występują podtypy związane z fizjologicznym stresem gorąca i odczuciem parności).

Tabela 19. Podtypy pogody wyróżniane w obrębie każdego z siedmiu typów pogody i ich zapis cyfrowy

Bodźce radiacyjne	Fizjologiczny stres zimna			Fizjologiczny stres gorąca		
	Intensywność parności					
	brak	umiarkowana	duża	brak	umiarkowana	duża
słabe	1C0	1C1	1C2	1H0	1H1	1H2
umiarkowane	2C0	2C1	2C2	2H0	2H1	2H2
silne	3C0	3C1	3C2	3H0	3H1	3H2

1.3. Klasy pogody

Kolejnym poziomem klasyfikacji pogody są jej klasy. Poza wymienionymi wyżej charakterystykami biotermicznymi na możliwość i efektywność rekreacji i turystyki wpływają bowiem także niektóre elementy i charakterystyki meteorologiczne.

Dla tych form aktywności człowieka, które wiążą się z całodobowym lub długotrwałym przebywaniem w terenie otwartym ważna jest informacja o kontrastach termicznych w ciągu dnia, określonych poprzez dobową amplitudę temperatury (*d_t*):

Piąty znak zapisu	dt (deg)	Dobowe kontrasty termiczne:
0	$\leq 8,0$	- małe
1	$> 8,0$	- duże.

Ważnym elementem meteorologicznym, bardzo silnie oddziałującym na możliwość i przebieg rekreacji oraz na warunki pracy i przebywania w terenie otwartym, są opady atmosferyczne. Bardzo ważny jest nie tylko sam fakt wystąpienia opadu, ale przede wszystkim czas jego trwania, zwłaszcza w ciągu dnia. Niestety, tylko pierwsza z tych charakterystyk jest powszechnie dostępna w meteorologicznych, cyfrowych bazach danych. Dlatego też do oceny tego elementu pogody zastosowano dobową sumę opadu (RR):

Szósty znak zapisu	RR (mm)	Dzień:
0	< 1	- bez opadu
1	≥ 1	- z opadem.

Elementem pogody, który można ocenić na podstawie standardowych, meteorologicznych baz danych, a który jest bardzo ważny dla rekreacji i turystyki narciarskiej jest pokrywa śnieżna (SC). Przyjęto, za T. Łobożewiczem (1979), że warunki przydatne do uprawiania narciarstwa występują dopiero wtedy, gdy grubość pokrywy śnieżnej wynosi co najmniej 10 cm:

Siódmy znak zapisu	SC (cm)	Dzień:
0	< 10	- bez śniegu
1	≥ 10	- ze śniegiem.

Tak więc, w każdym z typów pogody można wyróżnić osiem jej klas, związanych z występowaniem wymienionych wyżej cech warunków meteorologicznych (tab. 20).

Tabela 20. Klasy pogody występujące w każdym z podtypów pogody

Dobowe kontrasty termiczne	Dzień bez opadu		Dzień z opadem	
	Dzień bez pokrywy śnieżnej	Dzień z pokrywą śnieżną	Dzień bez pokrywy śnieżnej	Dzień z pokrywą śnieżną
małe	000	001	010	011
duże	100	101	110	111

Ostatecznie więc pełny cyfrowy zapis warunków pogodowych składa się z siedmiu znaków, a pełne rozwinięcie charakterystyki pogody wymaga „rozszyfrowania” znaczenia poszczególnych znaków zapisu. Na przykład:

- zapis -22C0011 oznacza pogodę zimną, z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi, charakteryzującą się występowaniem fizjologicznego stresu zimna oraz brakiem odczucia parności, z małymi dobowymi kontrastami termicznymi, z opadem oraz pokrywą śnieżną o grubości >10 cm,
- zapis 23H1100 oznacza pogodę gorącą, z silnymi bodźcami radiacyjnymi, charakteryzującą się fizjologicznym stresem gorąca i umiarkowanym odczuciem parności, z dużymi dobowymi kontrastami termicznymi, bez opadu i pokrywy śnieżnej.

W przypadku, gdy dane meteorologiczne nie pozwalają na określenie klasy pogody należy odpowiedni symbol cyfrowy zastąpić znakiem x. Wszystkie obliczenia związane z określeniem typu, podtypu i klasy pogody przeprowadzono za pomocą programu BioKlima, wersja 2.0 © (Błażejczyk M., Błażejczyk K. 2002).

1.4. Przydatność warunków pogodowych dla człowieka

W praktycznych zastosowaniach ważne jest nie tylko z jakim typem, podtypem i klasą pogody można się zetknąć. Istotne są także wskazówki, czy i w jakim stopniu dane warunki pogodowe są przydatne do przebywania i pracy na wolnym powietrzu oraz dla poszczególnych form rekreacji. O ile stosunkowo łatwo jest ocenić warunki pogodowe na podstawie prostych informacji o zjawiskach meteorologicznych (opad, pokrywa śnieżna) o tyle ocena warunków biotermicznych winna się opierać na fizjologicznych podstawach. Zbyt często bowiem dochodzi do powstania zakłóceń w pracy układu termoregulacyjnego, które w skrajnych przypadkach mogą się kończyć niebezpiecznymi dla zdrowia stanami przechłodzenia oraz odmrożeniami lub przegrzaniem organizmu, a nawet udarami ciepłymi i słonecznymi.

Dlatego też dokonano oceny poszczególnych sytuacji pogodowych z punktu widzenia różnych potrzeb przebywania człowieka w terenie otwartym:

- kąpieli słonecznych (SB),
- kąpieli powietrznych (AB),
- spacerów i spokojnych zajęć terenowych oraz poruszania się po mieście (MR),
- gier terenowych i intensywnych marszów, turystyki pieszej i rowerowej oraz dla pracy w terenie otwartym (AR),
- turystyki i rekreacji narciarskiej (ST).

Zastosowano trzystopniową skalę przydatności pogody:

- przydatna bez ograniczeń (wskaźnik oceny, $WEI = 3$),
- przydatna z ograniczeniami (wskaźnik oceny, $WEI = 1$),
- nieprzydatna (wskaźnik oceny, $WEI = 0$).

Zaliczając poszczególne typy, podtypy i klasy pogody do jednej z powyższych grup przydatności z punktu widzenia przebywania człowieka w terenie otwartym kierowano się nie tylko wieloletnim doświadczeniem w tym zakresie, ale przede wszystkim wynikami licznych badań termofizjologicznych wskazujących na różnorakie reakcje organizmu zarówno na bodźce meteorologiczne, jak i na stopień aktywności fizycznej człowieka. Pełne zestawienie wskaźników WEI dla różnych klas pogody znajduje się w pracy K. Błażejczyka (2002).

2. Warunki pogodowe w Warszawie

Przeanalizowano pojawianie się różnych sytuacji pogodowych w zależności od występującej nad Niziną Mazowiecką masy powietrza. Biotermiczne typy pogody występujące w strefie peryferyjnej Warszawy (Okęcie) określono dla każdego dnia okresu 1994-2001. Zbadano także, czy i jak warunki pogodowe w centrum miasta różnią się od warunków pogodowych w jego otoczeniu. W tym celu wykonano analizę porównawczą warunków pogodowych na obszarze Mazowsza na podstawie danych z lat 1961-1970 dla 5 stacji meteorologicznych: Warszawa-Bielany, Świder, Wyszaków, Sinołęka i Skierniewice.

2.1. Masy powietrza a warunki pogodowe

W badanym okresie, 1994-2001, pojawiało się w Warszawie 95 różnych rodzajów pogody wyróżnionych na podstawie opisanej wyżej klasyfikacji. Najczęściej (około 25% dni w roku) występowała pogoda chłodna, z umiarkowanymi lub słabymi bodźcami radiacyjnymi, podczas której panował termofizjologiczny stres zimna, brak było odczucia parności, dobowe różnice temperatury były niewielkie, nie występowała pokrywa śnieżna, mógł natomiast wystąpić opad atmosferyczny (klasy: -12C0000, -12C0010 i -11C0000). Nieznacznie rzadziej pojawiała się pogoda typu 12H1100 (7,3%) oraz 02C0100 (6,7%) (tab. 21).

Ponad 40% przypadków pogody oznaczonej symbolem -12C0000 obserwuje się podczas zalegania powietrza arktycznego, natomiast pogody typu -12C0010 (a więc z opadami atmosferycznymi) – w masie powietrza polarno-morskiego. Prawie 3/4 przypadków pogody chłodnej o symbolu -11C0000 (a więc ze słabymi bodźcami radiacyjnymi) występuje w masach PPM i PPMs.

Pogoda ciepła 12H1100 (a więc o umiarkowanych bodźcach radiacyjnych, wiążąca się z fizjologicznym stresem ciepła, umiarkowaną intensywnością parności i dużymi dobowymi kontrastami termicznymi) najczęściej była obserwowana w masie PPms, stanowiąc 1/3 wszystkich przypadków pogody związanych z tą masą powietrza.

Pomimo dość dużej różnorodności warunków pogodowych w Warszawie obserwuje się znaczną ich koncentrację. Spośród 95 obserwowanych rodzajów pogody 20 jej odmian stanowi ponad 80% wszystkich przypadków, a 7 z nich panuje łącznie przez ponad 50% dni w roku (poza wymienionymi wyżej typami są to jeszcze typy: -12C0100 oraz 12H0100.

Tabela 21. Częstość (%) występowania różnych rodzajów pogody na stacji Warszawa-Okęcie, wartości średnie roczne z lat 1994-2001

Pogoda			Częstość ogółem	Masa powietrza					Częstość skumulowana
Typ	Podtyp	Klasa		PA	PPk	PPm	PPms	PZ	
-1	2C0	000	8,9	4,01	0,24	2,81	1,68	0,14	8,9
-1	2C0	010	8,7	2,84	0,14	4,15	1,47	0,10	17,6
-1	1C0	000	8,6	1,30	0,86	3,08	3,29	0,07	26,2
1	2H1	100	7,3	0,48	1,78	1,88	2,47	0,72	33,5
0	2C0	100	6,7	1,92	0,92	2,36	1,34	0,17	40,2
-1	2C0	100	6,2	2,74	0,38	2,16	0,69	0,21	46,4
1	2H0	100	5,0	0,51	0,51	1,54	1,92	0,48	51,4
-1	1C0	010	4,3	0,72	0,10	2,26	1,16	0,07	55,7
-2	1C0	000	3,3	1,34	1,30	0,17	0,51		59,0
0	2C0	010	3,3	0,99		1,47	0,75	0,03	62,2
1	3H1	100	2,7	0,14	0,17	0,89	0,92	0,55	64,9
0	2C0	000	2,3	0,48	0,07	1,03	0,55	0,14	67,2
1	3H0	100	2,2	0,31	0,31	0,62	0,89	0,07	69,4
1	2H1	110	2,1	0,14	0,10	0,58	0,82	0,48	71,5
2	2H1	100	1,9	0,03	0,38	0,38	0,45	0,65	73,4
-1	2C0	110	1,7	0,69		0,75	0,27	0,03	75,1
0	2C0	110	1,5	0,31		0,99	0,24		76,7
1	2H0	110	1,4		0,10	0,58	0,65	0,07	78,1
-1	1C0	100	1,4	0,31	0,21	0,51	0,34		79,4
1	2H0	010	1,2		0,07	0,58	0,38	0,14	80,6
1	2C0	100	1,1	0,21	0,07	0,45	0,38		81,7
1	2C0	010	1,0	0,07	0,07	0,51	0,31		82,7
2	2H2	100	0,9		0,27	0,10		0,55	83,6
0	3C0	100	0,8	0,41		0,31	0,10		84,4
2	3H1	100	0,8			0,34	0,14	0,27	85,2
1	3C0	100	0,7	0,38		0,24	0,10		85,9
-1	1C0	110	0,7	0,24		0,41	0,03		86,6
1	2H0	000	0,7	0,03	0,10	0,27	0,14	0,10	87,2
-2	1C0	100	0,6	0,34	0,24		0,03		87,8

1	2C0	110	0,6	0,14	*	0,21	0,21	0,07	88,5
-1	3C0	100	0,6	0,14	*	*	0,45	*	89,0
1	3H1	110	0,5	*	0,03	0,27	0,10	0,10	89,6
-1	3C0	000	0,5	0,03	*	*	0,45	*	90,0
1	2C0	000	0,5	0,03	*	0,21	0,21	0,03	90,5
-2	2C0	000	0,5	0,24	0,14	0,03	0,07	*	91,0
0	2H0	100	0,5	*	0,07	0,24	0,14	0,03	91,5
1	3C0	000	0,4	0,10	0,03	0,14	0,17	*	91,9
0	2C2	010	0,4	0,10	0,03	*	0,31	*	92,4
-1	2C1	100	0,4	*	0,41	*	*	*	92,8
-2	2C0	100	0,4	0,17	0,21	*	0,03	*	93,2
-1	3C0	010	0,4	0,03	*	0,03	0,31	*	93,6
1	3H0	110	0,3	*	0,03	0,24	0,07	*	93,9
-2	1C0	010	0,3	0,17	0,10	0,03	0,03	*	94,2
-1	1C0	011	0,3	0,27	*	0,03	0,03	*	94,6
1	2H1	010	0,3	*	*	0,17	0,07	0,07	94,9
1	3H0	000	0,3	*	*	0,21	0,10	*	95,2
2	2H1	110	0,3	*	*	0,10	0,07	0,14	95,5
-1	2C1	000	0,3	*	0,31	*	*	*	95,8
0	2C2	100	0,2	*	*	*	0,14	0,07	96,0
1	3C0	010	0,2	0,07	0,03	0,03	0,07	*	96,2
-2	2C0	010	0,2	*	0,07	*	0,10	*	96,4
-1	1C0	001	0,2	0,03	0,07	0,07	*	*	96,6
-1	2C1	010	0,2	0,03	0,14	*	*	*	96,7
0	3C0	010	0,2	0,07	0,03	0,07	*	*	96,9
0	3C2	110	0,2	0,14	*	*	0,03	*	97,1
1	2H1	000	0,2	*	0,07	0,03	0,07	*	97,3
1	3H0	010	0,2	0,03	*	0,10	0,03	*	97,4
3	2H2	100	0,2	*	0,03	*	*	0,14	97,6
-1	2C0	011	0,1	0,07	*	0,03	0,03	*	97,7
-1	3C0	110	0,1	0,03	*	*	0,10	*	97,9
0	2C2	000	0,1	0,03	*	*	0,07	0,03	98,0
0	3C0	000	0,1	0,03	*	0,07	0,03	*	98,2
2	3H2	100	0,1	0,03	*	*	*	0,10	98,3
-1	2C1	001	0,1	*	0,10	*	*	*	98,4
-1	1C0	101	0,1	0,03	*	0,07	*	*	98,5
-1	2C0	001	0,1	0,07	*	*	0,03	*	98,6
0	3C2	010	0,1	0,07	*	*	0,03	*	98,7
1	3C0	110	0,1	0,07	*	*	*	0,03	98,8
1	3H1	000	0,1	*	*	0,07	0,03	*	98,9
-2	1C0	001	0,1	0,07	*	*	*	*	99,0
-2	1C0	101	0,1	0,07	*	*	*	*	99,0
-1	2C0	101	0,1	*	*	0,03	0,03	*	99,1
0	1C0	100	0,1	*	*	*	0,03	0,03	99,2
1	3H1	010	0,1	*	*	*	0,03	0,03	99,2
3	3H2	100	0,1	*	*	*	*	0,07	99,3
-2	1C0	011	0,0	0,03	*	*	*	*	99,3

-2	2C0	001	0,0	*	*	*	0,03	*	99,4
-2	2C0	110	0,0	0,03	*	*	*	*	99,4
-1	1C1	010	0,0	*	0,03	*	*	*	99,5
-1	1C1	011	0,0	*	0,03	*	*	*	99,5
-1	2C1	101	0,0	*	0,03	*	*	*	99,5
-1	3C0	001	0,0	*	*	*	0,03	*	99,6
-1	3C0	011	0,0	*	*	*	0,03	*	99,6
0	1C0	000	0,0	*	*	*	0,03	*	99,6
0	1C0	010	0,0	*	*	*	0,03	*	99,7
0	2C2	110	0,0	*	*	*	*	0,03	99,7
0	2H0	010	0,0	*	*	0,03	*	*	99,7
0	2H0	110	0,0	*	*	0,03	*	*	99,8
0	3C0	110	0,0	0,03	*	*	*	*	99,8
0	3C2	000	0,0	0,03	*	*	*	*	99,8
0	3C2	100	0,0	*	*	*	0,03	*	99,9
0	3H0	100	0,0	*	*	*	0,03	*	99,9
2	2H2	110	0,0	*	0,03	*	*	*	99,9
2	3H1	110	0,0	*	*	0,03	*	*	100,0
2	3H2	110	0,0	*	*	*	*	0,03	100,0

Do opracowania dołączono specjalną, sztywną wkładkę, która może ułatwić rozszyfrowanie zapisu cyfrowego pogody

Zauważono, że istnieje wyraźna cykliczność sezonowa warunków pogodowych. Zimą obserwuje się w Warszawie 24 rodzaje pogody, jesienią – 37, natomiast wiosną i latem – po około 50. W poszczególnych porach roku pogoda odznacza się odmiennymi cechami. Zimą najczęściej (27% dni) pojawia się pogoda chłodna, ze słabymi bodźcami radiacyjnymi, charakteryzująca się występowaniem fizjologicznego stresu zimna, bez opadu i pokrywy śnieżnej (-11C0000) lub pogoda różniąca się od niej występowaniem opadów atmosferycznych (-11C0010 – 15%). Te dwa rodzaje pogody stanowią łącznie ponad 43% wszystkich przypadków i najczęściej pojawiają się w masach powietrza polarno-morskiego i polarno-morskiego starego (tab. 22).

Wiosną z podobną częstością (około 12%) występuje pogoda o komfortowych warunkach biotermicznych i umiarkowanych bodźcach radiacyjnych, odznaczająca się fizjologicznym stresem zimna oraz dużymi dobowymi kontrastami termicznymi (02C0100) oraz pogoda chłodna, o umiarkowanych bodźcach radiacyjnych, charakteryzująca się fizjologicznym stresem zimna oraz opadami (-12C0010). Te rodzaje pogody obserwuje się głównie podczas zalegania mas powietrza arktycznego i polarno-morskiego.

Latem, przez ponad 1/5 dni, panuje pogoda ciepła, z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi, z dominacją termofizjologicznego stresu gorąca, umiarkowanym odczuciem parności i dużymi dobowymi kontrastami termicznymi (12H1100), a przez około 11% dni podobny typ pogody, ale nie

wiązący się z odczuciem parności (12H0100). Pierwszy z rodzajów pogody wiąże się głównie z masami PPms, PPK i PPM, natomiast drugi – z masami PPms i PPM. Latem, ze stosunkowo często występującą masą powietrza zwrotnikowego, najczęściej wiąże się pogoda oznaczona jako 22H1100 i 22H2100, a więc gorąca, z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi, dominacją stresu gorąca, umiarkowanym i silnym odczuciem parności oraz dużymi dobowymi kontrastami temperatury powietrza.

Jesienią następuje zwiększenie częstości pogody chłodnej (typ -12C0000) lub komfortowej, z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi i dominacją stresu zimna. Dodatkowymi cechami tej pogody są duże dobowe kontrasty termiczne (02C0100 i -12C0100) lub opady atmosferyczne (-12C0010). Typy te związane są najczęściej z masami PA i PPM, a niekiedy także PPms.

Ogólnie można stwierdzić, że ostatnia dekada XX w. charakteryzowała się w Warszawie wyraźną różnorodnością i zmiennością sezonową warunków pogodowych. Wprawdzie przez 44% dni w roku występowała pogoda chłodna, ale jej wyraźna kulminacja miała miejsce w okresie od października do marca (62-93% dni w miesiącu). Na drugim miejscu pod względem częstości znalazła się pogoda ciepła (29% dni w roku), z wyraźną kulminacją latem (72-79% dni w miesiącu). Miesiące letnie odznaczały się dużą różnorodnością typów pogody, od chłodnej do bardzo gorącej, co jest związane ze zwiększoną w tym okresie aktywnością cyrkulacji atmosferycznej (por. tab. 9 i 10). Obserwowana zmienność bodźców radiacyjnych nawiązuje zarówno do rocznego cyklu promieniowania słonecznego, jak i do sezonowych zmian zachmurzenia. Duża różnorodność warunków pogodowych latem wynika ze stosunkowo częstego występowania wtedy termofizjologicznego stresu zimna i związanych z nim reakcji dostosowawczych organizmu do warunków otoczenia. Na podkreślenie zasługuje także fakt bardzo częstego (60-82% dni w miesiącu) pojawiania się w cieplej połowie roku dużych dobowych kontrastów termicznych. Świadczy to o dużej dobowej zmienności warunków odczuwalnych, a więc także odczuć cieplnych i stresu termofizjologicznego (tab. 23).

Tabela 22. Częstość (%) dominujących w poszczególnych porach roku sytuacji pogodowych w różnych masach powietrza

Pogoda		Masa powietrza						
Zima								
Typ	Podtyp	Klasa	PA	PPk	PPm	PPms	PZ	Razem
-1	1C0	000	3,4	3,0	10,1	10,2	0,1	26,8
-1	1C0	010	2,2	0,4	8,4	4,1	0,3	15,3
-2	1C0	000	4,9	4,9	0,7	2,0		12,5
-1	2C0	000	3,9	0,1	3,9	3,5	0,1	11,6
-1	2C0	010	1,6		6,4	2,0		1
-1	2C0	100	1,0		2,6	0,7	0,3	4,7
-1	1C0	100	1,1	0,7	1,5	1,4		4,6
-2	1C0	100	1,4	0,7		0,1		2,2
-1	1C0	110	1,0		1,1	0,1		2,2
-2	2C0	000	1,0	0,4	0,1	0,3		1,9
-2	2C0	100	0,7	0,9		0,1		1,7
-1	2C0	110	0,3		1,0		0,1	1,4
-2	1C0	010	0,7	0,4	0,1	0,1		1,4
-1	1C0	011	0,5		0,1	0,1		0,8
-2	2C0	010				0,4		0,4
Lato								
Typ	Podtyp	Klasa	PA	PPk	PPm	PPms	PZ	Razem
1	2H1	100	1,9	5,1	4,7	8,5	1,5	21,8
1	2H0	100	1,1	0,4	3,4	5,6		10,4
2	2H1	100	0,1	1,5	1,4	1,6	2,3	6,9
1	2H1	110	0,4	0,4	1,8	2,8	1,1	6,5
1	3H1	100	0,3		1,4	3,3	0,6	5,5
1	2H0	010		0,3	2,2	1,4	0,5	4,3
1	3H0	100	0,4	0,1	1,1	2,6		4,2
2	2H2	100		1,1	0,4		2,2	3,7
1	2H0	110		0,1	1,8	1,5		3,4
1	2C0	010	0,1	0,3	1,6	1,2		3,3
0	2C0	010	1,2		1,8			3,0
2	3H1	100			0,8	0,5	1,1	2,5
1	2H0	000	0,1	0,4	0,5	0,5	0,3	1,9
0	2C2	010	0,4	0,1		1,2		1,8
1	2C0	110	0,3		0,5	0,4	0,1	1,4
Wiosna								
Typ	Podtyp	Klasa	PA	PPk	PPm	PPms	PZ	razem
0	2C0	100	3,7	1,9	4,7	2,1		12,3
-1	2C0	010	6,0	0,1	4,3	1,1	0,1	11,7
-1	2C0	100	5,8		3,1	0,4		9,4
-1	2C0	000	5,3		1,9	0,1		7,3
0	2C0	010	2,0		1,5	1,4	0,1	5,0
1	3H1	100	0,3	0,7	2,0	0,4	1,5	4,9
1	3H0	100	0,8	1,1	1,4	0,9	0,3	4,5
1	2H0	100	0,5	0,8	1,8	0,8	0,4	4,4
0	2C0	110	1,2		2,1	0,1		3,4
-1	2C0	110	1,8		1,1	0,4		3,3
0	3C0	100	1,6		1,1	0,4		3,1
1	2H1	100		0,6	1,2	0,4	0,8	3,0
1	2C0	100	0,5	0,3	0,9	1,1		2,8
-1	3C0	100	0,6			1,7		2,3
0	2C0	000	0,4	0,1	1,0	0,6		2,1
Jesień								
Typ	Podtyp	Klasa	PA	PPk	PPm	PPms	PZ	razem
-1	2C0	000	7,0	0,8	5,6	3,3	0,4	17,2
0	2C0	100	3,9	1,8	4,8	3,3	0,7	14,4
-1	2C0	010	3,8	0,4	6,2	2,9	0,3	13,5
-1	2C0	100	4,1	1,5	3,0	1,7	0,6	10,8
-1	1C0	000	1,8	0,4	2,1	2,9	0,1	7,3
0	2C0	000	1,5	0,1	2,3	1,6	0,5	6,2
0	2C0	010	0,7		2,6	1,7		5,0
1	2H0	100	0,4	0,8	1,0	1,3	1,5	5,0
1	2H1	100		1,4	1,5	0,8	0,5	4,3
0	2C0	110			1,5	0,8		2,3
-1	2C0	110	0,7		1,0	0,7		2,3
-1	1C0	010	0,7		0,7	0,6		1,9
0	2H0	100		0,3	0,9	0,5		1,8
1	2H0	110		0,3	0,3	0,6		1,1
-2	1C0	000	0,4	0,3				0,7

Tabela 23. Częstość (%) występowania różnych typów, podtypów i klas pogody w Warszawie, 1994-2001

Charakterystyka pogody	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Typ pogody:													
bardzo zimna													
zimna	22,3	10,2	0,4								4,2	28,1	5,4
chłodna	77,7	89,8	90,3	37,1	1,2			0,4	11,3	61,7	93,3	71,9	44,3
komfortowa			9,3	40,0	34,7	13,3	3,6	8,9	57,9	31,9	2,5		16,9
ciepła				22,9	59,3	72,1	75,0	79,0	30,8	6,5			29,1
gorąca					4,8	14,2	19,4	11,3					4,2
bardzo gorąca						0,4	2,0	0,4					0,2
Podtyp pogody													
Bodźce radiacyjne:													
słabe	58,3	5,3	2,0						0,8	3,6	34,6	96,3	16,7
umiarkowane	41,7	94,7	97,2	82,5	62,5	62,5	79,8	87,1	99,2	95,2	65,4	3,7	72,6
silne			0,8	17,5	37,5	37,5	20,2	12,9		1,2			10,7
Stres termofizjologiczny:													
zimna	100,0	100,0	99,6	82,9	51,6	31,3	12,1	14,9	68,3	89,1	100,0	100,0	70,5
gorąca			0,4	17,1	48,4	68,8	87,9	85,1	31,7	10,9			29,5
Intensywność parności:													
brak	100,0	100,0	100,0	92,1	73,8	58,3	40,3	41,1	86,3	98,4	100,0	100,0	82,3
umiarkowana				7,9	26,2	36,7	51,6	55,6	13,8	1,6			16,3
silna						5,0	8,1	3,2					1,4
Klasa pogody													
Dobowe kontrasty termiczne:													
małe	83,4	77,0	54,4	32,9	18,5	28,8	23,4	20,6	39,6	47,6	80,0	87,2	49,2
duże	16,6	23,0	45,6	67,1	81,5	71,3	76,6	79,4	60,4	52,4	20,0	12,8	50,8
Opad atmosferyczny:													
bez opadu	73,3	61,9	66,5	65,8	67,7	66,7	66,9	69,0	70,8	71,8	70,0	67,8	68,2
z opadem	26,7	38,1	33,5	34,2	32,3	33,3	33,1	31,0	29,2	28,2	30,0	32,2	31,8
Pokrywa śnieżna:													
bez pokrywy	97,6	96,9	96,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,7	95,9	98,6
z pokrywą	2,4	3,1	4,0								3,3	4,1	1,4

2.2. Kalendarz warunków pogodowych

Cyfrowy system zapisu cyfrowego pogody pozwolił na opracowanie kalendarza warunków pogodowych w Warszawie. Dokonano tego uśredniając dla każdego dnia badanego okresu 1994-2001 indeksy cyfrowe typu, podtypu i klasy pogody.

W tabeli 24 oznaczono z jakim rodzajem pogody można się liczyć w poszczególnych dniach roku. Jeżeli przez co najmniej 6 lat występowała w danym dniu roku taka sama charakterystyka pogody wtedy w tabeli zamieszczono pojedynczy symbol numeryczny. Wtedy, gdy w kolejnych latach analizowanego okresu występowały w danym dniu roku różne typy, podtypy lub/i klasy pogody w tabeli zaznaczono to dwoma symbolami numerycznymi rozdzielonymi kreską ułamkową (np. typ 0/1), co oznacza, że w danym dniu należy się liczyć z występowaniem typu 0 lub 1 pogody. Symbol numeryczny umieszczony nad kreską ułamkową oznacza, że dany element pogody pojawiał się nieco częściej niż ten, umieszczony pod kreską ułamkową.

Kalendarz ten powinien być w kolejnych latach uzupełniany nowymi danymi obserwacyjnymi. Pozwoli to na zwiększenie prawdopodobieństwa, że znajdujące się w kalendarzu warunki pogodowe rzeczywiście pojawią się w kolejnych dniach roku. Niemniej już obecnie może on być w niektórych okresach roku ważną wskazówką dotyczącą najbardziej prawdopodobnego układu warunków pogodowych, co może być istotne do planowania zajęć rekreacyjnych lub prac na otwartym powietrzu.

Tabela 24. Kalendarz warunków pogodowych, Warszawa-Okęcie (na podstawie danych z lat 1994-2001)

Styczeń								Luty								Marzec									
dz.	Typ	Podtyp			Klasa			dz.	Typ	Podtyp			Klasa			dz.	Typ	Podtyp			Klasa				
	<i>STI</i>	<i>R'</i>	<i>PhS</i>	<i>HSI</i>	<i>dt</i>	<i>RR</i>	<i>SC</i>		<i>STI</i>	<i>R'</i>	<i>PhS</i>	<i>HSI</i>	<i>dt</i>	<i>RR</i>	<i>SC</i>		<i>STI</i>	<i>R'</i>	<i>PhS</i>	<i>HSI</i>	<i>dt</i>	<i>RR</i>	<i>SC</i>		
1	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	1	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	1	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	0	
2	-1/-2	1	C	0	0/1	0	0	2	-1/-2	2	C	0	0/1	1/0	0	2	-1	2	C	0	0/1	0/1	0/1	0	0
3	-1/-2	1	C	0	0/1	0/1	0	3	-1/-2	2	C	0	0/1	1/0	0	3	-1	2	C	0	1/0	1/0	0	0	0
4	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	4	-1/-2	2	C	0	0	0/1	0	4	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	0	0
5	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	5	-1	2	C	0	0	0/1	0	5	-1/0	2	C	0	0/1	1/0	0	0	0
6	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	6	-1	2/1	C	0	0/1	0/1	0	6	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
7	-1/-2	1	C	0	0	0	0	7	-1	2/1	C	0	0/1	0	0	7	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
8	-1	1	C	0	0	0/1	0	8	-1	2	C	0	0	1/0	0	8	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	0	0
9	-1	1	C	0	0	0/1	0	9	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	9	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
10	-1	1	C	0	0	0/1	0	10	-1	2	C	0	0/1	0	0	10	-1/0	2	C	0	1/0	0	0	0	0
11	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	11	-1/-2	2	C	0	0	0/1	0	11	-1/0	2	C	0	0/1	0/1	0	0	0
12	-1	1/2	C	0	0	0/1	0	12	-1/-2	2	C	0	1/0	0/1	0	12	-1/0	2	C	0	1/0	0	0	0	0
13	-1	1	C	0	0	0/1	0	13	-1	2	C	0	0	1/0	0	13	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
14	-1	1/2	C	0	0/1	0	0	14	-1/-2	2	C	0	0/1	1/0	0	14	-1	2	C	0	0	1/0	0	0	0
15	-1	1/2	C	0	0/1	0/1	0	15	-1/-2	2	C	0	0/1	0/1	0	15	-1	2	C	0	0	0/1	0	0	0
16	-1	1	C	0	0/1	0	0	16	-1	2	C	0	0	1/0	0	16	-1	2	C	0	0/1	0	0	0	0
17	-1	1	C	0	0/1	0	0	17	-1	2	C	0	0	1/0	0	17	-1	2	C	0	0/1	0	0	0	0
18	-1	1/2	C	0	0/1	0	0	18	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	18	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	0	0
19	-2/-1	1/2	C	0	0	0	0	19	-1	2	C	0	0	1/0	0	19	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	0	0
20	-1/-2	1/2	C	0	0	0	0	20	-1	2	C	0	0	1/0	0	20	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
21	-1/-2	2	C	0	0	0	0	21	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	21	-1	2	C	0	0	0/1	0	0	0
22	-1/-2	2	C	0	0	0	0	22	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	22	-1	2	C	0	1/0	0	0	0	0
23	-1/-2	2	C	0	0/1	0/1	0	23	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	23	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	0	0
24	-1/-2	2	C	0	0	0	0	24	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	24	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
25	-1/-2	2	C	0	0	0/1	0	25	-1	2	C	0	0	0	0	25	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
26	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	26	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	26	-1/0	2	C	0	1/0	1/0	0	0	0
27	-1/-2	2	C	0	0/1	0/1	0	27	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	27	-1/0	2	C	0	1/0	1/0	0	0	0
28	-1	2	C	0	0	1/0	0	28	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	28	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0
29	-1/-2	2	C	0	0/1	0/1	0								29	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0	0
30	-1	2	C	0	0/1	1/0	0								30	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	0	0	0
31	-1/-2	2	C	0	0/1	0/1	0								31	-1/0	2	C	0	1	0	0	0	0	0

dz. – dzień

Tabela 24 (c.d.)

Kwiecień								Maj								Czerwiec							
dz.	Typ	Podtyp			Klasa			dz.	Typ	Podtyp			Klasa			dz.	Typ	Podtyp			Klasa		
	STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC		STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC		STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC
1	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	1	1/0	3/2	C	0/1	1	0/1	0	1	1/0	2/3	C/H	0/1	1/0	0/1	0
2	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	2	0	3/2	C	0	1	0/1	0	2	1	2/3	C/H	0/1	1/0	0/1	0
3	0/-1	2	C	0	1/0	1/0	0	3	0/1	3/2	C	0	1	0	0	3	1/0	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0
4	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	4	1/0	2/3	C	0	1	0	0	4	1	2/3	C/H	0/1	1	0.5	0
5	-1/0	2	C	0	1/0	0	0	5	1/0	2/3	C	0/1	1	0	0	5	1	2/3	C/H	0/1	1	0/1	0
6	-1/0	2	C	0	1/0	1/0	0	6	1/0	2/3	C/H	0/1	1	0/1	0	6	1	3/2	C/H	1/0	1/0	0/1	0
7	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	7	1/0	3/2	C	0	1/0	0/1	0	7	1/2	3/2	H	1/0	1	0	0
8	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	8	1/0	3/2	C/H	0	1	0	0	8	1/2	2/3	H	1/0	1	0	0
9	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	9	1/0	2/3	C/H	0/1	1/0	0/1	0	9	1/2	2/3	H	1	1	0/1	0
10	-1/0	2	C	0	1/0	0	0	10	1	2/3	C/H	0/1	1/0	0	0	10	1	2/3	C/H	0/1	1/0	0	0
11	-1/0	2	C	0	1/0	1/0	0	11	1/0	3/2	C/H	0/1	1	1/0	0	11	1/2	2/3	H	1/0	1	0/1	0
12	-1/0	2	C	0	0/1	1/0	0	12	1/0	2/3	C/H	0/1	1	0/1	0	12	1/2	2/3	H	1/0	1/0	1/0	0
13	-1/0	2	C	0	1/0	1/0	0	13	1/0	2/3	C	0/1	1	0/1	0	13	1	2/3	C/H	0/1	1/0	0/1	0
14	-1/0	2	C	0	1/0	1	0	14	1/0	2/3	C/H	0/1	1/0	0/1	0	14	1	2/3	C/H	0/1	1/0	0/1	0
15	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	15	1/0	2/3	C/H	1/0	1	0/1	0	15	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0
16	0/-1	2/3	C	0	0/1	0	0	16	1/0	2/3	C	0/1	1/0	1/0	0	16	1/0	2/3	C/H	0	1/0	0/1	0
17	0	2	C	0	1/0	0/1	0	17	1	2/3	C/H	0/1	1	0	0	17	1/0	2/3	C/H	0	1/0	1/0	0
18	0/-1	2/3	C	0	1	0/1	0	18	1	2/3	H	1/0	1	1/0	0	18	1	3/2	C/H	0	1/0	0/1	0
19	0	3/2	C	0	1/0	0/1	0	19	1/0	2	C/H	0/1	1/0	1/0	0	19	1	2/3	C/H	0	1/0	0/1	0
20	0	2	C	0	1/0	0/1	0	20	1/0	2/3	C	0	1/0	1/0	0	20	1	3/2	C/H	0/1	1/0	0	0
21	0	2/3	C	0/1	1/0	0/1	0	21	0/1	2/3	C	0	0/1	1/0	0	21	1	3/2	H	1/0	1	0/1	0
22	0/1	2	C	0/1	1/0	0/1	0	22	1/0	2/3	C	0	1/0	0/1	0	22	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0
23	0/1	2/3	C	0/1	1	0	0	23	1/0	3/2	C	0	1/0	0/1	0	23	1/0	2/3	C	0	0	1/0	0
24	1/0	2/3	C	0/1	1	0	0	24	1/0	2/3	C/H	0	1/0	0/1	0	24	1/0	2	C	0	0/1	1/0	0
25	1/0	2/3	C	0	0/1	0/1	0	25	1	2/3	C/H	0	1	0	0	25	1	3/2	C/H	0/1	1/0	0/1	0
26	1/0	2/3	H	0	1	0/1	0	26	1/0	2/3	C/H	0	1	0/1	0	26	1	3/2	H	0/1	1/0	0	0
27	0/1	2/3	C	0	1/0	1/0	0	27	1	2/3	C/H	0/1	1	0/1	0	27	1	2/3	H	1/0	1/0	0/1	0
28	1/0	2/3	C	0	1	0/1	0	28	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0	28	1/2	2/3	C/H	1	1/0	0/1	0
29	1/0	3/2	C	0	1/0	0	0	29	1	2/3	C	0/1	1	1/0	0	29	1/2	2/3	H	1	1	0	0
30	1/0	3/2	H	0/1	1	0	0	30	1/0	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0	30	1	2/3	C/H	1	1/0	0/1	0
								31	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0								

Tabela 24 (c.d.)

Lipiec								Sierpień								Wrzesień										
dz.	Typ	Podtyp				Klasa			dz.	Typ	Podtyp				Klasa			dz.	Typ	Podtyp				Klasa		
		STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC			STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC			STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC
1	1	2/3	H	1/0	1	0	0	1	1/2	2/3	H	1/0	1/0	0/1	0	1	1/0	2	C/H	0	1/0	1/0	0			
2	1	2/3	H	0/1	1/0	1/0	0	2	1/2	2/3	H	1	1	0/1	0	2	1/0	2	C/H	0/1	0/1	1/0	0			
3	1	2/3	H	1/0	1	0/1	0	3	1	2	H	1/0	1/0	0/1	0	3	1/0	2	C/H	0/1	1	0	0			
4	1	2/3	H	1	1	0/1	0	4	1	2	H	1/0	1/0	1/0	0	4	1/0	2	C/H	0	1/0	1/0	0			
5	1/2	2	C/H	1	1/0	0/1	0	5	1	2	H	1/0	1/0	0/1	0	5	1/0	2	C	0/1	1/0	1/0	0			
6	1/2	2	C/H	1/0	1/0	0/1	0	6	1	2/3	C/H	1/0	1/0	0/1	0	6	0/1	2	C	0/1	1/0	1/0	0			
7	1/2	2/3	H	0/1	1/0	0/1	0	7	1/2	2	H	1	1	0/1	0	7	1/0	2	C/H	0	1/0	1/0	0			
8	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0	8	1	2/3	H	1/0	1/0	0/1	0	8	1/0	2	C/H	0/1	1/0	0	0			
9	1	2/3	C/H	0/1	0/1	1/0	0	9	1	2	H	0/1	1	0/1	0	9	1/0	2	C/H	0/1	1/0	1/0	0			
10	1	2	H	1/0	1	0/1	0	10	1	2	H	1/0	1	0/1	0	10	0/1	2	C/H	0/1	0/1	1/0	0			
11	1/2	2/3	H	1/0	1	0/1	0	11	1	2	H	1/0	1	0	0	11	0/1	2	C	0	1/0	1/0	0			
12	1	2/3	H	0/1	1/0	0/1	0	12	1	2	H	1/0	1	0/1	0	12	1/0	2	C/H	0/1	1/0	0	0			
13	1/2	2/3	H	1/0	1	0/1	0	13	1	2	H	1/0	1	0	0	13	1/0	2	C/H	0/1	1	1/0	0			
14	1/2	2/3	H	1/0	1	0/1	0	14	1	2	C/H	0/1	1/0	1/0	0	14	0/1	2	C	0/1	1/0	1/0	0			
15	1/2	2/3	H	0/1	1	0/1	0	15	1	2	C/H	0/1	1/0	1/0	0	15	0	2	C	0/1	1/0	1/0	0			
16	1	2	H	1/0	1/0	0/1	0	16	1	2/3	H	1/0	1	0	0	16	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
17	1/2	2	H	1/0	1/0	1/0	0	17	1	2	H	1/0	1	0/1	0	17	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
18	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0	18	1	2	H	1/0	1	0/1	0	18	0/-1	2	C	0	1/0	1/0	0			
19	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0	19	1/2	2	H	1	1	0/1	0	19	0/-1	2	C	0	1/0	1/0	0			
20	1	2/3	C/H	1/0	1/0	0/1	0	20	1	2	H	1	1	0	0	20	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
21	2/1	2/3	C/H	1/0	1/0	0/1	0	21	1/2	2	H	1/0	1	0	0	21	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
22	1/2	2	H	1	1	0	0	22	1	2	H	1/0	1/0	0/1	0	22	0	2	C	0	1/0	0	0			
23	1	2	H	0/1	1/0	0/1	0	23	1	2	H	0/1	1	0/1	0	23	0	2	C	0	1/0	0	0			
24	1	2	H	1/0	1	0/1	0	24	1	2	C/H	1/0	1	0	0	24	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
25	1	2	H	1	1/0	0/1	0	25	1/0	2	C/H	1/0	1/0	0/1	0	25	0	2	C	0	1/0	0	0			
26	1/2	2	H	1	1	0/1	0	26	1	2	C/H	0/1	1/0	0/1	0	26	0	2	C	0	1/0	0	0			
27	1	2	H	1	1/0	0/1	0	27	1	2	C/H	0/1	1/0	0/1	0	27	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
28	1/2	2	H	1	1	0	0	28	1/0	2	C/H	0/1	1/0	1/0	0	28	0	2	C	0	1/0	1/0	0			
29	2/1	2	H	1	1/0	0/1	0	29	1/0	2	C/H	0/1	1/0	1/0	0	29	0	2	C	0	1/0	0	0			
30	2/1	2/3	H	1	1	0	0	30	1/0	2	C/H	0	1/0	0/1	0	30	-1/0	2	C	0	0	1/0	0			
31	1/2	2/3	H	1/0	1/0	0	0	31	1/0	2	C/H	0/1	1/0	0/1	0											

Tabela 24 (c.d.)

Październik								Listopad								Grudzień										
dz.	Typ		Podtyp			Klasa			dz.	Typ		Podtyp			Klasa			dz.	Typ		Podtyp			Klasa		
	STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC	STI		R'	PhS	HSI	dt	RR	SC	STI	R'		PhS	HSI	dt	RR	SC			
1	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	1	-1/0	2	C	0	0/1	0/1	0	1	-1	1/2	C	0	0	0/1	0			
2	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	2	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	2	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
3	0	2/3	C	0/1	1/0	0/1	0	3	-1	2	C	0	1/0	1/0	0	3	-1	1	C	0	0	0/1	0			
4	0	2	C	0	1/0	1/0	0	4	-1	2	C	0	0	0/1	0	4	-1/-2	1/2	C	0	0/1	0/1	0			
5	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	5	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	5	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
6	0/-1	2	C	0	1/0	0	0	6	-1	2	C	0	1/0	0	0	6	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
7	0/-1	2	C	0	1/0	0	0	7	0	2	C	0	0/1	1/0	0	7	-1/-2	1	C	0	0	0	0			
8	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	8	-1	2	C	0	0	1	0	8	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
9	0/-1	2	C	0	1/0	1/0	0	9	-1	2	C	0	0	0/1	0	9	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
10	0/-1	2	C	0	0/1	1/0	0	10	-1	2	C	0	0/1	0	0	10	-1	1	C	0	0	1/0	0			
11	-1/0	2	C	0	1/0	1/0	0	11	-1	2	C	0	0/1	0	0	11	-1	1	C	0	0	1/0	0			
12	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	12	-1	2	C	0	0/1	0	0	12	-1	1	C	0	0	1/0	0			
13	0/-1	2	C	0	1/0	0	0	13	-1	2	C	0	0	0	0	13	-1/-2	1	C	0	0/1	0/1	0			
14	0/-1	2	C	0	1/0	0	0	14	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	14	-1	1	C	0	0/1	1/0	0			
15	0/-1	2	C	0	1/0	0/1	0	15	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	15	-1/-2	1	C	0	0/1	0/1	0			
16	-1/0	2	C	0	1/0	0/1	0	16	-1	2	C	0	0	1/0	0	16	-2/-1	1	C	0	0	1/0	0			
17	-1/0	2	C	0	1/0	0	0	17	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	17	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
18	0/-1	2	C	0	1/0	0	0	18	-1	2	C	0	0	0/1	0	18	-1	1	C	0	0/1	0/1	0			
19	-1/0	2	C	0	1/0	0	0	19	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	19	-1	1	C	0	0/1	0	0			
20	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	20	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	20	-1	1	C	0	0/1	0/1	0			
21	-1	2	C	0	1/0	0	0	21	-1	2/1	C	0	0	0/1	0	21	-2/-1	1	C	0	0	0	0			
22	-1	2	C	0	1/0	0/1	0	22	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	22	-2/-1	1	C	0	0	0	0			
23	-1	2	C	0	1/0	0	0	23	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0	23	-2/-1	1	C	0	0	0/1	0			
24	-1	2	C	0	0/1	0	0	24	-1	1	C	0	0	0/1	0	24	-2/-1	1	C	0	0	0	0			
25	-1/0	2	C	0	0/1	0/1	0	25	-1	1/2	C	0	0	0/1	0	25	-2/-1	1	C	0	0	0/1	0			
26	-1/0	2	C	0	0/1	0/1	0	26	-1	1	C	0	0	0/1	0	26	-1/-2	1	C	0	0	1/0	0			
27	-1	2	C	0	0/1	0/1	0	27	-1	1	C	0	0	0	0	27	-1/-2	1	C	0	0/1	0/1	0			
28	-1	2/1	C	0	1/0	1/0	0	28	-1	1	C	0	0	0/1	0	28	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0			
29	-1	2	C	0	0/1	1/0	0	29	-1	1	C	0	0	0	0	29	-1/-2	1	C	0	0/1	0/1	0			
30	-1	2/1	C	0	0/1	1/0	0	30	-1	1	C	0	0	0	0	30	-1/-2	1	C	0	0	1/0	0			
31	-1/0	2	C	0	0/1	0/1	0								31	-1/-2	1	C	0	0	0/1	0				

2.3. Ocena przydatności warunków pogodowych w Warszawie

Z punktu widzenia potrzeb praktycznych ważna jest nie tylko meteorologiczna charakterystyka pogody, ale także stopień jej przydatności lub uciążliwości dla człowieka. Jak już wspomniano dokonano analizy stopnia przydatności każdego z typów, podtypów i klas pogody do różnych form aktywności rekreacyjnej oraz do poruszania się po mieście i do pracy na wolnym powietrzu. Wyróżniono trzy grupy przydatności pogody: przydatną bez ograniczeń, przydatną z ograniczeniami i nieprzydatną dla danej formy aktywności człowieka.

Oceny stopnia przydatności pogody dokonano oddzielnie dla każdej z wyróżnionych form aktywności człowieka dla każdego dnia badanego okresu 1994-2001, a następnie obliczono średnie wartości wskaźników oceny (WEI_{sr}) dla danego dnia roku oraz dla danego okresu roku (dekada, miesiąc, pora roku). Im bardziej wartość wskaźnika WEI_{sr} jest zbliżona do 3 tym częściej w badanym okresie pojawiały się jednostkowe wskaźniki oceny WEI o wartościach 3, a im bardziej WEI_{sr} jest bliska 0 tym częściej pojawiały się jednostkowe wskaźniki oceny WEI o wartościach 0. Wartość WEI_{sr} mniejsza od 0,5 mówi, że przez więcej niż połowę analizowanego wielolecia panowały w danym dniu warunki nieprzydatne dla konkretnej formy aktywności człowieka. Na podstawie średnich wartości wskaźników oceny przyjęto następującą klasyfikację przydatności poszczególnych okresów:

WEI_{sr}	Przydatność pogody dla poszczególnych form aktywności człowieka:
0,00 - 0,49	- pogoda niekorzystna,
0,50 - 1,19	- pogoda umiarkowanie korzystna,
1,20 - 1,99	- pogoda korzystna,
$\geq 2,00$	- pogoda bardzo korzystna.

Analizując kalendarz przydatności warunków pogodowych do różnych form rekreacji i niektórych form aktywności na otwartym powietrzu można zauważyć wyraźne uprzywilejowanie miesięcy wiosennych (głównie ostatnia dekada kwietnia i maj) oraz jesiennych (wrzesień i pierwsza połowa października). W okresach tych najrzadziej występują niekorzystne warunki pogodowe. Można wtedy korzystać ze wszystkich form rekreacji; warunki pogodowe sprzyjają także poruszaniu się po mieście i pracy na wolnym powietrzu. Latem pogoda sprzyja przede wszystkim kąpielom słonecznym i powietrznym; dla aktywnych form rekreacji występują znaczne ograniczenia, zwłaszcza z uwagi na stany parności i niebezpieczeństwo przegrzania organizmu. Zimą można korzystać z aktywnych form rekreacji przez większość dni bez większych ograniczeń, a z łagodnych jej form z pewnymi ograniczeniami, związanymi głównie ze stanami chłodu i zimna oraz opadami. W badanym okresie tylko sporadycznie pojawiały się warunki pogodowe pozwalające na turystykę zimową, w związku ze skąpą w ostatniej dekadzie XX wieku pokrywą śnieżną w środkowej Polsce (tab. 25).

Tabela 25. Średnie wartości wskaźników oceny przydatności pogody (WEI_{sr}) dla różnych form aktywności człowieka: kąpiele słonecznych (SB), kąpiele powietrznych (AB), łagodnych form rekreacji ruchowej (MR), intensywnej rekreacji ruchowej (AR) oraz turystyki narciarskiej (ST), Warszawa-Okęcie, 1994-2001

dz	Forma aktywności					dz	Forma aktywności					dz	Forma aktywności				
	Styczeń						Luty						Marzec				
	SB	AB	MR	AR	ST		SB	AB	MR	AR	ST		SB	AB	MR	AR	ST
1	0,00	0,00	1,00	2,25	0,00	1	0,00	0,63	2,25	2,50	0,00	1	0,00	0,75	2,00	2,00	0,00
2	0,00	0,00	0,88	2,75	0,00	2	0,00	0,25	1,50	1,75	0,00	2	0,00	0,63	2,25	2,25	0,00
3	0,00	0,00	0,88	2,00	0,00	3	0,00	0,50	1,75	2,00	0,00	3	0,00	0,50	1,75	1,75	0,13
4	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00	4	0,00	0,38	1,75	2,25	0,13	4	0,13	0,63	2,25	2,25	0,38
5	0,00	0,00	1,00	2,25	0,00	5	0,00	0,50	2,00	2,25	0,00	5	0,25	0,50	2,00	2,00	0,13
6	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00	6	0,00	0,63	2,00	2,25	0,00	6	0,00	0,88	2,50	2,50	0,38
7	0,00	0,00	1,00	2,75	0,00	7	0,00	0,50	2,00	2,75	0,00	7	0,00	0,75	2,25	2,25	0,38
8	0,00	0,00	1,00	2,25	0,00	8	0,00	0,38	1,75	2,00	0,00	8	0,00	0,63	2,25	2,25	0,38
9	0,00	0,00	1,00	2,25	0,00	9	0,00	0,63	2,25	2,50	0,00	9	0,00	0,88	2,50	2,50	0,38
10	0,00	0,00	1,00	2,43	0,00	10	0,00	0,88	2,75	3,00	0,00	10	0,25	0,88	2,75	2,75	0,00
11	0,00	0,13	1,25	2,50	0,00	11	0,00	0,63	2,00	2,50	0,00	11	0,25	0,75	2,50	2,50	0,00
12	0,00	0,13	1,25	2,25	0,13	12	0,00	0,50	2,00	2,50	0,00	12	0,25	0,75	2,50	2,75	0,00
13	0,00	0,00	1,00	2,25	0,13	13	0,00	0,38	1,75	2,00	0,00	13	0,38	0,88	2,25	2,50	0,38
14	0,00	0,25	1,50	2,75	0,13	14	0,00	0,50	1,75	2,00	0,00	14	0,00	0,63	2,00	2,00	0,13
15	0,00	0,13	1,25	2,50	0,38	15	0,00	0,50	1,75	2,25	0,00	15	0,00	0,63	2,25	2,25	0,00
16	0,00	0,00	1,00	2,75	0,38	16	0,00	0,38	1,75	1,75	0,00	16	0,00	0,88	2,75	2,75	0,38
17	0,00	0,13	1,25	2,75	0,38	17	0,00	0,50	2,00	2,00	0,00	17	0,00	0,88	2,75	2,75	0,00
18	0,00	0,13	1,25	2,75	0,00	18	0,00	0,75	2,50	2,50	0,38	18	0,00	0,63	2,25	2,25	0,00
19	0,00	0,13	1,25	3,00	0,00	19	0,00	0,50	2,00	2,00	0,13	19	0,00	0,63	2,00	2,00	0,00
20	0,00	0,13	1,25	2,75	0,00	20	0,00	0,25	1,50	1,75	0,13	20	0,00	0,88	2,50	2,50	0,00
21	0,00	0,50	1,75	2,75	0,00	21	0,00	0,50	2,00	2,25	0,00	21	0,00	0,75	2,50	2,50	0,00
22	0,00	0,50	2,00	3,00	0,00	22	0,00	0,38	1,50	1,75	0,00	22	0,00	1,00	2,75	2,75	0,00
23	0,00	0,38	1,75	2,50	0,00	23	0,00	0,50	1,75	1,75	0,00	23	0,00	0,75	2,50	2,50	0,00
24	0,00	0,75	2,50	3,00	0,00	24	0,00	0,50	2,00	2,25	0,13	24	0,13	0,88	2,25	2,25	0,00
25	0,00	0,63	2,25	2,50	0,00	25	0,00	0,88	2,75	2,75	0,38	25	0,13	0,88	2,50	2,50	0,00
26	0,00	0,50	1,75	2,00	0,00	26	0,00	0,75	2,50	2,50	0,38	26	0,25	0,63	2,25	2,25	0,00
27	0,00	0,50	2,00	2,50	0,00	27	0,00	0,75	2,25	2,25	0,00	27	0,25	0,75	2,00	2,00	0,00
28	0,00	0,13	1,25	1,50	0,00	28	0,00	0,75	2,50	2,50	0,00	28	0,13	0,63	2,25	2,25	0,00
29	0,00	0,50	1,75	2,25	0,00							29	0,13	0,63	2,25	2,25	0,00
30	0,00	0,63	2,00	2,00	0,00							30	0,25	0,75	2,25	2,25	0,00
31	0,00	0,50	1,75	2,25	0,00							31	0,38	0,88	2,75	2,75	0,00

Tabela 25 (c.d.)

Kwiecień						Maj						Czerwiec					
dz	SB	AB	MR	AR	ST	dz	SB	AB	MR	AR	ST	dz	SB	AB	MR	AR	ST
1	1,13	1,25	2,25	2,00	0,00	1	1,75	1,50	1,50	1,50	0,00	1	1,50	1,25	0,88	0,88	0,00
2	0,63	0,88	2,00	2,00	0,00	2	1,50	1,50	2,25	2,13	0,00	2	1,50	1,50	1,38	0,50	0,00
3	0,75	0,75	2,00	1,75	0,00	3	2,25	1,75	2,50	2,25	0,00	3	1,00	1,00	0,75	0,50	0,00
4	1,00	1,25	1,75	1,25	0,00	4	2,00	1,75	2,13	1,88	0,00	4	1,75	1,50	1,50	1,13	0,00
5	0,50	1,00	1,75	1,75	0,00	5	1,75	1,50	1,88	1,50	0,00	5	1,75	1,75	1,25	0,50	0,00
6	0,50	0,50	2,00	2,00	0,00	6	1,50	1,25	1,63	1,50	0,00	6	1,25	1,25	0,63	0,25	0,00
7	0,75	1,00	2,00	2,00	0,00	7	2,00	2,00	1,38	1,13	0,00	7	1,38	1,38	0,88	0,38	0,00
8	0,38	0,63	1,75	1,75	0,00	8	2,50	2,50	1,75	1,25	0,00	8	1,63	1,63	0,88	0,50	0,00
9	0,50	0,75	1,75	1,75	0,00	9	1,75	1,75	1,25	0,88	0,00	9	0,88	0,88	0,63	0,13	0,00
10	0,63	1,13	1,75	1,75	0,00	10	2,25	2,25	1,75	0,75	0,00	10	2,25	2,25	1,63	0,88	0,00
11	0,50	0,63	1,75	1,75	0,00	11	1,25	1,25	0,75	0,63	0,00	11	1,38	1,38	1,00	0,38	0,00
12	0,63	0,75	1,25	1,25	0,00	12	2,00	1,75	1,75	0,88	0,00	12	1,25	1,25	0,88	0,38	0,00
13	0,38	0,63	1,25	1,25	0,00	13	2,00	1,75	1,50	1,00	0,00	13	1,75	1,75	1,63	0,88	0,00
14	0,63	0,38	1,25	1,25	0,00	14	1,50	1,25	1,25	0,75	0,00	14	2,00	2,00	1,63	1,13	0,00
15	0,88	0,63	2,25	2,25	0,00	15	1,25	1,00	1,13	0,88	0,00	15	1,50	1,50	1,00	0,75	0,00
16	1,13	1,25	2,00	2,00	0,00	16	1,25	1,25	1,38	1,00	0,00	16	2,00	2,00	1,88	1,13	0,00
17	1,25	1,38	1,75	1,75	0,00	17	2,00	2,00	1,75	0,88	0,00	17	2,00	2,00	2,00	1,00	0,00
18	0,75	0,88	1,63	1,63	0,13	18	1,75	1,75	1,25	0,38	0,00	18	2,00	2,00	1,25	0,88	0,00
19	1,13	1,38	1,63	1,38	0,13	19	1,50	1,50	1,25	0,75	0,00	19	2,25	2,25	1,50	0,88	0,00
20	1,00	1,13	1,63	1,13	0,00	20	1,63	1,38	1,50	1,13	0,00	20	2,63	2,63	1,88	1,13	0,00
21	0,75	1,00	1,38	1,00	0,00	21	1,75	1,25	1,63	1,63	0,00	21	1,38	1,38	0,75	0,50	0,00
22	1,25	1,38	1,38	0,88	0,00	22	2,00	1,75	2,13	1,38	0,00	22	1,13	1,13	0,88	0,63	0,00
23	1,00	1,25	1,13	0,88	0,00	23	2,50	2,50	1,75	1,25	0,00	23	1,75	1,75	1,38	1,13	0,00
24	1,63	1,63	1,88	1,25	0,00	24	2,50	2,50	1,75	1,25	0,00	24	1,50	1,50	1,38	0,88	0,00
25	2,00	2,00	2,00	1,63	0,00	25	2,50	2,50	2,13	1,13	0,00	25	2,00	2,00	1,25	0,75	0,00
26	2,00	2,00	1,75	1,50	0,00	26	2,25	2,25	1,75	1,25	0,00	26	2,00	2,00	1,38	0,63	0,00
27	1,25	1,25	1,38	1,38	0,00	27	1,50	1,50	1,00	0,50	0,00	27	1,50	1,50	1,25	0,63	0,00
28	1,88	1,63	1,63	1,13	0,00	28	1,00	1,00	0,75	0,75	0,00	28	1,00	1,00	0,75	0,38	0,00
29	2,13	2,00	1,63	1,38	0,00	29	1,25	1,25	1,13	0,88	0,00	29	1,25	1,25	0,88	0,38	0,00
30	2,00	1,75	1,75	1,25	0,00	30	1,25	1,25	1,00	0,63	0,00	30	1,13	1,13	0,88	0,25	0,00
						31	1,00	1,00	0,88	0,75	0,00						

Tabela 25 (c.d.)

Lipiec						Sierpień						Wrzesień					
dz	SB	AB	MR	AR	ST	dz	SB	AB	MR	AR	ST	dz	SB	AB	MR	AR	ST
1	1,50	1,50	1,00	0,38	0,00	1	1,13	1,13	0,75	0,38	0,00	1	1,00	1,00	1,25	1,13	0,00
2	1,25	1,25	1,25	0,63	0,00	2	1,13	1,13	0,50	0,25	0,00	2	1,50	1,50	1,50	1,00	0,00
3	1,50	1,50	1,00	0,38	0,00	3	1,25	1,25	1,00	0,25	0,00	3	1,25	1,25	1,75	1,00	0,00
4	1,13	1,13	0,88	0,25	0,00	4	1,00	1,00	0,75	0,25	0,00	4	1,75	1,75	2,00	1,13	0,00
5	1,13	1,13	0,88	0,25	0,00	5	1,38	1,38	1,13	0,38	0,00	5	1,75	1,75	2,00	1,50	0,00
6	1,13	1,13	1,00	0,50	0,00	6	1,38	1,38	0,88	0,38	0,00	6	1,50	1,50	2,00	1,50	0,00
7	1,50	1,50	0,88	0,50	0,00	7	1,25	1,25	0,75	0,25	0,00	7	2,00	2,00	2,25	1,38	0,00
8	1,25	1,25	0,75	0,63	0,00	8	1,50	1,50	1,00	0,25	0,00	8	2,25	2,25	2,25	1,25	0,00
9	1,13	1,13	0,88	0,63	0,00	9	1,75	1,75	1,50	0,63	0,00	9	1,50	1,50	1,75	1,00	0,00
10	1,63	1,63	1,38	0,50	0,00	10	1,50	1,50	1,38	0,38	0,00	10	1,88	1,88	2,00	1,25	0,00
11	1,50	1,50	0,88	0,38	0,00	11	1,75	1,75	1,50	0,38	0,00	11	1,38	1,50	2,00	1,38	0,00
12	1,50	1,50	1,00	0,50	0,00	12	1,25	1,25	1,00	0,38	0,00	12	2,00	2,00	2,50	1,50	0,00
13	1,13	1,13	0,63	0,38	0,00	13	1,50	1,50	1,13	0,38	0,00	13	1,75	1,75	2,00	1,25	0,00
14	1,13	1,13	0,63	0,38	0,00	14	1,25	1,25	1,00	0,50	0,00	14	1,00	1,00	1,25	1,00	0,00
15	1,88	1,88	1,13	0,63	0,00	15	1,00	1,00	0,75	0,63	0,00	15	0,88	0,88	2,00	1,75	0,00
16	1,25	1,25	1,00	0,50	0,00	16	1,75	1,75	1,50	0,38	0,00	16	1,38	1,38	2,25	2,00	0,00
17	1,25	1,25	0,75	0,38	0,00	17	1,38	1,38	1,25	0,50	0,00	17	1,25	1,50	2,25	2,00	0,00
18	1,25	1,25	1,13	0,50	0,00	18	1,25	1,25	0,88	0,25	0,00	18	0,88	1,13	2,50	2,25	0,00
19	1,25	1,25	0,75	0,50	0,00	19	0,88	0,88	0,63	0,13	0,00	19	0,75	0,88	2,25	2,25	0,00
20	1,25	1,25	0,75	0,38	0,00	20	1,38	1,38	1,13	0,50	0,00	20	1,63	1,63	2,50	2,25	0,00
21	1,13	1,13	0,50	0,50	0,00	21	1,50	1,50	1,25	0,25	0,00	21	1,00	1,00	2,25	2,13	0,00
22	1,50	1,50	1,25	0,38	0,00	22	1,50	1,50	1,50	0,38	0,00	22	1,63	1,63	2,50	2,38	0,00
23	1,75	1,75	1,50	0,50	0,00	23	1,50	1,50	1,38	0,50	0,00	23	1,63	1,75	2,50	2,38	0,00
24	1,50	1,50	1,38	0,25	0,00	24	1,38	1,38	1,38	0,63	0,00	24	1,13	1,13	2,50	2,38	0,00
25	1,13	1,13	1,00	0,38	0,00	25	1,25	1,25	1,25	0,38	0,00	25	1,25	1,38	2,50	2,13	0,00
26	1,13	1,13	1,00	0,25	0,00	26	1,75	1,75	1,50	0,63	0,00	26	1,63	1,63	2,75	2,25	0,00
27	1,13	1,13	1,00	0,25	0,00	27	1,75	1,75	1,50	0,50	0,00	27	1,38	1,50	2,25	2,50	0,00
28	1,38	1,38	1,25	0,25	0,00	28	1,25	1,25	1,00	0,50	0,00	28	1,38	1,50	2,50	2,00	0,00
29	0,88	0,88	0,63	0,25	0,00	29	1,25	1,25	1,25	0,75	0,00	29	1,38	1,50	2,75	2,75	0,00
30	1,13	1,13	0,75	0,25	0,00	30	2,25	2,25	2,25	1,00	0,00	30	1,00	1,13	2,00	2,00	0,00
31	1,63	1,63	0,88	0,38	0,00	31	1,13	1,13	1,25	0,50	0,00						

Tabela 2⁵ (c.d.)

Październik						Listopad						Grudzień					
dz	SB	AB	MR	AR	ST	dz	SB	AB	MR	AR	ST	dz	SB	AB	MR	AR	ST
1	1,13	1,25	2,25	2,00	0,00	1	0,25	0,88	2,25	2,25	0,00	1	0,00	0,25	1,50	2,25	0,00
2	0,75	0,88	2,50	2,50	0,00	2	0,13	0,63	2,00	2,00	0,00	2	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00
3	1,00	1,00	1,75	1,75	0,00	3	0,00	0,50	1,75	1,75	0,00	3	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00
4	0,88	1,00	1,75	1,50	0,00	4	0,00	0,50	2,00	2,25	0,00	4	0,00	0,13	1,00	2,50	0,00
5	1,25	1,63	2,50	2,00	0,00	5	0,13	0,88	2,50	2,50	0,00	5	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00
6	1,13	1,38	2,75	2,50	0,00	6	0,00	1,00	3,00	3,00	0,00	6	0,00	0,00	0,88	2,25	0,00
7	0,88	1,25	2,75	2,50	0,00	7	0,13	0,38	1,75	2,00	0,00	7	0,00	0,00	1,00	2,75	0,00
8	0,88	1,13	2,50	2,50	0,00	8	0,00	0,13	1,25	1,25	0,00	8	0,00	0,00	1,00	2,25	0,13
9	0,63	0,63	2,00	2,00	0,00	9	0,00	0,63	2,25	2,50	0,00	9	0,00	0,00	1,00	2,25	0,13
10	0,75	1,00	2,00	1,75	0,00	10	0,00	1,00	3,00	3,00	0,00	10	0,00	0,00	0,88	2,00	0,13
11	0,38	0,63	1,75	1,63	0,00	11	0,00	0,88	2,75	3,00	0,00	11	0,00	0,00	1,00	2,00	0,13
12	0,63	1,00	2,25	2,13	0,00	12	0,00	0,88	2,75	3,00	0,00	12	0,00	0,00	1,00	1,75	0,13
13	0,75	1,13	2,50	2,50	0,00	13	0,38	1,13	2,75	2,75	0,00	13	0,00	0,00	1,00	2,25	0,38
14	1,25	1,63	2,75	2,25	0,00	14	0,00	0,63	2,25	2,50	0,00	14	0,00	0,13	0,88	1,75	0,00
15	0,88	1,00	2,50	2,50	0,00	15	0,00	0,75	2,25	2,25	0,00	15	0,00	0,00	0,88	2,25	0,00
16	0,38	0,75	2,50	2,50	0,00	16	0,00	0,38	1,50	1,75	0,00	16	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00
17	0,75	1,13	2,50	2,75	0,00	17	0,00	0,75	2,25	2,50	0,00	17	0,00	0,00	1,00	2,25	0,00
18	1,13	1,50	3,00	3,00	0,00	18	0,00	0,63	2,25	2,50	0,00	18	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00
19	0,25	0,88	2,75	2,75	0,00	19	0,00	0,63	2,25	2,25	0,13	19	0,00	0,00	1,00	3,00	0,00
20	0,00	0,75	2,50	2,50	0,00	20	0,00	0,63	2,25	2,25	0,13	20	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00
21	0,00	0,88	2,75	2,75	0,00	21	0,00	0,25	1,50	2,25	0,13	21	0,00	0,00	1,00	3,00	0,00
22	0,13	0,75	2,50	2,50	0,00	22	0,00	0,00	1,00	2,25	0,38	22	0,00	0,00	0,88	2,75	0,00
23	0,13	1,00	3,00	3,00	0,00	23	0,00	0,00	1,00	2,50	0,13	23	0,00	0,00	0,88	2,50	0,00
24	0,13	0,88	2,75	2,75	0,00	24	0,00	0,00	1,00	2,25	0,13	24	0,00	0,00	1,00	2,71	0,14
25	0,25	0,75	2,25	2,25	0,00	25	0,00	0,00	1,00	2,25	0,13	25	0,00	0,00	1,00	2,14	0,14
26	0,88	1,25	2,50	2,50	0,00	26	0,00	0,13	1,25	2,25	0,13	26	0,00	0,00	0,88	2,00	0,38
27	0,00	0,63	2,25	2,25	0,00	27	0,00	0,00	1,00	2,75	0,00	27	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00
28	0,00	0,50	1,75	1,75	0,00	28	0,00	0,00	1,00	2,50	0,00	28	0,00	0,00	1,00	2,25	0,00
29	0,13	0,50	1,50	1,75	0,00	29	0,00	0,00	1,00	2,75	0,00	29	0,00	0,00	1,00	2,50	0,13
30	0,13	0,38	1,75	2,00	0,00	30	0,00	0,13	1,25	3,00	0,00	30	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00
31	0,38	0,75	2,50	2,50	0,00							31	0,00	0,00	1,00	2,67	0,00

Poza średnimi wskaźnikami oceny warunków pogodowych (WEI_{sr}) dla każdej z form aktywności człowieka obliczono sumaryczny wskaźnik oceny (WEI_{tot}). Dokonano tego poprzez sumowanie wartości WEI_{sr} obliczonych dla poszczególnych form aktywności. Zastosowano następującą skalę ogólnej oceny warunków pogodowych:

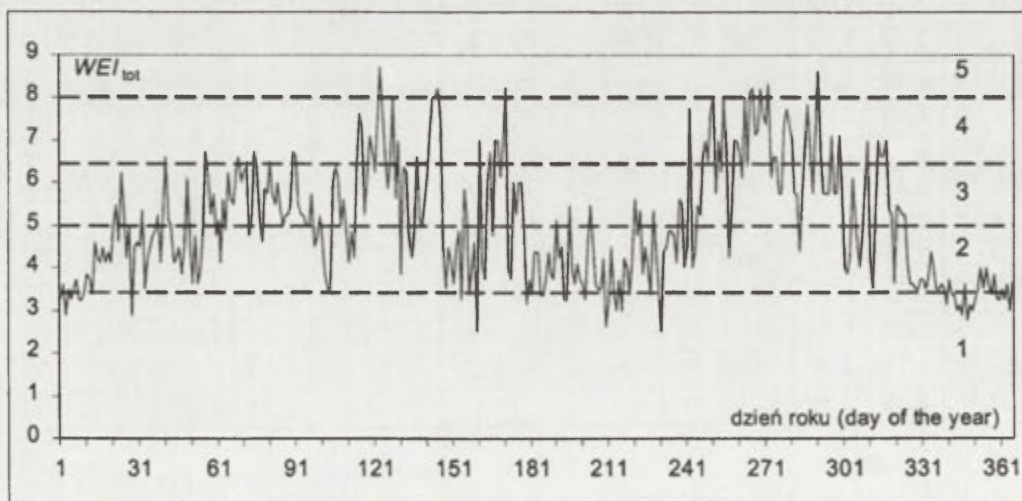
WEI_{tot} Ogólna ocena warunków pogodowych

0,00 - 3,49 - warunki niekorzystne

3,50 - 4,99 - warunki umiarkowanie korzystne

- 5,00 - 6,49 - warunki korzystne
 6,50 - 7,99 - warunki bardzo korzystne
 $\geq 8,00$ - warunki wybitnie korzystne.

Analiza sumarycznego wskaźnika oceny warunków pogodowych pozwala na wyodrębnienie okresów o różnej przydatności dla człowieka. Okres z dominacją warunków niekorzystnych trwa w Warszawie od 22 listopada do 10 stycznia. Pogoda umiarkowanie korzystna przeważa w okresach: od 11 stycznia do 24 lutego oraz od 27 czerwca do 25 sierpnia. Okresy pogody korzystnej pojawiają się od 25 lutego do 24 kwietnia, od 11 maja do 26 czerwca, od 26 sierpnia do 3 września oraz od 27 października do 21 listopada. Okresy z dominacją pogody bardzo korzystnej występują w ciągu roku dwukrotnie: od 25 kwietnia do 10 maja oraz od 4 września do 26 października (ryc. 58). Obniżona ocena przydatności warunków pogodowych w okresie lipca i sierpnia jest spowodowana częstymi wtedy uciążliwymi stanami biotermicznymi (gorąco i bardzo gorąco) oraz stanami panności.



Ryc. 58. Przebieg roczny sumarycznego wskaźnika oceny warunków pogodowych (WEI_{tot}), Warszawa-Okęcie, 1994-2001; liniami poziomymi oddzielono poszczególne klasy oceny: 1 – warunki niekorzystne, 2 – warunki umiarkowanie korzystne, 3 – warunki korzystne, 4 – warunki bardzo korzystne, 5 – warunki wybitnie korzystne

Annual course of total weather evaluation index (WEI_{tot}), Warszawa-Okęcie, 1994-2001; horizontal lines point to limits of evaluation classes: 1 – unfavourable, 2 – maderately favourable, 3 – favourable, 4 – very favourable, 5 – excelent

Przeprowadzono również analizę przydatności warunków pogodowych do różnych form działalności człowieka w zależności od kierunku adwekcji powietrza i od masy powietrza. Zimą, przy każdym rodzaju adwekcji powietrza panują warunki pogodowe korzystne do łagodnej rekreacji i poruszania się po mieście oraz bardzo korzystne do aktywnej rekreacji ruchowej i pracy na wolnym powietrzu. W pierwszym z wymienionych przypadków najkorzystniejsze warunki występują podczas adwekcji powietrza z zachodu i północnego zachodu oraz przy nieokreślonym rodzaju adwekcji. Do aktywnej rekreacji ruchowej i do pracy najkorzystniejsze warunki pogodowe stwarza natomiast powietrze napływające z południowego wschodu oraz nieokreślony typ adwekcji. Nieokreślone sytuacje adwekcyjne odznaczają się najwyższym, sumarycznym wskaźnikiem oceny, bliskim granicy warunków korzystnych.

Wiosną sytuacje korzystne do kąpieli słonecznych pojawiają się przy adwekcji powietrza z południowego wschodu. Ten rodzaj adwekcji wyróżnia się także największą przydatnością do kąpieli powietrznych. Do łagodnej i aktywnej rekreacji najdogodniejsze warunki pogodowe panują przy adwekcji powietrza ze wschodu oraz – z nieokreślonego kierunku. Najwyższe wartości wskaźnika WEI_{tot} – wskazujące na bardzo korzystne warunki pogodowe – występują podczas adwekcji z kierunku wschodniego i południowo wschodniego oraz w sytuacjach oznaczanych jako „0”.

Latem, najbardziej przydatna do kąpieli słonecznych i powietrznych oraz do łagodnej rekreacji ruchowej jest pogoda związana z napływem powietrza z północy, zachodu i północnego zachodu, natomiast najniższe wartości wskaźnika WEI_{sr} , mówiące o warunkach niekorzystnych do aktywnej rekreacji ruchowej i znacznie ograniczających możliwość kąpieli słonecznych i powietrznych, występują podczas adwekcji z południowego wschodu. Przy tym rodzaju adwekcji notuje się także najniższą wartość wskaźnika WEI_{tot} (2,9).

Jesienią, do kąpieli słonecznych i powietrznych oraz do łagodnej rekreacji ruchowej najlepsze warunki pogodowe obserwuje się przy adwekcji powietrza z południowego zachodu; ten rodzaj adwekcji odznacza się także najwyższą wartością wskaźnika sumarycznej oceny pogody (6,7), mówiącą o warunkach bardzo korzystnych (tab. 26).

Tabela 26. Wartości sumarycznego wskaźnika oceny pogody (WEI_{tot}) oraz średnich wskaźników oceny przydatności pogody (WEI_{sr}) do różnych form aktywności człowieka: kąpiele słonecznych (SB), kąpiele powietrznych (AB), łagodnych form rekreacji ruchowej (MR), intensywnej rekreacji ruchowej (AR) oraz turystyki narciarskiej (ST) przy różnej adwekcji powietrza, Warszawa-Okęcie 1994-1999

Zima						
Adw.	WEI_{sr}					WEI_{tot}
	SB	AB	MR	AR	ST	
N	0,0	0,2	1,5	2,1	0,1	3,9
NE	0,0	0,2	1,4	2,3	0,0	4,0
E	0,0	0,2	1,3	2,7	0,0	4,1
SE	0,0	0,2	1,3	2,9	0,0	4,3
S	0,0	0,2	1,4	2,6	0,1	4,3
SW	0,0	0,3	1,4	2,2	0,1	4,0
W	0,0	0,3	1,6	2,2	0,1	4,2
NW	0,0	0,3	1,6	2,2	0,0	4,1
0	0,0	0,4	1,7	2,8	0,1	4,9
Lato						
Adw.	WEI_{sr}					WEI_{tot}
	SB	AB	MR	AR	ST	
N	1,7	1,7	1,5	0,7	0,0	5,7
NE	1,4	1,4	1,4	0,6	0,0	4,9
E	1,2	1,2	1,1	0,4	0,0	4,0
SE	1,0	1,0	0,8	0,2	0,0	2,9
S	1,4	1,4	1,2	0,4	0,0	4,4
SW	1,2	1,2	0,9	0,2	0,0	3,4
W	1,7	1,7	1,4	0,6	0,0	5,4
NW	1,6	1,6	1,4	0,8	0,0	5,5
0	1,4	1,4	1,1	0,4	0,0	4,2
Wiosna						
Adw.	WEI_{sr}					WEI_{tot}
	SB	AB	MR	AR	ST	
N	0,7	1,1	1,9	1,8	0,1	5,6
NE	0,7	1,0	1,9	1,6	0,1	5,4
E	0,9	1,2	2,3	2,0	0,1	6,5
SE	1,2	1,5	2,1	1,7	0,1	6,7
S	1,1	1,3	1,9	1,5	0,0	5,9
SW	1,1	1,3	2,0	1,6	0,0	6,0
W	1,0	1,2	1,9	1,7	0,0	5,8
NW	0,9	1,1	1,9	1,8	0,0	5,7
0	0,8	1,2	2,3	2,1	0,0	6,6
Jesień						
Adw.	WEI_{sr}					WEI_{tot}
	SB	AB	MR	AR	ST	
N	0,5	1,0	2,3	2,3	0,0	6,1
NE	0,4	0,8	2,0	1,9	0,0	5,1
E	0,4	0,8	2,1	2,4	0,0	5,8
SE	0,6	0,9	2,1	2,3	0,0	5,9
S	0,6	1,0	2,0	2,0	0,0	5,7
SW	1,0	1,3	2,4	2,1	0,0	6,7
W	0,8	1,1	2,2	2,2	0,0	6,3
NW	0,6	0,9	2,1	2,3	0,0	5,9
0	0,5	0,7	1,9	2,0	0,1	5,0

Ciekawe są wyniki analizy przydatności warunków pogodowych dla człowieka w zależności od rodzaju masy powietrza. W zależności od pory roku różne masy powietrza mają różny stopień przydatności. Zimą, najwyższymi wskaźnikami oceny WEI_{sr} – w odniesieniu do łagodnej rekreacji ruchowej – odznacza się pogoda kształtowana przez masę powietrza zwrotnikowego, a w odniesieniu do aktywnych form rekreacji i pracy – pogoda występująca podczas zalegania powietrza polarno-kontynentalnego. Ta też masa powietrza odznacza się najwyższym wskaźnikiem oceny sumarycznej (tab. 27).

Tabela 27. Wartości sumarycznego wskaźnika oceny pogody (WEI_{tot}) oraz średnich wskaźników oceny przydatności pogody (WEI_{sr}) do różnych form aktywności człowieka: kąpeli słonecznych (SB), kąpeli powietrznych (AB), łagodnych form rekreacji ruchowej (MR), intensywnej rekreacji ruchowej (AR) oraz turystyki narciarskiej (ST) w różnych masach powietrza, Warszawa-Okęcie 1994-2001

Zima							WEI_{tot}	Wiosna							WEI_{tot}
Masa	SB	AB	MR	AR	ST	WEI_{sr}		Masa	SB	AB	MR	AR	ST	WEI_{sr}	
PA	0,0	0,3	1,5	2,5	0,1	4,3	4,3	PA	0,7	1,0	1,9	1,8	0,1	5,5	5,5
PPk	0,0	0,2	1,3	2,9	0,0	4,4	4,4	PPk	1,2	1,4	2,1	1,7	0,2	6,7	6,7
PPm	0,0	0,2	1,4	2,1	0,1	3,9	3,9	PPm	1,1	1,2	1,8	1,6	0,0	5,7	5,7
PPms	0,0	0,3	1,5	2,4	0,0	4,2	4,2	PPms	1,0	1,3	2,0	1,8	0,0	6,2	6,2
PZ	0,1	0,3	1,7	2,0	0,0	4,0	4,0	PZ	1,4	1,4	1,7	1,3	0,0	5,8	5,8
Lato							WEI_{tot}	Jesień							WEI_{tot}
Masa	SB	AB	MR	AR	ST	WEI_{sr}		Masa	SB	AB	MR	AR	ST	WEI_{sr}	
PA	1,6	1,6	1,3	0,7	0,0	5,2	5,2	PA	0,5	0,9	2,3	2,4	0,0	6,1	6,1
PPk	1,0	1,0	0,8	0,3	0,0	3,2	3,2	PPk	0,8	1,1	2,3	2,1	0,0	6,4	6,4
PPm	1,6	1,6	1,3	0,7	0,0	5,1	5,1	PPm	0,7	0,9	1,9	1,9	0,0	5,5	5,5
PPms	1,6	1,6	1,2	0,5	0,0	4,9	4,9	PPms	0,7	1,0	2,1	2,2	0,0	5,9	5,9
PZ	0,7	0,7	0,3	0,1	0,0	1,9	1,9	PZ	1,6	1,8	2,5	1,7	0,0	7,6	7,6

Wiosną, z kąpeli słonecznych można korzystać podczas pogody związanej z masami PZ i PPK, a z kąpeli powietrznych – także z masami PPM i PPms. Masy PPK i PZ stwarzają również najdogodniejsze warunki do łagodnych form rekreacji ruchowej. Natomiast aktywnej rekreacji ruchowej i pracy na wolnym powietrzu najbardziej sprzyja pogoda związana z masą powietrza arktycznego i polarno-morskiego starego. Najwyższym wskaźnikiem sumarycznej oceny pogody odznacza się masa PPK.

Latem kąpiele słoneczne i powietrzne oraz łagodna rekreacja ruchowa mogą być bez większych przeszkód stosowane podczas zalegania powietrza arktycznego, polarno-morskiego i polarno-morskiego starego. Niekorzystne warunki pogodowe, ocenione za pomocą wskaźnika WEI_{tot} , panują latem w masie powietrza zwrotnikowego i polarno-kontynentalnego.

Jesienią, dwie ostatnio wymienione masy powietrza charakteryzują się natomiast najkorzystniejszymi warunkami pogodowymi. W przypadku masy PZ panuje pogoda korzystna dla wszystkich form aktywności człowieka, a w przypadku masy PPK – do rekreacji ruchowej, łagodnej i aktywnej (tab. 27).

3. Zróźnicowanie warunków pogodowych na Nizinie Mazowieckiej

Jednym z celów badań było znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy warunki pogodowe w samej Warszawie są wyraźnie różne od warunków pogodowych w innych częściach Niziny Mazowieckiej. Do przeanalizowania tego problemu wykorzystano dane meteorologiczne z okresu 1961-1970 z pięciu posterunków meteorologicznych leżących w Warszawie i w jej pobliżu: Warszawa-Bielany, Skierniewice, Wyszaków, Świder i Sinołęka (por. ryc. 1), reprezentują one środkową część Niziny Mazowieckiej. Do scharakteryzowania warunków pogodowych wykorzystano przedstawioną wyżej klasyfikację autora. Za jej pomocą określono typy i podtypy pogody. Posiadane dane meteorologiczne pozwoliły jednak tylko na określenie jednej z klas pogody, mówiącej o wystąpieniu opadu atmosferycznego.

Ogólnie biorąc, na Nizinie Mazowieckiej nie obserwuje się dużych różnic warunków pogodowych, a te, które występują wiążą się bardziej z umiejscowieniem samej stacji meteorologicznej niż z jej położeniem geograficznym. Pierwszym z tych czynników można wytłumaczyć stosunkowo rzadkie pojawianie się pogody zimnej w Świdrze. Natomiast położenie geograficzne Sinołęki we wschodniej części Niziny Mazowieckiej – gdzie wyraźniej niż w jej części zachodniej zaznaczają się wpływy klimatu kontynentalnego, zwłaszcza zimą – sprawia, że stosunkowo często notuje się tam przypadki pogody zimnej. Obserwuje się też zróźnicowanie sezonowe typów pogody uzależnione od lokalizacji stacji. Np. na stacji Warszawa-Bielany pogoda gorąca występuje tylko w okresie letnim, natomiast w pozostałych miejscowościach – także wiosną i jesienią (tab. 28).

Podobnie jak typy pogody, słabo zróźnicowane przestrzennie są poszczególne jej elementy mówiące o podtypie pogody. Największe różnice przestrzenne występują w przypadku natężenia bodźców radiacyjnych. We wschodniej części Niziny Mazowieckiej (Świder, Wyszaków, Sinołęka) częstość silnych bodźców radiacyjnych jest – zwłaszcza w okresie letnim – większa niż w części zachodniej (Skierniewice, Bielany). Można to wiązać z większym zurbanizowaniem zachodniej części Mazowsza w stosunku do obszarów położonych na wschód od Wisły, które powoduje wzrost zachmurzenia konwekcyjnego, wywołanego termiką podłoża (ryc. 59). Częstość dni z występowaniem termofizjologicznego stresu zimna i gorąca jest na wszystkich badanych stacjach podobna (ryc. 60). Różni się natomiast nieco częstość występowania odczucia parności. Najczęściej obserwuje się je w Świdrze, co wiąże się ze specyficznym położeniem stacji w niedalekim

sąsiedztwie Wisły i kompleksów leśnych, które zwiększają nieco wilgotność powietrza i wyhamowują prędkość wiatru, wpływając na zwiększenie zagrożenia odczuciem parności (ryc. 61).

Tabela 28. Częstość występowania (%) różnych typów pogody na wybranych stacjach meteorologicznych Niziny Mazowieckiej, 1961-1970

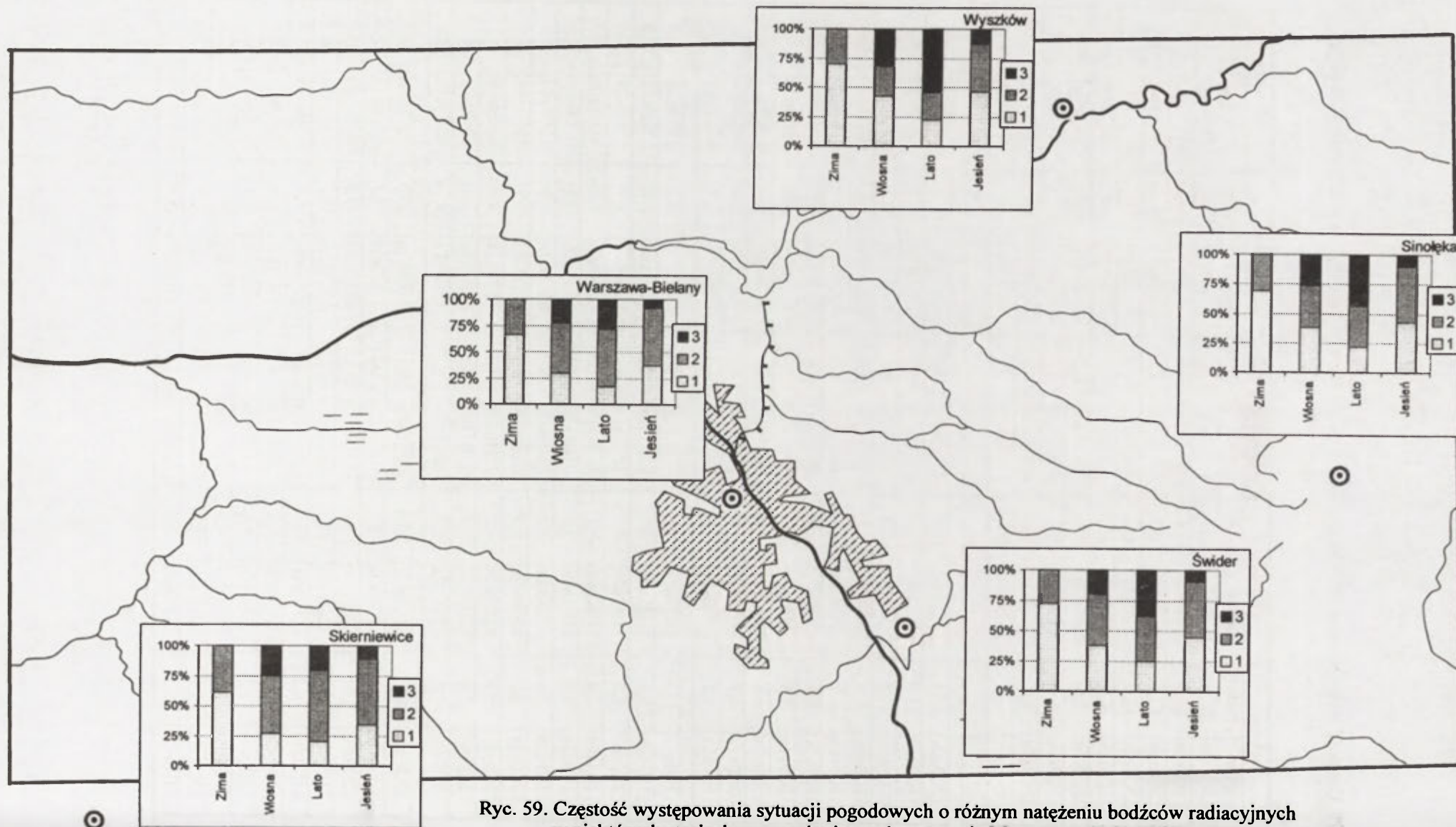
Typ pogody	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Rok
Warszawa-Bielany					
bardzo zimna					
zimna	33,4	1,9		2,4	9,4
chłodna	66,6	48,4	0,4	56,1	42,8
komfortowa		29,7	22,4	27,7	20,0
ciepła		20,0	64,6	13,8	24,7
gorąca			12,6		3,2
bardzo gorąca					
Swider					
bardzo zimna					
zimna	30,5	0,5		1,1	8,0
chłodna	69,4	47,0	0,4	52,4	42,1
komfortowa	0,1	25,6	12,9	28,5	16,8
ciepła		26,1	71,9	17,5	29,1
gorąca		0,8	14,4	0,4	3,9
bardzo gorąca			0,3		0,1
Skierniewice					
bardzo zimna					
zimna	34,6	1,3		1,4	9,3
chłodna	65,4	49,9	0,3	54,4	42,3
komfortowa		27,7	19,8	28,4	19,0
ciepła		21,0	70,3	15,5	26,9
gorąca		0,1	9,5	0,2	2,5
bardzo gorąca			0,1		0,0
Wyszków					
bardzo zimna	0,1				0,0
zimna	35,5	0,8		1,6	9,4
chłodna	64,0	46,9	0,1	54,1	41,1
komfortowa	0,3	27,3	12,3	28,3	17,1
ciepła		24,6	73,2	15,9	28,6
gorąca		0,4	13,9	0,1	3,6
bardzo gorąca			0,4		0,1
Sinolęka					
bardzo zimna					
zimna	39,3	1,1		2,1	10,6
chłodna	60,2	50,9	0,7	56,6	41,9
komfortowa	0,4	27,0	19,0	27,3	18,5
ciepła		20,8	70,4	14,0	26,5
gorąca		0,2	9,8		2,5
bardzo gorąca			0,1		0,0

W przypadku opadu atmosferycznego wyróżnia się wschodnią część Mazowsza, reprezentowana przez stację w Sinołęczu, gdzie nieco rzadziej niż w innych częściach regionu, występują dni w opadem, zwłaszcza całodziennym (ryc. 62).

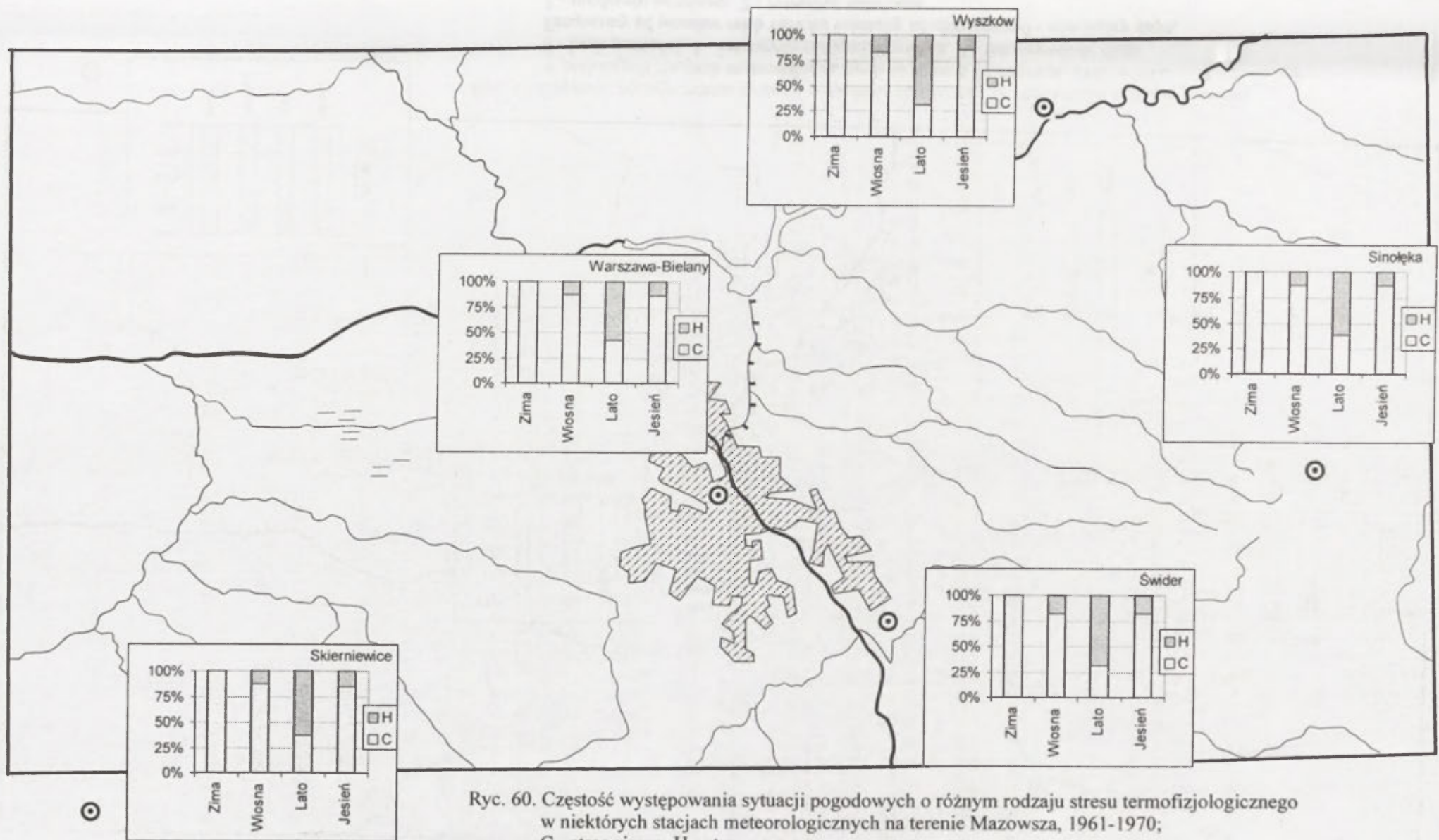
To stosunkowo niewielkie zróżnicowanie warunków pogodowych na terenie Niziny Mazowieckiej może świadczyć o jednorodności klimatycznej tego regionu, w której części wschodniej można się doszukiwać niewielkiej intensyfikacji wpływów klimatu kontynentalnego. Wniosek ten znajduje potwierdzenie również w analizie częstości poszczególnych rodzajów pogody w różnych porach roku. Zimą, około 50% wszystkich przypadków na wszystkich badanych stacjach stanowi pogoda oznaczona symbolami: -11C0x1x oraz -11C0x0x, a więc pogoda chłodna, o słabych bodźcach radiacyjnych, charakteryzująca się fizjologicznym stresem zimna, z opadem lub bez opadu. Kilkunastoprocentową frekwencją odznacza się na większości stacji pogoda oznaczona jako -12C0x0x (chłodna, z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi i fizjologicznym stresem zimna, bez opadu), a jedynie w Sinołęczu pogoda o symbolu -21C0x1x (zimna, ze słabymi bodźcami radiacyjnymi, fizjologicznym stresem zimna i opadem atmosferycznym). Wiosną, przez około 27-30% dni na obszarze Niziny Mazowieckiej panuje pogoda chłodna, o słabych lub umiarkowanych bodźcach radiacyjnych, odznaczająca się fizjologicznym stresem zimna, z opadem lub bez opadu atmosferycznego (o symbolach -11C0x1x i -12C0x0x). Latem, wpływ klimatu kontynentalnego zaznacza się na w części Mazowsza na wschód od Wisły w postaci dominacji (33-35% dni) pogody cieplej, o umiarkowanych i silnych bodźcach radiacyjnych i fizjologicznym stresie gorąca, umiarkowanie parna. Częściej, niż w zachodniej części Mazowsza, występuje tu także pogoda gorąca, umiarkowanie parna o silnych bodźcach radiacyjnych. Jesienią przeważają na całym Mazowszu trzy rodzaje pogody, oznaczone symbolami: -12C0x0x, -11C0x1x, 02C0x0x; łącznie obejmują one 50-60% dni (tab. 29).

Tabela 29. Częstość występowania (%) dominujących na obszarze Niziny Mazowieckiej rodzajów pogody, 1961-1970

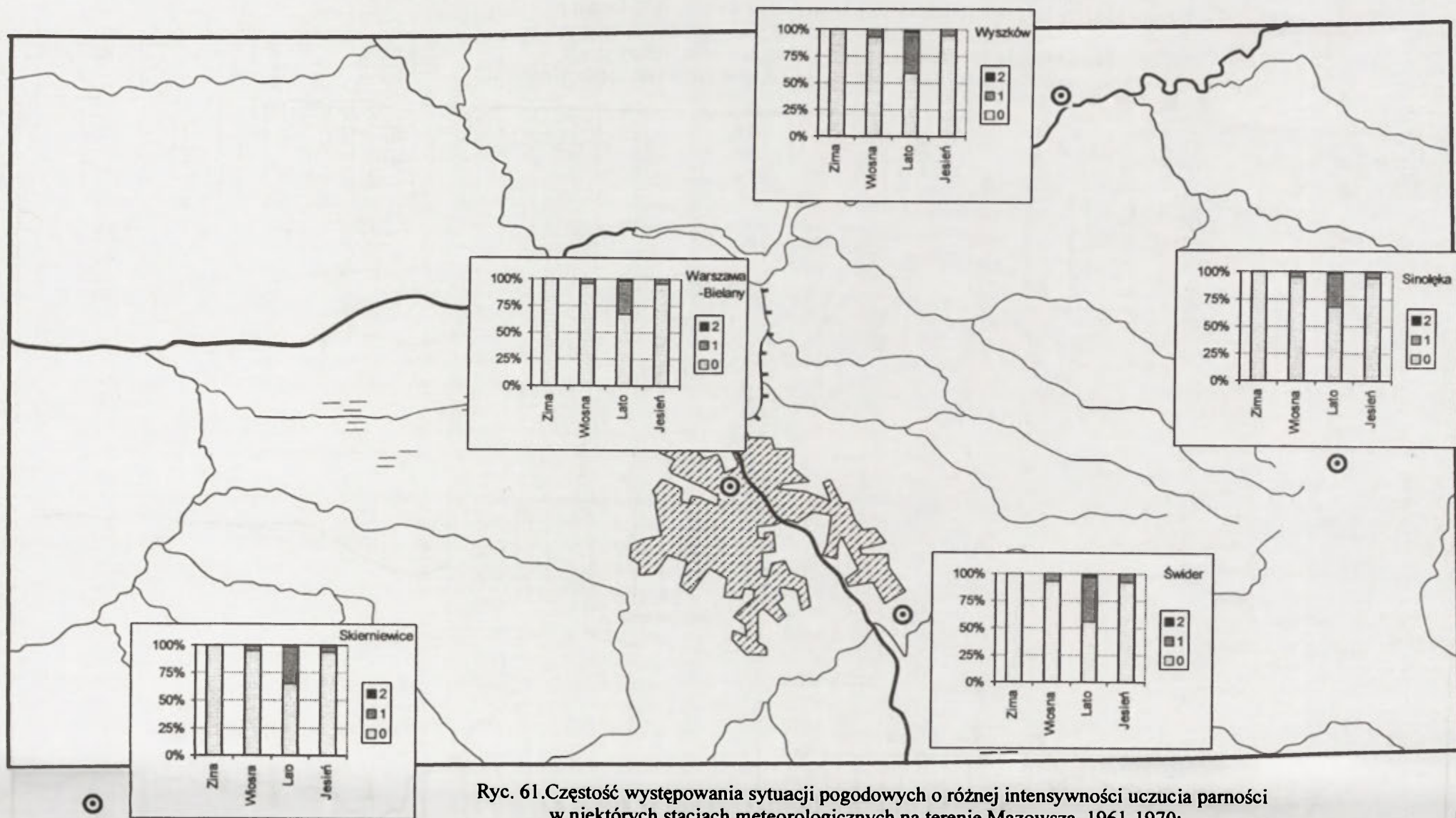
Pora roku	Bielany		Swider		Skierniewice		Wyszaków		Sinołęka	
	pogoda	częstość	pogoda	częstość	pogoda	częstość	pogoda	częstość	pogoda	częstość
Zima	-11C0x1x	24,9	-11C0x1x	32,2	-11C0x0x	24,0	-11C0x1x	32,2	-11C0x1x	23,5
	-11C0x0x	23,7	-11C0x0x	21,4	-11C0x1x	19,2	-11C0x0x	21,4	-11C0x0x	21,7
	-12C0x0x	13,4	-12C0x0x	10,3	-12C0x0x	17,0	-12C0x0x	10,3	-21C0x1x	13,4
	-22C0x0x	12,2	-21C0x1x	9,6	-22C0x0x	13,4	-21C0x1x	9,6	-22C0x0x	11,6
	-21C0x1x	9,5	-22C0x0x	9,2	-21C0x0x	10,0	-22C0x0x	9,2	-12C0x0x	11,6
	-21C0x0x	7,6	-21C0x0x	8,7	-21C0x1x	8,2	-21C0x0x	8,7	-21C0x0x	10,6
	-12C0x1x	4,6	-12C0x1x	5,5	-12C0x1x	5,3	-12C0x1x	5,5	-22C0x1x	3,8
	-22C0x1x	4,0	-22C0x1x	3,0	-22C0x1x	2,9	-22C0x1x	3,0	-12C0x1x	3,5
			01C0x0x	0,1			01C0x0x	0,1	01C0x0x	0,3
									02C0x0x	0,1
Wiosna	-12C0x0x	17,1	-11C0x1x	14,4	-12C0x0x	18,9	-11C0x1x	14,4	-11C0x1x	14,9
	-11C0x1x	11,9	-12C0x0x	13,2	-11C0x1x	11,1	-12C0x0x	13,2	-12C0x0x	14,1
	02C0x0x	11,6	-11C0x0x	10,3	02C0x0x	9,8	-11C0x0x	10,3	-11C0x0x	10,6
	-11C0x0x	7,4	02C0x0x	7,0	-12C0x1x	6,9	02C0x0x	7,0	03C0x0x	7,1
	-13C0x0x	6,1	01C0x1x	6,0	-11C0x0x	6,9	01C0x1x	6,0	01C0x1x	6,6
	01C0x1x	5,6	-12C0x1x	4,9	03C0x0x	6,0	-12C0x1x	4,9	02C0x0x	6,5
	-12C0x1x	5,6	-13C0x0x	4,7	-13C0x0x	5,5	-13C0x0x	4,7	-13C0x0x	5,7
	03C0x0x	4,8	03C0x0x	4,3	01C0x1x	5,0	03C0x0x	4,3	-12C0x1x	5,0
	02C0x1x	4,1	01C0x0x	3,8	13H0x0x	4,5	01C0x0x	3,8	13H0x0x	4,0
	13H0x0x	3,5	12H0x0x	3,7	02C0x1x	3,8	12H0x0x	3,7	01C0x0x	3,5
Lato	12H0x0x	12,4	13H1x0x	14,5	12H0x0x	15,1	13H1x0x	14,5	13H1x0x	13,4
	13H1x0x	9,1	12H1x0x	8,9	12H1x0x	12,9	12H1x0x	8,9	13H0x0x	12,9
	12C0x0x	8,5	13H0x0x	8,7	12C0x0x	8,1	13H0x0x	8,7	12H0x0x	10,1
	12H1x0x	7,4	12H0x0x	8,3	13H1x0x	7,5	12H0x0x	8,3	23H1x0x	7,0
	01C0x1x	7,4	23H1x0x	7,2	01C0x1x	7,1	23H1x0x	7,2	01C0x1x	7,0
	23H1x0x	7,4	01C0x1x	7,2	13H0x0x	5,2	01C0x1x	7,2	12C0x0x	6,9
	02C0x1x	6,7	12C0x0x	5,9	02C0x0x	5,1	12C0x0x	5,9	12H1x0x	5,0
	02C0x0x	5,7	11C0x1x	4,9	12H0x1x	4,1	11C0x1x	4,9	02C0x0x	4,7
	13H0x0x	5,0	12H0x1x	3,2	23H1x0x	3,8	12H0x1x	3,2	13C0x0x	4,4
	12H0x1x	4,6	11C0x0x	2,7	02C0x1x	3,7	11C0x0x	2,7	01C0x0x	3,6
Jesień	-12C0x0x	20,5	-11C0x1x	20,0	-12C0x0x	21,6	-11C0x1x	20,0	-12C0x0x	19,6
	-11C0x1x	18,5	-12C0x0x	15,5	02C0x0x	16,0	-12C0x0x	15,5	-11C0x1x	18,2
	02C0x0x	15,5	02C0x0x	13,6	-11C0x1x	14,8	02C0x0x	13,6	02C0x0x	16,3
	-11C0x0x	11,6	-11C0x0x	11,7	-11C0x0x	12,7	-11C0x0x	11,7	-11C0x0x	15,9
	-12C0x1x	5,5	01C0x1x	5,4	-12C0x1x	5,4	01C0x1x	5,4	13H1x0x	3,7
	12H0x0x	3,8	-12C0x1x	4,9	13H1x0x	3,7	-12C0x1x	4,9	01C0x1x	3,3
	03C0x0x	3,3	12H0x0x	4,4	11H0x0x	2,9	12H0x0x	4,4	01C0x0x	3,1
	01C0x1x	3,1	01C0x0x	4,0	03C0x0x	2,8	01C0x0x	4,0	-12C0x1x	2,8
	02C0x1x	2,9	13H1x0x	3,7	01C0x1x	2,6	13H1x0x	3,7	13H0x0x	2,6
	13H0x0x	2,7	13H0x0x	2,3	02C0x1x	2,5	13H0x0x	2,3	12H0x0x	2,4



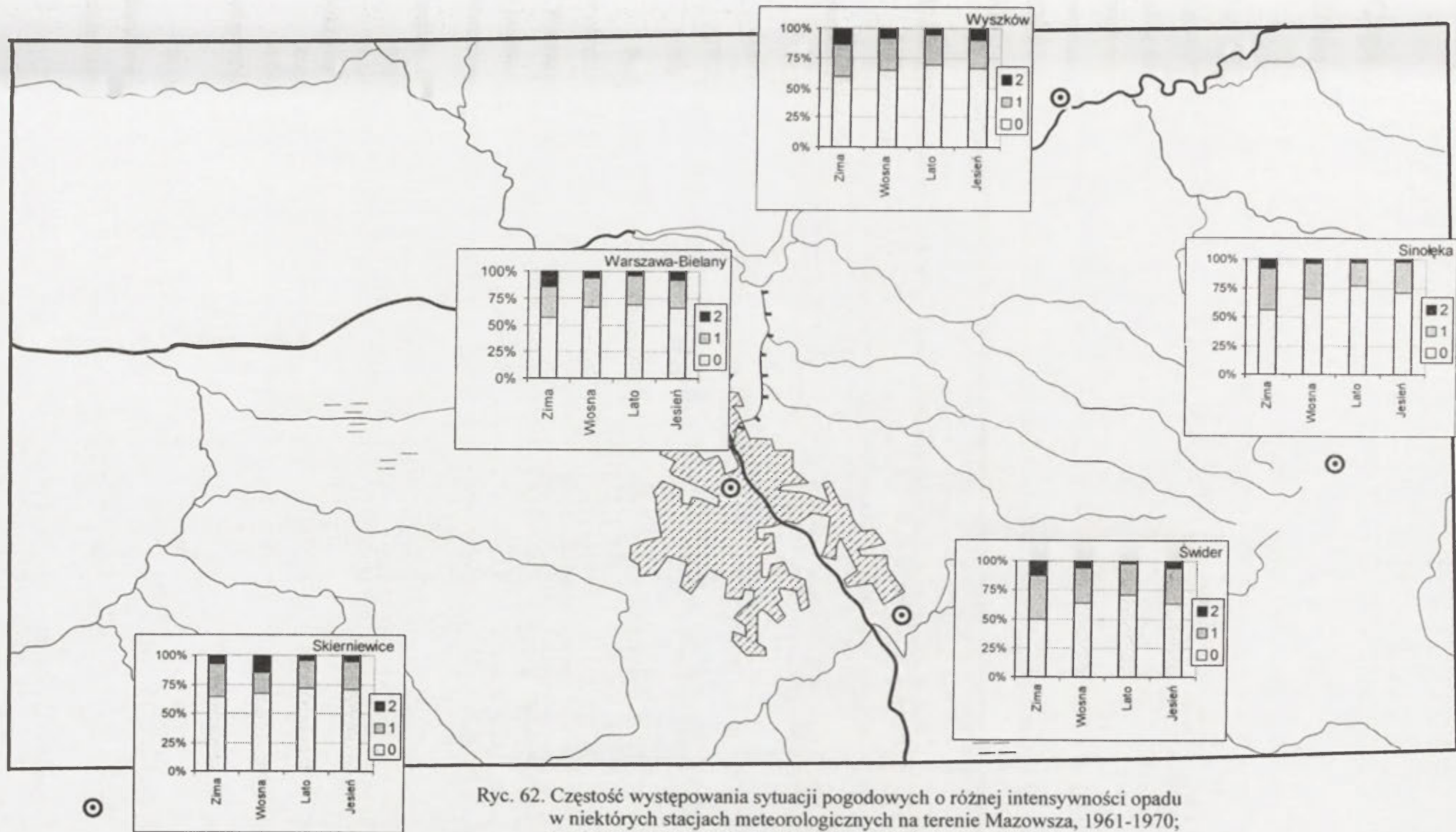
Ryc. 59. Częstość występowania sytuacji pogodowych o różnym natężeniu bodźców radiacyjnych w niektórych stacjach meteorologicznych na terenie Mazowsza, 1961-1970; 1- słabe, 2 - umiarkowane, 3 - silne
 Frequency of weather with various intensity of radiative stimuli, 1961-1970: 1 - weak, 2 - moderate, 3 - strong



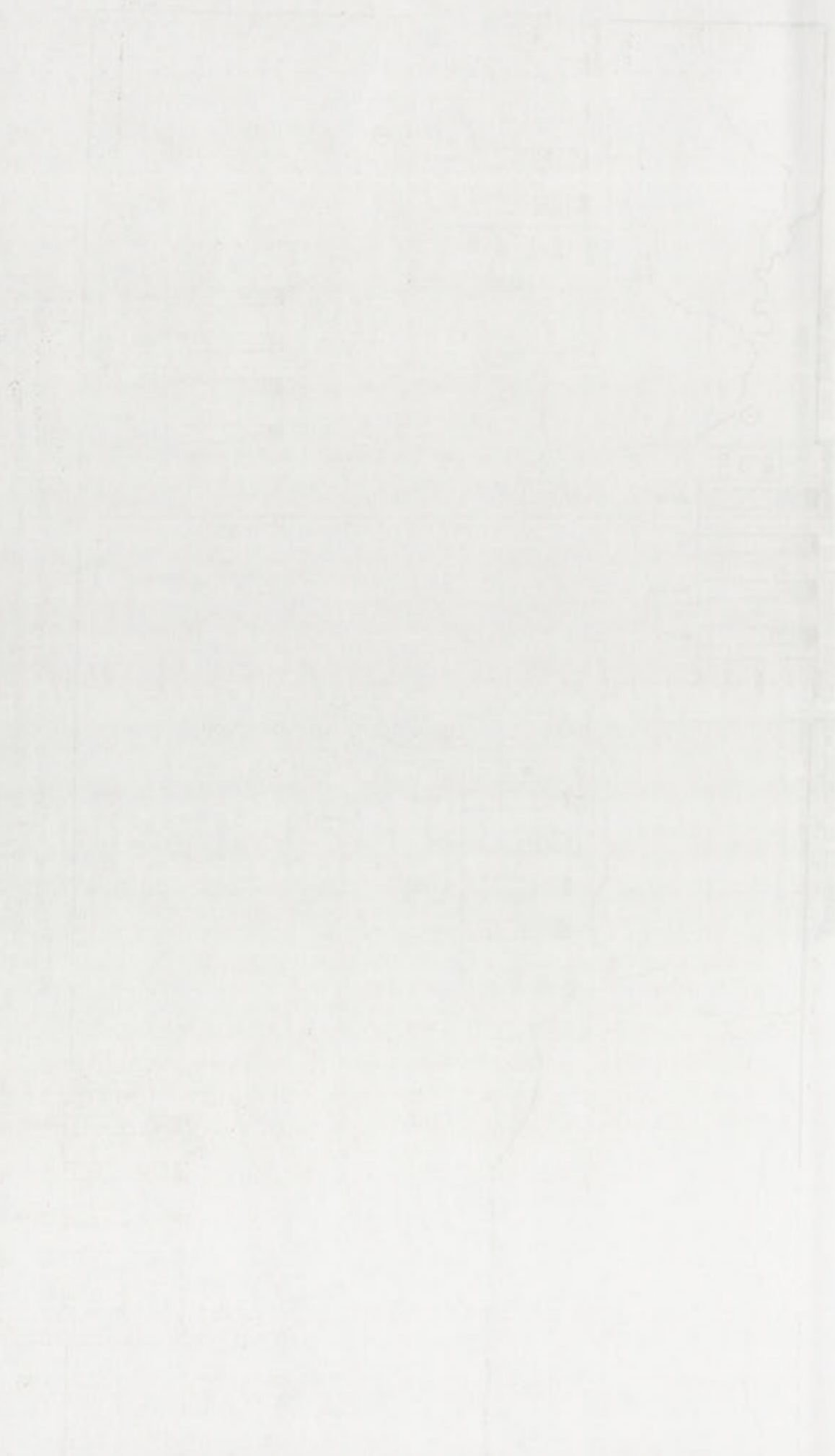
Ryc. 60. Częstość występowania sytuacji pogodowych o różnym rodzaju stresu termofizjologicznego w niektórych stacjach meteorologicznych na terenie Mazowsza, 1961-1970; C - stres zimna, H - stres gorąca
 Frequency of weather with various thermophysiological strain, 1961-1970; C - cold strain, H - hot strain <http://rcin.org.pl>



Ryc. 61. Częstość występowania sytuacji pogodowych o różnej intensywności uczucia parności w niektórych stacjach meteorologicznych na terenie Mazowsza, 1961-1970; 0 - brak parności, 1 - intensywność umiarkowana, 2 - intensywność duża
 Frequency of weather with various intensity of sultriness; 0 - non sultry days, 1 - moderate sultriness, 2 - intensive sultriness



Ryc. 62. Częstość występowania sytuacji pogodowych o różnej intensywności opadu w niektórych stacjach meteorologicznych na terenie Mazowsza, 1961-1970; 0 - dzień bez opadu, 1 - opad krótkotrwały, 2 - opad całodzienny
 Frequency of weather with various intensity of rainfall; 0 - no-rainy day, 1 - short rains during the day, 2 - whole day rain



Część III

Zróznicowanie topoklimatyczne południowej części Niziny Mazowieckiej

Przedmiotem badań było także zróznicowanie warunków klimatycznych w skali lokalnej. Już w rozdziałach poprzednich zwracano uwagę na rolę czynników lokalnych, w kształtowaniu zarówno podstawowych elementów klimatu, jak i warunków bioklimatycznych. Do scharakteryzowania zróznicowania topoklimatycznego obszaru aglomeracji warszawskiej posłużono się metodą zaproponowaną przez autora (Błażejczyk 2001b). Opiera się ona na przetwarzaniu cyfrowej bazy danych utworzonej w systemie rastrowym za pomocą programu IDRISI for Windows. Tę część opracowania wykonano przy współpracy z Instytutem Geografii Akademii Bydgoskiej, który udostępnił w/w program.

1. Elementy bazy danych

Na bazę danych o środowisku geograficznym składa się kilka, następujących grup tematycznych (ryc. 63):

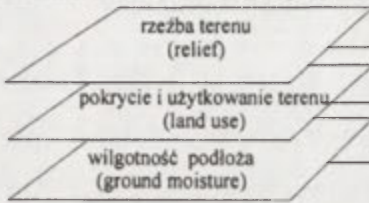
- dane podstawowe o środowisku geograficznym,
- dane o klimatycznych cechach środowiska,
- syntetyczna mapa topoklimatyczna,
- mapy aplikacyjne.

Podstawą utworzonej bazy GIS są pola podstawowe o rozmiarze 1x1 km, wydzielone w obrębie siatki kilometrowej mapy topograficznej Polski 1:200 000, arkusze Warszawa Wschód i Warszawa Zachód. Dla każdego pola podstawowego zapisano w postaci cyfrowej informacje o podstawowych cechach środowiska geograficznego, wpływające na warunki klimatu lokalnego. Stworzono trzy warstwy tematyczne zawierające informacje o:

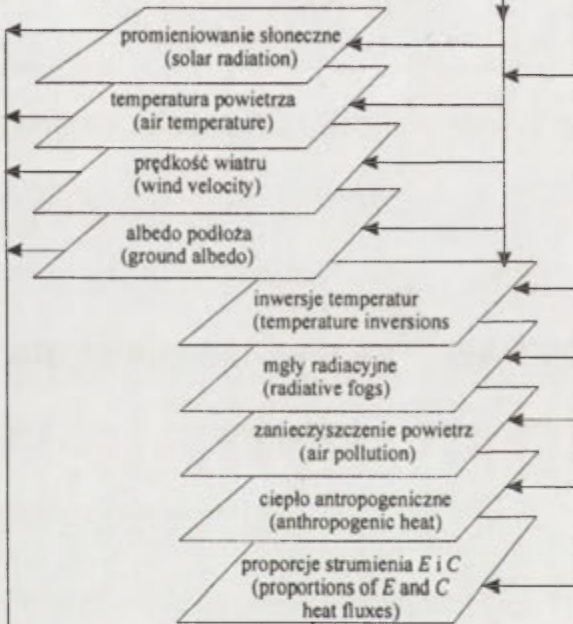
- rzeźbie terenu, w obrębie której uwzględniono: wyniesione równiny, dna dolin, pojedyncze pagóry i szczyty, grzbiety, zbocza o ekspozycji S, zbocza o ekspozycji N, zbocza o ekspozycji E lub W,
- pokryciu i użytkowaniu terenu, w której wydzielono: lasy, pola i nieużytki, łąki, obszary komunikacyjne, zabudowę wiejską, zabudowę miejską, zabudowę przemysłową, zabudowę śródleśną oraz jeziora i otwarte powierzchnie wodne,
- wilgotności podłoża, gdzie uwzględniono jej dwie klasy: obszary suche i obszary wilgotne.

W każdym polu podstawowym określono, która z wymienionych wyżej cech środowiska dominowała na jego obszarze. Powstały dzięki temu mapy podstawowe, obrazujące zróznicowanie pokrycia i użytkowania terenu, rzeźby terenu oraz wilgotności podłoża.

**Podstawowe informacje o środowisku geograficznym:
(Basic information about geographical environment)**



**Podstawowe informacje topoklimatyczne:
(Basic topoclimatic information)**



**Uogólnione wyniki terenowych badań topoklimatycznych
(General results of field topoclimatic research)**

zmiany promieniowania słonecznego, temperatury powietrza, prędkości wiatru i albedo podłoża pod wpływem różnych składników środowiska geograficznego

(modifications of solar radiation, air temperature, wind velocity and ground albedo under the influence of various geographical elements)

jakościowa analiza występowania specyficznych właściwości klimatu lokalnego

(qualitative analysis dealing with the occurrence of specific features of local climate)

**Syntetyczna mapa topoklimatyczna
(Synthetic topoclimatic map)**

**Mapy oceniające
(dla różnych form aktywności człowieka)
Evaluating maps
(for various forms of human activity)**

Ryc. 63. Schemat Systemu Informacji Geograficznej do wykonania przeglądowej mapy topoklimatycznej aglomeracji warszawskiej

Scheme of Geographical Information System to be used in topoclimatic mapping of Warsaw agglomeration

2. Klimatyczne cechy środowiska

Opierając się na uogólnionych wynikach licznych szczegółowych badań topoklimatycznych, prowadzonych w różnych rodzajach środowiska geograficznego określono charakterystyczne dla nich odchylenia podstawowych elementów klimatu w stosunku do warunków standardowych, reprezentowanych przez warunki notowane na lokalnej stacji meteorologicznej. Odchylenia te opisuje się za pomocą współczynników zmian: temperatury powietrza (zt), natężenia promieniowania całkowitego (zr) oraz prędkości wiatru (zv). Wartości zt , zr i zv oblicza się jako stosunek wartości odpowiednich elementów meteorologicznych mierzonych podczas pogody o małym lub umiarkowanym zachmurzeniu na wysokości 2 m nad gruntem w danym rodzaju środowiska do analogicznych wartości mierzonych w warunkach standardowych. W odniesieniu do Niziny Mazowieckiej jako standardowe przyjęto warunki meteorologiczne na stacji Warszawa-Okęcie. Tabela 30 zawiera uśrednione wartości tych współczynników wyznaczone dla niektórych rodzajów środowiska geograficznego. Wykorzystano przy tym głównie wyniki badań terenowych prowadzonych w Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN (Błażejczyk 1984, 1990b; Krawczyk i Błażejczyk 1999; Paszyński i in. 1999). Na podstawie istniejących wyników badań dotyczących zależności promieniowania odbitego od rodzaju podłoża (Kozłowska-Szczęsna 1973), można także określić współczynnik zmian albedo (za), który wyznacza się jako stosunek albedo danego rodzaju podłoża do albedo standardowej powierzchni trawiastej (równego 20%).

Bardzo ważną, jakościową charakterystyką warunków klimatu lokalnego jest występowanie na badanym terenie jego specyficznych cech, do których można zaliczyć: przygruntowe inwersje temperatury powietrza, mgły radiacyjne, zanieczyszczenie powietrza, energię pochodzenia antropogenicznego oraz zawartość w powietrzu fitoncydów (czyli lotnych, roślinnych substancji eterycznych o działaniu bakteriobójczym). Występowanie tych właściwości wiąże się z konkretnymi elementami środowiska geograficznego (tab. 31). Mapy rozkładu tych właściwości klimatu lokalnego wykonano poprzez reklasyfikację warstw tematycznych związanych z podstawowymi elementami środowiska geograficznego.

Tabela 30. Uśrednione wartości współczynników zmian: natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (*zr*), temperatury powietrza (*zt*) i prędkości wiatru (*zv*) na wysokości 2 m nad gruntem oraz współczynnika zmian albedo (*za*) w stosunku do warunków standardowych (panujących na lokalnej stacji meteorologicznej)

Cechy środowiska geograficznego		Współczynniki zmian:			
		<i>zr</i>	<i>za</i>	<i>zt</i>	<i>zv</i>
Rzeźba terenu	Wyniesione równiny	1,00	1,00	1,00	1,00
	Pagóry i szczyty	0,95	1,00	0,75-0,95*	1,15
	Dna dolin	1,05	1,00	0,95	0,90
	Zbocza S	1,20	1,00	0,95-1,20*	0,90-1,10*
	Zbocza N	0,80	1,00	0,80-0,90*	0,90-1,10*
	Zbocza E (W)	1,00	1,00	0,90-1,00*	0,95-1,15*
Pokrycie i użytkowanie terenu	Pola i nieużytki	1,00	1,00	1,00	1,00
	Łąki	1,00	1,20	0,95	1,00
	Lasy	0,30	0,90	0,90	0,20
	Obszary komunikacyjne	1,00	0,80	1,05	0,95
	Zabudowa wiejska	1,00	0,90	1,10	0,80
	Zabudowa śródleśna	0,60	0,90	0,95	0,60
	Zabudowa miejska	0,80	1,10	1,25	0,60
	Zabudowa przemysłowa	0,80	1,15	1,30	0,60
	Otwarte wody	1,00	1,25	0,85	1,10
Wilgotność podłoża	Suche	1,00	1,00	1,00	1,00
	Wilgotne	1,00	1,00	0,95	1,00

* wartości współczynnika zmian zależą od wysokości względnej

Tabela 31. Zwiększone (1) lub przeciętne (0) predyspozycje wystąpienia specyficznych właściwości klimatu oraz stosunek ewaporacyjnego do konwekcyjnego strumienia ciepła na powierzchni czynnej (E/C) w różnych formach środowiska geograficznego

Element środowiska geograficznego		Specyficzne właściwości klimatu					E/C
		Inwersje temperatury	Mgły radiacyjne	Zanieczyszczenie powietrza	Ciepło antropogeniczne	Fitoncydy	
Rzeźba terenu	Wyniesione równiny	0	0	0	0	0	<1
	Pagóry i szczyty	0	0	0	0	0	<1
	Dna dolin	1	1	0	0	0	>1
	Zbocza S	0	0	0	0	0	<1
	Zbocza N	0	0	0	0	0	<1
	Zbocza E (W)	0	0	0	0	0	<1
Pokrycie i użytkowanie terenu	Pola i nieużytki	0	0	0	0	0	<1
	Łąki	0	1	0	0	0	>1
	Lasy	0	0	0	0	1	>1
	Obszary komunikacyjne	1	0	1	0	0	1
	Zabudowa wiejska	0	0	1	0	0	<1
	Zabudowa śródleśna						
	Zabudowa miejska	0	0	1	1	0	1
	Zabudowa przemysłowa	0	0	1	1	0	1
	Otwarte wody	1	1	0	0	0	>1
Wilgotność podłoża	Suche	0	0	0	0	0	<1
	Wilgotne	0	1	0	0	0	1

3. Mapy analityczne

Korzystając z procedur reklasfikacyjnych programu IDRISI wykonano w pierwszej kolejności mapy względnych wartości całkowitego promieniowania słonecznego, temperatury powietrza i prędkości wiatru. Przetwarzając mapę pokrycia i użytkowania terenu uzyskano natomiast mapę albedo powierzchni czynnej.

Na podstawie map względnych wartości elementów meteorologicznych obliczono mapy rozkładu ich prawdopodobnych wartości, przyjmując jako warunki odniesienia (referencyjne) te, które panują na stacji Warszawa-Okęcie:

- mapę rozkładu całkowitego promieniowania słonecznego (*Kglob*), przy wartości referencyjnej na Okęciu 800 W m^{-2} ,
- mapę promieniowania odbitego (*Kref*) – wartość referencyjna albedo = 20%,
- mapy rozkładu temperatury powietrza (*t*) – wartości referencyjne 10, 20 i 30°C ,
- mapy rozkładu prędkości wiatru (*v*) – wartości referencyjne 2, 4 i 8 m s^{-1} .

Reklasfikując mapy podstawowe (rzeźby terenu, pokrycia i użytkowania terenu oraz wilgotności podłoża) wykonano mapy:

- zagrożenia przygruntowymi inwersjami temperatury,
- zagrożenia częstym występowaniem mgieł radiacyjnych,
- zwiększonego zanieczyszczenia powietrza ze źródeł lokalnych,
- obszarów o podwyższonej emisji ciepła antropogenicznego,
- obszarów o zawartości w powietrzu fitoncydów,
- struktury strumieni turbulencyjnej wymiany ciepła na powierzchni czynnej: jawnego i utajonego.

4. Syntetyczna mapa topoklimatyczna

Syntetyczna, cyfrowa mapa topoklimatyczna wskazuje obszary o jednorodnych cechach klimatu. Poprzez zastosowanie sformalizowanych procedur algebraicznych i reklasfikacyjnych Systemu Informacji Geograficznej zawartych w programie IDRISI oznaczono dla każdego pola podstawowego główne cechy klimatu lokalnego.

Klasyfikacja klimatów lokalnych składa się z trzech stopni: grup, typów i klas topoklimatu.

Na podstawie względnych wartości całkowitego promieniowania całkowitego oraz względnych wartości albedo wydzielono następujące grupy topoklimatów:

- A – topoklimaty o zmniejszonym (w stosunku do warunków standardowych) dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego od podłoża;
- B – topoklimaty o zmniejszonym (w stosunku do warunków standardowych) dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej i zwiększonych wartościach promieniowania odbitego od podłoża;
- C – topoklimaty o przeciętnym dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego od podłoża;
- D – topoklimaty o przeciętnym dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej i zwiększonych wartościach promieniowania odbitego od podłoża;
- E – topoklimaty o zwiększonym (w stosunku do warunków standardowych) dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego od podłoża;
- F – topoklimaty o zwiększonym (w stosunku do warunków standardowych) dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni czynnej i zwiększonych wartościach promieniowania odbitego od podłoża.

W każdej z tych grup topoklimatów wydzielono następnie ich typy na podstawie lokalnych warunków termicznych i wietrznych. Można wyróżnić dziewięć typów topoklimatu (tab. 32):

- 1.1. – chłodny (o średniej temperaturze powietrza niższej niż w warunkach standardowych) i zaciszny (o średniej prędkości wiatru mniejszej niż w warunkach standardowych);
- 1.2. – chłodny i umiarkowanie wietrzny (o prędkościach wiatru zbliżonych do warunków standardowych);
- 1.3. – chłodny i wietrzny (o prędkościach wiatru większych niż w warunkach standardowych);
- 2.1. – umiarkowanie ciepły (o średniej temperaturze powietrza zbliżonej do warunków standardowych) i zaciszny;
- 2.2. – umiarkowanie ciepły i umiarkowanie wietrzny;
- 2.3. – umiarkowanie ciepły i wietrzny;
- 3.1. – ciepły (o średniej temperaturze powietrza wyższej niż w warunkach standardowych) i zaciszny;
- 3.2. – ciepły i umiarkowanie wietrzny;
- 3.3. – ciepły i wietrzny.

Tabela 32. Typy topoklimatu zdefiniowane na podstawie lokalnych warunków termicznych i anemologicznych

		Warunki termiczne		
		1 chłodne	2 umiarkowanie ciepłe	3 ciepłe
Warunki wietrzne	1 zaciszne	1.1.	2.1.	3.1.
	2 umiarkowanie wietrzne	1.2.	2.2.	3.2.
	3 wietrzne	1.3.	2.3.	3.3.

Klasy topoklimatu wskazują na predyspozycje (zwiększone lub przeciętne) do występowania na badanym terenie specyficznych właściwości klimatu lokalnego. Jak już wspomniano wyżej, uwzględniono pięć takich właściwości. Za pomocą specjalnego zapisu cyfrowego oznaczono występowanie lub brak każdej z nich w każdym polu podstawowym. W zapisie cyfrowym klas topoklimatu poszczególnym pozycjom odpowiada występowanie (1) lub brak (0) danej cechy klimatu (według kolejności: inwersje temperatury powietrza, mgły radiacyjne, zanieczyszczenie powietrza, ciepło antropogeniczne, fitonocydy). Symbol klasy topoklimatu znajduje się w indeksie dolnym symbolu oznaczającego jego grupę i typ.

Pełny zapis cyfrowy jednostek topoklimatycznych składa się z trzech znaków głównych i pięciu znaków znajdujących się w indeksie dolnym. I tak, na przykład:

zapis A.2.1.0.0.0.0.0. oznacza grupę A (o zmniejszonym dopływie promieniowania słonecznego i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego), typ 2.1. (umiarkowanie ciepły i zaciszny), w którym nie występuje żadna lokalna cecha klimatu;

zapis D.1.3.0.0.1.0.0. oznacza grupę D (o przeciętnym dopływie promieniowania słonecznego i zwiększonych wartościach promieniowania odbitego), typ 1.3. (chłodny i wietrzny), w którym występuje znaczne zanieczyszczenie powietrza;

zapis E.3.3.0.1.1.1.0. oznacza grupę E (o zwiększonym dopływie promieniowania słonecznego i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego), typ 3.3. (ciepły i wietrzny), w którym występują mgły radiacyjne, zanieczyszczenie powietrza i ciepło antropogeniczne.

Zróznicowanie przestrzenne topoklimatów przedstawiono na trzech mapach:

- grup i typów topoklimatu (ryc. 64),
- klas topoklimatu (ryc. 65),
- jednostek topoklimatycznych (ryc. 66).

Na badanym obszarze aglomeracji warszawskiej wyróżniono 12 typów topoklimatu wchodzących w skład 6 grup. Największą powierzchnię (65,7% obszaru badań) zajmuje

topoklimat zaliczony do grupy C, o przeciętnym dopływie promieniowania słonecznego do podłoża i o przeciętnych wartościach promieniowania odbitego. Zdecydowana większość terenów zaliczonych do tej grupy charakteryzuje się warunkami umiarkowanie ciepłymi i umiarkowanie wietrznymi (typ C.2.2). Drugi pod względem zajmowanej powierzchni jest topoklimat z grupy A (o zmniejszonym dopływie promieniowania słonecznego do podłoża i o przeciętnych wartościach promieniowania odbitego), chłodny i zaciśny (typ A.1.1). Pozostałe typy topoklimatu zajmują małe powierzchnie, a niektóre z nich występują tylko na bardzo niewielkich obszarach (ryc. 64).

Spośród wielu możliwych kombinacji specyficznych właściwości klimatu lokalnego na badanym fragmencie Niziny Mazowieckiej wyróżniono 11 klas topoklimatu. Największą powierzchnię (55% obszaru) zajmuje klasa topoklimatu, w której nie występują żadne specyficzne właściwości klimatu lokalnego (symbol: 0.0.0.0.0). 19% powierzchni obejmuje topoklimat odznaczający się występowaniem w powietrzu fitoncydów (0.0.0.0.1), a 12% – tereny narażone na częste występowanie inwersji i mgieł radiacyjnych (1.1.0.0.0). Topoklimaty o cechach lokalnych kształtujących się pod wpływem zanieczyszczeń atmosfery zajmuje łącznie około 13% badanego terenu. Często zanieczyszczeniom towarzyszą także inne lokalne właściwości klimatu (ryc. 65).

Po połączeniu grup, typów i klas topoklimatu uzyskano jednorodne jednostki topoklimatyczne. W sumie, na badanym terenie wyróżniono 20 takich jednostek. Największą powierzchnię (blisko 55% obszaru) zajmuje topoklimat oznaczony symbolem C.2.2_{0.0.0.0.0}, a więc o przeciętnym dopływie promieniowania słonecznego i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego, umiarkowanie ciepły i umiarkowanie wietrzny, bez żadnych specyficznych właściwości klimatu lokalnego. Drugi pod względem częstości jest topoklimat oznaczony jako A.1.1_{0.0.0.0.1}, a więc o zmniejszonym dopływie promieniowania słonecznego i przeciętnych wartościach promieniowania odbitego, chłodny i zaciśny, z występowaniem w powietrzu fitoncydów. Po około 5% powierzchni zajmują topoklimaty oznaczone: C.2.2_{1.1.0.0.0} (przeciętne pod względem radiacyjnym, umiarkowanie ciepłe i umiarkowanie wietrzne, z podwyższonym ryzykiem wystąpienia inwersji temperatury i mgieł radiacyjnych), C.3.2_{0.0.1.0.0} (przeciętne pod względem radiacyjnym, ciepłe i umiarkowanie wietrzne, ze zwiększonym zanieczyszczeniem powietrza) oraz D.1.2_{1.1.0.0.0} (o przeciętnym dopływie promieniowania słonecznego i zwiększonym promieniowaniu odbitym, chłodne i umiarkowanie wietrzne, z podwyższonym ryzykiem wystąpienia inwersji temperatury i mgieł radiacyjnych) (ryc. 66).

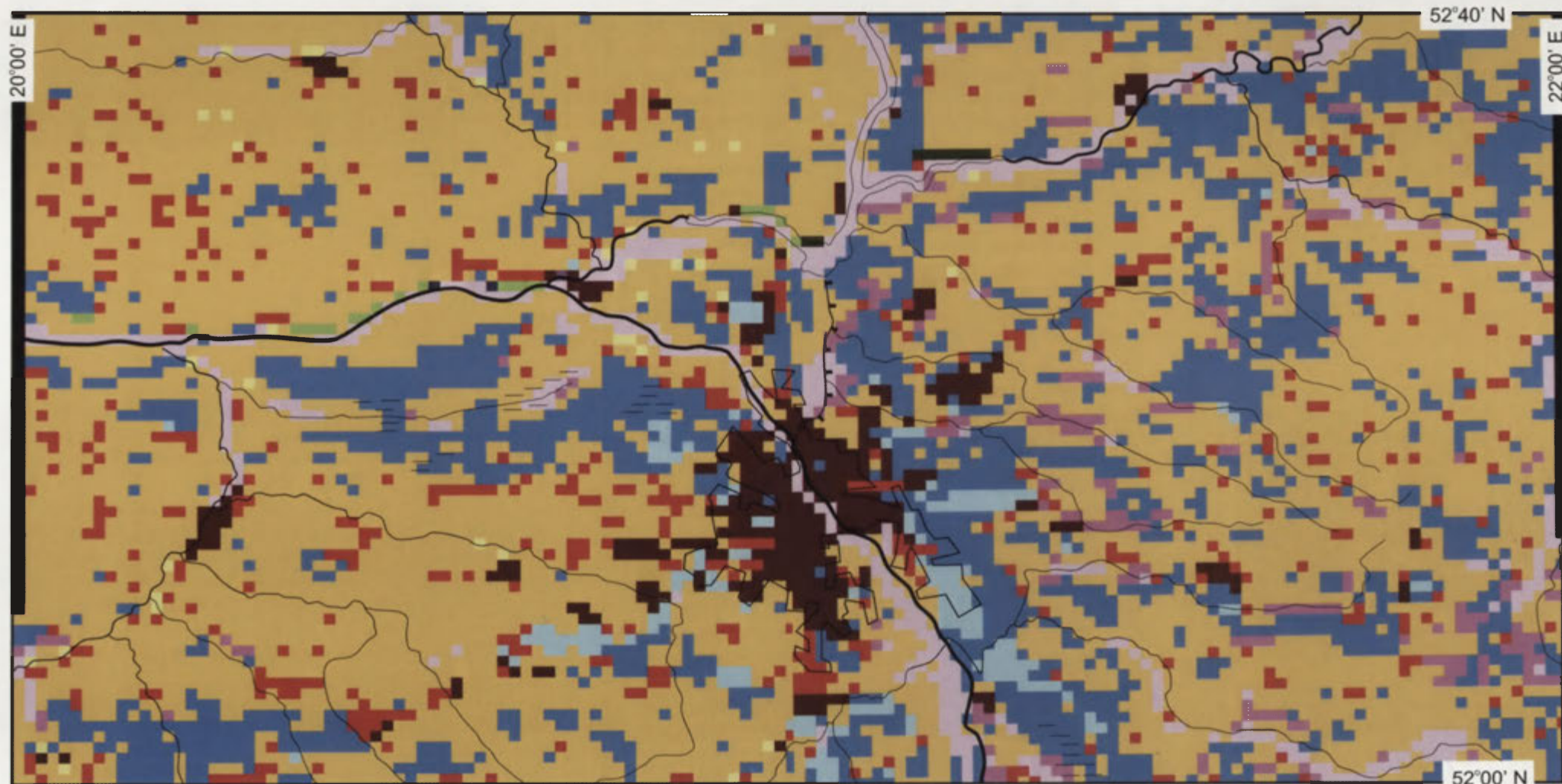
5. Mapy biotopoklimatyczne

Mapy topoklimatyczne zawierające szczegółowe informacje o niektórych składnikach bilansu radiacyjnego i ciepłego oraz o głównych elementach meteorologicznych były podstawą wykonania map aplikacyjnych, biotopoklimatycznych. Przedstawiono na nich niektóre charakterystyki bioklimatu w skali lokalnej, a mianowicie

- rodzaj reakcji termofizjologicznych na bodźce atmosferyczne (na podstawie omówionego w rozdziale 5 wskaźnika stresu termofizjologicznego – *PhS*) przy umiarkowanej temperaturze powietrza (20°C na Okęciu),
- wartości temperatury odczuwalnej (*STI*) podczas dni o małym zachmurzeniu, przy różnych kombinacjach temperatury powietrza i prędkości wiatru:
 - $t = 10^{\circ}\text{C}$, $v = 2 \text{ m s}^{-1}$, $t = 20^{\circ}\text{C}$, $v = 2 \text{ m s}^{-1}$, $t = 30^{\circ}\text{C}$, $v = 2 \text{ m s}^{-1}$,
 - $t = 10^{\circ}\text{C}$, $v = 4 \text{ m s}^{-1}$, $t = 20^{\circ}\text{C}$, $v = 4 \text{ m s}^{-1}$, $t = 30^{\circ}\text{C}$, $v = 4 \text{ m s}^{-1}$,
 - $t = 10^{\circ}\text{C}$, $v = 8 \text{ m s}^{-1}$, $t = 20^{\circ}\text{C}$, $v = 8 \text{ m s}^{-1}$, $t = 30^{\circ}\text{C}$, $v = 8 \text{ m s}^{-1}$.

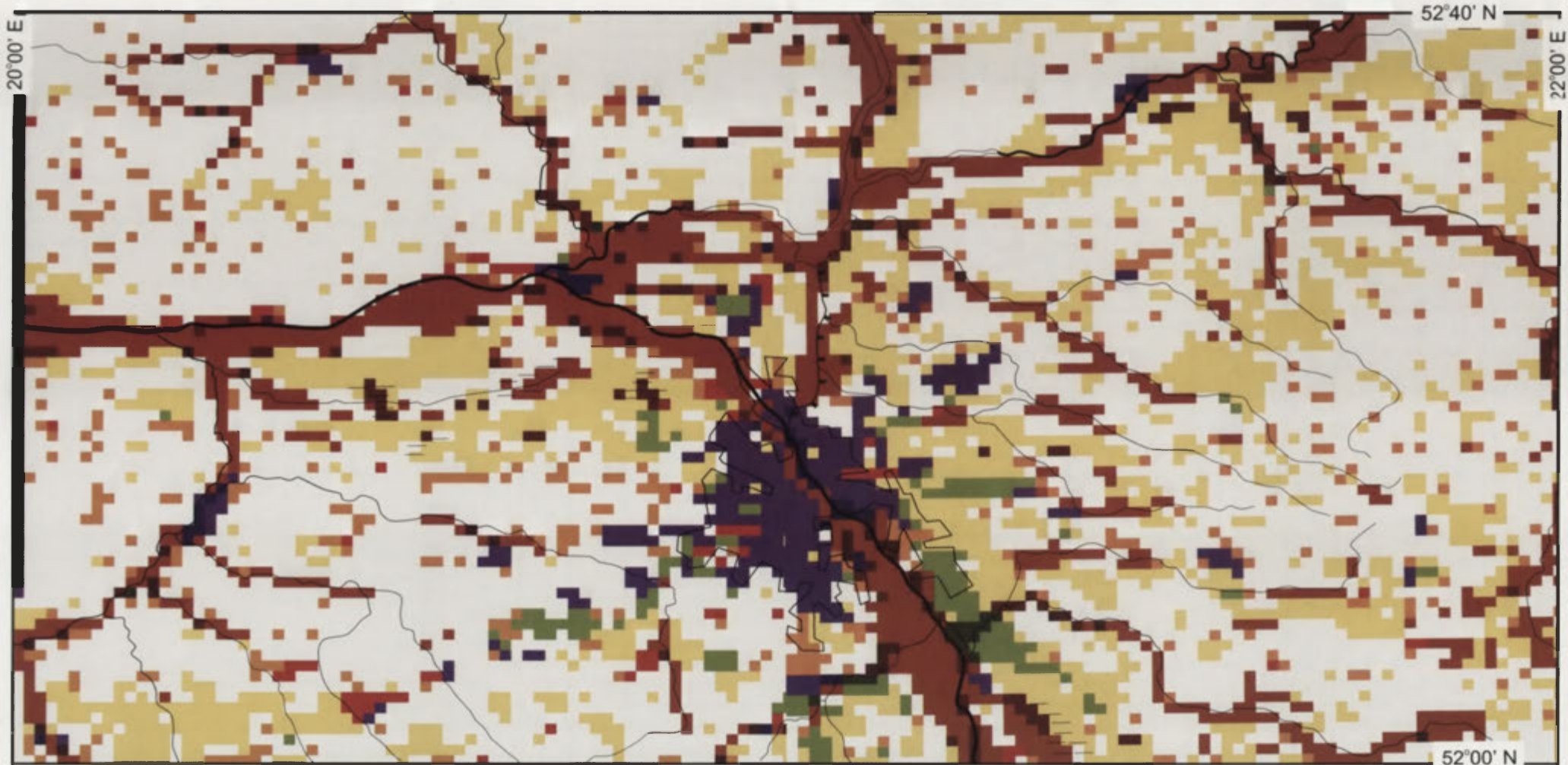
Do obliczenia powyższych wskaźników wykorzystano procedury modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem MENEX_2002 (Błażejczyk 2002).

Wszystkie wykonane mapy topoklimatyczne znajdują się na dołączonej płycie CD (załącznik 4).

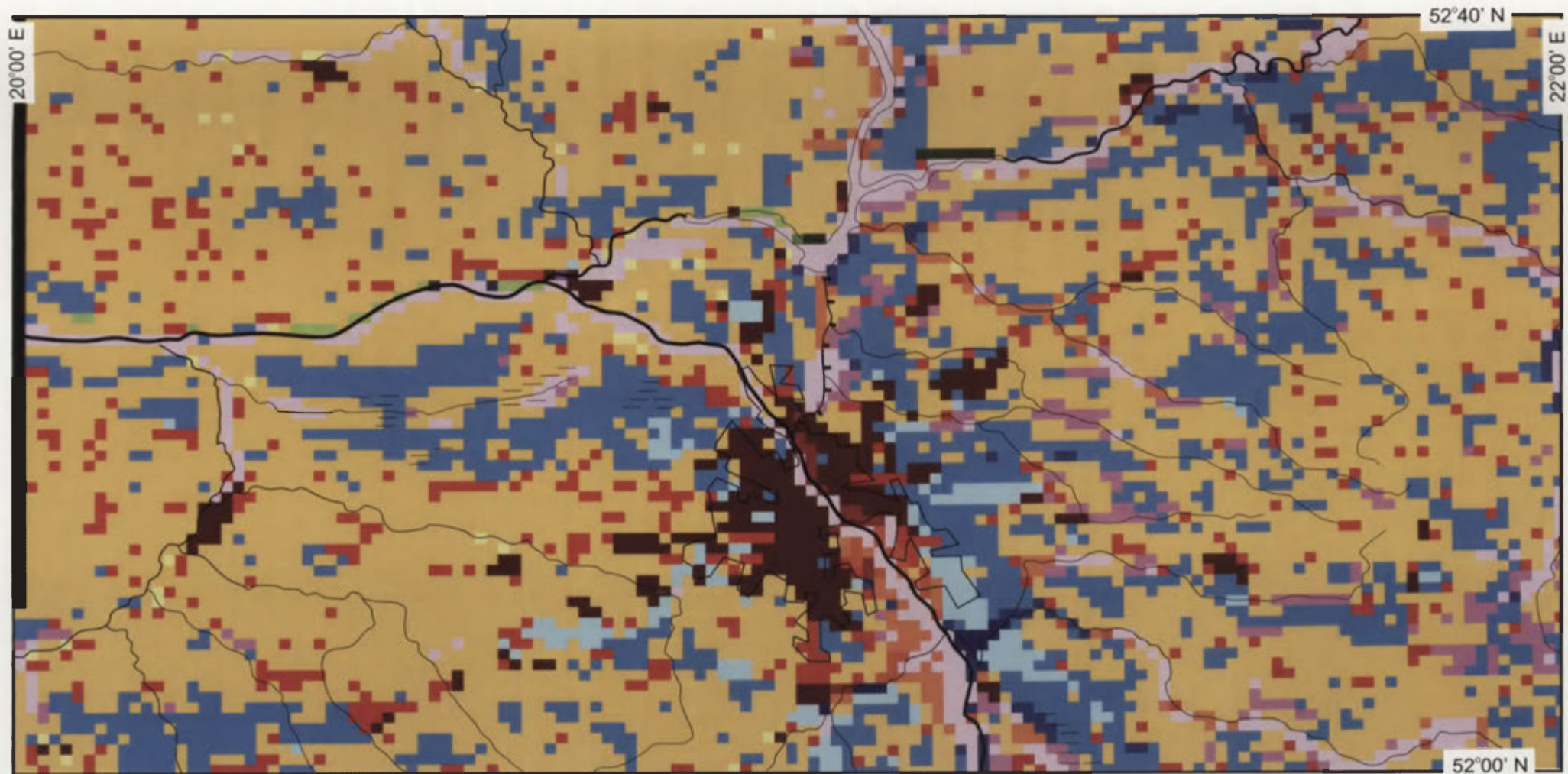


<http://rain.org.pl>

Objaśnienie symboli w tekście



<http://rcin.org.pl>
Objaśnienie symboli w tekście



 A1100001	 B3100110	 C2111000	 C3200100	 D1211000	 E3200000	 F2311001
 A1111001	 B3111110	 C2111100	 C3210100	 D2211000	 E3200100	
 A1111111		 C2200000		 D3100110	 E3300000	
 A2100111		 C2211000				
		 C2211100				

<http://rcin.org.pl>

Objaśnienie symboli w tekście

Podsumowanie

Celem przeprowadzonych badań było poznanie wpływu czynników cyrkulacyjnych i lokalnych na warunki klimatyczne i bioklimatyczne w aglomeracji warszawskiej. Badania prowadzono w ramach projektu badawczego KBN Nr 6 P04E 047 17.

Czynniki cyrkulacyjne scharakteryzowano poprzez częstość mas powietrza oraz częstość kierunków adwekcji powietrza nad obszar Mazowsza. Stwierdzono wyraźny wpływ rodzaju mas powietrza i kierunków ich adwekcji na warunki termiczne i biotermiczne w Warszawie. Przez cały rok najniższa temperatura powietrza była obserwowana podczas zalegania mas powietrza arktycznego. Najcieplejsze natomiast było powietrze zwrotnikowe, a wiosną (głównie w kwietniu i maju) powietrze polarno-kontynentalne.

Rodzaj masy powietrza i kierunek, z którego napływa oddziałuje także bardzo wyraźnie na warunki biotermiczne, czyli odczuwane przez człowieka. Najniższe wartości temperatury odczuwalnej obserwowano w masie powietrza arktycznego, a zimą także powietrza polarno-kontynentalnego. Najwyższa temperatura odczuwalna występowała w masie powietrza zwrotnikowego, a wiosną i latem – także polarno-kontynentalnego.

Ważną cechą warunków biotermicznych aglomeracji warszawskiej jest wyraźne pogorszenie warunków odczuwalnych w miesiącach letnich. Powodem tego jest częste występowanie stanów atmosfery odczuwanych jako gorąco, a nawet bardzo gorąco. Składa się na to zarówno wysoka temperatura powietrza, jak i duża intensywność promieniowania słonecznego. Najkorzystniejsze biotermicznie są miesiące wiosenne (głównie druga połowa kwietnia i maj) oraz jesienne (zwłaszcza wrzesień i październik).

Na podstawie analizy warunków pogodowych, określonych za pomocą nowej klasyfikacji biotermicznej, opracowano kalendarz pogody oraz wyznaczono okresy o różnej przydatności pogody dla człowieka poruszającego się po ulicach oraz pracującego lub wypoczywającego na wolnym powietrzu.

- Okres z dominacją warunków niekorzystnych trwa w Warszawie od 22 listopada do 10 stycznia.
- Pogoda umiarkowanie korzystna dominuje w okresach: od 11 stycznia do 24 lutego oraz od 27 czerwca do 25 sierpnia.
- Okresy pogody korzystnej pojawiają się kilkakrotnie: od 25 lutego do 24 kwietnia, od 11 maja do 26 czerwca, od 26 sierpnia do 3 września oraz od 27 października do 21 listopada.

- Okresy z dominacją pogody bardzo korzystnej występują w ciągu roku dwukrotnie: od 25 kwietnia do 10 maja oraz od 4 września do 26 października.

Najważniejszym czynnikiem lokalnym wpływającym na dopływ promieniowania słonecznego, w tym także nadfioletowego, jest sama „obecność” miasta z charakterystycznym dla niego zwiększonym zmętnieniem atmosfery oraz zanieczyszczeniem powietrza. Zmniejszają one – w porównaniu z terenami otaczającymi – zarówno natężenie promieniowania w centrum miasta, jak i liczbę godzin, podczas których dociera do powierzchni czynnej bezpośrednio promieniowanie słoneczne. Zmniejszenie to waha się od 10% latem do ponad 30% zimą.

Innym czynnikiem lokalnym kształtującym warunki klimatyczne i bioklimatyczne w mieście jest jego złożona struktura urbanistyczna i wysokościowa. Zabudowa miejska modyfikuje: a) dopływ do przygruntowej warstwy powietrza promieniowania słonecznego (zmniejszając jego ilość o 30-50%, w stosunku do poziomu dachów), b) kierunek i prędkość wiatru (powodując zmiany kierunku i zmniejszenie prędkości nawet o 50-60%) oraz c) temperaturę powietrza (tworząc nad terenami o zwartej zabudowie tzw. miejską wyspę ciepła, utrzymującą się od godzin popołudniowych do porannych dnia następnego, a zanikającą w ciągu dnia, gdy temperatura w dni kanionów ulicznych może być nawet nieco niższa niż poza miastem).

Wymienione wyżej zmiany podstawowych elementów meteorologicznych mają swe odzwierciedlenie w kształtowaniu warunków odczuwalnych. Największą kontrastowością dobową warunków biotermicznych charakteryzują się obszary osiedli jednorodzinnych. Nocami obserwuje się tam duże wychłodzenie przygruntowej warstwy powietrza i obniżenie temperatury odczuwalnej, natomiast w ciągu dnia temperatura odczuwalna jest znacząco wyższa niż w innych częściach miasta i w terenie pozamiejskim. Największą kontrastowością przestrzenną warunków biotermicznych odznacza się centrum miasta, gdzie kontrasty termiczne pomiędzy nasłonecznionymi i zacienionymi fragmentami zabudowy i ulic sięgają w pogodne, gorące dni letnie nawet 15-20 deg.

Na podstawie wyników pomiarów terenowych temperatury odczuwalnej w różnych częściach miasta można zaproponować następujący schemat zmian temperatury odczuwalnej podczas poruszania się pomiędzy różnymi rodzajami środowiska podmiejskiego i miejskiego. W ciągu dnia najwyższe wartości temperatury odczuwalnej obserwowane są w obrębie eksponowanych na działanie promieni słonecznych fragmentów zabudowy miejskiej

i podmiejskiej, a szczególnie wysokie – na nasłonecznionych odcinkach kanionów ulicznych. Z drugiej strony parki i fragmenty zabudowy o znacznym zacienieniu (przez drzewa lub/i budynki) odznaczają się stosunkowo łagodnymi warunkami biotermicznymi. W godzinach nocnych i porannych różnicowanie przestrzenne warunków biotermicznych jest stosunkowo małe. Jako wyraźnie cieplejszy od otoczenia wyróżnia się obszar zwartej zabudowy miejskiej. Łagodząco na warunki biotermiczne wpływają obszary zieleni wysokiej (parki i lasy), które obniżają wartości temperatury odczuwalnej w ciągu dnia, a nocą nie pozwalają na znaczne wychłodzenie się przygruntowej warstwy powietrza.

Do różnicowania warunków klimatycznych i bioklimatycznych w skali lokalnej zastosowano procedury Systemu Informacji Geograficznej. Za pomocą programu IDRISI utworzono cyfrową bazę danych dla środkowej części Niziny Mazowieckiej, wchodzącej w obręb dwóch arkuszy mapy topograficznej Polski 1:200 000, Warszawa Wschód i Warszawa Zachód. Dla pól podstawowych o wielkości 1x1 km określono różnicowanie topoklimatyczne zawierające informacje o warunkach radiacyjnych (grupy topoklimatów) i termiczno-anemologicznych (typy topoklimatów) oraz o predyspozycji danego terenu do pojawiania się specyficznych właściwości klimatu: inwersji, mgieł radiacyjnych, zanieczyszczenia powietrza, ciepła antropogenicznego i fitoncydów (klasy topoklimatów).

Łącznie na badanym obszarze wyróżniono 12 typów topoklimatu (wchodzących w skład 6 grup) oraz 13 różnych klas topoklimatu. Po połączeniu poszczególnych warstw informacyjnych wydzielono 20 różnych rodzajów topoklimatu o jednorodnych cechach radiacyjnych, termiczno-anemologicznych oraz o takich samych, specyficznych właściwościach klimatu.

Przetworzenie map topoklimatycznych pozwoliło na wykonanie szeregu map biotopoklimatycznych obrazujących warunki klimatu odczuwalnego na obszarze aglomeracji warszawskiej podczas różnych warunków pogodowych oraz o rodzaju reakcji fizjologicznych na bodźce atmosferyczne.

Literatura

- Atlas Warszawy*, 1975, Urząd Miasta Stołecznego Warszawy.
- Atlas Województwa Warszawskiego*, 1993, Urząd Wojewódzki, Wydział Geodezji i Gospodarki Gruntami, Warszawa.
- Baranowski J., Błażejczyk K., Pisarczyk S., Śmietanka M., 1998, *Wpływ warunków meteorologicznych na zachorowalność mieszkańców Warszawy*. Acta Geogr.Lodz., Folia.Geogr.Phys., 6, 145-151.
- Beaumont W., van, Bullard R.W., 1965, *Sweating. Direct influence of skin temperature*. Science, 147, 3664, 1465-1467.
- Bednarek A, 1979a, *Wpływ zwartej zabudowy śródmiejskiej na warunki mikroklimatyczne na przykładzie Warszawy*. Zesz. Nauk. SGGW-AR, Leśnictwo, 27.
- Bednarek A, 1979b, *Wpływ parkowej roślinności drzewiastej, trawników i placów na warunki mikroklimatyczne na przykładzie Warszawy*. Zesz. Nauk. SGGW-AR, Leśnictwo 27.
- Bednarek A, 1990, *Warunki klimatyczne niektórych form miejskiej zabudowy mieszkaniowej*. [w:] H. Skibniewska (red), *Ekologiczne podstawy kształtowania miejskich zespołów mieszkaniowych*, SGGW-AR, Warszawa.
- Belding H.S., Hatch T.F., 1955, *Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain*. Heating, Piping and Air Conditioning, 27, 129-136.
- Biernacki Z, Kazimierski J, Wróblewski A. (red.), 1990, *Środowisko przyrodnicze Warszawy*. PWN, Warszawa.
- Błażejczyk K., 1983, *Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski*. Dok. Geogr. IGiPZ PAN, 3.
- Błażejczyk K., 1984, *Metody kartowania topoklimatycznego uzdrowisk*. Dok.Geogr., 1-2, 89-102.
- Błażejczyk K., 1990a, *Nowy wskaźnik bioklimatyczny do określenia odczuwalności cieplnej człowieka*. Probl. Uzdrow., 5-6, 59-71.
- Błażejczyk K., 1990b, *Zróżnicowanie biotopoklimatyczne wybranych typów krajobrazu*. Conference Papers, 4, IGiPZ PAN, 175-187.
- Błażejczyk K., 1992, *Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne (na przykładzie województwa katowickiego)*. Zeszyty IGiPZ PAN, 6, 15-28.
- Błażejczyk K., 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*. Prace Geogr., 159, Warszawa.
- Błażejczyk K., 1994, *New climatological-and-physiological model of man-environment heat exchange (MENEX) and its applications in bioclimatological studies*. Zeszyty IGiPZ PAN, 28.
- Błażejczyk K., 1996, *Topoklimat Warszawy*. [w:] W. Stola, J. Grzeszczak, *Przemiany struktury przestrzennej obszarów wiejskich w strefach podmiejskich Polski i Rumunii*. Conference Papers, 25, 13-25.

- Błażejczyk K., 1998, *Promieniowanie słoneczne a gospodarka cieplna organizmu człowieka*. Zeszyty IGiPZ PAN, 51.
- Błażejczyk K., 2001a, *Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance*. [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas (red.), Proceedings of the 1st International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, International Society of Biometeorology, Commission on Climate, Tourism and Recreation, www.uni-freiburg.de/isb, 1-20.
- Błażejczyk K., 2001b, *Koncepcja przeglądowej mapy topoklimatycznej Polski*. [w:] Kuchcik M. (red.), *Współczesne badania topoklimatyczne*. Dok. Geogr., 23, 131-142.
- Błażejczyk K. 2001c, *Bilans cieplny człowieka jako narzędzie badań bioklimatycznych*. Przegląd Geogr., 73, 4, 535-554.
- Błażejczyk K., 2002, *Klimat-rekreacja-turystyka*. Maszynopis.
- Błażejczyk K., Baranowski J., Śmietanka M., Pisarczyk S., 1998, *Influence des conditions meteorologiques sur la santé des habitants de Varsovie*. Publ. de l'AIC, 11, 338-342.
- Błażejczyk K., Błażejczyk A., 1999, *Influence of urbanisation level on the heat load in man in Warsaw*. Proceedings of the 15th Int. Congress of Biometeorology & Int. Conf. On Urban Climatology, Sydney, Australia 8-12 Nov. 1999, R.J. de Dear (red.) & J.C. Potter, Macquire University, Sydney, Australia, (wyd. na CD-ROM).
- Błażejczyk K., Błażejczyk A. 2000, Application of GIS in research of vegetation-human thermal comfort relationships in Warsaw. 4th Conference on Contemporary Topoclimatic Research, Warszawa, 27-30 Sept, 2000, Book of abstracts, Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, Department of Climatology, Warszawa, s. 9-11.
- Błażejczyk K., Ożga M., 1999, Radiation balance of downtown Warsaw on pedestrian and over-roof levels. Proc. 15th Int. Congress of Biometeorology & Int. Conf. On Urban Climatology, Sydney, Australia 8-12 Nov. 1999, red.: R.J. de Dear & J.C. Potter, Macquire University, Sydney, Australia, (wyd. na CD-ROM), 7 str.
- Błażejczyk M., Błażejczyk K., 2002, *BioKlima for Windows, v. 2.0. Pakiet programu komputerowego*, St. Catharines-Warszawa.
- Błażejczyk K., Tokura H., Bortkiewicz A., Szymczak W., 1999, *Solar radiation and thermal physiology in man*. [w:] R. J. de Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke, A. Auliciems (red.) *Biometeorology and urban climatology at the turn of millenium*. Selected papers from the Conference ICB-ICUC'99 (Sydney, 8-12 Nov.), Genewa, 267-271.
- Brown R. D., Gillespie T. J., 1986, *Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model*. Int. J. Biomet., 30, 1, 43-52.
- Clark R.P., Edholm O.G., 1985, *Man and his thermal environment*, E. Arnold Ltd., London.

- Encyklopedia Warszawy*, 1994, Wyd.Nauk. PWN, Warszawa.
- Fortini-Morawska J., 1987, *Zastosowanie modelowych badań przewietrzania osiedla w projektowaniu architektonicznym (na przykładzie osiedla mieszkaniowego w Białoleśce Dworskiej w Warszawie)*. *Człowiek i Środowisko*, 11, (1-2).
- Fortini-Morawska J., 1990, *Wpływ zabudowy na warunki klimatyczne*. [w:] *Środowisko przyrodnicze Warszawy*. PWN, Warszawa.
- Freitas C.R. de, 2001, *Theory, concepts and methods in tourism climate research*. www.mif.uni-freiburg.de/isb/.
- Głowacka I., Biernacki Z., Błażejczyk K., Chojnacki J., Jakubowski W., Kowalewska K., Kozłowska A., Kozłowski P., Luniak M., Matuszkiewicz A.J., Nowicki W., Plit J., Supłat S., 1999, *Monografia przyrodnicza gminy Warszawa Centrum. Gmina Warszawa-Centrum*, Ag. Wyd.-Reklam. „Dino”, Warszawa.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1989, *Bioklimat Krakowa*. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.* 73.
- Holmér I., 1988, *Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation – IREQ*. *Int. J.Ind. Ergon.*, 3, 159-166.
- Kossowska-Cezak U., Bareja P., 1998, *Wpływ zabudowy miejskiej Warszawy na kierunek i prędkość wiatru*. *Acta Univ. Lodziensis, Folia Geogr. Phys.*, 3, 463-465.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1973, *Promieniowanie pochłonięte na obszarze Polski*. *Prace Geogr.*, 99.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1992, *Uwagi o metodach badań klimatu miast*. *Zesz. IGiPZ PAN*, 6, 5-14.
- Kozłowska-Szczęśna T., Podogrocki J., 1995, *Antropogeniczne zmiany warunków radiacyjnych w Warszawie*. [w:] K. Kłysik (red), *Klimat i bioklimat miast*. Wyd. UŁ, Łódź.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., 1996, *Środowisko fizycznogeograficzne Warszawy – niektóre zagadnienia*. [w:] T. Kozłowska-Szczęśna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, 1996, *Atlas Warszawy*, 4, *Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia*, IGiPZ PAN, 8-28.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., 1998, *Promieniowanie słoneczne i jego wpływ na organizm człowieka*. *Balneologia Polska*, 40, 1-2, 130-141.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*, Monografie, 1, IGiPZ PAN.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Błażejczyk K., 2001, *Charakterystyczne cechy klimatu Warszawy*. [w:] B. Krawczyk, G. Węclawowicz (red.), *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji Warszawskiej*, *Prace Geogr.*, 180, 39-56.
- Kraujalis M.W., 1980, *Zróźnicowanie termiczne podłoża atmosfery na obszarze miasta*. [w:] *Metody opracowań topoklimatycznych*. *Dok. Geogr.*, 3.

- Krawczyk B., 1968, *Badania zmnienienia atmosfery w Warszawie w latach 1961-1963*. Przegl. Geogr., 40, 4, 823-832.
- Krawczyk B, Błażejczyk K., 1999, *Klimatyczna i bioklimatyczna charakterystyka Polski północno-wschodniej*. Zeszyty IGiPZ PAN, 58.
- Kuchcik M., 2000, *Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy*. Maszynopis.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., 2001, *Wpływ warunków pogodowych na zachorowalność i umieralność mieszkańców Warszawy*. [w:] B. Krawczyk, G. Węclawowicz (red.) *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*, Prace Geogr., 180, 71-87.
- Kuchcik M., Ożga M., 2002, *Katalog mas powietrza w Warszawie za lata 1961-1970 oraz 1991-2001*. Plik.
- Limanówka D., Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1993, *Prawdopodobieństwo wystąpienia wybranych ekstremalnych charakterystyk termicznych w Polsce*. Zeszyty IGiPZ PAN, 18.
- Lorenc H., 1991, *Wpływ urbanizacji Warszawy na zmienność opadów atmosferycznych*. Wiad. IMGW, 14 (35), 1-4.
- Łobozewicz T., 1979, *Warunki rozwoju turystyki i sportu narciarskiego w Polsce w świetle badań śniegowych*. Inst. Turystyki, Warszawa.
- Malchaire J.B., 1991, *Predicted sweat rate in fluctuating thermal conditions*. Eur. J. Appl. Physiol., 63, 282-287.
- Mayer H., Matzarakis A., 1997, *The urban heat island seen from the angle of Human-biometeorology*. [w:] T. Ichinose (red.) *Proceedings of the International Symposium on monitoring and management of urban Heat Island*, 84-95.
- Matzarakis A., Mayer H., 1991, *The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of Human Biometeorology*. Atmospheric Environment 25B, 203-211.
- Mączak S., 1990, *Uwarunkowania klimatyczne*. [w:] *Środowisko przyrodnicze Warszawy*. PWN, Warszawa.
- Michałowska-Smak H., 1982, *Wiekowe i sezonowe zmiany zmnienienia atmosfery w Warszawie i w Belsku w okresie 1957-1980*. Mat. V Semin. Fitoakt. IUNG, Puławy.
- Mitchell D., 1977, *Physical basis of thermoregulation*. [w:] D. Robertshow (red.), *International review of physiology*, 15, Environmental physiology II, Univ.Park Press, 1-21.
- Morgan D.L., Baskett R.L., 1974, *Comfort of man in the city, An energy balance model of man-environment coupling*. Int. J. Biomet., 18, s. 184-198.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., Limanówka D., Mrocza A., Ustrnul Z., 1995, *Zmienność bioklimatu Krakowa*. Folia Geographica, s. Geogr.-Physica, 26-27, 89-105.

- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1989, *Wpływ sytuacji synoptycznej na występowanie nad Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym typów pogody sprzyjających koncentracji lub rozpraszaniu zanieczyszczeń powietrza*. Wiad. IMGW, 1-2.
- Nielsen B., Kassow K., Aschengreen F. E., 1988, *Heat balance during exercise in the sun..* Eur. J. Appl. Physiol., 58, 189-196.
- Oke T.R., 1987, *Boundary layer climates (second edition)*. Methuen, London – New York.
- Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*. WKiŁ, Warszawa.
- Pawłowska J., Jankowska A., Pindor T., 2000, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego (1991-1999)*. IMGW, Warszawa.
- Podstawczynska A., Fortuniak K., 1997. *Wstępne wyniki pomiarów całkowitego promieniowania krótkofalowego i promieniowania UV w Łodzi*. 3rd Polish Conference „Urban climate and bioclimate”, Łódź, Oct.22-24 1997, 43-44.
- Paszyński J., Hornig A., Kluge M., Koechler W., Sokołowska M., Wolak J., 1971, *Środowisko miejskie i przemysłowe*. [w:] *Problemy środowiska człowieka*, Biuletyn KPZK PAN, 68.
- Paszyński J., Miara K., Skoczek J., 1999, *Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego*. Dok. Geogr., 14.
- Podogrocki J., 1982, *Struktura promieniowania całkowitego na przykładzie Warszawy*. Mat. V Semin. Fitoakt. IUNG, Puławy.
- Sorbjan Z., 1983, *Turbulencja i dyfuzja w dolnej atmosferze*. PWN, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., 1992, *Deformacja pól zmiennych meteorologicznych przez zabudowę w Warszawie*. Prace i Studia Geogr., 11, WGiSR UW.
- Stopa-Boryczka M (kier. zespołu), 1994, *Wkład Geografów Uniwersytetu w badania środowiska Warszawy i okolic*. WGiSR UW.
- Stopa-Boryczka M., Boryczka J., Błażek E., Skrzypczak J., 1995, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Warszawy*. [w:] *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. IX. Wyd. UW, Warszawa.
- Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U (red.), 1992, *Z badań klimatu Warszawy*. Prace i Studia Geogr. 11, WGiSR UW.
- Stull R.B., 1988, *An introduction to boundary layer meteorology*. Kluwer Acad. Publ., Amsterdam.
- Teller J., 1995, *Evaluation de l'impact de la végétation sur le rayonnement énergétique*. Publ. de l'AIC, 8, 280-289.
- Wawer J., 1997, *Miejska wyspa ciepła w Warszawie*. Prace i Studia Geogr., 20, WGiSR UW, 145-197.
- Woś A., 2000, *Klimat Polski*. PWN, Warszawa.



Szczegółowa lokalizacja stanowisk pomiarowych

Krzysztof Błażejczyk, Magdalena Ozga

Załącznik zawiera szczegółową lokalizację większości punktów pomiarowych w aglomeracji warszawskiej. Zaznaczono je na mapie topograficznej 1:10 000.

Fragmenty map z zaznaczoną lokalizacją stanowisk pomiarowych znajdują się na dołączonej płycie CD.



Wyniki szczegółowych badań klimatu odczuwalnego w Warszawie

Magdalena Kuchcik

Wprowadzenie

Przedstawiane badania prowadzone były we współpracy Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk oraz Oddziału Architektury Krajobrazu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Eksperyment pomiarowy stanowił część projektu, mającego na celu poszukiwanie optymalnego sposobu planowania rozwoju miast, autorstwa E. Kaliszuk oraz projektu „Wpływ czynników cyrkulacyjnych i lokalnych na warunki bioklimatyczne w terenach zurbanizowanych (na przykładzie aglomeracji warszawskiej)” realizowanego pod kierunkiem K. Błażejczyka.

Materiał i metoda

Pomiary topoklimatyczne prowadzone były w okresie od 26 czerwca do 1 lipca 2000 roku. W 3 wybranych transektach wyznaczono 30 stanowisk pomiarowych, reprezentujących różnej wielkości parki, las na Kole, różnego rodzaju osiedla mieszkaniowe, zwartą zabudowę śródmiejską, tereny przemysłowe, dolinę Wisły oraz tereny otwarte, położone zarówno wewnątrz miasta, jak i na jego obrzeżu (tab. 1). W dniach 26 i 27 czerwca pomiary odbywały się w 10 punktach w zachodniej części miasta, w dzielnicy Wola, 28 i 29 czerwca – w centrum Warszawy, a 30 czerwca oraz 1 lipca, na południu Warszawy (Siekierki, Stegny, Służew). W godzinach 7-19, co 15 minut mierzone były: temperatura powietrza, prędkość wiatru oraz temperatura odczuwalna (T_c).

Pomiary prowadzone były na wysokości 150 cm nad gruntem, za pomocą anemometru Robinsona, psychrometru Assmana oraz miernika odczuć cieplnych (stalowy cylinder o średnicy 80 mm i wysokości 110 mm z umieszczonym wewnątrz czujnikiem termometru). Ten analogowy przyrząd, skonstruowany przez B. A. Azjenštata służy do określenia ewaporacyjnych strat ciepła z organizmu w suchym i gorącym klimacie Azji. W warunkach polskich jego wskazania wykazują silną korelację z temperaturą skóry człowieka (Błażejczyk 1990) oraz wskaźnikami bioklimatycznymi opartymi na bilansie cieplnym człowieka (Błażejczyk 2002) i dlatego wykorzystywany jest do oceny odczuć cieplnych.

Warunki odczuwalne scharakteryzowano także na podstawie temperatury efektywnej (obliczonej wg wzoru A. Missenarda), którą przedstawiono w skali odczuwalności cieplnej M. Baranowskiej i in. (1986).

Wyniki

W czasie wykonywanych pomiarów pogodę w Warszawie kształtował układ wyżowy (26-27.06) odpowiedzialny za napływ nad Polskę zimnego powietrza arktycznego oraz głęboki niż z centrum nad Półwyspem Skandynawskim (od 28.06), który spowodował duże średnie dobowe zachmurzenie (7/8), przelotne opady, znaczną prędkość wiatru oraz spadek średniej temperatury powietrza. Dlatego też, ten okres badań był chłodniejszy i bardziej wietrzny w porównaniu ze średnimi warunkami pogodowymi w czerwcu (tab. 2), średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła 13°C i była niższa o 4,8 deg w porównaniu ze średnią temperaturą powietrza w czerwcu na Okęciu, zaś średnia dobowa prędkość wiatru równa $4,6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ była o $0,6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wyższa od średniej miesięcznej.

Prędkość wiatru jest elementem meteorologicznym, który podlega największym zmianom wewnątrz zabudowy miejskiej. Badania wykazały, że wtedy gdy prędkość wiatru na zachodnich przedmieściach Warszawy, na wysokości 150 cm nad gruntem, wynosiła $5,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, to w oddalonym o 1,2 km osiedlu mieszkaniowym złożonym z bloków 10-piętrowych sięgała jedynie 63% tej wartości (ryc. 1a). Kolejne tereny otwarte w mieście powodowały przyspieszenie ruchu powietrza, ale w miarę przesuwania się w głąb miasta, prędkość wiatru notowana w osiedlach mieszkaniowych sukcesywnie malała. Nawet na wyeksponowanym wzniesieniu w Parku Moczydło (stanowisko 2), w odległości 4,3 km od posterunku na przedmieściach (stanowisko 8 na Woli), prędkość wiatru sięgała zaledwie 50% notowanej na obrzeżu miasta. W lesie, zaledwie 300 m od opisanego posterunku na wzniesieniu, ruch powietrza był osłabiony o dalsze 42% i sięgał już jedynie 8% wartości zmierzonej na obrzeżu miasta. Redukcja prędkości wiatru na dystansie 4,5 km osiągnęła więc 73% w starym, zadrzewionym osiedlu bloków 4-piętrowych i 92% w Lasku na Kole.

Jednakże w niektórych osiedlach, wskutek efektu tunelowego, prędkość wiatru jest większa niż na sąsiednich terenach otwartych. Przykładowo, na Służewiu, pomiędzy blokami 10-piętrowymi (ryc. 1e) prędkość wiatru ($2,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) była nieco większa od notowanej na otwartym, płaskim tarasie zalewowym nad Wisłą ($2,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (rys. 1c – stanowisko 10). Z kolei, w bardzo podobnym z uwagi na strukturę zabudowy, osiedlu Górczewska na Woli zjawisko to nie występowało (ryc. 1a – stanowisko 7). Bardzo interesujące wydają się warunki wiatrowe wewnątrz niektórych złożonych struktur architektonicznych. I tak, na podwórzu położonym na

Powiślu (parking), otoczonym budynkami różnej kubatury, kształtu i wysokości (od 3 do 9 pięter), prędkość wiatru była większa niż na pobliskim otwartym terenie nad Wisłą (ryc. 1d). Miejsce to charakteryzuje się swoistym mikroklimatem, nie przypominającym podwórzy o charakterze „studni”.

Tory kolejowe biegnące z kierunku zachodniego i południowego oraz otwarte tereny w ich pobliżu (ryc. 1b – punkty 9, 10) odgrywają rolę pasów nawietrzających miasto, a prędkość wiatru tu notowana jest znacznie większa w porównaniu z innymi miejscami leżącymi w podobnej odległości od obrzeży miasta.

W celu wyróżnienia pewnych typów pokrycia terenu w Warszawie charakteryzujących się podobieństwem warunków wiatrowych, porównano prędkość wiatru z poszczególnych posterunków z danymi pochodzącymi ze Śródmieścia (dziedziniec budynku PAN przy ul. Twardej 51/55). Pogrupowano je następnie w 4 typy terenu o podobnych warunkach anemologicznych (tab. 3). Stwierdzono, że w wielu miejscach w Warszawie, tj. w parkach i w obrębie niskiej zabudowy w osiedlach mieszkaniowych, ruch powietrza jest mniejszy od notowanego w centrum miasta.

W porównaniu z prędkością wiatru pozostałe elementy meteorologiczne wykazują znacznie mniejszą zmienność przestrzenną w mieście, mimo to ciekawy obraz różnic warunków topoklimatycznych w Warszawie daje porównanie procentowych odchyień wartości temperatury odczuwalnej, temperatury powietrza i wilgotności względnej od wartości średniej z wszystkich stanowisk położonych w danej dzielnicy miasta (tab. 4). Różnice temperatury odczuwalnej pomiędzy poszczególnymi typami terenu wahają się od -11% do $+15\%$, zaś różnice temperatury powietrza jedynie od -6% do $+5\%$. Okazuje się więc, że temperatura odczuwalna mierzona za pomocą miernika odczuć cieplnych jest znacznie bardziej zróżnicowana od temperatury powietrza, o czym decyduje szybka reakcja termometru umieszczonego w metalowej puszcze na zmiany w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego. I tak, odczucie ciepłe notowane na rozległym trawniku w parku (stanowisko nr 3 na Woli) było znacznie wyższe niż wskazywałaby na to temperatura powietrza. Z kolei w punktach 4, 8 i 10 temperatura odczuwalna była niższa od średniej i osiągała podobną wysokość, pomimo, że warunki wiatrowe na tych stanowiskach wyraźnie się od siebie różniły (tab. 3).

Wilgotność względną powietrza cechowały znaczne różnice lokalne, na Woli wynoszące od -11% (dobrze przewietrzany teren w pobliżu torów kolejowych) do $+31\%$ (park Moczydło, w pobliżu jeziora), w Śródmieściu od -18% do (chodnik w centrum miasta) do $+14\%$ (skwer w Ogrodzie Saskim), na Mokotowie od -12% (teren otwarty) do $+32\%$ (koryto Wisły).

Przestrzenne zróżnicowanie temperatury powietrza w Warszawie jest dobrze widoczne na profilu pomiarowym obejmującym obydwie brzoży Wisły, parki oraz różne typy zabudowy (ryc. 1d). W okresie pomiarów najniższa temperatura panowała na prawym brzożu Wisły, pod okapem drzew. Posterunek na lewym jej brzożu, na terenie otwartym, cechował się dużo wyższą temperaturą, pomimo obserwowanej tu dużej prędkości wiatru oraz większej prężności pary wodnej.

Średnie wartości temperatury odczuwalnej (T_c) w okresie pomiarów odpowiadały odczuciom cieplnym człowieka komfortowo ($T_c < 18,4^\circ\text{C}$) oraz ciepło ($18,5-24,9^\circ\text{C}$). Z kolei odczucia ciepłe notowane przez obserwatorów obejmowały bardzo szerokie spektrum i wahały się od: bardzo zimno do gorąco. Najwyższe średnie wartości T_c (średnio $20,8^\circ\text{C}$) obserwowano nad dużymi, nasłonecznionymi trawnikami wewnątrz parków. W tym samym czasie na terenach przemysłowych, w pobliżu torowisk kolejowych T_c sięgała tylko $16,6^\circ\text{C}$. Najniższe wartości T_c zanotowano pod okapem drzew, w pobliżu Wisły.

Obliczono także częstość odczuć cieplnych w przedziałach na poszczególnych stanowiskach pomiarowych (ryc. 2), dzięki czemu można wskazać jednostki strukturalne miasta o podobnych warunkach odczuwalnych. W czasie pomiarów na Woli, kiedy notowano dużą prędkość wiatru, niekorzystne warunki odczuwalne panowały w miejscach eksponowanych na działanie wiatru. Ciekawe jest, że w typie pogody cyklonalnej, warunki odczuwalne na osiedlach bloków 10-piętrowych oraz bloków 4-piętrowych były podobne. W Śródmieściu najcieplejsze były zaciszne miejsca otoczone powierzchniami betonowymi.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najkorzystniejsze warunki bioklimatyczne panują na terenach zwartej zabudowy jednorodzinnej, wewnątrz której notowano tylko odczucia komfortu i ciepła, zaś zdecydowanie niekorzystne warunki panowały na osiedlu bloków 10-piętrowych, gdzie położenie budynków wymuszało lokalne przyspieszenie ruchu powietrza.

Wnioski

Wyniki pomiarów przeprowadzonych w różnych jednostkach strukturalnych Warszawy potwierdzają dużą stabilność temperatury powietrza w miejscach zacienionych przez drzewa oraz jej znaczną zmienność nad terenami trawiastymi o ekspozycji dosłonecznej opisywaną w pracach innych autorów (Kossowska-Cezak 1978, Olszewski 1978). W czasie pochmurnej, chłodnej i wietrznej pogody warunki topoklimatyczne w parkach są sprzyjające człowiekowi. Jednak w gorące i bezwietrzne dni, z powodu dużego ciśnienia pary wodnej, warunki odczuwalne

w parku mogą być znacznie mniej korzystne lub nawet obciążające układ termoregulacyjny człowieka.

Pośród wszystkich zbadanych typów zagospodarowania terenu Warszawy najkorzystniejsze warunki odczuwalne notowano na terenie ogródków działkowych, w obrębie zabudowy jednorodzinnej oraz na odkrytym tarasie zalewowym nad Wisłą.

Stwierdzono, że warunki topoklimatyczne wybranych typów strukturalnych Warszawy różnią się znacząco co świadczy o właściwym wyborze profilów pomiarowych. Uzyskane wyniki pozwalają na ogólną ocenę warunków odczuwalnych, wymaganą do celów urbanistyki. Jednakże krótki okres obserwacyjny oraz niesprzyjająca tego typu badaniom pogoda, uniemożliwiły dokładną analizę warunków bioklimatycznych. Pomiarzy te także „zagęściły” topoklimatyczną sieć pomiarową, stworzoną w Warszawie na potrzeby, wspomnianych na początku artykułu, projektów badawczych.

Literatura

- Baranowska M., Boniecka-Żółcik H., Gurba A., 1986, *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*. Przegląd Geofizyczny, 31, 1, 27-40.
- Błażejczyk K., 1990, *Nowy wskaźnik bioklimatyczny do określania odczuwalności cieplnej człowieka*. Problemy Uzdrowiskowe, 5/6, 59-71.
- Błażejczyk K., 2002, *Klimat – rekreacja – turystyka*. Maszynopis.
- Kossowska-Cezak U., 1978, *Wpływ dużego kompleksu zieleni miejskiej na warunki termiczno-wilgotnościowe (na przykładzie warszawskiego Ogrodu Zoologicznego)*. Prace i Studia Instytutu Geograficznego UW, 26 (11), 11-36.
- Olszewski K., 1978, *Rola trawników w kształtowaniu warunków termiczno-wilgotnościowych w mieście*. Prace i Studia Instytutu Geograficznego UW, 26 (11), 93-116.

Tabela 1. Opis stanowisk pomiarowych

nr	Wola (26-27.06)	Śródmieście (28-29.06)	Mokotów (30.06-01.07)
1	Park Moczydło – między jeziorkami	podwórko IGiPZ PAN, ul. Twarda 51/55	Służew, taras nad Służewką, teren otwarty w dolinie
2	Park Moczydło - wzniesienie	ul. Świętokrzyska, południowa strona, skwer przy fontannie	Służew, zabudowa 10-piętrowa
3	Park Moczydło – duży trawnik	ul. Świętokrzyska, północna strona, chodnik	Służew, odkryte wzniesienie
4	Las na Kole	Ogród Saski – duży skwer	teren otwarty, trawnik
5	zabudowa 4- piętrowa, z gęstą roślinnością średnią i wysoką	gęsta zabudowa śródmiejska, chodnik	nieużytki nad Jeziorkiem Czerniakowskim
6	teren otwarty, obok tory kolejowe i ogródki działkowe	skwer za Akademią Medyczną, na Skarpie Wiślanej	Sadyba, zabudowa jednorodzinna, zwarta
7	os. Górczewska, zabudowa 10-piętrowa	skwer, u podnóża Skarpy Wiślanej	ogródki działkowe
8	zachodnie obrzeża miasta, teren otwarty	Powisłe, parking na podwórzu budynków o różnej wysokości	Siekierki, odkryte tereny przemysłowe
9	bocznica kolejowa Dworca Zach.	teren otwarty, lewy brzeg Wisły	taras zalewowy, brzeg Wisły, zarośla nadrzeczne
10	magazyny przemysłowe	zadrzewiony prawy brzeg Wisły	taras nadzalewowy, teren odkryty

Tabela 2. Średnie dobowe wartości wybranych elementów meteorologicznych na stacji IMGW Warszawa – Okęcie, w okresie obejmującym badania terenowe.

	Masa powietrza	t_{sr} (°C)	t_d (°C)	t_{max} (°C)	t_{min} (°C)	p_{stacja} (hPa)	v (m s ⁻¹)	Opad (mm)
26.06	PPm	14,4	7,6	18,1	11,5	1000,5	5,6	-
27.06	PAm	11,9	6,0	13,9	10,3	1001,3	4,6	0,8
28.06	PAm	11,9	5,7	14,9	9,1	1001,2	3,6	1,3
29.06	PAm	12,8	6,9	16,7	7,8	1000,7	4,6	0,8
30.06	PAmS	12,7	8,0	17,3	9,5	999,9	4,1	1,5
1.07	PAmS	14,4	8,9	22,3	9,1	997,9	2,7	-
26.06-1.07		13,0	7,2	17,2	9,6	1000,2	4,2	0,7
VI (średnia)		17,8	9,8	23,8	11,2	1004,9	3,6	0,8
VII (średnia)		16,6	12,7	21,5	11,9	996,6	3,2	4,1

t_{sr} – średnia dobowa temperatura powietrza, t_d – średnia dobowa temperatura punktu rosy, $t_{max, min}$ – temperatura maksymalna i minimalna, p_{stacja} – średnie ciśnienie atmosferyczne na poziomie stacji, v – średnia dobowa prędkość wiatru, opad – wysokość dobowego opadu atmosferycznego

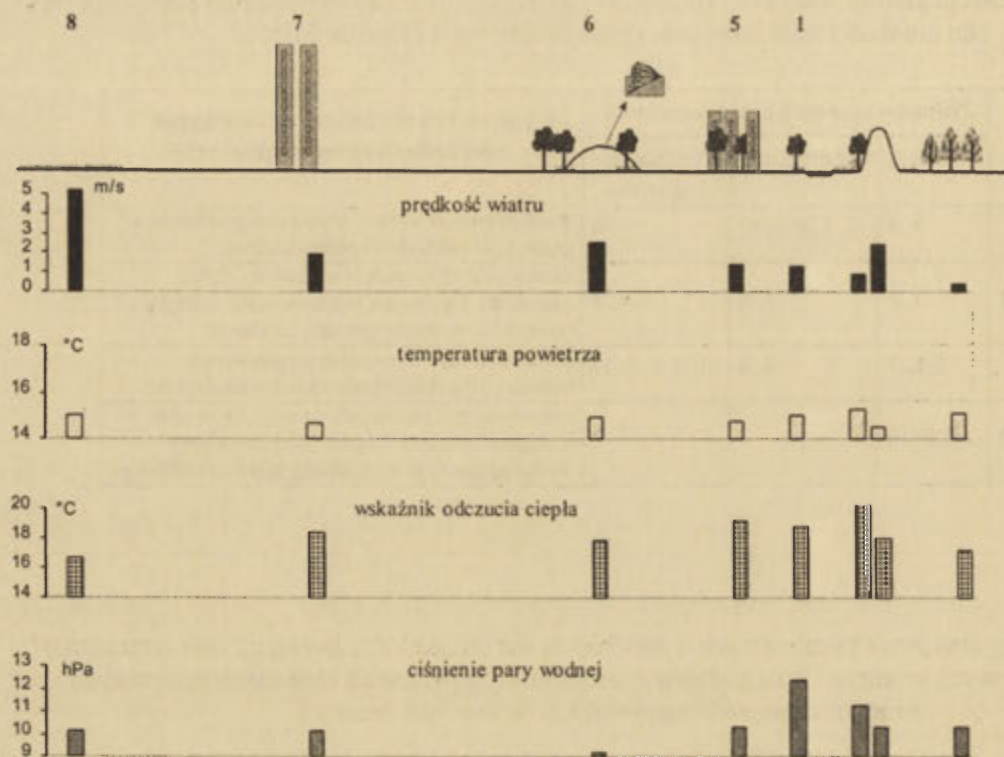
Tabela 3. Jednostki strukturalne miasta o podobnych warunkach anemologicznych wyróżnione na podstawie stosunku prędkości wiatru zmierzonej na poszczególnych stanowiskach pomiarowych (v_k) do prędkości mierzonej w centrum miasta ($v_{\text{śr}}$) (Twarda 51/55)

$v_k/v_{\text{śr}}$	Numery stanowisk pomiarowych			Opis struktur miasta o podobnych warunkach anemologicznych
	Wola	Śródmieście	Czerniaków - Służew	
< 1	3, 4	2, 5, 6, 7, 10	6	wnętrze parków i lasu; zabudowa śródmiejska; gęsta, niska zabudowa jednorodzinna
1,0 – 1,1	1, 5	3, 4	5, 7, 9	zarośla nad zbiornikami wodnymi i rzeką; zabudowa 4-piętrowa wielorodzinna; odkryte trawniki w parkach; ogródki działkowe
1,2 – 2,0	2, 6, 7	8, 9	1, 3, 4, 8, 10	otwarte tereny i niewielkie wzniesienia w mieście; 10-piętrowa zabudowa wielorodzinna
> 2,0	8, 9, 10	-	2	otwarte tereny na obrzeżu miasta; torowiska kolejowe; wnętrze 10-piętrowej zabudowy wielorodzinnej ze zjawiskiem efektu tunelowego

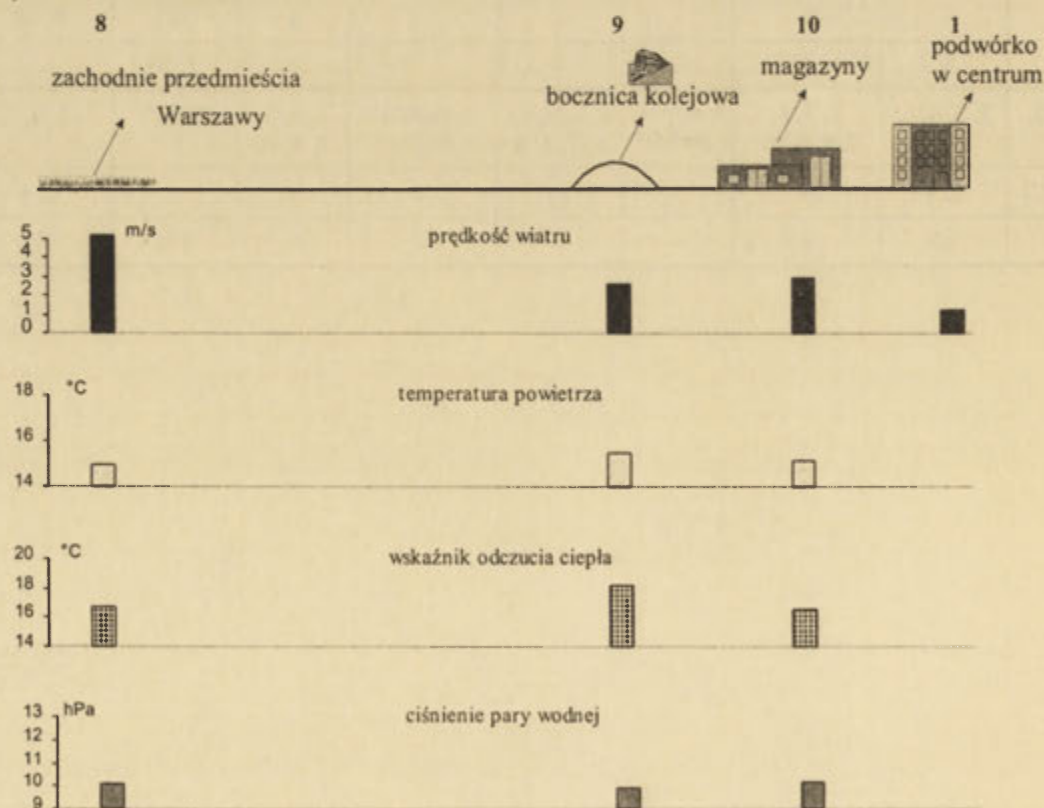
Tabela 4. Grupy stanowisk pomiarowych o podobnych warunkach odczuwalnych oraz termiczno-wilgotnościowych wyróżnione na podstawie odchylenia [%] wartości elementów mierzonych na poszczególnych stanowiskach od wartości średniej.

	Numery stanowisk pomiarowych								
	Temperatura odczuwalna			Temperatura powietrza			Wilgotność względna		
	Wola	Śródmieście	Czerniaków - Służew	Wola	Śródmieście	Czerniaków - Służew	Wola	Śródmieście	Czerniaków - Służew
>10 %	3	-	-	-	-	-	1	4	9, 10
+ 6 -10%	5	9	6	-	-	-	3	2, 10	-
± 0 – 5%	1, 2, 6, 7, 9	2, 3, 4, 6, 7	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10	wszystkie punkty	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	wszystkie punkty	2, 4, 5, 7, 8, 10	6, 7, 9	3, 5, 6, 7, 8
- 6-10%	4, 8, 10	5, 8	-	-	10	-	9	8	2, 4
< -10%	-	10	-	-	-	-	6	3, 5	1

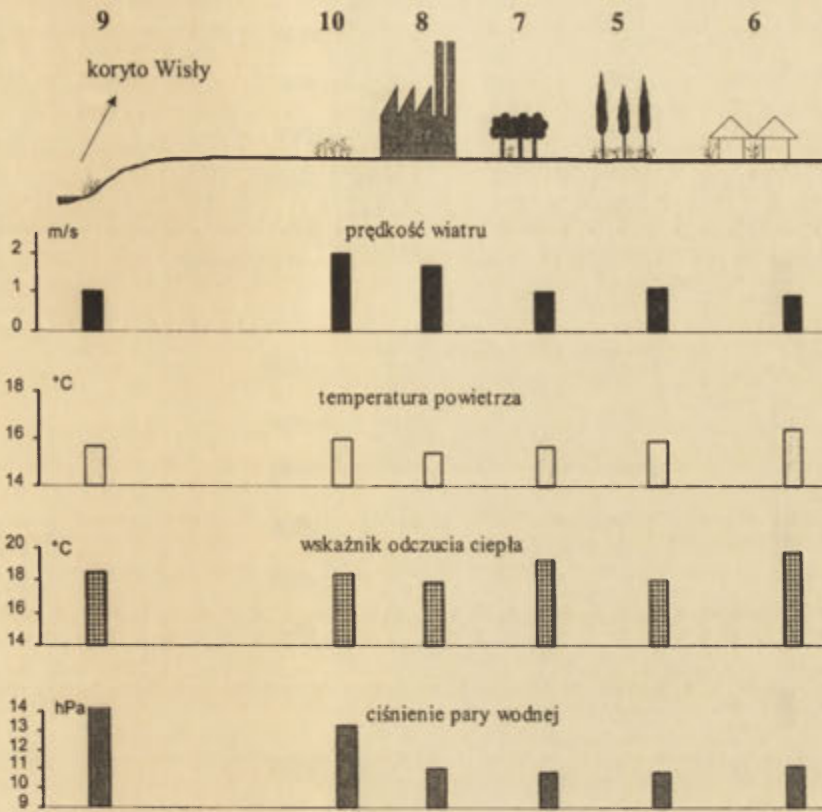
a) Wola



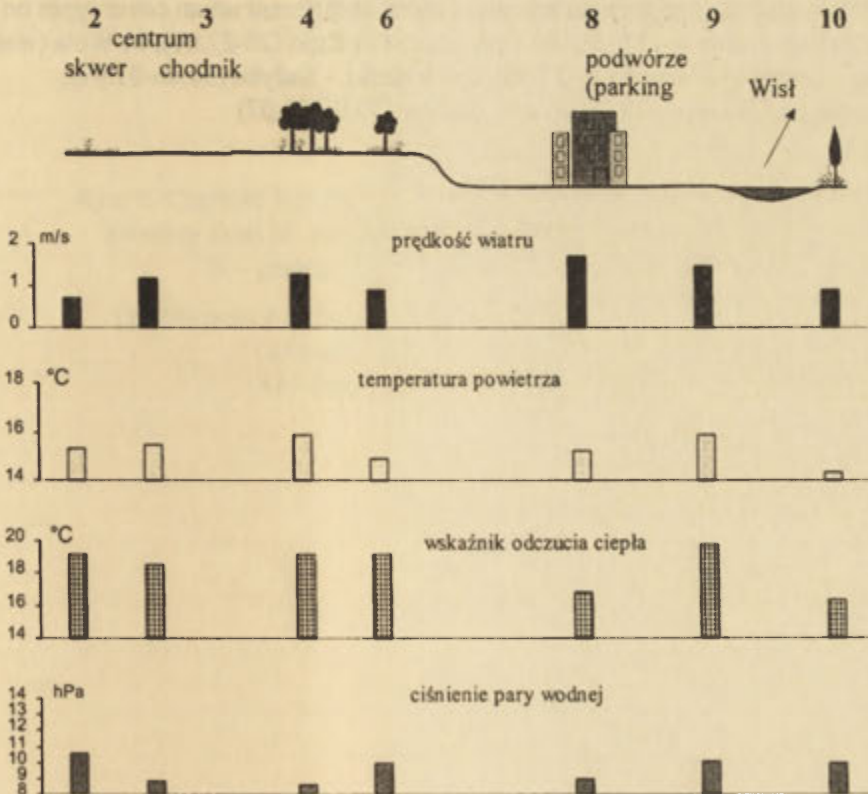
b) Wola - Śródmieście



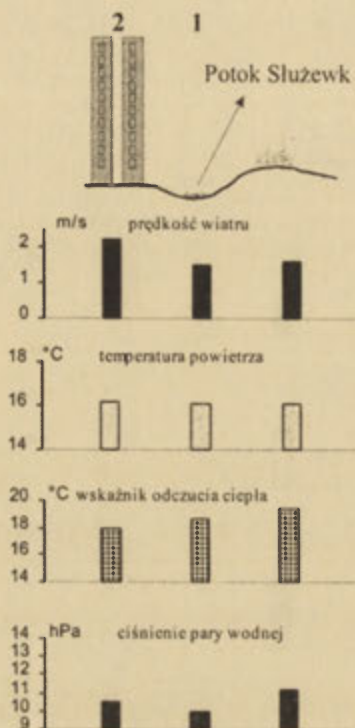
c) Siekierki - Sadyba



d) Śródmieście

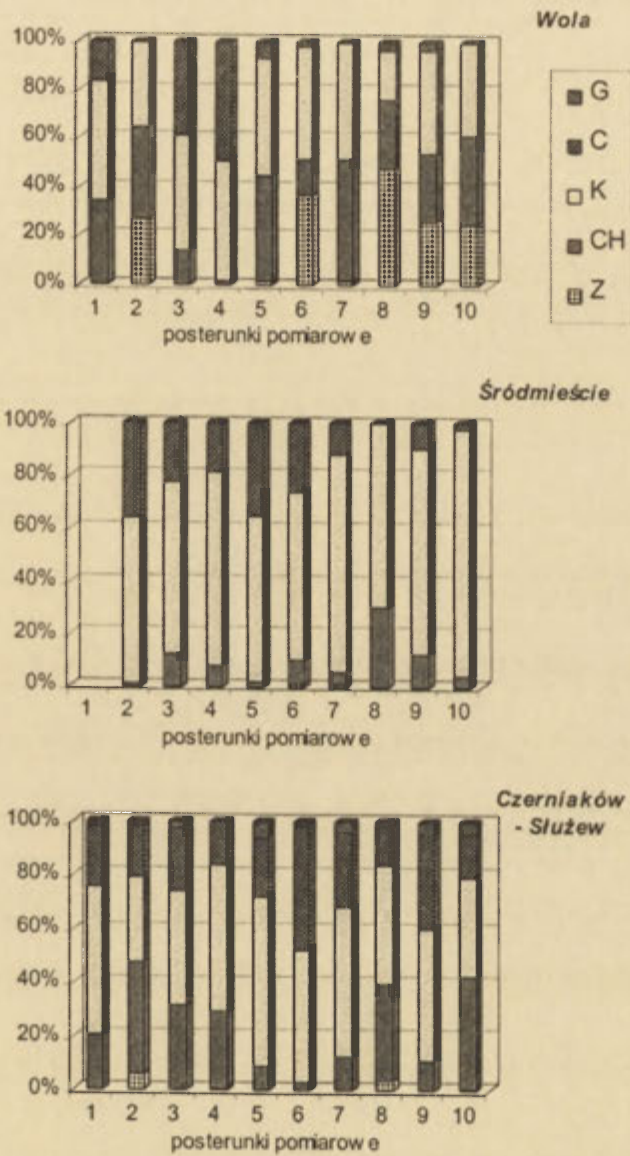


e) Służew



Ryc. 1 Wartości elementów meteorologicznych i wskaźnika odczucia ciepła na wybranych profilach:
 a) Wola (zachodnie przedmieście Warszawy) – Park Moczydło – Lasek na Kole (26-27.06), b) Wola (zachodnie przedmieście Warszawy) – centrum miasta (26-27.06), c) Siekierki – Sadyba (30.06-01.07),
 d) Śródmieście (28-29.06), e) Służew (30.06-01.07),

The values of meteorological parameters and thermal sensation index at different urban cover types on the profile: a) Wola (west suburb of Warsaw) - Moczydło Park - forest in Koło (26-27.06), b) Wola (west suburb of Warsaw) – centre of Warsaw (26-27.06), c) Siekierki – Sadyba (30.06-01.07),
 d) centre of Warsaw (28-29.06.), e) Służew (30.06-01.07)



Ryc. 2. Częstość odczuć cieplnych określonych na podstawie temperatury efektywnej (według skali M. Baranowskiej) na poszczególnych stanowiskach pomiarowych
G – gorąco, C – ciepło, K – komfort, CH – chłodno, Z – zimno

The frequency of human thermal sensation types based on effective temperature (according to M. Baranowska) at various measure post
G – hot, C – warm, K – comfort, CH – cool, Z – cold

Year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
...

Year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
...

Year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
...

The following table shows the results of the survey conducted in the year 2000. The data is presented in the form of a table with 12 columns representing the years from 1990 to 2000. The rows represent different categories of data, which are not clearly legible due to the low resolution of the scan.



Mapa odchyień temperatury promieniowania wykonana na podstawie zdjęcia satelitarnego

Anna Beata Adamczyk

Od ponad 40 lat na świecie prowadzone są badania z wykorzystaniem metod teledetekcji. Wśród nauk o Ziemi meteorologia jest dyscypliną, która jako jedna z pierwszych wykorzystwała do badań sztuczne satelity umieszczone na orbicie okołoziemskiej. Meteorologia satelitarna korzysta z globalnego obrazu atmosfery, który w meteorologii naziemnej jest otrzymywany na drodze syntezy obserwacji punktowych. Obecnie istnieją specjalne systemy satelitów meteorologicznych oraz środowiskowych. Zaletą teledetekcji satelitarnej jest możliwość zobrazowania oraz analizy elementów klimatu – zarówno w sensie przestrzennym, jak i czasowym – na całej powierzchni Ziemi.

Każde zdjęcie Ziemi obejmuje obszar o powierzchni wielu tysięcy kilometrów kwadratowych. Obrazy te przedstawiają współzależność różnych komponentów środowiska geograficznego w skali regionalnej. Duża przestrzenna rozdzielczość zdjęcia satelitarnego sprawia, że obrazowane są nawet drobne szczegóły terenu. Taka właściwość obrazu pozwala na analizę pewnych zjawisk i procesów nawet w skali lokalnej. Jednym z satelitów o dużej rozdzielczości przestrzennej, zbierającym informacje o środowisku, jest piąty satelita z programu Landsat. W zakresie widma widzialnego rozdzielczość przestrzenna wynosi 30 x 30 metrów, a w podczerwieni termalnej 120 x 120 metrów. Charakterystyczną cechą satelity Landsat5 jest okresowe obrazowanie tych samych obszarów kuli ziemskiej. Teoretycznie każdy fragment powierzchni ziemi może być rejestrowany 22 razy w ciągu roku. Jednak warunki meteorologiczne (stan zachmurzenia) sprawiają, że większość obszarów jest obrazowana zaledwie kilka razy w ciągu roku. Powtarzalność pokrycia terenu zdjęciami pozwala, między innymi, na analizę sezonowych zmian elementów klimatu. Pomiary wykonywane z satelity Landsat5 skanerem typu Thematic Mapper (TM) pozwalają na uzyskanie danych dotyczących

warunków klimatycznych z rozdzielczością bez porównania większą niż pozwala na to nawet najbardziej zagęszczona sieć stacji meteorologicznych.

Przedstawiona dalej mapa różnic temperatury promieniowania została wykonana na podstawie danych zarejestrowanych przez Satelitę Landsat5TM w dniu 13 czerwca 1987 r., o godzinie 10:00. Dane te poddano korekcji geometrycznej i radiometrycznej. Przekształcenie danych numerycznych, w jakich zapisane są informacje satelitarne, na formę graficzną oraz przeprowadzenie niezbędnych obliczeń zostało wykonane za pomocą programu Satellite Analysis opracowanego przez zespół profesora N. Fujiwary z Uniwersytetu Zeńskiego w Nara w Japonii.

Termin temperatura promieniowania odnosi się do natężenia wiązki promieniowania emitowanego przez dany materiał. Inaczej mówiąc jest to temperatura jaką miałoby ciało doskonale czarne emitujące określoną dawkę promieniowania.

Mapa przedstawia przestrzenny rozkład różnic temperatury promieniowania w odniesieniu do jej średniej wartości na obszarze Warszawy i jej najbliższych okolic. Kolorami zimnymi (odcienie niebieskiego) pokazano wartości temperatury promieniowania niższe od średniej obliczonej dla całego prezentowanego obszaru. Kolorami ciepłymi (beżowy, żółty, czerwony) oznaczono wartości temperatury wyższe od tej średniej. Obliczona średnia temperatura promieniowania nie występuje na mapie. Jest ona jedynie punktem odniesienia do wyróżnienia obszarów ciepła lub chłodu.

Największe ujemne różnice, określające obszary o niskich wartościach temperatury promieniowania, są widoczne na obrzeżach Warszawy oraz na terenie Mazowieckiego Parku Krajobrazowego. Przedstawione na mapie wody Wisły – stosunkowo zimne kolory niebieskie – rozdzielają zabudowę miasta na dwie części. Rzeka na wysokości Józefowa (południowo wschodnia część mapy) gwałtownie zmniejsza swoją szerokość z powodu usypanej łąchy piaszczystej pokrytej roślinnością. Zwężenie koryta zwiększa szybkość przepływu wody która tym samym ma mniejszą zdolność absorpcji ciepła. Powoduje to obniżenie temperatury wody na tym odcinku rzeki, co jest zaznaczone na mapie ciemnymi odcieniami koloru niebieskiego.

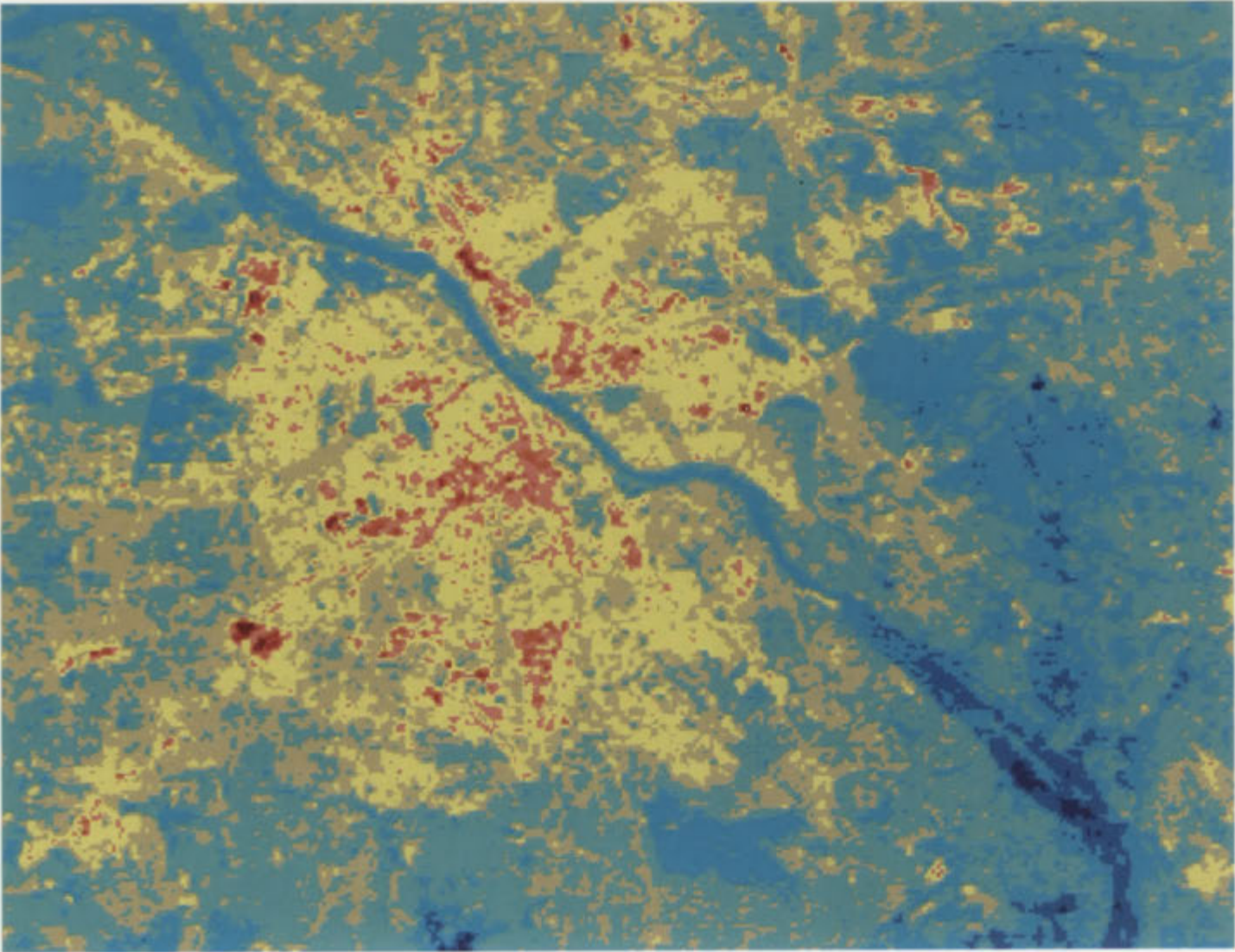
Generalnie, obszary wodne, leśne oraz parki miejskie wyróżniają się na mapie kolorami niebieskimi co oznacza, że ich temperatura promieniowania jest niższa od średniej. Doskonale widoczny jest kształt Lasu Kabackiego na południowym krańcu miasta oraz Lasu Młocińskiego na krańcu północnym. Również pośród zwartej zabudowy Warszawy wyróżniają się kolorem niebieskim kontury typowych dla miasta terenów zielonych jakimi są cmentarze (Powązkowski, Wojskowy, Bródnowski) oraz parki (Lasek na Kole, ZOO, Park Skaryszewski). Nawet niewielkie

tereny zadrzewień znacznie obniżają temperaturę promieniowania czego przykładem jest Ogród Saski, doskonale widoczny na mapie. Wielkość obszaru zieleni, wysokość i gęstość drzew, a także bliskość zabudowy wpływa na wartość temperatury promieniowania tego obszaru. W mieście, gdzie zieleni jest ograniczona budynkami, różnica w stosunku do wartości średniej wynosi -2 deg, natomiast poza miastem oraz w sąsiedztwie Wisły różnica ta wyraźnie wzrasta (-6 deg).

Największe dodatnie różnice określają obszary o wysokich wartościach temperatury promieniowania. Są one zlokalizowane w pobliżu zakładów przemysłowych. Analizowanego dnia najwięcej ciepła emitowały do atmosfery Zakłady Przemysłu Ciągnikowego Ursus, Huta Warszawa, Unitra Warel, Fabryka Samochodów Osobowych na Żeraniu oraz przemysłowe Centrum Optyki na Gocławiu. Różnica wynosiła aż 14 deg. Wyraźnie cieplejsze są też Wola Przemysłowa oraz Służewiec Przemysłowy (ok.10 deg), gdzie zabudowa przemysłowa i magazynowa przeplata się z zabudową mieszkaniową. Podobne różnice temperatury promieniowania są widoczne w zwartej zabudowie Starej Pragi oraz Śródmieścia.

Rozkład przestrzenny różnic temperatury promieniowania ukazuje miejską wyspę ciepła w Warszawie. Dane pochodzą z godzin porannych (godz. 10:00) letniego dnia (czerwiec). Ocieplający wpływ zabudowy miejskiej jest tu przedstawiony kolorem żółtym.

Rozkład odchyłeń temperatury promieniowania od jej wartości średniej





Mapy topoklimatyczne i biotopoklimatyczne Niziny Mazowieckiej

*Krzysztof Błażejczyk, Anna Kunert**

Mapy wykonano na podkładzie przeglądowej mapy topograficznej Polski w skali 1:200.000, arkusze Warszawa-Zachód i Warszawa-Wschód. Wersja cyfrowa map znajduje się na załączonej płycie CD, w katalogach:

- Mapy_podst
- Mapy_topo
- Mapy_biotopo

Katalog Mapy_podst zawiera pliki:

- Zal4_1_1 - Rzeźba terenu
- Zal4_1_2 - Pokrycie i użytkowanie terenu
- Zal4_1_3 - Albedo podłoża atmosfery

Katalog Mapy_topo zawiera pliki:

- Zal4_2_1 - Względne wartości temperatury powietrza
- Zal4_2_2 - Względne wartości całkowitego promieniowania słonecznego
- Zal4_2_3 - Względne wartości prędkości wiatru
- Zal4_2_4 - Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego przy powierzchni gruntu przy prognozie dla Okęcia 800 W m^{-2}
- Zal4_2_5 - Natężenie promieniowania odbitego od podłoża
- Zal4_2_6 - Rozkład temperatury powietrza przy prognozie dla Okęcia 10°C
- Zal4_2_7 - Rozkład temperatury powietrza przy prognozie dla Okęcia 20°C
- Zal4_2_8 - Rozkład temperatury powietrza przy prognozie dla Okęcia 30°C
- Zal4_2_9 - Rozkład prędkości wiatru przy prognozie dla Okęcia 2 m s^{-1}
- Zal4_2_10 - Rozkład prędkości wiatru przy prognozie dla Okęcia 4 m s^{-1}

*Instytut Geografii Akademii Bydgoskiej

- Zal4_2_11 - Rozkład prędkości wiatru przy prognozie dla Okęcia 8 m s^{-1}
- Zal4_2_12 - Obszary o zwiększonym zagrożeniu mgłami radiacyjnymi
- Zal4_2_13 - Obszary o zwiększonym zagrożeniu przygruntowymi inwersjami temperatury powietrza
- Zal4_2_14 - Obszary o zwiększonym zanieczyszczeniu powietrza
- Zal4_2_15 - Obszary o zwiększonej emisji ciepła antropogenicznego
- Zal4_2_16 - Obszary o zwiększonej zawartości w powietrzu fitoncydów
- Zal4_2_17 - Obszary o różnej strukturze strat ciepła z powierzchni czynnej
- Zal4_2_18 - Grupy i typy topoklimatu
- Zal4_2_19 - Klasy topoklimatu
- Zal4_2_20 - Podstawowe jednostki topoklimatyczne

Katalog Mapy_biotopo zawiera pliki:

- Zal4_3_1 - Wskaźnik stresu termofizjologicznego (*PhS*)
- Zal4_3_2 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 10°C i prędkości wiatru 2 m s^{-1}
- Zal4_3_3 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 10°C i prędkości wiatru 4 m s^{-1}
- Zal4_3_4 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 10°C i prędkości wiatru 8 m s^{-1}
- Zal4_3_5 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 20°C i prędkości wiatru 2 m s^{-1}
- Zal4_3_6 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 20°C i prędkości wiatru 4 m s^{-1}
- Zal4_3_7 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 20°C i prędkości wiatru 8 m s^{-1}
- Zal4_3_8 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 30°C i prędkości wiatru 2 m s^{-1}
- Zal4_3_9 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 30°C i prędkości wiatru 4 m s^{-1}
- Zal4_3_10 - Temperatura odczuwalna (*STI*) przy pogodzie (na Okęciu) słonecznej, temperaturze 30°C i prędkości wiatru 8 m s^{-1}

Influence of air circulation and local factors on climate and bioclimate of Warsaw agglomeration

Summary

The aim of the studies was to deep knowledge of the influence of air circulation and local environmental factors on climatic and bioclimatic conditions in Warsaw agglomeration. The studies were supported by the grant of KBN (Committee of Research Studies) No 6 P04E 047 17.

The studies based on various sets of data:

- multiannual, daily data from meteorological stations for the periods 1961-1970 and 1994-2001,
- hourly data from the special network established for the research for the period of June 2001 – June 2002; the network consists of 17 points with automatic weather stations. For location of the stations see Figure 1 and Figure 2.

Air circulation was characterised by the frequency of air masses and air advection types over the territory of central Poland. The clear relationships between advection types as well as air masses and thermal and bio-thermal conditions of Warsaw were found. The lowest air temperature was observed at arctic air mass and the warmest one – at tropical air. In the Spring very warm was also polar continental air mass.

Air mass and advection type influenced also bio-thermal conditions, i.e. temperature subjectively felt by man. The lowest subjective temperature was observed during whole the year in arctic mass and the highest one in tropical air. For polar continental air mass very typical was the lowest subjective temperature in the Winter and highest one – in the Spring and in the Summer.

Very important feature of bio-thermal conditions of Warsaw agglomeration is great frequency of „hot” and „very hot” thermal sensations. It is caused by high air temperature and simultaneously by great intensity of solar radiation. The most pleasant are thermal conditions in the Spring (April-May) and Autumn (September-October) months.

The full complex weather conditions was characterised with the use of new, bio-thermal weather classification. Weather calendar and periods with various usefulness for working man and for outdoor recreation were elaborated:

- 22 November – 10 January – the period of unfavourable weather,
- 11 January – 24 February and 27 June – 25 August – the periods of moderately favourable weather,
- 25 February – 24 April, 11 May – 26 June, 26 August – 3 September and 27 October – 21 November – the periods of favourable weather,
- 25 April – 10 May and 4 September – 26 October – the periods of very favourable weather.

The most important local factor influencing income of solar radiation is occurrence of air pollution over the city. It reduces the intensity of direct solar radiation and sunshine duration up to 10% in the Summer and 30% in the Winter.

The horizontal and vertical structure of the city influence climatic and bioclimatic conditions at the street level as well. It is manifested by: a) 30-50% reduction – in comparison to the roof level – of solar radiation, b) 50-60% reduction of wind speed and c) the presence of heat island over the city during the late afternoon, night and early morning hours, d) great daily fluctuations of meteorological conditions in the bottom of street canyons.

The greatest day-to night contrasts of bio-thermal conditions is observed in the suburban areas. During the night the subjective temperature in the near ground air layer can fall dramatically and during the day time it can reach very high values.

The greatest spatial contrasts of bio-thermal conditions occurs in the city centre. The difference in subjective temperature between insolated and shaded locations can reach in the Summer days up to 15-20 deg.

The results of field measurements were the base for the following scheme of the changes of bio-thermal conditions in the city (see Fig. 57). During the day the warmer are well insolated parts of street canyons; in the parks and in the places shaded by trees bio-thermal conditions are considerably milder. During the night spatial differentiation of bio-thermal conditions is relatively small; only the city centre is considerably warmer then its surroundings. City vegetation (parks, forests) modify bio-thermal conditions by reducing its daily fluctuations.

GIS methods were used to analyse topoclimatic and biotopoclimatic differentiation of Warsaw agglomeration. Digital data base was established based on the topographic maps 1:200.000. For the 1x1 km pixels information dealing with the forms of relief, land use and ground humidity were collected. They were the base for reclassifications to obtain distribution of principal meteorological elements, i.e. global solar radiation, air temperature, wind speed, fogs, inversions and air pollution.

6 groups of topoclimates with various structure of solar radiation balance of an active surface were distinguished. 12 types of topoclimates with different thermal and anemological conditions were defined as well. 13 classes of topoclimates, with various combinations of specific local climate features were also delimited. Finally, 20 individual topoclimatic units (topoclimates) were distinguished in the southern part of Mazowiecka Lowland where Warsaw agglomeration is located.

On the biotopoclimatic maps spatial differentiation of subjective temperature is presented for various scenarios of meteorological conditions. The topoclimatic and biotopoclimatic maps can be found on the CD-ROM in appendix 4.

Bi termiczna klasyfikacja pogody

Miejsce symbolu cyfrowego	Symbol	Opis elementów pogody
Typy pogody:		
□ - - - - -	-3	Pogoda bardzo zimna
	-2	Pogoda zimna
	-1	Pogoda chłodna
	0	Pogoda komfortowa
	1	Pogoda ciepła
	2	Pogoda gorąca
	3	Pogoda bardzo gorąca
Podtypy pogody:		
- □ - - - - -	1	O słabych bodźcach radiacyjnych
	2	O umiarkowanych bodźcach radiacyjnych
	3	O silnych bodźcach radiacyjnych
- - □ - - - -	C	Powodująca termofizjologiczny stres zimna
	H	Powodująca termofizjologiczny stres gorąca
- - - □ - - -	0	Nie powodująca odczucia parności
	1	Wywołująca umiarkowane odczucie parności
	2	Wywołująca silne odczucie parności
Klasy pogody:		
- - - - □ - -	0	O małych dobowych kontrastach termicznych
	1	O dużych dobowych kontrastach termicznych
- - - - - □ -	0	Beż opadu atmosferycznego
	1	Z opadem atmosferycznym o sumie dobowej > 1 mm
- - - - - □	0	Bez pokrywy śnieżnej
	1	Z pokrywą śnieżną o grubości > 10 cm

Informacje dla autorów i czytelników

„DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA” – ukazuje się w standardowym nakładzie 200 egzemplarzy.

Sprzedaż publikacji IGiPZ PAN prowadzą księgarnie:

– DHN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, tel. 69 78 835, czynna od poniedziałku do piątku w godz. od 9 do 17.

– Główna Księgarnia Naukowa im. Bolesława Prusa, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa, tel. 826 18 35.

Wymagania techniczne stawiane pracom składanym do druku w serii „DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA”

Tekst i tabele należy przygotować na dyskietce (3,5” Microdisks) w programie WORD 7.0, podpisy pod ryciny w języku polskim i angielskim powinny być umieszczone w oddzielnym pliku, ryciny (opracowane komputerowo lub na kalce) w postaci czystorysów gotowych do druku.

Do każdej pracy w języku polskim należy dołączyć streszczenie angielskie (1-2 strony) oraz abstrakt (3-6 zdań) i słowa kluczowe (3-4), również w języku angielskim.

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

1999

14. JANUSZ PASZYŃSKI, KRYSTYNA MIARA, JÓZEF SKOCZEK – Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego.

2000

15. PIOTR EBERHARDT – Przemieszczenia ludności na terytorium Polski spowodowane II wojną światową.
16. TERESA KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA – Stan badań klimatu i bioklimatu uzdrowisk polskich.
17. EWA NOWOSIELSKA – Sektor usług w Aglomeracji Warszawskiej 1992-1997: przemiany strukturalne i tendencje rozwoju.
18. TEOFIL LIJEWSKI – Problemy zagospodarowania przestrzennego Polski w świetle przebudowy infrastruktury komunikacyjnej.
19. JAN MAREK MATUSZKIEWICZ, EWA ROO-ZIELIŃSKA (red.) – Międzywale Wisły jako swoisty układ przyrodniczy (odcinek Pilica-Narew).
20. BOŻENA GAŁCZYŃSKA, ROMAN KULIKOWSKI – Wieś i rolnictwo strefy podmiejskiej Warszawy. Zróżnicowania przestrzenne i procesy transformacji.
21. MARIUSZ KOWALSKI, PRZEMYSŁAW ŚLESZYŃSKI – Uwarunkowania zachowań wyborczych w województwie śląskim.

2001

22. JERZY BAŃSKI – Stan i perspektywy rolnictwa na obszarach problemowych w Polsce.
23. MAGDALENA KUCHCIK (red.) – Współczesne badania topoklimatyczne.
24. TERESA KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK, BARBARA KRAWCZYK – Bioklimat Krasnobrodu.

2002

25. ELŻBIETA BARBARA KOZUBEK – Zmiany użytkowania ziemi w regionie tarnobrzeskim pod wpływem uprzemysłowienia w latach 1937–1992 w świetle interpretacji map i obrazów satelitarnych.

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII
i PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA nr 26
KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK



WARSZAWA 2002

Załączniki
kartograficzne

Nr 1 i Nr 4

80 min., 700 MB

ZNACZENIE CZYNNIKÓW
CYRKULACYJNYCH I LOKALNYCH
W KSZTAŁTOWANIU KLIMATU
I BIOKLIMATU AGLOMERACJI
WARSZAWSKIEJ

40x

PL – ISSN 0012-5032
ISBN 83-87954-24-1

<http://rcin.org.pl>