

Sebastian Sikora

Bioklimat Wrocławia



Sebastian Sikora Bioklimat Wrocławia



ISBN 978-83-928193-2-5

Wrocław 2008

2. Oddziaływanie elementów fizykochemicznych środowiska na świat ożywiony - przedmiot badań biometeorologii

Cechą charakterystyczną środowiska atmosferycznego jest jego zmienność. Człowiek ekspozycyjny jest na działanie zmieniających się ciągle warunków zewnętrznych, które możemy określać przy pomocy całego szeregu parametrów fizykochemicznych. Ich rolę i wpływ na organizm człowieka doceniono już w starożytności, kiedy to w IV w. p.n.e. grecki uczony Hipokrates w dziele zatytułowanym „O powietrzu, wodach i miejscach” zaprezentował pogląd, że klimat ma istotny wpływ na zdrowie i psychikę człowieka (Jankowiak, 1976). W okresie późniejszym teoria ta była wielokrotnie rozwijana chociażby przez: Galena, Celsusa, Avicenne czy Vitruwiusa. Ten ostatni (architekt rzymski) jako jeden z pierwszych zwrócił uwagę na znaczenie warunków bioklimatycznych dla urbanistyki (Kowalenko, 1976).

Definicja bioklimatologii została utworzona przez Humboldt’a w 1827 roku i została określona jako „zespół czynników atmosferycznych, które działają na receptory zmysłowe człowieka” (Kozłowska-Szczęsna, red., 1985; Kozłowska-Szczęsna i in., 1997).

Oddziaływanie środowiska zewnętrznego na organizm człowieka ma charakter złożony: począwszy od podstawowych elementów fizykochemicznych atmosfery (tj. temperatura, wilgotność czy ciśnienie powietrza, prędkość wiatru, promieniowanie krótkofalowe, długofalowe czy jonizacyjne, skład chemiczny powietrza itp) poprzez hałas, wibrację a skończywszy na czynnikach geograficznych (ukształtowanie powierzchni, stopień jej pokrycia roślinnością czy stosunki wodne). Elementy te oddziałują na człowieka w sposób ciągły i nie można ich wyeliminować. Oczywiście można podejmować działania zmierzające do ich złagodzenia (np. w mroźne dni ubieramy się cieplej, w miejscach z nadmiernym hałasem stosujemy słuchawki chroniące słuch, itd). Niemożliwe i niewskazane jednak jest uniknięcie wszystkich bodźców docierających do organizmu człowieka z środowiska. W zależności od ich intensywności ustalono jak wpływają na żywe organizmy (Flemming, 1983; ryc. 1):

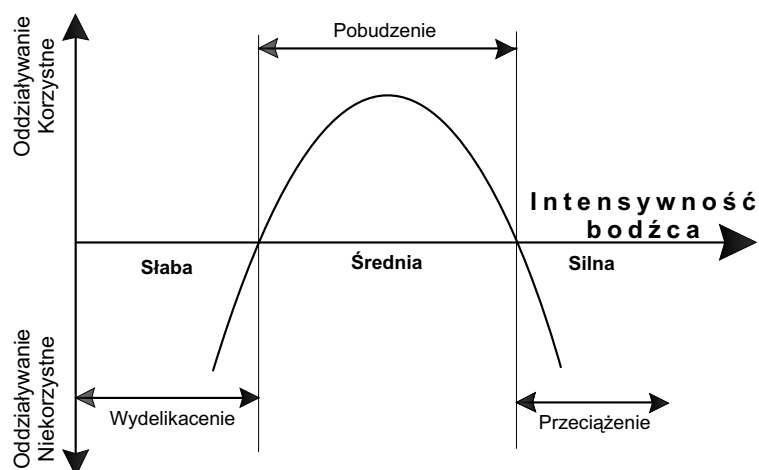
- bodźce o słabej intensywności wydelikacują organizmy (powodują utratę nabytych przystosowań)
- bodźce o średniej intensywności powodują powstawanie mechanizmów adaptacyjnych (pobudzając organizm hartują go)
- bodźce silne oddziałują niekorzystnie, obciążając nadmiernie organizm (w skrajnych przypadkach wywołują efekt letalny).

W każdej chwili do organizmu człowieka dociera ogromna ilość bodźców zewnętrznych, które można pogrupować w następujące zespoły (Kozłowska-Szczęsna i in., 1985; Kozłowska-Szczęsna, Krawczyk, 1990; Kozłowska-Szczęsna, Grzędziński, 1991; Kozłowska-Szczęsna i in., 1997):

- zespół bodźców fizycznych
- zespół bodźców chemicznych
- zespół bodźców biologicznych

Zespół bodźców fizycznych to: bodźce termiczno-wilgotnościowe, bodźce radiacyjne, bodźce akustyczne, bodźce elektryczne czy bodźce mechaniczne.

Bodźcami termiczno-wilgotnościowymi są temperatura i wilgotność powietrza, które mają podstawowy wpływ na doznania termiczne człowieka. W toku ewolucji człowiek utracił pewne zdolności do zapobiegania np. nadmiernemu wychłodzeniu organizmu. Oczywiście „umiejętne” wykorzystywanie zasobów Ziemi (np. zwierząt dla futer, roślin do produkcji włókien wykorzystywanych do tkania materiałów) umożliwiło mu przetrwanie i zamieszkanie skrajnie niekorzystnych środowisk. Jednakże gwałtowne zmiany temperatury i wilgotności z dnia na dzień mogą niekorzystnie wpływać na samopoczucie i zdrowie człowieka.



Ryc. 1. Współzależność między natężeniem bodźców zewnętrznych a reakcją organizmu (Flemming, 1983)

Fig. 1. Relation among intensity of external stimuli and organisms (Flemming, 1983)

Bodźcami radiacyjnymi określa się trzy podstawowe (z punktu widzenia człowieka) zakresy promieniowania elektromagnetycznego: promieniowanie ultrafioletowe, widzialne i podczerwone. Promieniowanie ultrafioletowe charakteryzuje się dwójakim oddziaływaniem na organizm człowieka: jego pasmo z zakresu 200-280nm (UV-C) posiada wysoką energię i przez to destrukcyjnie wpływa na białka oraz kwasy nukleinowe (pełnią one funkcje budulcowe i regulacyjne organizmu), lecz jednocześnie jest silnie bakterio- i grzybobójcze. Promieniowanie UV z zakresu 280-320nm (UV-B) ma korzystny wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka - za jego pośrednictwem w skórze dochodzi do syntezy witaminy D. Natomiast ultrafiolet z zakresu 320-400nm (UV-A) ma najsłabsze działanie biologiczne. Umiarkowane dawki promieniowania ultrafioletowego mają korzystny wpływ na organizm, lecz jego nadmiar może powodować poparzenia skóry a w skrajnych przypadkach jej nowotwory. Promieniowanie to jest również szkodliwe dla oczu - może wywoływać kataraktę. Promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu 400-780nm to tzw. promieniowanie widzialne, które odbierane jest przez światłoczułe komórki oka dostarczając organizmowi wrażenia wizualne. Światło widzialne ma decydujący wpływ na ustalenie się rytmu dobowego u ludzi. Ponadto w sposób pośredni wpływa na aktywność procesów biologicznych. Promieniowanie o długości fali dłuższej niż 780nm (aż do 2500nm) to podczerwień bliska. Głównym efektem wywoływanym przez ten rodzaj promieniowania jest efekt cieplny. Wykorzystuje się tę właściwość podczerwieni do punkтового naświetlania skóry, co przyspiesza przemianę materii w określonym obszarze skóry oraz łagodzi odczucia bólowe (np. reumatoidalne, pourazowe).

Bodźce akustyczne mają szczególne znaczenie dla człowieka. Odpowiednie bodźce dźwiękowe mogą niezwykle korzystnie wpływać na samopoczucie (szum strumyka, śpiew ptaków czy ulubiona muzyka). Z drugiej strony nadmierny hałas związany z rozwojem cywilizacyjnym (wzmocniony ruch kołowy, lotniska czy uciążliwe zakłady przemysłowe) bardzo negatywnie wpływa na organizm człowieka wywołując odczucie zmęczenia. Szczególne znaczenie mają też dźwięki niesłyszalne przez człowieka - ultradźwięki i infradźwięki, które jednak docierają do naszej podświadomości.

Bodźce elektryczne bezpośrednio związane z elektrycznością atmosfery obejmują swym zakresem wiele zjawisk o naturze elektrycznej: ładunki elektryczne chmur, jonizacja powietrza, pole elektryczne atmosfery itp. Obecnie człowiek jest niemal bezustannie pod wpływem sztucznych pól elektrycznych generowanych chociażby w pobliżu przewodów doprowadzających energię elektryczną. Nie bez znaczenia są również „zanieczyszczenia” falami elektromagnetycznymi powszechnie stosowanymi do komunikacji i transferu danych (telefony komórkowe, komputerowe sieci bezprzewodowe Wi-Fi). Z badań prowadzonych w Wojskowym Instytucie Higieny i Epidemiologii w Warszawie wynika, że u osób ekspozowanych na fale radiowe o częstotliwości od 0,7 do 1,5 MHz może zwiększyć się ryzyko dysregulacji autonomicznej kontroli pracy serca a to może rodzić zaburzenia w układzie krążenia (Bortkiewicz i in., 2001). Ciągłe jednak wiedza na ten temat jest bardziej intuicyjna niż poparta dowodami empirycznymi.

Docierające do człowieka bodźce mechaniczne są najczęściej związane z ruchem powietrza czyli wiatrem. Jego niezbyt wielkie prędkości mogą efektywnie stymulować nasz układ krążenia za pomocą mikromasażu

powierzchni skóry, lecz nadmierna prędkość wiatru może utrudniać oddychanie. Bodźce mechaniczne są związane również ze zmianami ciśnienia powietrza, które oddziałuje na ucho środkowe a pośrednio na nasze błony bębenkowe w uszach.

Zespół bodźców chemicznych wiąże się z parametrami chemicznymi otaczającego nas środowiska zewnętrznego. Szczególne znaczenie ma tutaj skład powietrza - czynnika determinującego przeżycie człowieka. Niezwykle istotny jest jego skład oraz wzajemne proporcje pomiędzy składnikami mieszaniny gazów jaką jest powietrze. Wszelkie zmiany zawartości poszczególnych gazów powietrza mają wpływ na funkcje życiowe organizmu. Szczególnie niekorzystne są dla nas wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia powietrza, które mogą być naturalne (pochodzące np. z wybuchów wulkanów czy samoistnych pożarów lasów) lub antropogeniczne (emitowane w procesach technologicznych lub przez pojazdy samochodowe).

Oddziaływanie na człowieka bodźców biologicznych objawia się w liczbie pacjentów cierpiących na coraz liczniejsze alergie. Źródłem tych bodźców są: aeroplankton (bakterie, wirusy, zarodniki grzybów, pyłki kwiatowe itd) i fitoncydy - organiczne substancje chemiczne wydzielane przez rośliny w procesach przemiany materii. Fitoncydy wykazują dość silne działanie bakteriobójcze a więc niezwykle korzystne z punktu widzenia człowieka. Poszczególne zespoły roślinne wytwarzające specyficzne dla siebie lotne związki organiczne mogą wpływać uspokajająco lub pobudzająco, wzmacniać aktywność czy podnosić ciśnienie krwi.

Często pojedynczy bodziec może mieć niewielki wpływ na nasz organizm, lecz nałożenie się ich w tym samym czasie może wywołać efekt synergizmu.

Bioklimatologia jest szczególnie przydatna w organizowaniu tzw. klimatoterapii i jej rozwój został w znacznym stopniu wymuszony przez medycynę uzdrowiskową.

3. Metody badań bioklimatycznych

Zainteresowanie naukowców elementami, które wpływają na funkcjonowanie organizmu człowieka przyczyniło się do rozwoju biometeorologii. Szczególnie intensywny rozwój tej dziedziny nauki obserwowany był od początku XX wieku. Zdawano sobie wówczas sprawę z wpływu środowiska na organizm człowieka, lecz brakowało metod za pomocą, których można byłoby dokonać ich oceny ilościowej i jakościowej. Nastąpił wówczas rozwój metod badawczych ukierunkowany na: metody empiryczne (konstruowano urządzenia do pomiarów bioklimatycznych) i obliczeniowe (poszukiwania wskaźników najlepiej odwzorowujących odczucia człowieka).

Jednym z pierwszych problemów, przed którym stanęli biometeorolodzy było opracowanie wskaźnika uwzględniającego oddziaływanie temperatury i wilgotności powietrza, prędkości wiatru oraz promieniowania słonecznego na organizm człowieka. Istotną rolę w tych dążeniach odegrały przyrządy skonstruowane na początku XX wieku, do których można zaliczyć:

- katatermometr
- termometr kulisty
- frygorymetr i frygorygraf
- eupateostat.

Katatermometr jest odmianą termometru cieczowego. Został wprowadzony do badań bioklimatycznych przez Hill'a w 1914 roku (Hill, 1914). Obecnie pomiarów tym przyrządem raczej się nie wykonuje - uzyskiwane wyniki w niewielkim stopniu odzwierciedlają fizjologiczną reakcję organizmu. Wielkość ochładzającą powietrza można dokładnie obliczyć korzystając z danych meteorologicznych.

Termometry kuliste są przydatne w szczególności do określania tzw. temperatury promieniowania. Używana przy pomocy tego przyrządu temperatura służy do obliczania m.in. wskaźnika obciążenia cieplnego (WBGT), który stosowany jest przy ocenie warunków życia i norm mikroklimatu w wysokich temperaturach powietrza (Bedford i Warner, 1934). Idea pomiarów termometrami kulistymi została rozwinięta w przyrządach, którymi są frygorymetry i frygorygrafy. Prekursorem konstruowania frygorymetrów był Dorno i Thilenius a jego ciągle doskonalenie doprowadziło do stworzenia modelu o nazwie Davos Frigori-meter (Wójcik, 1968). Przez pewien okres w Europie funkcjonowała sieć pomiarów frygorymetrycznych.

Po raz pierwszy cylinder jako analog ciała ludzkiego zastosował w 1932 roku Dufton (Tromp, 1963). Przyrząd skonstruowany przez niego nazywał się eupateostat.

Obecnie stosowane są głównie termometry kuliste, które służą do ewaluacji warunków mikroklimatycznych np. miejsc pracy. Nie oznacza to, że prace nad konstrukcją przyrządów do pomiarów biometeorologicznych zarzucono. Dotychczas stosowano dość często przyrządy będące analogami ciała człowieka (np. elipsoidy, walce; Błażejczyk i in., 1998) a przykładem może być przyrząd używany przez Ajzenštata do oceny intensywności ewaporacji w warunkach klimatów gorących. Przyrząd ten został z powodzeniem zastosowany przez Błażejczyka (1990, 2002) jako miernik odczuć cieplnych (MOC) do pomiarów temperatury odczuwalnej (T_c). Opis tego przyrządu znajduje się w rozdziale 6. Przy pomocy tego przyrządu przeprowadzono pomiary w wybranych typach użytkowania terenu we Wrocławiu a ich rezultaty przedstawiono w rozdziale 9.2.6.

Oprócz przyrządów opisanych powyżej, opracowano szereg innych instrumentów do pomiarów bioklimatycznych. Wszystkie, niestety, w niewielkim stopniu pozwalały obserwować złożone relacje między człowiekiem a otoczeniem. W latach czterdziestych XX wieku do badań nad wpływem środowiska atmosferycznego na organizm człowieka zastosowano po raz pierwszy manekiny termiczne - najwierniejsze analogi ciała człowieka.

Pierwszy manekin termiczny został skonstruowany przez Belding'a z rur i elementów metalowych a wmontowany weń system podgrzewający zapewniał regulowanie temperatury jego powierzchni (Belding, 1949). Obecnie manekiny stosowane w badaniach mają budowę modułową, tzn. podzieloną na poszczególne części ciała i wykonuje się je z tworzyw sztucznych. Niektóre modele składają się z 15 i więcej segmentów, co pozwala na szczegółowe analizy procesów termicznych zachodzących w nich i wokół nich. Dążenia do uzyskania najbardziej wiernego analogu człowieka doprowadziły do skonstruowania manekina „pocącego się” (Fan, Keighly, 1991; Meinander H., 1992; Fan, 2003) czy oddychającego (Melikov, 2003). W roku 2003 zastosowano do badań odczuć termicznych i strumieni wymiany energii zaopatrzone w specjalne czujniki pomiarowe termiczny manekin obserwacyjny (Lebbin i in., 2003). Mnogość stosowanych obecnie rodzajów manekinów wymagała standaryzacji celem uzyskiwania porównywalnych wyników badań. Obecnie dzięki Międzynarodowej Organizacji Standaryzacji (ISO) określono dokładne parametry, jakie muszą spełniać manekiny do poszczególnych rodzajów badań (np. ISO/TC92 WG17 - ocena parametrów odzieży; ISO/TC159 SC5 WG1 - ocena komfortu termicznego; Holmer, 1999; Soltyński, 2000).

Dostępność komputerów o potężnych mocach obliczeniowych pozwoliło na stworzenie cyfrowych modeli ciała człowieka (Murakami, i in., 1998; Fiala i in., 1999; Buxon i in., 2003), które można w dowolny sposób modyfikować, co pozwala na uzyskiwanie, niewielkim kosztem, informacji o zachowaniu się organizmu człowieka, o jego relacjach fizycznych z otoczeniem. Taki model może mieć praktycznie dowolne parametry wejściowe. Niestety ciągle brakuje informacji o danych wejściowych natury fizjologicznej do takich modeli a to znacznie utrudnia uzyskiwanie wyników w pełni odpowiadających rzeczywistym zachowaniom organizmu człowieka.

Manekiny jako analogi człowieka stosowane są w wielu badaniach: do oceny wpływu ruchów powietrza na człowieka (Brohus, Nielsen, 1996), analizy strumieni straty ciepła z ciała człowieka (Dozen, 1989; Ichihara i in. 1996; de Dear i in., 1997; Bjorn, 2000), analizy właściwości termicznych odzieży (Meinander H., 1992; Holmer, 1995), komfortu termicznego w pojazdach samochodowych (Kohri, Moschida, 2002; Lebbin i in., 2003). Manekin stosowany był również w Polsce w badaniach nad ilością promieniowania słonecznego krótkofalowego pochłanianego przez człowieka (Błażejczyk, 1998). Obecnie wyspecjalizowane laboratoria (np. Pracownia Obciążeń Termicznych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy) dysponują manekinami termalnymi, które wykorzystuje się np. do oceny właściwości termoizolacyjnych ubioru. Stosowanie manekinów jako analogów człowieka pozwala na prowadzenie badań w różnych warunkach środowiskowych a możliwość precyzyjnego określania parametrów wejściowych (temperatura powierzchni manekina, ilość ciepła „metabolicznego” dostarczanego do jego wnętrza) umożliwia uzyskiwanie porównywalnych rezultatów.

Badania przy pomocy różnego rodzaju urządzeń do pomiaru bioklimatu pozwoliło na opracowanie kompleksowych wskaźników biometeorologicznych. Już od dawna ludzie z własnych obserwacji wiedzieli, że nie tylko temperatura powietrza jest czynnikiem determinującym ich odczucia cieplne. Zauważono, że silny wiatr wzmacnia odczucie chłodu. Podobnie jest z wilgotnością powietrza, lecz jej wpływ na odczucia termiczne u człowieka jest ambiwalentny - przy niskiej temperaturze powietrza wysoka wilgotność potęguje doznanie chłodu a przy wysokiej temperaturze powietrza wzmacnia odczucie gorąca (odpowiada za odczucie parności). Prace badawcze prowadzone w wielu ośrodkach na całym świecie przyczyniły się do opracowania w ciągu ostatnich 150 lat ponad 100 mniej lub bardziej skomplikowanych wskaźników bioklimatycznych (Jendritzky i in., 2002). Szczegółowych informacji na ich temat dostarcza literatura zagraniczna (Houghten, Yagloglou, 1923; Missenard, 1959; Tromp, 1963; Gagge i in., 1971; Givoni, 1976; Madsen i in., 1984; Steadman, 1984; Gagge i in., 1986; Driscoll, 1992; Mayer, 1993; Nilsson i in., 1997; Hoeppe, 1999; de Dear i in., 2000; Parsons, 2003) oraz polska (Jankowiak, 1976; Dubaniewicz i in., 1988, 1989; Kozłowska-Szczęsna red., 1985, 1986, 1991, 1997, 2002, Krawczyk, 1991, 2000; Bogucki i in., 1999; Błażejczyk, 2002, 2004). W kolejnych rozdziałach zostaną omówione tylko wskaźniki wykorzystane w prezentowanej pracy.

Poszczególne elementy środowiska, które oddziałują na organizm człowieka pobudzają go do interakcji. W przypadku komponentów środowiska wpływających na zawartość energii cieplnej u człowieka oddziałują one na układ termoregulacyjny. Wynika to z faktu, że człowiek jest organizmem stałocieplnym (homoiotermem), dla którego warunkiem przeżycia jest utrzymywanie stałej (oczywiście z pewną tolerancją na odchylenia) temperatury wewnętrznej ciała. Pozwala to enzymom sterującym przemianami w organizmie na sprawne działanie. Optymalne dla grupy organizmów stałocieplnych byłoby przebywanie w warunkach termoneutralnych, lecz zazwyczaj nie jest to możliwe. W związku z tym wytworzyły się mechanizmy kontrolujące utrzymywanie w miarę stabilnej temperatury organizmowi. Najważniejsze z nich to:

- termoregulacja fizjologiczna,
- termoregulacja behawioralna.

Termoregulacja fizjologiczna polega na odpowiednim stymulowaniu procesów odpowiedzialnych za utrzymywanie stałej temperatury organizmu przez autonomiczny układ nerwowy, który jednocześnie gromadzi informacje o parametrach termicznych ciała za pomocą receptorów znajdujących się w pobliżu powierzchni skóry. W przypadku nadmiernego wychłodzenia może nastąpić bezdrżeniowa (spalanie brązowej tkanki tłuszczowej) i drżeniowa (skurcze mięśni szkieletowych) termogeneza lub izolacja termiczna spowodowana obkurczeniem się obwodowych naczyń krwionośnych w przypowierzchniowych warstwach skóry. W warunkach sprzyjających przegrzaniu następuje uaktywnienie gruczołów potowych, które zwiększają wydzielanie potu (Kaciuba-Uściłko, 1990). W przypadku termoregulacji behawioralnej mamy do czynienia z odruchowym ograniczaniem powierzchni ciała (np. przez podkurczenie nóg lub przytulenie się do osobnika sąsiadującego; Oke, 1987). Można również mówić o termoregulacji technicznej, która przejawia się w konstruowaniu odzieży o odpowiednich parametrach termoizolacyjnych, systemów grzewczych i klimatyzacyjnych.

Tak skomplikowany układ, jakim jest organizm człowieka reaguje na czynniki zewnętrzne adekwatnie do intensywności bodźca nań działającego. To skutecznie uniemożliwia skonstruowanie urządzenia pomiarowego, które wskazywałoby aktualne odczucie i reakcję organizmu na warunki zewnętrzne.

Współczesne badania biometeorologów i fizjologów pozwoliły na dokładne określenie ilości energii, jaką człowiek zyskuje i traci w określonych warunkach. Możliwe stało się to dzięki poznaniu głównych sposobów wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem. Źródłem ciepła dla organizmu człowieka są:

- metaboliczna produkcja ciepła (związana z płcią, wiekiem, wzrostem, masą ciała i aktywnością fizyczną),
- promieniowanie krótkofalowe (energia niesiona od Słońca) i długofalowe (promieniowanie emitowane przez podłoże, budynki),
- spożywane gorące posiłki i napoje.

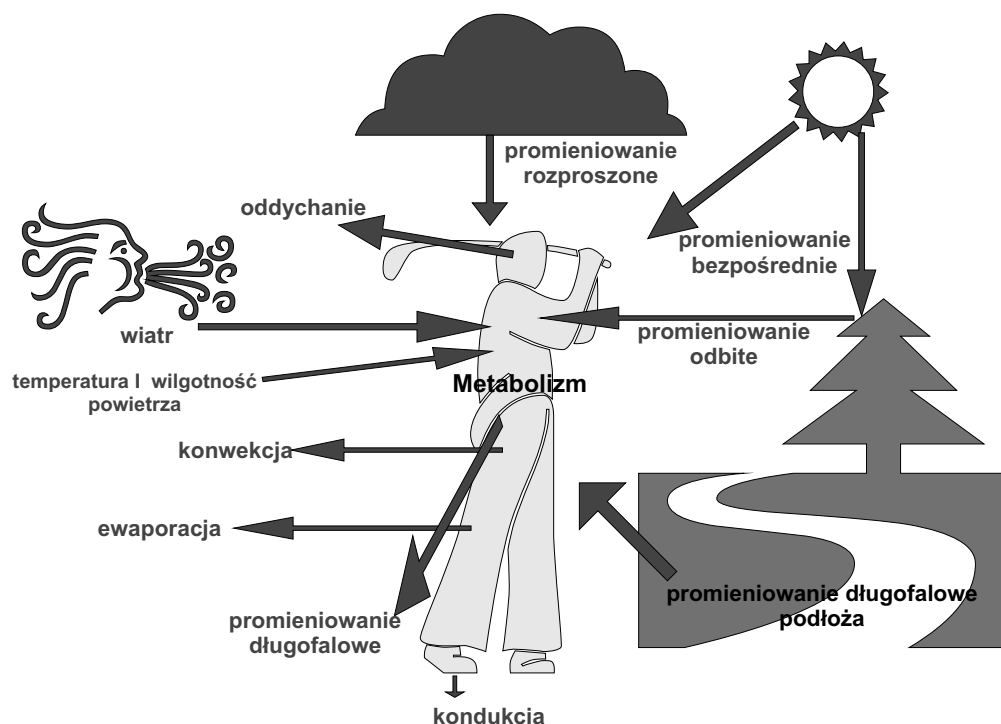
Natomiast energia jest tracona przez organizm człowieka w następujących procesach (ryc. 2):

- przez parowanie wody z powierzchni skóry czyli ewaporację,
- przez utratę ciepła jawnego w trakcie konwekcji, czyli unoszenia się ogrzanej przez ciało warstwy powietrza,
- przez przewodzenie czyli kondukcję,
- przez oddychanie czyli respirację,
- za pomocą promieniowania długofalowego.

Szczegółowe informacje na temat ilości energii traconej lub zyskiwanej w wymienionych powyżej procesach oraz o czynnikach je determinujących można znaleźć w obszernej literaturze (Gregorczyk, 1966; Cena, 1974; Hoeppe, 1982, 1984, 1993; Clark, Edholm, 1985; de Freitas, 1985; de Freitas, Ryken, 1989; Kryś, Brown, 1990; Błażejczyk, 1993, 2004; Kozłowska-Szczęsna i in., 1997; Bogucki i in., 1999).

Poznanie wszystkich elementów wpływających na kształtowanie się gospodarki cieplnej ciała człowieka umożliwiło opracowanie matematycznych formuł opisujących wszystkie zyski i straty ciepła u człowieka. Pierwsze kompleksowe modele wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem powstały w latach sześćdziesiątych XX wieku. Jako jeden z pierwszych zastosował je do badań bioklimatycznych Terjung (1966, 1970).

Ten sposób oceny potencjału biometeorologicznego środowiska okazał się narzędziem niezwykle precyzyjnym. W kolejnych latach wielu autorów prowadziło badania nad stworzeniem idealnego modelu wymiany ciepła, czego efektem jest szereg rozwiązań (tabela 1). Część z tych modeli ma jednak istotne ograniczenia - dotyczą np. tylko warunków panujących w pomieszczeniach. Niektórzy autorzy zakładają też, że parametry fizjologiczne organizmu człowieka są wartościami stałymi. Efektem tego jest uzyskanie wartości salda bilansu wymiany ciepła, które nie ma wymiaru fizjologicznego a jedynie może być traktowane jako wskaźnik bioklimatyczny. Tylko część z nich ma charakter w pełni uniwersalny - można je stosować zarówno do chwilowej oceny strumieni wymiany ciepła i salda (warunki niestacjonarne) i do oceny warunków bioklimatycznych w dłuższych okresach (np. doby; warunki stacjonarne). Istotny wkład w rozwój tych metod badań bioklimatycznych mają również polscy biometeorolodzy, którzy prowadzili badania w różnych strefach klimatycznych (Błażejczyk 1988, 1991; Kozłowska-Szczęsna 1988; Błażejczyk, Krawczyk 1991; Krawczyk, Błażejczyk 1991). Efektem wieloletnich badań prowadzonych przez Błażejczyka było opracowanie przez niego modelu MENEX (1993, 1994), który jest przez autora ciągle modernizowany



Ryc. 2. Podstawowe elementy relacji energetycznej między człowiekiem a środowiskiem

Fig. 2. Man-environment heat exchange diagram

Tabela 1. Autorzy i rok opracowania wybranych modeli wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (Błażejczyk 2004; Jendritzky, 2004)

Table 1. Authors and dates of publication selected man-environment heat exchange models (Błażejczyk 2004; Jendritzky, 2004)

Autorzy	Data	Nazwa
Marinov	1961	
Terjung	1966	
Fanger	1970	
Webb	1971	
Bligh, Johnson	1973	
Ajzenštat	1973	
Morgan i Baskett	1974	MANMO
Provolockaja	1975	
Budyko	1975	
Givoni	1976	
Krawczyk	1979	
Burt i in.	1982	HUMAN
Hoeppe	1984	MEMI
Steadman	1984	
de Freitas	1985	HEBIDEX
de Freitas	1985	STEBIDEX
Nielsen i in.	1988	
Hammer i in.	1988	
Holmér i in.	1988	IREQ
de Freitas, Rykien	1989	BIODEX
Jendritzky	1990	Klima-Michel-model
Błażejczyk	1994	MENEX
Horikoshi i in.	1995	
Pickup, de Dear	2000	
Bluestein, Oszczewski	2002	

a jego ostatnia wersja nazywa się MENEX_2002. Jego szczegółowe założenia były wielokrotnie prezentowane w czasopismach naukowych (Błażejczyk 1993, 1994, 2001a, 2001b, 2004), dlatego szczegółowy sposób obliczania poszczególnych elementów składowych modelu w niniejszym opracowaniu nie zostanie zaprezentowane. Danymi wejściowymi do modelu MENEX_2002 są informacje o warunkach meteorolo-

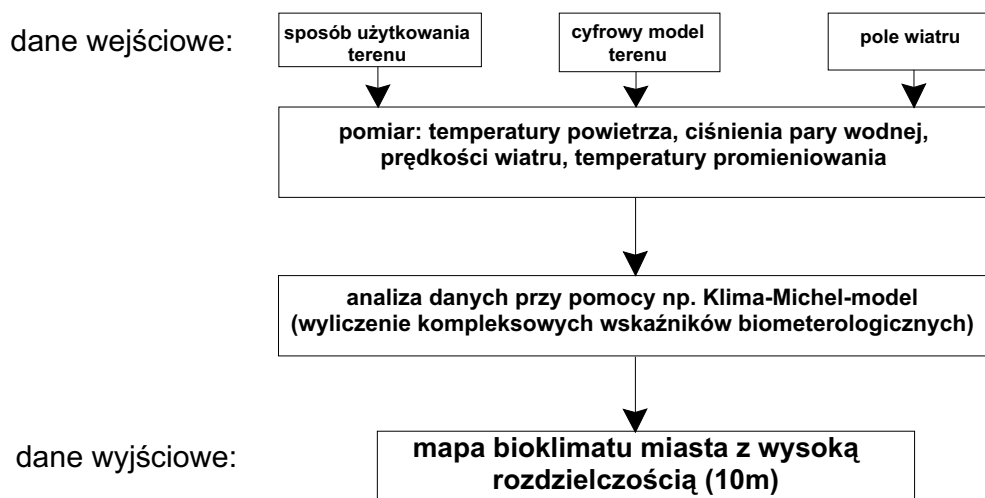
gicznych (temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie krótkofalowe, temperatura podłoża, prędkość wiatru), parametrach fizjologicznych organizmu (metaboliczna produkcja ciepła, temperatura skóry) i właściwościach termoizolacyjnych odzieży.

Obliczone wartości strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem pozwoliły na skonstruowanie kompleksowych wskaźników biometeorologicznych, które mają wymiar nie tylko fizyczny, lecz uwzględniają również reakcję organizmu na warunki, w jakich się znajduje. Takimi wskaźnikami są między innymi:

- dopuszczalny czas przebywania (MTE, w minutach; Błażejczyk, 1993),
- straty wody (SW, w g/godz.; Błażejczyk, 1993),
- wskaźnik stresu cieplnego (HSI, w %; Belding, Hatch, 1955),
- wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy, Błażejczyk, 2004),
- obciążenie cieplne (HL, bezwymiarowy; Błażejczyk, 2004),
- temperatura odczuwalna (STI, °C; Błażejczyk, 2004),
- fizjologiczna temperatura ekwiwalentna (PET, °C; Hoeppe, 1999),
- przewidywana średnia ocena (PMV, bezwymiarowy; Fanger, 1974),
- wskaźnik do oceny komfortu termicznego warunków zewnętrznych (OUT_SET*, °C; de Dear, Pickup, 2000).

Wymienione powyżej wskaźniki reprezentują tylko część wszystkich dostępnych obecnie w publikacjach naukowych. Jak nietrudno zauważyć ich mnogość może sprawiać pewien problem w badaniach bioklimatycznych - mianowicie uzyskuje się podobne rezultaty, lecz nie można ich porównać ze względu na pewne różnice w metodyce. W celu uniknięcia tego „szumu” wywołanego nadmiarem koncepcji wskaźników bioklimatycznych, Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologii powołało specjalną komisję do spraw opracowania Uniwersalnego Wskaźnika Komfortu Termicznego (UTCI - Universal Thermal Comfort Index). Dzięki takiemu uniwersalnemu rozwiązaniu możliwe stanie się zastosowanie metod biometeorologicznych w życiu codziennym. Jedną z cech takiego wskaźnika ma być uwzględnianie reakcji termofizjologicznych organizmu człowieka. Rezultatem końcowym będzie produkt trafiający do szerokiej rzeszy społeczeństwa np. w postaci map warunków biometeorologicznych opartych na takim wskaźniku.

Rozwinięte metody stosowane w GIS (Geograficznych Systemach Informacyjnych) pozwalają obecnie na analizowanie warunków bioklimatycznych w kontekście przestrzennym. To właśnie mapy z np. rozkładu natężenia stresu ciepła będą wkrótce źródłem informacji o mogących wystąpić niekorzystnych sytuacjach meteorologicznych. Połączenie informacji o wartościach elementów meteorologicznych czy hałasie (bodźce fizyczne), stężeniu zanieczyszczeń lub pyłków roślin (bodźce chemiczne i biologiczne), reakcji organizmu na nie (modele wymiany ciepła układu człowiek-otoczenie) i cyfrowego modelu terenu pozwoli na ujęcie problematyki biometeorologicznej w kompleksowy sposób (ryc. 3).



Ryc. 3. Model UBIKLIM do oceny warunków bioklimatycznych wybranego obszaru (Jendritzky i in., 2003)
Fig. 3. UBIKLIM Model used for biometeorological evaluation of environment (Jendritzky et al, 2003)

Problematyka przestrzennego rozkładu warunków biometeorologicznych znalazła się już w kręgu zainteresowania biometeorologów, w tym polskich. W opublikowanym opracowaniu dotyczącym wpływu cyrkulacji atmosferycznej na warunki biometeorologiczne aglomeracji warszawskiej Błażejczyk (2002) opracował w oparciu o metody GIS szereg map, na których przedstawiono rozkłady przestrzenne różnych wskaźników biometeorologicznych.

Przykłady opracowań dotyczących oceny warunków biometeorologicznych na obszarach silnie zurbanizowanych dla aglomeracji Berlina dostępne są na stronach internetowych (www.berlin.de).

Przytoczona powyżej analiza rozwoju badań biometeorologicznych świadczy o żywym zainteresowaniu tą problematyką wśród badaczy. Efektem ich poczynąń jest istnienie całego szeregu metod możliwych do zastosowania. Ciągłe brakuje jednego, uniwersalnego narzędzia, które posłuży do oceny warunków bioklimatycznych jakie panują w różnych porach roku czy strefach klimatycznych. Połączenie go z metodami modelowania stosowanymi w GIS-ie powinno przynieść wiele korzyści, takich jak np: prognozowanie potencjalnych zagrożeń dla organizmu człowieka wynikających z przegrzania lub wychłodzenia.

4. Opis terenu badań

Wrocław został założony na obszarze, gdzie do Odry uchodzą jej cztery dopływy: Widawa, Oława, Ślęza i Bystrzyca a pierwsze ślady świadczące o zamieszkiwaniu tutaj ludzi pochodzą sprzed 300 000 lat. Badania archeologiczne potwierdzają ciągle osadnictwo na terenach dzisiejszej metropolii od epoki neolitu po czasy historyczne (Kulak, 2001).

Aglomeracja Wrocławia (φ 51°N, λ 17°E) zlokalizowana jest w dolinie Odry, w środku Niziny Śląskiej na Równinie Wrocławskiej, która przecięta jest bruzdą Pradoliny Wrocławsko-Magdeburskiej o orientacji równoleżnikowej. Obszar miasta w dużej części pokrywa się z węzłem hydrograficznym tworzonym w tym miejscu przez Odrę i jej dopływy wymienione powyżej, lecz oprócz nich znajduje się tutaj 12 innych mniejszych strug i potoków. Powierzchnia Wrocławia częściowo pokrywa się z następującymi mezoregionami: z Równiną Kącką, Równiną Oleśnicką i Doliną Odry (Walczak, 1970; Kondracki, 2000). Poszczególne części miasta, które leżą na terenie tych mezoregionów zostały wydzielone jako dodatkowe mikroregiony. Pierwszym z nich jest mikroregion miejski Doliny Odry w skład, którego wchodzi Śródmieście i Stare Miasto. Kolejnym mikroregionem wydzielanym w obrębie Wrocławia jest jego prawobrzeżna część, która stanowi fragment Równiny Oleśnickiej a obejmuje: północne i północno-wschodnie dzielnice wraz z Psim Polem i osiedlami nad Widawą. Ostatnim wydzielonym mikroregionem jest lewobrzeżny fragment miasta obejmujący dzielnice Fabryczną i Krzyki (Walczak, 1970, Czerwiński, 2001b).

Nizina Śląska na obszarze, której zlokalizowana jest aglomeracja Wrocławia charakteryzuje się krajobrazem ukształtowanej w czwartorzędzie równiny moreny dennej. Rozcięta jest ona przez Pradolinę Wrocławsko-Magdeburską na głębokość około 15 metrów. Najniżej położony punkt we Wrocławiu jest zlokalizowany w dolinie Odry (Janówek; 107m n.p.m.) a najwyżej znajduje się fragment Lasu Mokrzańskiego (148m n.p.m.) czyli różnicowanie hipsometryczne wynosi 41m.

Płynąca przez terytorium Wrocławia Odra wraz ze swoimi dopływami i licznymi kanałami tworzy sieć hydrograficzną o łącznej długości 107,4 km (włączając w to Widawę, Oławę, Ślęzę i Bystrzycę; Czerwiński, 2002). Na terenie miasta znaleźć można również szereg mniejszych strug, wody stojące (np. staw przy ul. B. Prusa i w Ogrodzie Botanicznym) a charakterystyczną cechą krajobrazu miasta jest Fosa Miejska. Tak złożona sieć hydrograficzna wymagała regulacji w celu zapobiegania niekontrolowanym wezbraniom. W tym celu znacznie zmodyfikowano zarówno kształt koryta rzeki jak i jego położenie. Ponadto wybudowano szereg śluz, jazów i innych budowli hydrotechnicznych, które wspólnie tworzą Wrocławski Węzeł Wodny a jego integralnym fragmentem jest znajdujący się w obrębie miasta Śródmiejski Węzeł Wodny (Januszewski, 2001a, 2001b).

Cechą charakterystyczną obszarów silnie zurbanizowanych jest znaczna intensywność antropopresji wobec środowiska przyrodniczego. Jego cechami jest modyfikowanie powierzchni tworzących terytorium miasta pod kątem użyteczności z punktu widzenia gospodarowania człowiekiem. Długotrwałe osadnictwo doprowadziło do znacznych przekształceń wspomnianych walorów środowiska przyrodniczego. Rozwój zabudowy mieszkaniowej, infrastruktury technicznej (w tym regulacja rzeki i budowa dróg) i intensywna gospodarka rolnicza doprowadziło do powstania zupełnie nowego jakościowo środowiska. Ocenia się, że już w latach 60-tych ubiegłego wieku 70% gatunków flory było gatunkami obcymi dla tego regionu (Czerwiński, 2001b).

Pomimo intensywnego rozwoju zabudowy miejskiej i całej infrastruktury niezbędnej do funkcjonowania miasta nie zapominano we Wrocławiu o konieczności zachowania obszarów zielonych - obecnie zwanych zielenią miejską. Już w I połowie XVIII wieku zainicjowane zostało tworzenie alei spacerowych a rozpoczęcie

Tabela 2. Struktura użytkowania terenu we Wrocławiu (Szymanowski, 2004)
Table 2. Types of land-use in Wrocław (Szymanowski, 2004)

Rodzaj użytkowania terenu	Powierzchnia	
	km ²	%
Zabudowa mieszkaniowa	64,1	21,9
w tym:		
zabudowa zwarta, śródmiejska, o wysokości do 5 kondygnacji	6,4	2,2
zabudowa luźna, o wysokości 5-11 kondygnacji	5,0	1,7
zabudowa luźna, o wysokości do 5 kondygnacji	7,9	2,7
zabudowa niska (do 3 kondygnacji) o dużej intensywności	7,6	2,6
zabudowa niska (do 3 kondygnacji) o małej intensywności	36,9	12,6
Tereny o charakterze przemysłowym	22,3	7,6
Tereny o charakterze usługowym (centra handlowe)	0,3	0,1
Tereny komunikacyjne	5,3	1,8
w tym:		
tereny kolejowe	4,7	1,6
parkingi	0,6	0,2
Tereny zielone	107,1	36,6
w tym:		
lasy	23,4	8,0
parki, cmentarze	9,1	3,1
ogrody działkowe	18,7	6,4
zieleń niska (łąki, pastwiska, tereny wodonośne i irygacyjne)	55,9	19,1
Obszary użytkowane rolniczo	84,6	28,9
Wody powierzchniowe	9,1	3,1

tworzenia od roku 1813 Promenady Staromiejskiej (Bińkowska, 2001) było usankcjonowaniem zieleni miejskiej jako nieodłącznego elementu urbanistycznego. W latach późniejszych prowadzono intensywne zadrzewianie głównych ulic miasta i tras wylotowych, zamieniano place w skwery. Efektem tych poczynań jest istnienie obecnie 44 parków, których łączna powierzchnia wynosi 506 ha (Bińkowska, 2001). Rozwój powierzchni zielonych jest obecnie realizowany przez Urząd Miejski w ramach m.in. projektów „Urządzanie Wnętrz Międzyblokowych” czy „Zieleni Rozproszonej”.

Powierzchnia zajmowana przez miasto Wrocław w ciągu ostatnich dwustu lat wzrosła prawie piętnastokrotnie - z 20,5km² w 1808 roku do 292,8km² obecnie (ostatnie poszerzenie granic administracyjnych miasta nastąpiło w roku 1973). Tak znaczny rozwój miasta rozpoczął się od roku 1807, kiedy to zburzono mury Twierdzy Wrocław. Napływ ludzi poszukujących źródła utrzymania wymusił kilkakrotne poszerzanie granic miasta (m.in. w 1904, 1911 i 1928) przez włączanie wsi kmiecych. Wówczas na północ, północny-wschód i zachód od Śródmieścia zaczęły powstawać kilkukondygnacyjne budynki czynszowe dla robotników, które cechowały się brakiem zieleni miejskiej. W późniejszym okresie rozpoczęto w południowej części miasta budowę kamienic czynszowych przeznaczonych dla urzędników. Wówczas utworzone zostały również dzielnice willowe w części południowej i zachodniej. Cechą charakteryzującą obszar Wrocławia jest brak ciągłości zabudowy, lecz tworzy ona układ wyspowy (Miszewska, 1979). Działania wojenne prowadzone w trakcie ofensywy radzieckiej w 1945 roku doprowadziły do zupełnego zniszczenia ponad 2/3 tkanki mieszkaniowej. Napływ ludności wiejskiej do miasta wywołał gwałtowny popyt na mieszkania, czemu miała sprostać rozwijana w latach 70-tych technologia budowy 5-11 kondygnacyjnych bloków z wielkiej płyty. W ostatnim dwudziestolecu ubiegłego wieku nastąpił intensywny wzrost niskiej zabudowy złożonej z domów wolnostojących, co jest szczególnie widoczne w południowej części miasta. Obecnie Wrocław liczy sobie ok. 640 tys. mieszkańców.

Najbardziej zintensyfikowana zabudowa znajduje się w centrum miasta (ryc. 4). Stanowią ją kilkukondygnacyjne (do 5 pięter) budynki najczęściej z wypełnieniami plombowymi a pokrywa ona ok. 2,2% powierzchni całego miasta. Poza obszarem ciągłej, zwartej zabudowy śródmiejskiej powstały osiedla z wysokimi blokami mieszkalnymi (ryc. 5), które stanowią około 1,7% powierzchni miasta. Znaczny udział w ogólnej powierzchni terenów zabudowanych mają osiedla z niewysokimi domami wolnostojącymi, który wynosi 12,6% obszaru Wrocławia. Wciąż jednak zieleń niska (np. łąki; ryc. 6) stanowi prawie 20% powierzchni Wrocławia. Rozmieszczenie poszczególnych typów użytkowania terenu zaprezentowano na ryc. 7.



Ryc. 4. Zwarta zabudowa śródmiejska w centrum miasta (okolice stacji T)

Fig. 4. Densely built-up area of city centre - localization of Automatic Weather Station (station T)



Ryc. 5. Osiedle wysokich bloków mieszkalnych (w pobliżu stacji O)

Fig. 5. Large housing estates - localization of Automatic Weather Station (station O)

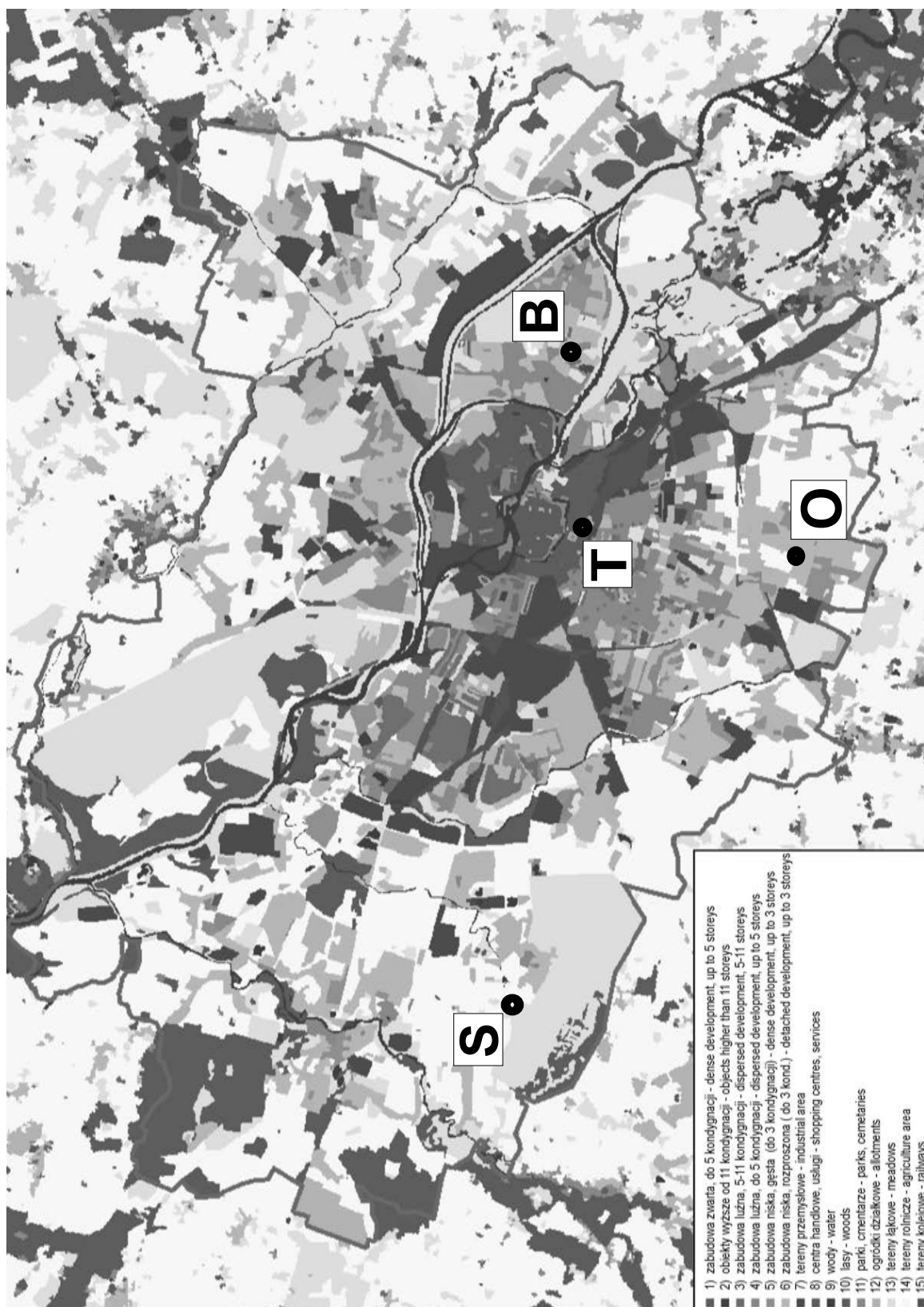


Ryc. 6. Obszar podmiejski sąsiadujący z użytkami rolniczymi (stacja S)

Fig. 6. Rural, non-built-up area - localization of Automatic Weather Station (station S)

W ostatnich kilku latach zauważa się stopniowy spadek liczby mieszkańców największych miast w Polsce (w tym Wrocławia), lecz jednocześnie istnieje duże zapotrzebowanie na nowe mieszkania. Prowadzi to do rozwoju tkanki mieszkaniowej w niezagospodarowanych dotychczas częściach miasta, co powinno zostać wykorzystane do planowego rozwoju architektoniczno-urbanistycznego w zgodzie z wymogami, które zapewnią komfortowe warunki do życia. Należy przy tym uwzględnić postulaty formułowane przez naukowców (Lewińska, 2000):

- wokół zabudowy, która już istnieje nie należy tworzyć nowych zespołów zabudowy,
- wprowadzanie nowych elementów zabudowy i zieleni powinno być zoptymalizowane pod względem przepływu powietrza (intensyfikacja przewietrzania i ograniczanie hiperwentylacji),
- należy szczególnie naciskać na rozwój zabudowy typu jednorodzinnej i dopuszczać luźną zabudowę osiedlową z elementami zieleni niskiej i średniej.



Ryc. 7. Cyfrowy model typów użytkowania terenu we Wrocławiu wraz z rozmieszczeniem automatycznych stacji meteorologicznych (S-Strachowice, B-Biskupin, T-ul. Teatralna, O-ul. Orzechowa; Szymanowski, 2004)

Fig. 7. Types of land-use in Wrocław and localizations of Automatic Weather Stations used in presented paper (S - rural area, B - residential estates, T - city centre, O - blocks of flats; Szymanowski, 2004)

5. Materiał źródłowy i metody opracowania

Przedstawiona w niniejszej pracy analiza warunków bioklimatycznych Wrocławia opiera się na danych meteorologicznych gromadzonych w Obserwatorium Meteorologicznym Zakładu Meteorologii i Klimatologii Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego. Jest ono zlokalizowane we wschodnim sektorze miasta, który do końca lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku zdominowany był przez zabudowę złożoną z niewysokich domów wolnostojących z dużym udziałem zieleni. W odległości od 100 do 300 metrów w kierunku wschodnim i południowym zostały wybudowane wielorodzinne jedenastokondygnacyjne bloki mieszkalne, lecz ciągle obszar lokalizacji Obserwatorium cechuje się wysokim udziałem powierzchni z zielenią miejską.

Dane meteorologiczne na podstawie, których opracowano warunki klimatu odczuwalnego pochodzą z lat 1981-2000 i obejmują następujące elementy meteorologiczne:

- temperaturę powietrza (t , °C),
- ciśnienie pary wodnej (e , hPa),
- ciśnienie atmosferyczne (P , hPa),
- prędkość wiatru (v , m/s),
- zachmurzenie (N , %),
- wartość opadu atmosferycznego (R , mm),
- wysokość pokrywy śnieżnej (SC , cm).

Pomiary i obserwacje meteorologiczne wykonywane były w trzech głównych terminach obserwacyjnych: 07, 13 i 19 CET a dane z godziny 01 CET zostały odczytane z przyrządów rejestrujących. Uzyskane w ten sposób informacje o elementach meteorologicznych zostały wykorzystane do obliczenia średnich wartości dwudziestoletnich (dla każdego dnia w roku, miesięcy i sezonów). W przypadku prędkości wiatru należało sprowadzić jego wartości do poziomu 2 m n.p.g., ponieważ anemometr w Obserwatorium zainstalowany jest na wysokości ok. 16m n.p.g., co uczyniono stosując wzór (Liopo, Cicenکو, 1971):

$$v_2 = v_1 * [h_2 / h_1]^{0,2} \quad (1)$$

Powyższe wartości elementów meteorologicznych posłużyły do oceny klimatu odczuwalnego w świetle kryterium: dynamicznego, radiacyjnego, termicznego i higrycznego.

Ocena bodźcowości zmian wartości wybranych elementów meteorologicznych z terminu na termin i z dnia na dzień obejmuje: temperaturę powietrza, ciśnienie atmosferyczne, zawartość tlenu cząsteczkowego w powietrzu.

Skrajnie niekorzystne warunki bioklimatyczne obserwowane we Wrocławiu określono na podstawie wartości minimalnych i maksymalnych.

Analizę warunków bioklimatycznych we Wrocławiu przedstawiono na podstawie kompleksowych wskaźników biometeorologicznych, takich jak:

- temperatura ekwiwalentna (T_e , °C),
- temperatura efektywna (T_E , °C),
- wielkość ochładzająca powietrza (H , W/m²),
- przewidywana termoizolacyjność odzieży (I_{clp} , clo),
- temperatura odczuwalna (STI , °C),
- wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI , W/m²),
- wskaźnik stresu cieplnego (HSI , %),
- składowe bilansu energetycznego układu człowiek-środowisko.

Temperatura ekwiwalentna jest wskaźnikiem uwzględniającym łączny wpływ temperatury powietrza i ciśnienie pary wodnej a skonstruowana przez Leitsnera skala odczuć cieplnych pozwala dokonywać klasyfikacji wyliczonych wartości. Istnieje również nowa skala odczuć (Baranowska i in., 1986), lecz nie zdecydowano się na jej użycie z kilku powodów (m.in. dlatego, że jest rzadko stosowana w opracowaniach bioklimatycznych i to uniemożliwia ewentualne porównania).

Temperatura efektywna również uwzględnia łączny wpływ temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru. Wzory zostały opracowane przez F.C. Houghten'a i C.P. Yaglou w 1924 roku, które potem zmodyfikował Missenard. Skala opracowana przez Michajłowa umożliwia przypisanie określonym wartościom odpowiednie odczucia termiczne.

Wielkość ochładzająca powietrza nazywana niekiedy ochładzaniem biologicznym reprezentuje wielkość traconego ciepła z powierzchni zbiorniczka katatermometru. Dzięki pracom prowadzonym przez Hilla możliwe jest wyliczanie H ze wzorów.

Przewidywana termoizolacyjność odzieży to wskaźnik zaproponowany przez Burtona i Edholma (1955). Wskaźnik ten jest szczególnie przydatny do określania warunków biometeorologicznych panujących w niskiej temperaturze powietrza.

Temperatura odczuwalna jest stosunkowo nowym wskaźnikiem bioklimatycznym zaproponowanym przez Błażejczyka, do której wyliczenia niezbędne jest rozwiązanie równania bilansu energetycznego organizmu człowieka.

Wskaźnik ochładzania wiatrem uwzględnia dwa elementy meteorologiczne: temperaturę powietrza i prędkość wiatru. Został opracowany przez Siple'a i Passel'a w roku 1945, którzy prowadzili badania na Antarktydzie przy pomocy miedzianego cylindra wypełnionego ciepłą wodą. Z tego powodu wskaźnik ten nadaje się do oceny bioklimatycznej chłodnej połowy roku. W niniejszym opracowaniu zastosowano do obliczeń WCI formułę zgodną z ISO TR 11079 (stosowaną w programie BioKlima 2.2).

Wskaźnik stresu cieplnego został opracowany przez Belding'a i Hatch'a w 1955 roku a wyraża iloraz strat ciepła z organizmu drogą ewaporacyjną, jaka w danych warunkach meteorologicznych występuje do maksymalnej ilości ciepła, jaka mogłaby zostać oddana drogą ewaporacyjną w tych warunkach. Wartości strat ciepła przez parowanie potu z powierzchni skóry ciała człowieka jest wyliczane z modelu MENEX_2002.

Składowe bilansu energetycznego układu człowiek-środowisko dostarczają szczegółowych informacji o relacji energetycznej między człowiekiem a środowiskiem go otaczającym. Bilans energetyczny można przedstawić w postaci wzoru:

$$M+mC+mE+mR+mL+mRes=mS \quad (2)$$

gdzie:

- M – metaboliczna produkcja ciepła przez organizm człowieka, uzależniona od wieku, płci, wzrostu, masy ciała i stopnia aktywności fizycznej,
- mC – turbulencyjna strata ciepła jawnego z powierzchni organizmu,
- mE – ewaporacyjna strata ciepła w wyniku parowania potu z powierzchni skóry,
- mR – strumień słonecznego promieniowania krótkofalowego pochłoniętego przez ciało człowieka,
- mL – bilans promieniowania w zakresie długofalowym,
- mRes – jest strumieniem wymiany ciepła organizmu z otoczeniem w wyniku oddychania,
- mS – saldo wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem; jego wartość w warunkach stacjonarnych musi wynosić w przybliżeniu zero.

Powyższe wskaźniki bioklimatyczne wyliczono na podstawie danych meteorologicznych zarejestrowanych i zaobserwowanych w Obserwatorium Meteorologicznym Zakładu Meteorologii i Klimatologii w czasie obserwacji południowej (godzina 13 czasu CET). Zostały one scharakteryzowane na podstawie przebiegów ich średnich, minimalnych i maksymalnych wartości. Dzięki opracowanym skalom odczuć cieplnych przypisujących konkretne wartości poszczególnym stanom możliwe było przeanalizowanie ich częstości pojawiania się w przedziałach miesięcznych oraz w ciągu całego roku.

Zgromadzone dane zostały wykorzystane do opracowania biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji typów pogody wg klasyfikacji Błażejczyka. Na podstawie typów pogody wydzielonych w badanym okresie opracowano kalendarz ich pojawiania się w ciągu całego roku oraz dokonano oceny warunków pogodowych do uprawiania określonych form rekreacji. Uproszczony schemat klasyfikacji zamieszczono w tab. 3.

Tabela 3. Uproszczony schemat biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody według K. Błażejczyka (2004)
 Table 3. Scheme of biothermal-meteorological weather's classification by K. Błażejczyk (2004)

	Typ pogody	Podtyp pogody			Klasa pogody		
	Odczucia cieplne (STI; °C)	Bodźce radiacyjne (R'; W*m ⁻²)	Stres fizjologiczny (PhS)	Intensywność parności (HSI; %)	Dobowe kontrasty termiczne (dT; 0C)	Opad atmosferyczny (RR; mm)	Pokrywa śnieżna (SC; cm)
Klasy	<-38 – pog. b. zimna (-3) >= -38 lecz <-0,5 – pog. zimna (-2) >= -0,5 lecz <22,5 – pog. chłodna (-1) >=22,5 lecz <32 – pog. komfortowa (0) >=32 lecz <46 – pog. ciepła (1) >=46 lecz <55 – pog. gorąca (2) >=55 – pog. b. gorąca (3)	<75 – słabe bodźce (1) >=75 lecz <150 – umiarkowane bodźce (2) >=150 – silne bodźce (3)	warunki termoneutralne 0(T) stres zimna 1(C) stres gorąca 2(H)	brak parności 0 umiarkowanie parno 1 duża parność 2	<8°C – kontrast term. mały (0) >8°C – kontrast term. duży (1)	<1 mm – dzień bezopadowy (0) >=1mm – dzień z opadem (1)	<10 cm – brak pokrywy śnieżnej (0) >=10cm – dzień śnieżny (1)
Kolejność w zapisie cyfrowym	1	2	3	4	5	6	7

Analiza zróżnicowania sezonowego i przestrzennego warunków biometeorologicznych na obszarze miasta, opiera się na wynikach pomiarów przeprowadzonych w okresie od 07-04-2001 do 31-07-2004 roku za pomocą automatycznych stacji meteorologicznych (AWS; ryc. 8) zlokalizowanych w czterech typach użytkowania terenu (zabudowy; tabela 4):

- w centrum miasta (T),
- na osiedlu z wysoką zabudową typu blokowego (O),
- w dzielnicy z niską, luźną zabudową z dużym udziałem zieleni miejskiej (B),
- na obszarze podmiejskim, niezabudowanym, sąsiadującym z terenami użytkowymi rolniczo (S).



Ryc. 8. Automatyczna stacja meteorologiczna wykorzystana do zgromadzenia informacji o wybranych elementach meteorologicznych
 Fig. 8. The Automatic Weather Station used for collecting meteorological data in the city of Wrocław climate researches

Tabela 4. Lokalizacja automatycznych stacji pomiarowych tworzących system pomiarów meteorologicznych we Wrocławiu
 Table 4. Localization of Automatic Weather Stations in Wrocław - elements of urban climate measurement system

Symbol stacji	Lokalizacja Osiedle/Ulica	Typ powierzchni użytkowej	Wysokość n.p.m. w metrach	Odległość (km)/ kierunek od centrum
T	Stare Miasto ul. Teatralna	zwarta zabudowa śródmiejska do 5 kondygnacji	115	-
O	Gaj ul. Orzechowa	luźna zabudowa blokowa o 5-11 kondygnacjach	129	3,5/S
B	Biskupin ul. Kosiby	niska, luźna zabudowa 1-2 kondygnacyjna, z dużym udziałem zieleni	116	4,0/E
S	Strachowice ul. Graniczna	obszar podmiejski, sąsiedztwo łąk i terenów rolniczych	122	12/W

Ze względu na różne typy zabudowy, w których zlokalizowane są stacje meteorologiczne miejsca te cechują się niejednakowym i zróżnicowanym stopniem zasłonięcia horyzontu. Stacja mieszcząca się w centrum miasta (T), wśród zwartej zabudowy ma najbardziej ograniczony horyzont: zasłonięcie osiąga 10-82° a najmniejsze jest ono w kierunku NW do W i SW do W. Zlokalizowana na osiedlu z wysoką, 11-kondygnacyjną zabudową stacja meteorologiczna (O) charakteryzuje się dość niewielkim zasłonięciem horyzontu, które waha się w przedziale 2-19° a najmniejsze jest w sektorze S do W. Znajdująca się na osiedlu z dość luźną, willową zabudową stacja automatyczna (B) posiada horyzont ograniczony we wszystkich kierunkach w zakresie od 8 do 25° - najmniej w kierunkach S do SSW a najbardziej w kierunkach WNW do N. Najmniej horyzont przesłonięty jest na stacji podmiejskiej (S) – najwyżej do wysokości 1-10° (przez pojedyncze budynki) najbardziej w kierunku NNE, SSE do SW i NW.

Każda ze stacji automatycznych wykonuje pomiary co minutę i zmierzone wartości rejestruje w pamięci loggera firmy Campbell Scientific Inc. (model CR10X), a następnie raz na dobę transmituje je przy pomocy modemu GSM do komputera zlokalizowanego w Obserwatorium Meteorologicznym ZMiK, gdzie dane są wstępnie weryfikowane i wprowadzane do bazy danych (Drzeniecka i in., 2003). Automatyczne stacje pomiarowe są skonfigurowane z następujących czujników:

- Rotronic MP100A w osłonie URS-1 – pomiar temperatury i wilgotności względnej powietrza,
- uniwersalny anemometr firmy Young model 05103 Wind Monitor – pomiar prędkości i kierunku wiatru,
- pyranometr Skye Instruments SP1110 – promieniowanie słoneczne całkowite.

Dzięki autonomicznemu zasilaniu z akumulatora bezobsługowego doładowywanego przy pomocy ogniwa fotowoltaicznego zapewniona jest ciągłość pracy stacji automatycznych. Niestety, pomimo stosowania sprawdzonych i wysokiej klasy urządzeń elektronicznych możliwe są przerwy w pomiarach automatycznych. Z tego też powodu do niniejszej analizy zostały wybrane tylko okresy synchronicznej pracy wszystkich czterech stacji pomiarowych.

Zgromadzone w ten sposób dane meteorologiczne posłużyły do obliczenia następujących kompleksowych wskaźników bioklimatycznych:

- temperatury ekwiwalentnej (T_e , °C),
- wartości ochładzającej powietrza ($H, W/m^2$),
- wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy),
- wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %),
- składowych bilansu energetycznego układu człowiek-środowisko.

Uzyskane w ten sposób informacje o wartościach poszczególnych wskaźników bioklimatycznych zostały wprowadzone do bazy danych. W pracy zaprezentowano ich wartości średnie, minimalne i maksymalne w ciągu dziennej i nocnej pory doby oraz w ciągu całej doby dla poszczególnych miesięcy. Ponadto przeprowadzo-

no analizę częstości pojawiania się poszczególnych stopni odczuć termicznych w badanych typach zabudowy. Ponadto do scharakteryzowania wpływu czynników cyrkulacyjnych na kształtowanie się warunków bioklimatycznych w wybranych typach zabudowy, posłużono się kalendarzem typów cyrkulacji w latach 2001-2004 opracowanym przez Niedźwiedzia (2005). Został o zmodyfikowany tak, aby opisywał procesy cyrkulacyjne w obszarze Dolnego Śląska (Szymanowski, 2004).

Większości obliczeń dokonano stosując darmowy program BioKlima 2.2 opracowany przez Błażejczyka. W programie tym do wyliczeń wartości składowych bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem wykorzystuje się model MENEX_2002.

Analiza warunków biotermicznych we Wrocławiu została przeprowadzona na podstawie eksperymentalnych danych pomiarowych uzyskanych w okresie od 01-11-2003 do 31-10-2004. Wówczas automatyczne stacje pomiarowe T, O i S zostały wyposażone w mierniki odczuć cieplnych (MOC) mierzące temperaturę odczuwalną (T_c , °C). Przyrząd ten to walec o wysokości 110mm, średnicy 80mm pomalowany na kolor o albedo zbliżonym do powierzchni ciała człowieka, w którego geometrycznym centrum znajduje się termometr. W tym przypadku użyto termometrów Pt100 o niewielkiej bezwładności termicznej. Miernik odczuć cieplnych został po raz pierwszy zaproponowany i użyty jako przyrząd do pomiarów biometeorologicznych przez Błażejczyka (1990, 2002). Pierwotnie stosował go jako prosty analog ciała człowieka B.A. Ajzenstat (1973) do wyznaczania strat ciepła na parowanie. Dzięki zaproponowanej przez Błażejczyka skali odczuć cieplnych poszczególnym wartościom T_c można przypisać odpowiednie kategorie oddziaływania na organizm człowieka.

Przestrzenne rozkłady warunków bioklimatycznych na terenie Wrocławia, zostały wykonane na podstawie pomiarów patrolowych mobilną stacją meteorologiczną używaną od wielu lat w badaniach klimatu Wrocławia (Chudzia, Ropuszyński, 1998; Drzeniecka i in., 2003; Szymanowski, 2004). Zestaw składa się z: dwóch termometrów (PT100) - jednego suchego, drugiego zwilżonego, umieszczonych na wysokości 0,5m n.p.g., i 2,0m n.p.g. oraz automatycznego rejestratora.

Czujniki zamontowane są w specjalnych osłonach radiacyjnych z przodu pojazdu. Konstrukcja aparatury wraz z osłonami termometrów spełniają równocześnie funkcję systemu aspiracyjnego, co pozwala na wymuszony, o stałej prędkości przepływ powietrza wokół termometrów. W trakcie pomiarów patrolowych przejazd odbywał się z prędkością nie większą niż 20 km/h. Urządzenia rejestrujące zapisywały pomiar z rozdzielczością czasową równą 5s (w czasie przejazdu z dnia 23.03.2003) i 1s (w czasie przejazdu z dnia 01.04.2004). Pomiarzy przeprowadzane były w czasie pogody antycyklonalnej, bezchmurnej w godzinach południowych.

Rozwiązanie równań opisujących model wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem, oprócz danych meteorologicznych, wymaga wprowadzenia informacji o niektórych wartościach fizjologicznych człowieka. Z powodu braku takich informacji zastosowano zalecane przez Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologiczne założenia dotyczące parametrów fizjologicznych, jak np.:

- płeć: mężczyzna,
- prędkość poruszania się: 1,1 m/s,
- temperatura skóry: obliczana na podstawie aktualnych wartości elementów meteorologicznych,
- metaboliczna produkcja ciepła: 135W/m², co odpowiada człowiekowi poruszającemu się z w/w prędkością,
- termoizolacyjność odzieży: obliczana na podstawie aktualnych wartości elementów meteorologicznych,
- albedo powierzchni ciała człowieka: 31%.

Ponadto do obliczeń modelowych wymagana jest informacja o temperaturze podłoża i jego albedo. Pierwsza wartość liczona jest na podstawie temperatury powietrza, a drugą przyjmuje się za stałą i wynoszącą ok. 22%. Istotną wartością wejściową (którą należy podać do obliczeń) jest informacja o wysokości Słońca nad horyzontem.

Wszystkie powyższe założenia są na stałe zaimplementowane do programu BioKlima® 2.2.

6. Klimat odczuwalny Wrocławia

Docierające do organizmu człowieka zmiany zachodzące w otaczającym go środowisku (w tym przypadku jego składniki abiotyczne) określane mianem bodźców mają charakter ciągły i są czynnikiem, który podlega stałej analizie przez autonomiczny układ nerwowy organizmu ludzkiego. To właśnie tutaj podejmowane są reakcje mające na celu zachowanie homeostazy organizmowi, co odbywa się po części poza świadomością człowieka, lecz ma bezdyskusyjny wpływ na samopoczucie człowieka.

Klimat Wrocławia był przedmiotem licznych opracowań przeprowadzonych w latach wcześniejszych (Dubicka, 1991, 1996; Pyka, 1991; Dubicka, Pyka, 2001; Dubicki, Dubicka, Szymanowski, 2002; Szymanowski, 2004). W opracowanej przez Kozłowską-Szczęsną (1988, 1991) regionalizacji warunków bioklimatycznych Polski, Wrocław zlokalizowany jest w regionie IV czyli Centralnym.

6.1. Ciśnienie atmosferyczne i zawartość tlenu

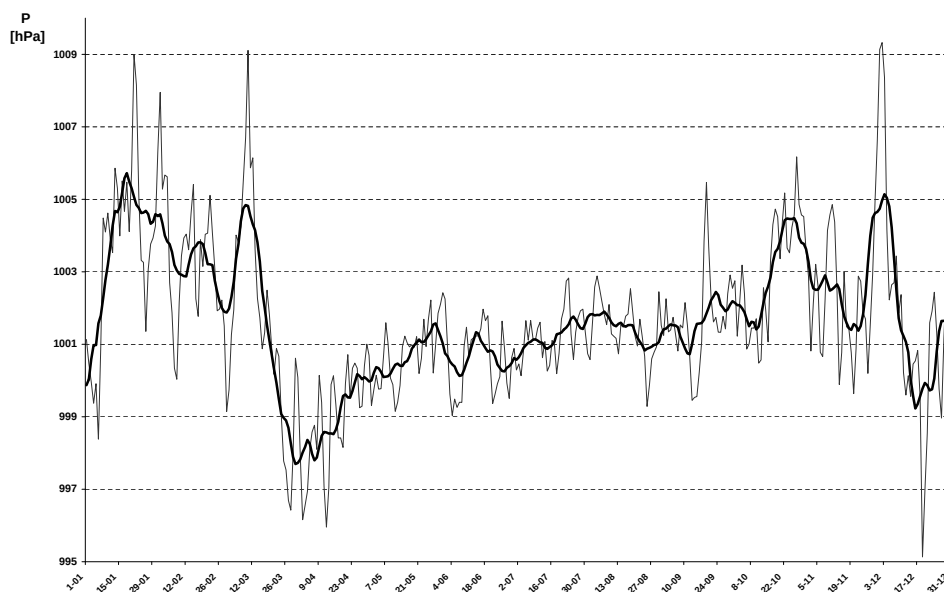
Warunki klimatyczne Wrocławia kształtowane są (obok czynników energetycznych) przez: czynniki cyrkulacyjne - położenie układów barycznych, rodzaj i kierunek napływających mas powietrza, fronty atmosferyczne wpływające na sytuację pogodową.

Ciśnienie atmosferyczne często jest wskazywane przez ludzi jako przyczyna złego samopoczucia. Nie podlega dyskusji fakt, że ma ono niebagatelny wpływ na odczucia człowieka – np. przez fizyczne oddziaływanie na receptory lub zmianę zawartości gazów w powietrzu.

W średnim rocznym przebiegu ciśnienia we Wrocławiu (ryc. 9) obserwuje się cechy rytmu rocznego opisanego przez Wosia (1999) - po okresie maksimum rocznego w styczniu (20.01 – 1009,0 hPa), następuje spadek utrzymujący się, z wyjątkiem trzeciej pentady lutego, do początku marca. Pewne odstępstwo od opisywanego przez Wosia (1999) rytmu rocznego obserwuje się w drugiej połowie lutego. Na początku drugiej pentady marca osiąga ono trzeciorzędne maksimum roczne by następnie na początku kwietnia osiągnąć minimum. Od połowy kwietnia wartości ciśnienia stopniowo rosną aż do końca maja. Na początku czerwca zaznacza się jego krótkotrwały spadek, po czym wyrównany przebieg utrzymuje się do połowy października, kiedy to następuje jego wzrost osiągając maksimum jesienne (wyższe o 5,5 hPa od średniej rocznej) w połowie tego miesiąca. W listopadzie początkowo obserwowany jest spadek wynoszący ok. 5-6 hPa następnie ciśnienie wyraźnie wzrasta osiągając na początku grudnia maksimum podobne jak w marcu. W połowie grudnia ma miejsce znaczny spadek ciśnienia, które osiąga wówczas we Wrocławiu swoje drugorzędne minimum. Podobny przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego był obserwowany w latach 1946-1980 (Dubicka, 1994).

W ocenie warunków bioklimatycznych danego obszaru należy uwzględnić wartości skrajne analizowanych elementów. Najniższa wartość ciśnienia, jaką zaobserwowano we Wrocławiu wynosiła 953,6 hPa (26.02.1989) a najwyższe ciśnienie - 1031,1 hPa - wystąpiło dnia 10.12.1991 (tabela 5).

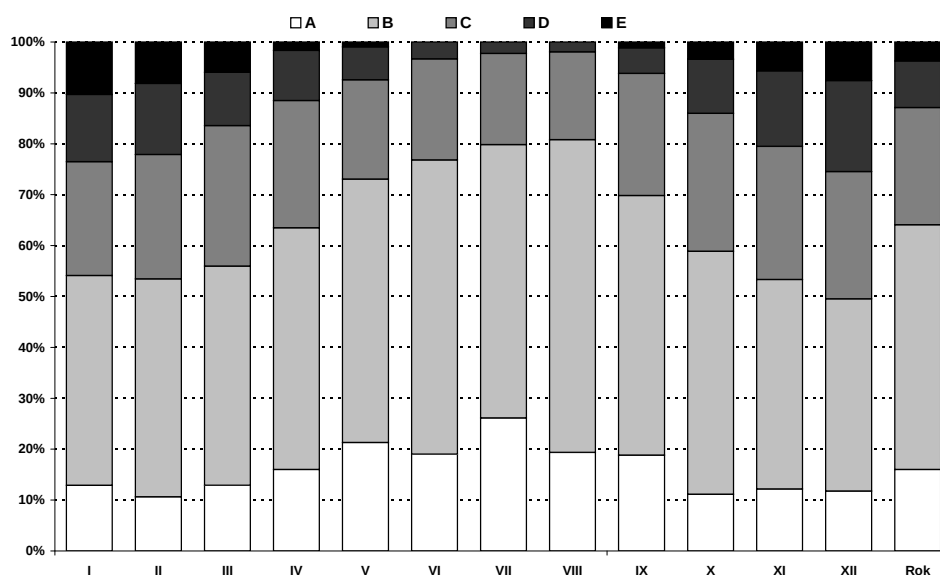
Organizm człowieka wykazuje duże zdolności adaptacyjne do zmieniających się warunków ciśnienia atmosferycznego, lecz w sytuacjach o częstych, intensywnych zmianach jego wartości (np. po przejściu frontu atmosferycznego) może wzrastać odczucie dyskomfortu. W związku z tym w ocenie warunków bioklimatycznych uwzględnia się częstość występowania określonych klas zmian ciśnienia z dnia na dzień. W skali całego roku we Wrocławiu najczęściej (prawie co drugi dzień) występują zmiany średniej dobowej ciśnienia atmosferycznego klasyfikowane jako „słabe” (od 1 do 4 hPa; cyt. w Boksa, Boguckij 1980).



Ryc. 9. Przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego we Wrocławiu w latach 1981-2000 w hPa
Fig. 9. Annual course of air pressure [hPa] in Wrocław (1981-2000)

Tabela 5. Skrajne wartości ciśnienia atmosferycznego zaobserwowane we Wrocławiu w latach 1981-2000
Table 5. Extreme values of air pressure [hPa] in Wrocław (1981-2000)

		P1	P7	P13	P19	Pi
Minimum		956,0	956,3	953,6	956,8	955,7
	Data	1989-02-26	1989-02-26	1989-02-26	1989-02-26	1989-02-26
Maximum		1030,8	1030,8	1031,1	1030,4	1030,8
	Data	1991-12-10	1991-12-10	1991-12-10	1991-12-10	1991-12-10



Ryc. 10. Częstość [w %] występowania określonych klas zmian ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień we Wrocławiu (1981-2000):
A – brak zmian, B – słabe, C – umiarkowane, D – silne, E – bardzo silne

Fig. 10. Frequency of occurrence [%] of air pressure changing index from day to day in Wrocław (1981-2000; A - neutral stimuli, B - weak stimuli, C - moderate stimuli, D - severe stimuli, E - very severe stimuli)

Zmiany określane jako „bardzo silne” (większe niż 12 hPa) stanowią 4% a „silne” mają miejsce w 9% dni (ryc. 10). Miesiące zimowe charakteryzują się największym nasileniem bodźców dynamicznych – aż połowa dni w tym okresie to sytuacje ze zmianami określanymi jako „umiarkowane”, „silne” i „bardzo silne” – co wskazuje na te miesiące jako porę szczególnie niekorzystnie wpływającą na samopoczucie człowieka. Największa zmienność ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień wystąpiła we Wrocławiu w dniach 14-15.01.1981 i kiedy wzrost ciśnienia wyniósł 25,3 hPa, był on niższy od zarejestrowanego 08.01.1958 (27,8 hPa; Dubicka, 1994). Miesiące wiosenne i jesienne charakteryzują się zmniejszoną częstością występowania intensywnych bodźców („umiarkowanych”, „silnych” i „bardzo silnych”), lecz wciąż stanowią one ok. 1/3 wszystkich dni w tych miesiącach.

Latem nie występują zmiany ciśnienia określane jako „bardzo silne”, zmiany „silne” to tylko 2-3% dni a „umiarkowane” – 17-20%. Zmiany ciśnienia klasyfikowane jako „słabe” lub „brak zmian” przypadają na 80% dni. Najmniejszym natężeniem intensywnych bodźców dynamicznych odznacza się lipiec, w którym ¼ dni charakteryzuje się zmianami praktycznie nieodczuwalnymi (mniejszymi niż 1 hPa).

Jedną z poważniejszych konsekwencji zmian ciśnienia atmosferycznego jest zmiana ilości bezwzględnych (w g/m^3) gazów wchodzących w skład powietrza. Z biologicznego punktu widzenia najważniejszym składnikiem tej mieszaniny jest tlen – gaz niezbędny człowiekowi do życia. Jego udział w kształtowaniu się warunków bioklimatycznych jest trudny do przecenienia.

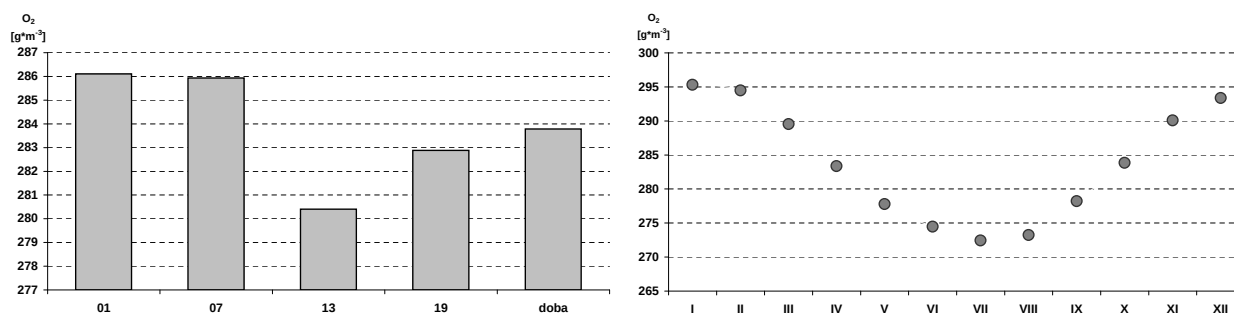
W pracy wykorzystane zostało równanie do określenia zawartości tlenu w powietrzu (O_2 , g/m^3) zaproponowane przez Gocka (1973), które uwzględnia temperaturę powietrza, ciśnienie pary wodnej i ciśnienie atmosferyczne.

Zawartość tlenu w powietrzu cechuje się określonym rytmem rocznym – maksimum przypada na miesiące zimowe i wynosi średnio $295 \text{ g}/\text{m}^3$ a minimum występuje w okresie lata, kiedy to jest niższe o ok. $20 \text{ g}/\text{m}^3$ (tabela 6., ryc. 11).

Średnia zawartość tlenu w powietrzu wykazuje również cykliczność dobową. Maksymalne wartości osiągane są w godzinach nocnych a minimum przypada na godziny południowe i jest średnio o $6 \text{ g}/\text{m}^3$ mniejsze niż o północy. Największe różnice zawartości tlenu w cyklu dobowym występują w lipcu (prawie $8 \text{ g}/\text{m}^3$) a najmniejsze w grudniu (niecałe $3 \text{ g}/\text{m}^3$). Rezultaty uzyskane na podstawie danych z lat 1981-2000 nie odbiegają znacząco od podobnych wyliczeń Skrzypskiego (1976).

Na podstawie badań klinicznych nad chorymi na miażdżycę naczyń krwionośnych (Owczarowa i in., 1974,) została opracowana klasyfikacja zmian zawartości tlenu w powietrzu z punktu widzenia ich bodźcowości.

Średnie roczne zmiany ilości tlenu w powietrzu z dnia na dzień w ponad 50% przypadków klasyfikowane są jako „obojętne” a w 30% jako „słabe” (ryc. 12). Tylko 1,4% dni w roku charakteryzowały się zmianami „ostrymi”. W cyklu dobowym najmniejsze różnice przypadały na godziny wypoczynku nocnego (między 01 a 07) – 2/3 dni charakteryzowały się wówczas zmianami „obojętnymi” a bodźce „ostre” praktycznie nie występowały. Równie łagodne zmiany miały miejsce między terminem południowym a wieczornym – bodźce „obojętne” w tym przypadku wystąpiły w co drugim dniu. Wzrosła jednak częstość pojawiania się sytuacji ze zmianami określanymi jako „znaczące” (wynosiły 16%), lecz nadal praktycznie brak zmian „ostrych” (ok. 0,5%).



Ryc. 11. Średnia roczna zawartość tlenu (O_2) w powietrzu (w g/m^3) na podstawie danych z czterech terminów obserwacyjnych i średniej dobowej (lewy diagram) oraz średnie miesięczne zawartości O_2 w powietrzu (prawy diagram) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 11. Annual mean of Atmospheric Oxygen Contents index [O_2 , g/m^3] in Wrocław (1981-2000); figure left: mean of main meteorological observations times (01, 07, 13 and 19 CET) and daily mean; figure right: monthly mean

Tabela 6. Podstawowe charakterystyki statystyczne zawartości tlenu w powietrzu [w g/m³] w czterech terminach obserwacyjnych (O₂-1, O₂-7, O₂-13, O₂-19) i średnia dobowa (O₂-i) we Wrocławiu w latach 1981-2000

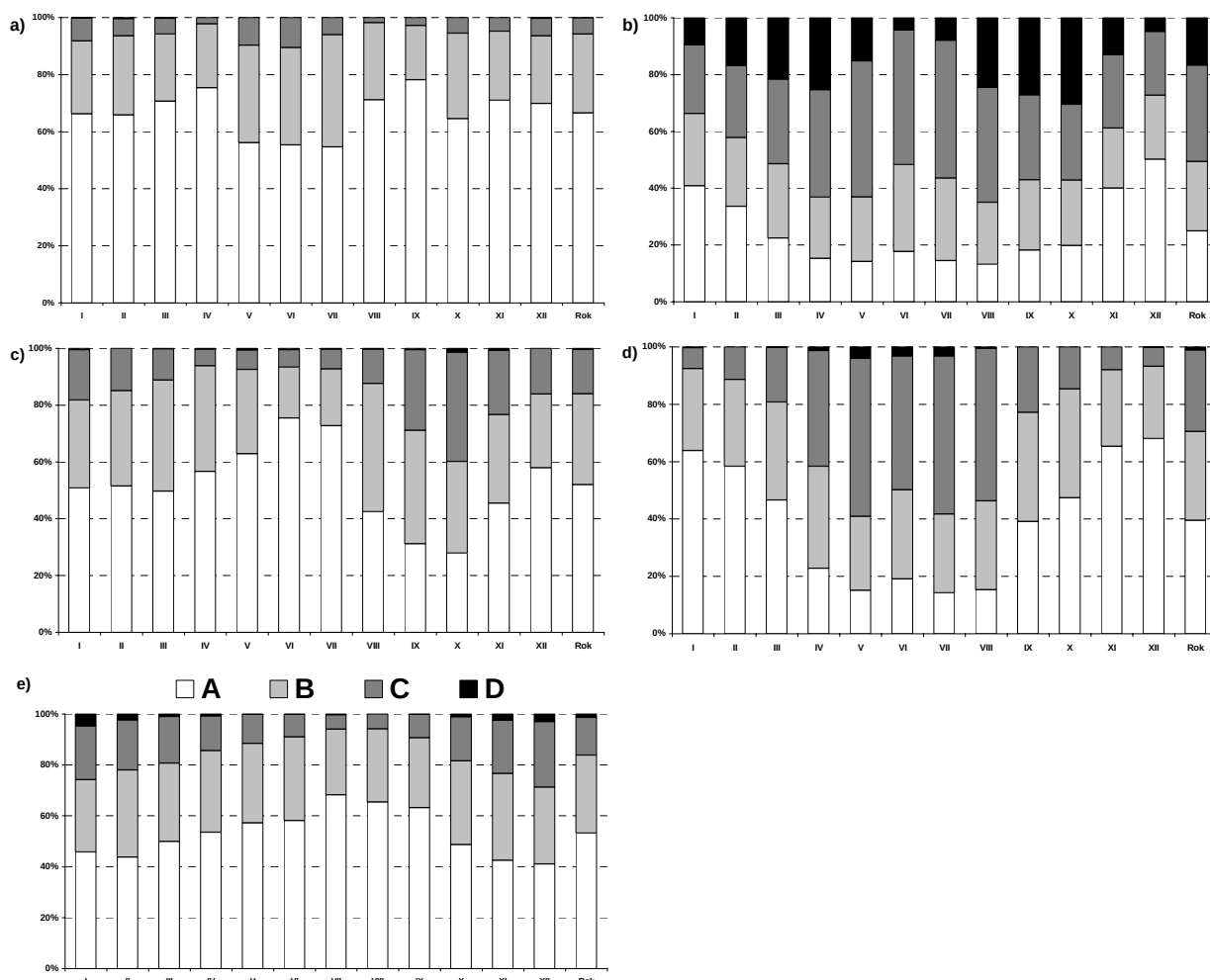
Table 6. Atmospheric oxygen contents index [g/m³] at 01 (O₂-1), 07 (O₂-7), 13 (O₂-13), 19 (O₂-19) CET and daily average (O₂-i) in Wrocław (1981-2000)

O2-1	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Średnia	296,3	295,9	291,4	286,2	281,5	277,9	276,1	276,7	280,7	285,8	291,2	294,2	286,1
Min	275,2	269,7	271,1	272,1	269,9	265,0	266,8	265,9	263,2	269,5	272,5	275,2	263,2
Max	326,0	324,0	312,9	300,9	296,7	289,6	286,6	287,4	295,8	305,1	312,7	321,7	326,0
Mediana	295,4	295,2	291,3	286,1	281,5	277,8	276,2	276,9	280,6	284,8	291,1	293,7	284,7
Odch. stand.	9,2	8,4	6,6	5,6	4,9	4,2	3,7	4,1	5,0	6,7	6,9	8,4	9,6
O2-7	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Średnia	296,7	296,6	292,2	286,3	280,1	276,2	274,4	275,7	280,7	286,6	291,7	294,4	285,9
Min	277,7	272,3	275,3	271,2	268,3	263,1	264,3	266,3	265,2	269,0	269,1	271,7	263,1
Max	328,5	325,4	314,4	301,4	294,4	286,5	283,3	286,8	295,2	305,9	314,9	322,3	328,5
Mediana	295,8	295,7	292,1	286,5	280,2	276,4	274,6	276,1	280,7	285,7	291,3	294,0	284,5
Odch. stand.	9,6	8,9	6,9	5,4	4,6	3,9	3,4	3,7	4,8	6,9	7,0	8,4	10,3
O2-13	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Średnia	293,0	291,6	286,2	279,5	273,9	271,3	268,9	268,9	274,0	279,5	287,3	291,5	280,4
Min	271,3	269,0	268,7	263,9	260,2	255,9	255,3	254,6	259,8	265,0	270,7	273,4	254,6
Max	319,9	313,4	305,0	295,0	289,7	283,4	280,0	279,7	288,3	297,7	312,8	315,3	319,9
Mediana	292,2	290,8	286,1	279,5	273,4	271,6	269,1	269,1	274,3	279,3	286,9	290,9	279,3
Odch. stand.	8,4	7,8	6,6	6,3	5,8	5,1	4,7	4,7	4,9	6,5	6,8	7,4	10,8
O2-19	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Średnia	295,3	293,9	288,5	281,7	275,9	272,7	270,5	271,8	277,6	283,7	290,1	293,4	282,9
Min	277,0	269,8	271,8	269,0	263,4	258,6	258,9	258,6	265,1	269,6	271,5	275,9	258,6
Max	324,1	318,0	308,0	296,1	289,3	283,8	282,8	281,2	292,4	303,2	311,2	319,2	324,1
Mediana	294,4	293,0	288,4	281,9	275,5	272,9	270,4	271,9	277,8	283,1	290,0	293,0	281,9
Odch. stand.	8,6	7,7	6,4	5,8	5,1	4,6	4,2	4,3	4,6	6,5	6,6	7,7	10,7
O2-i	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Średnia	295,3	294,5	289,5	283,3	277,8	274,5	272,4	273,2	278,2	283,9	290,1	293,4	283,8
Min	278,6	272,2	275,1	271,5	266,4	262,1	262,1	262,7	267,1	268,9	272,9	274,9	262,1
Max	323,3	319,9	307,8	298,2	290,9	284,0	280,8	280,7	291,7	300,4	311,8	318,2	323,3
Mediana	294,5	293,5	289,2	283,6	277,4	274,6	272,4	273,3	278,2	283,1	289,7	292,7	282,7
Odch. stand.	8,6	7,8	6,1	5,3	4,5	3,9	3,4	3,6	4,1	6,1	6,3	7,6	10,1

Okres, kiedy większość ludzi przejawia wzmożoną aktywność (07-13) jest czasem występowania najistotniejszych zmian w zawartości tlenu w powietrzu. Różnice między porannym a południowym terminem obserwacyjnym odnotowywane są jako zmiany „znaczące” i „ostre” w co drugim dniu a w co czwartym dniu w ciągu roku są one „obojętne” (ryc. 12). Najostrejsze zmiany występują najwyraźniej w miesiącach wiosennych i jesiennych (co czwarty dzień w kwietniu i co trzeci w październiku) a w okresie zimy i lata ich częstość wyraźnie spada (4-5% dni czerwca i grudnia). Miesiące zimowe charakteryzowały się również tym, że prawie, w co drugim dniu zmiany zawartości tlenu między godziną 07 a 13 określane są jako „obojętne”, podczas gdy w lipcu i sierpniu występowały one tylko w 13-14% dni.

W przypadku zmian między południowym i wieczornym terminem obserwacyjnym można zauważyć wzrost częstości dni, kiedy zmiany zawartości tlenu w powietrzu klasyfikowane są jako „obojętne”. Przeciętnie miało to miejsce, w co drugim dniu w ciągu roku, przy czym wyraźnie uprzywilejowane były czerwiec i lipiec, w których tę klasę zmian zaobserwowano w 75% dni. Najrzadziej ta klasa zmian zawartości tlenu w powietrzu występowała w październiku (co czwarty dzień cechuje się zmianami „obojętnymi”), w którym notuje się również najczęściej zmiany określane jako „znaczące” (38% dni) i „ostre” (1,5% dni).

Zmiany zawartości tlenu w powietrzu między terminem wieczornym (19) i nocnym (01) charakteryzują się wyraźną sezonowością. Począwszy od listopada aż do lutego zmiany „obojętne” miały miejsce w 60-65% dni a następnie ich częstość stopniowo malała osiągając w okresie od maja do sierpnia 15-20% dni. W tych miesiącach występowały również zmiany „ostre”, lecz nie częściej niż w 4% dni.



Ryc. 12. Bódcowość zmian zawartości tlenu w powietrzu między kolejnymi terminami obserwacyjnymi (a – 01-07; b – 07-13, c – 13-19, d – 19-01) i z dnia na dzień (e) we Wrocławiu w latach 1981-2000; (poszczególne kategorie oznaczają bodźce: A – obojętne, B – słabe, C – znaczące, D – ostre)

Fig. 12. Stimuli of the Atmospheric Oxygen Contents index [O_2 , g/m³] changing among the main meteorological observations time (a – 01-07; b – 07-13, c – 13-19, d – 19-01) and from day to day (e) in Wrocław (1981-2000); A - neutral stimuli, B - weak stimuli, C - moderate stimuli, D - severe stimuli

6.2. Warunki anemologiczne

Wiatr ma niebagatelny wpływ na samopoczucie człowieka - w przypadku niskiej temperatury i dużej wilgotności powietrza duża prędkość wiatru potęguje subiektywne doznania dyskomfortu termicznego, przyczyniając się do wzrostu strat ciepła z organizmu. Wiatr odgrywa ponadto decydującą rolę w kształtowaniu się warunków aerosanitarnych terenów silnie zurbanizowanych przyczyniając się do ich przewietrzania przez co jest istotnym czynnikiem biometeorologicznym (Jankowiak, 1964).

W opracowaniach klimatycznych i bioklimatycznych wykorzystać można klasyfikację przedziałów prędkości wiatru zaproponowaną przez Parczewskiego (1961). Klasyfikacji poddano prędkość wiatru z poziomu pomiarowego (14 m n.p.g.).

Prędkość wiatru we Wrocławiu wykazuje charakterystyczną dla Polski sezonowość – największa przypada na okres zimowy i stopniowo maleje osiągając najniższe wartości w sierpniu (tabela 7). W przypadku średniej prędkości wiatru w poszczególnych terminach obserwacyjnych najniższe wartości są rejestrowane w porze nocnej (01). Następnie prędkość rośnie, by w godzinach południowych osiągnąć maksimum. W trakcie wieczornej obserwacji rejestrowana zimą prędkość jest podobna do tej z terminu porannego, lecz począwszy od kwietnia średnia prędkość wiatru rano jest o ok. 0,2 m/s większa niż wieczorem. Większe prędkości wiatru w południe to efekt różnicowania się pola ciśnienia atmosferycznego nad miastem i terenach przyległych na skutek nierównomiernego nagrzewania się powierzchni (Bornstein, Johnson, 1977). Jest to bezpośrednia przyczyna powstawania cyrkulacji bryzowej w skali lokalnej (Lewińska, 2000), która osiąga maksymalne nasilenie w układach barycznych z niewielkim poziomym gradientem ciśnienia (Fujibe, 1988).

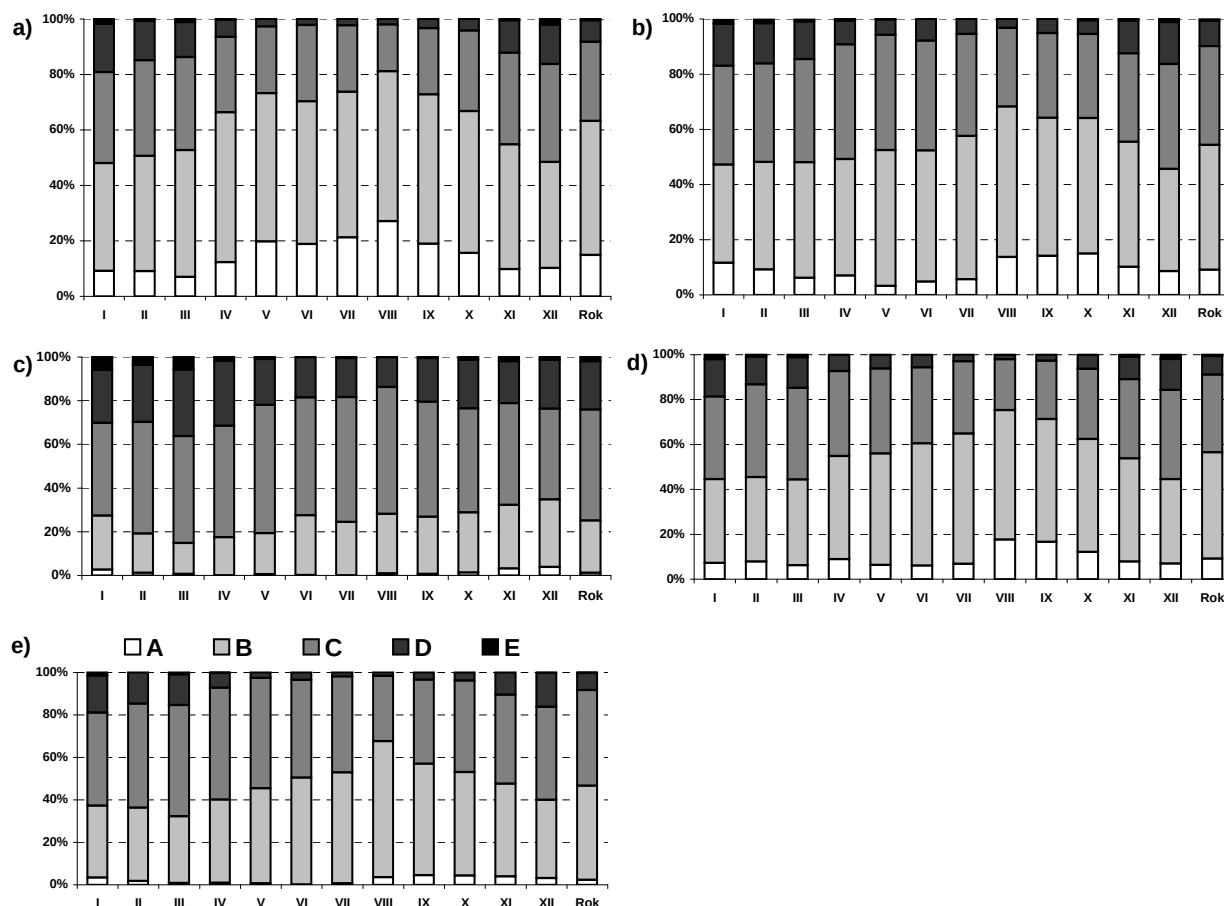
Tabela 7. Średnie prędkości wiatru we Wrocławiu w latach 1981-2000
Table 7. Average wind speed [m/s] in Wrocław (1981-2000)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
V1	2,5	2,3	2,3	1,8	1,4	1,4	1,3	1,1	1,4	1,6	2,1	2,3	1,8
V7	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,1	2,4	2,1
V13	3,3	3,3	3,7	3,4	3,0	2,9	2,8	2,7	2,9	2,9	2,9	2,8	3,1
V19	2,5	2,4	2,4	2,0	1,9	1,9	1,7	1,4	1,5	1,8	2,2	2,4	2,0
vi	2,7	2,6	2,7	2,3	2,1	2,1	2,0	1,7	1,9	2,0	2,3	2,5	2,2
vmax	7,8	7,7	8,5	8,4	7,9	7,6	7,2	6,7	6,1	6,5	6,8	7,3	7,4

Zwiększenie dynamiki wiatru w czasie obserwacji południowej uwidacznia się przy analizie częstości występowania odpowiednich klas prędkości (ryc. 13). Częstość występowania dni z „ciszą” jest najmniejsza właśnie w trakcie obserwacji południowej i w skali roku występuje średnio w ciągu pięciu dni, podczas gdy w pozostałych terminach sytuacja taka ma miejsce w 9-15% dni a ich maksimum obserwowane jest w nocy. „Cisze” notowane są najczęściej w sierpniu (dla terminów 01, 07 i 19) oraz listopadzie (dla 13). Zarówno średnia dobową prędkość, jak i pomiary w czasie terminów obserwacyjnych (za wyjątkiem godziny 13) najczęściej klasyfikowane są w przedziale wiatru „bardzo słabego” (w ok. 45% dni). Dane z tych terminów wskazują, że wiatr mający znaczny udział w kształtowaniu się temperatury odczuwalnej (klasy „słaby” i „umiarkowany”) jest obserwowany w ciągu roku w co drugim - trzecim dniu. W przypadku pomiarów wykonywanych w południe wiatr „słaby” i „umiarkowany” był obserwowany w ponad 70% dni, a ponadto wówczas pojawia się najczęściej wiatr „dość silny” (występuje bardzo rzadko w innych terminach), lecz zaledwie 1,9% dni. Co ciekawe największe prędkości wiatru jakie zarejestrowano we Wrocławiu w latach 1981-2000 wcale nie wystąpiły w trakcie obserwacji południowej (tabela 8).

Tabela 8. Maksymalne prędkości wiatru wraz z datą wystąpienia we Wrocławiu w latach 1981-2000 (poziom 14 m n.p.g.)
Table 8. Maximum wind speed and its acquisition's time in Wrocław (1981-2000; 14m above ground surface)

	V1	V7	V13	V19	vmax
m/s	9,5	13,7	12,2	13,0	28,0
Data	08.04.95	20.01.86	24.01.93	18.06.00	11.10.81



Ryc. 13. Klasyfikacja prędkości wiatru (wg Parczewskiego, 1961) w głównych terminach obserwacyjnych (a – 01, b – 07, c – 13, d – 19 CET) i średniej dobowej (e) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (poszczególne kategorie oznaczają wiatr: A – cisza, B – bardzo słaby, C – słaby, D – umiarkowany, E – dość silny)

Fig. 13. Classification of wind speed (according to Parczewski, 1961) recorded at the main meteorological observations times (a – 01, b – 07, c – 13, d – 19 CET) and daily mean (e) in Wrocław (1981-2000); A - no wind, B - very weak wind, C - weak wind, D - moderate wind, E - strong wind

6.3. Zachmurzenie

Stopień pokrycia sklepienia nieba przez chmury, czyli zachmurzenie, jest istotnym czynnikiem modyfikującym procesy radiacyjne powierzchni Ziemi. Z jednej strony chmury ograniczają dopływ krótkofalowego promieniowania emitowanego przez Słońce, lecz stanowią istotną barierę dla długofalowego promieniowania podczerwonego, które emituje Ziemia (główna przyczyna straty ciepła w porze nocnej). Szczególnie istotny jest wpływ zachmurzenia na natężenie promieniowania ultrafioletowego, które ma niebagatelne znaczenie (zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio) dla organizmu ludzkiego. W trakcie pogody bezchmurnej udział promieniowania UV w strumieniu promieniowania całkowitego wynosi ok. 3-4% a w dniach pochmurnych zwiększa się on do ponad 6% (Podstawczyńska, Fortuniak, 1998).

W przypadku terenów silnie zurbanizowanych, które cechują się zmienionymi właściwościami fizycznymi (inna pojemność cieplna, albedo czy powierzchnia parowania) w stosunku do obszarów otaczających obserwuje się lokalne zmiany w wartości zachmurzenia jak i rodzajów chmur (Bułat, 1992, Matuszko, 1991, 1992,).

Na podstawie średnich dobowych wartości zachmurzenia we Wrocławiu w latach 1981- sierpień jest miesiącem o najmniejszych jego wartościach (6,7). Nieco większym zachmurzeniem odznaczał się lipiec i maj (7,0), podczas gdy czerwiec cechuje się największym zachmurzeniem spośród miesięcy letnich. W listopadzie i grudniu zachmurzenie osiąga największe wartości (tabela 9). Średnia roczna wartość zachmurzenia wynosiła 7,4 i była największa w czasie południowej a najmniejsza wieczornej obserwacji.

Tabela 9. Średnie miesięczne i roczne wartości zachmurzenia (a, w skali 11-stopniowej) oraz liczba dni bezchmurnych ($Z=0$) i pochmurnych ($Z \geq 80$) (b) we Wrocławiu w latach 1981-2000

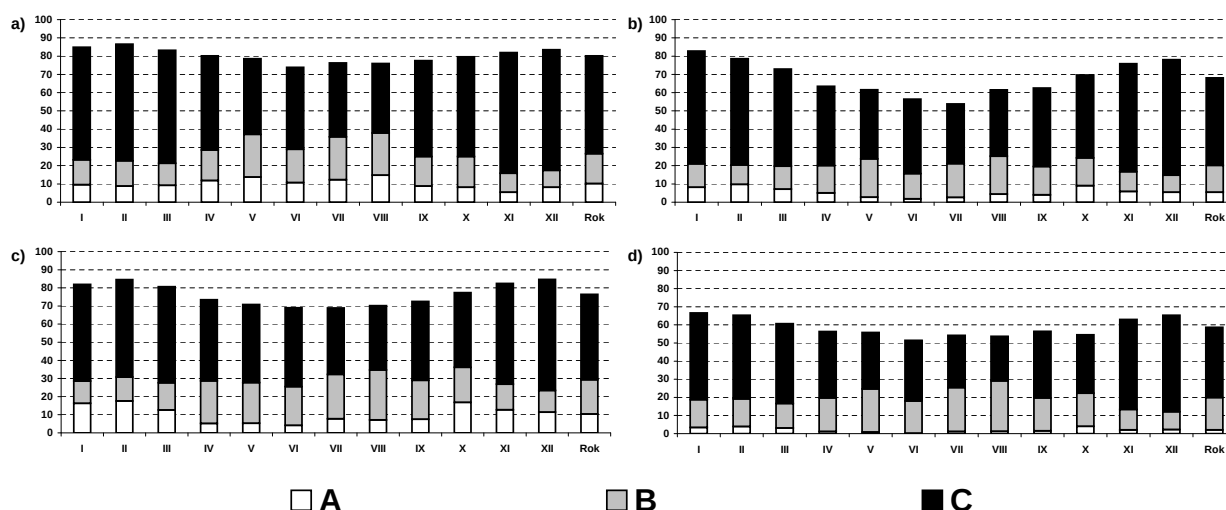
Table 9. Monthly and annual average of cloudiness (a) and number of cloudless ($Z=0$) and cloudy days ($Z \geq 80$) (b) in Wrocław (1981-2000)

a)													
Termin	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
7	7,8	7,9	7,9	7,2	6,5	7,1	6,6	6,3	7,4	7,6	8,4	8,2	7,4
13	8,0	7,9	7,9	7,7	7,4	7,9	7,5	7,2	7,7	7,4	8,1	8,4	7,8
19	7,1	7,0	7,2	7,2	7,1	7,4	6,9	6,7	7,1	6,4	7,4	7,7	7,1
Średnia dobowa	7,6	7,6	7,7	7,4	7,0	7,5	7,0	6,7	7,4	7,1	8,0	8,1	7,4

b)													
7													
Liczba dni bezchmurnych	3,0	2,5	2,9	3,6	4,3	3,2	3,8	4,6	2,7	2,6	1,7	2,6	37,1
Liczba dni pochmurnych	21,0	19,5	21,8	17,9	15,6	16,4	15,6	14,5	18,5	19,5	22,0	22,5	224,5
13													
Liczba dni bezchmurnych	2,6	2,7	2,2	1,5	0,9	0,6	0,8	1,4	1,2	2,8	1,8	1,7	20,0
Liczba dni pochmurnych	22,1	18,8	19,5	17,1	15,4	16,8	14,3	14,6	16,9	17,3	20,4	22,6	215,5
19													
Liczba dni bezchmurnych	5,1	4,9	3,9	1,6	1,7	1,3	2,4	2,2	2,3	5,2	3,8	3,6	37,7
Liczba dni pochmurnych	18,9	16,9	18,1	16,0	16,1	16,8	15,4	14,8	16,5	14,9	18,5	20,8	203,5
Średnia dobowa													
Liczba dni bezchmurnych	1,1	1,1	1,0	0,4	0,3	0,1	0,4	0,4	0,5	1,3	0,6	0,7	7,5
Liczba dni pochmurnych	17,5	16,0	17,7	15,4	14,3	15,4	13,2	12,1	15,7	14,9	18,1	19,7	189,8

W skali całego roku największą częstością odznaczały się dni pochmurne ($Z \geq 8$), które można było we Wrocławiu zaobserwować w 190 dniach. Natomiast wyjątkowe są sytuacje, którym towarzyszy bezchmurne niebo ($Z=0$) - tylko niecałe 8 dni w roku charakteryzuje się brakiem zachmurzenia w ciągu doby.

Oslabienie promieniowania bezpośredniego skutkuje znacznym spadkiem wartości strumienia promieniowania pochłoniętego przez człowieka, które stanowi dla niego znaczące źródło energii cieplnej (jest to jednak działanie dwójakie: w przypadku niskiej temperatury powietrza podwyższa komfort termiczny, lecz podczas pogody gorącej przyczynia się do wzrostu stresu cieplnego). Dni kiedy niebo pokryte jest przez chmury w 50% i mniej obserwowane były we Wrocławiu w niecałych 18% przypadków (ryc. 14). Niebo bezchmurne najczęściej występuje w październiku (1,3 dnia) a dni z takim zachmurzeniem praktycznie nie występują w czerwcu. Natomiast całkowite zachmurzenie najrzadziej obserwuje się w lipcu i sierpniu (odpowiednio 13,2 i 12,1 dnia) a w miesiącach chłodnej pory roku pojawia się ono w co drugim dniu (przy czym maksimum częstości ich występowania jest w grudniu – prawie 20 dni).



Ryc. 14. Częstość [w %] występowania dni o określonym stopniu zachmurzenia (A – dni bezchmurne, B – dni z zachmurzeniem $\leq 50\%$, C – dni z zachmurzeniem = 100%) obserwowanego w terminach 07 CET (a), 13 CET (b), 19 CET (c) i średniej dobowej (d) we Wrocławiu w latach 1981-2000

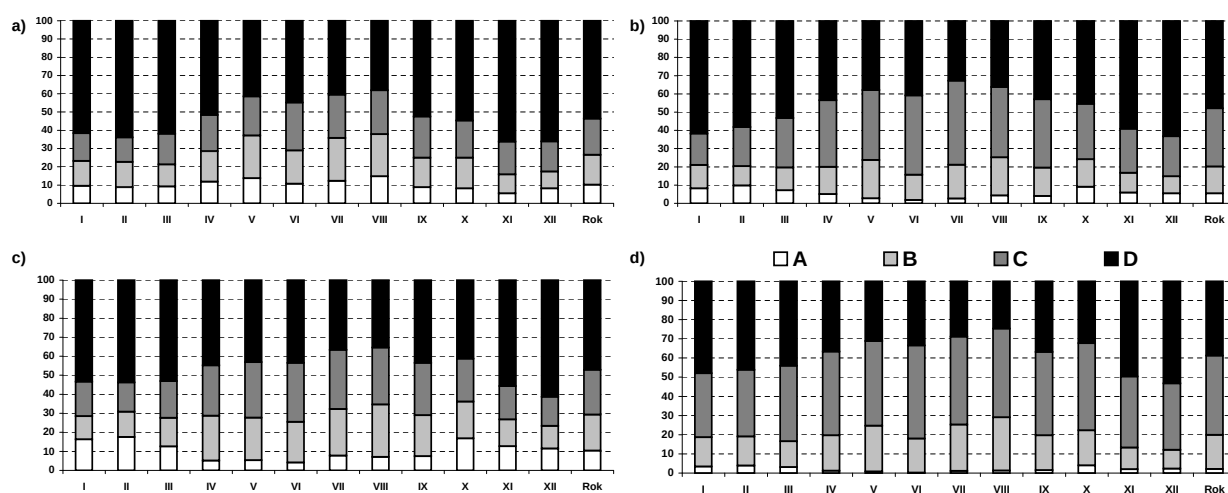
Fig. 14. Frequency of occurrence [%] of days with selected classes of cloudiness (A - cloudless days, B - days with cloudiness $\leq 50\%$, C - cloudy days = 100%) observed at the main meteorological observations times 07 CET (a), 13 CET (b), 19 CET (c) and daily mean (d) in Wrocław (1981-2000)

W poszczególnych terminach obserwacyjnych (ryc. 14a, b i c) liczba dni bezchmurnych w czasie obserwacji porannej i wieczornej jest dwukrotnie większa (ok. 10) w porównaniu z obserwacją południową (5 dni). Różnice te są jeszcze większe w okresie letnim, kiedy to bezchmurne niebo najczęściej obserwowane jest rano (w ok. 12,6 dniach). W południe taka sytuacja pojawia się tylko w 3 dniach by wieczorem dwukrotnie zwiększyć częstość występowania (6,3 dnia). Występowanie warunków całkowitego zachmurzenia jest bardziej wyrównane w cyklu dobowym w skali roku i odnotowuje się je prawie w co drugim dniu.

Zdrowotna rola promieniowania słonecznego od dawna wykorzystywana jest w klimatoterapii. Do oceny warunków helioterapeutycznych opracowana została odpowiednia skala (bazująca na stopniu zachmurzenia), która umożliwia przedstawienie potencjału analizowanego terenu możliwego do wykorzystania w helioterapii. Tereny silnie zurbanizowane raczej nie mogą pełnić funkcji uzdrowiskowych (ze względu na np. ponadnormatywne zanieczyszczenie powietrza), ich ocena pod tym właśnie kątem uzupełnia informację o warunkach bioklimatycznych jakie tam panują.

Obserwacje zachmurzenia z terminu południowego wskazują, że co dwudziesty dzień w skali całego roku ma „warunki bardzo dobre” do helioterapii (ryc. 15b), przy czym w styczniu, lutym i październiku częstość tych dni wzrasta prawie dwukrotnie. Natomiast w miesiącach letnich ta klasa występuje najrzadziej (2-4% dni). Nie oznacza to jednak całkowitej dyskredytacji tych miesięcy jeśli idzie o ich przydatność do helioterapii, ponieważ „warunki dobre” występują wówczas w prawie co piątym dniu a „warunki przeciętne” to aż jedna trzecia dni. Ten okres charakteryzuje się również najrzadziej występującymi dniami z „warunkami złymi” (średnio 35% dni, wobec prawie 50% przypadków dla całego roku z tego terminu), które są najmniej korzystne dla człowieka.

Ocena warunków do helioterapii we Wrocławiu przeprowadzona na podstawie uśrednionych dla doby wartości zachmurzenia (ryc. 15) wykazuje, że tylko co pięćdziesiąty dzień roku charakteryzuje się warunkami „bardzo dobrymi”. Jedynie w czerwcu ta klasa nie występuje a pozostałe miesiące letnie wykazują zmniejszoną o połowę (w porównaniu do średniej rocznej) ich frekwencję. Te miesiące cechują się za to najrzadziej występującymi warunkami określanych „złymi”, które mają miejsce w co trzecim dniu w czerwcu a w co czwartym w lipcu i sierpniu, podczas gdy w miesiącach zimowych stanowią one połowę dni.



Ryc. 15. Częstość [w %] występowania określonych klas przydatności do helioterapii (warunki: A – bardzo dobre, B – dobre, C – przeciętne, D – złe) na podstawie zachmurzenia obserwowanego w poszczególnych terminach: 07 (a), 13 (b), 19 (c) oraz średniego dobowego zachmurzenia (d) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 15. Frequency of occurrence [%] of selected classes of suitability for heliotherapy (A - very good conditions, B - good conditions, C - moderate conditions, D - weak conditions) in Wrocław (1981-2000)

6.4. Temperatura i wilgotność powietrza

Temperatura powietrza stanowi podstawę kryterium termicznego oceny warunków bioklimatycznych.

Średnia roczna temperatura powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000 wynosiła 9,0°C (tabela 10) i była o 0,8°C wyższa niż w latach 1946-1980 (Dubicka, 1994). Najcieplejszym miesiącem był lipiec z temperaturą

Tabela 10. Średnie i skrajne wartości temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000
Table 10. Average and extreme values of air temperature [°C] in Wrocław (1981-2000)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
T1	-1,2	-0,9	2,4	6,1	10,4	13,3	14,9	14,4	11,2	7,3	2,6	0,0	6,7
T7	-1,7	-1,6	1,7	6,2	11,9	15,1	16,7	15,5	11,1	6,5	2,1	-0,2	7,0
T13	1,7	3,0	7,5	13,0	18,5	20,5	22,9	23,0	18,1	13,5	6,2	2,5	12,6
T19	-0,3	0,7	5,0	10,5	16,0	18,6	20,6	19,2	13,9	9,2	3,6	0,7	9,8
Ti	0,4	0,3	4,1	8,9	14,2	16,9	18,8	18,0	13,6	9,1	3,6	0,7	9,0
Tmax	3,0	4,3	9,0	14,8	20,4	22,6	24,8	24,7	19,5	14,6	7,3	3,6	14,1
Tmin	-3,4	-3,0	0,4	3,8	8,1	11,5	13,1	12,6	9,3	5,1	0,6	-2,1	4,7

18,8°C – o 1,0°C wyższą niż w 35-leciu poprzedzającym a najchłodniejszym – styczeń (-0,4°C), który był 1,5°C cieplejszy niż w latach 1946-1980. Średnia roczna wartość $T_{\max}$ wyniosła 14,1°C a średnia $T_{\min}$ to 4,7°C - były one odpowiednio o 0,7 i 1,0°C wyższe niż średnie z lat 1946-1980. Najwyższe średnie $T_{\max}$ notowano w lipcu i sierpniu (odpowiednio 24,8°C i 24,7°C). Natomiast najniższa średnia $T_{\max}$ (3,0°C) wystąpiła w styczniu. Amplituda roczna temperatury powietrza wyniosła 19,2° – o 0,7° mniej niż w latach wcześniejszych. Różnica między średnią $T_{\max}$ w najcieplejszym miesiącu i $T_{\min}$ w najchłodniejszym określana przez Okołowicza (1967) mianem „średniego przedziału wahań temperatury” w analizowanym okresie zmniejszyła się o 1,6°C w stosunku do średniej z lat 1946-1980, która wynosiła 29,8°C. Okres od maja do października cechuje się średnią temperaturą powietrza wyższą od średniej rocznej a pozostałe miesiące wykazują niższą średnią temperaturę.

Najwyższa temperatura jaką odnotowano we Wrocławiu w latach 1981-2000 wynosiła 37,9°C (31.07.1994) a najniższa -27,6°C (08.01.1985) co daje absolutną roczną amplitudę 65,5°C, która była w analizowanym okresie o 1,7°C mniejsza niż ta, jaką zaobserwowano w latach 1946-1980 (tabela 11).

Tabela 11. Wartości skrajne temperatury powietrza i daty ich wystąpienia we Wrocławiu w latach 1981-2000
Table 11. Extreme values of air temperature [°C] and its acquisition's time in Wrocław (1981-2000)

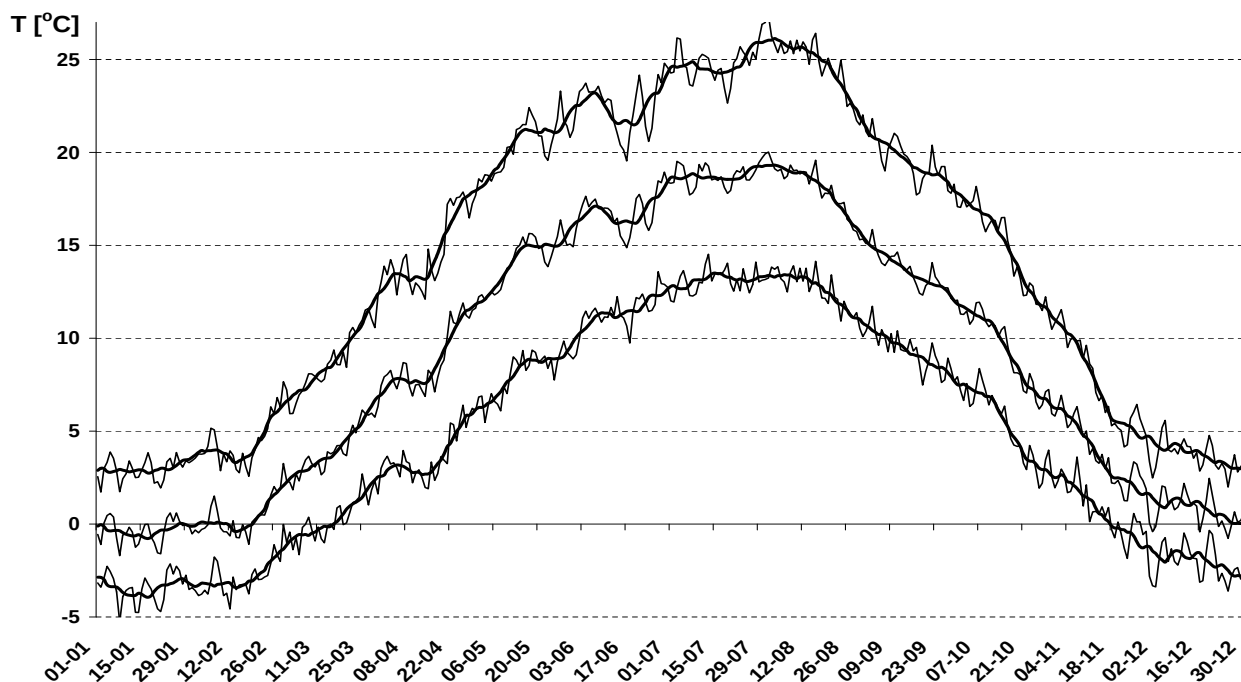
		T1	T7	T13	T19	Ti	Tmax	Tmin
Najniższa		-25,0	-27,0	-20,5	-24,1	-22,5	-19,6	-27,6
	Data	08.01.85	08.01.85	12.01.87	13.01.87	14.01.87	12.01.87	08.01.85
Najwyższa		24,2	25,7	36,9	33,2	28,5	37,9	22,1
	Data	28.07.83	22.06.00	24.07.88	01.08.94	01.08.94	31.07.94	28.07.83

Uśrednione wartości temperatury powietrza z dłuższych okresów (np. z 50 lat) pozwalają zaobserwować pewne cechy jej rocznego przebiegu, na co wskazywał Kosiba (1948, 1979) i Dubicka (1994). Badany okres obejmuje tylko 20 lat, co nie pozwala wyeliminować zupełnie pewnych wahań nieregularnych. Jednakże w średnim rocznym przebiegu temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000 można wyodrębnić jej charakterystyczne cechy (ryc. 16) jak np. falę chłodu na początku stycznia, ocieplenie w drugiej pentadzie lutego (określane jako odwilż zimowa; Kożuchowski 2000) czy charakterystyczny dla Polski epizod ochłodzenia zwany „zimni ogrodnicy” z III dekady maja, które były już opisywane przez Kosibę (1948, 1979), Dubicką (1994) i Kożuchowskiego (2000). Równie wyraźne jest ochłodzenie w połowie czerwca (szczególnie widoczne w przebiegu $T_{\max}$), które ma wpływ na warunki biotermiczne i może u człowieka wywoływać stres chłodu. Znaczenie tego okresu jest dość istotne dla kształtowania się warunków bioklimatycznych, gdyż odpowiada za powstawanie dyskomfortu termicznego w okresie letnim.

Średnia dobową temperaturę spada poniżej zera w II pentadzie grudnia by następnie przyjąć wartości dodatnie a dopiero w II połowie tego miesiąca temperatura ustala się ponownie w zakresie poniżej zera (aczkol-

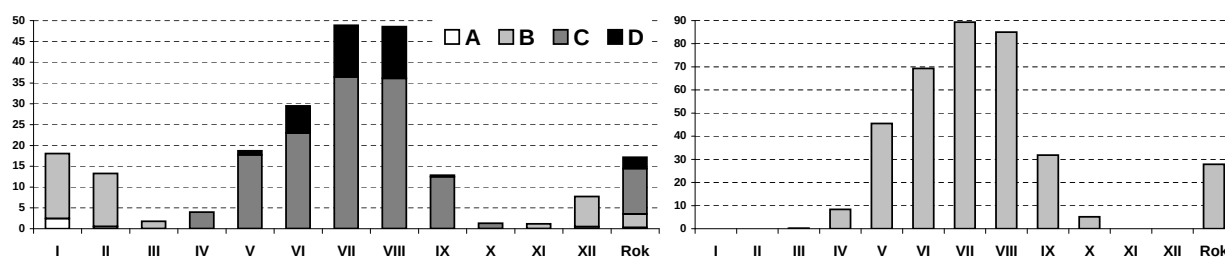
Tabela 12. Największe różnice temperatury powietrza (między obserwacją o godz. 07,13 i 19 CET) i temperatur ekstremalnych oraz maksymalna zmiana średniej dobowej z dnia na dzień we Wrocławiu w latach 1981-2000
Table 12. Highest differences of: air temperature between consecutive observation's time (07, 13 and 19 CET), extreme air temperature ($T_{\max}$ - $T_{\min}$) and daily average of air temperature [°C] (from day to day) in Wrocław (1981-2000)

	dT13-7	dT19-13	dTi	dTmax-min
	20,5	14,1	15,2	23,7
Data	19.03.90	27.05.00	13.12.98	27.07.83



Ryc. 16. Przebieg roczny temperatury powietrza [°C] we Wrocławiu w latach 1981-2000; (linia górna – Tmax, linia środkowa – Ti, linia dolna – Tmin; linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 16. Annual course of mean air temperature [°C] in Wrocław (1981-2000; upper line - maximum of air temperature, middle line - mean air temperature, lower line - minimum of air temperature)

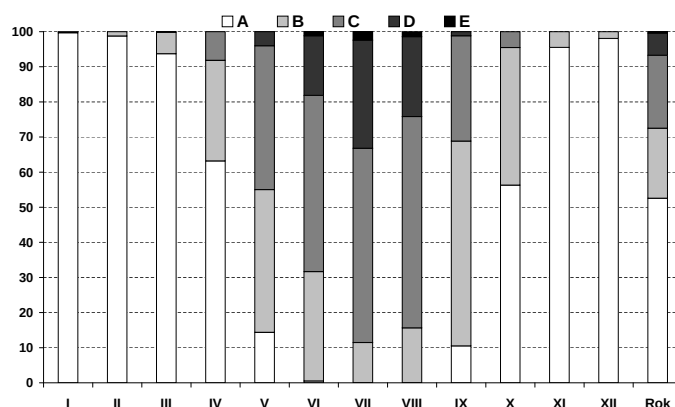


Ryc. 17. Liczba dni charakterystycznych we Wrocławiu w latach 1981-2000 (wykres lewy: A – dni bardzo mroźne, B – dni mroźne, C – dni gorące, D – dni upalne; na wykresie prawym dni z $T_i \geq 15,0$)

Fig. 17. Number of characteristic days in Wrocław (1981-2000). Left figure: A - very frosty days ($T_{\max} \leq -10^{\circ}\text{C}$), B - frosty days ($T_{\min} \leq -10^{\circ}\text{C}$), C - hot days ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$), D - sweltering days ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$); right figure: days with daily mean air temperature $\geq 15^{\circ}\text{C}$

wiek występują jeszcze wówczas dni z $T_i > 0^{\circ}\text{C}$). Ujemne wartości średniej dobowej temperatury utrzymują się aż do końca II dekady lutego, po czym następuje jej trwały wzrost aż do początku sierpnia. Średnie temperatury minimalne spadają poniżej zera już w ostatniej pentadzie listopada i utrzymują się aż do końca pierwszej dekady lutego. W przypadku średniej temperatury maksymalnej nie obserwuje się jej spadku poniżej $1,5^{\circ}\text{C}$.

Dni ze średnią dobową temperaturą powietrza równą i wyższą niż $15,0^{\circ}\text{C}$ (kryterium lata termicznego) występują w okresie od marca do października (ryc. 17) przy czym maksimum przypada na lipiec kiedy ich częstotliwość wynosi 90%. W lipcu i sierpniu w sumie co drugi dzień jest dniem definiowanym jako „gorący” ($T_{\max} \geq 25,0^{\circ}\text{C}$) lub „upalny” ($T_{\max} \geq 30,0^{\circ}\text{C}$; ryc. 17a) co obrazuje skalę nasilenia się niekorzystnych bodźców termicznych w tym okresie. Dni upalne występują w ciągu czterech miesięcy w roku – pojawiają się w maju i utrzymują się do końca sierpnia a ich średnia roczna częstotliwość nie przekracza 3%. Dni „gorące” mogą pojawić się już w maju a ostatni raz w roku obserwuje się je w październiku - średnio występują w 10% dni w roku. Charakterystyczne dla chłodnej pory roku dni „mroźne” ($T_{\min} \leq -10,0^{\circ}\text{C}$) występują średnio w ciągu 12 dni w roku i pojawiają się od listopada do marca. Dni „bardzo mroźne” ($T_{\max} \leq -10,0^{\circ}\text{C}$) mogą wystąpić w każdym z trzech miesięcy zimowych, lecz najczęściej pojawiają się w styczniu a ich udział w skali całego roku jest niewielki i obserwuje się je średnio w ciągu 11 dni.



Ryc. 18. Częstość występowania [w %] klas odczuć termicznych (A – zimno, B – chłodno, C – ciepło, D – bardzo ciepło, E – gorąco) na podstawie średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 18. Frequency of occurrence [%] of thermal feelings (A - cold, B - cool, C - warm, D - very warm, E - hot) based on mean of daily air temperature in Wrocław (1981-2000)

Średnia dobową temperaturę powietrza stanowi proste kryterium oceny warunków termicznych. W oparciu o to kryterium skonstruowano skalę odczuć cieplnych (Bokša i Boguckij, 1966), która identyfikuje co drugi dzień we Wrocławiu w całym roku jako „zimny”. Klasa ta zdecydowanie dominuje w okresie od listopada do marca (jej częstość nie spada wtedy poniżej 95%; ryc. 18). W porównaniu np. z Suwałkami we Wrocławiu jest o ok. 25 dni mniej z temperaturą powietrza odczuwaną jako „zimno” (Papiernik, 2004).

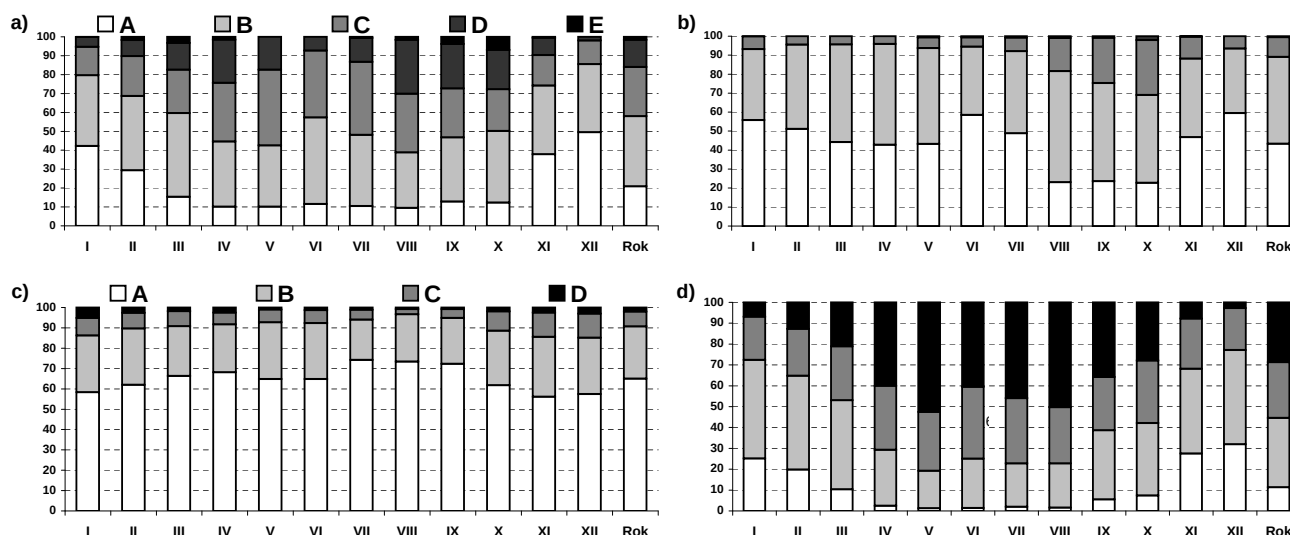
Jako „ciepły” określany jest co piąty dzień w roku, lecz okres występowania tej klasy przypada na miesiące od kwietnia do października, a jej maksimum jest w sierpniu (prawie 2/3 dni zalicza się do tej kategorii). Dni „gorące”, z którymi wiążą się duże obciążenia termiczne układu termoregulacyjnego człowieka występują tylko w miesiącach letnich, lecz nawet wtedy pojawiają się nie częściej niż raz na miesiąc. Częstość tych niekorzystnych z punktu widzenia człowieka dni, jest we Wrocławiu prawie dwukrotnie większa niż w Łodzi i Suwałkach (Papiernik, 2004). Ocena warunków bioklimatycznych za pomocą takiego kryterium ma tylko charakter orientacyjny.

Istotnym kryterium oceny warunków klimatu odczuwalnego w kontekście termicznym jest analiza częstości występowania odpowiednich klas zmian temperatury. W niniejszym opracowaniu ocena bodźcowości warunków termicznych została dokonana na podstawie zmienności średniej dobowej temperatury powietrza z dnia na dzień (ryc. 19), zmienności temperatury między kolejnymi terminami obserwacyjnymi (ryc. 19a i b) oraz amplitudy dobowej temperatury (ryc. 19). Skale natężenia bodźców zostały przyjęte za Bajbakową (1963).

Zmienność temperatury powietrza między obserwacją poranną a południową (ryc. 19) cechuje się brakiem bodźcowości (zmiany „nieodczuwalne”) w 20% dni w ciągu roku i są najczęstsze w grudniu (50% dni) a w okresie od kwietnia do października przypadają tylko na 10% dni. Zmiany określone jako „silne” i „bardzo silne” występują w 16% dni w ciągu roku, lecz o ile w grudniu i styczniu występują dość sporadycznie (odpowiednio 2 i 5%) o tyle w okresie od sierpnia do października pojawiają się w 26-32% dni.

Bodźcowość termiczna określona na podstawie zmian temperatury powietrza między obserwacją południową a wieczorną (ryc. 19) charakteryzuje się w ciągu całego roku niewielką intensywnością i w 90% dni bodźce są „nieodczuwalne” lub „słabo odczuwalne”. Tylko w okresie od sierpnia do października następuje wyraźny spadek liczebności tych klas (do 80% dni w VIII a 70% w IX i X). W tych miesiącach wyraźnie wzrasta liczba dni, w których bodźce termiczne zaliczane są do „silnych” choć nie jest to wzrost duży (do 1-2%). Należy podkreślić brak klasy bodźców „bardzo silnych” w tej części doby.

W świetle zmian średniej dobowej temperatury powietrza z dnia na dzień (ryc. 19) aż 2/3 przypadków w analizowanym dwudziestolecu określone były jako dni z bodźcami „obojętymi”. Najczęściej, bo w 75% dni, obserwowano je w od lipca do września, a ich częstość wyraźnie spadła w listopadzie, grudniu i styczniu (ok. 55% dni). W tym okresie wzrasta frekwencja dni, w których pojawiają się najsilniejsze bodźce („znaczne” i „ostre”) – przypadają na co szósty dzień. Ich częstość maleje w okresie letnim kiedy to w sierpniu stanowią zaledwie 3% dni.



Ryc. 19. Częstość [w %] bodźców termicznych na podstawie zmian temperatury między godzinami 07-13 i 13-19 (wykresy: a i b; bodźce: A - nieodczuwalne, B – słabo odczuwalne, C – umiarkowane, D – silne, E - bardzo silne), T_i z dnia na dzień oraz różnic $T_{max} - T_{min}$ (wykresy: c i d; bodźce A – obojętne, B – odczuwalne, C – znaczne, D - ostre) w poszczególnych dniach we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 19. Frequency of occurrence [%] of thermal stimuli (differences between 07-13 CET: figure a and 13-19 CET: figure b; stimuli: A - imperceptible, B - weak, C - moderate, D - severe, E - very severe). Thermal stimuli based on differences between daily mean air temperature from day to day (figure c) and $T_{max} - T_{min}$ (stimuli: A – imperceptible, B - weak, C - moderate, D - severe) in Wrocław (1981-2000)

Na podstawie analizy natężenia bodźców termicznych w świetle amplitudy dobowej temperatury powietrza można wskazać okres od maja do sierpnia jako najmniej korzystny – wówczas co drugi dzień charakteryzuje się bodźcami „ostrymi” a zmiany „obojętne” występują w mniej niż 2% dniach. W listopadzie, grudniu i styczniu ta ostatnia klasa pojawia się w co 3-4 dniu.

Wilgotność powietrza wpływa na warunki bioklimatyczne w dość specyficzny sposób. Zarówno jej zbyt wysokie jak i zbyt niskie wartości mają znaczenie dla zachowania równowagi termicznej ciała człowieka. W przypadku wysokiej temperatury powietrza i nadmiernej ilości pary wodnej w powietrzu może dojść do ograniczenia oddawania nadmiaru ciepła przez ciało człowieka drogą ewaporacji, która w takich sytuacjach jest najistotniejsza (Błażejczyk, 1993, 2000, Błażejczyk, Krawczyk 1991, Dubicka, Sikora, 2003). Człowiek odczuwa wówczas taką sytuację jako pogodę parną. W lecie jej częstość w centrum miasta może sięgać 95% dni (Sikora, 2003).

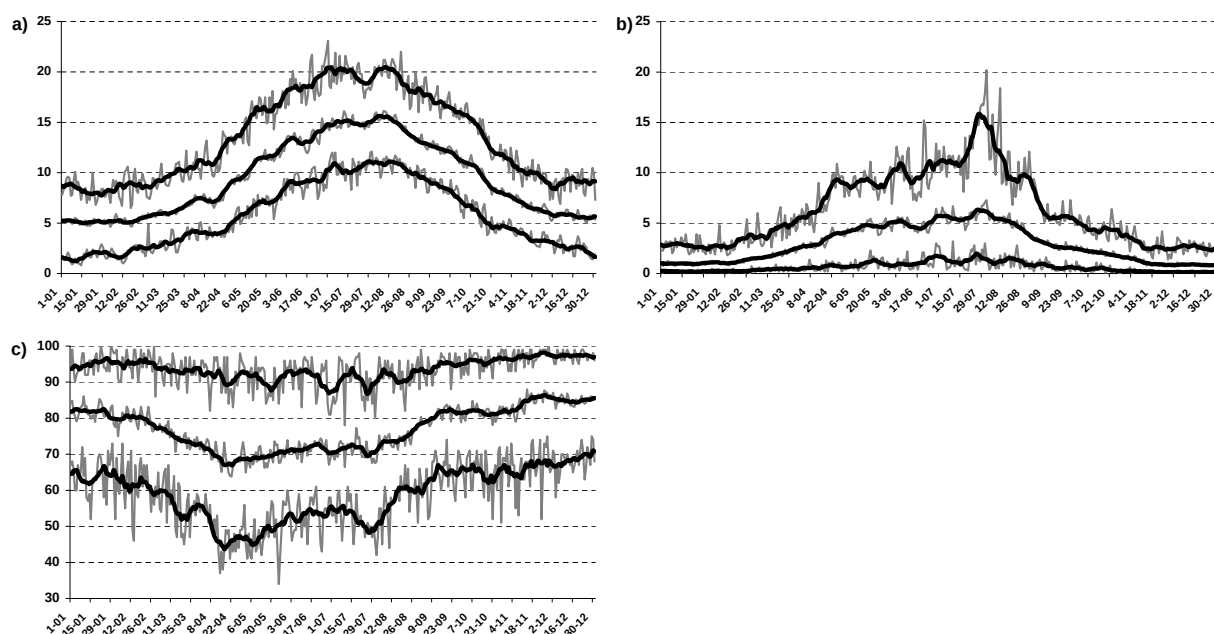
Do analizy wilgotności powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000 wykorzystano ciśnienie pary wodnej, niedosyt wilgotności i wilgotność względną.

Roczny przebieg ciśnienia pary wodnej wykazuje cechy charakterystyczne dla tej szerokości geograficznej (tabela 13): minimum w okresie styczeń-luty (5,2 hPa) i prawie trzykrotnie wyższe maksimum w okresie lata (Michna 1978; Woś, 1999; Dubicka, Rosiński, Szymanowski, 2003). Wzrost ciśnienia pary wodnej rozpoczyna się pod koniec lutego po prawie dwumiesięcznym okresie stabilizacji i trwa nieprzerwanie do I dekady kwietnia, kiedy to następuje około dziesięciodniowy okres spadku związany z częstymi w tym miesiącu adwekcjami chłodnych i ubogich w parę wodną mas powietrza arktycznego (Dubicka, 1994). Po tym niewielkim spadku następuje znaczny wzrost ciśnienia pary wodnej powodowany m.in. wzrostem temperatury powietrza by w lipcu i sierpniu osiągnąć maksimum (ryc. 20a). We Wrocławiu obserwuje się występowanie dwóch okresów z maksymalnymi wartościami ciśnienia pary wodnej, na początku lipca i sierpnia (przy czym to drugie jest o 0,6 hPa wyższe) oddzielonych od siebie niewielkim spadkiem ich wartości. Jest on szczególnie dobrze widoczny w rocznym przebiegu średnich maksymalnych wartości tego elementu.

Od połowy sierpnia aż do grudnia obserwuje się jego stopniowy spadek, kiedy to następuje jego wyrównanie. Średnia roczna wartość tego parametru wynosi 9,4 hPa a jego najniższa średnia dobowa wynosiła 0,8 hPa podczas, gdy najwyższa 23,1 hPa (tabela 14). Ciśnienie pary wodnej jest wykorzystane jako prosty

Tabela 13. Średnie miesięczne i roczne wartości ciśnienia pary wodnej (e), wilgotności względnej (U), niedosytu wilgotności (d) w głównych terminach obserwacyjnych oraz ich średnie dobowe we Wrocławiu w latach 1981-2000
 Table 13. Monthly and annual average of: vapour pressure (e, [hPa]), relative air humidity (U, [%]), saturation deficit (d, [hPa]) at 01, 07, 13, 19 CET and its daily average in Wrocław (1981-2000)

	e1	e7	e13	e19	ei	U1	U7	U13	U19	Ui	d1	d7	d13	d19	di
I	5,1	5,0	5,4	5,2	5,2	85	86	74	83	82	0,7	0,7	1,5	0,9	1,0
II	5,1	5,0	5,4	5,4	5,2	85	86	68	79	80	0,7	0,7	2,0	1,1	1,1
III	6,2	6,0	6,1	6,4	6,2	84	85	59	71	75	1,0	0,9	3,6	2,1	1,9
IV	8,1	7,8	7,5	8,0	7,8	83	80	51	62	69	1,3	1,5	6,2	3,9	3,2
V	11,2	10,9	10,5	11,2	10,9	87	77	51	62	69	1,3	2,5	8,8	5,7	4,6
VI	13,7	13,5	12,9	13,7	13,4	89	78	54	64	72	1,4	2,9	9,2	6,3	4,9
VII	15,1	15,0	14,1	15,3	14,9	89	79	52	64	71	1,5	3,2	11,1	7,1	5,7
VIII	14,9	14,9	14,1	15,6	14,9	90	84	52	71	74	1,3	2,2	11,2	5,3	5,1
IX	12,2	12,2	12,3	13,0	12,4	91	91	60	81	81	1,0	1,0	6,8	2,4	2,8
X	9,4	9,1	9,8	9,9	9,5	90	91	63	83	82	0,9	0,8	4,8	1,6	2,0
XI	6,7	6,6	7,1	6,9	6,8	89	90	74	85	84	0,7	0,6	2,1	1,0	1,1
XII	5,6	5,5	5,9	5,7	5,7	88	88	78	86	85	0,7	0,6	1,3	0,8	0,9
Rok	9,5	9,3	9,3	9,7	9,4	87	84	61	74	77	1,0	1,5	5,8	3,2	2,9



Ryc. 20. Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej (hPa; a), niedosytu wilgotności powietrza (hPa; b) i wilgotności względnej (%; c) we Wrocławiu w latach 1981-2000. Linie cienkie - średnie rzeczywiste, grube - średnie konsekutywne 11-dniowe, krzywe dolne reprezentują wartości minimalne, środkowe - średnie wartości a górne - wartości maksymalne

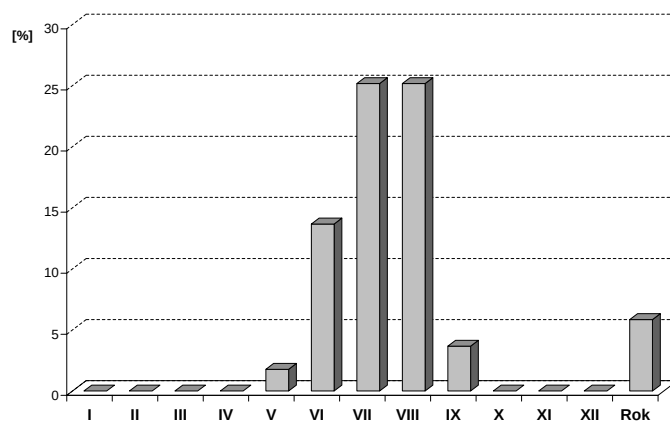
Fig. 20. Annual course of vapour pressure (hPa; a), saturation deficit (hPa; b) and relative humidity (%; c) in Wrocław (1981-2000; upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values)

Tabela 14. Ekstremalne wartości ciśnienia pary wodnej i niedosytu wilgotności oraz daty ich wystąpienia we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 14. Extreme values of: vapour pressure (e, [hPa]), saturation deficit (d, [hPa]) and its acquisition's time in Wrocław (1981-2000)

		e1	e7	e13	e19	ei
Min		0,6	0,5	0,9	0,7	0,8
	Data	14-sty-87	08-sty-85	14-sty-87	13-sty-87	14-sty-87
Max		23,0	22,5	25,1	27,2	23,1
	Data	03-sie-94	30-cze-90	01-lip-87	29-sie-92	01-lip-87
		d1	d7	d13	d19	di
Min		-0,9	-0,2	0,0	-0,1	0,0
	Data	30-kwi-99	19-lis-00	wielokrotnie	29-kwi-99	wielokrotnie
Max		10,9	11,2	38,4	28,3	20,2
	Data	19-lip-83	10-sie-92	30-lip-94	01-sie-94	01-sie-94

wskaźnik do oceny parności. Mianowicie dzień, w którym zaobserwowano wartość tego parametru równą lub większą niż 18,8 hPa (tzw. kryterium Sharlau'a) jest zaliczany do dni parnych. Średnio w roku 6% dni spełnia to kryterium dni parnych, przy czym występują one tylko w ciepłej połowie roku w okresie od maja do września a ich maksimum przypada na lipiec i sierpień, kiedy to co czwarty dzień jest dniem parnym (ryc. 21).



Ryc. 21 Częstość występowania [w %] dni parnych we Wrocławiu w latach 1981-2000

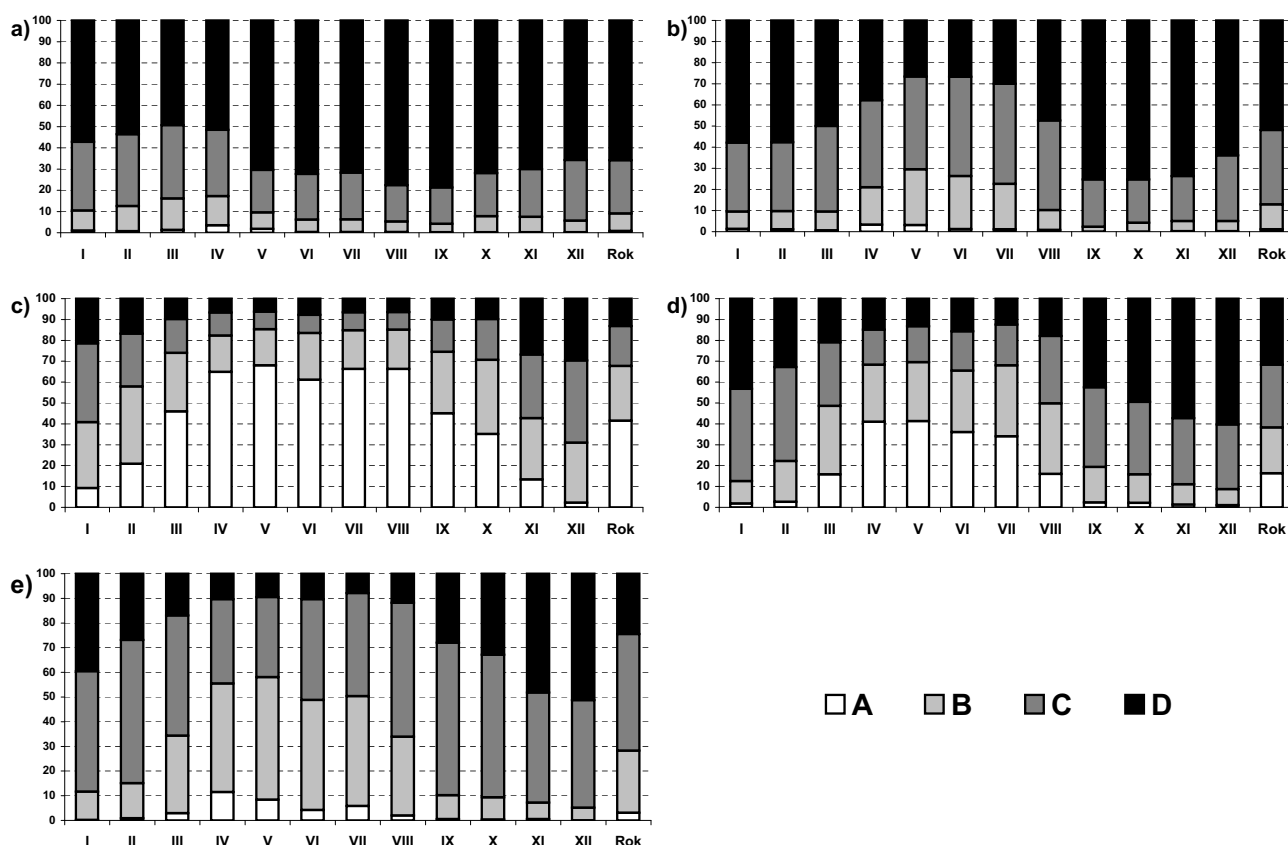
Fig. 21. Frequency of occurrence [%] of sultry days (vapour pressure ≥ 18.8 hPa; Sharlau's criterion) in Wrocław (1981-2000)

Innym wskaźnikiem zawartości pary wodnej jest niedosyt wilgotności powietrza (d). Roczny przebieg średnich wartości tego parametru we Wrocławiu jest podobny do przebiegu ciśnienia pary wodnej – z minimum w okresie zimowym i maksimum latem (ryc. 20). Jest to związane z rocznym przebiegiem temperatury powietrza, od której silnie zależy maksymalne ciśnienie pary wodnej w powietrzu. W grudniu niedosyt wilgotności wynosi 0,9 hPa a w lipcu 5,7 hPa. Najwyższe wartości niedosytu wilgotności w ciągu doby występują w czasie południowego terminu obserwacyjnego - od 1,2 hPa w grudniu do 11,2 hPa w sierpniu.

Powszechnie stosowanym wskaźnikiem oceny warunków wilgotnościowych atmosfery jest wilgotność względna. Wskaźnik ten jest jednak silnie uzależniony od temperatury powietrza, co może przysparzać pewnych trudności w jego interpretacji. Średnia roczna wartość tego parametru we Wrocławiu w latach 1981-2000 wynosiła 77% i była tym samym mniejsza o 1% od średniej z lat 1946-1980 (Dubicka, 1994). Najniższą wilgotnością względną w roku charakteryzowały się kwiecień i maj (69%) (tabela 13). W czerwcu obserwuje się jej niewielki wzrost (o 3%) a w lipcu ponowny spadek (o 1%). W okresie późniejszym dominuje stopniowy wzrost aż do osiągnięcia maksimum w grudniu (82%). Na podstawie danych z obserwacji terminowych można zauważyć, że w przebiegu dobowym najmniejsze wartości w ciągu całego roku przypadają na obserwację południową a najwyższe na termin 01 i 07. Maksimum w godzinach nocnych obserwuje się w okresie od kwietnia do sierpnia a w pozostałym okresie przypada ono na obserwację poranną.

Ocena warunków higrycznych w świetle skali odczuć wilgotności (Bokša, Boguckij, 1980) wykazała, że w ciągu roku średnio co drugi dzień jest klasyfikowany na podstawie średniej dobowej jako dzień z „powietrzem wilgotnym”. Powietrze „bardzo wilgotne” i „umiarkowanie wilgotne” pojawia się z analogiczną częstością – po 25% dni (ryc. 22). Ta pierwsza klasa wilgotności powietrza najczęściej występuje w czasie obserwacji nocnej (2/3 dni w roku) i porannej (w co drugim dniu) a najrzadziej w południowej (tylko w co dziesiątym dniu w roku).

Sytuacje z powietrzem zaklasyfikowanym jako „suche” obserwuje się w całym roku tylko w 11 dniach i to tylko w okresie od marca do sierpnia z maksimum przypadającym na kwiecień. Praktycznie nie występuje ono (tylko 0,8-1,1% dni) w czasie obserwacji nocnej (01) i porannej (07). Najczęściej klasa ta pojawia się w terminie południowym (13), gdzie stanowi ponad 40% przypadków w roku. W okresie od kwietnia do sierpnia w ponad 60% dniach o godz. 13 obserwuje się „powietrze suche”. Nie należy przy tym zapominać, że wilgotność względna jest wskaźnikiem dość nieobiektywnym (przez swoje silne uzależnienie od tempe-



Ryc. 22. Częstość [w %] odczuć wilgotności w głównych terminach obserwacyjnych (01 – a, 07 – b, 13 – c, 19 – d) i na podstawie średniej dobowej wilgotności względnej (e) we Wrocławiu w latach 1981-2000

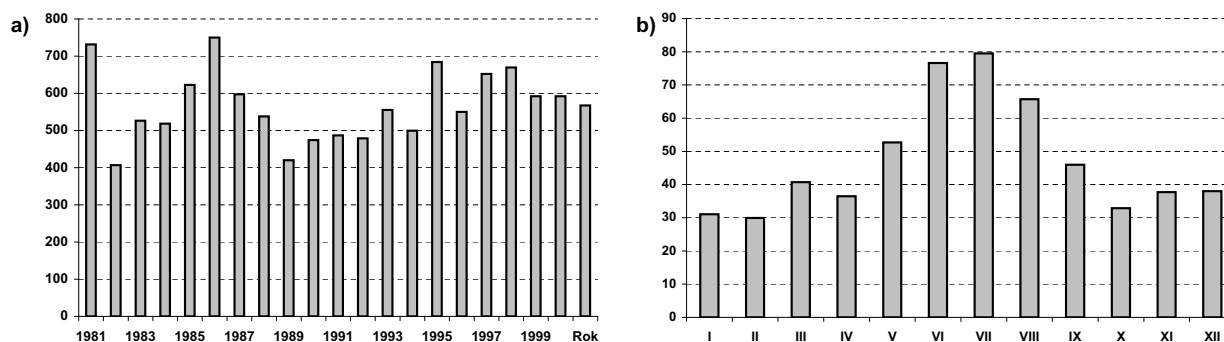
Fig. 22. Frequency of moisture feelings based on relative humidity observed at the main meteorological observations times (01 CET – a, 07 CET – b, 13 CET – c, 19 CET – d) and daily mean (e) in Wrocław (1981-2000)

ratury powietrza) i w wysokich temperaturach sytuacje klasyfikowane według tego kryterium jako powietrze suche przez inne wskaźniki (jak np. niedosyt fizjologiczny, temperatura ekwiwalentna) będą oceniane jako dni parne (np. kryterium Sharlau'a).

6.5. Opady atmosferyczne i pokrywa śnieżna

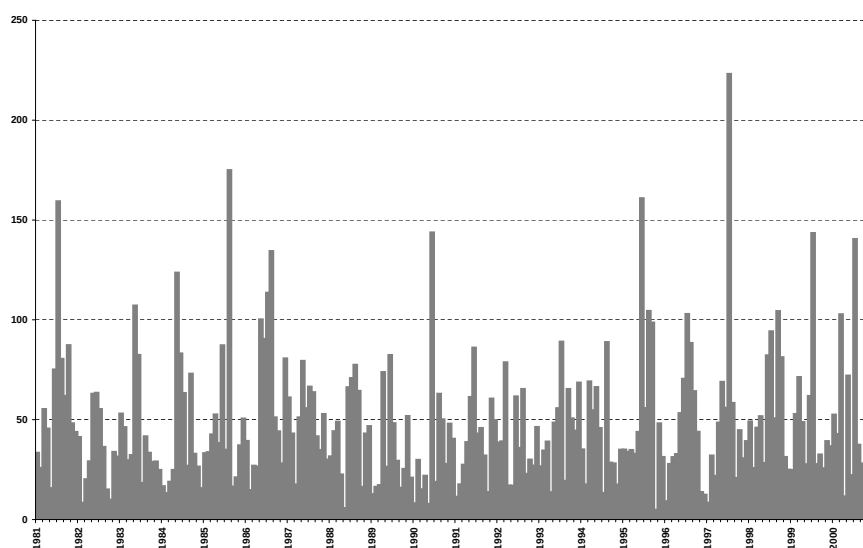
W opisie warunków bioklimatycznych nie może zabraknąć informacji o opadach atmosferycznych i pokrywie śnieżnej. We Wrocławiu w latach 1981-2000 średnia roczna suma opadów atmosferycznych wynosiła 567,3 mm i była o 22,6 mm niższa niż średnia z lat 1946-1980 (ryc. 23). Maksymalna roczna suma opadów wystąpiła w roku 1981 i wyniosła 731,5 mm a w następnym roku zaobserwowano najniższą roczną sumę opadu w analizowanym dwudziestoleciu, która wyniosła 407,0 mm. Maksymalna dobową wartość opadu - 57,9 mm - miała miejsce dnia 6.07.1999 roku. Lipiec odznacza się największą sumą opadów atmosferycznych i wynoszą one przeciętnie 79,5 mm (ryc. 23), a w roku 1997 (kiedy to Wrocław nawiedziła powódź) suma miesięczna wyniosła w nim 223,1 mm. Lipiec jest miesiącem, w którym najczęściej występują najintensywniejsze opady. Opady o sumie miesięcznej większej niż 100 mm wystąpiły 16 razy w analizowanym dwudziestoleciu z czego w lipcu miało to miejsce 6 razy, trzykrotnie w sierpniu i maju, dwukrotnie w czerwcu i po jednym razie we wrześniu i marcu (ryc. 24).

Charakterystyczne dla strefy klimatycznej, w której znajduje się Wrocław maksimum opadowe w miesiącach letnich i ponad dwukrotnie mniejsze miesięczne sumy w okresie zimy są wyraźnie widoczne (ryc. 24b). Mimo wysokich średnich sum opadów na okres ciepłej połowy roku przypada najwięcej dni bezopadowych – jest nim co drugi dzień w okresie od kwietnia do października. W chłodnej połowie roku co trzeci dzień charakteryzuje się występowaniem



Ryc. 23. Średnie roczne (a) i średnie miesięczne (b) sumy opadów [w mm] we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 23. Annual (a) and monthly (b) mean of precipitation [mm] in Wrocław (1981-2000)



Ryc. 24. Miesięczne sumy opadów [w mm] we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 24. Monthly sums of precipitation [mm] in Wrocław (1981-2000)

opadu w ilości śladowej (mniej niż 0,0 mm) i bardzo słabego (mniej niż 1,0 mm, lecz więcej niż 0,0 mm; tabela 15) podczas gdy w okresie ciepłej połowy roku takim opadem charakteryzuje się 23% dni. Opady bardzo silne występują prawie tylko w okresie od czerwca do sierpnia a opady silne (1% dni) od kwietnia do września.

Pokrywa śnieżna pełni ważną rolę w okresie zimowym. Dzięki swojemu niewielkiemu przewodnictwu cieplnemu tworzy doskonałą warstwę izolującą powierzchnię gleby przed nadmiernym przemarzaniem. Dodatkowo jest istotnym źródłem pary wodnej w atmosferze co odbywa się drogą sublimacji. Pokrywa śnieżna w istotny sposób wpływa na procesy energetyczne podłoża modyfikując m.in. jego albedo.

Tabela 15. Częstość występowania [w %] klas opadu na podstawie sum dobowych wg klasyfikacji Olechnowicz-Bobrowskiej (1970) we Wrocławiu w latach 1981-2000

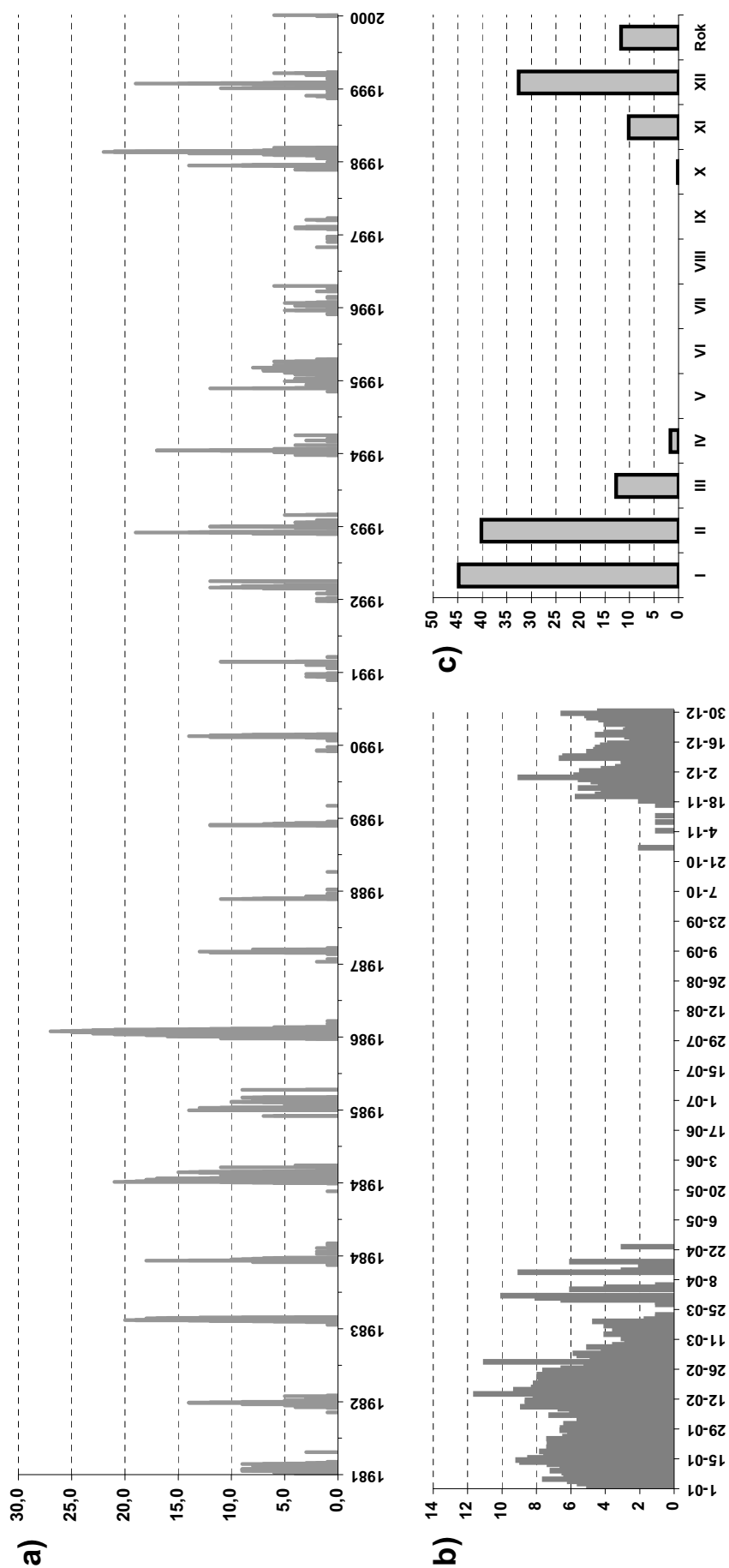
Table 15. Frequency [%] of precipitation's daily sum classes [mm] (according to Olechnowicz-Bobrowska classification, 1970) in

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
brak opadu	34,5	37,5	39,2	48,8	51,1	44,7	51,5	52,3	48,7	50,6	41,2	33,7	44,5
opad 0,0	12,9	12,0	11,6	10,5	8,5	6,8	6,1	7,6	6,2	10,3	10,8	12,4	9,7
opady bardzo słabe	26,5	23,7	22,3	16,7	13,9	16,2	13,9	13,4	19,7	18,9	22,5	25,0	19,4
opady słabe	21,8	20,7	19,7	17,0	15,5	16,7	14,8	12,4	16,3	14,4	18,3	21,8	17,4
opady umiarkowane	2,9	5,5	5,3	4,0	6,6	8,3	6,3	8,1	5,2	3,9	5,2	5,6	5,6
opady umiarkowanie silne	1,5	0,5	1,3	2,5	3,2	4,8	4,4	4,5	3,0	1,6	1,5	1,5	2,5
opady silne	0,0	0,0	0,5	0,5	0,6	1,2	1,3	1,0	0,7	0,3	0,5	0,0	0,5
opady bardzo silne	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5	1,3	1,8	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,4

We Wrocławiu pokrywa śnieżna w latach 1981-2000 obserwowana była średnio przez 43 dni i było to o dwa dni mniej niż w latach 1951-1980 (Chrzanowski, 1988). Najwcześniej pokrywa śnieżna utworzyła się 27.10.1997 roku a najpóźniej zanikła 23.04.1981 roku. Cechą charakterystyczną pokrywy śnieżnej we Wrocławiu jest nieciągłość w okresie jej zalegania (ryc. 25a) – utworzona po intensywnych opadach śniegu w krótkim czasie może dość szybko zaniknąć. Niewątpliwy wpływ ma na to miejska wyspa ciepła (Szymanowski, 2003) jak również niższe ciśnienie pary wodnej wewnątrz miasta niż na terenach przyległych (Dubicka i in., 2003). Pokrywa śnieżna we Wrocławiu może utworzyć się już pod koniec października, lecz liczba dni z pokrywą w tym miesiącu jest znikomo mała (0,1%). W październiku obserwowano ją średnio w co dziesiątym dniu, a w kolejnym miesiącu już w co trzecim. W styczniu i lutym pokrywa śnieżna występowała odpowiednio przez 14 i 12 dni, w marcu już trzykrotnie rzadziej a w kwietniu pojawiała się sporadycznie (0,5 dnia; ryc. 25b i c).

Ciągła pokrywa śnieżna w dwudziestoleciu 1981-2000 zaczynała się pojawiać w połowie listopada i w jego ostatniej pentadzie jej grubość przekraczała 8 cm, by następnie na początku grudnia zmaleć do 3 cm. Dopiero od okresu ostatniej pentady grudnia uzyskiwała ona grubość 5 i więcej cm, która utrzymywała się aż do początku marca (ryc. 25b). Od połowy lutego do początku marca pokrywa śnieżna osiągała największą grubość – przeciętnie 8 cm – a jej zanik przypada na koniec drugiej dekady marca.

Na podstawie analizy warunków bioklimatycznych przeprowadzonej w oparciu o dane meteorologiczne z lat 1981-2000 można stwierdzić, że podstawową cechą bioklimatu Wrocławia jest wyraźna sezonowość. Okres zimy przejawiający się niskim natężeniem bodźców świetlnych, w połączeniu z niskimi temperaturami powietrza ma dość negatywne oddziaływanie na człowieka. Dodatkowymi elementami wpływającymi na odczuwanie dyskomfortu są dość duże prędkości wiatru i pojawiające się wówczas dość często (w ok. 66% dni tych miesięcy) opady atmosferyczne (mżawka, deszcz, śnieg). W okresie letnim natomiast obserwuje się we Wrocławiu dość częste pojawianie się dni „gorących” i „upalnych”, które zdecydowanie negatywnie oddziałują na organizm człowieka mogąc powodować jego przegrzewanie się. Negatywną z punktu widzenia człowieka cechą okresu letniego są duże różnice między minimalną i maksymalną temperaturą powietrza. Dynamiczne zmiany pogody obserwowane wiosną i jesienią mogą również być negatywnie postrzegane przez ludzi - duże wahania zawartości tlenu atmosferycznego w powietrzu i duże zachmurzenie mają niebagatelny wpływ na samopoczucie.



Ryc. 25. Grubość pokrywy śnieżnej [w cm] w kolejnych dniach w latach 1981-2000 (a), średnia grubość pokrywy dla poszczególnych dni z okresu 1981-2000 (b) i częstość [w %] dni z pokrywą śnieżną (c) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 25. Daily snow cover depth [cm] (figure a) in period 1981-2000, annual course of daily mean snow cover depth (figure b) and frequency [%] of days with snow cover (figure c) in Wrocław (1981-2000)

7. Warunki bioklimatyczne Wrocławia w świetle wybranych kompleksowych wskaźników biometeorologicznych

Otoczające środowisko oddziałuje na organizm człowieka w sposób ciągły i niezwykle skomplikowany. Bodźce docierające do niego a mające charakter biologiczny (np. bakterie, roztocza, wirusy), chemiczny (wszelkiego rodzaju substancje chemiczne) i fizyczny (temperatura powietrza czy promieniowanie słoneczne) wpływają nań w sposób kompleksowy tworząc zespoły oddziaływań. Reakcja na nie poszczególnych osób może być skrajnie różna i jest uzależniona od walorów genotypu.

Próby określenia warunków biometeorologicznych jakie cechują badany teren nie mogą poprzestać na analizie przebiegu elementów meteorologicznych oraz częstości występowania określonych sytuacji pogodowych. W biometeorologii stosuje się wskaźniki uwzględniające, w zależności od swej specyfiki, różne elementy meteorologiczne. Niektóre z nich mają tylko wymiar fizyczny i nie uwzględniają interakcji organizmu (np. wielkość ochładzająca powietrza – H, temperatura ekwiwalentna – T_e , itd), lecz rozwijane od końca lat 60-tych XX wieku modele wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a środowiskiem pozwalają uzyskiwać wskaźniki, które w coraz dokładniej opisują złożone relacje układu człowiek-środowisko.

W analizie klimatu odczuwalnego Wrocławia zostaną uwzględnione następujące wskaźniki biometeorologiczne:

- temperatura ekwiwalentna (T_e),
- temperatura efektywna (T_E),
- wielkość ochładzająca powietrza (H),
- przewidywana termoizolacyjność odzieży (I_{clp}),
- temperatura odczuwalna (STI),
- wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI),
- wskaźnik stresu cieplnego (HSI).

Ponadto przedstawiono analizę składowych bilansu energetycznego układu człowiek-środowisko w oparciu o model MENEX_2002 (Błażejczyk K., Błażejczyk M. 2003)

Dane do obliczeń pochodzą z obserwacji i pomiarów wykonywanych w terminie południowym.

7.1. Temperatura ekwiwalentna (T_e)

Temperatura ekwiwalentna (T_e) jest jednym z najstarszych wskaźników biometeorologicznych. Uwzględnione przy wyliczaniu elementy meteorologiczne (t i e) znacznie ograniczają możliwości jej stosowania do oceny klimatu odczuwalnego, lecz może posłużyć do identyfikowania stanów parności i występowania warunków hipertermicznych.

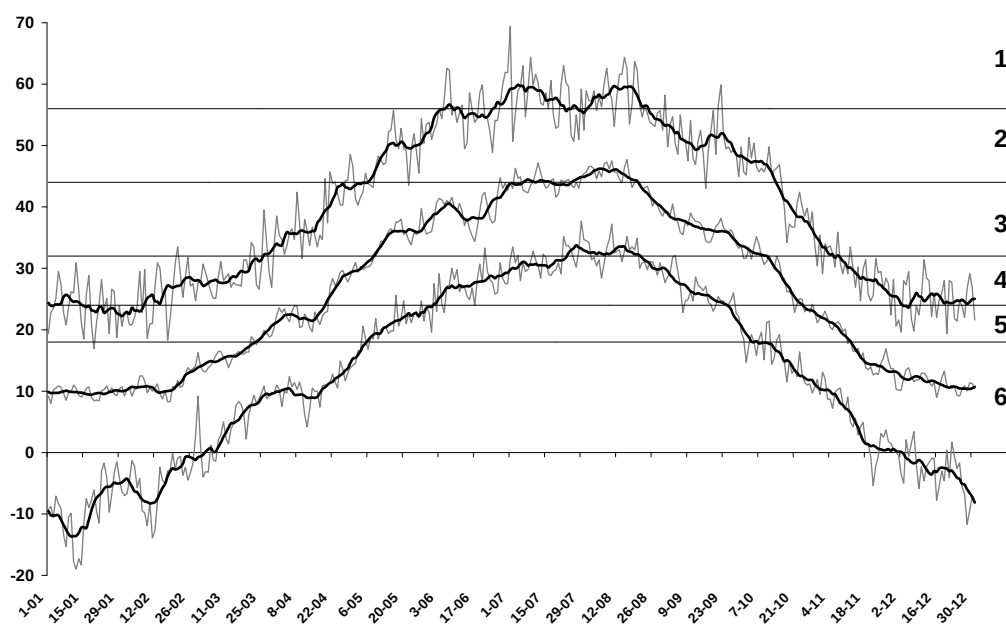
Średnia roczna wartość T_e w latach 1981-2000 wyniosła we Wrocławiu $26,5^{\circ}\text{C}$ (tabela 16) co w skali odczuć Leitsnera lokuje się w klasie „lekko chłodno”. Okres od listopada do marca jest w świetle średnich miesięcznych wartości tego wskaźnika określany przez klasę odczuć „zimno” aczkolwiek w niektórych przypadkach mogą pojawiać się wtedy dni z odczuciem „komfortu”.

Tabela 16. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne temperatury ekwiwalentnej (Te) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 16. Monthly and annual average of Equivalent Temperature (Te, [°C]) in Wrocław (1981-2000)

Te	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	-19,0	-13,9	-4,0	4,2	14,5	22,8	28,0	27,7	19,6	9,5	-5,4	-11,7	-19,0
Wielkość maksymalna	30,9	33,5	39,5	48,6	55,7	62,6	69,4	64,4	59,9	51,3	35,9	31,4	69,4
Średnia arytmetyczna	9,8	11,0	16,7	24,2	34,3	39,8	44,1	44,1	36,6	28,1	16,9	11,3	26,5
Mediana	11,0	11,0	16,4	23,9	34,4	38,7	44,3	43,8	35,4	27,7	17,0	11,0	26,2
Występująca najczęściej	12,2	14,5	17,3	27,5	38,2	38,5	42,4	44,6	33,5	27,1	20,6	10,2	33,7
Odchylenie standardowe	8,3	8,1	7,1	8,2	8,2	8,1	7,3	7,5	7,4	8,6	7,4	7,3	14,8

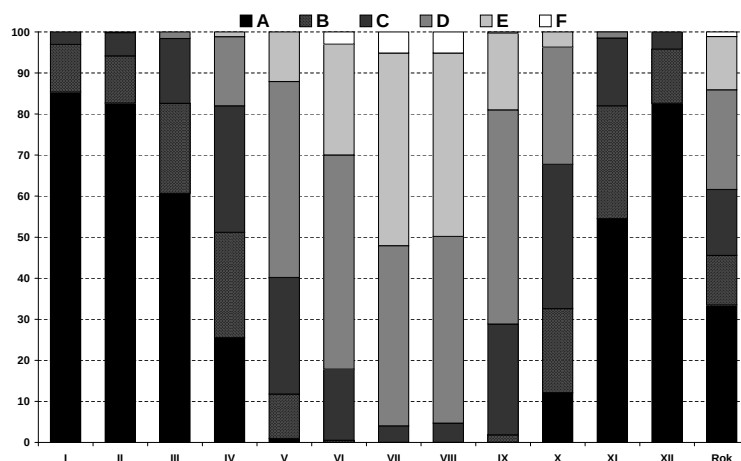
Najwyższe średnie wartości Te przypadają na lipiec i sierpień (44,1°C) co lokuje te miesiące w klasie „lekko parno”. Trzy miesiące w roku (maj, czerwiec i wrzesień) zostały zaklasyfikowane do klasy odczuć „komfortowo”. Najchłodniejszym miesiącem był styczeń ze średnią miesięczną lokującą się w klasie „zimno”. Dni identyfikowane przez Te jako „parne” pojawiają się w okresie od początku czerwca do końca drugiej dekady września (w tym ostatnim niezwykle rzadko; ryc. 26). Wówczas nie obserwuje się również sytuacji z odczuciem „zimno” a „chłodno” pojawia się tylko w czerwcu i we wrześniu (sporadycznie).



Ryc. 26. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości temperatury ekwiwalentnej (Te; °C) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Leitsnera: 1 – parno, 2 – lekko parno, 3 – komfortowo, 4 – lekko chłodno, 5 – chłodno, 6 – zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 26. Annual course of Equivalent temperature (Te; °C): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Leitsner's scale): 1 - sultry, 2 - slightly sultry, 3 - comfortable, 4 - slightly cool, 5 - cool, 6 - cold

W lipcu i sierpniu co drugi dzień jest klasyfikowany jako dzień „lekko parny” i „parny” (ta druga klasa pojawia się jednak dziewięciokrotnie rzadziej niż pierwsza) a pozostałe dni są określane jako „komfortowe” (tylko 4-5% dni jest „lekko chłodnych”; ryc. 27). W maju, czerwcu i wrześniu blisko 50% dni jest również „komfortowych”, lecz większy udział dni z odczuciem „lekko chłodno” sprawia, że nie jest to okres szczególnie obciążający organizm człowieka stresem cieplnym.



Ryc. 27. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego temperatury ekwiwalentnej (Te) w skali wg Leitsnera (A – zimno, B – chłodno, C – lekko chłodno, D – komfortowo, E – lekko parno, F – parno) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 27. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Leitsner's scale) based on Equivalent temperature in Wrocław (1981-2000): A – cold, B – cool, C – slightly cool, D – comfortable, E – slightly sultry, F – sultry

W chłodnej porze roku (XI-III) kiedy to przeważają dni z odczuciem „zimno” może nastąpić nadmierne wyzębienie organizmu. Proces ten jest szczególnie intensywny w miesiącach zimowych (XII, I i II) kiedy to ponad 80% dni jest identyfikowanych przez Te jako „zimne”.

7.2. Temperatura efektywna (TE)

Temperatura efektywna (TE) jest wskaźnikiem, który wg Kozłowskiej-Szczęsnej i in. (1991, 1997) służy do oceny łącznego wpływu temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru „na kształtowanie się odczuwalności cieplnej człowieka, zarówno ubranego, jak i rozebranego do pasa przebywającego w cieniu”. Uwzględnienie ruchu powietrza przy wyliczaniu TE sprawia, że dostarcza ona wiarygodniejszych informacji o oddziaływaniu warunków meteorologicznych na organizm człowieka. Do oceny termicznego znaczenia dla człowieka poszczególnych wartości TE może służyć skonstruowana przez Michajłowa (Bajbakowa i in., 1963) skala odczuć cieplnych.

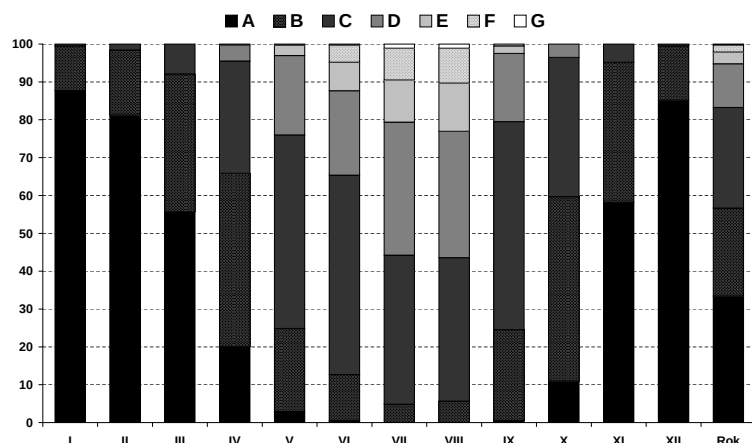
Średnia roczna temperatura efektywna w czasie południowej obserwacji wynosi we Wrocławiu 6,2°C (tabela 17) co lokuje się w klasie odczuć „zimno” a przedział przyjmowanych w ciągu roku wartości waha się w zakresie od -32,2°C („bardzo zimno”) do 28,8°C („bardzo gorąco”) i był on porównywalny z wynikami uzyskanymi dla Gdyni (Owczarek, 2003). Jednakże w tej ostatniej miejscowości średnia roczna wartość TE była o ponad 6°C niższa. Podobną wartość jak dla Wrocławia (pomimo rozpatrywania innego okresu) uzyskano dla Krakowa (średnia roczna TE z lat 1971-1980 wynosiła 5,9°C; Mroccka, 1992)

Klasa „bardzo zimno” we Wrocławiu w latach 1981-2000 była obserwowana w południe w 30% dni roku (ryc. 28), lecz występowała prawie tylko w okresie od października do maja (we wrześniu i czerwcu pojawiała się sporadycznie – w 0,5% dni; ryc. 28). Odczucia klasyfikowane jako „zimno” występowały w ciągu całego roku, lecz

Tabela 17. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne temperatury efektywnej we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 17. Monthly and annual average of Effective Temperature (TE, [°C]) in Wrocław (1981-2000)

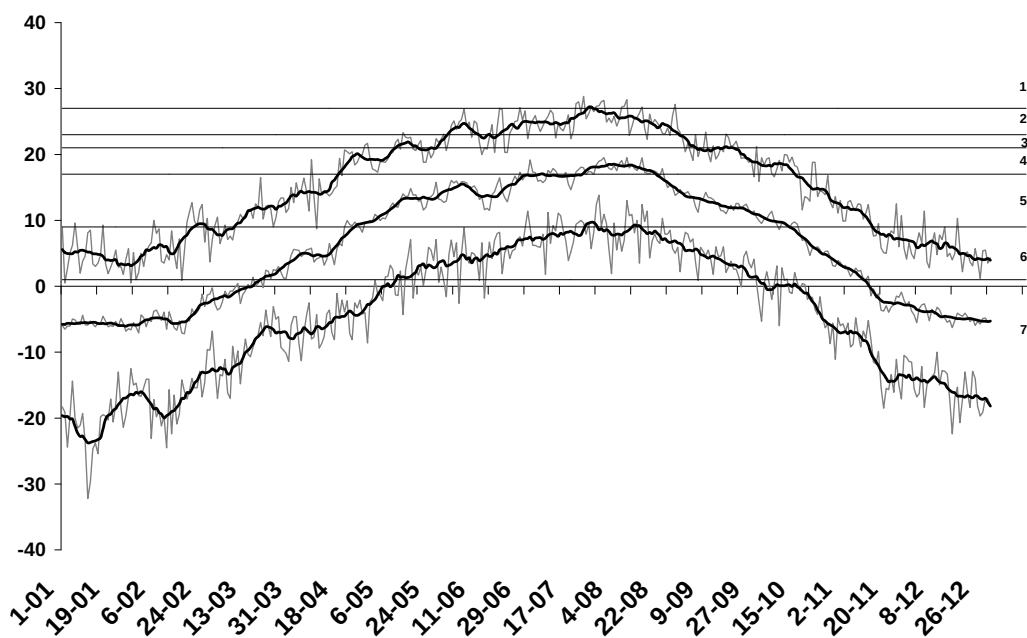
TE	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	-32,2	-24,5	-17,0	-11,3	-4,3	-2,6	1,8	1,9	-0,1	-11,1	-18,5	-22,4	-32,2
Wielkość maksymalna	9,6	12,7	16,5	21,7	23,3	27,1	28,8	28,3	23,4	20,0	13,0	11,4	28,8
Średnia arytmetyczna	-5,8	-4,5	0,3	6,4	12,5	14,8	17,1	17,3	12,5	7,7	-0,3	-4,6	6,2
Mediana	-5,2	-4,2	0,4	6,5	12,9	14,8	17,6	17,8	12,2	7,6	-0,3	-4,7	6,8
Występująca najczęściej	-6,0	-3,2	-5,6	9,8	12,3	12,0	19,3	18,9	15,5	11,4	-1,9	-6,1	14,5
Odchylenie standardowe	6,3	6,2	5,9	6,2	5,5	5,1	4,7	4,8	4,7	5,4	5,8	5,5	10,1



Ryc. 28. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego TE (w skali Michajłowa: A - bardzo zimno, B - zimno, C - chłodno, D - orzeźwiająco, E - komfortowo, F - ciepło, G - gorąco) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 28. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Michajłowa scale) based on Effective temperature in Wrocław (1981-2000): A – very cold, B – cold, C – cool, D – fresh, E – comfortable, F – warm, G – hot

najczęściej w kwietniu i październiku (w co drugim dniu) a najrzadziej w lipcu i sierpniu (ok. 5% dni). Co czwarty dzień roku charakteryzował się warunkami termicznymi ocenianymi jako „chłodno”. Najczęściej było tak w maju, czerwcu i wrześniu (ponad 50% dni) a w miesiącach zimowych (XI, XII i I) obserwowano je bardzo rzadko (0,5-1,6% dni). Miesiącami o najwyższej średniej TE są, podobnie jak w przypadku T_e , lipiec i sierpień, lecz wartości te lokują się zaledwie na dolnej granicy klasy odczuć termicznych „orzeźwiająco” - klasę tę obserwuje się w co trzecim dniu w tych miesiącach (ryc. 28). Jej występowanie ogranicza się tylko do okresu od kwietnia do października, aczkolwiek w tych ostatnich występowała ona w 3,5-4,2% przypadków. Dni z klasą „komfortowo” występowały tylko w cieplej połowie roku (IV do IX) a ich średni roczny udział kształtował się na poziomie 3% dni.



Ryc. 29. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości temperatury efektywnej (TE; °C) z prawej strony zaznaczono przedziały skali odczuć termicznych (wg Michajłowa; 1 - gorąco, 2 - ciepło, 3 - komfortowo, 4 - orzeźwiająco, 5 - chłodno, 6 - zimno, 7 - bardzo zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwtywne 11-dniowe)

Fig. 29. Annual course of Effective temperature (TE; °C): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Michajłowa classification): 1 - hot, 2 - warm, 3 - comfortable, 4 - fresh, 5 - cool, 6 - cold, 7 - very cold

Pojawianie się klasy odczuć „ciepło” i „gorąco” ograniczone było do miesięcy letnich (VI, VII i VIII) a ich łączny udział w całym roku wynosił 2,1% dni.

Z przebiegu 20-letnich średnich wartości z obserwacji południowej wynika, że w ciągu całego roku TE przyjmuje wartości mieszczące się w zakresie czterech klas odczuwalności (ryc. 29). Od początku II dekady listopada do końca II dekady marca średnie wartości wskazują na warunki „bardzo zimne”. Następnie przez ok. 30 dni obserwować można warunki „zimne”. Od połowy III dekady kwietnia aż do początku lipca średnie wartości TE mieszczą się w klasie „chłodno” a kolejne trzy tygodnie (do połowy ostatniej dekady lipca) kształtują się one na granicy między klasą „chłodno” a „orzeźwiająco”. Średnia TE w tej ostatniej klasie odczuć ciepłych utrzymuje się aż do połowy ostatniej dekady sierpnia, by następnie rozpocząć regularny spadek aż do połowy października - wówczas osiągane są przez nią wartości mieszczące się w klasie „chłodno”. Od połowy października do końca I dekady listopada średnie wartości TE wskazują na występowanie warunków „zimnych”.

7.3. Wielkość ochładzająca powietrza (H)

Wielkość ochładzająca powietrza (H) może być wyznaczana w sposób empiryczny za pomocą katatermometru Hilla lub w przypadku dysponowania odpowiednimi danymi meteorologicznymi można wyliczać ją za pomocą wzorów opracowanych przez L. Hilla (1914). W niniejszym opracowaniu posłużono się wzorami do wyliczenia tzw. ochładzania suchego, które wykorzystano do przedstawienia częstości występowania klas odczuć termicznych w skali skonstruowanej przez Kacvinsky'ego i Petroviča. Wielkość ochładzająca powietrza ma jednakże wymiar fizyczny i nie uwzględnia reakcji organizmu na zmieniające się warunki meteorologiczne.

Średnia roczna wielkość ochładzająca powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000 wynosiła $772,8 \text{ W/m}^2$ – w skali odczuć skonstruowanej przez Kacvinsky'ego i Petroviča jest to klasa „przyjemnie chłodno” (tabela 18). Podobną wartość zaobserwowano w Krakowie - średnia wieloletnia z obserwacji południowej była tylko o 15 W/m^2 niższa (Mroccka, 1992). Natomiast z badań przeprowadzonych w Poznaniu (Tamulewicz, 1999) wynika, że ta średnia była tam prawie o 440 W/m^2 wyższa - może to być spowodowane różnymi okresami uwzględnionymi w opracowaniach (w Poznaniu wykorzystano dane z lat 1951-1990).

Tabela 18. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wielkości ochładzającej powietrza (H) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 18. Monthly and annual average of Cooling Power (H, [°C]) in Wrocław (1981-2000)

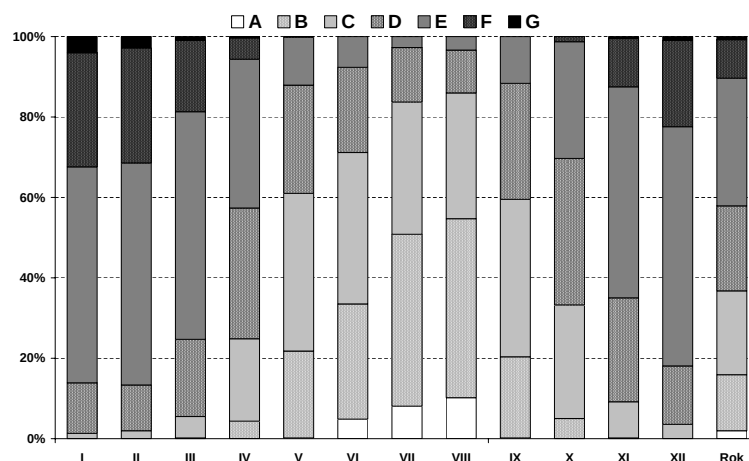
H	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	504,3	535,2	342,3	229,7	198,7	38,0	-15,5	-18,2	192,2	289,0	417,6	473,6	247,4
Wielkość maksymalna	2099,1	2430,5	1881,0	1732,8	1314,3	1217,3	1142,4	1086,2	1159,9	1546,3	1740,8	1954,5	1590,6
Średnia	1149,5	1137,6	1030,8	818,3	595,8	519,9	441,7	430,2	593,6	742,5	961,0	1071,5	772,8
Mediana	1126,7	1130,6	1032,6	792,9	571,3	488,7	416,7	400,6	578,1	733,0	960,6	1068,8	756,8
Występująca najczęściej	1084,5	1157,2	634,9	1022,4	545,1	329,4	335,0	439,7	471,3	593,2	931,7	1407,3	727,8
Odchylenie standardowe	283,4	271,8	261,4	258,3	205,4	201,9	189,8	190,9	189,1	215,0	253,6	248,8	212,6

Najwyższa średnia miesięczna wartość H przypada na styczeń ($1149,5 \text{ W/m}^2$) a najniższa obserwowana jest w sierpniu ($430,2 \text{ W/m}^2$) - podobnie jak w Krakowie i Poznaniu (w tym ostatnim mieście są wyższe).

Występujące w ciągu roku ekstrema mogą przyjmować jednak zróżnicowane wartości: od $2430,5 \text{ W/m}^2$ (13.02.1994; „nieznośnie zimno i chłodno”) do $-18,2 \text{ W/m}^2$ (klasa „upalnie”, miało to miejsce dnia 10.08.1992; ujemny znak sugeruje występowanie temperatury powietrza, która powoduje ogrzanie katatermometru).

W okresie od listopada do marca dominującą klasą odczuć było „chłodno” (od 52 do 60% dni w tych miesiącach, ryc. 30). W kwietniu zaobserwować można znaczący wzrost częstości dni z warunkami neutralnymi termicznie dla organizmu człowieka („przyjemnie chłodno” i „łagodnie”), które występowały wówczas w co drugim dniu. Od maja rozpoczyna się okres stopniowego wzrostu obciążenia cieplnego – co piąty dzień określany był jako „gorący”. W kolejnym miesiącu zaczynają pojawiać się odczucia „upalnie”, które wraz z tą poprzednią klasą obserwuje się w co trzecim dniu czerwca. Lipiec i sierpień to okres występowania najsilniejszych bodźców termicznych - wówczas w co drugim dniu obserwuje się w czasie południowej obserwacji klasy odczuć „gorąco” i „upalnie”.

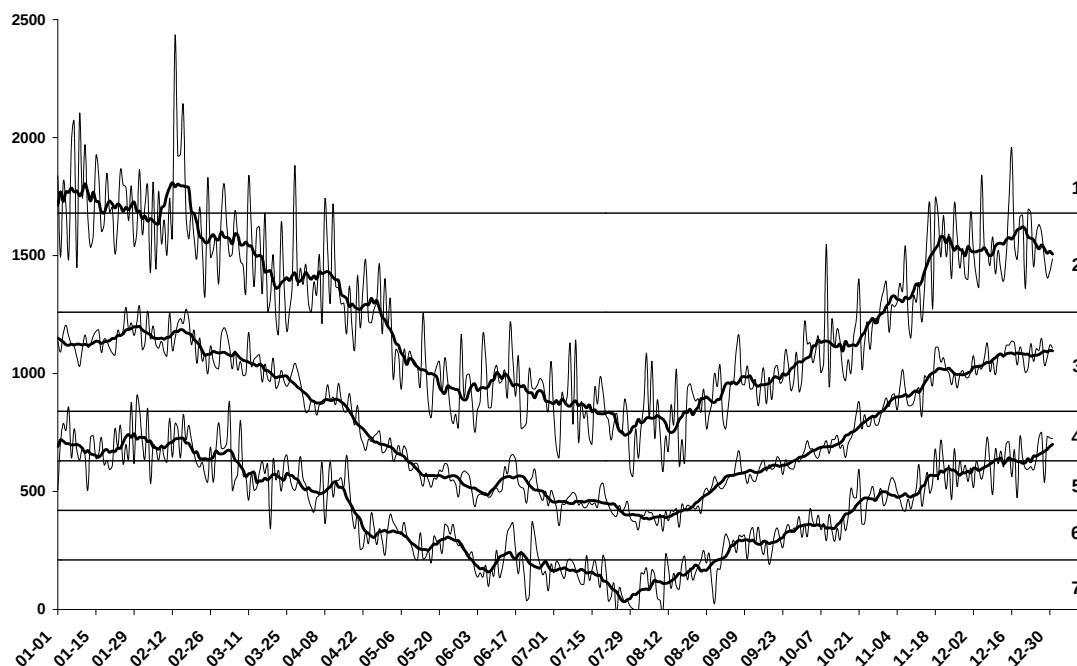
Analizując miesięczne częstości występowania poszczególnych klas odczuć termicznych wyznaczonych w oparciu o wielkość ochładzającą powietrza zauważyć można niezwykle podobieństwo warunków panujących w maju i wrześniu – wszystkie klasy występują w tych miesiącach z taką samą częstością.



Ryc. 30. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wielkości ochładzającej powietrza (H) w skali według Kacvinsky'ego i Petroviča we Wrocławiu w latach 1981-2000 (litery oznaczają: A - upalnie, B - gorąco, C - łagodnie, D - przyjemnie chłodno, E - chłodno, F - zimno, G - bardzo zimno)

Fig. 30. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale) based on cooling power (H) in Wrocław (1981-2000): A – very hot, B – hot, C – neutral, D – slightly cool, E – cool, F – cold, G – very cold

W średnim przebiegu rocznym wartości ochładzającej powietrza w latach 1981-2000 (ryc. 31) można zaobserwować występowanie trzech okresów w roku: pierwszy to czas, kiedy organizm człowieka poddawany jest umiarkowanemu stresowi zimna (klasa „chłodno”) i trwa on od początku listopada do połowy



Ryc. 31. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wielkości ochładzającej powietrza ($H; W/m^2$) z zaznaczonymi (prawa część wykresu) przedziałami skali odczuć termicznych (wg Kacvinsky'ego i Petroviča: 1 - nieznosnie zimno i wietrznie, 2 - bardzo zimno, 3 - zimno, 4 - chłodno, 5 - przyjemnie chłodno, 6 - łagodnie, 7 - gorąco, 8 - upalnie) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwtywne 11-dniowe)

Fig. 31. Annual course of Cooling power ($H; W/m^2$): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale): 1 - extremely cold and windy, 2 - very cold, 3 - cold, 4 - cool, 5 - slightly cool, 6 - neutral, 7 - hot, 8 - very hot

kwietnia. Drugi charakteryzuje się warunkami termoneutralnymi (od połowy kwietnia do początku trzeciej dekady lipca i od końca sierpnia do końca października) a pozostałe dni stanowią trzeci okres, w którym zaobserwować można dość znaczne natężenie bodźców termicznych decydujących o występowaniu stresu cieplnego.

7.4. Przewidywana termoizolacyjność odzieży (Iclp)

Przewidywana termoizolacyjność odzieży (Iclp; w clo) pozwala na przybliżone „określenie całkowitej izolacyjności odzieży oraz otaczającej je cienkiej, przypowierzchniowej warstwy powietrza” (Kozłowska-Szczęśna red., 1997) mającej zapewnić komfort termiczny człowiekowi w danych warunkach meteorologicznych. Odczucia cieplne na podstawie Iclp zostały obliczone w skali podanej przez Błażejczyka. Iclp zalecany jest szczególnie do oceny warunków biometeorologicznych w niskiej temperaturze powietrza.

Średnia roczna wartość Iclp we Wrocławiu w analizowanym okresie w trakcie południowej obserwacji wynosiła 1,0 clo, co w skali odczuć termicznych mieści się w klasie odczuć „komfortowo” (tabela 19). W tej klasie mieszczą się również średnie miesięczne wartości Iclp w kwietniu i październiku. W ciepłej porze roku, w okresie od maja do września, wskaźnik ten przyjmuje wartości, które są zaklasyfikowane jako „ciepło”. Natomiast w chłodnej porze roku, od listopada do marca wskazuje on na występowanie warunków określanych jako „chłodno”.

Tabela 19. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości przewidywanego współczynnika termoizolacyjności odzieży (Iclp) we Wrocławiu w latach 1981-2000

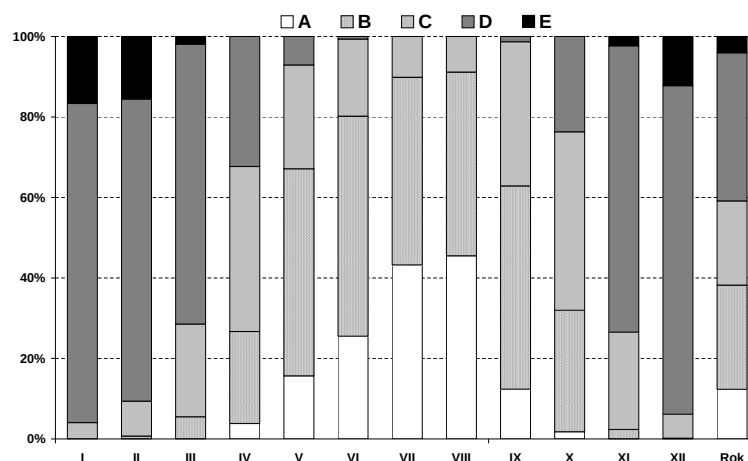
Table 19. Monthly and annual average of Insulation Predicted (Iclp, [Clo]) in Wrocław (1981-2000)

Iclp	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	0,8	0,6	0,3	0,0	-0,1	-0,5	-0,6	-0,6	-0,1	0,1	0,6	0,7	-0,6
Wielkość maksymalna	3,0	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,1	1,1	1,3	1,8	2,2	2,6	3,0
Średnia arytmetyczna	1,7	1,6	1,3	1,0	0,6	0,5	0,3	0,3	0,6	0,9	1,4	1,6	1,0
Mediana	1,6	1,6	1,3	1,0	0,6	0,5	0,3	0,3	0,7	0,9	1,4	1,6	1,0
Występująca najczęściej	1,5	1,6	1,3	1,0	0,6	0,6	0,2	0,1	0,7	1,0	1,4	1,7	1,4
Odchylenie standardowe	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6

W ciągu całego roku dominującą klasą odczuć jest „chłodno” (37% dni), lecz inne klasy świadczące o intensywnym stresie zimna pojawiają się dość rzadko – 4% dni w roku jest klasyfikowanych jako „zimno” (ryc. 32). Ta pierwsza klasa jest wyraźnie dominująca w okresie chłodnej połowy roku od listopada do marca (70-80% dni w tych miesiącach). Drugą pod względem częstości pojawiania się w ciągu całego roku jest klasa „ciepło” (26% dni) i w okresie od maja do września pojawia się ona w co drugim dniu.

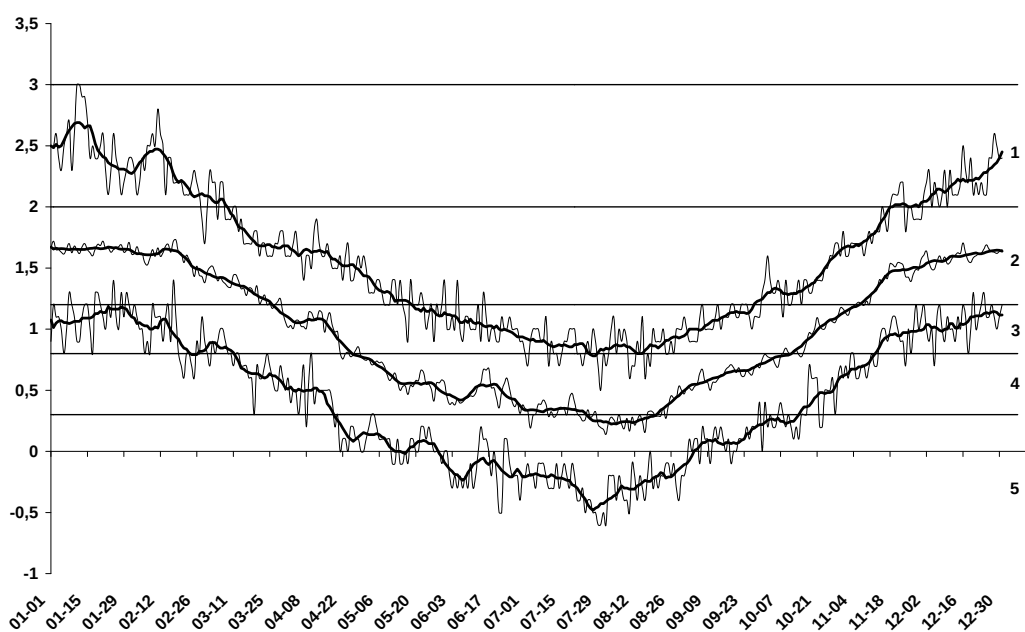
W świetle tego wskaźnika w ciągu całego roku w 12% dni warunki termiczne określić można jako „bardzo ciepło” (pojawiające się wartości ujemne wynikają ze specyfiki wskaźnika – dostosowanego do warunków chłodnych) a w miesiącach letnich, lipcu i sierpniu, występują one w około 45% dni – w tych miesiącach nigdy nie występują klasy „chłodno” lub „zimno”. Odczucia „chłodno” pojawiają się w okresie od września do maja a ich maksimum przypada na grudzień (82% dni).

Średnie wieloletnie wartości Iclp mogą być podstawą do wydzielenia sezonów termicznych (Kozłowski, 2000). We Wrocławiu najdłuższym, ciągłym okresem jest „chłodny”, który trwa od 10.11 do 23.03 (ryc. 33). Po nim następuje okres z sezonem określanym jako „komfortowy”: trwa od 24.03 do 26.04. Pojawia się on w roku dwukrotnie - po raz kolejny w okresie od 12.10 do 9.11. Stosunkowo długi okres trwania ma sezon z warunkami termicznymi określanymi jako „ciepło” i jest on obserwowany w dwóch okresach: 27.04 do 25.07 a następnie od 22.08 do 11.10. Ten stosunkowo długi okres „ciepła” jest rozdzielony sezonem z warunkami „bardzo ciepłymi” (26.07-21.08).



Ryc. 32. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wartości przewidywanej termoizolacyjności odzieży (Iclp) (w skali skonstruowanej przez Błażejczyka: A - bardzo ciepło, B - ciepło, C - komfortowo, D - chłodno, E - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 32. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Insulation predicted index (Iclp) in Wrocław (1981-2000): A – very warm, B – warm, C – neutral, D – cool, E – cold



Ryc. 33. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości przewidywanej termoizolacyjności odzieży (Iclp; Clo) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Błażejczyka: 1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - komfortowo, 4 - ciepło, 5 - bardzo ciepło) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwtywne 11-dniowe)

Fig. 33. Annual course of Insulation predicted index (Iclp; Clo): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral, 4 - warm, 5 - very warm

7.5. Temperatura odczuwalna (STI)

Temperatura odczuwalna (STI) jest wskaźnikiem opracowanym przez Błażejczyka (2002, 2004) a obliczana jest z uwzględnieniem reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka na zmieniające się warunki meteorologiczne. Wskaźnik STI może być wykorzystywany w różnych warunkach termicznych środowiska.

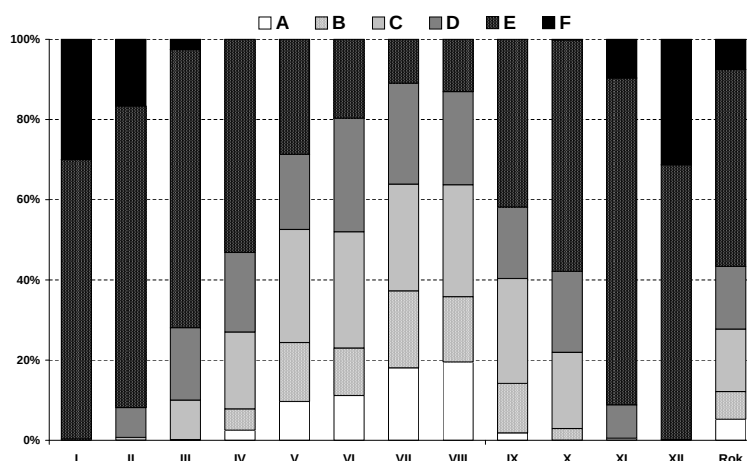
We Wrocławiu w latach 1981-2000 w czasie południowej obserwacji STI mieściła się w zakresie od $-22,8^{\circ}\text{C}$ (styczeń) do $77,8^{\circ}\text{C}$ (lipiec) a jej średnia roczna wartość to 22°C (górna granica klasy „chłodno”). Najniższą średnią miesięczną STI odnotowuje się w grudniu ($2,7^{\circ}\text{C}$ – klasa „chłodno”) a najwyższą w lipcu ($40,3^{\circ}\text{C}$ – „ciepło”). W klasie odczuć „ciepło” mieszczą się średnie temperatury odczuwalnej z czterech kolejnych miesięcy cieplej pory roku poczynając od maja (tabela 20). Zbliżone wartości temperatury odczuwalnej uzyskano w Warszawie, lecz okres poddany analizie był tam znacznie krótszy (Błażejczyk, 2002).

Tabela 20. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości temperatury odczuwalnej (STI) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 20. Monthly and annual average of Subjective Temperature Index by Błażejczyk (STI, [$^{\circ}\text{C}$]) in Wrocław (1981-2000)

STI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	-22,8	-14,8	-7,8	1,8	9,1	12,5	15,9	14,0	9,6	-0,5	-10,0	-12,8	-22,8
Wielkość maksymalna	23,6	38,1	46,4	61,5	66,4	73,5	77,4	77,8	60,3	51,8	35,6	22,6	77,8
Średnia arytmetyczna	3,1	7,8	15,4	24,4	34,0	35,5	40,3	39,8	29,5	21,7	9,1	2,7	22,0
Mediana	2,7	5,8	12,1	20,9	33,2	32,9	40,8	39,4	26,3	19,1	7,8	1,9	19,5
Występująca najczęściej	3,8	1,5	8,0	13,6	36,7	25,3	25,4	31,0	18,7	12,6	2,0	0,7	6,9
Odchylenie standardowe	7,3	9,1	11,2	13,6	14,1	13,8	14,1	14,6	12,5	11,6	8,3	5,8	17,9

Dominującą klasą odczuć w ciągu całego roku jest „chłodno” i obserwuje się ją średnio w co drugim dniu. Odczucia „ciepło”, „gorąco” i „bardzo gorąco” występują w 29% dni w roku a tylko 16% to dni, kiedy jest „komfortowo” (ryc. 34).

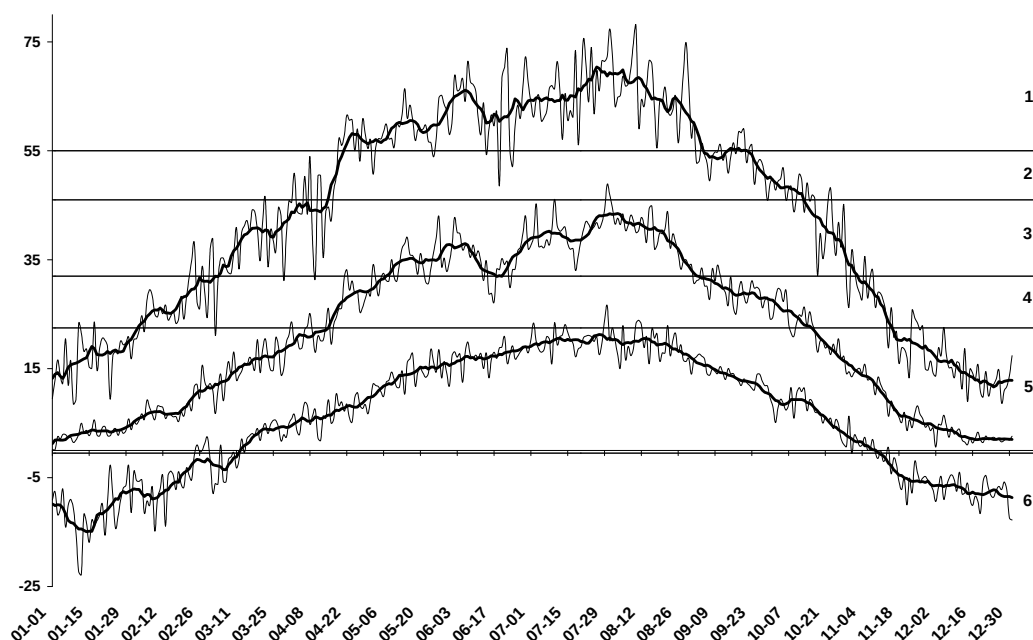


Ryc. 34. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wartości temperatury odczuwalnej (STI) (w skali skonstruowanej przez Błażejczyka: A - bardzo gorąco, B - gorąco, C - ciepło, D - komfortowo, E - chłodno, F - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 34. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Subjective Temperature Index (STI) in Wrocław (1981-2000): A – very hot, B – hot, C – warm, D – neutral, E – cool, F – cold

Klasa odczuć świadcząca o niekorzystnych walorach termicznych środowiska mogąca powodować stres zimna pojawiała się w ciągu całego roku w około 7% dni a okres jej występowania trwał od października (0,2% dni) do marca (2,6% dni) z maksimum w grudniu kiedy to średnio 10 dni jest identyfikowanych przez STI jako „zimne” (ryc. 34, 35).

Klasa „chłodno” jest jedną z dwóch, które obserwowane są we wszystkich miesiącach roku (drugą jest klasa „komfortowo”). Jednakże w miesiącach chłodnej połowy roku częstość jej występowania wynosi od 60% (październik) do 80% dni (listopad) a w cieplej połowie waha się od 53% w kwietniu do 11% dni w lipcu. Klasa „komfortowo” jest obserwowana również we wszystkich miesiącach roku, lecz jej częstość pojawiania się w grudniu czy styczniu jest znikoma (0,2-03%) natomiast w czerwcu wynosi blisko 30% dni.



Ryc. 35. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości temperatury odczuwalnej (STI; $^{\circ}\text{C}$) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Błażejczyka: 1 - bardzo gorąco, 2 - gorąco, 3 - ciepło, 4 - komfortowo, 5 - chłodno, 6 - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 35. Annual course of Subjective Temperature Index (STI; $^{\circ}\text{C}$): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 – very hot, 2 – hot, 3 - warm, 4 - neutral, 5 – cool, 6 – cold

Okres od maja do sierpnia charakteryzuje się tym, że w ponad połowie dni w tych miesiącach obserwuje się klasy odczuć „ciepło”, „gorąco” i „bardzo gorąco”. W lipcu i sierpniu aż w co trzecim dniu człowiek narażony jest na odczuwanie dyskomfortu termicznego związanego z tymi dwiema ostatnimi klasami odczuć. Charakterystyczną cechą okresu letniego jest pojawianie się w drugiej połowie czerwca wyraźnego ochłodzenia trwającego do połowy trzeciej dekady tego miesiąca. Można je obserwować również w średnim przebiegu rocznym innych wskaźników bioklimatycznych.

7.6. Wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI)

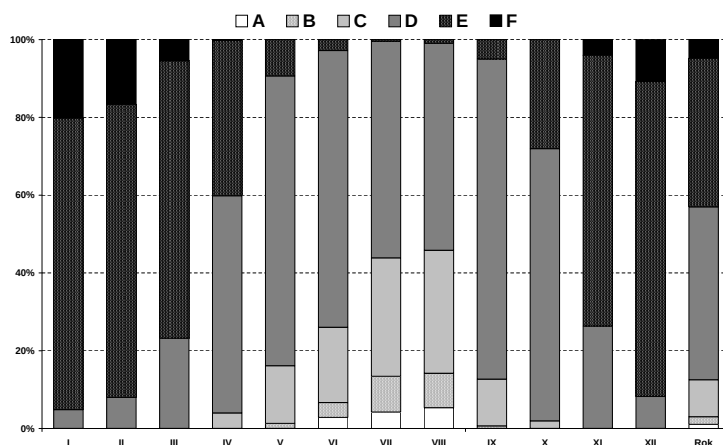
Wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI), podobnie jak I_{clp} , służy do oceny warunków termicznych środowiska w niskich temperaturach powietrza. W niniejszym opracowaniu został on co prawda wyznaczony dla wszystkich miesięcy w roku, lecz zasadniczo ma służyć do uszczegółowienia informacji o klimacie odczuwalnym Wrocławia w miesiącach chłodnej pory roku. Zastosowana tutaj skala odczuć odnosi się do człowieka ubranego w odzież o współczynniku termoizolacyjności 4 clo.

Średnia roczna wartość WCI we Wrocławiu w latach 1981-2000 wynosiła 530W/m^2 (klasa odczuć „komfortowo”), lecz jej minimalna wartość ($-120,8\text{W/m}^2$ – 10.08.1992) mieści się w klasie „skrajnie gorąco” a maksymalna ($1427,6\text{W/m}^2$ – 13.02.1994) jest odczuwana przez człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności 4 clo jako „zimno” (tabela 21). W najchłodniejszym miesiącu roku, styczniu, zaobserwowano średnią wartość WCI wynoszącą 810W/m^2 - jest to porównywalne z wynikami badań np. w Gdyni (852W/m^2) (Owczarek, 2003). Okres występowania klasy odczuć „zimno” ograniczony jest do miesięcy chłodnej połowy roku od listopada do marca a maksimum częstości jej występowania przypada na styczeń, w którym w 20% dni obserwuje się tę klasę. Odczucia „skrajnie gorąco” występują tylko w 1% dni w roku i to tylko w trzech miesiącach letnich (ryc. 36, 37).

Najczęściej występującą klasą odczuć w ciągu całego roku we Wrocławiu jest klasa „komfortowo”, która pojawia się w prawie 47% dni i analizując średnie wartości południowej obserwacji można stwierdzić, że jest

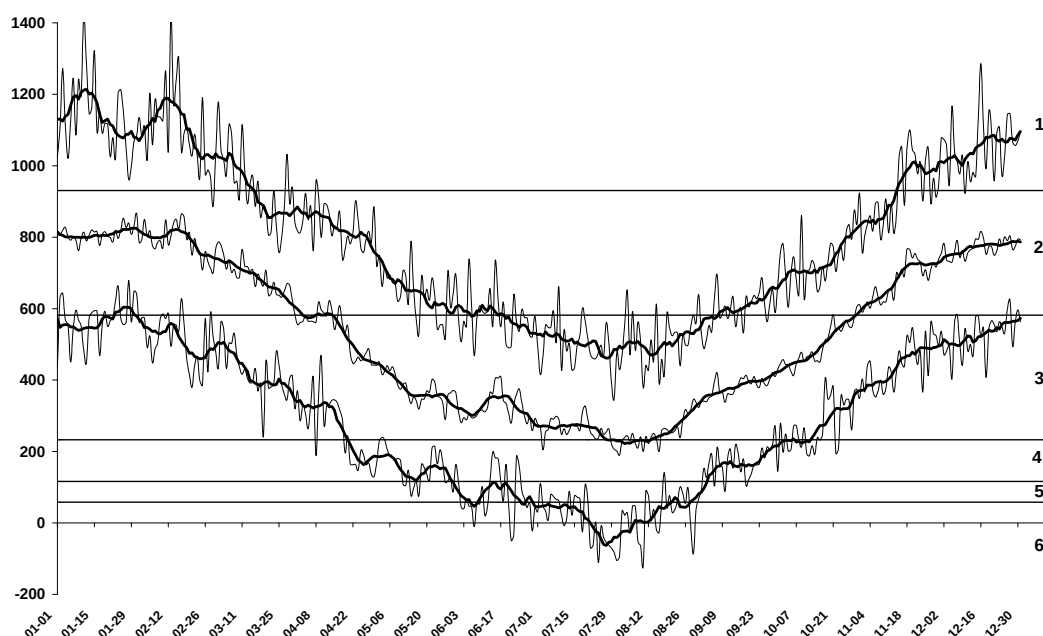
dominująca w okresie od połowy kwietnia do początku listopada (z trzytygodniową przerwą na przełomie lipca i sierpnia). W chłodnej połowie roku dominującą klasą jest „chłodno”, która począwszy od listopada obserwowana jest w 70-80% dni.

Jedyną klasą odczuć, która występuje w ciągu całego roku jest klasa „komfortowo” a jej maksimum przypada na miesiące wiosenne i jesienne.



Ryc. 36. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI; litery oznaczają poszczególne odczucia termiczne: A - skrajnie gorąco, B - gorąco, C - zbyt ciepło, D - komfortowo, E - chłodno, F - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 36. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Wind Chill Index (WCI) in Wrocław (1981-2000): A – extremely hot, B – hot, C – warm, D – neutral, E – cool, F – cold



Ryc. 37. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI, W/m^2) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - komfortowo, 4 - zbyt ciepło, 5 - gorąco, 6 - skrajnie gorąco) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 37. Annual course of Wind Chill Index (WCI, W/m^2): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 – cold, 2 – cool, 3 – neutral, 4 – warm, 5 – hot, 6 – extremely hot

Tabela 21. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 21. Monthly and annual average of Wind Chill Index (WCI, [W/m²]) in Wrocław (1981-2000)

WCI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	439,8	379,6	240,6	129,8	75,3	-49,5	-111,0	-120,8	87,9	187,3	352,4	402,9	-120,8
Wielkość maksymalna	1418,2	1427,6	1179,0	955,9	788,0	738,6	661,2	650,9	695,7	922,5	1100,2	1285,7	1427,6
Średnia arytmetyczna	810,0	791,5	690,1	536,2	378,0	322,6	261,1	256,1	383,0	500,3	679,3	771,6	530,2
Mediana	796,3	786,3	690,6	533,7	370,4	320,7	256,1	245,3	390,9	499,0	677,9	774,5	523,4
Występująca najczęściej	912,4	855,4	545,9	686,9	369,3	248,9	303,9	270,8	204,6	385,4	818,9	778,3	379,6
Odchylenie standardowe	151,6	155,6	149,4	162,9	142,4	135,6	131,2	132,4	121,9	134,6	140,1	133,0	246,3

7.7. Wskaźnik stresu cieplnego (HSI)

Wskaźnik stresu cieplnego wyraża stosunek ilości potu jaką w danych warunkach organizm człowieka musi wydzielić dla zachowania równowagi termofizjologicznej do maksymalnej ilości jaka w danej sytuacji meteorologicznej może zostać wydzielona. HSI jest wskaźnikiem służącym do oceny wpływu danych warunków termicznych na układ termoregulacyjny człowieka w kontekście występowania potencjalnego stresu ciepła, przez co jest stosowany w sytuacjach z wysoką temperaturą powietrza. Poszczególnym wartościom HSI zostały przypisane odpowiednie kategorie oddziaływania na układ termoregulacyjny człowieka.

Średnia roczna wartość HSI we Wrocławiu w latach 1981-2000 wynosiła w czasie południowej obserwacji 8,8% co znajduje się w klasie „warunki termoneutralne” (tabela 22). Najwyższe wartości tego wskaźnika zaobserwowano w sierpniu – 13,5% co świadczy o występowaniu umiarkowanego stresu gorąca i możliwości niekontrolowanego wzrostu temperatury wewnętrznej ciała człowieka. Sytuacja, kiedy to może stosunkowo szybko nastąpić przegrzanie organizmu zdarzyła się kilkakrotnie w całym badanym okresie (na ryc. 38 nie zaznaczono tej klasy ze względu na jej znikomą frekwencję).

Tabela 22. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 22. Monthly and annual average of Heat Stress Index (HSI, [%]) in Wrocław (1981-2000)

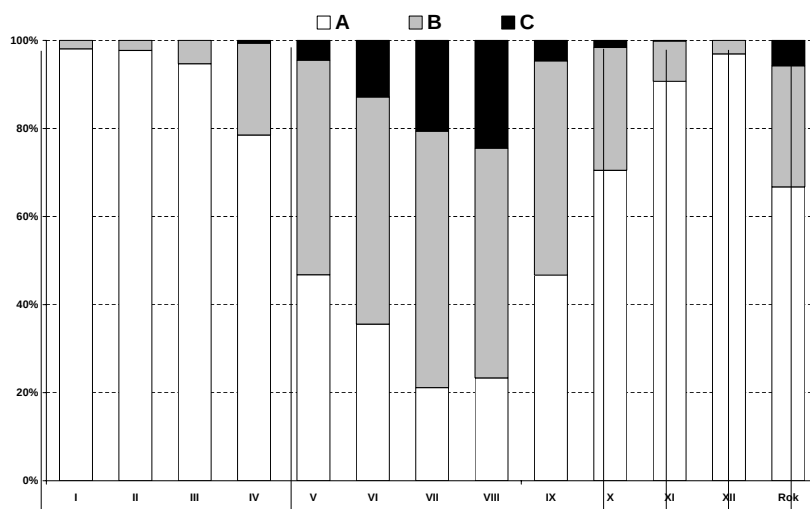
HSI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Wielkość minimalna	-5,5	-6,8	-4,8	-4,4	-1,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,4	-3,0	-4,1	-4,8	-6,8
Wielkość maksymalna	21,6	21,9	23,9	51,4	69,3	93,2	66,2	135,4	60,6	44,9	35,6	17,7	135,4
Średnia arytmetyczna	0,3	0,7	2,3	6,2	12,4	16,5	20,2	21,4	12,6	7,8	3,1	1,0	8,8
Mediana	-0,3	0,1	1,3	4,7	10,7	12,9	17,8	18,6	10,5	6,0	1,8	0,2	5,2
Występująca najczęściej	0,0	0,1	1,0	0,1	12,9	9,1	7,8	8,1	3,9	3,6	0,1	-0,2	0,1
Odchylenie standardowe	3,3	3,4	4,2	7,0	9,1	12,7	12,4	14,6	9,2	7,2	5,0	3,5	11,3

Średnie miesięczne wartości wskaźnika stresu cieplnego identyfikują pięć miesięcy w roku (począwszy od maja) jako okres, w którym występują warunki umiarkowanego stresu cieplnego. Wówczas w ponad połowie dni obserwuje się występowanie umiarkowanego i silnego stresu gorąca.

W sierpniu zaobserwowano największą częstość występowania dni z najwyższymi wartościami HSI – co czwarty dzień cechuje się występowaniem warunków termicznych wywołujących u człowieka „silny stres gorąca” odczuwany przez człowieka jako parność. Natomiast lipiec miał niższą średnią wartość HSI, lecz za to występowało w nim najmniej dni z warunkami termoneutralnymi (klasa „brak obciążenia cieplnego” – 21% dni).

„Silny stres gorąca” obserwowany jest w okresie od maja do października, lecz w miesiącach skrajnych liczba dni z tą klasą jest niewielka (nieco ponad jeden dzień w maju i pół dnia w październiku). Częstość pojawiania się dni z tą klasą wzrasta od czerwca (13% dni) do sierpnia (25% dni) a we wrześniu zaczyna spadać (10% dni).

Wskaźnik stresu cieplnego został wykorzystany przez B. Krawczyk (2003) do oceny częstości występowania stresu gorąca w różnych regionach Polski w ciepłej połowie roku. Na podstawie zawartych

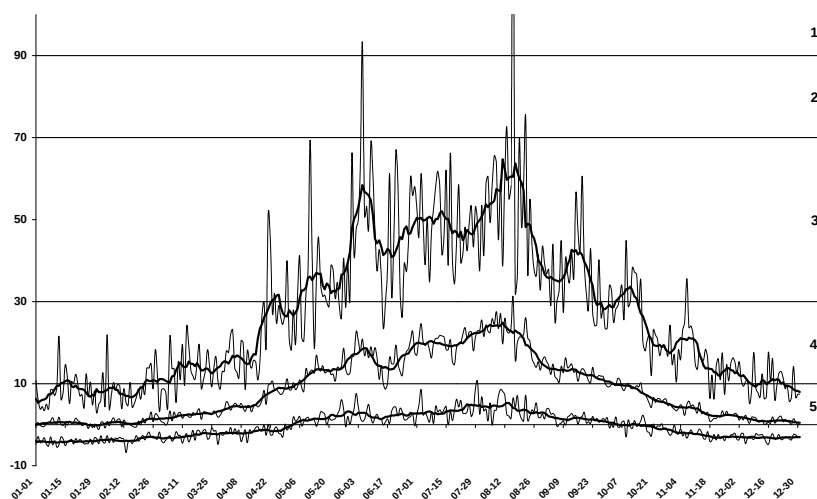


Ryc. 38. Częstość [%] dni z określonym oddziaływaniem na układ termoregulacyjny człowieka wskaźnika stresu cieplnego (HSI; litery oznaczają: A - brak obciążenia cieplnego, B - umiarkowany stres gorąca, C - silny stres gorąca) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 38. Frequency of occurrence [%] of days with specific physiological responses of an organism (according to Błażejczyk's scale) based on Heat Stress Index (HSI) in Wrocław (1981-2000): A - thermoneutral conditions, B - slight and moderate heat stress, C - intensive heat stress

w opracowaniu wyników, Wrocław klasyfikuje się do miejscowości „podgórskich” - częstość występowania poszczególnych typów oddziaływania na organizm człowieka jest zbliżony do tych obserwowanych w Łądku Zdrój (różnice mogą wynikać z analizowania różnych okresów - dla Łądku Zdrój były to lata 1971-1990).

Z wieloletniej średniej wartości HSI z południowej obserwacji wynika, że od końca pierwszej dekady maja do końca września układ termoregulacyjny człowieka może być poddany „umiarkowanemu stresowi gorąca” (z wyjątkiem dwudniowego epizodu 17-18.06 kiedy to występuje „brak obciążeń cieplnych”, ryc. 39). Znaczne obciążenia układu termoregulacyjnego człowieka mogą pojawić się już na początku trzeciej dekady kwietnia a po raz ostatni pojawiają się w połowie października (aczkolwiek w analizowanym dwudziestoleciu klasa „silny stres gorąca” pojawiła się raz w listopadzie – 07.11.1984; ryc. 39).



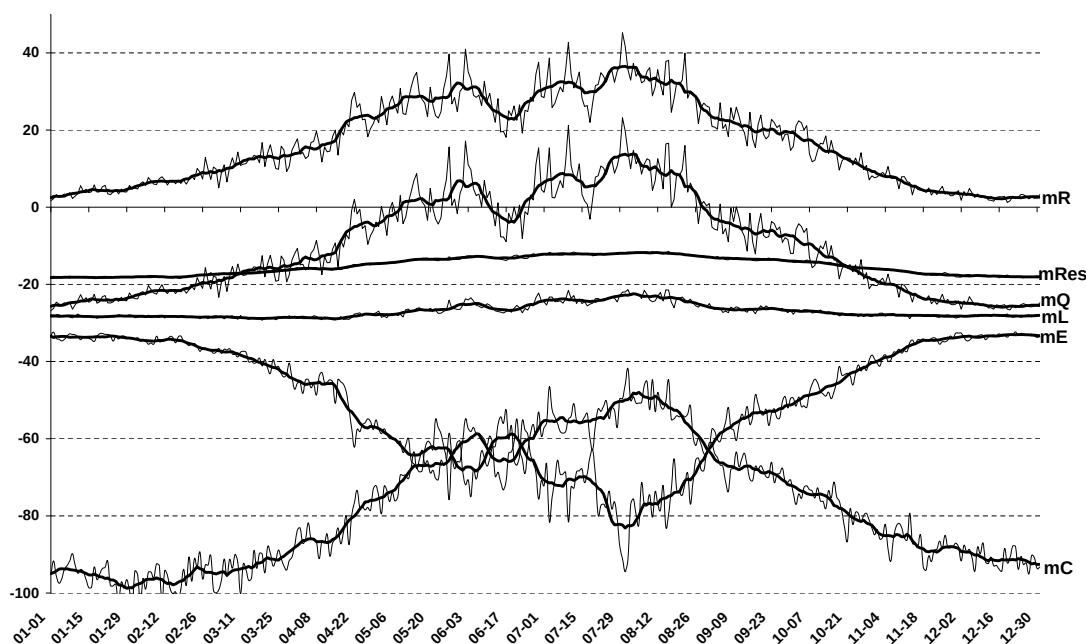
Ryc. 39. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI; w %) z zaznaczonymi przedziałami skali oddziaływania na układ termoregulacyjny człowieka (1 - maksymalny stres gorąca, 2 - bardzo silny stres gorąca, 3 - silny stres gorąca, 4 - umiarkowany stres gorąca, 5 - brak obciążeń cieplnych) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 39. Annual course of Heat Stress Index (HSI; %): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram specific physiological responses of an organism are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - maximal heat stress, 2 - very intensive heat stress, 3 - intensive heat stress, 4 - slight and moderate heat stress, 5 - thermoneutral conditions

7.8. Struktura bilansu cieplnego układu człowiek-środowisko

W niniejszym rozdziale zostaną zaprezentowane wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem, jako podstawy do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych miasta. Przedstawione tutaj wyliczenia zostały oparte na modelu MENEX_2002 opracowanym przez Błazejczyka (1993, 2001, 2003).

W świetle wartości średnich rocznych dominującym strumieniem wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem jest strumień konwekcyjny (mC), którego średnia wartość wyniosła we Wrocławiu w latach 1981-2000 -77W/m^2 , co stanowiło 45,5% sumy strat ciepła z organizmu człowieka (tab. 23, ryc. 40). Drugorzędne znaczenie pod względem wartości miała wymiana ciepła drogą ewaporacji (mE) i wyniosła ona -50W/m^2 (ok. 30% sumy strat). Na kolejnym miejscu znalazł się strumień wymiany ciepła drogą promieniowania długofalowego (mL = -27W/m^2 , 16% sumy strat) a najmniej udział w wymianie ciepła miał strumień respiracyjny (mRes = $-15,2\text{W/m}^2$; tabela 23).



Ryc. 40. Przebieg roczny wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 40. Annual course of man-environment heat exchange fluxes (mC - turbulent exchange of sensible, mE - turbulent exchange of latent heat, mRes - respiratory heat loss, mL - heat exchange by long-wave radiation, mR - absorbed solar radiation, mQ - radiation balance of man) in Wrocław (1981-2000)

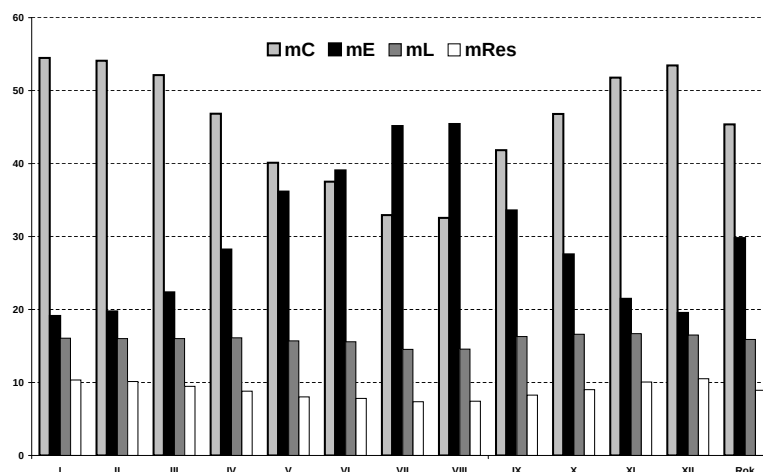
Po stronie przychodu ciepła do organizmu człowieka oprócz stałej wartości ciepła metabolicznego ($M = 135\text{W/m}^2$) znajduje się również strumień ciepła związany z promieniowaniem słonecznym pochłoniętym (mR), którego średnia roczna wartość dla Wrocławia wyniosła 17W/m^2 . Najwyższe średnie miesięczne wartości strumienia promieniowania słonecznego pochłoniętego zaobserwowano w lipcu i sierpniu (odpowiednio $32,5$ i $31,5\text{W/m}^2$) a najniższą w grudniu - było to średnio niecałe 3W/m^2 . Należy również zwrócić uwagę na pojawianie się maksymalnych wartości strumienia mR, które mogą wynieść nawet powyżej 70W/m^2 . Promieniowanie pochłonięte ma istotny wpływ na kształtowanie się bilansu radiacyjnego w pełnym zakresie widma (mQ), którego średnia roczna wartość jest ujemna ($-9,9\text{W/m}^2$), lecz w miesiącach ze znacznym dopływem promieniowania krótkofalowego wartości średnie miesięczne są dodatnie (trwa to od maja do sierpnia)

W przebiegu rocznym średnich wartości, w godzinach południowych, zauważa się duże zróżnicowanie wartości strumieni wymiany ciepła w ciepłej i chłodnej połowie roku (ryc. 40). O ile strumienie mRes i mL nie wykazują większego zróżnicowania w ciągu całego roku, o tyle strumienie mC i mE cechują się dużą zmiennością. W okresie od początku września do połowy maja wyraźnie dominuje po stronie strat strumień turbulencyjnej wymiany ciepła jawnego (mC), którego średnia wartość w lutym wyniosła -95W/m^2 . Nato-

Tabela 23. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości poszczególnych składowych bilansu wymiany ciepła człowiek-środowisko we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 23. Monthly and annual average of: radiation balance of man (mQ), absorbed solar radiation (mR), net long wave radiation exchange (mL), net long wave radiation exchange (mE), evaporative heat loss (mE), heat exchange by convection (mC), heat loss by respiration (mRes) and net heat storage (mS) [W/m²] in Wrocław (1981-2000)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
m R	Wielkość minimalna	0,8	1,5	2,4	4,4	6,3	7,6	8,5	6,3	4,1	2,0	1,1	0,8
	Wielkość maksymalna	17,1	33,4	45,8	70,9	75,0	76,3	76,1	73,5	67,4	54,0	28,1	14,0
	Średnia arytmetyczna	3,9	7,1	11,9	19,0	27,8	32,5	32,5	31,5	20,6	14,1	5,6	2,7
	Mediana	1,5	2,7	4,9	8,7	24,8	15,2	34,4	32,2	8,9	5,3	2,0	1,1
	Występująca najczęściej	1,2	2,3	4,4	6,2	7,9	9,6	10,5	13,1	6,8	3,2	1,4	1,0
m C	Odczylenie standardowe	4,3	7,1	10,7	16,3	19,9	20,1	20,9	21,9	17,2	13,0	6,1	2,9
	Wielkość minimalna	-144,9	-161,1	-146,6	-145,9	-113,6	-105,4	-115,6	-101,7	-104,5	-123,8	-137,8	-161,1
	Wielkość maksymalna	-64,8	-65,4	-56,1	-34,8	-23,9	4,1	17,6	18,9	-24,1	-47,1	-57,6	-82,4
	Średnia arytmetyczna	-95,8	-95,8	-93,1	-82,7	-69,0	-61,7	-54,2	-53,0	-68,0	-77,4	-87,0	-91,1
	Mediana	-93,9	-94,8	-92,5	-81,4	-69,3	-62,0	-56,8	-55,4	-67,6	-77,0	-86,2	-90,3
m E	Występująca najczęściej	-99,6	-106,1	-91,3	-78,5	-73,7	-63,1	-50,4	-50,9	-65,8	-70,6	-96,4	-91,9
	Odczylenie standardowe	14,6	13,9	14,5	15,3	14,8	17,9	19,5	19,4	13,7	13,1	13,6	12,4
	Wielkość minimalna	-58,1	-61,2	-85,6	-128,0	-133,8	-192,0	-288,4	-316,1	-140,1	-99,5	-57,9	-46,5
	Wielkość maksymalna	-27,5	-28,1	-30,0	-31,0	-32,8	-35,0	-36,6	-36,6	-33,3	-30,8	-28,7	-28,4
	Średnia arytmetyczna	-33,6	-35,0	-39,9	-49,8	-62,1	-64,2	-74,3	-74,0	-54,6	-45,6	-36,1	-33,3
m L	Mediana	-32,8	-33,7	-37,9	-45,5	-57,1	-58,4	-66,9	-66,5	-50,0	-43,1	-34,9	-32,4
	Występująca najczęściej	-30,4	-30,9	-36,9	-48,3	-66,5	-45,1	-69,5	-66,5	-44,2	-36,0	-33,3	-30,8
	Odczylenie standardowe	3,7	5,0	7,9	16,5	21,3	22,9	31,6	30,3	16,0	10,7	4,8	3,2
	Wielkość minimalna	-32,4	-32,6	-37,2	-34,5	-33,4	-32,0	-31,2	-31,6	-31,8	-34,0	-31,6	-32,4
	Wielkość maksymalna	-25,9	-25,5	-24,1	-16,2	-12,0	-2,2	2,8	1,7	-12,0	-18,9	-25,0	-26,1
m Res	Średnia arytmetyczna	-28,2	-28,4	-28,6	-28,4	-27,0	-25,6	-23,9	-23,7	-26,5	-27,5	-28,0	-28,1
	Mediana	-28,1	-28,3	-28,5	-28,5	-27,7	-27,2	-26,2	-26,0	-27,2	-27,8	-27,9	-28,0
	Występująca najczęściej	-28,0	-28,5	-28,6	-28,4	-28,0	-27,6	-27,0	-27,6	-27,5	-27,9	-27,9	-27,6
	Odczylenie standardowe	1,2	1,1	1,3	2,2	3,2	4,8	5,8	6,0	2,7	1,8	1,1	1,1
	Wielkość minimalna	-23,4	-22,4	-20,6	-19,1	-17,3	-15,9	-15,0	-15,0	-16,3	-18,3	-20,9	-22,0
m Q	Wielkość maksymalna	-14,4	-13,9	-13,0	-11,3	-10,1	-8,9	-7,9	-8,6	-9,5	-11,0	-13,6	-14,4
	Średnia arytmetyczna	-18,2	-17,9	-16,9	-15,5	-13,8	-12,9	-12,1	-12,1	-13,4	-14,9	-16,9	-17,9
	Mediana	-18,0	-17,9	-17,0	-15,6	-13,8	-13,0	-12,1	-12,2	-13,6	-15,0	-16,9	-17,9
	Występująca najczęściej	-17,8	-18,2	-16,8	-15,0	-12,7	-13,6	-11,9	-13,0	-14,0	-14,4	-17,6	-18,1
	Odczylenie standardowe	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,3	1,3
m S	Wielkość minimalna	-31,1	-30,3	-28,7	-27,2	-23,2	-21,1	-19,8	-21,6	-24,7	-28,4	-29,9	-30,7
	Wielkość maksymalna	-10,8	5,8	19,4	49,8	59,5	71,4	71,1	70,1	47,0	33,7	2,1	-12,2
	Średnia arytmetyczna	-24,4	-21,3	-16,7	-9,4	0,8	8,6	8,6	7,7	-5,9	-13,4	-22,4	-25,4
	Mediana	-25,9	-25,0	-23,0	-19,8	-4,9	-12,8	6,1	4,6	-19,0	-22,2	-25,5	-26,4
	Występująca najczęściej	-26,2	-25,2	-25,2	-22,4	-19,6	-16,6	-17,3	-17,9	-21,1	-23,6	-25,7	-26,8
m S	Odczylenie standardowe	4,0	6,9	10,5	17,3	21,9	23,7	25,2	26,5	19,1	14,1	6,3	2,9
	Wielkość minimalna	-97,0	-104,8	-92,5	-90,9	-83,8	-54,4	-77,8	-101,9	-59,6	-70,4	-86,3	-104,8
	Wielkość maksymalna	2,4	10,7	19,3	48,6	53,6	71,3	75,7	81,5	61,2	37,7	17,0	-2,9
	Średnia arytmetyczna	-36,9	-35,0	-31,6	-22,5	-9,1	-1,9	3,0	3,6	-6,9	-16,3	-27,3	-32,7
	Mediana	-35,5	-34,2	-30,7	-22,6	-10,1	-4,5	2,4	2,1	-7,8	-16,9	-26,5	-31,9
m S	Występująca najczęściej	-26,7	-28,7	-24,2	-12,1	-15,6	-0,6	6,6	-8,4	-9,5	-24,1	-19,3	-36,7
	Odczylenie standardowe	15,8	15,2	17,3	19,9	19,8	22,4	22,2	24,5	19,0	17,1	15,3	13,0
	Wielkość minimalna	-31,1	-30,3	-28,7	-27,2	-23,2	-21,1	-19,8	-21,6	-24,7	-28,4	-29,9	-30,7
	Wielkość maksymalna	-10,8	5,8	19,4	49,8	59,5	71,4	71,1	70,1	47,0	33,7	2,1	-12,2
	Średnia arytmetyczna	-24,4	-21,3	-16,7	-9,4	0,8	8,6	8,6	7,7	-5,9	-13,4	-22,4	-25,4
m S	Mediana	-25,9	-25,0	-23,0	-19,8	-4,9	-12,8	6,1	4,6	-19,0	-22,2	-25,5	-26,4
	Występująca najczęściej	-26,2	-25,2	-25,2	-22,4	-19,6	-16,6	-17,3	-17,9	-21,1	-23,6	-25,7	-26,8
	Odczylenie standardowe	4,0	6,9	10,5	17,3	21,9	23,7	25,2	26,5	19,1	14,1	6,3	2,9
	Wielkość minimalna	-97,0	-104,8	-92,5	-90,9	-83,8	-54,4	-77,8	-101,9	-59,6	-70,4	-86,3	-104,8
	Wielkość maksymalna	2,4	10,7	19,3	48,6	53,6	71,3	75,7	81,5	61,2	37,7	17,0	-2,9
m S	Średnia arytmetyczna	-36,9	-35,0	-31,6	-22,5	-9,1	-1,9	3,0	3,6	-6,9	-16,3	-27,3	-32,7
	Mediana	-35,5	-34,2	-30,7	-22,6	-10,1	-4,5	2,4	2,1	-7,8	-16,9	-26,5	-31,9
	Występująca najczęściej	-26,7	-28,7	-24,2	-12,1	-15,6	-0,6	6,6	-8,4	-9,5	-24,1	-19,3	-36,7
	Odczylenie standardowe	15,8	15,2	17,3	19,9	19,8	22,4	22,2	24,5	19,0	17,1	15,3	13,0
	Wielkość minimalna	-31,1	-30,3	-28,7	-27,2	-23,2	-21,1	-19,8	-21,6	-24,7	-28,4	-29,9	-30,7
m S	Wielkość maksymalna	-10,8	5,8	19,4	49,8	59,5	71,4	71,1	70,1	47,0	33,7	2,1	-12,2
	Średnia arytmetyczna	-24,4	-21,3	-16,7	-9,4	0,8	8,6	8,6	7,7	-5,9	-13,4	-22,4	-25,4
	Mediana	-25,9	-25,0	-23,0	-19,8	-4,9	-12,8	6,1	4,6	-19,0	-22,2	-25,5	-26,4
	Występująca najczęściej	-26,2	-25,2	-25,2	-22,4	-19,6	-16,6	-17,3	-17,9	-21,1	-23,6	-25,7	-26,8
	Odczylenie standardowe	4,0	6,9	10,5	17,3	21,9	23,7	25,2	26,5	19,1	14,1	6,3	2,9
m S	Wielkość minimalna	-97,0	-104,8	-92,5	-90,9	-83,8	-54,4	-77,8	-101,9	-59,6	-70,4	-86,3	-104,8
	Wielkość maksymalna	2,4	10,7	19,3	48,6	53,6	71,3	75,7	81,5	61,2	37,7	17,0	-2,9
	Średnia arytmetyczna	-36,9	-35,0	-31,6	-22,5	-9,1	-1,9	3,0	3,6	-6,9	-16,3	-27,3	-32,7
	Mediana	-35,5	-34,2	-30,7	-22,6	-10,1	-4,5	2,4	2,1	-7,8	-16,9	-26,5	-31,9
	Występująca najczęściej	-26,7	-28,7	-24,2	-12,1	-15,6	-0,6	6,6	-8,4	-9,5	-24,1	-19,3	-36,7
m S	Odczylenie standardowe	15,8	15,2	17,3	19,9	19,8	22,4	22,2	24,5	19,0	17,1	15,3	13,0
	Wielkość minimalna	-31,1	-30,3	-28,7	-27,2	-23,2	-21,1	-19,8	-21,6	-24,7	-28,4	-29,9	-30,7
	Wielkość maksymalna	-10,8	5,8	19,4	49,8	59,5	71,4	71,1	70,1	47,0	33,7	2,1	-12,2
	Średnia arytmetyczna	-24,4	-21,3	-16,7	-9,4	0,8	8,6	8,6	7,7	-5,9	-13,4	-22,4	-25,4
	Mediana	-25,9	-25,0	-23,0	-19,8	-4,9	-12,8	6,1	4,6	-19,0	-22,2	-25,5	-26,4
m S	Występująca najczęściej	-26,2	-25,2	-25,2	-22,4	-19,6	-16,6	-17,3	-17,9	-21,1	-23,6	-25,7	-26,8
	Odczylenie standardowe	4,0	6,9	10,5	17,3	21,9	23,7	25,2	26,5	19,1	14,1	6,3	2,9
	Wielkość minimalna	-97,0	-104,8	-92,5	-90,9	-83,8	-54,4	-77,8	-101,9	-59,6	-70,4	-86,3	-104,8
	Wielkość maksymalna	2,4	10,7	19,3	48,6	53,6	71,3	75,7	81,5	61,2	37,7	17,0	-2,9
	Średnia arytmetyczna	-36,9	-35,0	-31,6	-22,5	-9,1	-1,9	3,0	3,6	-6,9	-16,3	-27,3	-32,7
m S	Mediana	-35,5	-34,2	-30,7	-22,6	-10,1	-4,5	2,4	2,1	-7,8	-16,9	-26,5	-31,9
	Występująca najczęściej	-26,7	-28,7	-24,2	-12,1	-15,6	-0,6	6,6	-8,4	-9,5	-24,1	-19,3	-36,7
	Odczylenie standardowe	15,8	15,2	17,3	19,9	19,8	22,4	22,2	24,5	19,0	17,1	15,3	13,0
	Wielkość minimalna	-31,1	-30,3	-28,7	-27,2	-23,2	-21,1	-19,8	-21,6	-24,7	-28,4	-29,9	-30,7
	Wielkość maksymalna	-10,8	5,8	19,4	49,8	59,5	71,4	71,1	70,1	47,0	33,7	2,1	-12,2
m S	Średnia arytmetyczna	-24,4	-21,3	-16,7	-9,4	0,8	8,6	8,6	7,7	-5,9	-13,4	-22,4	-25,4
	Mediana	-25,9	-25,0	-23,0	-19,8	-4,9	-12,8	6,1	4,6	-19,0	-22,2	-25,5	-26,4
	Występująca najczęściej	-26,2	-25,2	-25,2	-22,4	-19,6	-16,6	-17,3	-17,9	-21,1	-23,6	-25,7	-26,8
	Odczylenie standardowe	4,0	6,9	10,5	17,3	21,9	23,7	25,2	26,5	19,1	14,1	6,3	2,9
	Wielkość minimalna	-97,0	-104,8	-92,5	-90,9	-83,8	-54,4	-77,8	-101,9	-59,6	-70,4	-86,3	-104,8
m S	Wielkość maksymalna	2,4	10,7	19,3	48,6	53,6	71,3	75,7	81,5	61,2	37,7	17,0	-2,9
	Średnia arytmetyczna	-36,9	-35,0	-31,6	-22,5	-9,1	-1,9	3,0	3,6	-6,9	-16,3	-27,3	-32,7
	Mediana	-35,5	-34,2	-30,7	-22,6	-10,1	-4,5	2,4	2,1	-7,8	-16,9	-26,5	-31,9
	Występująca najczęściej	-26,7	-28,7	-24,2	-12,1	-15,6	-0,6	6,6	-8,4	-9,5	-24,1	-19,3	-36,7
	Odczylenie standardowe	15,8	15,2	17,3	19,9	19,8	22,4	22,2	24,5	19,0	17,1	15,3	13,0



Ryc. 41. Udział (%) poszczególnych strumieni wymiany ciepła w sumie strat ($mC+mE+mL+mRes=100\%$) w poszczególnych miesiącach i w roku we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 41. Monthly and annual contribution [%] of every heat fluxes (mC - turbulent exchange of sensible, mE - turbulent exchange of latent heat, mL - heat exchange by long-wave radiation, $mRes$ - respiratory heat loss) in total heat loss ($mC+mE+mL+mRes=100\%$) Wrocław (1981-2000)

miast strat ciepła w wyniku parowania potu z powierzchni skóry (mE) były w tym samym okresie blisko trzy razy mniejsze. Od połowy maja obydwa wspomniane strumienie ciepła przyjmują zbliżone wartości na poziomie od -60 do -65 W/m^2 . Stan taki utrzymuje się do połowy trzeciej dekady czerwca, kiedy to następuje wyraźna dominacja strat ciepła na drodze parowania (mE na początku sierpnia przekracza -90 W/m^2) w stosunku do strat ciepła przez konwekcję (średnia wartość mC na początku sierpnia wynosiła -45 W/m^2). Wówczas od 40% (w czerwcu) do 45% (w lipcu i sierpniu) energii oddawanej do otoczenia jest w procesie parowania potu z powierzchni skóry.

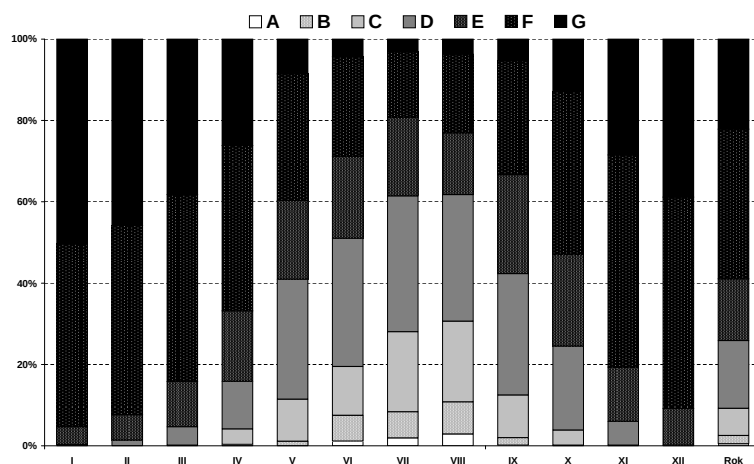
W miesiącach letnich pojawiają się dni, w których strumień mC przyjmuje wartości dodatnie (tabela 23), co świadczy o ogrzewaniu organizmu w wyniku kontaktu powietrza ze skórą, które ma wyższą niż ona temperaturę (było to zauważalne już w przypadku innych wskaźników – WCI oraz H).

Średnia roczna wartość salda wymiany energii układu człowiek-środowisko (mS) wynosiła we Wrocławiu w analizowanym okresie $-17,7 \text{ W/m}^2$ zakres zmian wahał się od $81,5 \text{ W/m}^2$ (13.08.1985) do $-104,8 \text{ W/m}^2$ (13.02.1994). Średnie wartości miesięczne tylko w dwóch miesiącach roku przyjmowały znak dodatni: w lipcu ($3,0 \text{ W/m}^2$) i sierpniu ($3,6 \text{ W/m}^2$). Najniższą średnią charakteryzował się styczeń ($-36,9 \text{ W/m}^2$) a następnie luty ($-35,0 \text{ W/m}^2$). W grudniu i marcu wartości te były zbliżone ($-32,7$ dla XII i $-31,6 \text{ W/m}^2$ dla III).

Na podstawie szczegółowych badań poszczególnym wartościom salda wymiany energii między człowiekiem a środowiskiem zostały przypisane odpowiednie klasy odczuć termicznych. Wynika z niej, że we Wrocławiu w latach 1981-2000 w czasie południowej obserwacji średnio, w co drugim dniu w ciągu roku obserwuje się klasy „bardzo zimno” i „zimno” (ryc. 42). Klasy „chłodno” i „komfortowo” odznaczają się podobną częstością – w ok. 16% dniach występują takie odczucia. Częstość pojawiania się dni z klasami, które świadczyć mogą o wystąpieniu stresu ciepła („ciepło”, „gorąco” i „bardzo gorąco”) wyniosła w badanym okresie ok. 9% dni w roku.

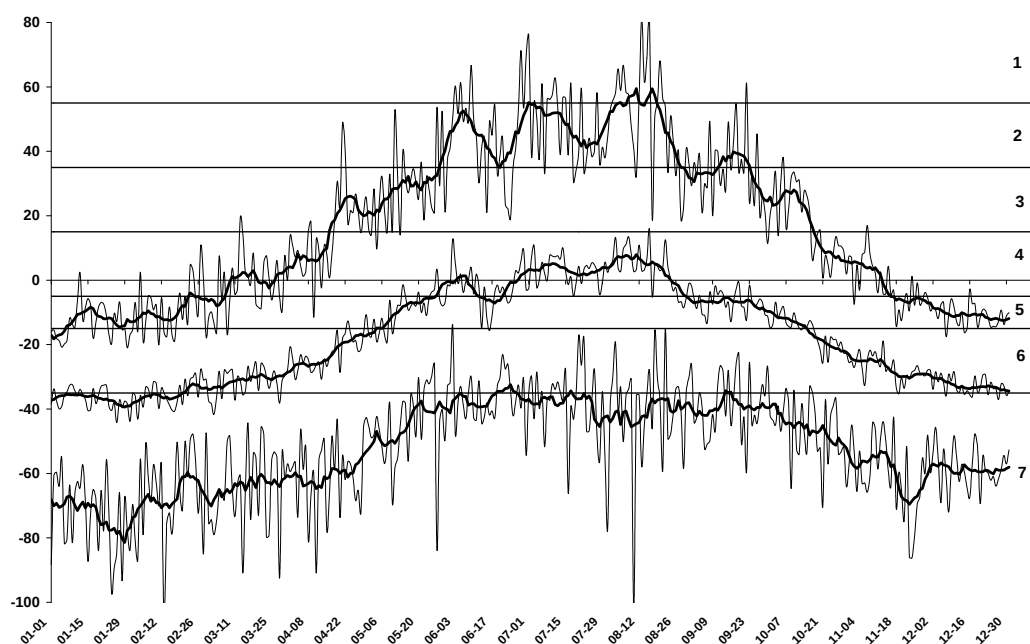
W miesiącach zimowych prawie co drugi dzień był dniem określanym jako „bardzo zimny” a w okresie lata klasa ta występowała tylko w 3-4% dni. Interesujące jest to, że w okresie od maja do października obserwuje się we Wrocławiu w czasie południowej obserwacji występowanie praktycznie wszystkich klas odczuć: począwszy od „bardzo zimno” a skończywszy na „bardzo gorąco” (niemniej klasy skrajne to zdecydowana mniejszość).

W przebiegu rocznym średnich wartości czasie południowej obserwacji we Wrocławiu w latach 1981-2000 zdecydowanie dominują ujemne wartości salda wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (ryc. 43). Bilans ujemny obserwowany jest od początku września i trwa praktycznie nieprzerwanie aż do połowy trzeciej dekady maja by po dwutygodniowym utrzymywaniu się na poziomie w okolicach zera (aczkolwiek dla 3.06 średnia wieloletnia wynosi blisko 20 W/m^2) ponownie przyjmując wartości ujemne. Ponownie wartości dodatnie mS



Ryc. 42. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wartości salda wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem z godz. 13 (w skali skonstruowanej przez Błażejczyka: A - bardzo gorąco, B - gorąco, C - ciepło, D - komfortowo, E - chłodno, F - zimno, G - bardzo zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 42. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on net heat storage (mS) derived from the human heat balance model in Wrocław (1981-2000): A – extremely hot, B – hot, C – warm, D – neutral, E – cool, F – cold, G – very cold



Ryc. 43. Przebieg roczny średnich (krzywa w środku), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości salda wymiany ciepła [W/m^2] między człowiekiem a środowiskiem z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Błażejczyka: 1 - bardzo gorąco, 2 - gorąco, 3 - ciepło, 4 - komfortowo, 5 - chłodno, 6 - zimno, 7 - bardzo zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 43. Annual course of net heat storage (mS, W/m^2): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 – extremely hot, 2 – hot, 3 – warm, 4 – neutral, 5 – cool, 6 – cold, 7 – very cold

osiąga na początku trzeciej dekady czerwca. Od tego okresu prawie do końca sierpnia średni bilans ciepła jest dodatni, chociaż zdarzają się krótkie okresy z wartościami ujemnymi.

Z przeprowadzonej analizy warunków bioklimatycznych, jakie występowały we Wrocławiu w latach 1981-2000 można stwierdzić, że duża zmienność wartości elementów meteorologicznych w cyklu rocznym związana ze strefą klimatyczną, w której położony jest Wrocław ma daleko idące konsekwencje dla mieszkających tutaj

ludzi. Zimą organizm człowieka narażony jest na duży termofizjologiczny stres chłodu ze względu na niską temperaturę powietrza i duże prędkości wiatru, jest to wyraźnie widoczne w częstościach pojawiania się odczuć „zimno” przyporządkowanych odpowiednim wartościom różnych wskaźników biometeorologicznych. Natomiast w okresie letnim wysokie temperatury powietrza w połączeniu z wysokim ciśnieniem pary wodnej mogą kształtować warunki odczuwane jako parność. Najczęściej można je zaobserwować w lipcu i sierpniu. Jest to dobrze widoczne w średnich miesięcznych wartościach bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem - w obydwu wspomnianych miesiącach jest on dodatni a w czerwcu jego wartości są ujemne. Uwagę zwraca wyraźna zmiana warunków biometeorologicznych, jaką można zaobserwować we wrześniu. Wyraża się to zarówno w średnich wartościach poszczególnych wskaźników jak i w częstości występowania poszczególnych klas oddziaływania na organizm człowieka.

8. Warunki bioklimatyczne Wrocławia w świetle biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody

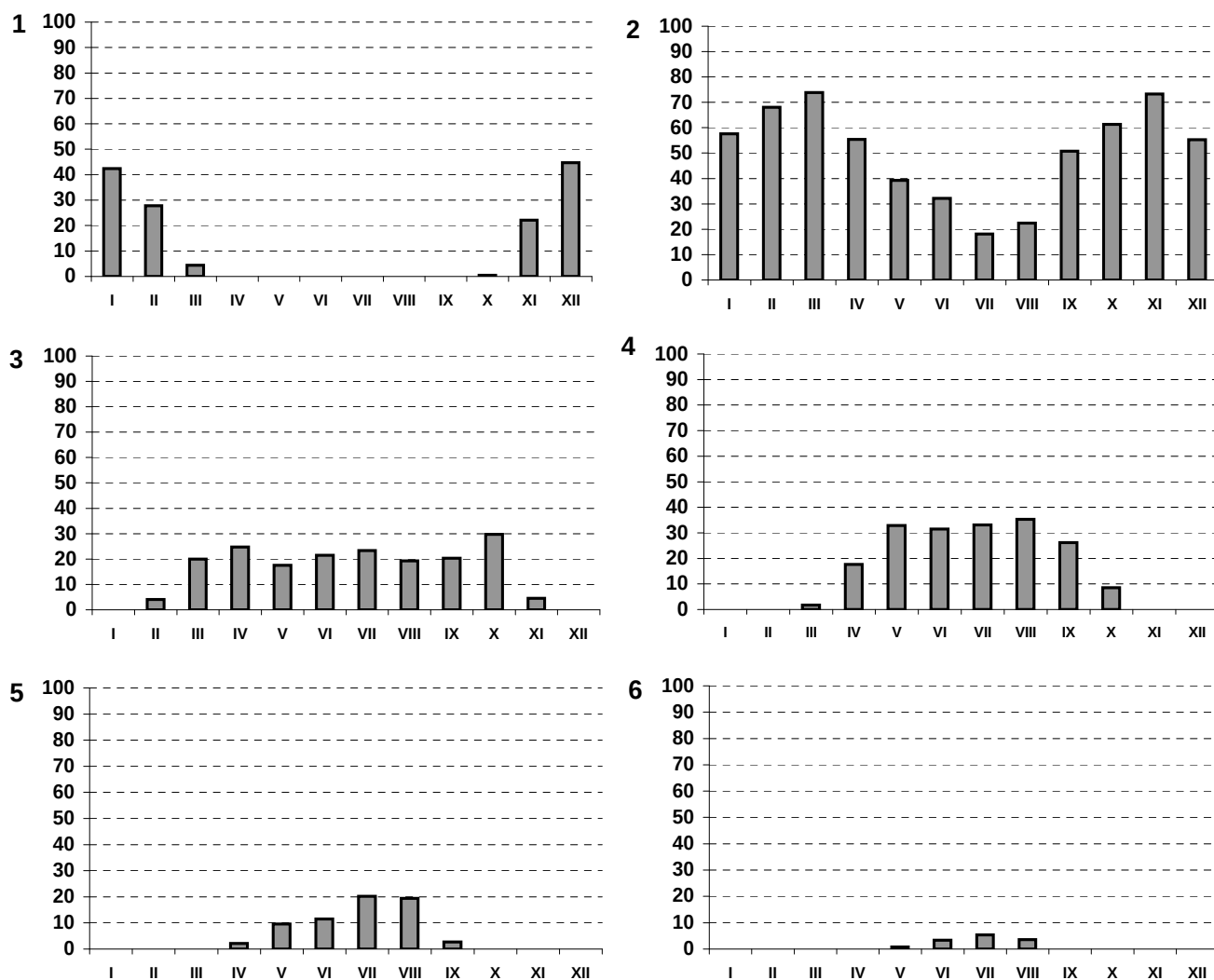
W 2002 roku Błażejczyk zastosował w badaniach bioklimatu Aglomeracji Warszawskiej opracowaną przez siebie biotermiczno-meteorologiczną klasyfikację pogody (Błażejczyk 2001), w której uwzględnił warunki stawiane tego typu klasyfikacjom. Pozwoliło to na stworzenie narzędzia dzięki któremu można scharakteryzować pogodę (z uwzględnieniem jej oddziaływania na organizm człowieka) wybranego obszaru w określonej jednostce czasu co szczególnie przydatne jest w rekreacji i turystyce. Szczegółowe założenia tej typologii pogód zawarł Błażejczyk w publikacjach z 2001, 2002 i 2004 roku.

Na podstawie analizy przeprowadzonej z zastosowaniem nowej biotermiczno-meteorologicznej typologii pogód Błażejczyka wydzielono we Wrocławiu w latach 1981-2000 97 typów, podtypów i klas pogody, z czego 22 typy pojawiły się średnio w co najmniej 1% dni w roku (tabela 24). Badania prowadzone w Warszawie przez K. Błażejczyka pozwoliły na wyodrębnienie w latach 1994-2001 zbliżonej liczby typów, podtypów i klas pogody (2004). Najczęściej pojawiającym się typem pogody jest pogoda chłodna (24 podtypy i klasy), którą obserwowano w 50% dni w roku - w Warszawie ten typ pogody zaobserwowano w 44% dni roku (Błażejczyk, 2004). Stanowi ona dominujący typ w miesiącach chłodnej połowy roku a maksimum częstości jej występowania przypada na marzec (prawie 24 dni) i listopad (22 dni) (ryc. 44). Pogoda chłodna obserwowana jest we wszystkich miesiącach roku, lecz w lipcu i sierpniu występuje najrzadziej - tylko w 11 dniach (po 5,5 dnia w każdym z nich). Najczęściej pojawiającym się podtypem pogody chłodnej, jest podtyp o słabych bodźcach radiacyjnych, z termofizjologicznym stresem zimna, z brakiem parności, bez dużych kontrastów termicznych, bez opadu i bez pokrywy śnieżnej (typ: -1110000; 10,2% dni w roku), który nie występuje tylko w lipcu i sierpniu. Ten typ pogody, lecz z klasą opadową 1 (czyli opad w ciągu doby równy bądź większy 1mm) jest trzecim pod względem częstości pojawiania się typem pogody w ciągu roku (tabela 24).

Tabela 24. Częstość (%) występowania typów, podtypów i klas pogody w poszczególnych miesiącach oraz w roku we Wrocławiu w latach 1981-2000 (w tabeli uwzględniono tylko typy, które wystąpiły w co najmniej 1% dni w roku)

Table 24. Monthly and annual frequency [%] of types, subtypes and weather classes (by Błażejczyk) in Wrocław (1981-2000; only types observed in 1% of days and more are presented in the table)

odczucia cieplne	-1	1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	2	-1	1	-2	-1	-1	0	0	0	-1	0	1	0	1
bodźce radiacyjne	1	2	1	1	1	2	1	2	3	1	3	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2
stres fizjologiczny	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
intensywność parności	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dobowe kontrasty termiczne	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
opad	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
atmosferyczny pokrywa śnieżna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	1,7		0,7	1,6	0,7	0,8		0,5				0,8					0,1					
II	0,9		0,6	1,0	0,4	1,3		1,0				0,6				0,2		0,2			0,1	
III	1,5		1,2	0,2	1,0	0,6	0,2	0,8			0,3		0,1			0,2	0,6	0,5			0,3	
IV	0,8	0,5	0,8		0,8	0,2	0,7	0,1	0,2	0,9	0,7			0,2	0,3	0,5	0,7	0,5			0,3	
V	0,2	1,3	0,4		0,2		0,9		0,7	1,1	1,1			0,2	0,7	0,4	0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1
VI	0,1	1,4	0,2				0,6		0,6	0,8	0,4			0,5	0,6			0,8	0,1	0,5	0,4	0,3
VII		1,6	0,1				0,3		1,1	0,3	0,2			0,6	0,2			0,8		0,6	0,4	0,2
VIII		1,4	0,1				0,5		1,0					0,5	0,4	0,1		0,7		0,4	0,3	0,4
IX	0,4	1,3	0,4		0,1		1,1		0,2			0,4		0,8	0,5	0,7	0,2	0,1		0,1	0,2	0,2
X	1,0	0,4	0,5		0,6	0,6	0,6	0,3				0,2		0,3	0,2	0,8	0,8		0,3		0,4	
XI	1,6		0,9	1,0	0,7	1,0		1,1						0,6	0,1		0,1	0,2		0,2		
XII	1,9		1,0	1,9	0,7	0,4		0,3					1,2					0,2				
Rok	10,1	7,9	6,9	5,7	5,1	4,9	4,8	4,0	3,7	3,5	3,4	3,3	3,1	2,8	2,8	2,8	2,7	2,5	1,6	1,5	1,3	1,0
Skumulowane	10,1	18,0	25,0	30,7	35,8	40,7	45,5	49,5	53,2	56,7	60,1	63,4	66,4	69,3	72,1	74,9	77,6	80,1	81,7	83,2	84,5	85,5



Ryc. 44. Częstość [%] występowania określonych typów pogody (1 - pogoda zimna, 2 - pogoda chłodna, 3 - pogoda komfortowa, 4 - pogoda ciepła, 5 - pogoda gorąca, 6 - pogoda bardzo gorąca) w poszczególnych miesiącach we Wrocławiu w latach 1981-2000

Fig. 44. Frequency of occurrence [%] of days with specific weather's types (by Błażejczyk) in Wrocław (1981-2000): 1 - very cold weather, 2 - cold weather, 3 - cool weather, 4 - warm weather, 5 - hot weather, 6 - extremely hot weather

W okresie od listopada do marca pojawia się typ pogody zimnej (z pierwszym znakiem –2; ryc. 44), lecz częstość dni z takim typem w ciągu całego roku wynosi niecałe 12%, z tego połowa przypada na podtyp pogody zimnej, o niewielkim natężeniu bodźców radiacyjnych, z termofizjologicznym stresem zimna, bez dużych kontrastów termicznych, opadu i bez pokrywy śnieżnej (-2110000). W sumie we Wrocławiu obserwuje się występowanie 11 podtypów i klas pogody zimnej.

Typ pogody komfortowej (18 podtypów i klas) jest obserwowany we Wrocławiu we wszystkich miesiącach roku aczkolwiek ze zmienną częstością. Występuje on średnio w 15,5% dni roku najczęściej w okresie od marca do października. Najczęściej pojawiającym się podtypem jest pogoda o umiarkowanych bodźcach radiacyjnych, z warunkami termoneutralnymi, bez odczucia parności, z dużymi kontrastami termicznymi w ciągu doby, bez opadu i pokrywy śnieżnej (typ 0200100), którą obserwuje się średnio w 2,8% dni roku. Taką samą częstością charakteryzuje się podtyp z termofizjologicznym stresem zimna (0210100).

Typem pogody cieplej (19 podtypów i klas) charakteryzowało się w badanym okresie we Wrocławiu 18,7% dni w roku, przy czym występowała ona tylko w okresie od marca (0,6 dnia) do października (2,7 dnia) z maksimum w sierpniu (10,9 dnia). Najczęściej pojawiającym się jej podtypem była pogoda ciepła z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi, z warunkami termoneutralnymi, bez odczucia parności, z dużymi kontrastami termicznymi w ciągu doby, bez opadu i pokrywy śnieżnej (1200100), którą zaobserwowano średnio w 29 dniach w roku (z maksimum w lipcu – 6 dni; tab. 25., ryc. 44).

Tabela 25. Częstość [%] występowania typów, podtypów i klas pogody we Wrocławiu w latach 1981-2000

Table 25. Monthly and annual frequency [%] of types, subtypes and weather classes (by Błażejczyk) in Wrocław (1981-2000)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Typ pogody													
Odczucia termiczne													
bardzo zimno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
zimno	42,4	27,8	4,4	-	-	-	-	-	-	0,5	22,2	44,7	11,8
chłodno	57,6	68,1	73,9	55,5	39,7	32,2	18,1	22,3	50,3	61,3	73,3	55,3	50,6
komfortowo	-	4,1	20,0	24,7	16,6	21,3	23,5	19,7	21,0	29,7	4,5	-	15,4
ciepło	-	-	1,8	17,7	33,2	31,5	33,1	35,2	26,0	8,5	-	-	15,6
gorąco	-	-	-	2,2	9,7	11,7	20,0	19,4	2,7	-	-	-	5,5
bardzo gorąco	-	-	-	-	0,8	3,3	5,3	3,5	-	-	-	-	1,1
Podtyp pogody													
Bodźce radiacyjne													
słabe	81,8	57,2	57,1	51,2	46,1	51,2	42,4	39,0	52,2	48,1	65,8	91,6	57,0
umiarkowane	18,2	42,8	35,5	31,8	29,2	30,8	32,3	31,9	39,8	48,7	34,2	8,4	32,0
silne	-	-	7,4	17,0	24,7	18,0	25,3	29,0	8,0	3,2	-	-	11,1
Stres termofizjologiczny													
zimno	100,0	100,0	93,5	58,3	17,1	6,0	1,9	2,1	16,8	59,8	95,7	99,4	54,2
termoneutralnie	-	-	6,5	41,7	82,9	91,5	93,1	94,5	83,2	40,2	4,3	0,6	44,9
gorąco	-	-	-	-	-	2,5	5,0	3,4	-	-	-	-	0,9
Intensywność parności													
brak	100,0	100,0	100,0	99,7	99,4	95,5	92,3	89,5	98,3	99,8	100,0	100,0	97,9
umiarkowana	-	-	-	0,3	0,5	4,5	7,7	10,3	1,7	0,2	-	-	2,1
silna	-	-	-	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-	-	0,0
Klasa pogody													
Dobowe kontrasty termiczne													
małe	72,4	65,0	53,2	30,0	19,4	25,3	23,2	23,2	39,5	42,1	68,2	77,1	44,9
duże	27,6	35,0	46,8	70,0	80,6	74,7	76,8	76,8	60,5	57,9	31,8	22,9	55,1
Opad atmosferyczny													
bez opadu	72,4	71,7	72,1	75,2	72,6	66,7	70,6	71,9	73,7	78,9	73,3	68,9	72,3
z opadem	27,6	28,3	27,9	24,8	27,4	33,3	29,4	28,1	26,3	21,1	26,7	31,1	27,7
Pokrywa śnieżna													
bez pokrywy	88,7	88,5	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,8	95,6	97,6
z pokrywą	11,3	11,5	0,6	-	-	-	-	-	-	-	1,2	4,4	2,4

Pogoda gorąca występowała we Wrocławiu w 5,5% dni roku (19 podtypów i klas), lecz tylko w okresie od kwietnia (0,7 dnia) do września (0,8 dnia) a jej największa częstość obserwowana była w lipcu (6,3 dnia). W 13,6 dnia (2/3 wszystkich dni z typem pogody gorącej) zaobserwowano jej podtyp z silnymi bodźcami radiacyjnymi, o warunkach termoneutralnych, bez odczucia parności, z dużymi kontrastami termicznymi w ciągu doby, bez opadu i pokrywy śnieżnej (2300100).

Najrzadziej pojawiającym się typem pogody we Wrocławiu w latach 1981-2000 była pogoda bardzo gorąca, którą obserwowano średnio w 4 dniach w roku. W obrębie tego typu wyszczególniono 6 podtypów i klas pogody. Średnia roczna częstość pojawiania się tego typu pogody we Wrocławiu (1,1% dni) była ponad pięciokrotnie większa niż w Warszawie (0,2% dni).

Wiosną we Wrocławiu najczęściej występował typ pogody chłodnej (56,3 % dni tej pory roku) z czego w prawie 30% dni obserwowano typ pogody chłodnej o umiarkowanych bodźcach radiacyjnych występującym termofizjologicznym stresem zimna, bez odczuwalnej parności z klasami o dużym i małym dobowym kontraście termicznym z opadem i bez opadu (-1110000, -1110010 i -1110100; tabela 26). Często pojawiała się również pogoda komfortowa i ciepła (odpowiednio 20,4 i 17,6% dni). W 51% dni pogoda charakteryzowała się bodźcami radiacyjnymi o słabym natężeniu, lecz w 32% dni miały one natężenie umiarkowane a w 16,4% dni były silne. To powodowało, że organizm ludzki w 56% dni tej pory roku był pod wpływem termofizjologicznego stresu zimna a warunki termoneutralne pojawiały się w 44% dni. Wiosna jest okresem praktycznie pozbawionym dni, w których pojawia się odczucie parności (ma to miejsce tylko w 0,4% przypadków). W miesiącach wiosennych 2/3 dni charakteryzują się dużymi dobowymi kontrastami termicznymi przekraczającymi 8°C a częstość pojawiania się dni z opadem >1mm wynosi niecałe 27%. W tym okresie dość sporadycznie pojawia się pokrywa śnieżna o miąższości większej niż 10cm – ma to miejsce 0,2% dni. Wiosną 21 odmian pogody pojawiało się częściej niż w 1% dni a 6 typów występowało w prawie 50% dni.

Tabela 26. Częstość [%] pojawiania się w poszczególnych porach roku typów, podtypów i klas pogód we Wrocławiu w latach 1981-2000 (przedstawiono tylko typy, które pojawiły się w danej porze roku w $\geq 1,0\%$ dni)

Table 26. Frequency [%] of types, subtypes and weather classes (by Błażejczyk) in seasons, Wrocław (1981-2000; only types observed in 1% of days and more presented in table)

STI	-1	-1	-1	1	1	-1	0	-1	0	-1	2	-1	-1	0	-1	0	-1	0	1	1	-1
R'	1	1	1	2	3	1	2	1	2	-1	3	-2	2	3	1	2	-1	1	3	2	-1
PhS	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
HSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dt	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
RR	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wiosna	10,2	9,4	7,8	7,2	7,1	6,8	5,5	4,8	4,5	3,8	3,4	3,4	3,2	2,9	2,9	2,6	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1
Skumulowane	10,2	19,6	27,4	34,6	41,6	48,5	53,9	58,7	63,3	67,0	70,5	73,9	77,1	80,0	82,8	85,5	87,1	88,6	89,9	91,1	92,3

STI	1	2	0	-1	0	-1	-1	-1	1	1	1	2	0	0	-1	3	3	2	3	1	1
R'	2	3	1	1	1	1	1	1	3	2	2	3	1	1	1	3	3	3	3	2	2
PhS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	
HSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
dt	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1
RR	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lato	17,5	10,6	9,1	6,2	5,9	5,6	4,8	4,6	4,4	4,3	3,5	2,4	2,2	2,1	1,8	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Skumulowane	17,5	28,1	37,2	43,4	49,3	54,9	59,7	64,3	68,7	73,0	76,5	78,9	81,1	83,2	85,1	86,5	87,5	88,6	89,6	90,6	91,6

STI	-1	-1	-1	1	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-2	-1	-1	-2	0	1	0	-1		
R'	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	3	2	2		
PhS	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1		
HSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
dt	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0		
RR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1		
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Jesień	11,9	7,3	7,0	6,9	6,6	6,4	6,2	5,7	5,4	4,7	4,4	4,2	2,9	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	1,3		
Skumulowane	11,9	19,2	26,1	33,1	39,7	46,0	52,2	57,9	63,3	68,0	72,4	76,6	79,4	81,8	84,1	86,3	88,4	90,5	91,8		

STI	-2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-1	-1	0						
R'	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2		
PhS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
HSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
dt	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1						
RR	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0						
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0						
Zima	18,2	17,9	10,6	10,2	9,3	7,3	7,2	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6	1,3	1,0	1,0						
Skumulowane	18,2	36,1	46,7	56,9	66,2	73,5	80,8	83,3	85,7	87,8	89,6	91,3	92,5	93,5	94,5						

W miesiącach letnich we Wrocławiu najczęściej pojawia się pogoda, którą człowiek postrzega jako ciepła – ma to miejsce w 1/3 dni letnich a najczęściej obserwowano się typ pogody ciepłej o umiarkowanym natężeniu bodźców radiacyjnych, z termoneutralnymi dla organizmu człowieka warunkami, bez odczucia parności, lecz o dużych dobowych kontrastach termicznych bez opadu atmosferycznego (1200100). W tym czasie w ogóle nie pojawia się pogoda bardzo zimna i zimna, lecz pogoda chłodna występuje w 24% dni a na 21% dni przypada pogoda komfortowa. Miesiące letnie to okres, kiedy najczęściej pojawiają się dni z wysoką temperaturą powietrza odczuwaną przez organizm człowieka jako pogoda gorąca i bardzo gorąca – w sumie co piąty dzień tego okresu charakteryzuje się takimi warunkami. Latem, co czwarty dzień charakteryzuje się we Wrocławiu występowaniem intensywnych bodźców radiacyjnych a umiarkowane i słabe bodźce obserwować można było w odpowiednio 31,7% i 44,2% dni. Cechą charakterystyczną dla okresu letniego jest niewielka częstość pojawiania się dni z termofizjologicznym stresem zima - to tylko 3,3% dni lata. Najczęściej obserwowano się we Wrocławiu warunki termoneutralne (93% dni), lecz tylko w tym okresie występowały dni, kiedy organizm człowieka doznawał termofizjologicznego stresu gorąca (0,6% dni letnich). Latem najczęściej pojawiały się również dni parne, lecz o umiarkowanym stopniu nasilenia – miało to miejsce w 7,5 % dni. Miesiące letnie to okres, w którym dominują dni z dużymi kontrastami dobowymi powietrza co ma miejsce w 76% dni. W tym okresie najczęściej występują dni z opadem atmosferycznym – w 30,3% dni wynosił on więcej niż 1mm.

Jesień jest porą roku, w której dominuje typ pogody chłodnej, co ma miejsce w prawie 62% dni. Wówczas też w 7,6% dni pojawia się klasa pogody zimnej a pogoda postrzegana jako komfortowa daje się zauważyć w 18,4% dni. W miesiącach jesiennych w 11,5% dni występuje pogoda ciepła i dość sporadycznie pojawiają się dni z pogodą gorącą (0,9% dni). W tej porze roku odnotowuje się największą częstość występowania dni z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi (40,9% dni), w 3,7% dni mają one natężenie silne a w 55,4% dni są one słabe (tabela 25). Ze względu na malejącą temperaturę powietrza, zmniejszający się dopływ promieniowania krótkofalowego jesienią w 57,4% dni organizm człowieka jest pod wpływem termofizjologicznego

stresu zimna a w pozostałych dniach warunki są termoneutralne. W tym okresie częstość występowania dni parnych (tylko z natężeniem umiarkowanym) jest niewielka i wynosi 0,6% wszystkich dni jesiennych. Ta pora roku charakteryzuje się występowaniem dni z małymi i dużymi dobowymi kontrastami termicznymi z niemalże identyczną częstością. Jest to również okres kiedy najczęściej obserwuje się dni bez opadu atmosferycznego (75% dni), lecz pojawiają się wówczas dni z zalegającą pokrywą śnieżną – ma to miejsce w 0,4% dni.

W okresie zimy obserwowane są tylko 3 typy odczuć termicznych pogody – zimno, chłodno i komfortowo, z czego najczęściej pojawia się pogoda chłodna (w 60% dni), druga pod względem częstości występowania jest pogoda zimna (38,3% dni) a warunki komfortowe obserwuje się w 1,4% dni. W tym okresie 77% dni charakteryzuje się ograniczonym dopływem krótkofalowego promieniowania słonecznego (bodźce radiacyjne są słabe). Zdecydowana większość dni zimowych cechuje się warunkami, w których organizm człowieka jest poddawany termofizjologicznemu stresowi zimna (99,8% dni) i nie obserwuje się występowania parności. Zimą dobowe kontrasty termiczne są najczęściej małe (w 71,5% dni) a dni z opadem atmosferycznym występują w 71% dni. W tej porze roku najczęściej pojawia się pokrywa śnieżna, lecz ma to miejsce tylko w 9% dni.

Na podstawie przeprowadzonej analizy warunków pogodowych, jakie wystąpiły we Wrocławiu w latach 1981-2000 opracowany został kalendarz typów pogody, który zamieszczono jako załącznik 1. Określony typ pogody jest dominujący dla danego dnia, jeśli pojawił się minimum 15 razy w badanym okresie. W innych przypadkach zamieszczono dwa najczęściej pojawiające się typy pogody.

8.1. Przydatność pogody do uprawiania określonych form rekreacji

Informacje uzyskane na podstawie biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody skierowane są przede wszystkim do specjalistów głównie z dziedziny klimatologii, bioklimatologii, profilaktyki zdrowia itp. Z tego też powodu mogą być nie zawsze właściwie zrozumiane, dlatego Błażejczyk (2004) opracował wskaźniki oceny przydatności poszczególnych typów pogody do określonych form rekreacji i turystyki. Pozwalają one na w miarę obiektywną ocenę pogody i wykorzystanie tej informacji do ewentualnego planowania zajęć rekreacyjnych.

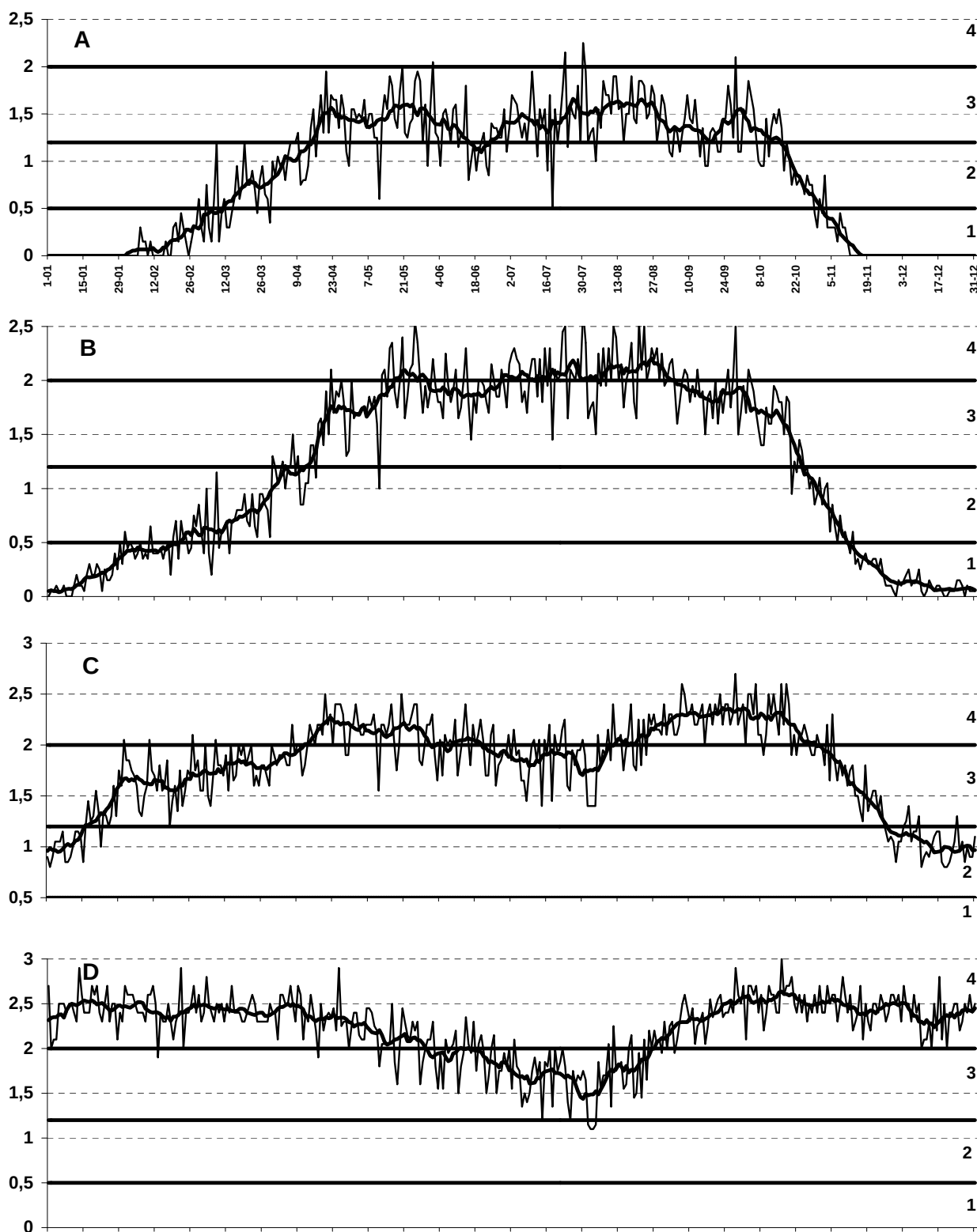
Nowa biotermiczno-meteorologiczna klasyfikacja pogody posłużyła do opracowania wskaźników przydatności warunków pogodowych do poniższych form rekreacji i turystyki (Błażejczyk, 2004):

- kąpiele powietrzne (AB)
- kąpiele słoneczne (SB)
- spacer i spokojne zajęcia terenowe (MR)
- gry terenowe i intensywne marsze, turystyka piesza i rowerowa oraz praca w terenie otwartym (AR)
- turystyka i rekreacja narciarska (ST).

Wyliczone odpowiednie wskaźniki oceny pogody dla poszczególnych form rekreacji zostały wykorzystane do policzenia wartości sumarycznego wskaźnika oceny (WEI_{tot}), który jest szczególnie użyteczny w przypadku badań porównawczych. Średnie wartości z okresu 1981-2000 wyliczonych wskaźników przydatności pogody do uprawiania poszczególnych form rekreacji oraz sumarycznego wskaźnika oceny pozwoliły na sporządzenie kalendarzy, które zamieszczone zostały w załączniku 2.

Oceniając przydatność pogody do zażywania kąpiei słonecznych (WEI_{SB}) i powietrznych (WEI_{AB}) we Wrocławiu można wydzielić dwa główne okresy: pierwszy z pogodą niekorzystną trwający od pierwszej dekady listopada aż do pierwszej dekady marca (ryc. 45a i b). Drugi okres z pogodą korzystną (a w przypadku kąpiei powietrznych nawet bardzo korzystną) od pierwszej dekady kwietnia do drugiej dekady października. Czas trwania pogody korzystnej i niekorzystnej jest od siebie oddzielony kilkutygodniowymi okresami przejściowymi. Zmniejszone usłonecznienie, niższa temperatura powietrza (w drugiej połowie czerwca, jest wyraźnie widoczna w przebiegu wskaźnika przydatności pogody do zażywania kąpiei słonecznych (ryc. 45a). W ocenie pogody pod kątem jej przydatności do zażywania spacerów i spokojnych zajęć terenowych (WEI_{MR}) dominują dni, kiedy jest ona korzystna lub bardzo korzystna (ryc. 45c) dla takiej formy rekreacji. Pogoda umiarkowanie korzystna obserwowana jest tylko w okresie od początku grudnia do połowy stycznia.

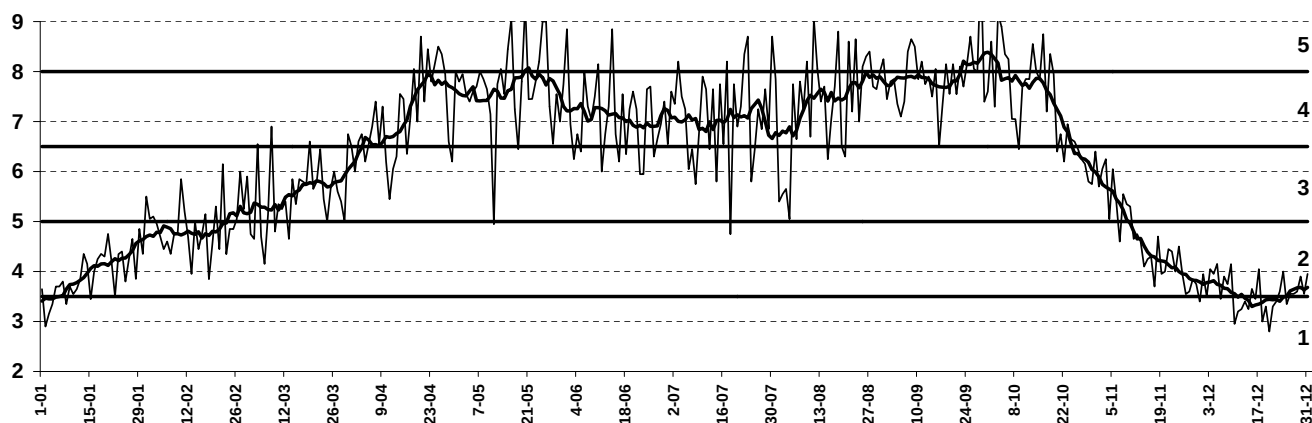
Rozpatrując przydatność pogody we Wrocławiu do uprawiania gier terenowych, intensywnych marszów, turystyki pieszej i rowerowej oraz pracy w terenie otwartym (AR), w ciągu prawie całego roku jest ona bardzo korzystna (ryc. 45d). Jedynie w miesiącach letnich WEI_{AR} przybiera wartości wskazujące na pogodę korzystną do takich form rekreacji.



Ryc. 45. Przebieg roczny wartości wskaźników przydatności poszczególnych typów pogody do określonych form rekreacji i turystyki we Wrocławiu w latach 1981-2000 (A – WEI_{avgSB} ; B – WEI_{avgAB} ; C – WEI_{avgMR} ; D – WEI_{avgAR}). Z prawej strony na wykresach umieszczono skalę przydatności pogody do danej formy rekreacji: 1 – pogoda niekorzystna; 2 – pogoda umiarkowanie korzystna; 3 – pogoda korzystna; 4 – pogoda bardzo korzystna (linia cienka – średnie arytmetyczne, linia pogrubiona – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 45. Annual course of Weather Evaluating Index which evaluates usefulness of various weather conditions for different forms of recreation and tourism (diagram A – WEI_{avgSB} : sun baths; diagram B – WEI_{avgAB} : air baths; diagram C – WEI_{avgMR} : mild recreational activity; diagram D – WEI_{avgAR} : intensive recreation and summer tourism) in Wrocław (1981-2000). On diagram usefulness for different forms of recreation and tourism are presented (according to Błażejczyk): 1 - unsuitable, 2 - moderate suitable, 3 - suitable with limitations, 4 - suitable without limitations

Z przebiegu średnich wartości sumarycznego wskaźnika oceny wyniku (WEI_{tot}), że we Wrocławiu w okresie od początku kwietnia do końca drugiej dekady października panują bardzo korzystne warunki biometeorologiczne (ryc. 46). Jedynie sporadycznie mogą one być minimalnie gorsze, lecz ciągle są określane jako korzystne. Nie brak również w tym okresie dni, kiedy warunki biometeorologiczne są wybitnie korzystne jednak pojawiają się dość nieregularnie. W świetle sumarycznego wskaźnika oceny warunki korzystne występują we Wrocławiu w dwóch okresach: pierwszy obserwowany jest od początku do końca marca a drugi pojawia się w połowie trzeciej dekady października i trwa niecałe dwa tygodnie. W pozostałym okresie warunki pogodowe określane są jako umiarkowanie korzystne. Natomiast warunki niekorzystne pojawiają się dość sporadycznie w pierwszej połowie grudnia.



Ryc. 46. Przebieg średnich wartości sumarycznego wskaźnika oceny (WEI_{tot}) we Wrocławiu w latach 1981-2000. Z prawej strony umieszczono skalę, w której poszczególnym wartościom przyporządkowano następującą ocenę: 1 – warunki niekorzystne, 2 – warunki umiarkowanie korzystne, 3 – warunki korzystne, 4 – warunki bardzo korzystne, 5 – warunki wybitnie korzystne (linia cienka – średnie arytmetyczne, linia pogrubiona – średnie konsekwentne 11-dniowe)

Fig. 46. Annual course of Total Weather Evaluating Index (WEI_{tot}) in Wrocław (1981-2000). On diagram scale of weather suitability are presented (according to Błażejczyk): 1 - unsuitable conditions, 2 - moderate suitable conditions, 3 - suitable conditions, 4 - very suitable conditions, 5 - excellent suitable conditions

Średnie wartości z okresu 1981-2000 sumarycznego wskaźnika oceny zostały zestawione w postaci kalendarza WEI_{tot} i zamieszczone w załączniku 2. na końcu niniejszej pracy.

Reasumując można stwierdzić, że warunki pogodowe Wrocławia są dość sprzyjające np. z turystycznego punktu widzenia (świadczą o tym wartości wskaźnika WEI_{tot}). Dominującym typem pogody jest, co prawda pogoda „chłodna”, lecz należy wziąć pod uwagę fakt, że najczęściej pojawia się ona w chłodnej połowie roku. Wówczas człowiek ubrany adekwatnie do warunków zewnętrznych nie powinien być narażony na szczególnie nieprzyjemne odczucia. Ta pora roku odznacza się również inną niekorzystną cechą – zmniejszony kąt padania promieni słonecznych i duża częstość dni pochmurnych dają w rezultacie często pojawiający się podtyp pogody ze słabymi bodźcami radiacyjnymi. Wywołuje to efekt niedoboru promieniowania krótkofalowego (szczególnie UV) i może wpływać negatywnie na równowagę psychofizyczną u człowieka. Jednakże w okresie od maja do października warunki pogodowe są dość korzystne – wówczas w ponad 50% dni obserwuje się pogodę „komfortową” i „ciepłą”. Dzięki temu w zdecydowanej większości dni wspomnianego okresu panują warunki termoneutralne – najkorzystniejsze z punktu widzenia organizmu człowieka. Wówczas występują w większości dni warunki bardzo korzystne (a niekiedy wybitnie korzystne) do uprawiania we Wrocławiu turystyki i rekreacji.

9. Wpływ miasta na zróżnicowanie warunków bioklimatycznych Wrocławia

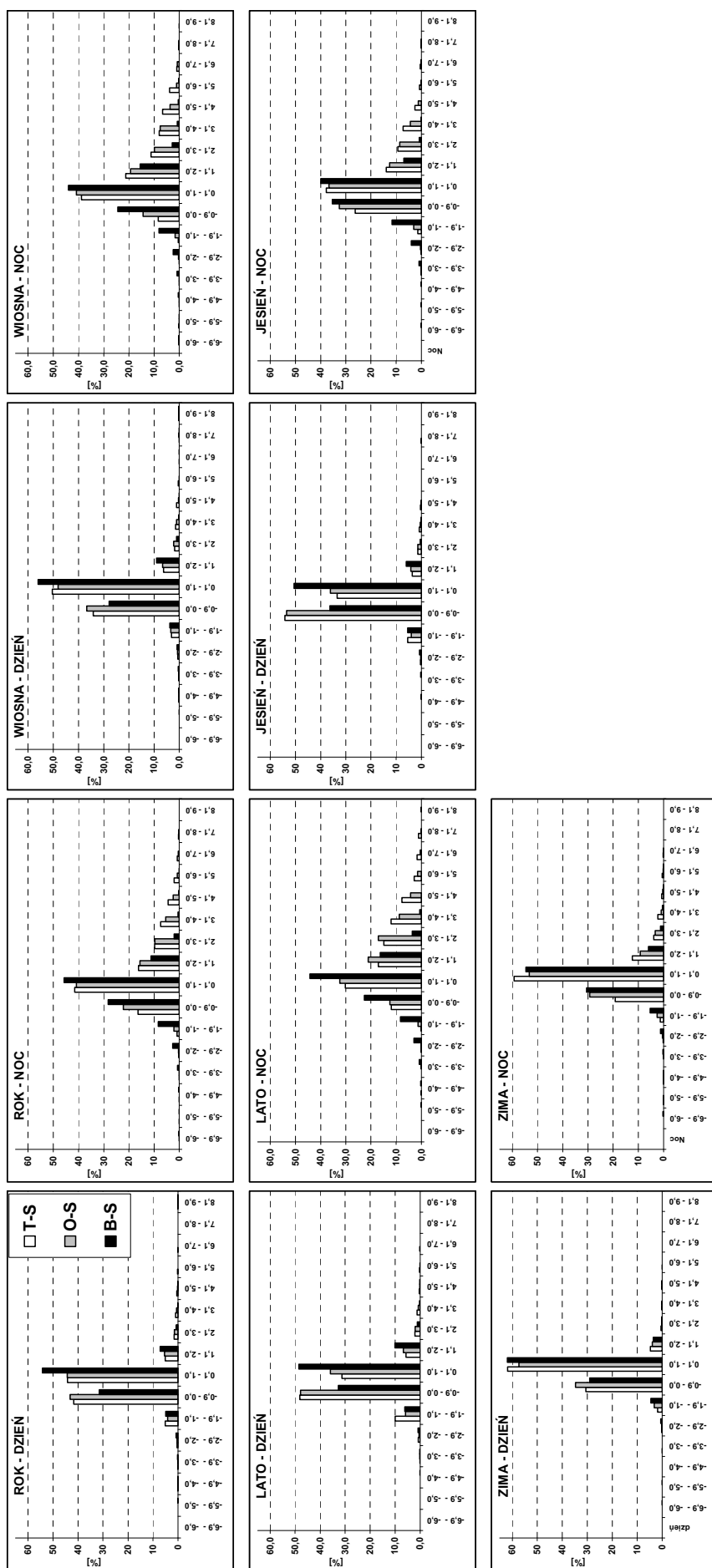
Zróżnicowana struktura powierzchni miejskich w skład, której wchodzi wiele, często odmiennych, typów użytkowania terenu jest przyczyną różnicowania się warunków meteorologicznych, przez co docierają one do receptorów zmysłowych organizmu ludzkiego z odmiennym natężeniem. Warunki biometeorologiczne, będąc pochodną zespołu bodźców fizycznych, chemicznych i biologicznych, mogą ulegać dość znacznym modyfikacjom nawet w obszarach sąsiadujących ze sobą. Zainstalowane w wybranych punktach Wrocławia meteorologiczne stacje automatyczne pozwoliły na zgromadzenie informacji o przebiegu wybranych elementów meteorologicznych, które mają istotny udział w kształtowaniu się ogólnie rozumianych warunków biometeorologicznych. W niniejszym rozdziale zostaną zaprezentowane wyniki badań prowadzonych w okresie od kwietnia 2001 do lipca 2004r. w oparciu o oryginalne dane meteorologiczne mierzone z minutową rozdzielczością czasową.

9.1. Urbanistyczne uwarunkowania zróżnicowania wybranych elementów klimatu Wrocławia

Meteorologiczne stacje automatyczne zlokalizowane w wybranych typach użytkowania powierzchni miejskiej pozwoliły na uzyskanie szczegółowych informacji o warunkach meteorologicznych, jakie tam się kształtują. Do poniższych obliczeń wykorzystano tylko te okresy, kiedy rejestrację prowadziły równolegle wszystkie cztery stacje automatyczne.

Najwyższa średnia roczna dla całej doby temperatura powietrza została w badanym okresie zarejestrowana w centralnej części miasta (T): wyniosła ona 9,8°C (tabela 27). Niższą o 0,2°C średnią temperaturę powietrza obserwowano na osiedlu o wysokiej, jedenastokondygnacyjnej zabudowie (O). Natomiast w dzielnicy z dość luźną zabudową, złożoną głównie z wolnostojących domów, z dużą ilością zieleni miejskiej (B) była ona o 0,5°C niższa niż w centrum. Najniższe jej wartości zarejestrowano na obszarze podmiejskim, dość znacznie oddalonym od gęstej zabudowy charakteryzującej tereny śródmiejskie (S) gdzie wyniosła ona 9,2°C. Różnica średniej rocznej wartości temperatury powietrza między obszarem silnie zabudowanego centrum (T) a pozbawionym zabudowy terenem podmiejskim (S) była w badanym okresie o 0,4°C mniejsza niż w okresie IV 1997 - III 2000 (Szymanowski, 2004). Na stacji podmiejskiej zarejestrowano najniższe minimalne wartości temperatury powietrza, których średnia roczna wyniosła -3,8°C, co jest o 2,9°C, 2,1°C i 0,7°C mniej niż odpowiednio na stanowiskach T, O i B.

Porównując obszary zabudowane z terenem podmiejskim można stwierdzić, że różnice średniej miesięcznej temperatury są największe między centrum miasta a strefą podmiejską (T i S) w marcu i maju (ryc. 47), kiedy to wynoszą ok. 1°C a najmniejsze w październiku (0,3°C). Różnice średniej miesięcznej temperatury powietrza między osiedlem z wielokondygnacyjnymi blokami mieszkalnymi a strefą podmiejską są podobne do tych obserwowanych między stacjami T i S, lecz zazwyczaj mniejsze o niecałe 0,2°C. W lipcu i sierpniu praktycznie nie obserwuje się zróżnicowania termicznego między tymi typami zabudowy. Najbardziej zbliżone do siebie pod względem termicznym są obszary o zabudowie willowej i tereny podmiejskie (B i S) a różnice miesięcznych średnich dobowych wartości temperatury powietrza nie przekraczają 0,25°C. We wrześniu i październiku średnia temperatura powietrza w typie zabudowy willowej jest nawet niższa niż w obszarze podmiejskim (tabela 27; ryc. 48).



Ryc. 47. Częstość [%] występowania różnic temperatury powietrza [dt, K] pomiędzy stacjami miejskimi a stacją pozamiejską, Wrocław, IV 2001 - VII 2004

Fig. 47. Frequency of occurrence [%] of air temperature differences [dt, K] between built-up area (stations T, O and B) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

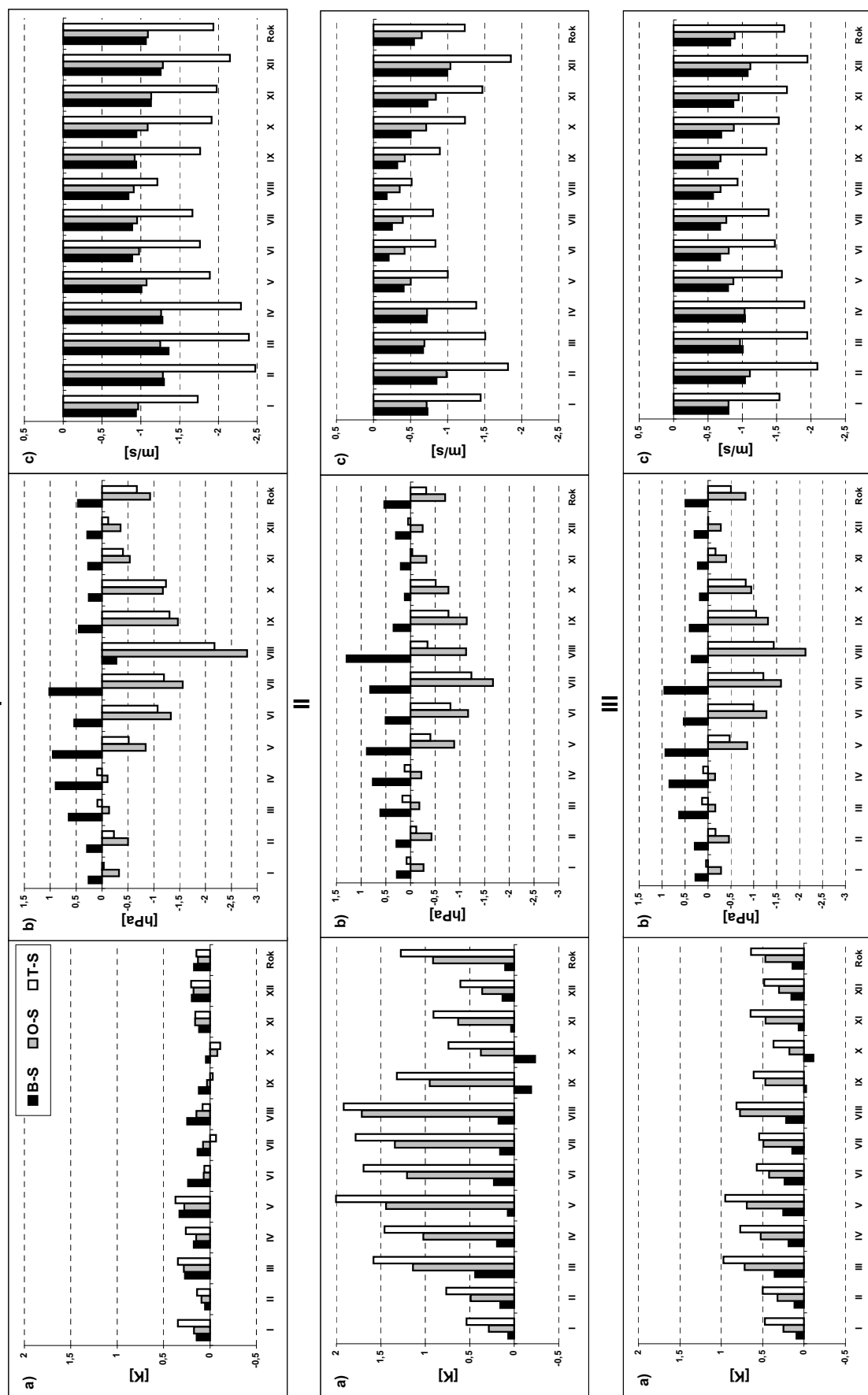
Tabela 27. Średnie, minimalne i maksymalne wartości miesięczne i roczne wybranych elementów meteorologicznych w ciągu doby we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Table 27. Monthly and annual average and extremes values of selected meteorological parameters (t [°C], e [hPa], v [m/s]) in Wrocław (04.2001-07.2004; data collected by Automatic Weather Stations)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Teatralna														
t	średnia	-0,1	3,3	5,7	8,8	15,4	16,3	19,3	20,2	14,0	10,6	4,9	-1,0	9,8
	min	-10,8	-7,0	-6,5	-4,0	4,2	6,1	11,0	9,6	4,2	-0,1	-4,1	-13,8	-13,8
	max	8,3	15,7	20,3	26,3	31,4	29,5	32,5	32,5	27,9	26,7	18,5	11,5	32,5
e	średnia	5,3	5,9	6,0	7,1	10,6	11,9	15,0	15,2	11,9	10,1	7,4	5,0	9,3
	min	2,3	1,8	1,4	2,4	4,9	6,1	7,8	7,5	5,1	4,2	3,0	1,4	1,4
	max	10,2	12,2	12,3	13,9	18,8	19,8	24,0	26,3	20,8	17,6	12,8	11,0	26,3
v	średnia	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,6	0,4
	max	4,4	5,0	4,9	3,9	3,2	2,8	2,9	2,8	2,8	4,2	3,1	4,3	5,0
Orzechowa														
t	średnia	-0,3	3,2	5,4	8,5	15,2	16,2	19,2	20,2	13,8	10,5	4,7	-1,1	9,6
	min	-11,2	-7,9	-6,8	-4,4	4,0	4,6	9,6	8,8	3,0	-1,1	-5,4	-14,2	-14,2
	max	8,3	15,9	20,5	25,8	31,4	29,9	32,7	33,4	28,1	26,7	18,5	11,8	33,4
e	średnia	5,0	5,6	5,7	6,8	10,2	11,7	14,6	14,6	11,6	10,0	7,1	4,7	9,0
	min	2,0	1,7	1,5	2,2	4,3	5,8	7,6	7,1	5,0	4,0	2,8	1,3	1,3
	max	9,7	11,7	11,8	13,5	19,1	19,6	24,4	24,2	19,3	17,9	15,4	9,8	24,4
v	średnia	1,2	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,4	1,2
	max	8,3	9,0	9,6	9,2	6,7	7,0	7,3	6,0	6,1	9,8	8,1	10,1	10,1
Biskupin														
t	średnia	-0,5	2,9	5,1	8,2	14,7	16,0	18,9	19,6	13,4	10,2	4,3	-1,3	9,3
	min	-11,6	-8,8	-9,4	-4,7	1,4	3,9	6,9	7,1	1,3	-3,0	-6,8	-14,0	-14,0
	max	8,7	16,3	20,6	26,4	31,7	30,0	33,1	33,2	27,9	27,0	18,2	11,9	33,2
e	średnia	5,5	6,4	6,5	7,8	12,0	13,5	17,2	17,0	13,4	11,1	7,8	5,3	10,3
	min	2,3	2,0	1,4	2,7	5,3	6,9	9,0	8,8	5,7	4,8	3,3	1,5	1,4
	max	10,8	12,5	13,4	15,2	22,0	22,7	27,8	31,1	22,5	21,4	14,5	11,3	31,1
v	średnia	1,2	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,2
	max	10,6	11,1	11,5	8,3	8,8	8,8	8,2	8,4	7,5	12,3	9,0	9,7	12,3
Strachowice														
t	średnia	-0,5	2,8	4,7	8,0	14,5	15,8	18,7	19,4	13,4	10,3	4,2	-1,4	9,2
	min	-12,9	-11,7	-8,6	-5,8	1,0	3,1	6,0	6,0	1,2	-2,6	-7,1	-14,2	-14,2
	max	9,4	16,2	20,3	26,4	31,0	30,0	32,9	33,0	27,6	26,6	18,7	11,1	33,0
e	średnia	5,3	6,1	5,9	7,0	11,1	12,9	16,2	16,7	13,0	10,9	7,5	5,0	9,8
	min	2,0	1,5	1,4	1,3	2,7	5,6	5,9	5,4	5,0	4,4	3,1	1,4	1,3
	max	10,6	12,4	14,9	14,8	20,6	21,8	27,6	35,0	21,5	20,7	13,3	9,8	35,0
v	średnia	2,0	2,7	2,4	2,3	2,0	1,9	1,8	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5	2,0
	max	11,3	12,7	13,7	11,7	11,6	9,8	10,9	10,2	10,7	13,5	12,1	13,5	13,7

W ciągu dziennej pory doby pole temperatury powietrza na terenie miasta wykazuje mniejsze zróżnicowanie niż w porze nocnej, co prezentowały również wcześniejsze opracowania (Fortuniak, 2003; Szymanowski, 2004).

Największe różnice rejestrowane są w przypadku średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza nocnej pory doby – średnia roczna różnica między centrum miasta (T) a terenem podmiejskim (S) wynosi 1,3°C. Porównanie osiedla wielokondygnacyjnych bloków mieszkalnych ze stacją podmiejską również wykazuje uprzywilejowanie termiczne o ok. 1,0°C w nocnej porze doby obszaru zabudowanego (tabela 29). Tylko stacja B nie wykazuje istotnych różnic średnich rocznych wartości temperatury powietrza w nocy w porównaniu ze stacją podmiejską – wynosi ona tylko ok. 0,1°C. Największe różnice temperatury powietrza między centrum miasta i stacją podmiejską rejestrowane były w maju i sierpniu – wyniosły one blisko 2°C na korzyść intensywnej zabudowy. Zróżnicowanie temperatury powietrza między osiedlem bloków mieszkalnych na i terenem podmiejskim (O-S) w sierpniu wynosi średnio ok. 1,7°C. W przypadku różnic między stacją na Biskupinie i na Strachowicach, ich średnia miesięczna jest największa w marcu, lecz nawet wówczas wynosi ona mniej niż 0,5°C. We wrześniu i październiku osiąga ona nawet wartości ujemne – świadczy to termicznym uprzywilejowaniu stacji podmiejskiej. Największe różnice średnich dobowych wartości temperatury powietrza między obszarami zabudowanymi (o różnym stopniu intensywności)



Ryc. 48. Różnice średnich miesięcznych wartości temperatury [K] (a), ciśnienia pary wodnej [hPa] (b) i prędkości wiatru [m/s] (c) między obszarem zabudowanym (T,O,B) i niezabudowanym (S) w ciągu dnia (I), nocy (II) i całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Fig. 48. Differences of monthly mean of: air temperature [K] (diagram a), vapour pressure [hPa] (diagram b) and wind speed [m/s] (diagram c) between built-up area (stations T, O and B) and rural area (S) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

Tabela 28. Średnie, minimalne i maksymalne wartości miesięczne i roczne wybranych elementów meteorologicznych w porze dziennej doby we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Table 28. Monthly and annual average and extremes values of selected meteorological parameters (t [°C], e [hPa], v [m/s]) during daytime in Wrocław (04.2001-07.2004; data collected by Automatic Weather Stations)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Teatralna														
t	średnia	0,3	3,8	6,7	9,9	16,4	17,1	20,0	21,7	15,1	11,9	5,7	-0,4	10,7
	min	-10,8	-7,0	-6,5	-3,9	4,2	6,1	11,0	9,6	4,2	0,0	-4,1	-13,8	-13,8
	max	7,5	15,7	20,3	26,3	31,4	29,5	32,5	32,5	27,9	26,7	17,2	11,5	32,5
e	średnia	5,4	5,9	6,0	7,0	10,5	11,8	14,9	15,2	11,9	10,0	7,4	5,0	9,3
	min	2,3	1,8	1,4	2,4	4,9	6,1	7,8	7,5	5,1	4,2	3,0	1,4	1,4
	max	9,0	10,6	12,3	13,9	18,8	19,6	24,0	26,3	19,8	16,6	11,9	10,1	26,3
v	średnia	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,8	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5
	max	4,4	5,0	4,4	3,9	3,2	2,8	2,9	2,8	2,8	4,2	3,1	4,0	5,0
Orzechowa														
t	średnia	0,2	3,8	6,6	9,8	16,3	17,1	20,2	21,8	15,2	12,0	5,7	-0,4	10,7
	min	-11,2	-7,0	-6,8	-4,4	4,0	4,6	9,6	8,8	3,0	-0,5	-5,4	-14,1	-14,1
	max	7,0	15,9	20,5	25,8	31,4	29,9	32,7	33,4	28,1	26,7	17,3	11,8	33,4
e	średnia	5,1	5,6	5,8	6,8	10,1	11,5	14,6	14,6	11,8	10,1	7,3	4,8	9,0
	min	2,0	1,7	1,5	2,2	4,3	5,8	7,6	7,1	5,0	4,0	2,8	1,3	1,3
	max	8,7	10,5	11,8	13,4	19,1	19,6	24,4	24,2	19,3	17,9	15,4	8,9	24,4
v	średnia	1,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,4
	max	8,3	9,0	9,6	9,2	6,7	7,0	7,3	6,0	6,1	7,8	8,1	10,1	10,1
Biskupin														
t	średnia	0,1	3,8	6,6	9,8	16,4	17,3	20,2	21,9	15,3	12,1	5,6	-0,4	10,7
	min	-11,6	-8,0	-9,4	-4,4	1,4	3,9	6,9	7,1	1,4	-0,9	-6,2	-13,9	-13,9
	max	7,8	16,3	20,6	26,4	31,7	30,0	33,1	33,2	27,9	27,0	17,1	11,9	33,2
e	średnia	5,6	6,4	6,5	7,8	11,9	13,4	17,1	17,1	13,7	11,5	8,1	5,4	10,4
	min	2,3	2,0	1,4	2,7	5,3	6,9	9,0	8,8	5,7	4,8	3,3	1,5	1,4
	max	9,9	11,8	13,4	15,2	22,0	22,7	27,8	31,1	21,2	20,5	14,5	11,0	31,1
v	średnia	1,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	1,2	1,1	1,2	1,4	1,3	1,5	1,4
	max	10,6	11,1	11,5	8,3	8,8	8,8	8,2	7,5	7,5	10,7	8,1	9,7	11,5
Strachowice														
t	średnia	0,0	3,7	6,3	9,6	16,0	17,1	20,1	21,6	15,2	12,0	5,5	-0,6	10,6
	min	-10,8	-8,6	-8,4	-5,8	1,0	3,2	6,0	6,0	1,6	0,0	-6,6	-13,6	-13,6
	max	9,4	16,2	20,3	26,4	31,0	30,0	32,9	33,0	27,6	26,6	17,6	11,1	33,0
e	średnia	5,4	6,1	5,9	6,9	11,0	12,9	16,1	17,4	13,2	11,3	7,8	5,2	9,9
	min	2,4	1,5	1,4	1,3	2,7	5,6	5,9	5,4	5,0	4,4	3,1	1,4	1,3
	max	9,5	11,7	14,9	14,8	20,6	21,8	27,6	42,1	20,1	20,5	13,3	9,6	42,1
v	średnia	2,2	3,2	2,9	2,8	2,4	2,3	2,1	2,0	2,1	2,3	2,4	2,8	2,5
	max	11,3	12,7	12,9	11,7	11,6	9,8	10,9	10,2	10,7	13,5	12,1	13,5	13,5

a niezabudowanym są obserwowane w typie cyrkulacji północnej i północno-wschodniej antycyklonalnej (Na+NEa) oraz w sytuacjach, kiedy nad obszarem Polski znajduje się centrum antycyklonu lub klin wyżowy (Ca+Ka) i to zarówno w ciepłej jak i chłodnej połowie roku (ryc. 49, 50).

Termiczne uprzywilejowanie gęsto zabudowanego centrum miasta (T) wobec obszarów podmiejskich (S) dobrze dokumentuje analiza częstości pojawiania się klas różnic temperatury powietrza (dt) (ryc. 47). O ile w dziennej porze doby w ciągu całego roku dodatnie różnice ($dt > 0,0^{\circ}\text{C}$) stwierdza się w ok. 52% czasu, to w nocy pojawiają się one w 82% czasu jej trwania. Szczególnie duże uprzywilejowanie termiczne centrum miasta obserwowana jest w porze nocnej latem - wówczas w prawie 90% czasu jej trwania obserwuje się dodatnią różnicę temperatury między centrum a stacją podmiejską (T-S; ryc. 47). W przypadku Wrocławia zostało to dobrze udokumentowane w opublikowanych opracowaniach (Dubicka, Szymanowski 2000, 2003; Szymanowski, 2004).

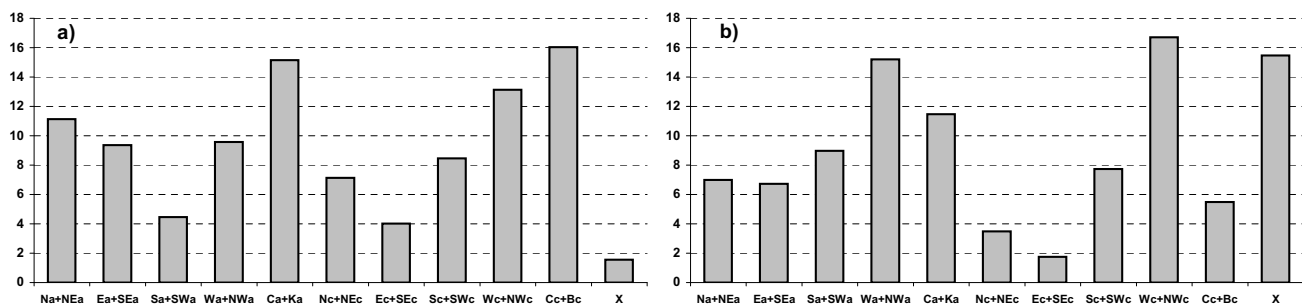
Przytoczona powyżej krótka analiza pola temperatury we Wrocławiu wskazuje niezaprzeczalnie na istnienie miejskiej wyspy ciepła, co zostało stwierdzone już we wcześniejszych badaniach prowadzonych przez zespół z Zakładu Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego (Dubicka, Szymanowski 2000, 2003; Szymanowski, 2004).

Zróżnicowaniu na obszarach miejskich podlega również pole wilgotności powietrza. Jest to spowodowane m.in. zmianą pola temperatury, powierzchni ewaporacji czy dostarczaniem pary wodnej pochodzenia antropogeniczne-

Tabela 29. Średnie, minimalne i maksymalne wartości miesięczne i roczne wybranych elementów meteorologicznych w nocnej porze doby we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

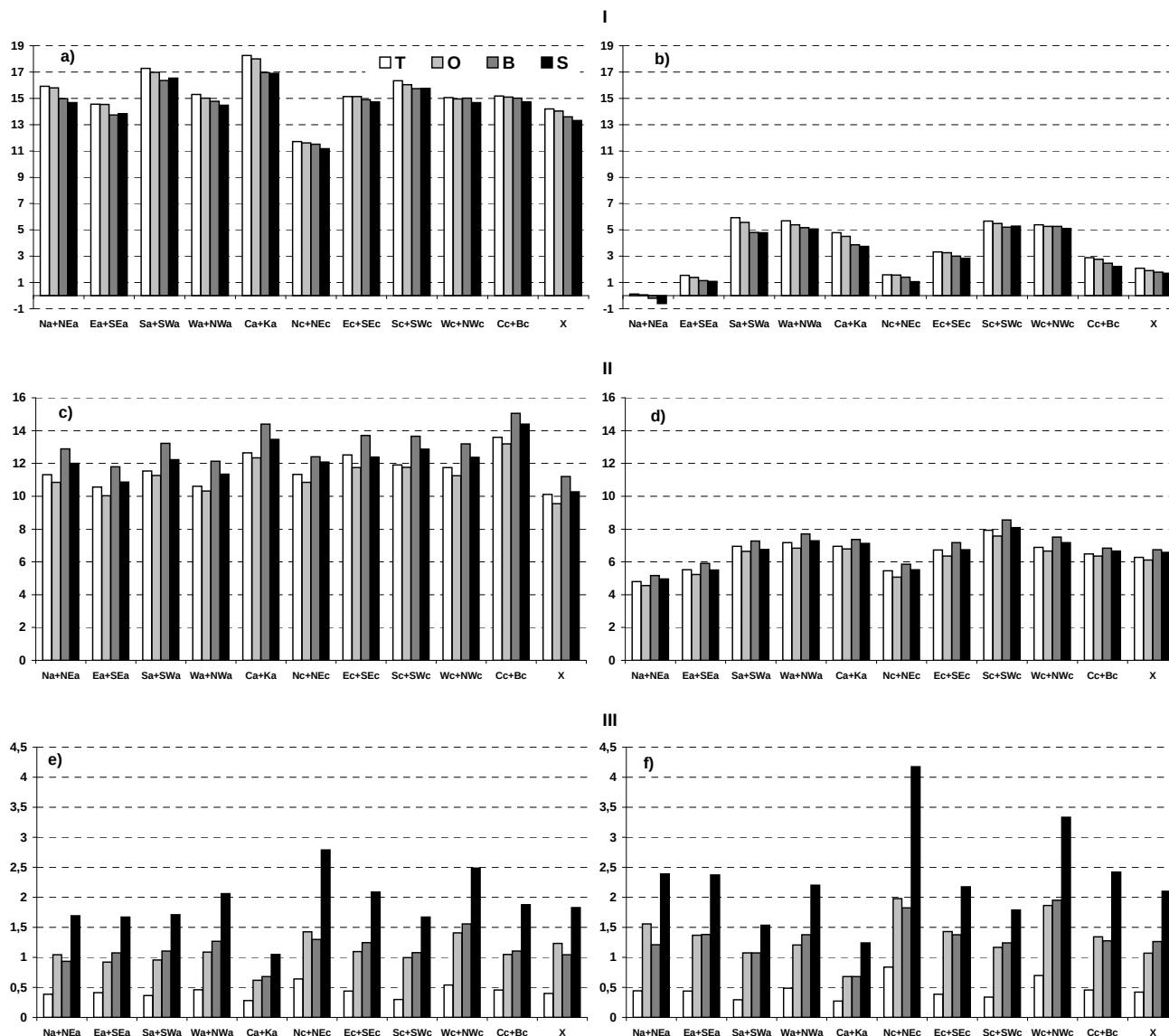
Table 29. Monthly and annual average and extremes values of selected meteorological parameters (t [°C], e [hPa], v [m/s]) during

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Teatralna														
t	średnia	-0,3	3,0	4,7	7,3	13,6	14,6	17,7	18,0	12,7	9,7	4,4	-1,2	8,7
	min	-10,7	-6,9	-6,4	-4,0	4,5	6,4	11,4	9,9	4,3	-0,1	-3,7	-13,6	-13,6
	max	8,3	15,7	18,5	22,1	26,7	25,6	30,4	28,0	24,3	22,9	18,5	10,6	30,4
e	średnia	5,3	5,9	6,1	7,2	10,8	12,3	15,3	15,3	11,9	10,2	7,4	4,9	9,4
	min	2,3	2,2	1,6	3,0	4,9	7,6	8,8	8,6	5,9	4,4	3,1	1,5	1,5
	max	10,2	12,2	12,3	13,4	18,3	19,8	23,8	23,9	20,8	17,6	12,8	11,0	23,9
v	średnia	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3
	max	3,7	4,0	4,9	3,1	2,4	2,6	2,9	2,7	2,0	3,6	3,1	4,3	4,9
Orzechowa														
t	średnia	-0,5	2,7	4,3	6,8	13,1	14,1	17,3	17,8	12,3	9,3	4,2	-1,5	8,3
	min	-11,0	-7,9	-6,5	-4,4	4,5	4,7	9,9	9,0	3,0	-1,1	-5,2	-14,2	-14,2
	max	8,3	15,7	18,3	20,8	26,3	25,7	29,5	28,7	23,9	22,6	18,5	10,4	29,5
e	średnia	4,9	5,6	5,7	6,8	10,3	11,9	14,8	14,5	11,5	9,9	7,1	4,6	9,0
	min	2,0	2,0	1,8	2,8	4,3	7,4	8,1	7,9	5,2	4,2	2,9	1,5	1,5
	max	9,7	11,7	11,4	13,5	17,5	18,1	23,0	21,8	19,2	17,4	15,1	9,8	23,0
v	średnia	1,1	1,3	1,2	0,9	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	0,9
	max	7,7	7,2	7,6	7,9	6,2	4,2	5,5	5,1	5,5	9,8	6,5	7,4	9,8
Biskupin														
t	średnia	-0,7	2,4	3,6	6,0	11,7	13,2	16,1	16,3	11,2	8,7	3,6	-1,7	7,5
	min	-11,5	-8,8	-8,8	-4,7	1,7	3,9	7,0	7,3	1,3	-3,0	-6,8	-14,0	-14,0
	max	8,7	15,5	16,8	20,5	25,5	25,5	27,6	27,3	21,0	22,4	18,2	10,3	27,6
e	średnia	5,5	6,3	6,5	7,8	12,1	13,6	17,3	17,0	13,0	10,8	7,6	5,2	10,2
	min	2,4	2,2	1,9	3,2	6,6	8,0	10,0	9,4	6,7	4,8	3,5	1,7	1,7
	max	10,8	12,5	13,3	15,2	19,7	20,8	26,8	26,3	22,5	21,4	13,7	11,3	26,8
v	średnia	1,1	1,5	1,2	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,0
	max	8,1	8,3	8,5	8,3	6,7	5,8	6,9	8,4	5,6	12,3	9,0	9,6	12,3
Strachowice														
t	średnia	-0,8	2,2	3,2	5,8	11,6	12,9	16,0	16,1	11,4	8,9	3,5	-1,8	7,4
	min	-12,9	-11,7	-8,6	-5,8	1,2	3,1	6,2	6,1	1,2	-2,6	-7,1	-14,2	-14,2
	max	9,4	15,6	16,4	20,9	24,8	25,8	28,3	27,4	23,1	21,0	18,7	10,0	28,3
e	średnia	5,2	6,0	5,9	7,0	11,2	13,1	16,5	15,7	12,6	10,7	7,4	4,9	9,7
	min	2,0	1,8	2,0	1,9	4,2	7,6	9,1	6,4	6,4	4,5	3,2	1,6	1,6
	max	10,6	12,4	11,9	14,5	19,3	20,1	24,6	31,7	21,5	20,7	13,1	9,8	31,7
v	średnia	1,9	2,3	1,9	1,7	1,2	1,1	1,1	0,9	1,1	1,5	1,8	2,4	1,6
	max	10,3	10,0	13,7	10,2	8,1	7,8	6,8	7,7	8,4	12,1	9,7	11,9	13,7



Ryc. 49. Częstość poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej wg Niedźwiedzia w ciepłej (a) i chłodnej (b) połowie roku we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Fig. 49. Frequency of occurrence [%] of atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (a) and cold (b) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



Ryc. 50. Średnie wartości temperatury powietrza (I) [t, °C], ciśnienia pary wodnej (II) [e, hPa] i prędkości wiatru (III) [v, m/s] w określonych typach cyrkulacji powietrza (wg Niedźwiedzia) w poszczególnych typach zabudowy w ciepłej (a, c, e) i chłodnej (b, d, f) połowie roku we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Fig. 50. Mean air temperature (I) [t, °C], vapour pressure (II) [e, hPa] and wind speed (III) [v, m/s] in selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź classification) in warm (diagrams: a, c, e) and cold (diagrams: b, d, f) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004; S - rural area, B - residential estates, T - city centre, O - blocks of flats)

go aczkolwiek prowadzone badania nie dają jednoznacznej odpowiedzi, jak duże są to różnice (Goldreich, 1974; Hage, 1975; Sisterson, Dirks, 1978; Holmer, Eliasson, 1999; Unger, 1999; Dubicka, Rosiński, Szymanowski, 2003;). W badanym okresie średnie roczne ciśnienie pary wodnej było najwyższe na Biskupinie i wyniosło ono 10,3 hPa. W centrum miasta było ono średnio o 1,0 hPa niższe (9,3 hPa) a obszar podmiejski charakteryzował się ciśnieniem pary wodnej średnio o 0,5 hPa niższym. Zjawisko to określane jako miejski deficyt wilgoci zostało we Wrocławiu udokumentowane we wcześniejszych badaniach (Dubicka, Rosiński, Szymanowski 2003). Największe różnice ciśnienia pary wodnej między centrum miasta a terenem podmiejskim obserwowane są w okresie letnim (maksimum przypada na sierpień i wynosi -1,5 hPa). W okresie zimowym to zróżnicowanie praktycznie zanika osiągając prawie identyczne wartości w centrum miasta i na obszarze podmiejskim i to zarówno w ciągu dnia jak i nocy.

Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej wykazuje wyraźny rytm - najmniejsze wartości osiągane są w miesiącach zimowych a najwyższe w letnich (tabela 27). Równie wyraźne są różnice wynikające z cyklu dobowego - średnie ciśnienie pary wodnej jest wyższe w dziennej porze doby a niższe w czasie nocy (ryc. 48). Interesująco kształtują się różnice ciśnienia pary wodnej między stacją zlokalizowaną wśród niskiej, niezbyt

intensywnej zabudowy willowej (B) a terenem podmiejskim (S) - średnio w roku ta pierwsza stacja cechuje się wyższym ciśnieniem pary wodnej. Podwyższona wartość ciśnienia pary wodnej na Biskupinie w stosunku do innych obszarów miasta może być spowodowana występowaniem w niewielkiej odległości dużego rezerwuaru wilgoci w postaci parku Szczytnickiego. Intensywne procesy ewapotranspiracji dostarczają znacznej ilości pary wodnej, dzięki czemu jest to obszar najwilgotniejszy spośród analizowanych w pracy. Ten rodzaj zieleni miejskiej jest odpowiedzialny za występowanie w ciągu całego roku dodatniego odchylenia ciśnienia pary wodnej w porównaniu z obszarami podmiejskimi (Bartosik i in., 1982). Ponadto ważnym czynnikiem decydującym o takiej zasobności pary wodnej w powietrzu może być bliskość rzeki oraz niewielka głębokość, na jakiej znajduje się zwierciadło wody podziemnej.

W badanym okresie nad obszarem Polski Południowej dominowały w cieplej połowie roku typy cyrkulacji związane z występowaniem obszarów o wysokim i niskim ciśnieniu zaklasyfikowane jako Ca+Ka i Cc+Bc (odpowiednio 15% i 16% dni tego okresu), w których obserwuje się brak adwekcji mas powietrza lub dużą zmienność kierunku ich napływu. Dość często obserwowano również cyrkulację atmosferyczną cyklonalną z kierunku zachodniego i północno-zachodniego (Wc+NWc, 13% dni cieplej połowy roku) (ryc. 49). W chłodnej połowie roku dominujące są adwekcje mas powietrza z kierunków: zachodniego i północno-zachodniego związane z zarówno z antycyklonami jak i cyklonami (Wc+NWc i Wa+NWa, odpowiednio 16,7% i 15,2% dni tej połowy roku).

Rozwój obszaru miasta związany jest z intensyfikowaniem zabudowy. Ma to niebagatelny wpływ na zmianę fizycznych cech podłoża, a jedną z lepiej poznanych jest wzrost szorstkości powierzchni, co przejawia się obniżeniem średniej prędkości wiatru (Lewińska, 2000; Alcoforado, Lopes, 2003). Nie jest to jedyny sposób oddziaływania zabudowy miejskiej na pole wiatru. Innymi istotnymi elementami są m.in. zmiana kierunku wiatru czy generowanie „efektu tunelowego” w kanionach ulicznych (Macdonald, 2000; Narita, 2003) przez co następuje wzrost częstości odczuć „wietrznie”. Wielokondygnacyjne, potężne bryły bloków mieszkalnych stanowią dla wiatru znaczną przeszkodę a na ich obrzeżach dochodzi do zawirowań i gwałtownego wzrostu prędkości (Gomes i in., 2003; Klemm, 2003; Lien, Yee, 2003; Macdonald, Ejim, 2003;). Wszystkie powyższe fakty mają oczywisty wpływ na kształtowanie się warunków biometeorologicznych. Jest on zauważalny chociażby w zmianie kształtowania się ewaporacyjnego i konwekcyjnego strumienia wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem. Innym ważnym aspektem ruchu powietrza jest przewietrzanie miasta, co istotnie wpływa na polepszenie stanu sanitarnego powietrza.

Centrum miasta jest obszarem, w którym rejestrowana była najmniejsza prędkość wiatru - jego średnia wartość roczna to tylko 0,4m/s. W porównaniu z obszarem podmiejskim było to pięciokrotnie mniej (średnia roczna wartość na stacji S to 2,0m/s; tabela 27). Natomiast osiedle z niezbyt intensywną zabudową willową (B) i wysokokondygnacyjne blokowisko charakteryzowały się średnią roczną prędkością o ok. 0,8 m/s mniejszą niż stacja podmiejska. W sytuacjach z typami cyrkulacji określanymi jako północna i północno-wschodnia cyklonalna (Nc+Nec) oraz zachodnia i północno-zachodnia cyklonalna (Wc+NWc) różnice średnich dobowych prędkości wiatru między obszarami zabudowanymi (T, O, B) a niezabudowanymi (S) są największe - oczywiście w tym ostatnim typie użytkowania terenu są one wyższe o 1,5 do 2,5 m/s (ryc. 50). Sytuacja taka ma miejsce zarówno w cieplej jak i chłodnej połowie roku (tabela 28, 29).

Średnie miesięczne różnice prędkości wiatru między stacjami miejskimi a podmiejską są największe w dziennej porze doby. W centrum miasta prędkość wiatru jest średnio o 2 m/s mniejsza niż w terenie podmiejskim. Różnice pomiędzy stacjami zlokalizowanymi na osiedlach z niską, willową zabudową (B) i wielokondygnacyjnymi blokami mieszkalnymi (O) a stacją podmiejską (S) wynoszą średnio w roku ok. 1m/s. Największe są one w okresie od lutego do kwietnia – wtedy na stacjach B i O rejestrowane są prędkości wiatru o prawie 1,4 m/s niższe niż na stacji podmiejskiej, a różnica ta dla stacji zlokalizowanej w centrum wynosi od 2,5 do 2,3 m/s. W nocnej porze doby przebieg różnic kształtuje się podobnie, lecz ich średnie wartości są o około połowę mniejsze.

Równie istotnie, zmodyfikowane przez człowieka środowisko miasta, wpływa na bilans promieniowania. Spowodowane jest to wieloma czynnikami, m.in. wzrostem stężenia zanieczyszczeń w powietrzu (gazowych i pyłowych) czy wzrostem zachmurzenia (Lewińska, 2000). Zmniejszony strumień promieniowania słonecznego, szczególnie w centralnych obszarach miasta, docierającego do powierzchni ulic ma również genę natury architektonicznej – przy niskich kątach położenia Słońca nad horyzontem w okresie zimy promieniowanie bezpośrednie nie ma możliwości dotrzeć do dna kanionu ulicznego o orientacji W-E. W efekcie ludzie przebywający w gęsto zabudowanych centrach miast znaczną część dnia przebywają „w cieniu”, a do-

Wpływ promieniowania rozproszonego jest zmniejszony przez zwiększone przesłonięcie horyzontu budynkami. Z drugiej strony w okresach, kiedy kąt padania promieni słonecznych jest znaczny a natężenie promieniowania całkowitego osiąga 800W/m^2 może dochodzić do wzrostu jego wartości docierających do organizmu człowieka a to za sprawą promieniowania odbijanego od elewacji budynku (często wykonanych z tafli szkła; Błażejczyk, 2002).

Z rejestracji automatycznymi stacjami meteorologicznymi wynika, że we Wrocławiu średnie roczne natężenie strumienia promieniowania całkowitego jest najniższe w centrum miasta i wynosi tutaj niecałe 130W/m^2 a największe jest ono na obszarze podmiejskim (S , $222,5\text{W/m}^2$) aczkolwiek w osiedlu domów jednorodzinnych (na Biskupinie) średnie z poszczególnych miesięcy wielokrotnie były wyższe a średnia roczna wartość była tylko o niecały 1W/m^2 niższa. Średnia roczna wartość natężenia strumienia promieniowania całkowitego na osiedlu wysokich bloków mieszkalnych była o ok. 30W/m^2 niższa niż na obszarze podmiejskim. Istotny wpływ na tak duże zróżnicowanie tego elementu meteorologicznego ma zasłonięcie horyzontu, które zostało scharakteryzowane w rozdziale 6.

9.2. Wpływ miasta na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie bioklimatu

Zmiany wartości rejestrowanych elementów meteorologicznych wywołanych zróżnicowaną strukturą powierzchni użytkowych wchodzących w skład obszarów miejskich ma niewątpliwy wpływ na kształtowanie się w sposób odmienny cech klimatu odczuwalnego. Miejska wyspa ciepła, miejskie jezioro chłodu, różnice w ilości pary wodnej zawartej w powietrzu, zmieniona prędkość wiatru czy odmienny bilans radiacyjny poszczególnych obszarów miasta - te elementy mają decydujący udział w modyfikowaniu warunków biometeorologicznych terenów przekształconych antropogenicznie. W niniejszym rozdziale przedstawiona została analiza zróżnicowania przestrzennego i czasowego kształtowania się wartości wybranych wskaźników biometeorologicznych i częstości ich występowania.

9.2.1. Temperatura ekwiwalentna (T_e)

Temperatura ekwiwalentna (T_e) została zastosowana jako element wstępnej analizy zróżnicowania warunków biometeorologicznych kształtujących się w wybranych typach struktur użytkowych Wrocławia.

W badanym okresie średnia roczna wartość temperatury ekwiwalentnej w centrum miasta (T) wyniosła $23,7^\circ\text{C}$ - tylko o $0,1^\circ\text{C}$ mniej niż na obszarze podmiejskim. Najwyższa średnia roczna T_e wystąpiła na Biskupinie ($24,7^\circ\text{C}$) a najniższa była na osiedlu z wysoką zabudową blokową (tabela 30). Średnie miesięczne dobowe wartości tego wskaźnika w ciągu całego roku były najwyższe na osiedlu z niezbyt intensywną zabudową (B) a maksimum przypada na sierpień i wynosi wówczas $45,2^\circ\text{C}$. W tym miesiącu średnia T_e była na obszarze podmiejskim o $0,8^\circ\text{C}$, w centrum miasta o $2,1^\circ\text{C}$ i na osiedlu z blokami mieszkalnymi o $3,2^\circ\text{C}$ niższa.

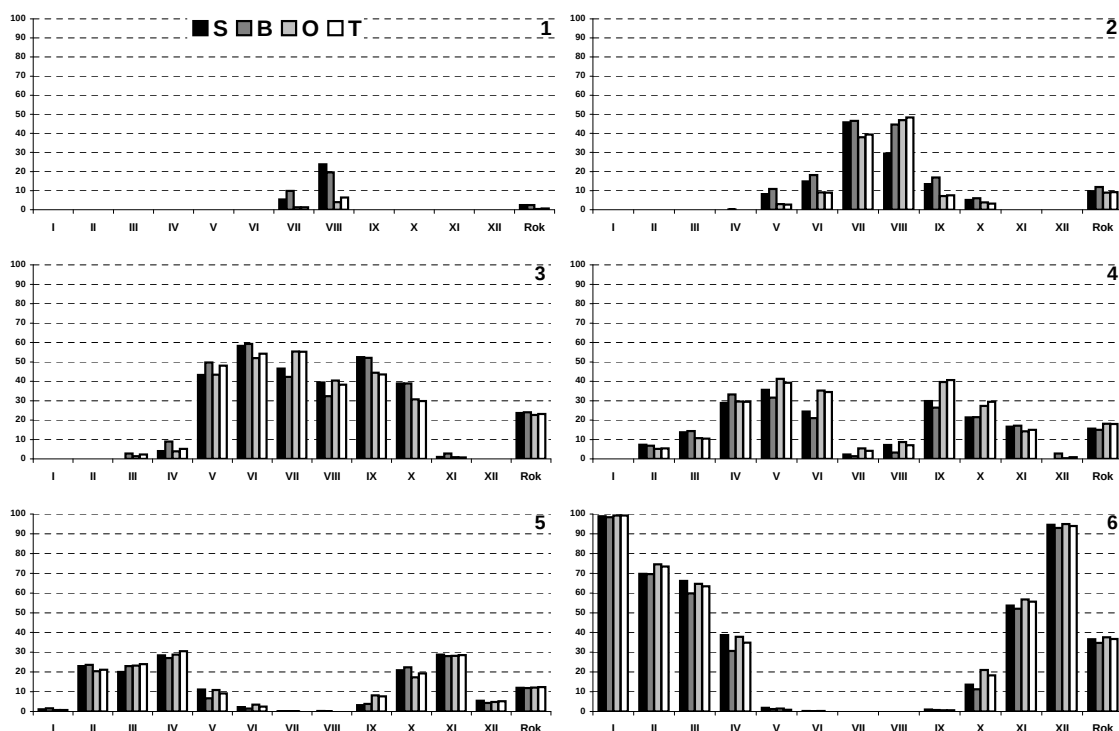
W świetle średnich miesięcznych wartości T_e z dziennej pory doby centrum miasta w sierpniu było o $2,2^\circ\text{C}$ chłodniejsze niż teren podmiejski (S , $47,7^\circ\text{C}$), który w tym miesiącu cechował się najwyższą T_e spośród analizowanych typów zabudowy.

Średnie wartości T_e mają swoje odbicie w częstości pojawiania się odpowiednich odczuć termicznych w skali opracowanej przez Leitsnera (za Ceną i Gregorcukiem, 1966): w sierpniu odczucie „parno” pojawiało się w centrum miasta w 6% czasu dnia podczas, gdy na obszarze podmiejskim ta klasa obserwowana była czterokrotnie a na osiedlu z niską zabudową (B) trzykrotnie częściej. W tym miesiącu najrzadziej „parno” było na osiedlu z wysoką zabudową blokową - tę klasę stwierdzono tutaj w 4% czasu dnia. Ta klasa odczuć jest obserwowana również w lipcu, lecz ze znacznie niższą frekwencją - wówczas najczęściej obserwuje się ją na osiedlu z niską zabudową (10% czasu), na niezabudowanych obszarach podmiejskich dwukrotnie rzadziej a w centrum i na osiedlu z wysoką, blokową zabudową niewiele częściej niż w 1% czasu dnia (ryc. 51). W nocnej porze doby „parno” obserwuje się we wszystkich typach zabudowy tylko w sierpniu, lecz częstość jej pojawiania się jest dość niewielka - w centrum i na osiedlu wysokich bloków mieszkalnych poniżej 0,1% czasu nocy (ryc. 52) a na obszarze podmiejskim w 3% czasu trwania nocy. Na osiedlu z niezbyt zintensyfikowaną, niską zabudową, klasę „parno” obserwuje się w mniej niż 2% czasu nocy. Klasa odczuć „umiarkowanie parno” - również dość niekorzystna dla organizmu człowieka - pojawia się we wszystkich typach zabudowy w okresie dziennej pory doby od maja do października a jej roczna częstość jest największa na osiedlu z niską zabudową (B) (blisko 12% czasu dnia), w terenie podmiejskim (S)

Tabela 30. Średnie miesięczne i roczne wartości temperatury ekwiwalentnej (T_e) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004Table 30. Monthly and annual average of Equivalent Temperature (T_e , [°C]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)

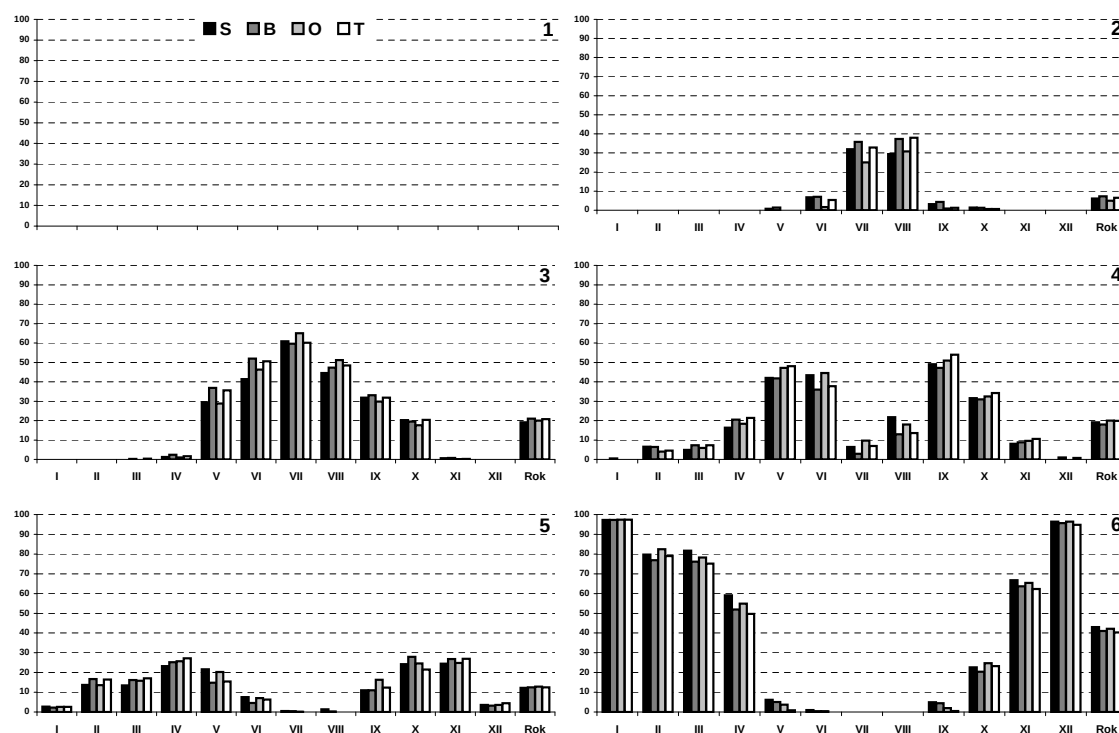
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Cała doba	T	średnia	7,9	12,2	14,7	19,4	31,3	34,3	41,8	43,1	31,8	25,8	15,9	6,5	23,7
		min	-7,4	-2,5	-2,3	1,5	13,6	19,3	26,0	24,8	16,4	7,5	2,2	-11,7	-11,7
		max	22,9	29,3	36,1	42,5	47,8	53,0	62,1	63,5	49,8	50,8	34,3	25,5	63,5
	O	średnia	7,2	11,6	14,1	18,7	30,5	33,7	41,2	42,0	31,3	25,5	15,4	5,9	23,1
		min	-8,2	-4,1	-3,1	1,1	12,1	16,3	24,3	22,8	13,8	6,4	0,2	-12,1	-12,1
		max	21,9	28,6	35,5	42,2	48,5	52,3	64,2	65,4	49,3	52,0	34,3	24,7	65,4
	B	średnia	7,8	12,5	14,9	19,9	32,7	36,2	44,7	45,2	33,4	26,9	15,9	6,6	24,7
		min	-8,2	-4,4	-5,2	1,6	11,5	15,9	21,8	22,2	11,3	4,2	-1,4	-11,6	-11,6
		max	24,5	31,2	37,7	45,2	52,9	57,6	69,5	76,7	55,4	57,5	36,3	27,3	76,7
	S	średnia	7,3	11,9	13,6	18,5	31,1	35,1	43,1	44,4	32,8	26,7	15,5	6,0	23,8
		min	-9,8	-8,3	-4,4	0,0	9,9	14,5	20,1	20,0	11,1	4,9	-1,9	-11,5	-11,5
		max	23,8	29,4	36,5	44,4	51,3	57,9	66,8	69,8	52,5	55,4	35,7	24,2	69,8
Pora dzienna	T	średnia	8,4	12,7	15,7	20,4	32,1	34,8	42,4	44,5	33,0	27,0	16,8	7,2	24,6
		min	-7,4	-2,4	-2,3	1,5	13,6	19,3	26,0	24,8	16,4	7,9	2,2	-11,7	-11,7
		max	20,1	29,0	36,1	42,5	47,8	53,0	62,1	63,5	49,8	50,8	34,3	25,5	63,5
	O	średnia	7,8	12,2	15,2	20,0	31,5	34,4	42,0	43,6	32,9	27,1	16,6	6,8	24,2
		min	-8,2	-3,0	-3,1	1,2	12,1	16,3	24,3	23,0	13,8	7,2	0,2	-12,1	-12,1
		max	19,5	28,6	35,5	42,2	48,5	52,3	64,2	65,4	49,3	52,0	34,3	24,7	65,4
	B	średnia	8,6	13,4	16,4	21,5	34,3	37,4	45,9	47,5	35,8	29,4	17,7	7,8	26,3
		min	-8,2	-3,3	-5,2	2,1	11,5	15,9	21,8	22,2	11,5	7,7	-0,5	-11,6	-11,6
		max	21,8	31,0	37,7	45,2	52,9	57,6	69,5	76,7	55,4	57,5	36,3	27,3	76,7
	S	średnia	8,1	12,9	15,2	20,0	32,5	36,4	44,3	47,7	35,0	28,9	17,2	7,2	25,4
		min	-7,2	-4,0	-4,0	0,0	9,9	14,6	20,1	20,0	11,8	8,7	-1,1	-11,5	-11,5
		max	23,7	29,4	36,5	44,4	51,3	57,9	66,8	69,8	52,5	55,4	35,7	24,2	69,8
Pora nocna	T	średnia	7,6	11,9	13,9	18,0	29,8	33,0	40,6	41,1	30,5	24,9	15,5	6,2	22,8
		min	-7,3	-2,5	-2,2	1,5	13,8	19,8	26,5	25,4	16,5	7,5	2,3	-10,9	-10,9
		max	22,9	29,3	35,1	39,2	44,3	49,3	58,1	58,6	49,7	48,1	33,5	25,2	58,6
	O	średnia	6,9	11,1	12,9	17,1	28,6	32,0	39,5	39,7	29,6	24,2	14,8	5,5	21,8
		min	-8,0	-4,1	-2,7	1,1	12,4	16,4	25,5	22,8	13,8	6,4	0,5	-11,7	-11,7
		max	21,9	27,7	33,1	38,3	44,0	48,5	56,7	56,3	47,3	47,3	33,0	23,3	56,7
	B	średnia	7,5	11,9	13,4	17,7	29,8	33,6	42,1	41,8	30,7	24,9	15,0	6,1	22,9
		min	-7,9	-4,4	-4,5	1,6	11,9	15,9	22,0	22,6	11,3	4,2	-1,4	-11,3	-11,3
		max	24,5	31,2	35,7	40,9	46,8	52,0	64,9	62,3	53,2	51,3	36,0	25,9	64,9
	S	średnia	7,0	11,3	12,0	16,4	28,4	32,4	40,7	39,6	30,3	25,0	14,6	5,5	21,9
		min	-9,8	-8,3	-4,4	0,0	10,5	14,5	20,4	20,2	11,1	4,9	-1,9	-11,5	-11,5
		max	23,8	28,9	30,7	37,9	45,9	49,5	58,7	72,6	51,7	51,8	35,3	23,2	72,6

jest ona o 2% niższa. Jej częstota pojawiania się w ciągu dnia na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi (O) i w centrum miasta (T) jest o blisko 3% niższa niż na terenie niezbyt intensywnej zabudowy willowej. Ta klasa odczuć występuje najczęściej w lipcu i sierpniu, przy czym w tym pierwszym miesiącu obserwuje się ją na stacji B w 46,5% czasu dziennej pory doby, podobnie w terenie podmiejskim, a w centrum i na osiedlu z blokami mieszkalnymi jej częstota jest o blisko 8% czasu niższa. W sierpniu „umiarkowanie parno” jest najczęściej w dziennej porze doby w centrum miasta i obserwuje się ją tutaj w blisko połowie czasu trwania dnia. Niewiele rzadziej pojawia się ta klasa odczuć na osiedlach z wysokimi blokami mieszkalnymi i niską zabudową rezydencjonalną – tylko 3-4% rzadziej. Natomiast na terenie podmiejskim nie przekracza ona 30% czasu trwania dziennej pory doby. Interesująca jest częstota pojawiania się tej klasy odczuć w czerwcu i wrześniu – w tych miesiącach na stacjach B i S jest ona blisko dwukrotnie większa niż w typach powierzchni użytkowych o zintensyfikowanej zabudowie. W nocnej porze doby klasa odczuć „umiarkowanie parno” pojawia się w okresie od maja (lecz tylko na osiedlach z niską zabudową i z wysokimi blokami mieszkalnymi) do października (wówczas pojawia się ona w 1% czasu nocy). Największa częstota występowania tej klasy odczuć obserwowana jest w lipcu i sierpniu. W tym pierwszym miesiącu występuje ona w nocnej porze doby z identyczną częstotą w centrum jak i na obszarze podmiejskim (32% czasu nocy). Najrzadziej „umiarkowanie parno” jest na osiedlu z wysoką zabudową blokową (25% czasu trwania nocy) a na osiedlu o zabudowie willowej jest ona o 11% częściej obserwowana.



Ryc. 51. Częstości [%] występowania klas odczuć temperatury ekwiwalentnej (Te) w daytime porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1- parno, 2 – umiarkowanie parno, 3 – komfortowo, 4 – umiarkowanie chłodno, 5 – chłodno, 6 – zimno

Fig. 51. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Leitsner's scale) based on Equivalent temperature (Te) during daytime in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): 1 – sultry, 2 – slightly sultry, 3 – comfortable, 4 – slightly cool, 5 – cool, 6 – cold



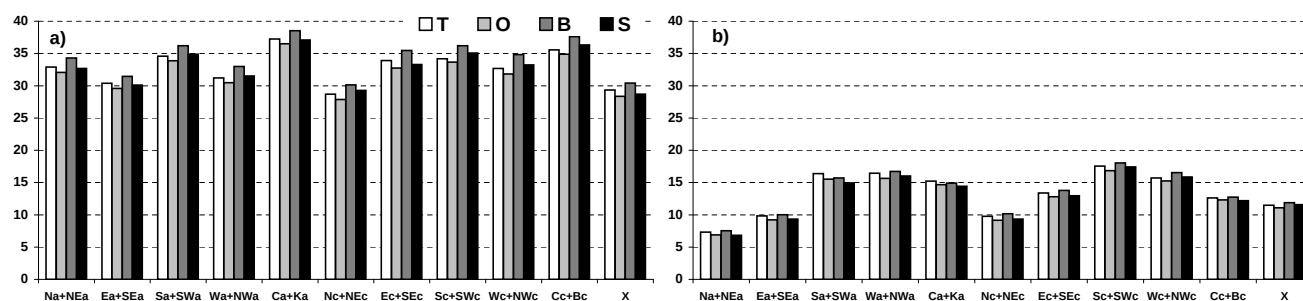
Ryc. 52. Częstości [%] występowania klas odczuć temperatury ekwiwalentnej (Te) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1- parno, 2 – umiarkowanie parno, 3 – komfortowo, 4 – umiarkowanie chłodno, 5 – chłodno, 6 – zimno

Fig. 52. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Leitsner's scale) based on Equivalent temperature (Te) during night in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): 1 – sultry, 2 – slightly sultry, 3 – comfortable, 4 – slightly cool, 5 – cool, 6 – cold

Najwyższą, średnią roczną częstością charakteryzuje się klasa odczuć „zimno” aczkolwiek w miesiącach letnich nie jest praktycznie obserwowana (za wyjątkiem czerwca na stacji podmiejskiej, lecz tu częstość nie przekracza 1% czasu). W styczniu ta klasa występuje praktycznie przez całą dobę we wszystkich czterech typach zabudowy (ryc. 51, 52, 53).

Klasa odczuć „komfortowo” pojawia się w dziennej porze doby w okresie od marca do listopada – w ogóle nie obserwuje się jej w miesiącach zimowych. W miesiącach letnich w centrum miasta i na osiedlu wysokich bloków mieszkalnych ta klasa pojawia się w ponad 49% czasu dziennej pory doby, podczas gdy na stacji podmiejskiej można ją stwierdzić w niewiele mniej niż 45% przypadków. Nocą w miesiącach letnich „komfortowo” jest najczęściej identyfikowaną klasą odczuć – na Biskupinie, przy ul. Orzechowej i w centrum pojawia się średnio w 54% czasu a tylko na terenie stacji podmiejskiej nie przekracza średnio 50% czasu trwania pory nocnej.

W ciepłej połowie roku największe średnie wartości T_e obserwuje się w typach cyrkulacji, w których nie obserwuje się wyraźnej adwekcji mas powietrza lub jest ona zmienna a związanych zarówno z ośrodkami wysokiego jak i niskiego ciśnienia (Ca+Ka i Cc+Bc). W chłodnej połowie roku natomiast temperatura ekwiwalentna największe wartości osiąga w typie cyrkulacji cyklonalnej z sektora południowego i południowo-zachodniego (Sc+SWc) (ryc. 54).



Ryc. 54. Średnie wartości T_e w określonych typach cyrkulacji (wg Niedźwiedzia) w ciepłej (a) i chłodnej połowie roku (b) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004.

Fig. 54. Mean values of Equivalent temperature (T_e ; °C) in different types of land-use and selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (diagram: a) and cold (diagram: b) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

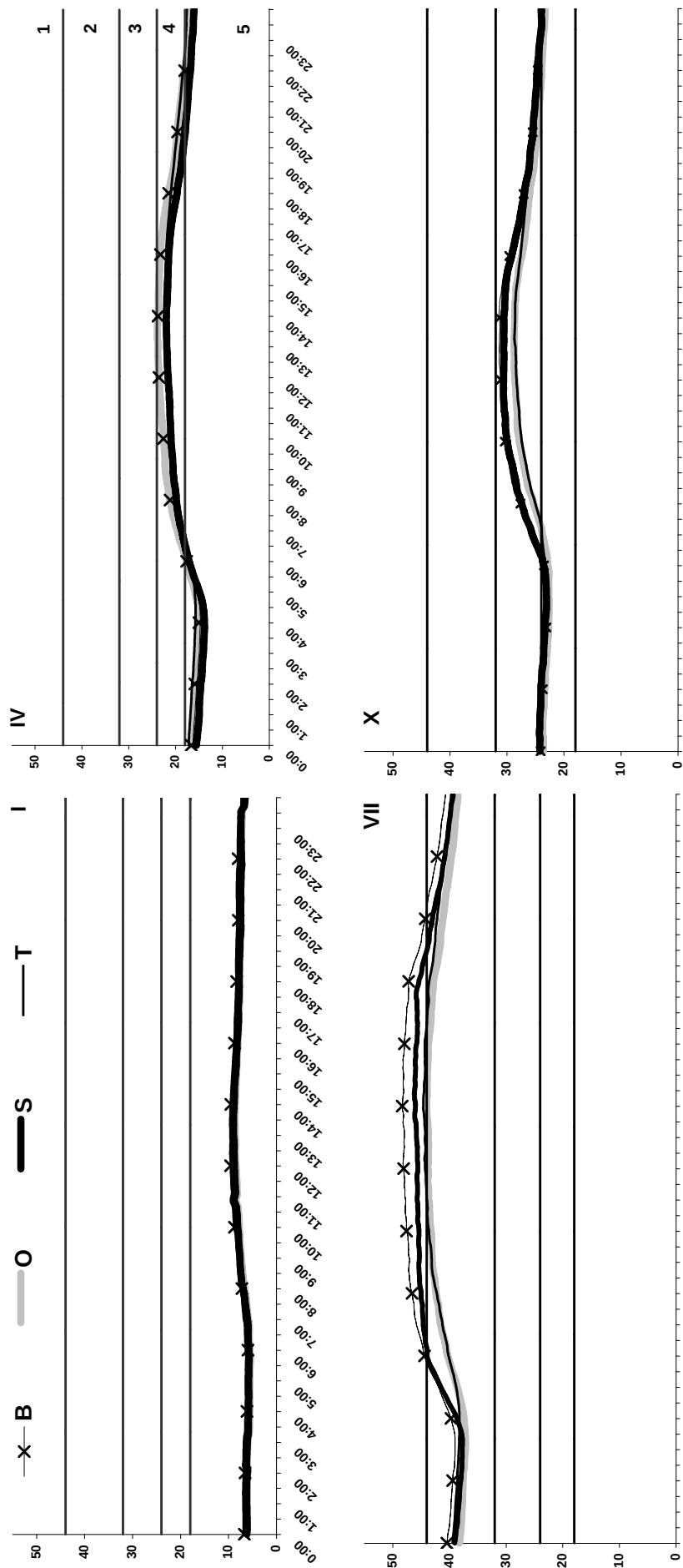
Obserwowana na osiedlu z niską, willową zabudową najwyższa temperatura ekwiwalentna związana jest z obserwowanymi tutaj najwyższymi wartościami ciśnienia pary wodnej - elementu meteorologicznego mającego decydujący wpływ na wartości wyliczonej T_e .

9.2.2. Wielkość ochładzająca powietrza (H)

Wielkość ochładzająca powietrza należy do grupy prostych wyliczanych wskaźników biometeorologicznych, lecz mających raczej wymiar fizyczny. Ocenia on łączny wpływ temperatury powietrza i prędkości wiatru na ochładzanie powierzchni katatermometru.

Średnia roczna wielkość ochładzania biologicznego w obszarze z intensywną zabudową, w centrum miasta wyniosła 489W/m² (tabela 31) co lokuje się w kategorii „komfortowo” skali odczuć, lecz najczęściej obserwowaną klasą w tym typie zabudowy jest „gorąco” – 36% czasu dnia i 45% czasu nocy przypada na to odczucie. Na osiedlu wielokondygnacyjnych bloków mieszkalnych średnia roczna wielkość ochładzania biologicznego była o prawie 200W/m² wyższa niż w centrum (tabela 31) a dominującymi klasami odczuć średnio w roku są „komfortowo” i „chłodno” (po 25% czasu dziennej pory roku). Ta pierwsza klasa ma dominujące znaczenie w chłodnej połowie roku a ta druga w ciepłej. Nocą przeważają tutaj klasy odczuć „komfortowo” (latem trzykrotnie częściej niż zimą) i „gorąco” (latem blisko w 1/3 czasu nocy obserwuje się tę klasę odczuć). Na osiedlu z niską, mało intensywną zabudową średnia roczna wartość H wyniosła 706W/m², czyli średnie odczucie jest zaklasyfikowane jako „umiarkowanie chłodno”. Najczęściej obserwowaną klasą odczuć w tych dwóch ostatnich częściach miasta w ciągu całego roku było „komfortowo” – jest ona identyfikowana w 26% czasu dnia i 31% czasu nocy na Biskupinie.

Najintensywniejsze właściwości ochładzające powietrze miało na obszarze podmiejskim – wyniosło tutaj średnio 866W/m², co mieści się klasie odczuć „chłodno” w skali opracowanej przez Petrovic-Kacvinski’ego.



Ryc. 53. Średni dobowy przebieg temperatury ekwiwalentnej (T_e , $^{\circ}\text{C}$) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Linie poziome na wykresach oddzielają poszczególne klasy odczuć: 1- umiarkowanie ciepło, 2- komfortowo, 3- umiarkowanie chłodno, 4- chłodno, 5- zimno (odpowiednie numery znajdują się z prawej strony wykresu dla lutego)

Fig. 53. Daily course of Equivalent temperature (T_e ; $^{\circ}\text{C}$) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermal feelings are presented (according to Leitsner's scale): 1 - slightly sultry, 2 - comfortable, 3 - slightly cool, 4 - cool, 5 - cold

Tabela 31. Średnie miesięczne i roczne wartości ochładzającej powietrza (H) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

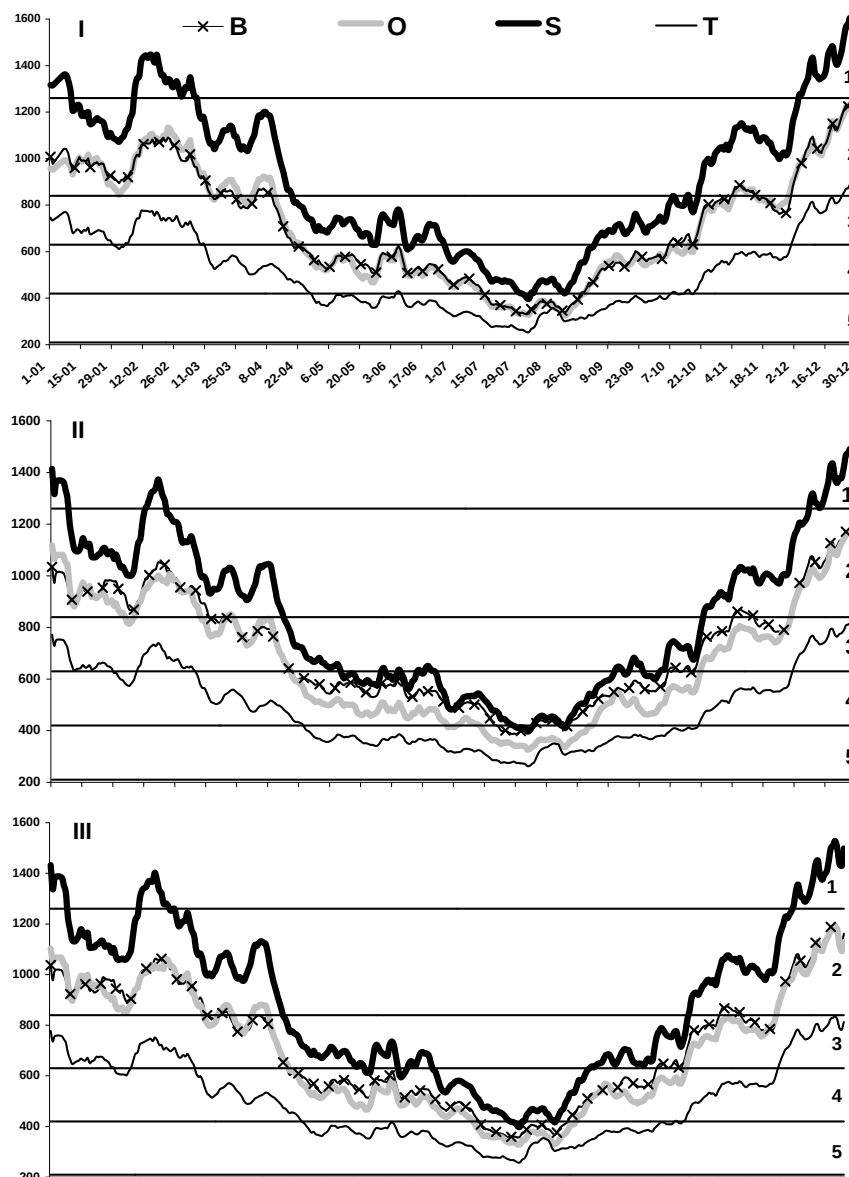
Table 31. Monthly and annual average of Cooling Power (H, [W/m²]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)

			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Cała doba	T	średnia	671,5	671,8	570,8	490,8	374,4	367,3	307,1	316,3	363,5	430,6	559,2	744,8	489,0
		min	386,8	288,6	221,2	142,2	69,7	95,7	58,7	57,4	117,6	144,9	246,1	341,7	180,9
		max	1573,1	1731,2	1572,0	1475,3	1035,4	914,2	807,9	1207,6	921,6	1281,1	1407,1	1922,4	1320,7
	O	średnia	926,9	955,4	854,3	738,4	516,8	497,2	411,2	360,8	521,0	608,1	784,1	1020,0	682,9
		min	397,8	315,6	218,4	159,9	76,9	93,0	53,3	54,7	123,0	159,9	273,4	341,7	189,0
		max	2357,0	2230,8	2150,9	2227,2	1346,9	1439,1	1123,4	1153,3	1367,2	1689,5	1842,3	2347,3	1772,9
	B	średnia	938,4	977,8	851,7	734,2	547,3	530,6	436,7	394,9	541,4	659,7	818,1	1040,1	705,9
		min	388,2	292,5	225,5	166,8	66,7	99,8	46,5	47,8	122,2	131,2	296,6	343,1	185,6
		max	2267,2	2248,7	2158,0	2130,8	1432,4	1559,7	1185,1	1306,5	1499,7	1900,6	2036,8	2583,7	1859,1
	S	średnia	1154,0	1205,7	1062,4	945,1	669,3	621,8	521,7	460,6	649,5	781,9	1015,4	1308,8	866,3
		min	459,3	373,2	234,7	205,0	75,2	91,6	49,2	72,4	149,0	176,3	283,0	373,2	211,8
		max	2650,1	2521,8	2466,7	2534,8	1609,3	1684,8	1239,0	1423,1	1598,7	2145,7	2331,6	2746,7	2079,4
Pora dzienna	T	średnia	692,6	705,7	587,7	504,3	381,0	374,4	309,0	315,2	367,3	439,5	577,6	766,9	501,8
		min	396,4	302,1	221,2	142,2	69,7	95,7	58,7	57,4	117,6	144,9	265,2	341,7	184,4
		max	1573,1	1731,2	1490,2	1475,3	1035,4	914,2	807,9	1167,4	921,6	1281,1	1287,9	1922,4	1300,6
	O	średnia	926,9	955,4	854,3	738,4	516,8	497,2	411,2	360,8	521,0	608,1	784,1	1020,0	682,9
		min	397,8	315,6	218,4	159,9	76,9	93,0	53,3	54,7	123,0	159,9	273,4	341,7	189,0
		max	2357,0	2230,8	2150,9	2227,2	1346,9	1439,1	1123,4	1153,3	1367,2	1689,5	1842,3	2347,3	1772,9
	B	średnia	938,4	977,8	851,7	734,2	547,3	530,6	436,7	394,9	541,4	659,7	818,1	1040,1	705,9
		min	388,2	292,5	225,5	166,8	66,7	99,8	46,5	47,8	122,2	131,2	296,6	343,1	185,6
		max	2267,2	2248,7	2158,0	2130,8	1432,4	1559,7	1185,1	1306,5	1499,7	1900,6	2036,8	2583,7	1859,1
	S	średnia	1154,0	1205,7	1062,4	945,1	669,3	621,8	521,7	460,6	649,5	781,9	1015,4	1308,8	866,3
		min	459,3	373,2	234,7	205,0	75,2	91,6	49,2	72,4	149,0	176,3	283,0	373,2	211,8
		max	2650,1	2521,8	2466,7	2534,8	1609,3	1684,8	1239,0	1423,1	1598,7	2145,7	2331,6	2746,7	2079,4
Pora nocna	T	średnia	660,9	647,1	554,4	472,5	362,5	351,6	303,3	318,0	359,3	423,7	549,2	734,6	478,1
		min	386,8	288,6	246,1	199,6	134,0	150,4	83,3	116,2	166,8	185,9	246,1	354,0	83,3
		max	1533,6	1544,0	1572,0	1431,2	928,2	877,3	798,9	1207,6	856,6	1223,5	1407,1	1780,6	1780,6
	O	średnia	916,2	908,8	817,9	699,8	495,0	459,1	395,2	359,7	493,6	583,9	762,6	1011,9	658,6
		min	397,8	347,6	253,0	216,0	152,8	166,8	97,1	106,6	175,0	196,8	273,4	374,5	97,1
		max	2357,0	2068,2	1952,7	2202,5	1319,0	1108,2	966,9	994,5	1367,2	1689,5	1727,3	2323,5	2357,0
	B	średnia	927,3	951,7	842,6	713,2	556,5	538,5	456,7	431,1	547,1	657,1	814,8	1038,3	706,2
		min	388,2	292,5	285,7	258,2	188,6	177,7	123,0	153,1	213,2	198,2	308,9	380,0	123,0
		max	2267,2	2119,3	2000,7	2022,5	1432,4	1284,4	1107,7	1265,4	1392,3	1790,6	2036,8	2497,1	2497,1
	S	średnia	1129,3	1154,2	998,5	884,0	626,8	567,0	492,4	454,0	605,5	747,2	984,2	1286,3	827,4
		min	459,3	388,7	284,3	274,8	198,2	190,0	139,4	143,5	206,4	211,9	304,8	395,0	139,4
		max	2574,4	2366,4	2336,3	2494,4	1499,7	1519,2	1172,4	1423,1	1561,9	1987,1	2331,6	2643,5	2643,5

Ten fakt znajduje również potwierdzenie w częstotliwości pojawiania się poszczególnych klas odczuć – w ciągu całego roku, obserwuje się tutaj tę klasę w 30% czasu dziennej i 26% czasu nocnej pory doby (ryc. 56, 57).

W przebiegu rocznym tego wskaźnika, najwyższe średnie miesięczne wartości obserwuje się w grudniu. Wówczas na obszarze podmiejskim wynosi on średnio w ciągu całej doby 1308W/m² (klasa odczuć „zimno”) a w 4,5% czasu dnia i 1,7% czasu nocy można obserwować pojawianie się klasy odczuć określanej jako „ekstremalnie zimno i wietrznie”. W centrum miasta średnia miesięczna H jest o 560W/m² niższa, co odpowiada klasie „umiarkowanego chłodu”. Wartości ochładzające powietrza wśród luźnej zabudowy willowej i na osiedlu wysokich bloków mieszkalnych są do siebie bardzo podobne (jeśli idzie o średnie wartości miesięczne) i wynoszą odpowiednio 1040 i 1020W/m² („chłodno”). Najniższą średnią miesięczną wielkość ochładzającą powietrza obserwuje się w sierpniu (z wyjątkiem centrum miasta, dla którego roczne minimum występuje w lipcu). Wówczas średnia na obszarze podmiejskim wynosi 460W/m² (odpowiada to klasie odczuć ciepłych „komfortowo”), a w centrum miasta jest ona o 140 W/m² niższa.

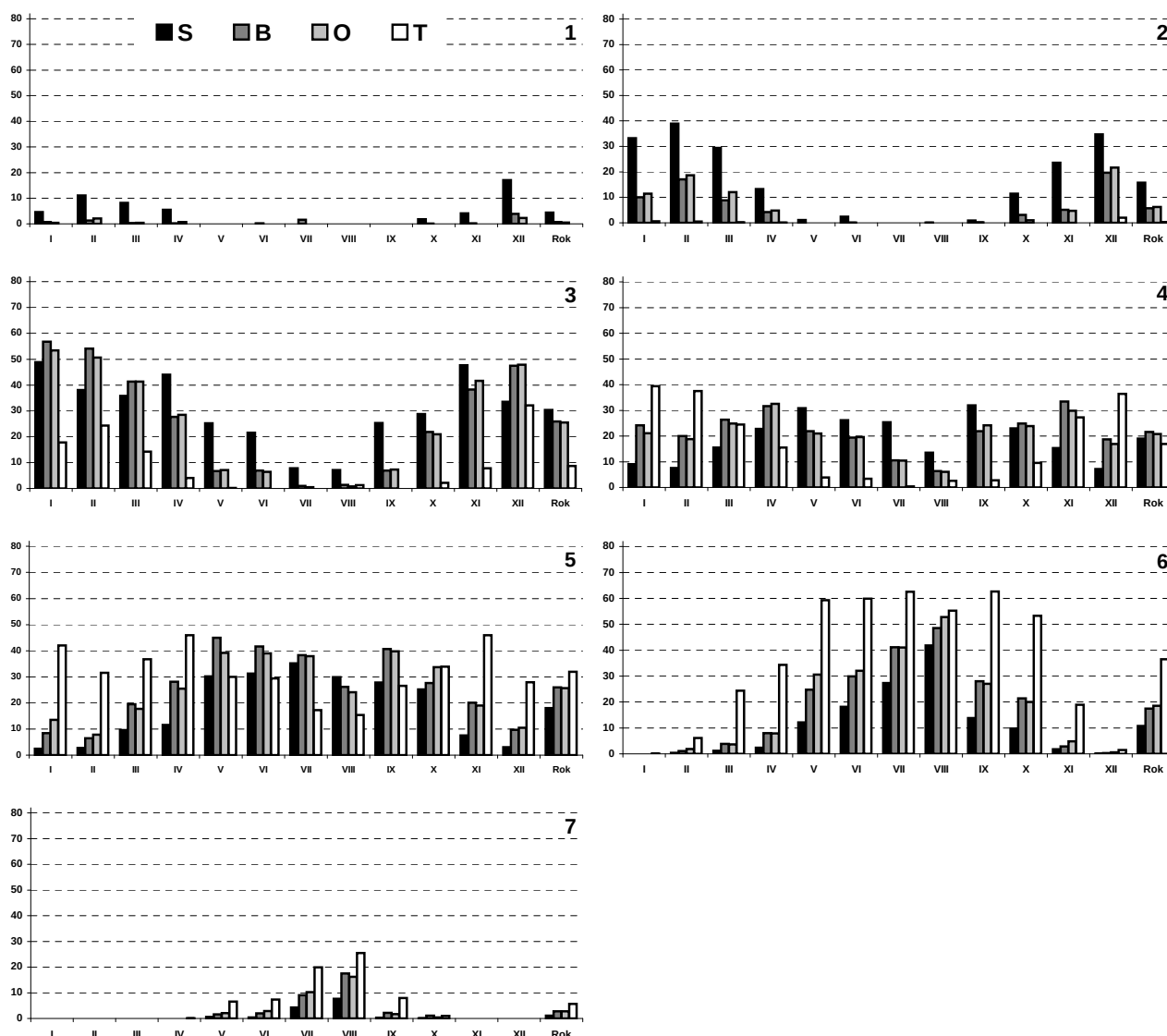
W rocznym przebiegu średnich dobowych wartości ochładzającej powietrza obserwuje się jego dużą zmienność z dnia na dzień i zmiany sezonowe (ryc. 55). Najchłodniejszym miejscem spośród rozpatrywanych typów zabudowy w ciągu całego roku jest obszar podmiejski. Od końca pierwszej dekady grudnia do końca pierwszej dekady stycznia trwa okres, kiedy doznaje się tutaj odczucia „zimno”. W analogicznym czasie na osiedlu z wielokondygnacyjną zabudową blokową i wśród luźnej zabudowy willowej obserwuje się odczucia



Ryc. 55. Roczny przebieg średnich wielkości ochładzania powietrza ($H, W/m^2$) w daytime (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Z prawej strony umieszczono skalę odczuć: 1- zimno, 2- chłodno, 3- umiarkowanie chłodno, 4- komfortowo, 5- gorąco (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową)

Fig. 55. Annual course of cooling power ($H, W/m^2$) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermal feelings are presented (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - slightly cool, 4 - neutral, 5 - hot

„chłodno” a w centrum miasta „umiarkowanie chłodno”. W następnym okresie trwającym około jednego miesiąca aż do końca pierwszej dekady lutego następuje ocieplenie, lecz po kolejnych dwu tygodniach następuje ponownie ochłodzenie. Wówczas na Strachowicach obserwowana jest podwyższona częstość klasy „zimno” i „bardzo zimno” a w centrum miasta warunki odczuwane są jako „umiarkowanie chłodne” a nawet „komfortowe” (jednak stosunkowo krótko). Pod koniec pierwszej dekady lutego nastąpiło w badanym okresie ochłodzenie, które na stacji podmiejskiej spowodowało powrót dominacji odczucia „zimno”. W centrum miasta to ochłodzenie również jest wyraźnie zaznaczone, lecz odczuwany tutaj jest „umiarkowany chłód”. Od końca lutego rozpoczyna się stopniowy spadek obserwowanych wartości ochładzania powietrza niekiedy przerywany okresami krótkotrwałego pogorszenia warunków biotermicznych (ma to miejsce w trzeciej dekadzie marca i pod koniec pierwszej dekady kwietnia - zawsze są one wyraźniej zauważane na obszarze podmiejskim niż w centrum miasta). Okres spadku wartości H trwa do połowy sierpnia by następnie rozpocząć stopniowy wzrost równoznaczny z narastającym dyskomfortem chłodu.

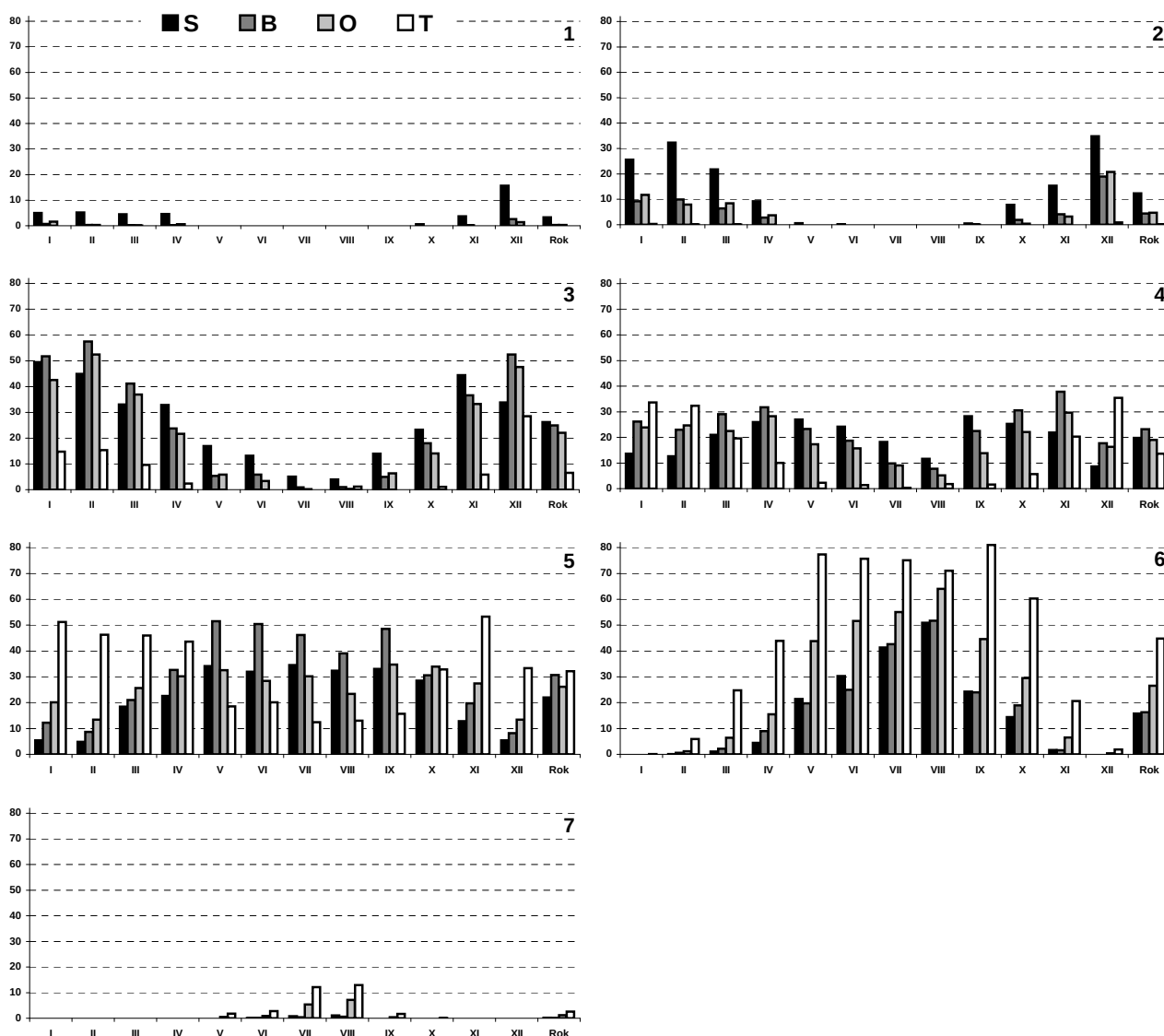


Ryc. 56. Częstości [%] występowania klas odczuć wielkości ochładzającej powietrza (H) w daytime porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1- bardzo zimno, 2 – zimno, 3 – chłodno, 4 – umiarkowanie chłodno, 5 –komfortowo, 6 – gorąco, 7- bardzo gorąco

Fig. 56. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale) based on cooling power (H) during daytime in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - very cold, 2 - cold, 3 - cool, 4 - slightly cool, 5 - neutral, 6 - hot, 7 - very hot

Analiza częstości pojawiania się klas odczuć wyznaczonych na podstawie średnich dobowych wartości ochładzania biologicznego (H) wykazała, że prawdopodobieństwo wystąpienia uciążliwych dla człowieka odczuć „bardzo gorąco” i „gorąco” jest największe w sytuacjach, gdy nad obszarem Polski znajduje się centrum antycyklonu lub klin wysokiego ciśnienia (Ca+Ka). Odczucia „komfortowo” - najkorzystniejsze dla człowieka - są najrzadziej obserwowane w typach cyrkulacji wschodniej i południowo wschodniej zarówno cyklonalnej jak i antycyklonalnej. Dni ze średnią wartością ochładzającą powietrza odczuwaną jako „chłodno” i „zimno” są najbardziej prawdopodobne w typach cyrkulacji zachodniej i północno-zachodniej cyklonalnej (ryc. 58).

W ciągu całego roku w centrum miasta średnie dobowe wartości ochładzające powietrza są o 40-45% niższe niż na obszarze podmiejskim. Tylko w sierpniu różnice między tymi typami zabudowy ulegają zmniejszeniu - wówczas H w centrum miasta jest o 20-30% mniejsze niż to obserwowane na obszarze podmiejskim (ryc. 56, 59). Wyraźnie odmienne wartości ochładzające powietrza w różnych typach zabudowy w porównaniu z terenami niezabudowanymi są obserwowane w miesiącach zimowych, w porze daytime. Interesująco kształtują się przebiegi średnich wartości

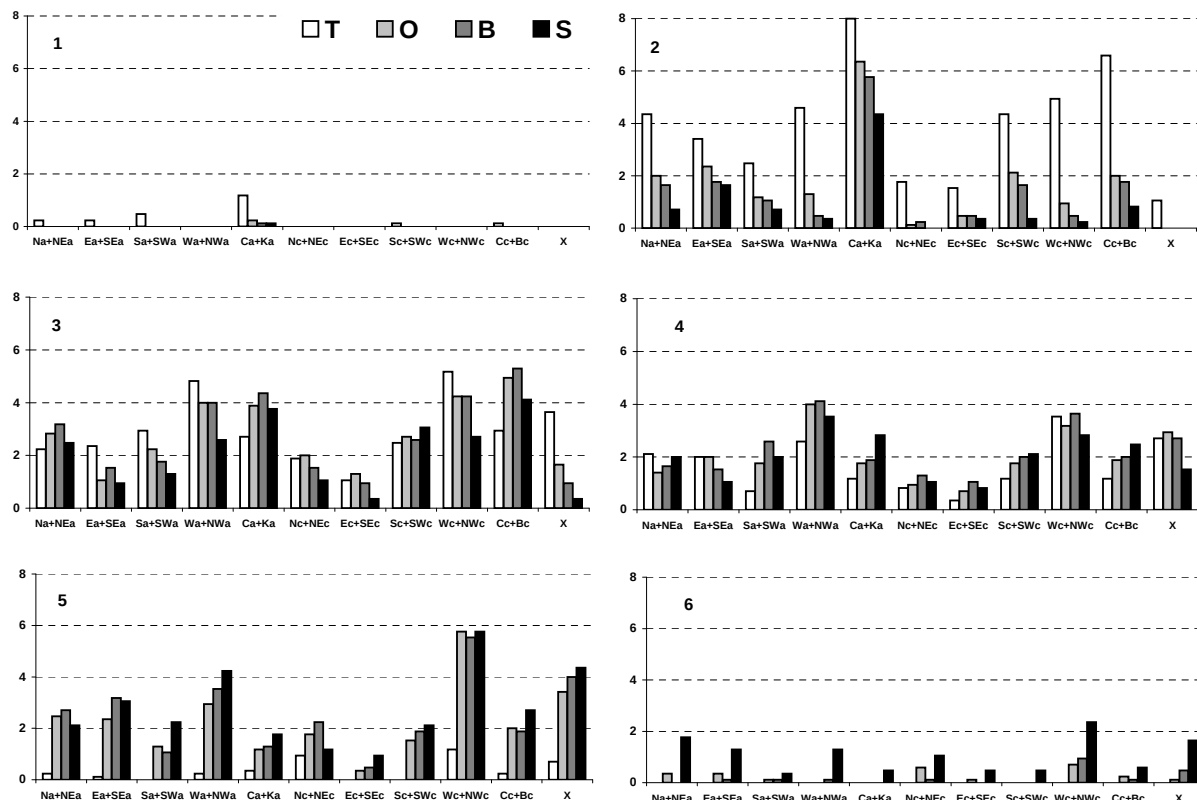


Ryc. 57. Częstości [%] występowania klas odczuć wielkości ochładzającej powietrza (H) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1 - bardzo zimno, 2 - zimno, 3 - chłodno, 4 - umiarkowanie chłodno, 5 - komfortowo, 6 - gorąco, 7 - bardzo gorąco

Fig. 57. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale) based on cooling power (H) during night in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - very cold, 2 - cold, 3 - cool, 4 - slightly cool, 5 - neutral, 6 - hot, 7 - very hot

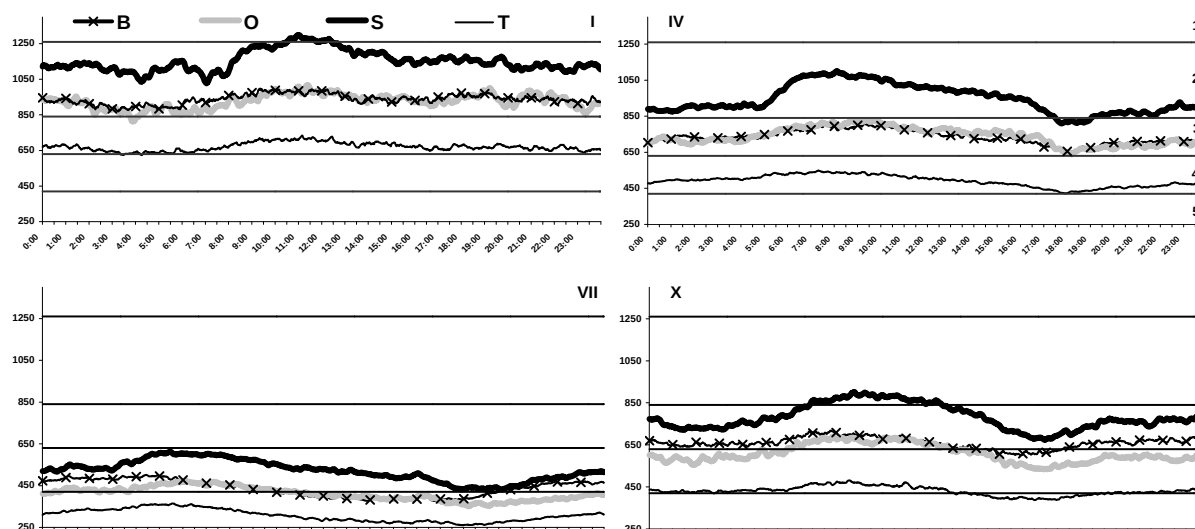
w porze dziennej i nocnej dla stacji z osiedli o wysokiej zabudowie (O) i niskiej, willowej (B) – o ile średnie liczone z dziennej pory doby są niemalże identyczne, co widać również w częstości pojawiania się poszczególnych klas odczuć termicznych (ryc. 57) o tyle przebieg średnich z nocnej pory doby w okresie miesięcy letnich jest zbliżony do tego ze stacji podmiejskiej (ryc. 56). To zjawisko „upodabniania się” warunków panujących na osiedlu z wysoką, blokową zabudową w ciągu dnia do tych jakie występują na osiedlu z niską, mało intensywną, willową a w ciągu nocy do tych panujących na obszarach niezabudowanych, jest szczególnie wyraźne w okresie lata. Natomiast w okresie od października do kwietnia praktycznie nie występuje (ryc. 59)

W miesiącach zimowych w cyklu dobowym (ryc. 60) zauważa się największe wartości H w godzinach okołopołudniowych przy czym wzrost ten jest najwyraźniej obserwowany na stacji znajdującej się na obrzeżach miasta (S). Wówczas występują również jedne z najwyższych różnic H między stacją podmiejską a stacjami zlokalizowanymi na obszarze o zintensyfikowanej zabudowie (ryc. 60). Przebieg dobowy wartości ochładzającej powietrza jest najbardziej wyrównany w okresie lata i wtedy też obserwuje się najmniejsze różnice między stacjami „miejskimi” a podmiejską.



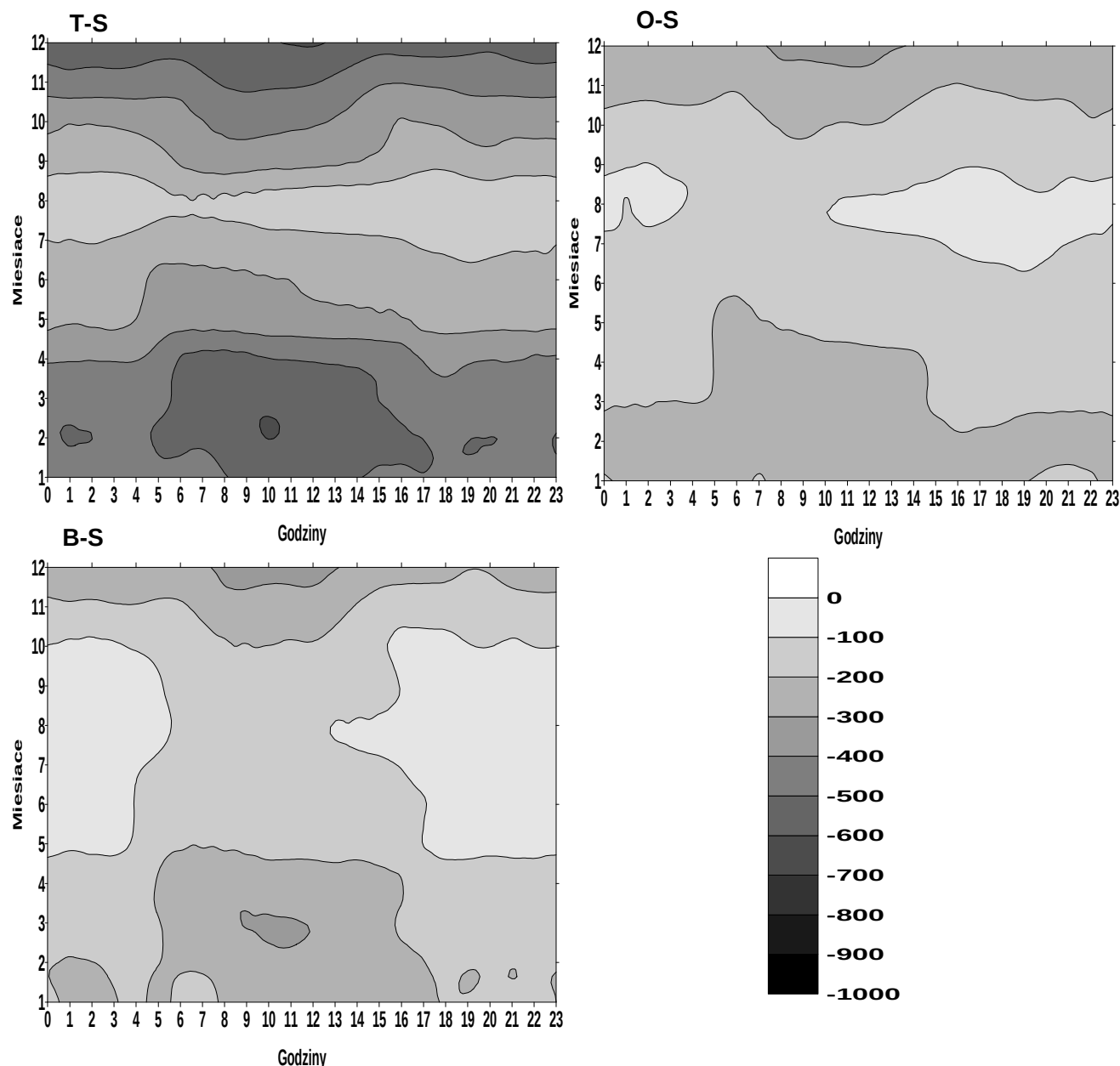
Ryc. 58. Częstość pojawiania się klas odczuć (1 - bardzo gorąco, 2 - gorąco, 3 - komfortowo, 4 - umiarkowanie chłodno, 5 - chłodno, 6 - zimno) ochładzania biologicznego (H) określonych na podstawie średnich wartości dobowych w różnych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004

Fig. 58. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (1 - very hot, 2 - hot, 3 - neutral, 4 - slightly cool, 5 - cool, 6 - cold) based on mean cooling power (H) calculated for different atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



Ryc. 59. Średnie dobowe przebiegi wielkości ochładzającej powietrza ($H, W/m^2$) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Linie poziome na wykresach oddzielają poszczególne klasy odczuć: 1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - umiarkowanie chłodno, 4 - komfortowo, 5 - gorąco (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią kolejną 11-dniową)

Fig. 59. Daily course of cooling power ($H, W/m^2$) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermal feelings are presented: 1 - cold, 2 - cool, 3 - slightly cool, 4 - neutral, 5 - hot



Ryc. 60. Średni dobowy i roczny przebieg różnic wielkości ochładzającej powietrza (H , W/m^2) we Wrocławiu w okresie IV 2001 - VII 2004 pomiędzy stacjami zlokalizowanymi na obszarach zabudowanych (B, O i T) a stacją podmiejską (S)

Fig. 60. Daily and annual mean of differences of cooling power (H , W/m^2) between built-up (B, O i T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

9.2.3. Wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS)

Wskaźnik stresu termofizjologicznego obrazuje zależność między konwekcyjnym i ewaporacyjnym strumieniem wymiany ciepła układu człowiek-otoczenie. Pozwala stwierdzić, w jaki sposób organizm człowieka reaguje na warunki zewnętrzne – czy poddawany jest stresowi gorąca, zimna czy może panujące warunki meteorologiczne są termoneutralne. Jest on bezwymiarowy.

Średni roczny przebieg dobowych wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego we Wrocławiu (ryc. 61) zawiera się w dwóch klasach oddziaływania na organizm człowieka: w chłodnej porze roku jest to stres chłodu a w letniej porze panują warunki termoneutralne. Obserwowany jest przy tym wyraźne różnicowanie się czasu trwania tych dwóch klas w zależności od typu zagospodarowania terenu. W centrum miasta okres ze średnimi dobowymi warunkami termoneutralnymi trwa od końca pierwszej dekady marca

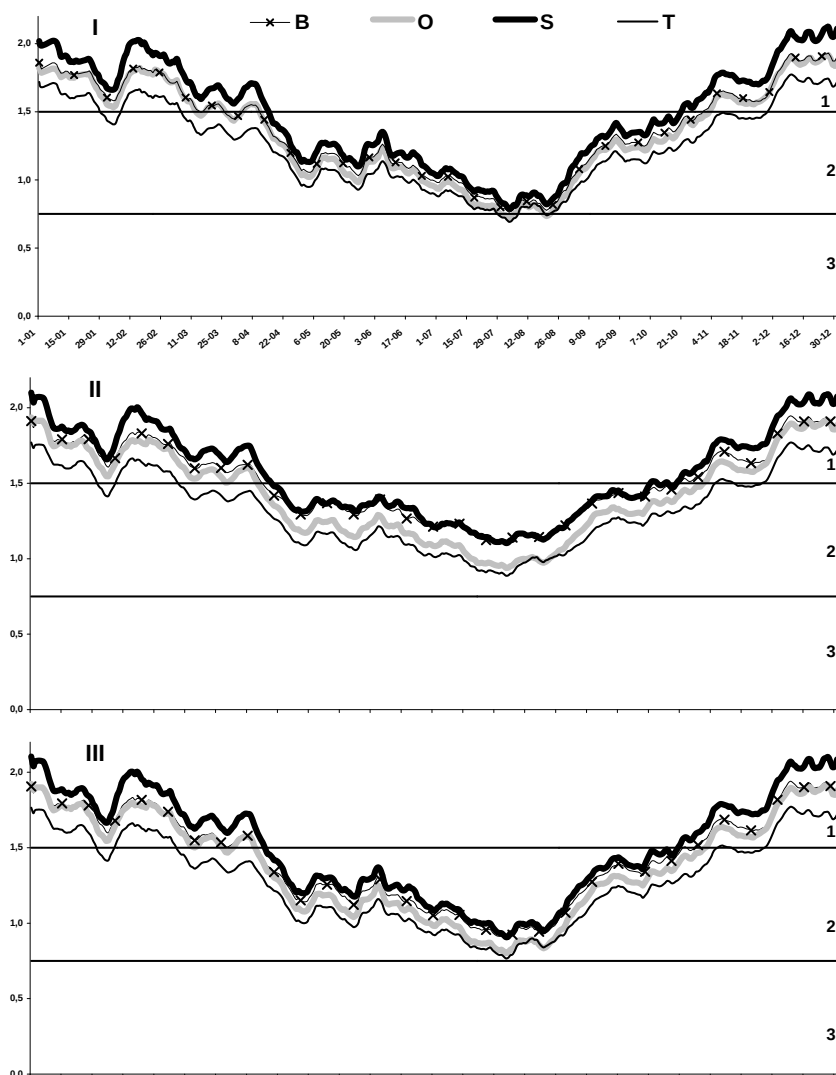
do końca pierwszej dekady listopada. Na stacji zlokalizowanej w terenie niezabudowanym okres trwania warunków termoneutralnych dla organizmu człowieka jest wyraźnie krótszy: zaczyna się 5 tygodni później a kończy 3 tygodnie wcześniej. Na osiedlach: z wysoką, blokową zabudową i z mało intensywną, willową czas trwania warunków termoneutralnych jest również skrócony w porównaniu z centrum miasta – rozpoczyna się około połowy kwietnia a kończy na początku listopada. Powyższy przebieg wskaźnika stresu termofizjologicznego znajduje potwierdzenie w jego średnich wartościach: najwyższa średnia roczna PhS obserwowana jest na stacji podmiejskiej (1,5), najniższa w centrum miasta (1,3) a na stacjach B i O średnia roczna wskaźnika jest taka sama – wynosi 1,4 (tabela 32). W przebiegu rocznym średnich wartości dobowych wskaźnika stresu termofizjologicznego na obszarze objętych badaniem osiedli (z wysoką, blokową zabudową i niską, willową) zauważyć można, że w okresie od listopada do marca wartości tego wskaźnika kształtują się w tych typach zabudowy bardzo podobnie (ryc. 61).

Tabela 32. Średnie miesięczne i roczne wartości stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy) w wybranych typach zabudowy miejskiej we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004

Table 32. Monthly and annual average of Physiological Strain (PhS, [dimensionless]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)

			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Cała doba	T	średnia	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,3
		min	1,3	1,0	0,7	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,8	1,2	0,0
		max	2,2	2,2	2,1	2,0	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,9	2,0	2,6	2,6
	O	średnia	1,8	1,7	1,6	1,4	1,1	1,1	1,0	0,9	1,2	1,3	1,6	1,8	1,4
		min	1,3	1,0	0,7	0,5	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	1,0	1,1	0,0
		max	2,6	2,5	2,4	2,5	1,9	1,8	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,7	2,7
	B	średnia	1,8	1,7	1,6	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,3	1,4	1,6	1,9	1,4
		min	1,3	1,0	0,8	0,4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	1,0	1,2	0,0
		max	2,6	2,5	2,4	2,4	1,9	2,0	1,7	1,8	1,9	2,2	2,4	2,9	2,9
	S	średnia	1,9	1,8	1,7	1,6	1,2	1,2	1,1	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	1,5
		min	1,5	1,1	0,7	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	1,0	1,2	0,1
		max	2,8	2,7	2,6	2,7	2,0	2,0	1,7	1,8	1,9	2,3	2,6	3,0	3,0
Pora dzienna	T	średnia	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0	1,0	0,9	0,8	1,1	1,2	1,5	1,7	1,2
		min	1,3	1,0	0,7	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,9	1,2	0,0
		max	2,2	2,2	2,1	2,0	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,9	2,0	2,6	2,6
	O	średnia	1,8	1,7	1,5	1,4	1,1	1,1	0,9	0,8	1,2	1,3	1,6	1,8	1,3
		min	1,3	1,0	0,7	0,5	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	1,0	1,1	0,0
		max	2,4	2,5	2,4	2,5	1,9	1,8	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,7	2,7
	B	średnia	1,8	1,7	1,5	1,4	1,1	1,1	0,9	0,8	1,2	1,3	1,6	1,9	1,4
		min	1,4	1,0	0,8	0,4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	1,0	1,2	0,0
		max	2,5	2,5	2,4	2,4	1,9	2,0	1,7	1,7	1,9	2,2	2,3	2,9	2,9
	S	średnia	1,9	1,9	1,7	1,5	1,2	1,2	1,0	0,9	1,3	1,4	1,7	2,0	1,5
		min	1,5	1,1	0,7	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,5	1,0	1,2	0,1
		max	2,7	2,7	2,6	2,7	2,0	2,0	1,7	1,8	1,9	2,3	2,5	3,0	3,0
Pora nocna	T	średnia	1,7	1,6	1,5	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,3
		min	1,3	1,0	0,8	0,7	0,4	0,5	0,1	0,3	0,6	0,7	0,8	1,2	0,1
		max	2,2	2,2	2,1	2,0	1,6	1,5	1,4	1,7	1,5	1,8	2,0	2,5	2,5
	O	średnia	1,8	1,7	1,6	1,5	1,2	1,2	1,0	1,0	1,3	1,4	1,6	1,9	1,4
		min	1,4	1,0	0,9	0,8	0,4	0,5	0,2	0,2	0,6	0,7	1,0	1,3	0,2
		max	2,6	2,4	2,3	2,5	1,9	1,7	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	2,6
	B	średnia	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	1,5
		min	1,3	1,0	1,0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,9	0,8	1,0	1,3	0,4
		max	2,6	2,5	2,3	2,4	1,9	1,8	1,7	1,8	1,9	2,2	2,4	2,9	2,9
	S	średnia	1,9	1,8	1,7	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	2,0	1,6
		min	1,5	1,2	0,9	0,9	0,6	0,6	0,3	0,5	0,8	0,9	1,0	1,3	0,3
		max	2,8	2,6	2,5	2,7	2,0	1,9	1,7	1,7	1,9	2,3	2,6	2,9	2,9

Natomiast w lipcu i sierpniu dość znacznie zaczynają się one różnicować, przy czym wartości PhS obserwowane na osiedlu wielokondygnacyjnych bloków mieszkalnych są zbliżone do tych z centrum miasta. Natomiast wartości tego wskaźnika, jakie rejestruje się w zabudowie willowej są podobne do tych ze strefy podmiejskiej (S). Ta prawidłowość jest wyraźnie widoczna w nocnej porze doby niż w dziennej (ryc. 61).

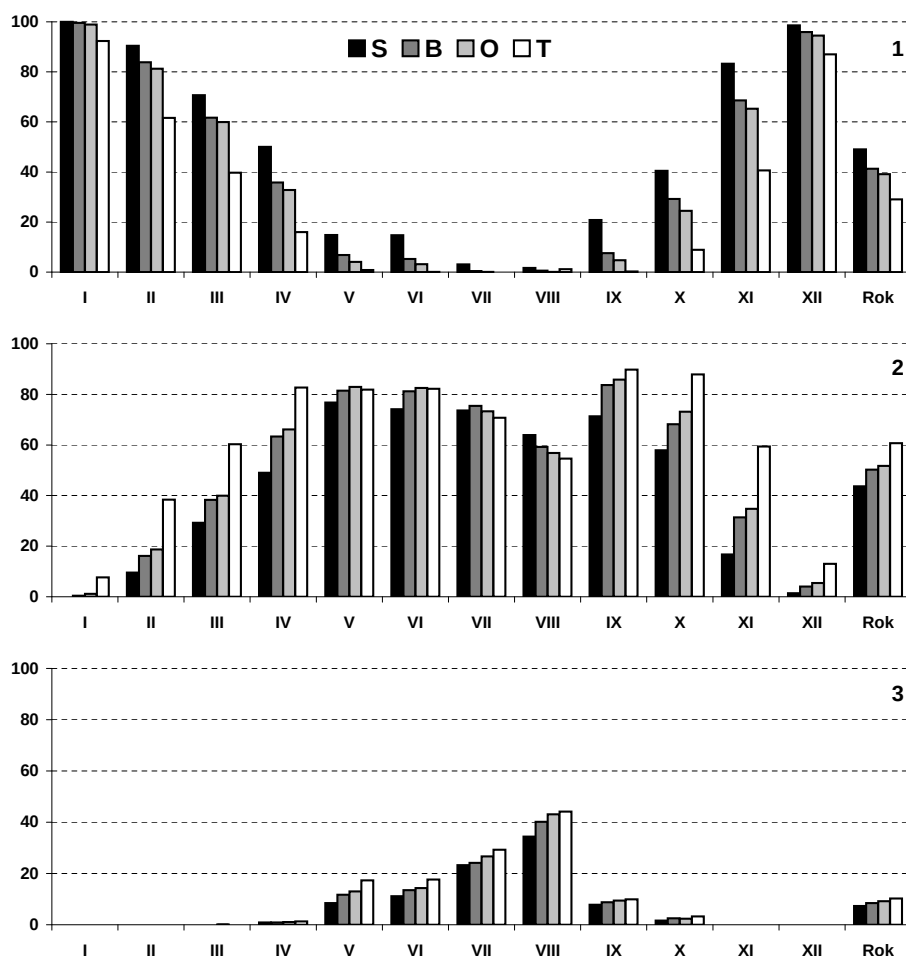


Ryc. 61. Roczny przebieg średnich wartości stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy) w daytime (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Z prawej strony umieszczono skalę reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka: 1- termofizjologiczny stres zimna, 2-warunki termoneutralne, 3-termofizjologiczny stres gorąca, (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową)

Fig. 61. Annual course of Physiological Strain index (PhS, dimensionless) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermophysiological reaction of human body are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain

Tak kształtujący się przebieg roczny średnich wartości dobowych ma oczywiście swoje odzwierciedlenie w częstości pojawiania się poszczególnych typów reakcji termofizjologicznej w ciągu roku. W daytime porze doby na obszarze podmiejskim panowały najczęściej w ciągu całego roku warunki termofizjologicznego stresu zimna (49,1% czasu dnia). Takie warunki pojawiały się na stacjach B, O i w centrum o odpowiednio 8%, 10% i 20% rzadziej. W tych typach zabudowy najczęściej występowały warunki termoneutralne dla człowieka przy czym najczęściej miało to miejsce w centrum miasta (61% czasu daytime pory doby) a w zabudowie blokowej (O), willowej (B) i na obszarze podmiejskim (S) odpowiednio o 9%, 11% i 18% rzadziej (ryc. 62).

Okres, w którym człowiek poddawany jest termofizjologicznemu stresowi zimna praktycznie w ciągu całej doby (96-100% czasu dnia i nocy) jest obserwowany na obszarze podmiejskim oraz na osiedlach: o zabudowie willowej (B) i wielokondygnacyjnej (O) w dwóch miesiącach – w grudniu i styczniu (ryc. 62., 63). Natomiast w centrum miasta ten rodzaj oddziaływania warunków zewnętrznych na organizm człowieka obserwuje się w nieco ponad 90% czasu dnia i nocy tych miesięcy zimowych. Złagodzenie warunków biotermiczne w intensywnie zabudowanym centrum miasta szczególnie dobrze widoczne są



Ryc. 62. Częstości [%] występowania klas reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka (na podstawie PhS) w daytime porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1- termofizjologiczny stres zimna, 2-warunki termoneutralne, 3-termofizjologiczny stres gorąca

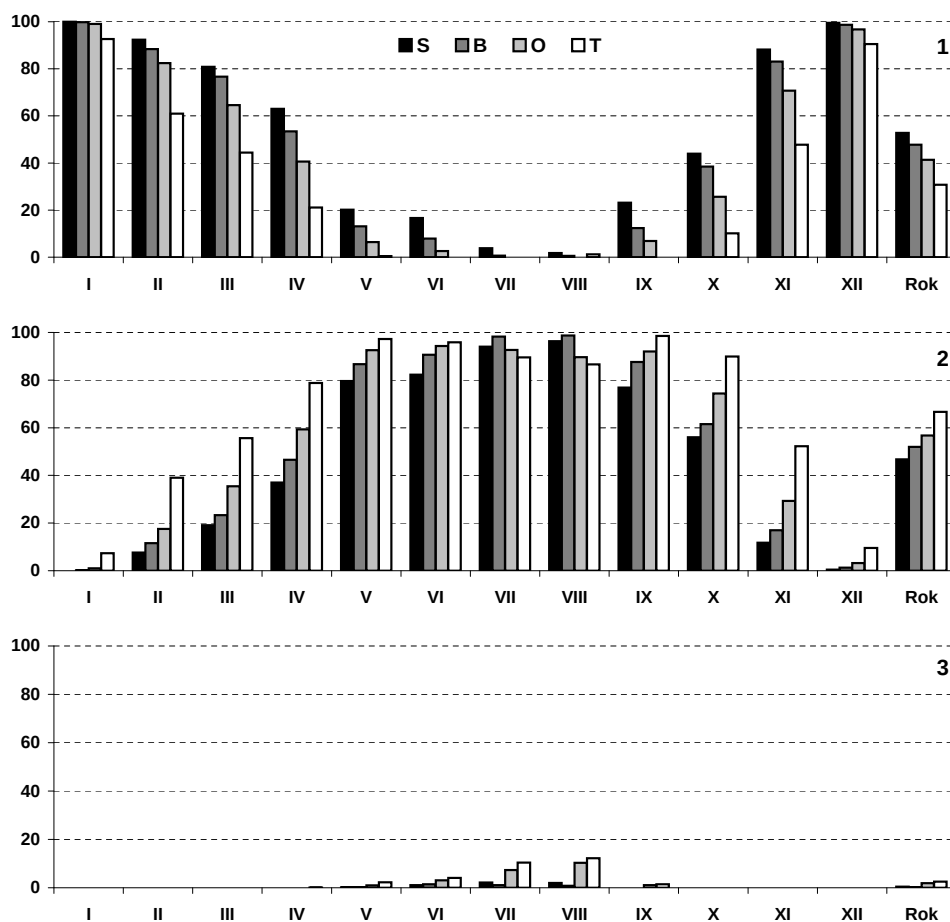
Fig. 62. Frequency of occurrence [%] of specific thermophysiological reaction of human body (according to Błażejczyk's scale) based on Physiological Strain index (PhS) during daytime in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain

w lutym, marcu i listopadzie, gdzie warunki termoneutralne dla człowieka pojawiają się 2-3-krotnie częściej niż na otwartej przestrzeni terenów podmiejskich.

Niestety to intensywne, modyfikujące klimat lokalny, oddziaływanie zwartej zabudowy w centrum miasta przyczynia się do występowania tam najczęściej (w porównaniu z innymi częściami miasta) termofizjologicznego stresu gorąca – średnio 10% czasu daytime i 2,5% nocnej pory doby w ciągu całego roku. Pojawia się on w okresie od maja do września, lecz najczęściej w sierpniu w centrum (44% czasu dnia) następnie w zabudowie z wysokimi blokami (o 1% rzadziej) oraz niską zabudową rezydencjonalną (o 4% rzadziej) a na Strachowicach jest obserwowany w 34% czasu daytime.

Wyraźny cykl dobowego przebiegu wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego obserwowany jest tylko w miesiącach letnich. Szczególnie zaznacza się on w sierpniu i charakteryzuje się najbardziej zbliżonymi do siebie wartościami we wszystkich typach zabudowy. Oscyluje on między dwiema kategoriami oddziaływania warunków zewnętrznych na organizm człowieka: między warunkami termoneutralnymi (głównie nocą) i termofizjologicznym stresem gorąca, którego czas rozpoczęcia w centrum, na osiedlach z wielokondygnacyjnymi blokami mieszkalnymi (O) i z zabudową rezydencjonalną (B) jest niemalże identyczny (ok. 11.30 czasu wschodnioeuropejskiego). Jednak tylko w tych dwóch pierwszych typach zabudowy warunki zmieniają się na termoneutralne o podobnej godzinie: ok. 19.45 czasu wschodnio-

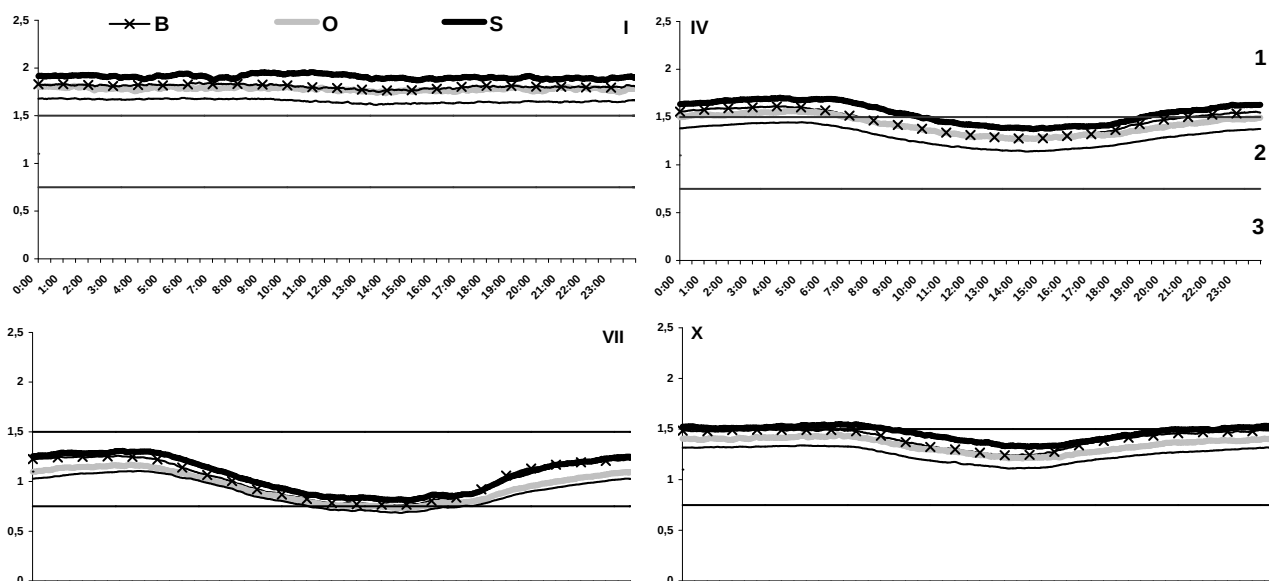
europiejskiego. Natomiast czas trwania termofizjologicznego stresu gorąca w typie zabudowy charakterystycznym dla stacji B kończy się podobnie jak na terenie niezabudowanym (S) ok. godz. 19.00 (czasu wschodnioeuropejskiego). Na tej ostatniej stacji rozpoczęcie okresu termofizjologicznego stresu ciepła następuje ok. 12.30 (czasu wschodnioeuropejskiego; ryc. 64). Powyższe fakty nie przesądzają o występowaniu w sierpniu tylko tych dwu klas reakcji termofizjologicznej organizmu na warunki zewnętrzne, ponieważ można wówczas, aczkolwiek dość sporadycznie, obserwować pojawianie się termofizjologicznego chłodu na prawie wszystkich stacjach w ciągu dnia i nocy (wyjątkiem jest stacja zlokalizowana na osiedlu z wysoką, intensywną zabudową blokową, gdzie w sierpniu w okresie nocy to odczucie nie występuje) (ryc. 63, 64).



Ryc. 63. Częstości [%] występowania klas reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka (na podstawie PhS) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1- termofizjologiczny stres zimna, 2-warunki termoneutralne, 3-termofizjologiczny stres gorąca

Fig. 63. Frequency of occurrence [%] of specific thermophysiological reaction of human body (according to Błażejczyk's scale) based on Physiological Strain index (PhS) during night in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain

Termofizjologiczny stres zimna może wystąpić na obszarze niezabudowanym i na osiedlu z niską zabudową rezydencjonalną praktycznie w ciągu całego roku a w centrum miasta i na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi nie obserwuje się go w lipcu. W nocnej porze doby ta reakcja organizmu nie występuje w czerwcu i lipcu w intensywnie zabudowanym centrum miasta oraz lipcu i sierpniu na osiedlu w blokami mieszkalnymi.



Ryc. 64. Średni dobowy przebieg wartości stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Linie poziome na wykresach oddzielają poszczególne klasy reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka: 1 - termofizjologiczny stres zimna, 2 - warunki termoneutralne, 3 - termofizjologiczny stres gorąca, (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową)

Fig. 64. Daily course of Physiological Strain index (PhS, dimensionless) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermophysiological reaction of human body are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain

9.2.4. Wskaźnik stresu cieplnego (HSI)

Wskaźnik stresu cieplnego (HSI) zastosowany został w nowej biotermiczno-meteorologicznej typologii pogód opracowanej przez Błażejczyka (2002) (rozdział 9) do identyfikowania stanów parności. Wskaźnik ten zaleca używać się raczej do okresów z wysoką temperaturą powietrza. W niektórych sytuacjach wartości tego wskaźnika mogą przyjmować znak ujemny. Z przebiegu rocznego średnich dobowych wartości wskaźnika stresu cieplnego wynika, że najdłuższy okres „umiarkowanej parności” występuje w centrum miasta, gdzie trwa od początku trzeciej dekady czerwca do końca sierpnia (ryc. 65). Stan parności o podobnym natężeniu obserwowany jest również w typie zabudowy rezydencjonalnej (B) i wysokiej, blokowej (O), lecz czas jego trwania jest krótszy i podzielony na dwa okresy: obserwuje się go w pierwszej dekadzie sierpnia i następnie w jego ostatnim tygodniu. W przypadku centrum miasta stan „umiarkowanej parności” w lipcu i sierpniu jest permanentny tzn. występuje zarówno w ciągu dnia jak i nocy. Natomiast w przypadku dwóch pozostałych badanych typach zabudowy czas trwania parności ograniczony jest do dziennej pory doby. Na stacji zlokalizowanej w terenie niezabudowanym uśrednione wartości HSI zarówno z dziennej jak i nocnej części doby nie wykazują istnienia stanów parności.

W przebiegu dobowym HSI można obserwować pewną prawidłowość: mianowicie w miesiącach letnich w dziennej porze doby na Biskupinie panował stan parności podobny do tego na osiedlu z gęstą, wielokondygnacyjną zabudową (O) a w nocnej porze doby obszar z niską zabudową willową upodabniał się do obszaru podmiejskiego. Jest to szczególnie wyraźnie widoczne na wykresach średnich dobowych przebiegów HSI w poszczególnych miesiącach (ryc. 68). Ta prawidłowość obserwowana również w przypadku wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego i znajduje potwierdzenie w częstości pojawiania się stanów parności w odpowiednich miesiącach a występują one najczęściej w centrum miasta. Miesiącami, w których zdarza się to w ponad połowie czasu dziennej pory doby są lipiec i sierpień, przy czym w 35% tego czasu jest to „umiarkowana parność” a w 15% czasu intensywność parności jest znaczna. Na osiedlu z wysokimi blokami i w zabudowie willowej stany parności są identyfikowane z mniejszą częstością niż w centrum miasta. W lipcu ma to miejsce w około 25% czasu dziennej pory doby (z tego w 5% czasu występuje parność o znacznym natężeniu) a w sierpniu w 40% czasu tej pory doby (przy czym częstość

Tabela 33. Średnie miesięczne i roczne wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004

Table 33. Monthly and annual average of Heat Stress Index (HSI, [%]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)

			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Cała doba	T	średnia	-7,2	-3,2	1,9	6,2	22,2	23,4	36,3	36,8	22,4	11,9	-0,1	-7,2	12,0
		min	-25,7	-20,6	-19,9	-16,0	-4,6	-3,3	-1,8	-6,6	-3,5	-9,3	-15,7	-29,8	-29,8
		max	11,7	42,6	82,6	144,4	172,7	198,6	231,5	233,4	146,4	139,9	56,7	22,3	233,4
	O	średnia	-6,9	-4,7	-2,2	1,2	12,0	14,0	22,3	28,5	10,6	5,8	-2,7	-7,0	5,9
		min	-23,2	-22,1	-19,5	-16,5	-6,3	-7,3	-5,5	-4,7	-6,6	-11,1	-17,7	-30,3	-30,3
		max	14,7	28,2	82,9	113,9	200,4	196,8	282,9	276,5	171,2	152,2	56,1	39,7	282,9
	B	średnia	-6,6	-4,6	-1,9	0,9	10,4	11,6	20,7	27,3	10,8	6,2	-2,8	-6,7	5,4
		min	-24,0	-22,5	-22,9	-16,8	-7,8	-8,6	-5,4	-7,7	-7,4	-14,0	-20,0	-29,9	-29,9
		max	18,8	52,5	88,2	140,7	209,8	209,5	264,9	305,1	182,0	189,8	68,2	44,8	305,1
	S	średnia	-7,0	-5,8	-4,1	-1,8	5,3	8,5	13,2	20,5	5,3	2,0	-4,4	-7,6	2,0
		min	-28,7	-27,2	-22,9	-18,6	-8,6	-9,6	-7,0	-7,9	-9,9	-13,3	-20,4	-30,3	-30,3
		max	5,5	17,1	79,8	88,6	189,7	189,6	269,1	606,5	162,2	146,5	49,7	35,0	606,5
Pora dzienna	T	średnia	-6,2	-2,1	4,7	8,4	24,4	24,5	38,1	39,9	25,5	14,4	1,5	-6,0	13,9
		min	-24,9	-20,6	-18,3	-16,0	-4,6	-3,3	-1,4	-6,3	-3,5	-9,1	-15,7	-29,7	-29,7
		max	11,7	42,6	82,6	144,4	172,7	198,6	231,5	233,4	146,4	139,9	56,7	22,3	233,4
	O	średnia	-5,9	-4,0	-0,7	2,4	13,5	14,5	22,9	31,2	11,7	7,8	-1,5	-5,7	7,2
		min	-22,9	-17,8	-19,5	-16,5	-6,3	-7,3	-5,5	-4,7	-6,4	-9,6	-17,7	-29,5	-29,5
		max	14,7	28,2	82,9	113,9	200,4	196,8	282,9	276,5	171,2	152,2	56,1	39,7	282,9
	B	średnia	-5,4	-3,2	0,9	2,8	13,3	13,9	24,4	34,9	15,5	11,3	-0,3	-5,1	8,6
		min	-24,0	-20,3	-18,0	-15,6	-7,8	-8,6	-5,4	-6,1	-7,4	-10,1	-19,0	-28,2	-28,2
		max	18,8	52,5	88,2	140,7	209,8	209,5	264,9	305,1	182,0	189,8	68,2	44,8	305,1
	S	średnia	-6,3	-5,2	-2,6	-0,7	6,3	8,9	13,4	24,0	6,0	3,8	-3,2	-6,5	3,2
		min	-23,9	-19,3	-22,6	-18,6	-8,6	-9,6	-7,0	-7,9	-9,9	-13,3	-19,3	-26,1	-26,1
		max	5,5	17,1	79,8	88,6	189,7	189,6	269,1	606,5	162,2	146,5	49,7	35,0	606,5
Pora nocna	T	średnia	-7,7	-3,9	-0,9	3,2	18,1	21,1	32,6	32,2	19,0	10,0	-0,9	-7,7	9,6
		min	-25,7	-20,6	-19,9	-16,0	-3,7	-2,7	-1,8	-6,6	-2,9	-9,3	-15,5	-29,8	-29,8
		max	7,8	24,4	34,9	50,1	82,8	80,7	136,9	113,1	67,6	65,2	34,9	13,8	136,9
	O	średnia	-7,3	-5,2	-3,7	-0,4	9,3	12,9	21,1	24,4	9,4	4,2	-3,3	-7,6	4,5
		min	-23,2	-22,1	-19,5	-16,5	-6,3	-4,8	-3,5	-4,0	-6,6	-11,1	-17,0	-30,3	-30,3
		max	6,9	15,8	31,8	46,1	69,7	63,1	122,5	108,6	64,4	60,8	29,5	9,4	122,5
	B	średnia	-7,2	-5,5	-4,5	-1,7	4,9	6,4	13,2	15,9	5,7	2,2	-4,1	-7,4	1,5
		min	-23,7	-22,5	-22,9	-16,8	-7,3	-6,2	-5,0	-7,7	-6,9	-14,0	-20,0	-29,9	-29,9
		max	8,6	24,1	24,9	33,1	57,7	69,1	111,8	93,2	63,3	66,6	25,6	9,9	111,8
	S	średnia	-7,3	-6,3	-5,6	-3,3	3,4	7,7	12,7	15,4	4,6	0,6	-5,0	-8,1	0,7
		min	-28,7	-27,2	-22,9	-18,6	-7,7	-8,1	-5,7	-7,4	-8,6	-13,3	-20,4	-30,3	-30,3
		max	-1,6	7,9	23,5	31,5	56,6	59,1	96,6	111,1	61,1	63,7	26,1	6,5	111,1

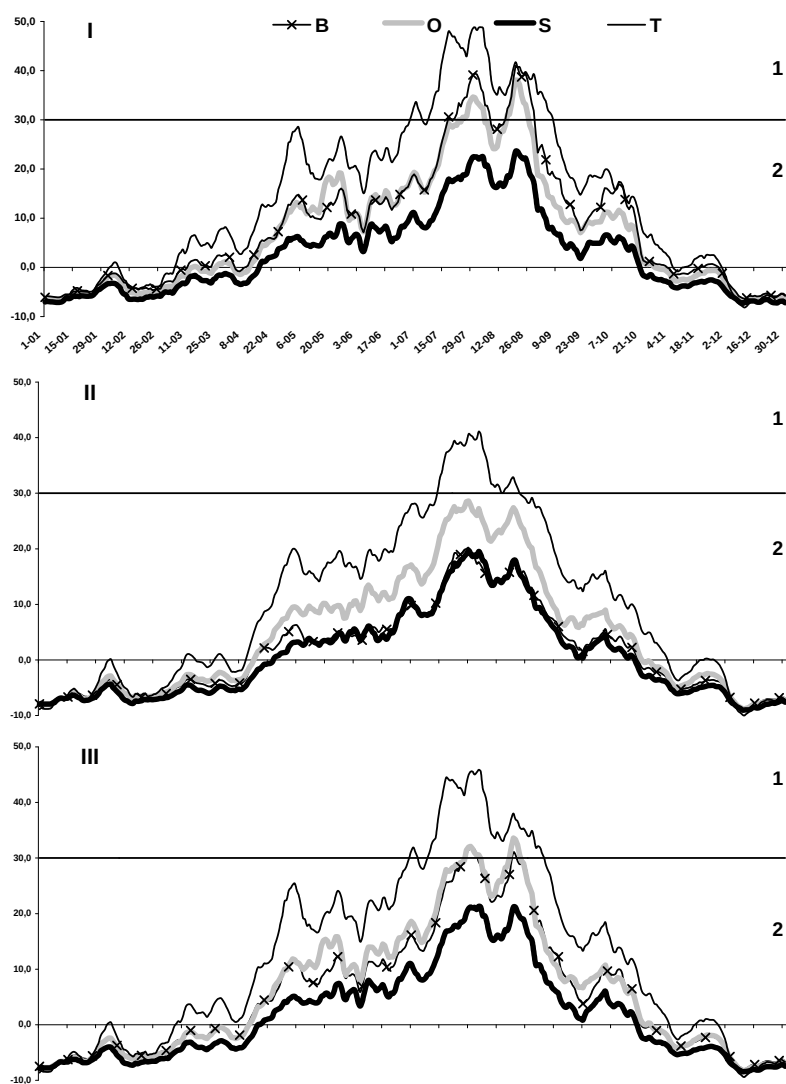
intensywnej parności wzrasta do ok. 10%; ryc. 66). Na niezabudowanym obszarze podmiejskim, w lipcu stan parności obserwowany jest w nieco ponad 11% czasu dnia czyli trzykrotnie rzadziej niż w centrum miasta i dwukrotnie rzadziej niż na pozostałych stacjach pomiarowych. W sierpniu częstość parności jest na Strachowicach wyraźnie wyższa (26% czasu dnia). Średnio w okresie lata stany z parnością o dość znacznym natężeniu na osiedlach: o zabudowie willowej (B) i z wysokimi blokami mieszkalnymi (O) są o połowę rzadziej spotykane niż w centrum miasta a na obszarze podmiejskim, ich częstość jest pięciokrotnie mniejsza.

W nocnej porze doby częstość występowania stanów parności o dużym nasileniu jest stosunkowo niewielka (maksymalnie 4% czasu tej pory doby w centrum miasta) i ogranicza się do dwóch miesięcy: lipca i sierpnia (ryc. 67). W tych miesiącach w centrum miasta „umiarkowana parność” jest obserwowana w prawie połowie czasu nocy. Dużą częstość pojawiania się ta klasa parności wykazuje również na osiedlu z wysoką, zwartą zabudową blokową: 30 i 35% czasu nocy lipca i sierpnia. Natomiast w typie niskiej, rezydencjonalnej zabudowy i na obszarze podmiejskim obserwuje się ją dwukrotnie rzadziej niż na osiedlu z blokami mieszkalnymi.

Nocą częstość pojawiania się latem stanów „umiarkowanej parności” jest największa w centrum, o jedną trzecią mniejsza na osiedlu z wysoką zabudową blokową i ¼ mniejsza na osiedlu z zabudową rezydencjonalną i na terenie podmiejskim.

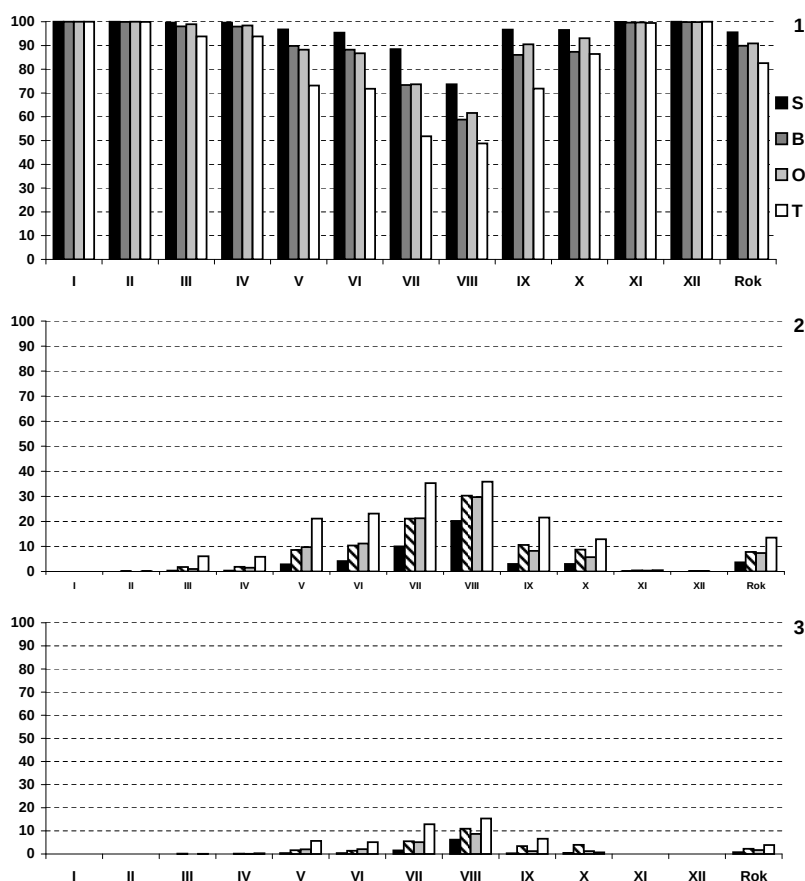
Z analizy średnich dobowych przebiegów HSI w poszczególnych miesiącach wynika, że tylko w sierpniu „umiarkowanie parno” jest praktycznie przez całą dzienną porę doby na wszystkich stacjach zlokalizowanych na obszarze zabudowanym. Niekorzystne warunki panujące w centrum miasta przejawiają się

m.in. w występowaniu tam stanów parności w godzinach okołopołudniowych od maja do września. Średnie wartości HSI obserwowane wówczas w centrum miasta są trzykrotnie wyższe niż na obszarze niezabudowanym (ryc. 65, 69).



Ryc. 65. Roczny przebieg średnich wartości współczynnika stresu cieplnego (HSI, %: 1 - umiarkowanie parno, 2 - brak parności) w daytimej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwtywną 11-dniową

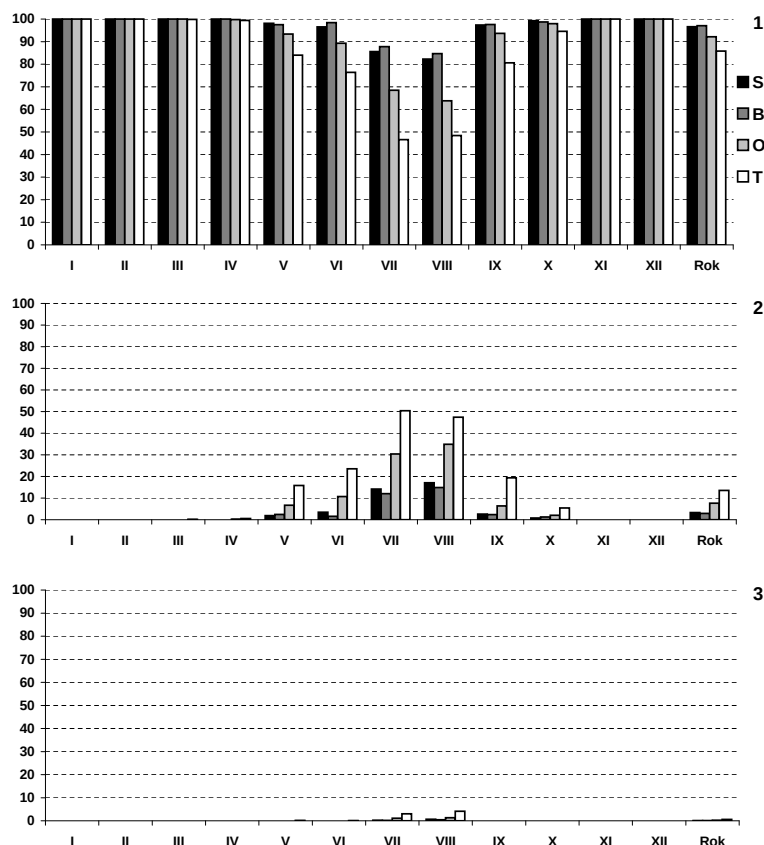
Fig. 65. Annual course of Heat Stress Index (HSI, %) during daytime (I), night (II) and day (III) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram intensity of sultriness are presented: 1 - moderate sultry, 2 - non-sultry conditions



Ryc. 66. Częstości [%] występowania klas parności (na podstawie HSI) w daytime porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1-brak parności, 2-umiarkowanie parno, 3-parno

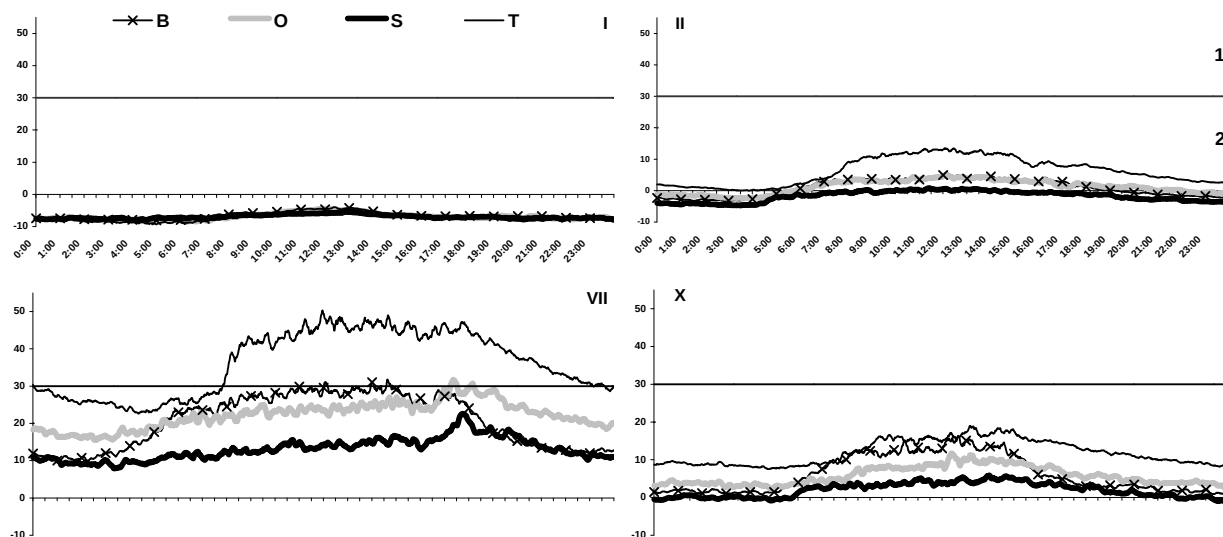
Fig. 66. Frequency of occurrence [%] of specific sultriness intensity based on Heat Stress Index (HSI, %) during daytime in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - non-sultry conditions, 2 - moderate sultry, 3 - sultry

W świetle analizy średnich wartości HSI w określonych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) w ciepłej połowie roku największe różnice między zwartą zabudową centrum miasta a obszarem podmiejskim obserwuje się w sytuacjach napływu mas powietrza z kierunków południowego i południowo-zachodniego zarówno w układzie cyklonalnym jak i antycyklonalnym (Sc+SWc oraz Sa+SWa) (ryc. 70). Największe wartości średnie wskaźnika stresu cieplnego zauważyć można w sytuacjach, kiedy nad Polską znajduje się centrum wyżu lub klin (Ca+Ka) wysokiego ciśnienia a adwekcje mas powietrza są niewielkie lub ze zmiennych kierunków. W takim przypadku również dość znaczne są różnice średnich wartości HSI obserwowanych w centrum miasta i poza nim. W chłodnej połowie roku różnice te nie są już tak wyraźne i tylko we wspomnianych powyżej typach cyrkulacji (Sc+SWc, Sa+SWa) osiągają 6% (ryc. 70).



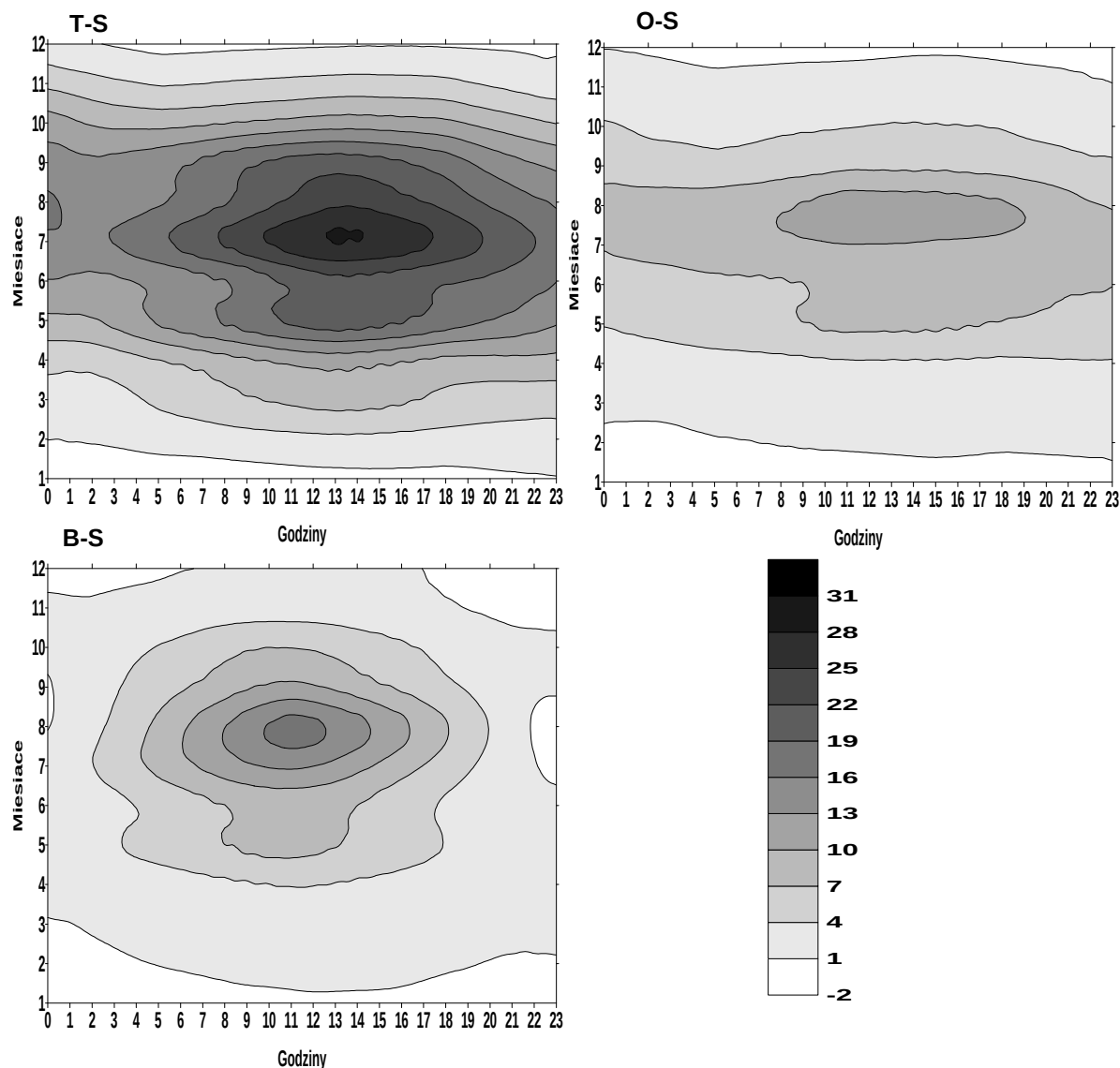
Ryc. 67. Częstości [%] występowania klas parności (na podstawie HSI) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1-brak parności, 2-umiarkowanie parno, 3-parno

Fig. 67. Frequency of occurrence [%] of specific sultriness intensity based on Heat Stress Index (HSI, %) during night in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - non-sultry conditions, 2 - moderate sultry, 3 - sultry



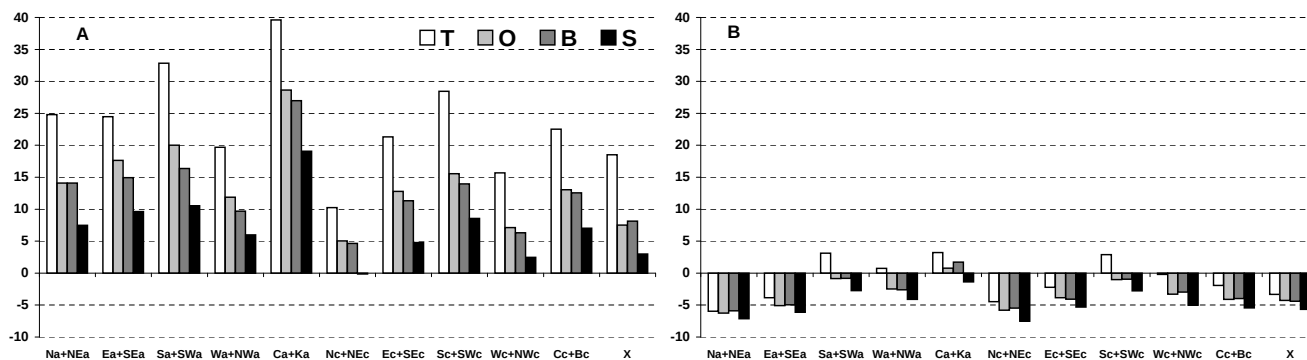
Ryc. 68. Średnie dobowe przebiegi wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Na prawym górnym wykresie umieszczono klasy parności. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwtywną 11-minutową

Fig. 68. Daily course of Heat Stress Index (HSI, %) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram intensity of sultriness are presented: 1 - moderate sultry, 2 - non-sultry conditions



Ryc. 69. Średni dobowy i roczny przebieg różnic wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004, pomiędzy stacjami zlokalizowanymi na obszarach zabudowanych (B, O i T) a stacją podmiejską (S)

Fig. 69. Daily and annual mean of differences of Heat Stress Index (HSI, %) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



Ryc. 70. Średnie wartości HSI [%] w określonych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) w ciepłej (a) i chłodnej (b) połowie roku we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004

Fig. 70. Mean of HSI [%] in selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (a) and cold (b) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

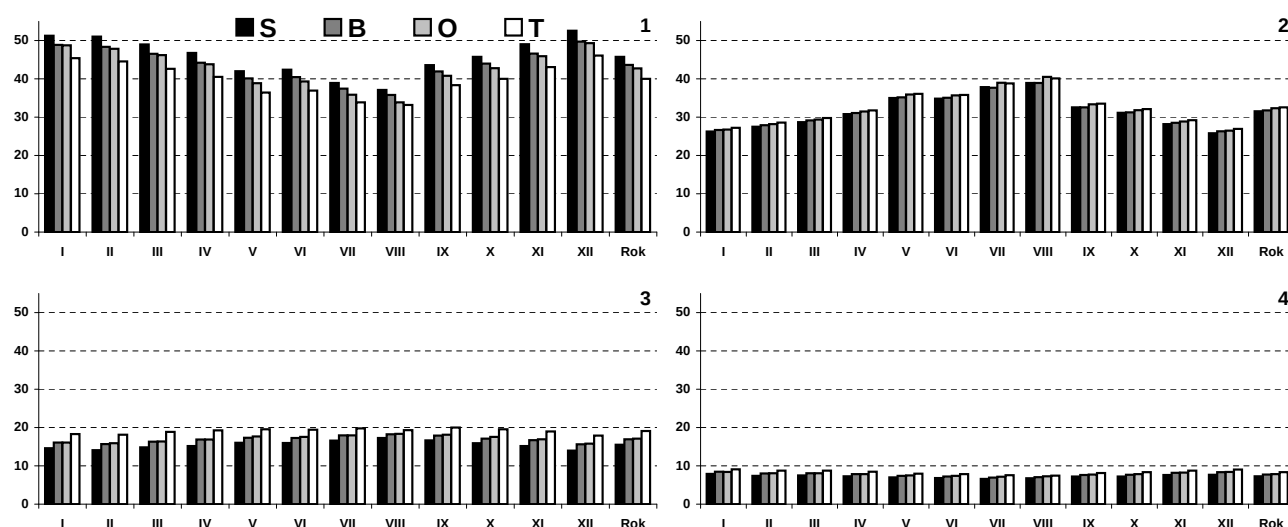
9.2.5. Zróżnicowanie składowych bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem

Opracowywane od lat sześćdziesiątych XX wieku modele wymiany ciepła między organizmem człowieka a środowiskiem umożliwiają szczegółową analizę wpływu czynników atmosferycznych (takich jak temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru czy natężenie promieniowania krótkofalowego) na gospodarkę cieplną człowieka. Na podstawie wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła można dokonywać obiektywnej ewaluacji zasobów klimatu odczuwalnego określonych obszarów w skali czasu.

We Wrocławiu we wszystkich typach użytkowania terenu dominującym strumieniem wymiany ciepła jest strumień konwekcyjny (mC). W centrum miasta jego średnia roczna wielkość jest najmniejsza spośród analizowanych typów zabudowy i wynosi niecałe -76W/m^2 (znak ujemny oznacza kierunek przepływu ciepła z organizmu do otoczenia; z matematycznego punktu widzenia w centrum miasta strumień ten osiąga największe wartości, lecz oznacza to najmniejszą ilość ciepła oddawanego do otoczenia w ten sposób spośród wszystkich typów użytkowania terenu) – stanowi to 40% sumy strat ciepła (tabela 34). Strumień turbulencyjnej utraty ciepła jawnego z powierzchni ciała człowieka na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi i w obszarze z niską zabudową willową osiąga porównywalną średnią roczną wartość: -87W/m^2 w tym pierwszym typie zabudowy i $-88,6\text{W/m}^2$ w tym drugim. Również procentowy udział w sumie strat jest porównywalny w tych obydwu miejscach i wynosi 43%. Wartość tego strumienia jest największa w terenie niezabudowanym, oddalonym dość znacznie od centrum miasta gdzie wynosi -100W/m^2 co stanowi ponad 45% całkowitej sumy strat ciepła (tabela 34; ryc. 72).

Kolejnym pod względem średnich rocznych wartości dobowych strumieniem utraty energii z organizmu człowieka jest strumień utajonego ciepła parowania potu z powierzchni skóry, czyli strumień ewaporacyjny (mE). Intensywność oddawania ciepła w ten sposób jest najmniejsza w centrum miasta ($-60,2\text{W/m}^2$) a następnie na osiedlu z niską, rezydencjonalną zabudową ($-62,7\text{W/m}^2$), na osiedlu z wysoką zabudową blokową ($-64,1\text{W/m}^2$). Najintensywniejsze straty ciepła w procesie parowania potu z powierzchni ciała obserwowano na niezabudowanym obszarze podmiejskim ($-66,8\text{W/m}^2$). Średni roczny udział tej formy straty energii w sumie ogólnych strat jest porównywalny na wszystkich stacjach i wynosi ok. 32% (ryc. 74).

Trzecim pod względem ilości straty ciepła jest strumień emitowanego przez organizm człowieka promieniowania długofalowego (mL). Największą średnią roczną wartość całodobową tego strumienia zaobserwowano w centrum miasta, gdzie wyniósł $-35,8\text{W/m}^2$, a najmniejszą na obszarze podmiejskim ($-33,4\text{W/m}^2$). Wartości te to odpowiednio 19,1% i 15,5% sumy strat ciepła z organizmu człowieka. W dwóch pozostałych typach zabudowy obserwowane wartości tego strumienia były porównywalne i wynosiły po ok. 34W/m^2 , co stanowiło 17% sumy strat (ryc. 71).



Ryc. 71. Udział [%] poszczególnych strumieni w sumie strat ciepła z organizmu człowieka we Wrocławiu, IV 2001- VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu odpowiadają poszczególnym strumieniom: 1-mC, 2-mE, 3-mL, 4-mRes

Fig. 71. Monthly and annual contribution [%] of every heat fluxes (diagram 1: mC - turbulent exchange of sensible, diagram 2: mE - turbulent exchange of latent heat, diagram 3: mL - heat exchange by long-wave radiation, diagram 4: mRes - respiratory heat loss) in total heat loss (mC+mE+mL+mRes=100%)

Table 34. Monthly and annual average of: radiation balance of man (mQ), evaporative heat loss (mE), heat exchange by convection (mC), heat loss by respiration (mRes) and net heat storage (mS) [W/m^2] in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	
Cala doba	T	mC	-91,9	-90,1	-84,0	-78,3	-66,4	-65,1	-57,5	-56,7	-67,2	-73,6	-84,0	-95,1	-75,8
		mE	-55,4	-58,1	-59,2	-60,5	-63,8	-63,5	-63,6	-66,0	-60,6	-59,5	-57,1	-55,7	-60,2
		mRes	-18,5	-17,7	-17,3	-16,5	-14,4	-13,9	-12,7	-12,4	-14,3	-15,3	-17,1	-18,7	-15,7
		mQ	-36,9	-35,2	-34,0	-32,8	-28,9	-29,3	-27,5	-24,0	-32,4	-33,7	-35,9	-36,7	-32,3
		mS	-67,2	-65,6	-59,0	-52,7	-38,1	-36,3	-25,9	-23,8	-39,1	-46,7	-58,6	-70,6	-48,6
	O	mC	-104,8	-106,4	-99,9	-92,1	-76,0	-73,7	-64,8	-59,6	-77,0	-84,1	-96,3	-109,3	-87,0
		mE	-58,6	-62,7	-63,9	-64,9	-68,1	-67,4	-67,6	-68,8	-64,6	-63,0	-60,6	-59,2	-64,1
		mRes	-18,6	-17,8	-17,4	-16,6	-14,6	-14,1	-12,8	-12,6	-14,4	-15,4	-17,1	-18,8	-15,8
		mQ	-34,4	-32,6	-30,8	-29,2	-25,1	-25,2	-22,8	-19,7	-27,2	-29,6	-33,3	-33,9	-28,7
		mS	-81,0	-84,1	-76,6	-67,3	-48,3	-44,9	-32,6	-25,4	-47,8	-56,6	-71,8	-85,8	-60,2
	B	mC	-105,2	-107,5	-99,7	-92,4	-78,2	-76,5	-67,4	-62,7	-78,5	-87,2	-97,7	-110,1	-88,6
		mE	-58,2	-62,2	-62,8	-63,7	-66,0	-65,9	-64,4	-65,4	-62,4	-62,4	-60,0	-58,8	-62,7
		mRes	-18,5	-17,7	-17,3	-16,4	-14,3	-13,7	-12,3	-12,2	-14,1	-15,2	-17,0	-18,7	-15,6
		mQ	-33,5	-30,8	-28,7	-29,1	-22,7	-23,7	-21,3	-17,7	-25,6	-27,7	-31,1	-32,7	-27,0
		mS	-80,4	-83,2	-73,5	-66,6	-46,2	-44,7	-30,4	-22,9	-45,7	-57,5	-70,9	-85,3	-59,0
	S	mC	-118,6	-123,5	-114,9	-106,9	-87,5	-83,5	-73,9	-68,2	-86,7	-96,9	-111,6	-127,9	-100,0
mE		-61,6	-66,8	-67,5	-69,0	-70,7	-69,0	-68,7	-68,7	-66,2	-66,1	-64,0	-63,1	-66,8	
mRes		-18,6	-17,8	-17,5	-16,7	-14,5	-13,9	-12,5	-12,3	-14,2	-15,2	-17,1	-18,8	-15,8	
mQ		-32,8	-30,4	-28,5	-27,0	-22,9	-23,9	-21,7	-18,2	-25,6	-27,5	-30,7	-32,2	-26,8	
mS		-96,1	-103,1	-92,9	-84,1	-60,2	-54,8	-41,3	-32,1	-57,2	-70,3	-88,0	-106,5	-73,9	
Pora dzienne	T		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
		mC	-92,4	-91,3	-84,2	-78,1	-65,0	-63,9	-55,3	-52,7	-65,9	-72,8	-84,1	-95,5	-75,1
		mE	-55,8	-59,0	-60,6	-62,7	-66,7	-66,4	-66,0	-69,8	-62,4	-61,2	-57,8	-56,1	-62,0
		mRes	-18,4	-17,6	-17,1	-16,2	-14,2	-13,8	-12,5	-12,1	-14,1	-15,1	-16,9	-18,6	-15,6
		mQ	-36,1	-33,3	-30,4	-28,1	-21,8	-23,2	-20,8	-13,9	-28,8	-30,9	-34,6	-36,0	-28,2
	O	mS	-67,3	-65,8	-56,8	-49,6	-32,4	-31,9	-19,2	-13,3	-35,8	-44,6	-58,1	-70,7	-45,4
		mC	-105,6	-109,9	-101,9	-93,8	-75,8	-74,1	-63,1	-55,6	-77,5	-84,9	-97,7	-109,9	-87,5
		mE	-59,1	-64,5	-66,4	-68,2	-72,5	-71,9	-71,6	-73,5	-67,9	-65,7	-61,9	-59,8	-66,9
		mRes	-18,5	-17,7	-17,1	-16,3	-14,3	-13,8	-12,5	-12,2	-14,1	-15,1	-17,0	-18,7	-15,6
		mQ	-32,8	-29,9	-25,8	-22,6	-15,3	-15,8	-12,2	-5,7	-19,6	-23,9	-30,9	-32,2	-22,2
	B	mS	-80,5	-86,5	-75,7	-65,5	-42,4	-40,1	-24,1	-11,9	-43,7	-54,2	-72,1	-85,1	-56,8
		mC	-106,1	-109,6	-100,1	-93,2	-76,2	-74,6	-63,5	-55,7	-76,7	-86,7	-97,8	-110,3	-87,5
		mE	-58,8	-63,7	-65,3	-67,3	-70,9	-70,4	-68,5	-70,4	-65,7	-64,9	-61,2	-59,4	-65,5
		mRes	-18,4	-17,5	-17,0	-16,1	-13,9	-13,3	-11,9	-11,6	-13,7	-14,8	-16,8	-18,5	-15,3
		mQ	-31,3	-26,7	-22,1	-22,8	-11,2	-13,6	-9,5	-2,0	-17,0	-20,8	-27,1	-30,2	-19,5
	S	mS	-79,6	-82,6	-69,5	-64,3	-37,2	-36,9	-18,4	-4,8	-38,0	-52,2	-67,9	-83,5	-52,9
mC		-121,1	-128,6	-120,0	-111,2	-89,2	-85,6	-73,2	-64,5	-89,0	-99,5	-114,7	-130,2	-102,2	
mE		-62,6	-69,3	-71,7	-74,2	-77,4	-75,5	-75,1	-74,8	-71,1	-69,7	-66,1	-64,2	-71,0	
mRes		-18,5	-17,6	-17,2	-16,3	-14,1	-13,5	-12,2	-11,6	-13,8	-14,8	-16,9	-18,6	-15,4	
mQ		-30,8	-26,8	-22,0	-19,1	-11,8	-13,9	-10,4	-3,0	-17,2	-21,0	-27,0	-29,9	-19,4	
mS	-97,5	-106,9	-95,4	-85,3	-57,1	-53,1	-35,5	-18,7	-55,6	-69,5	-89,2	-107,4	-72,6		
Pora nocna	T		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
		mC	-91,4	-88,8	-83,9	-78,6	-67,8	-66,2	-59,8	-60,8	-68,6	-74,5	-83,9	-94,6	-76,6
		mE	-55,0	-57,3	-57,7	-58,4	-60,9	-60,7	-61,2	-62,2	-58,7	-57,7	-56,4	-55,2	-58,5
		mRes	-18,6	-17,8	-17,4	-16,7	-14,6	-14,1	-12,8	-12,8	-14,6	-15,5	-17,2	-18,8	-15,9
		mQ	-37,7	-37,1	-37,6	-37,5	-35,9	-35,3	-34,2	-34,1	-35,9	-36,5	-37,1	-37,3	-36,4
	O	mS	-67,2	-65,5	-61,2	-55,7	-43,8	-40,8	-32,6	-34,3	-42,3	-48,8	-59,1	-70,5	-51,8
		mC	-104,1	-102,9	-98,0	-90,3	-76,3	-73,2	-66,5	-63,6	-76,6	-83,4	-94,8	-108,7	-86,5
		mE	-58,1	-61,0	-61,5	-61,6	-63,7	-63,0	-63,6	-64,0	-61,3	-60,3	-59,3	-58,6	-61,3
		mRes	-18,7	-17,9	-17,6	-16,9	-14,9	-14,3	-13,0	-13,0	-14,7	-15,7	-17,3	-18,9	-16,1
		mQ	-36,1	-35,3	-35,8	-35,8	-35,0	-34,5	-33,5	-33,8	-34,8	-35,2	-35,6	-35,7	-35,1
	B	mS	-81,5	-81,6	-77,4	-69,1	-54,3	-49,6	-41,1	-38,8	-51,9	-59,1	-71,4	-86,5	-63,5
		mC	-104,3	-105,4	-99,3	-91,6	-80,2	-78,4	-71,4	-69,7	-80,3	-87,7	-97,6	-109,9	-89,6
		mE	-57,6	-60,8	-60,4	-60,1	-61,1	-61,4	-60,2	-60,3	-59,2	-59,9	-58,9	-58,2	-59,9
		mRes	-18,6	-17,8	-17,5	-16,8	-14,7	-14,1	-12,7	-12,7	-14,6	-15,6	-17,3	-18,9	-15,9
		mQ	-35,7	-34,8	-35,3	-35,4	-34,2	-33,7	-33,1	-33,3	-34,3	-34,5	-35,1	-35,2	-34,6
	S	mS	-81,2	-83,7	-77,6	-68,9	-55,3	-52,6	-42,4	-41,1	-53,4	-62,8	-73,8	-87,2	-65,0
mC		-116,0	-118,4	-109,9	-102,6	-85,8	-81,3	-74,6	-72,0	-84,4	-94,4	-108,6	-125,5	-97,8	
mE		-60,6	-64,3	-63,3	-63,8	-63,9	-62,6	-62,2	-62,5	-61,3	-62,5	-62,0	-62,1	-62,6	
mRes		-18,7	-17,9	-17,8	-17,0	-14,9	-14,3	-12,9	-13,0	-14,6	-15,6	-17,3	-19,0	-16,1	
mQ		-34,8	-34,1	-35,0	-34,9	-34,1	-33,8	-33,0	-33,5	-33,9	-34,1	-34,3	-34,5	-34,2	
mS	-94,6	-99,2	-90,5	-82,8	-63,2	-56,6	-47,1	-45,6	-58,7	-71,1	-86,8	-105,5	-75,2		

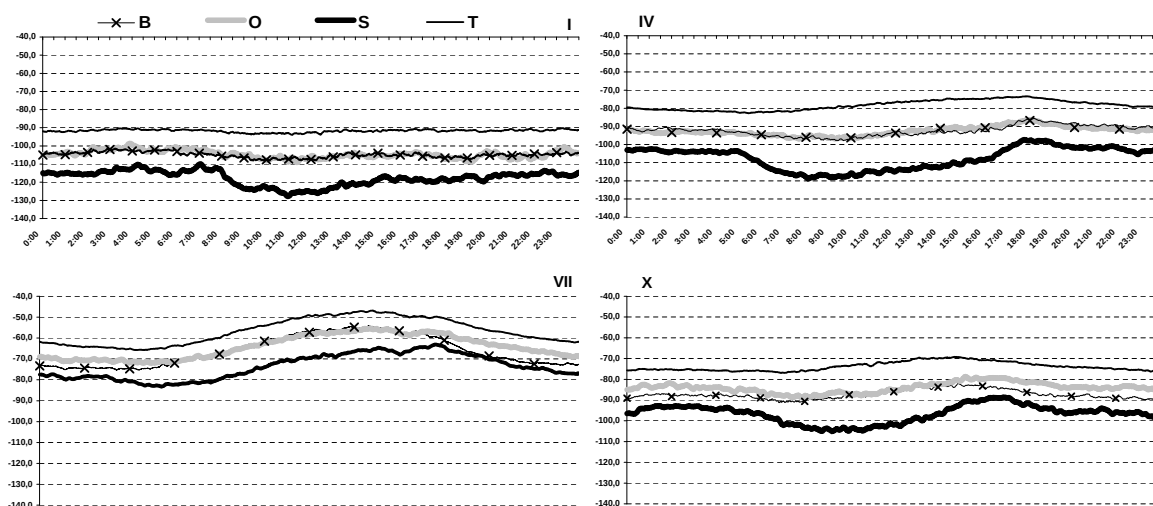
Strumieniem, który nie wykazywał istotnego różnicowania się w poszczególnych typach zabudowy był strumień respiracyjnej wymiany ciepła (ciepło związane z ogrzewaniem powietrza wydychanego). Jego średnia roczna wartość całodobowa to niecałe 16W/m^2 , co stanowiło 7-8% całej sumy strat ciepła z organizmu.

Analizując średnie miesięczne wartości dobowe poszczególnych strumieni zauważyć można, że nie zawsze strumień konwekcyjny jest dominującą formą straty energii (tabela 34., ryc. 71). W miesiącach letnich może przeważać strata ciepła z powierzchni ciała człowieka drogą ewaporacji (mE). W centrum miasta i na osiedlu z wysoką, wielokondygnacyjną zabudową strumień mE osiąga mniejszą średnią wartość (czyli strata ciepła strumieniem mE jest większa niż mC) w lipcu i sierpniu – wówczas strata ciepła drogą ewaporacji stanowi ok. 40% sumy strat ciepła wobec ok. 33-34% dla strumienia konwekcyjnego. Na osiedlu z niską zabudową rezydencjonalną i na niezabudowanym terenie podmiejskim taka sytuacja obserwowana jest tylko w sierpniu, przy czym różnica między średnimi miesięcznymi wartościami obu strumieni wynosi $0,5\text{W/m}^2$ w tym pierwszym punkcie i $2,7\text{W/m}^2$ w tym drugim (na korzyść mE).

W porze dziennej wartości strumieni wymiany ciepła kształtują się odmiennie niż w porze nocnej (tabela 34). W ciągu dnia zdecydowanie dominuje konwekcyjny strumień straty ciepła, lecz w lipcu i sierpniu we wszystkich badanych obszarach miasta ma on znaczenie drugorzędne – w tym czasie na pierwszy plan wysuwa się strata ciepła drogą parowania potu ze skóry. Ten sposób utraty ciepła z ciała człowieka w centrum miasta dominuje w okresie od maja do sierpnia. Świadczy to o nasileniu się w tym okresie bodźców stymulujących układ termoregulacyjny do wzmożonej aktywności, co może potęgować odczucie dyskomfortu. Porównując średnie wartości z dziennej i nocnej pory doby należy zwrócić uwagę na kształtowanie się wartości bilansu radiacyjnego organizmu człowieka (mQ), który jest sumą promieniowania słonecznego krótkofalowego pochłoniętego przez człowieka (mR) i promieniowania długofalowego emitowanego do środowiska (mL). W ciągu dnia średnia roczna wartość tego bilansu jest najmniejsza w centrum miasta ($-28,2\text{W/m}^2$) a największa na Strachowicach ($-19,4\text{W/m}^2$). W nocnej porze doby, kiedy brak strumienia krótkofalowego promieniowania słonecznego, zróżnicowanie bilansu radiacyjnego wyraźnie maleje a różnice między centrum miasta i terenem podmiejskim kształtują się w granicach $1\text{--}3\text{W/m}^2$.

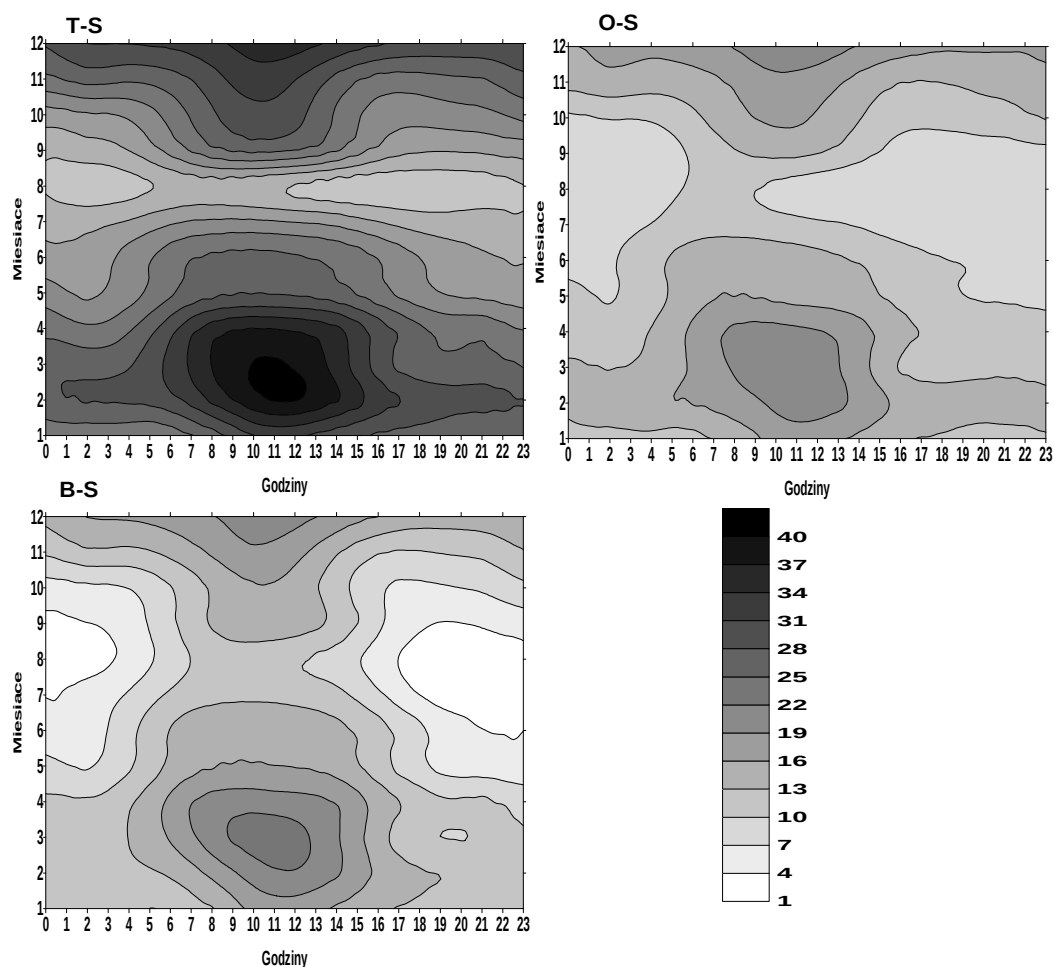
Średnie dobowe przebiegi strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem obrazują sposób kształtowania się ich wzajemnych proporcji w poszczególnych porach dnia. W pracy zaprezentowano przebiegi konwekcyjnej i ewaporacyjnej straty ciepła z ciała człowieka (ryc. 72, 74), ponieważ to one głównie decydują o odczuciach cieplnych człowieka. Charakterystyczną cechą konwekcyjnego i ewaporacyjnego strumienia w miesiącach zimowych jest ich słabo zaznaczony cykl dobowy. Dominuje wówczas strumień mC, który w centrum miasta jest średnio o 30W/m^2 większy (matematycznie, lecz dla człowieka oznacza to, że tyle energii mniej jest tracone do otoczenia) niż w terenie podmiejskim i ok. 20W/m^2 większy niż na osiedlu z niską zabudową willową i dużym udziałem zieleni oraz wśród wysokich bloków mieszkalnych (ryc. 73). Strumień konwekcyjnych strat ciepła ulega wyraźnemu różnicowaniu się w przebiegu dobowym w okresie miesięcy letnich. Wówczas swoje minimalne wartości osiąga w okresie porannym a maksymalne w godzinach popołudniowych (ryc. 72). Największe różnice w wartościach straty ciepła jawnego z powierzchni organizmu człowieka między stacjami zlokalizowanymi w różnych typach zabudowy (T, O i B) a stacją podmiejską (S) występują w okresie od lutego do kwietnia (ryc. 72, 73). Wówczas różnice między centrum miasta a obszarem podmiejskim wynoszą średnio 30W/m^2 (nocą) i 40W/m^2 (w ciągu dnia) a między niską zabudową rezydencjonalną oraz osiedlem z wysokimi blokami mieszkalnymi a terenem podmiejskim 15W/m^2 w porze nocnej i 25W/m^2 w porze dziennej. Różnice te są najmniejsze latem: w lipcu i sierpniu straty konwekcyjne w centrum są o $10\text{--}15\text{W/m}^2$ (w nocy) i $15\text{--}20\text{W/m}^2$ (w ciągu dnia) mniejsze niż na stacji S a na stacjach O i B mogą one być mniejsze o $5\text{--}7\text{W/m}^2$ (nocą) i $10\text{--}12\text{W/m}^2$ (w ciągu dnia) niż w terenie podmiejskim.

Strumień ewaporacyjnej straty ciepła z organizmu człowieka (mE) tylko w ciągu dwóch miesięcy zimowych (w grudniu i styczniu) cechuje się małą zmiennością w ciągu całej doby – różnice średnich wartości mE z dnia i nocy wynoszą $3\text{--}5\text{W/m}^2$ we wszystkich typach zabudowy (ryc. 74, 75). Jednak od lutego aż do listopada obserwuje się wyraźny cykl dobowy – największa utrata ciepła utajonego jest w okresie popołudniowym a najmniejsza tuż przed i po wschodzie Słońca. W centrum miasta te różnice są najmniejsze: średnio ponad dwukrotnie niż na obszarze niezabudowanym (w zwartej zabudowie najmniejsze różnice obserwuje się w lutym, a największe we wrześniu, odpowiednio $0,8$ i $7,7\text{W/m}^2$). Różnice w wartościach między nocną a dzienną porą doby są największe na obszarze podmiejskim, gdzie wynoszą one średnio w tym okresie $8,4\text{W/m}^2$ (najmniejsze są w styczniu, a największe w maju odpowiednio $2,0$ i $13,5\text{W/m}^2$; tabela 34).



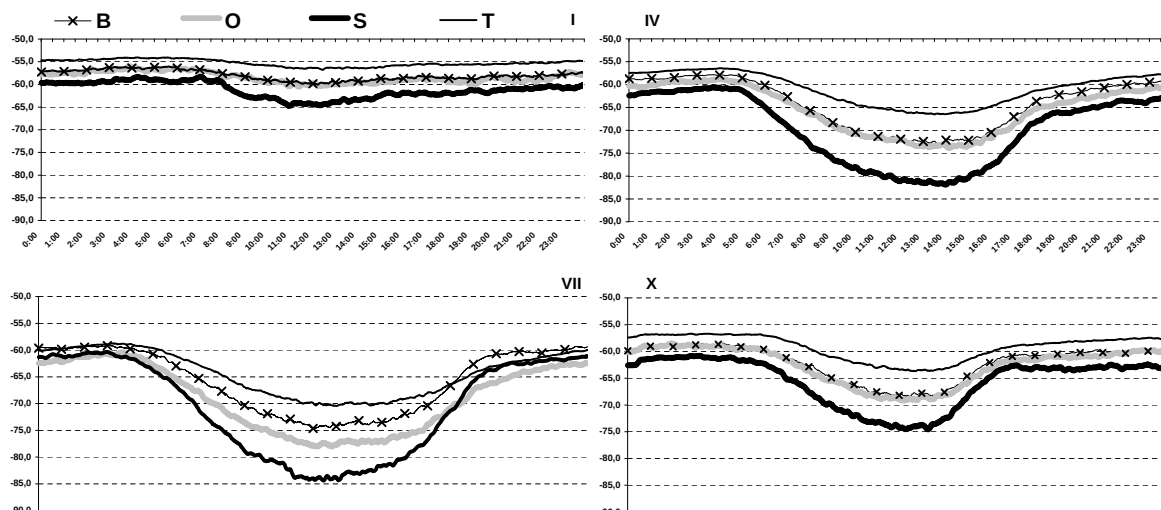
Ryc. 72. Średni dobowy przebieg wartości konwekcyjnego strumienia wymiany ciepła (mC, W/m²) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Wartości średnie zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-minutową

Fig. 72. Daily course of heat loss by convection (mC, W/m²) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



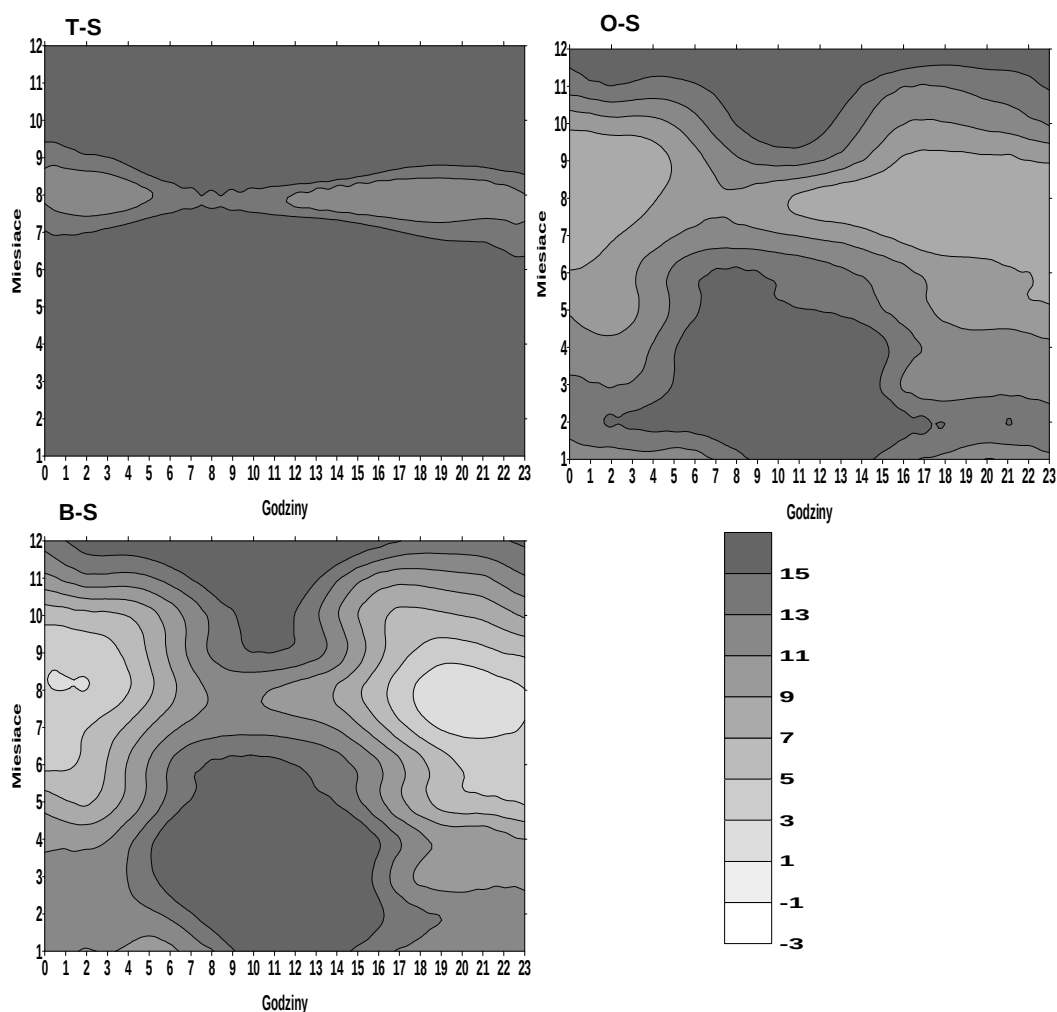
Ryc. 73. Średni dobowy i roczny przebieg różnic strumienia konwekcyjnej wymiany ciepła między stacjami zlokalizowanymi w terenie zabudowanym a stacją podmiejską we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Fig. 73. Daily and annual mean of differences of heat loss by convection (mC, W/m²) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



Ryc. 74. Średni dobowy przebieg wartości ewaporacyjnego strumienia wymiany ciepła ($\text{mE}, \text{W/m}^2$) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy Wrocławia, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwtywną 11-minutową

Fig. 74. Daily course of heat loss by evaporation ($\text{mE}, \text{W/m}^2$) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



Ryc. 75. Średni dobowy i roczny przebieg różnic strumienia ewaporacyjnej wymiany ciepła między stacjami zlokalizowanymi w terenie zabudowanym a stacją podmiejską we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004

Fig. 75. Daily and annual mean of differences of heat loss by evaporation ($\text{mE}, \text{W/m}^2$) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

Na osiedlu z niską zabudową złożoną z domów jednorodzinnych i na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi średnia różnica między dniem a nocą w okresie od lutego do listopada wynosi ok. $6,5\text{W/m}^2$ i jest ona najmniejsza w styczniu (ok. 1W/m^2) a największa w sierpniu (ok. 10W/m^2) (tabela 34, ryc. 75).

Rezultatem zsumowania wszystkich strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem jak również ciepła wytworzonego w procesach metabolicznych (w tym przypadku parametry fizjologiczne są wartościami stałymi) jest uzyskanie salda energetycznego organizmu człowieka (mS). Jego wartość musi w dłuższych jednostkach czasu (jak np. doba) wynosić 0W/m^2 – w przeciwnym przypadku organizm ulegałby hipotermii (wyzębieniu) lub hipertermii (przegrzaniu).

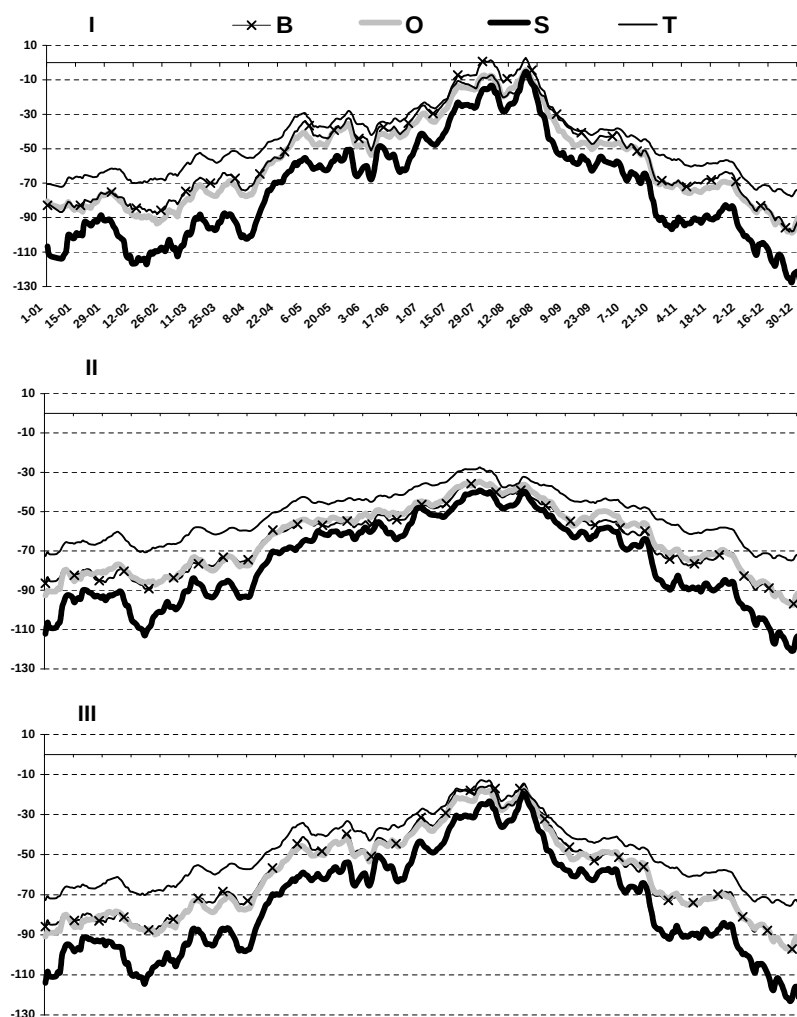
We wszystkich badanych we Wrocławiu typach użytkowania terenu średnie roczne wartości dobowe salda wymiany ciepła (mS) były ujemne. Największa wartość mS zaobserwowana została w centrum miasta a najmniejsza na terenie podmiejskim, gdzie wyniosła $-73,9\text{W/m}^2$. Średnia roczna wartość bilansu na osiedlu z luźną zabudową rezydencjonalną była prawie taka sama jak na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi i wynosiła ok. -60W/m^2 (tabela 34).

Średnie miesięczne dobowe wartości salda wymiany ciepła (mS) są najmniejsze we wszystkich typach badanych powierzchni użytkowych miasta w tym samym miesiącu – w grudniu, lecz dość znacznie się różnią: w centrum wyniosło ono $-70,6\text{W/m}^2$, na osiedlu z luźną zabudową i dużym udziałem zieleni oraz w typie zabudowy z wysokimi blokami mieszkalnymi po ok. -85W/m^2 a na terenie podmiejskim $-106,5\text{W/m}^2$. Największe dobowe średnie miesięczne wartości mS obserwuje się na wszystkich stanowiskach pomiarowych również w tym samym miesiącu - sierpniu. Wartości salda są wówczas o ok. 70% większe (w porównaniu do wartości z grudnia). Obserwując przebieg roczny średnich wartości dobowych salda zauważa się jego znaczną zmienność, lecz ogólna prawidłowość (tzn. najwyższe wartości w okresie letnim a najmniejsze zimą) jest wyraźnie widoczna (ryc. 76). W ciągu całego roku największe średnie dobowe wartości bilansu energetycznego ciała człowieka obserwuje się w centrum miasta, lecz w sierpniu ulega to zmianie i wówczas są one największe na osiedlu z luźną zabudową rezydencjonalną.

Saldo wymiany ciepła między organizmem człowieka a otoczeniem ulega wyraźnym zmianom w cyklu dobowym. Średnie wartości roczne dla pory dziennej są większe niż dla nocy we wszystkich badanych strukturach użytkowych miasta (tabela 34, ryc. 76, 78). Różnica ta jest najmniejsza na terenie podmiejskim ($2,5\text{W/m}^2$) a największa na osiedlu z luźną zabudową willową i dużym udziałem zieleni ($12,1\text{W/m}^2$). W centrum miasta i na osiedlu z blokami mieszkalnymi jest ona prawie taka sama i wynosi po ok. $6,5\text{W/m}^2$.

Z analizy średnich wartości bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w określonych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia, 1992) wynika, że największe różnice średniej dobowej wartości salda wymiany ciepła układu człowiek-środowisko między centrum miasta a terenem podmiejskim obserwuje się w typie cyrkulacji północnej i północno-wschodniej cyklonalnej (Nc+Nec) oraz zachodniej i północno-zachodniej cyklonalnej (Wc+NWc). Te różnice są największe w wymienionych typach cyrkulacji zarówno w cieplej jak i chłodnej połowie roku. Najmniejsze są one w sytuacjach centralnych, antycyklonalnych oraz wówczas, kiedy nad obszarem Polski znajduje się centrum wyżu lub klin wyżowy (Ca+Ka) - wynoszą one wtedy 6W/m^2 (w półroczu ciepłym) i 16W/m^2 (w półroczu chłodnym) (ryc. 77).

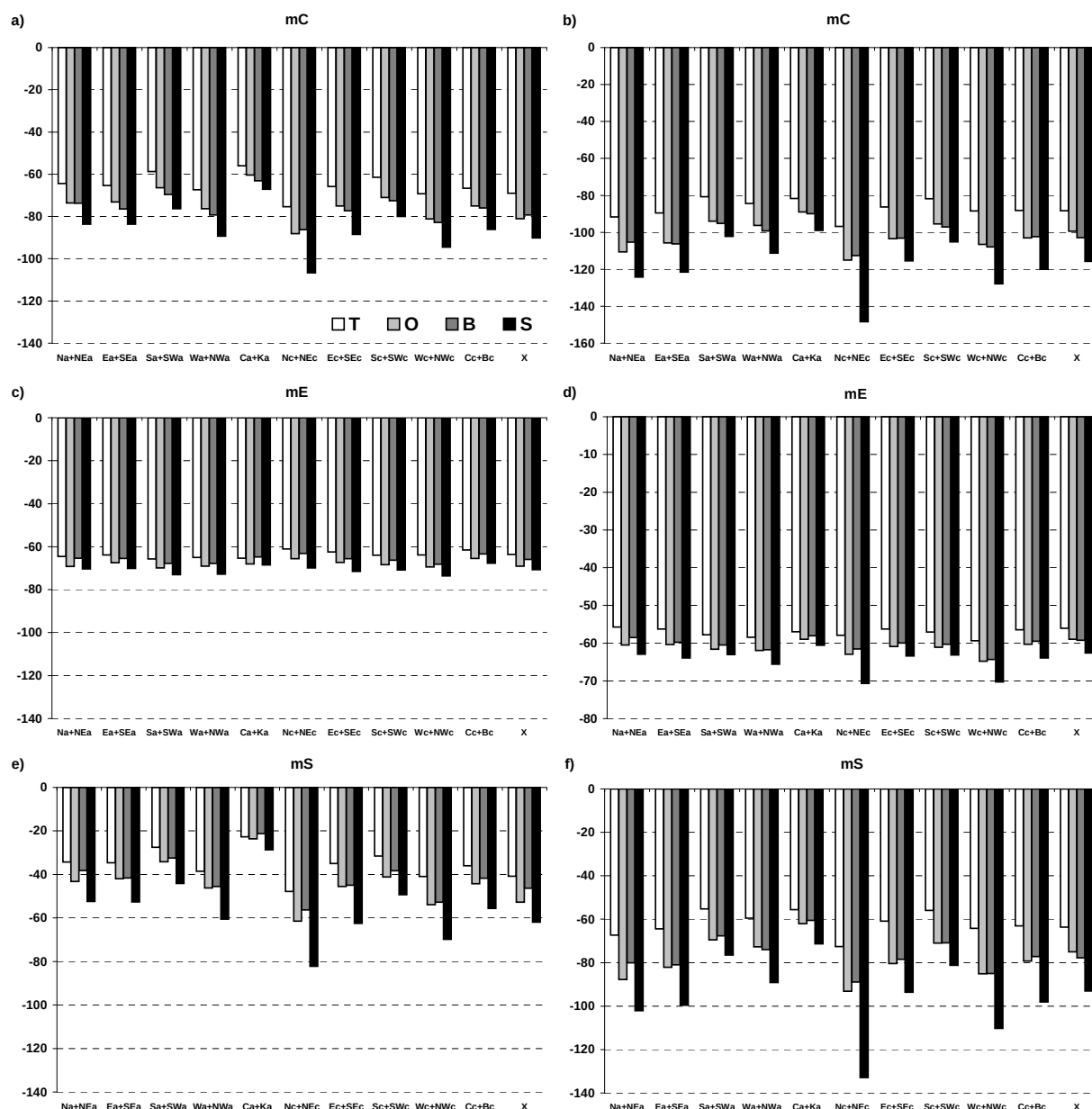
Średnie miesięczne wartości salda (mS) w dziennej porze doby w centrum miasta są mniejsze niż w nocy tylko w miesiącach zimowych (XII-II), lecz te różnice nie są większe niż $0,3\text{W/m}^2$. Na obszarze niezabudowanym ma to miejsce w okresie od listopada do kwietnia a na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi średnie wartości bilansu są mniejsze w ciągu dnia niż w nocy w dwóch miesiącach: w listopadzie i lutym. Natomiast na osiedlu z niską, willową zabudową we wszystkich miesiącach roku średnie miesięczne wartości z dnia są wyższe niż z nocy. Średnie przebiegi dobowe bilansu w poszczególnych miesiącach dostarczają ciekawych informacji o bioklimacie badanych struktur użytkowych miasta. Cykle dobowe mS w centrum miasta i na obszarze podmiejskim mają dość typowe cechy – wartości z tego pierwszego stanowiska są prawie zawsze większe w stosunku do obszaru niezabudowanego (ryc. 78, ryc. 79). Natomiast saldo wymiany ciepła na osiedlu z zabudową rezydencjonalną oraz na terenie zabudowanym wysokimi blokami mieszkalnymi w okresie zimowym jest porównywalne ze sobą, lecz w ciągu dnia latem jego wartości w tym pierwszym typie zabudowy są większe niż w centrum miasta a w tym drugim (szczególnie w sierpniu) bardzo podobne. Bilans wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem osiąga największe wartości na osiedlu z luźną, willową zabudową w sierpniu, w godzinach od 7.00 do 19.00 (czasu lokalnego).



Ryc. 76. Roczny przebieg średnich wartości salda wymiany ciepła ($mS, W/m^2$) w daytimej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwtywną 11-dniową

Fig. 76. Annual course of net heat storage ($mS, W/m^2$) during daytime (I), night (II) and day (III) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

Powyższa charakterystyka oddziaływania środowiska atmosferycznego na organizm człowieka dostarcza informacji o kształtowaniu się wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła. Oczywiście są one obarczone pewnym marginesem błędów szczególnie ze strony danych wejściowych dotyczących parametrów fizjologicznych do modelu wymiany ciepła. Dotyczą one pewnego średniego człowieka, który ma stałą wartość produkowanego ciepła metabolicznego ($135W/m^2$), odpowiadającego mężczyźnie idącemu z prędkością $1,1m/s$ ubranego adekwatnie do warunków pogodowych. Niemniej uzyskane w ten sposób wartości składowych bilansu ciepła powinny być źródłem informacji np. dla urbanistów odpowiedzialnych za kształtowanie powierzchni użytkowych miasta. Decydujący wpływ na takie zróżnicowanie bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem ma modyfikacja elementów klimatu przez różne typy zabudowy - jej zwarty charakter (taki jak w centrum miasta) znacznie osłabia prędkość wiatru, co wpływa na ograniczenie straty ciepła na drodze konwekcji. Obserwowane w sierpniu dodatnie wartości salda wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem, szczególnie wyraźne na osiedlu z luźną zabudową rezydencjonalną świadczą o znaczącym wpływie zieleni na kształtowanie się warunków biometeorologicznych. Mianowicie zwiększona ewapotranspiracja z powierzchni roślin (mających znaczny udział w tym typie zabudowy) zwiększa zawartość pary wodnej, która w połączeniu z wysoką temperaturą powietrza utrud-

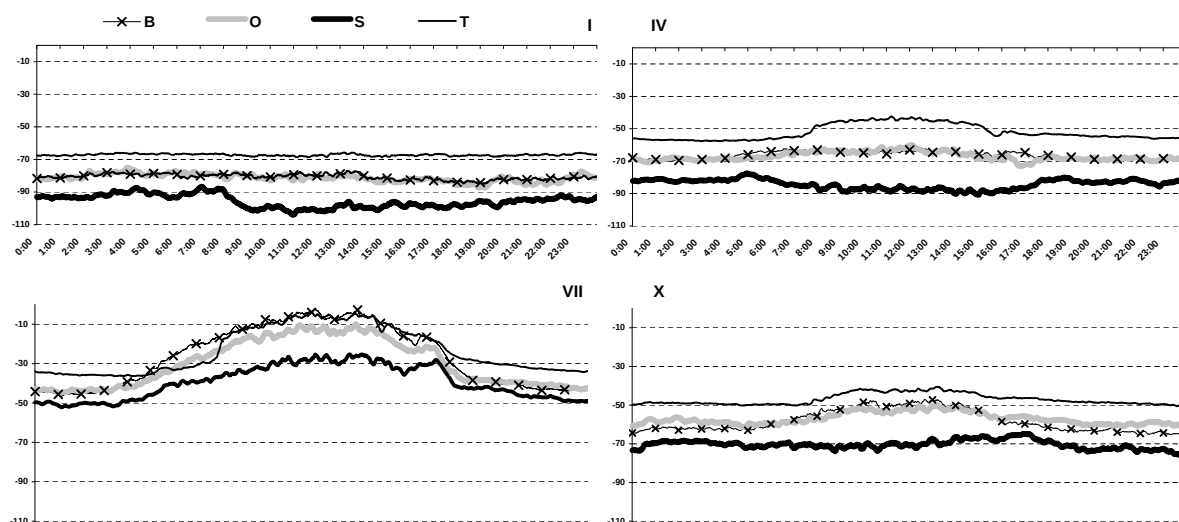


Ryc. 77. Średnie wartości strumienia konwekcyjnego (mC, W/m^2) i ewaporacyjnego (mE, W/m^2) wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem oraz saldo (mS, W/m^2) w określonych typach cyrkulacji (wg Niedźwiedzia) w półroczu ciepłym (a, c, e) i chłodnym (b, d, f) we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

Fig. 77. Mean of heat loss by convection (mC, W/m^2) and evaporation (mE, W/m^2) and net heat storage (mS, W/m^2) in selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (diagrams: a, c, e) and cold (diagrams: b, d, f) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004; S - rural area, B - residential estates, T - city centre, O - blocks of flats)

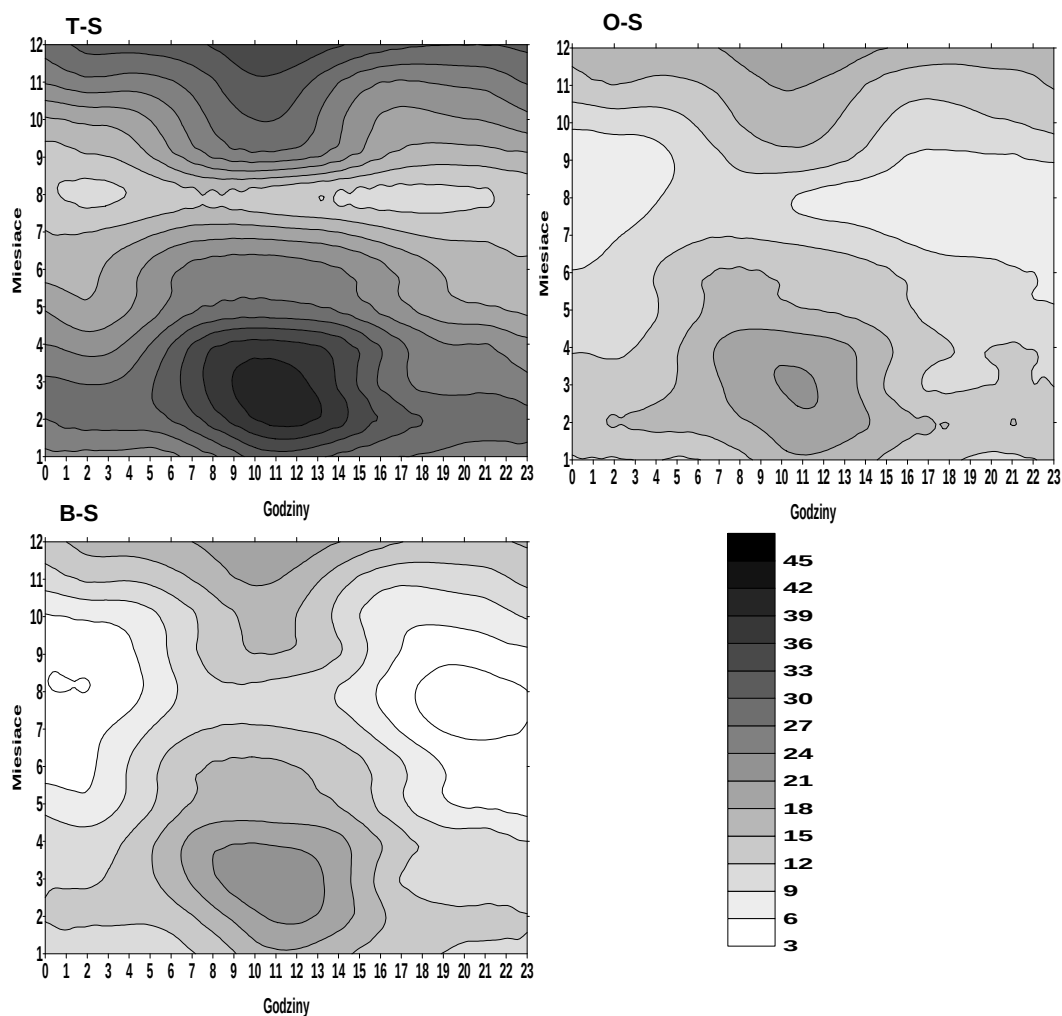
nia regulację wymiany energii między człowiekiem a otoczeniem wpływając na powstawanie dodatniego bilansu energetycznego w organizmie człowieka. Niemniej zieleń miejska wpływa łagodząco na bioklimat obszarów zurbanizowanych, chociażby chroniąc przed dopływem promieniowania bezpośredniego do organizmu człowieka.

Średnie wartości salda wymiany energii są zazwyczaj większe w ciągu dnia niż w nocy, lecz w miesiącach zimowych następuje ich zrównanie a nawet obserwuje się mniejsze saldo w ciągu dnia niż nocą. Tę prawidłowość można wytłumaczyć zwiększoną w ciągu dnia prędkością wiatru, który ma istotny wpływ na kształtowanie się wówczas konwekcyjnego strumienia wymiany energii - dominującego w tych warunkach termicznych.



Ryc. 78. Średni dobowy przebieg wartości salda wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem ($mS, W/m^2$) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy Wrocławia, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową

Fig. 78. Daily course of net heat storage ($mS, W/m^2$) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)



Ryc. 79. Średni roczny przebieg różnic salda wymiany ciepła ($mS, W/m^2$) między człowiekiem a otoczeniem w terenie zabudowanym i stacją podmiejską

Fig. 79. Daily and annual mean of differences of net heat storage ($mS, W/m^2$) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

9.2.7. Warunki biotermiczne we Wrocławiu

Warunki bioklimatyczne mogą być oceniane na podstawie wskaźników obliczanych przy pomocy dostępnych informacji o wartościach wybranych elementów meteorologicznych. Integralną częścią bioklimatu są warunki biotermiczne, które „kształtują subiektywne odczucie cieplne, a ich miarą jest tzw. temperatura odczuwalna” (Błażejczyk, 2002). Rozwój badań biometeorologicznych zaowocował powstaniem szeregu przyrządów do pomiaru np. temperatury odczuwalnej. Jednym z nich jest miernik odczuć cieplnych wprowadzony do badań biometeorologicznych w Polsce przez Błażejczyka (1990, 2002), którego opis został zamieszczony w rozdziale 6.

We Wrocławiu został on zainstalowany w trzech typach użytkowania terenu: w centrum miasta (stacja T), na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi (O) i na terenie podmiejskim (S). W niniejszym opracowaniu zaprezentowano wyniki pomiarów tym przyrządem z okresu od 01.11.2003 do 31.10.2004.

Średnia roczna wartość temperatury odczuwalnej, dla całej doby, we Wrocławiu w badanym okresie była najwyższa w centrum miasta. Wyniosła ona $10,5^{\circ}\text{C}$ i była o jeden stopień wyższa od T_c zmierzonej w terenie podmiejskim. Na osiedlu z wysoką zabudową wielokondygnacyjnych bloków mieszkalnych średnia roczna wartość była niewiele niższa niż w centrum miasta - o $0,1^{\circ}\text{C}$ (tabela 35). Te wartości mieszczą się w klasie odczuć termicznych określanych jako „chłodno”.

Największa średnia miesięczna wartość temperatury odczuwalnej wystąpiła w sierpniu i wyniosła w centrum $21,2^{\circ}\text{C}$ a w typie zabudowy wysokiej $21,1^{\circ}\text{C}$. Na stacji zlokalizowanej na otwartym, porośłym trawą obszarze podmiejskim średnia wartość tego wskaźnika w tym miesiącu była o $1,6^{\circ}\text{C}$ niższa niż w centrum miasta. W tym typie użytkowania powierzchni zarejestrowano również najniższe wartości w całym badanym okresie – miało to miejsce w styczniu a średnia miesięczna dla tego miesiąca wyniosła $-0,6^{\circ}\text{C}$. Na terenach zabudowanych (tacja T i O) był to również najchłodniejszy miesiąc, lecz średnia temperatura odczuwalna była o $0,3^{\circ}\text{C}$ wyższa niż na niezabudowanym obszarze podmiejskim. Styczeń był jedynym miesiącem w badanym okresie, kiedy to średnia temperatura odczuwalna była niższa od 0°C .

Średnie roczne wartości temperatury odczuwalnej z dziennej pory doby wskazują na osiedle z wysoką, wielokondygnacyjną zabudową jako najcieplejszy obszar miasta. Wyniosła ona w tym typie zabudowy $12,9^{\circ}\text{C}$ a centrum i teren podmiejski cechowały się średnią roczną temperaturą odczuwalną z pory dziennej o $0,7^{\circ}\text{C}$ niższą. Na osiedlu z wielokondygnacyjną zabudową blokową we wszystkich miesiącach średnia wartość tego wskaźnika z dziennej pory doby była najwyższa w tej porze doby. W rozpatrywanych obszarach miasta średnie miesięczne wartości były dodatnie.

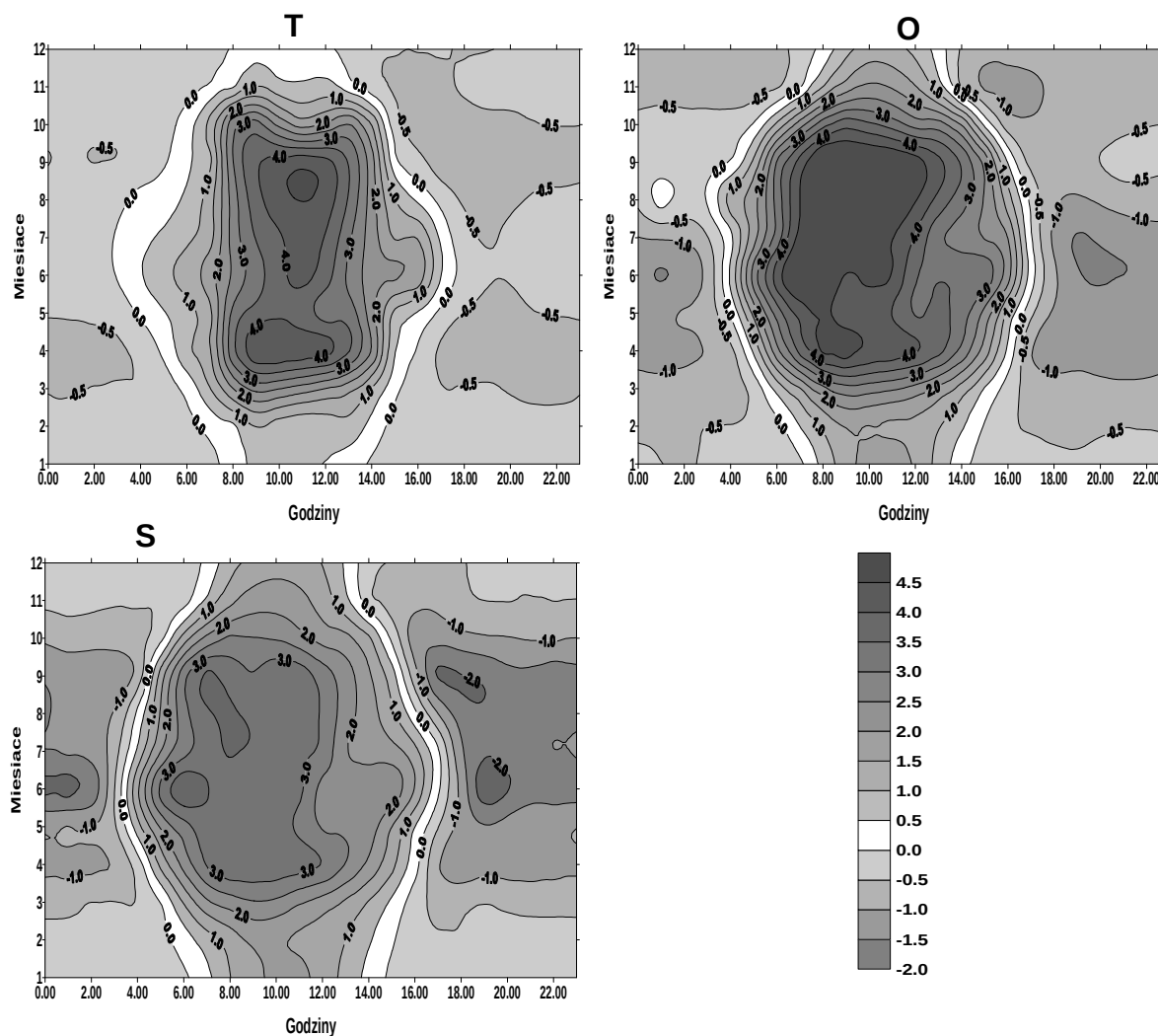
W nocnej porze doby najcieplejszym z badanych typów użytkowania terenu miejscem było centrum miasta a jego średnia roczna temperatura odczuwalna wyniosła $8,4^{\circ}\text{C}$ - była o $0,8^{\circ}\text{C}$ i $2,1^{\circ}\text{C}$ wyższa niż na osiedlu z blokami mieszkalnymi i terenie podmiejskim. Również w tej porze doby tylko styczeń był miesiącem, gdzie średnia miesięczna temperatura odczuwalna była niższa od zera (tabela 35).

Analiza różnic między temperaturą odczuwalną a temperaturą powietrza wykazała, że średnio w ciągu całego roku w dziennej porze doby jest ona dodatnia (ryc. 80). W okresie od kwietnia do października są one największe - w centrum miasta wyniosły $1,6^{\circ}\text{C}$, na osiedlu z wysoką, blokową zabudową $2,5^{\circ}\text{C}$ a na obszarze podmiejskim $1,7^{\circ}\text{C}$. W godzinach popołudniowych (od godz. 15.30-16.30 - czasu GMT) w centrum i w terenie podmiejskim różnice między temperaturą odczuwalną a temperaturą powietrza są ujemne. W pozostałym okresie roku te różnice były mniejsze i w centrum miasta wynosiły $0,5^{\circ}\text{C}$, na osiedlu z wysoką, blokową zabudową $1,0^{\circ}\text{C}$ a na obszarze podmiejskim $1,1^{\circ}\text{C}$. W ciągu nocnej pory doby średnie wartości temperatury odczuwalnej były niższe niż temperatura powietrza: w centrum miasta w ciągu całego roku średnio o $0,4^{\circ}\text{C}$, na osiedlu z wielokondygnacyjnymi blokami mieszkalnymi o $0,8^{\circ}\text{C}$ a na obszarze niezabudowanym o $1,0^{\circ}\text{C}$.

Przebieg roczny wartości dobowych temperatury odczuwalnej we Wrocławiu ma cechy sezonowości – w styczniu we wszystkich badanych częściach miasta średnie dobowe wartości były zbliżone i mieściły się w klasie odczuć „zimno” (ryc. 81). Na początku lutego nastąpiło wyraźne ocieplenie i przez ok. dwa tygodnie średnie wartości dobowe świadczyły o doznawaniu wówczas odczucia „chłodno”. W połowie lutego nastąpiło ponowne ochłodzenie, które trwało aż do końca pierwszej dekady marca. W okresach z odczuciem „zimno” średnie dobowe wartości temperatury odczuwalnej były dość zbliżone do siebie we wszystkich badanych typach zabudowy. Od początku drugiej dekady marca rozpoczął się stopniowy wzrost temperatury odczuwalnej, który z krótkimi przerwami trwał aż do połowy sierpnia. We wspomnianym

Tabela 35. Podstawowe charakterystyki statystyczne wartości temperatury odczuwalnej (T_c , °C) zmierzonej w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004Table 35. Monthly and annual average of Sensible Temperature (T_c , [°C]; measured by Sensible Temperature Measurer) in selected types of land-use in Wrocław (01.11.2003-31.10.2004)

		mies.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
		Średnia	-0,3	1,0	4,5	11,6	15,0	18,2	19,6	21,2	16,2	10,4	5,6	2,7	10,5
Cała doba	T	Minimum	-11,3	-7,7	-5,9	-0,1	3,5	10,6	10,9	9,3	5,3	-0,9	-3,8	-4,6	-11,3
		Maksimum	7,8	16,9	25,6	31,7	33,5	30,8	39,5	42,3	37,0	33,3	16,8	11,7	42,3
		Odch. stand.	3,6	4,6	5,8	5,8	5,1	4,4	5,6	6,0	6,1	5,0	4,1	3,3	5,0
		Wariancja	13,1	21,3	33,1	34,2	26,0	19,7	31,6	36,5	37,2	25,0	17,2	11,0	25,5
		Średnia	-0,3	2,1	4,2	11,4	15,0	18,5	19,9	21,1	15,8	10,0	5,3	2,5	10,4
	O	Minimum	-12,0	-10,3	-7,8	-6,3	2,4	7,2	6,8	6,7	2,3	-2,1	-5,6	-5,4	-12,0
		Maksimum	16,8	19,5	36,2	34,7	33,0	32,4	40,1	40,7	36,1	32,5	18,9	15,5	40,7
		Odch. stand.	3,9	5,2	5,8	6,2	5,7	5,8	6,5	6,8	6,6	5,4	4,7	3,7	5,5
		Wariancja	15,3	27,3	33,8	38,8	32,1	33,2	42,2	46,8	43,3	29,2	21,9	13,6	31,5
		Średnia	-0,6	1,7	3,5	10,3	13,9	17,0	18,9	19,6	14,0	8,8	4,7	2,0	9,5
	S	Minimum	-14,8	-13,6	-9,3	-5,2	-0,3	3,1	3,8	3,2	-1,5	-3,9	-8,7	-7,4	-14,8
		Maksimum	10,4	18,6	24,1	30,5	28,8	30,0	39,7	38,7	33,9	30,9	18,3	14,8	39,7
		Odch. stand.	4,0	5,4	5,8	6,2	5,5	6,6	6,5	7,0	7,0	5,3	4,8	3,9	5,7
		Wariancja	15,8	29,7	33,5	38,6	30,2	43,4	42,1	49,3	49,6	28,5	23,3	15,0	33,3
Pora dzienna	T	Średnia	0,5	2,1	6,6	13,9	16,7	19,9	21,1	23,6	19,2	12,6	7,0	3,6	12,2
		Minimum	-11,3	-7,5	-3,0	-0,1	3,5	10,6	11,0	9,3	5,3	-0,9	-3,6	-3,9	-11,3
		Maksimum	7,8	16,9	25,6	31,7	33,5	30,8	39,5	42,3	37,0	33,3	16,8	11,7	42,3
		Odch. stand.	3,6	4,5	6,8	6,0	5,3	4,4	6,0	6,5	6,7	5,3	4,0	3,2	5,2
		Wariancja	13,0	20,3	46,0	36,5	27,9	18,9	36,0	42,0	44,4	28,3	16,3	10,2	28,3
	O	Średnia	1,0	3,3	6,8	14,3	17,3	21,1	22,1	24,4	19,8	13,0	7,6	4,1	12,9
		Minimum	-12,0	-8,0	-4,0	-6,3	2,7	7,2	6,8	7,0	2,5	-1,4	-5,0	-3,4	-12,0
		Maksimum	11,5	19,5	36,2	33,2	33,0	32,4	40,1	40,7	36,1	32,5	18,9	15,5	40,7
		Odch. stand.	3,9	4,8	6,8	6,1	5,4	5,2	6,6	6,8	6,5	5,5	4,5	3,7	5,5
		Wariancja	15,5	23,1	45,8	37,1	29,6	26,7	43,3	45,9	42,0	30,7	20,4	13,4	31,1
	S	Średnia	0,6	3,0	6,2	13,3	16,3	20,2	21,4	23,3	18,5	12,1	7,1	3,8	12,2
		Minimum	-11,0	-8,5	-5,6	-4,7	-0,3	3,1	4,0	3,2	-1,4	-2,8	-7,6	-6,3	-11,0
		Maksimum	10,4	18,6	24,1	30,5	28,8	30,0	39,7	38,7	33,9	30,9	18,3	14,8	39,7
		Odch. stand.	3,7	4,8	6,7	5,7	5,0	5,3	6,2	6,3	6,2	5,2	4,5	3,5	5,3
		Wariancja	13,9	23,3	44,3	33,0	25,2	27,8	38,7	40,2	38,8	26,8	20,0	12,2	28,7
Pora nocna	T	Średnia	-0,7	0,3	2,7	8,2	11,9	14,9	16,7	17,8	13,4	9,0	4,8	2,3	8,4
		Minimum	-11,2	-7,7	-5,9	0,1	3,7	10,7	10,9	9,4	5,3	-0,9	-3,8	-4,6	-11,2
		Maksimum	5,9	15,4	17,3	19,3	20,9	19,6	26,8	26,4	24,2	21,2	13,9	10,1	26,8
		Odch. stand.	3,6	4,5	3,9	3,5	2,8	2,1	3,2	2,8	3,7	4,2	4,0	3,3	3,5
		Wariancja	12,8	20,6	15,2	12,2	7,6	4,4	10,0	7,9	13,7	17,7	16,0	10,9	12,4
	O	Średnia	-1,0	1,2	2,1	7,3	10,7	13,4	15,4	16,2	12,0	8,0	4,1	1,7	7,6
		Minimum	-11,8	-10,3	-7,8	-6,1	2,4	7,5	8,0	6,7	2,3	-2,1	-5,6	-5,4	-11,8
		Maksimum	16,8	15,3	17,4	34,7	19,5	19,3	25,9	27,9	28,4	19,7	13,9	10,2	34,7
		Odch. stand.	3,7	5,3	3,7	3,5	2,9	2,4	3,2	2,9	3,9	4,3	4,3	3,5	3,6
		Wariancja	14,0	28,5	13,6	12,4	8,4	5,9	10,1	8,5	15,1	18,7	18,6	11,9	13,8
	S	Średnia	-1,1	0,8	1,4	6,1	9,6	10,4	13,9	14,0	9,7	6,8	3,4	1,1	6,3
		Minimum	-14,8	-13,6	-9,3	-5,2	0,1	3,6	3,8	3,3	-1,5	-3,9	-8,7	-7,4	-14,8
		Maksimum	5,6	15,1	13,9	18,4	18,7	17,3	26,7	23,5	21,3	18,7	13,7	10,0	26,7
		Odch. stand.	4,0	5,7	3,8	4,0	3,3	3,1	3,4	3,2	4,7	4,3	4,5	3,8	4,0
		Wariancja	15,7	32,0	14,1	16,2	10,7	9,9	11,8	10,1	22,0	18,5	20,1	14,1	16,3

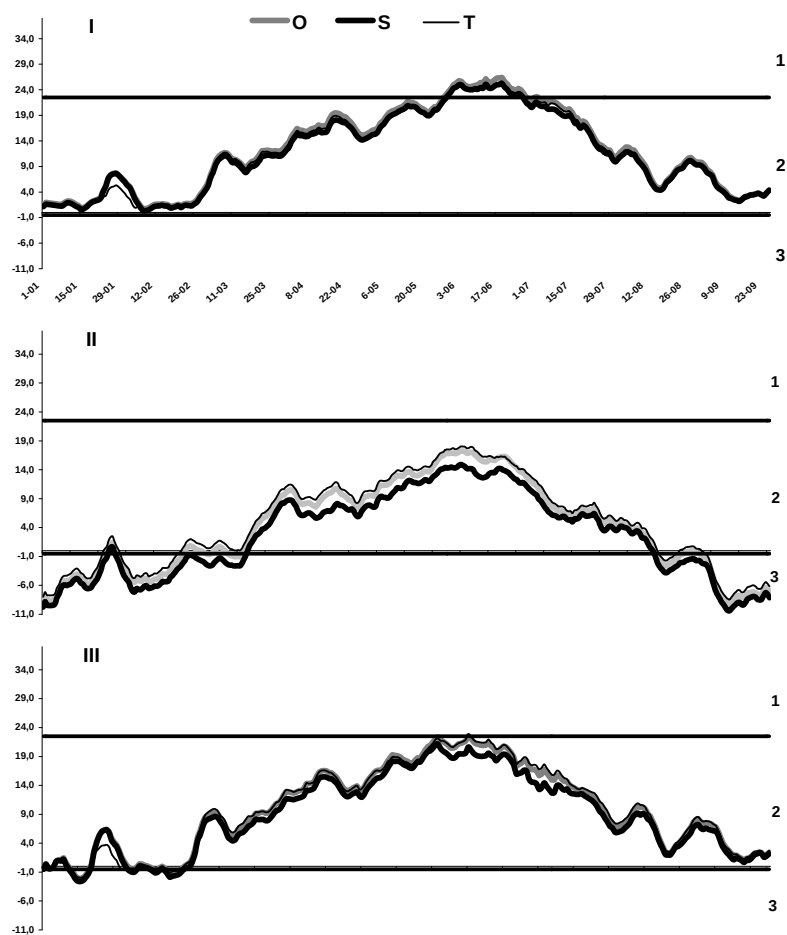


Ryc. 80. Średnie dobowe i roczne różnice między temperaturą odczuwalną (T_c) a temperaturą powietrza (t) w centrum miasta (T), na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi (O) i na obszarze niezabudowanym (S) we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004

Fig. 80. Daily and annual mean of differences between Sensible Temperature (T_c ; °C; measured) and air temperature in built-up (stations: T and O) and non built-up area (station S) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)

okresie uwidoczniło się uprzywilejowanie termiczne centrum miasta (jeśli rozpatruje się średnie dobowe wartości), które trwało aż do zimy. Średnie dobowe wartości temperatury odczuwalnej wskazują na występowanie klasy odczuć „komfortowo” w okresie od połowy lipca do połowy trzeciej dekady sierpnia we wszystkich badanych typach zabudowy.

W dziennej porze doby (ryc. 81) zróżnicowanie T_c na obszarze miasta prawie w całym roku nie występuje. Okres najkorzystniejszych warunków z odczuciem „komfortowo” pojawia się już na początku trzeciej dekady maja i trwa aż do połowy września. W pozostałych miesiącach, z wyjątkiem pierwszej połowy stycznia i drugiej połowy lutego utrzymują się warunki „chłodno”. Średnie wartości z nocnej pory doby pozwalają zauważyć wyraźne uprzywilejowanie termiczne centrum miasta szczególnie widoczne w ciepłej połowie roku. W okresie od maja do października, centrum miasta było cieplejsze średnio o 1,3°C od osiedla z wysokimi blokami mieszkalnymi i 3,2°C od obszaru podmiejskiego. Wyraźnie mniejsze wartości temperatury odczuwalnej rejestrowane w nocy, tylko w centrum w dość krótkich epizodach przekraczają klasę odczuć „komfortowo”. Na terenie wysokich bloków mieszkalnych (O) i niezabudowanym obszarze podmiejskim (S) ta klasa nie była osiągnięta – od końca pierwszej dekady marca do końca pierwszej dekady listopada mieściły się one w klasie odczuć „chłodno” a w pozostałym okresie w klasie „zimno” (ryc. 81).



Ryc. 81. Roczny przebieg średnich wartości temperatury odczuwalnej (T_c , °C) w daytime (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu. Z prawej strony umieszczono skalę odczuć cieplnych: 1- zimno, 2- chłodno, 3- komfortowo, (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową)

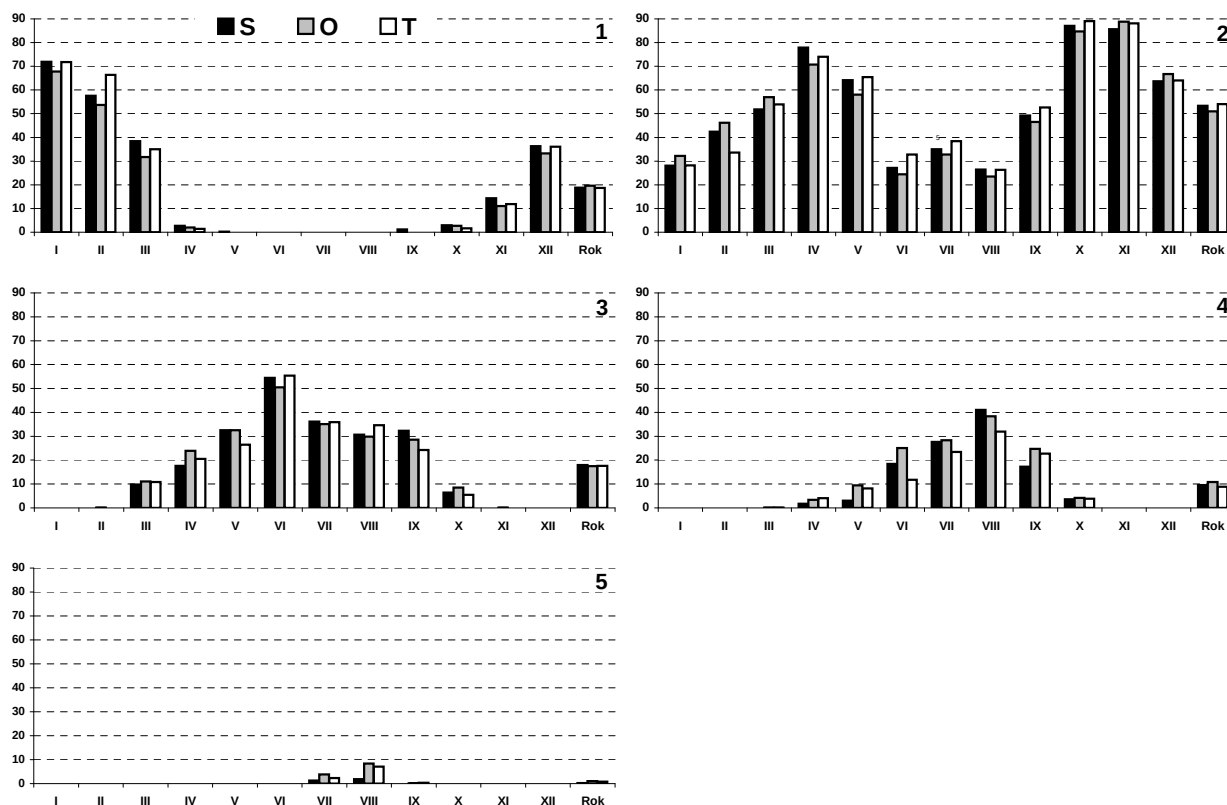
Fig. 81. Annual course of Sensible Temperature (T_c ; °C) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral,

Częstość występowania poszczególnych klas odczuć w daytime porze doby potwierdza wcześniejsze wnioski, że dominującym doznaniem w ciągu dnia w całym roku jest „chłodno”. Ta klasa odczuć obserwowana jest w nieco ponad połowie czasu daytime pory doby we wszystkich analizowanych typach zabudowy. Jego frekwencja największa jest w centrum miasta (54% czasu) i na obszarze podmiejskim (53,3% czasu) a najmniejsza na osiedlu z wysoką zabudową blokową (51% czasu dnia; ryc. 82). Odczucie „chłodno” w ciągu dnia najczęściej występuje w październiku i listopadzie (w około 90% czasu) a najrzadziej w sierpniu (ok. 25% czasu dnia). Ta klasa odczuć jest jedyną, którą obserwuje się we wszystkich miesiącach roku.

Klasa świadcząca o występowaniu odczuć „zimna” obserwowana jest na obszarze zabudowanym miasta w okresie od października do kwietnia a na obszarze podmiejskim od września do maja. „Zimno” najczęściej występuje w ciągu dnia w styczniu, w obszarze podmiejskim i w centrum miasta – ma to miejsce wówczas w prawie 72% czasu a na osiedlu wysokich bloków mieszkalnych tę klasę odczuć obserwuje się w 68% czasu (ryc. 82).

Najbardziej korzystne dla człowieka sytuacje z odczuciem „komfortowo” są obserwowane we Wrocławiu w okresie od marca do października. Najczęściej ta klasa występuje w czerwcu (w ok. 50% czasu dnia), przy czym w centrum miasta i na obszarze podmiejskim „komfortowo” jest w 55% czasu dnia a na osiedlu z gęstą zabudową wielokondygnacyjnych bloków mieszkalnych w 50%.

Klasa odczuć „ciepło” występowała w okresie od kwietnia do października (w tych skrajnych miesiącach



Ryc. 82. Częstości [%] występowania klas odczuć wartości T_c (na podstawie skali Błażejczyka) w daytime porze doby we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów oznaczają następujące klasy odczuć: 1-zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo, 4-ciepło, 5-gorąco

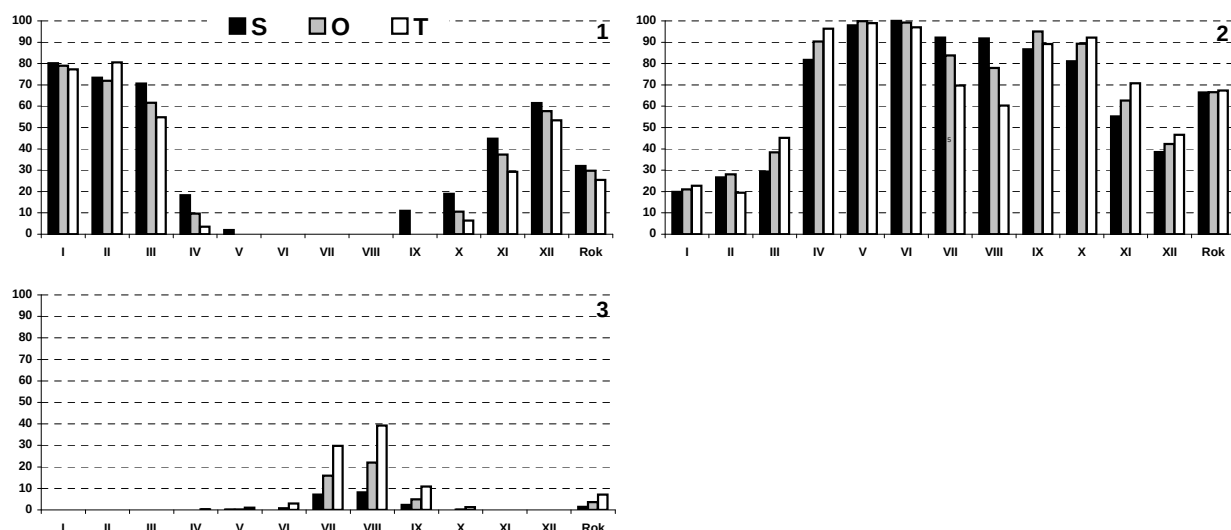
Fig. 82. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Sensible Temperature (T_c ; °C) during daytime in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004): diagram 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral, 4 - warm, 5 - hot

dość rzadko – w nie więcej niż 4% czasu dnia). Maksymalna częstość występowania tej klasy odczuć miała miejsce w sierpniu. Wówczas w centrum miasta była ona najmniejsza (32% czasu dnia) a na obszarze podmiejskim klasa „ciepło” była obserwowana o 1/3 częściej. Natomiast na osiedlu z wysoką zabudową blokową odczucie „ciepło” identyfikowane było w 38% czasu dnia.

Najbardziej uciążliwe pod względem termicznym sytuacje z odczuciem „gorąco” obserwowane były we Wrocławiu w badanym okresie tylko w dwóch miesiącach – w lipcu i sierpniu. W tym pierwszym miesiącu w centrum miasta „gorąco” obserwowano w 2,3% czasu dnia a na osiedlu z wysoką zabudową to odczucie pojawiło się w niecałych 4% czasu dnia. Na terenie podmiejskim miało to miejsce trzykrotnie rzadziej. W sierpniu najczęściej ta klasa odczuć pojawiała się na osiedlu wysokich bloków mieszkalnych (8,4% czasu dnia). W centrum miasta miało to miejsce w 7,1% czasu dnia a na obszarze podmiejskim było ponad czterokrotnie rzadziej obserwowane niż na wspomnianym osiedlu.

W nocy we wszystkich badanych typach zabudowy obserwowane były w ciągu roku tylko trzy klasy odczuć – „zimno”, „chłodno” i „komfortowo”. Najczęściej w ciągu całego roku nocą, (podobnie jak w ciągu dnia) obserwowano tę drugą klasę odczuć – jej średnia roczna częstość pojawiania się wyniosła ok. 67% czasu nocy w tych trzech typach zabudowy. Jednak o ile w niektórych miesiącach (jak np. w styczniu, maju, czy czerwcu) zróżnicowanie częstości klasy odczuć „chłodno” w różnych typach zabudowy było niewielkie, o tyle w miesiącach letnich (lipcu i sierpniu) różnice te sięgały nawet 30% (ryc. 82) co potwierdza wcześniejsze wnioski dotyczące przebiegu rocznego średnich wartości T_c z nocnej pory doby (ryc. 83).

Odczucie „chłodno” pojawiało się nocą we wszystkich miesiącach roku w analizowanych typach zabudowy. Najczęstsze było ono w maju i czerwcu, kiedy to obserwowano je prawie przez całą noc. Charakterystyczne jest,



Ryc. 83. Częstości [%] występowania klas odczuć wartości Tc (na podstawie skali Błażejczyka) w nocnej porze doby we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów oznaczają następujące klasy odczuć: 1-zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo

Fig. 83. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Sensible Temperature (Tc; °C) during night in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004): diagram 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral,

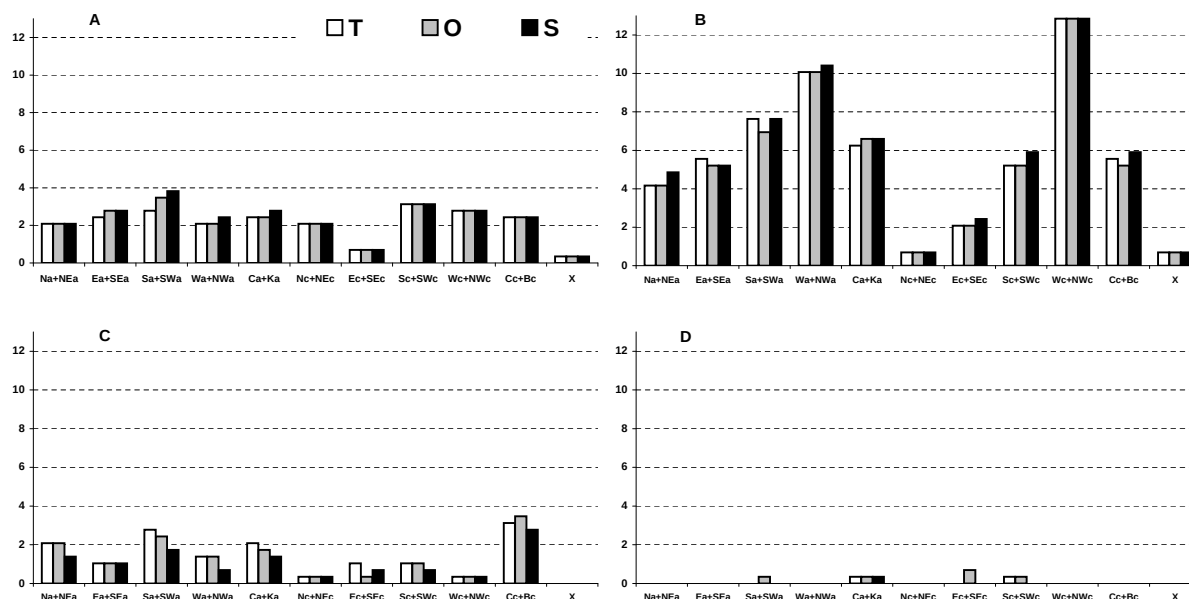
że ta klasa odczuć pojawiała się w chłodnej połowie roku zawsze częściej w centrum miasta niż w pozostałych badanych obszarach (tam dominowało „zimno”) - świadczy to o biotermicznym uprzywilejowaniu centrum miasta będącym skutkiem miejskiej wyspy ciepła.

W ciągu roku nocą odczucie „zimno” pojawia się ponad dwukrotnie rzadziej niż klasa „chłodno”. Na terenie z intensywną zabudową pojawia się ono w okresie od października do kwietnia a na niezabudowanym obszarze podmiejskim od września do maja. Ta klasa odczuć identyfikuje ten ostatni obszar jako miejsce, w którym nocą człowiek narażony jest na nadmierne wychłodzenie organizmu. W okresie występowania odczucie „zimno” najczęściej pojawia się właśnie tutaj. W kwietniu i październiku czterokrotnie częściej należy spodziewać się tego doznania na obszarze podmiejskim niż w centrum miasta. Nocą w okresie od grudnia do marca klasa odczuć „zimno” jest wyraźnie dominująca we wszystkich typach zabudowy.

Najrzadziej obserwowaną w nocy klasą doznań biotermicznych jest „komfortowo”, które występuje we wszystkich badanych typach użytkowych w okresie od czerwca do września. W centrum miasta występuje ona również w maju i październiku, lecz z niewielką częstością. Biotermiczne uprzywilejowanie w okresie nocnym centrum miasta jest szczególnie wyraźne w lipcu i sierpniu. Wówczas sytuacje z odczuciem „komfortowo” pojawiają się tutaj blisko dwukrotnie częściej niż na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi i 4-4,5-krotnie częściej niż na obszarze podmiejskim.

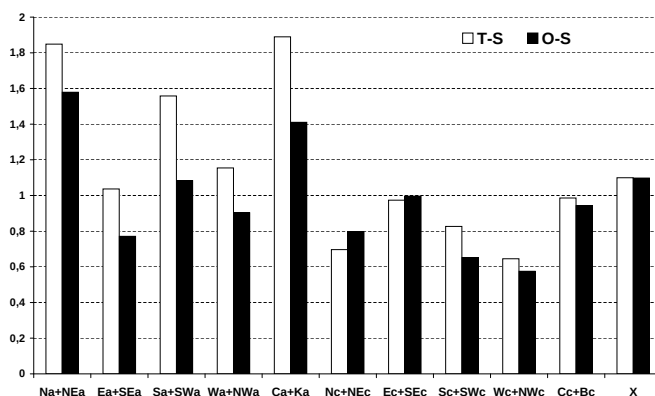
Istotne znaczenie dla kształtowania się warunków biotermicznych na terenie miasta ma typ cyrkulacji atmosferycznej. Rozpatrując częstość pojawiania się poszczególnych rodzajów odczuć (wyznaczonych na podstawie średniej dobowej wartości Tc) w badanych typach zabudowy okazuje się, że typem cyrkulacji najsilniej różnicującej kształtowanie się pola temperatury odczuwalnej na terenie Wrocławia była południowa i południowo-zachodnia cyrkulacja antycyklonalna (ryc. 84). Natomiast warunki biotermiczne nie ulegały istotnemu różnicowaniu się w typie cyrkulacji zachodniej i północno-zachodniej cyklonalnej (Wc+NWc) oraz północnej i północno-wschodniej cyklonalnej (Nc+NEc). Podobny brak zróżnicowania warunków biotermicznych w badanych typach zabudowy obserwuje się w typach cyrkulacji nieoznaczonych (X).

Średnie dobowe różnice temperatury odczuwalnej między obszarami zabudowanymi (T i O) a niezabudowanym (S) są największe w typach cyrkulacji północnej i północno-wschodniej antycyklonalnej (Na+NEa) oraz w sytuacjach, gdy obserwuje się brak adwekcji lub jest ona mało wyraźna i zmienna (Ca+Ka) (ryc. 85). Najmniejsze różnice w średnich wartościach temperatury odczuwalnej obserwowane są w typie cyrkulacji zachodniej i północno-zachodniej cyklonalnej (Wc+NWc).



Ryc. 84. Częstość [%] klas odczuć (A - zimno, B - chłodno, C - komfortowo, D - ciepło) określonych na podstawie średniej dobowej temperatury odczuwalnej (T_c) w poszczególnych typach cyrkulacji (wg Niedźwiedzia) we Wrocławiu w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004;

Fig. 84. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (diagrams: A - cold, B - cool, C - neutral, D - warm) based on daily mean of Sensible Temperature (T_c) calculated for different atmospheric circulation types (by Niedźwiedź) in different types of land-use in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)

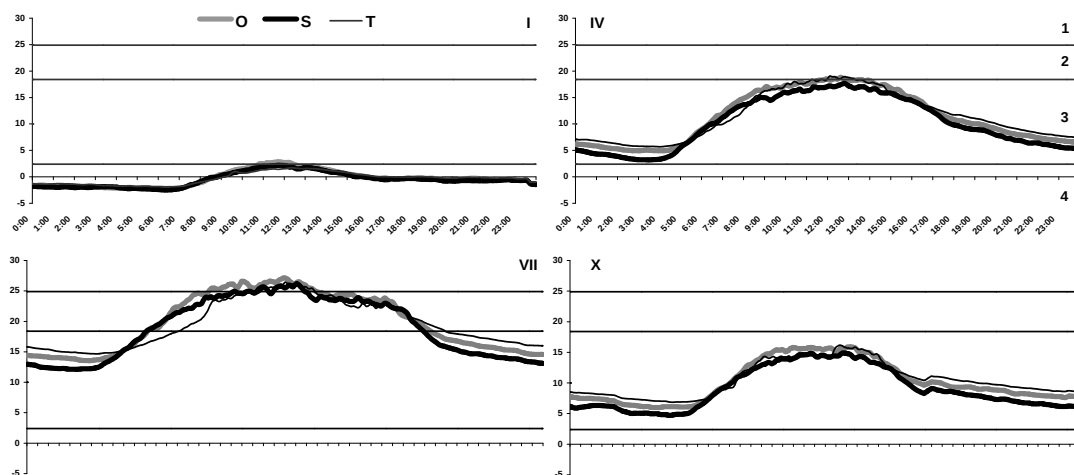


Ryc. 85. Średnie różnice temperatury odczuwalnej (T_c) między terenem zabudowanym (T, O) a niezabudowanym w poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) we Wrocławiu w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004

Fig. 85. Daily and annual mean of differences of Sensible Temperature (T_c) between built-up (T, O) and rural area (S) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)

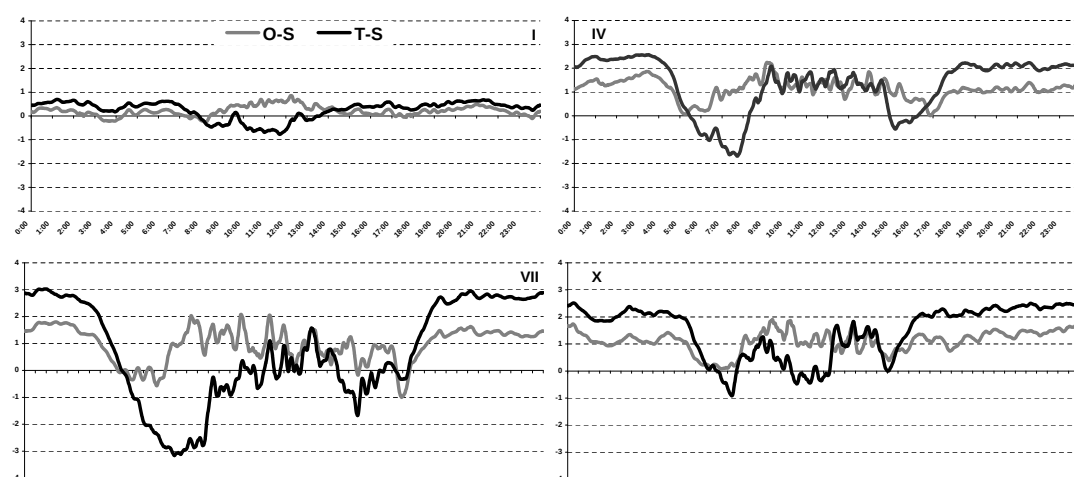
Przebiegi dobowe temperatury odczuwalnej (ryc. 86) w miesiącach zimowych charakteryzują się małą amplitudą – świadczy to o niewielkiej zmienności warunków biotermicznych w ciągu nocy i dnia. Przebiegi średnich dobowych różnic T_c między zabudowanymi obszarami miasta a terenem podmiejskim także wykazują brak większych różnic w tych miesiącach (ryc. 87). Jednak już od kwietnia aż do września istnieje wyraźne czasowe i przestrzenne różnicowanie się warunków biotermicznych.

Biotermiczne uprzywilejowanie w nocy centrum miasta ulega zanikowi tuż po wschodzie Słońca. Od tej pory zauważa się odwrotne zjawisko - w niezabudowanym obszarze podmiejskim temperatura odczuwalna wzrasta wyraźnie szybciej, co skutkuje pojawieniem się jeziora chłodu (ryc. 88., ryc. 89) - zjawiska opisywanego już



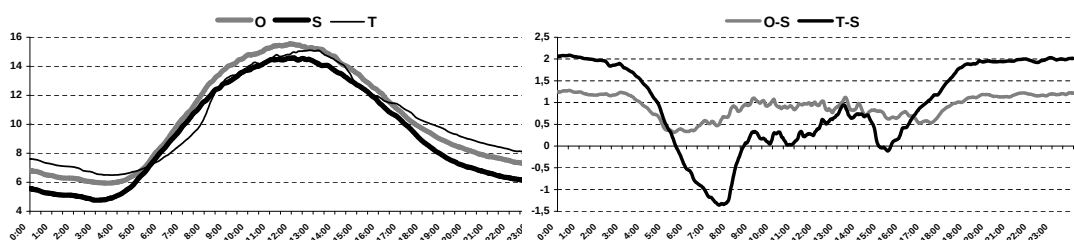
Ryc. 86. Średni dobowy przebieg wartości temperatury odczuwalnej (T_c , °C) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) i różnych typach zabudowy Wrocławia. Na wykresach umieszczono przedziały odczuć ciepłych: 1-zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo, 4-ciepło. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową

Fig. 86. Daily course of Sensible Temperature (T_c ; °C) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral, 4 - warm



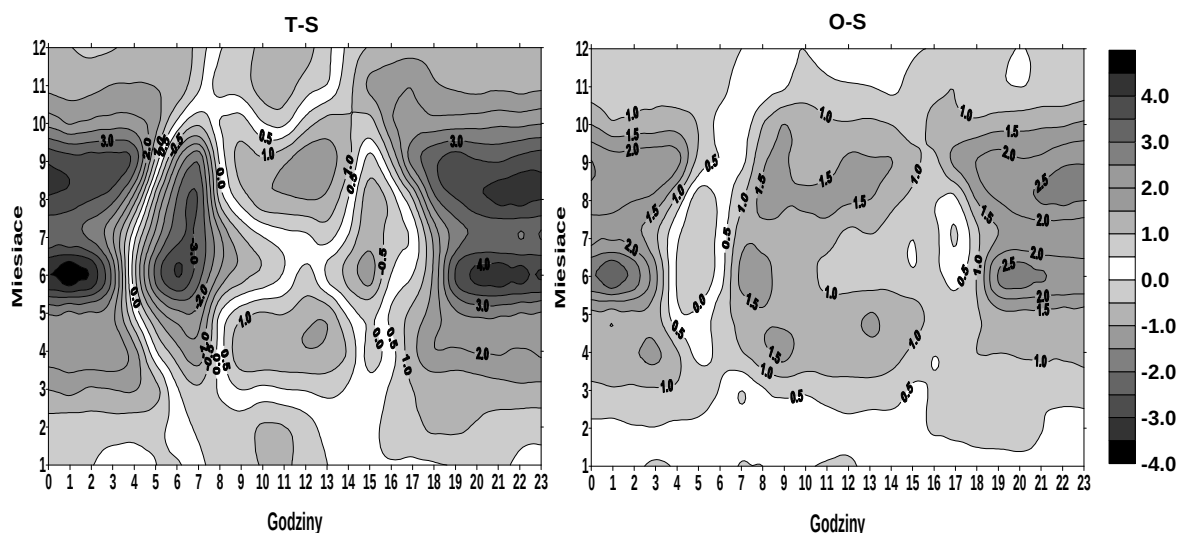
Ryc. 87. Średni dobowy przebieg różnic temperatury odczuwalnej (dT_c , °C) między stacjami miejskimi a stacją podmiejską w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik). Wartości średnie zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową

Fig. 87. Daily course of mean differences between built-up (stations: T and O) and non built-up area (station S) of Sensible Temperature (T_c ; °C) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)



Ryc. 88. Średni przebieg dobowy wartości temperatury odczuwalnej (wykres lewy) i jej różnic między stacjami miejskimi a podmiejską w okresie od kwietnia do września 2004 roku

Fig. 88. Course of daily mean (left diagram) and daily differences between built-up (stations: T and O) and non built-up area (station S; right diagram;) of Sensible Temperature (T_c ; °C) from 04.2004 to 09.2004 in Wrocław



Ryc. 89. Średnie dobowe i roczne różnice temperatury odczuwalnej między obszarem zabudowanym (stacje T i O) i niezabudowanym (stacja S)

Fig. 89. Daily and annual mean of differences of Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}\text{C}$) between built-up (B, O i T) and rural area (S) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)

przez innych autorów. W odniesieniu do temperatury odczuwalnej (gdzie znaczny wpływ na obserwowane wartości ma dopływające promieniowanie słoneczne) jest to szczególnie wyraźne.

W ciepłej połowie roku centrum miasta jest najchłodniejsze (w porównaniu do obszaru podmiejskiego) ok. godz. 9:30 czasu lokalnego i od tej pory następuje wzrost temperatury odczuwalnej w tempie ok. $2,4^{\circ}\text{C}$ na godzinę (ryc. 88., ryc. 89). To powoduje, że już po jednej godzinie temperatura odczuwalna w centrum zrównuje się z tą rejestrowaną na obszarze podmiejskim. Od godziny 10:30 do 16:45 (czasu lokalnego) centrum miasta jest wyraźnie „cieplejsze” od Strachowic. Po tym czasie centrum ponownie staje się chłodniejsze od terenów otaczających miasto na około 1,5 godziny. Intensywne wychładzanie się terenów podmiejskich w okresie wieczornym i rozwijająca się miejska wyspa ciepła powodują, że średnio już po godz. 18tej, w okresie od kwietnia do września, centrum miasta znowu staje się „cieplejsze” a różnice pogłębiają się aż do godz. 22 kiedy to następuje stabilizowanie się różnic temperatury odczuwalnej. Wówczas centrum miasta jest średnio o $3,0^{\circ}\text{C}$ a osiedle wielokondygnacyjnych bloków mieszkalnych o $1,8^{\circ}\text{C}$ cieplejsze niż niezabudowany obszar podmiejski.

9.2.8. Rozkład przestrzenny warunków biometeorologicznych na terenie miasta na podstawie pomiarów mobilnych

Stosowane od 1997 roku we Wrocławiu mobilne stacje meteorologiczne dostarczają cennych informacji o kształtowaniu się wybranych elementów meteorologicznych w sztucznym, silnie przekształconym przez człowieka środowisku miejskim. Przyczyniły się one do udokumentowania istnienia miejskiej wyspy ciepła (Szymanowski 2004) czy miejskiego niedoboru wilgoci (Dubicka i in. 2003).

Uzyskane za pomocą mobilnych stacji meteorologicznych informacje o wartościach wybranych elementów meteorologicznych stały się również podstawą do wyliczenia wybranych wskaźników biometeorologicznych, co pozwoliło uzyskać informacje o kształtowaniu się warunków biometeorologicznych na terenie miasta. Prowadzone dotychczas badania ukierunkowane były głównie na monitorowanie miejskiej wyspy ciepła. Realizowane były one w porze nocnej. Natomiast do celów biometeorologicznych postanowiono wykonywać przejazdy patrolowe w godzinach okołopołudniowych (godzina 10-11 czasu GMT). Czas trwania takiego przejazdu również nie powinien być długi, by wyeliminować wpływ zmiany wartości elementów meteorologicznych związany z ich cyklem dobowym. W tym celu wybrano profil przecinający obszar miasta od południa w kierunku północnym o długości ok. 16-17 km. W trakcie przejazdu badaniom poddawano warunki meteorologiczne w typach powierzchni użytkowych, o różnym stopniu intensywności

zabudowy a ich rodzaje zaprezentowano poniżej (tabela 37, 38). Pomiary patrolowe były wykonywane w warunkach pogody bezchmurnej, ponieważ docierające promieniowanie słoneczne ma znaczący udział w procesie kształtowania się warunków biotermicznych. Zachmurzenie wpływa istotnie na natężenie promieniowania słonecznego dając w rezultacie jego dość znaczne różnicowanie się nie wynikające z właściwości uwarunkowań urbanistycznych badanego obszaru. Na potrzeby niniejszej pracy wprowadzono założenie, że w ciągu całego przejazdu natężenie promieniowania słonecznego całkowitego było na całym badanym obszarze podobne. To kryterium spowodowało, że z kilku wykonanych sesji pomiarowych postanowiono zaprezentować w niniejszym opracowaniu tylko 2 z nich. Przejazd w tej porze dnia nie należał do najłatwiejszych ze względu na tworzące się zatory uliczne spowodowane szczytem komunikacyjnym. W celu wyeliminowania ewentualnego wpływu innych pojazdów na rejestrowaną temperaturę powietrza, w trakcie przejazdu szczegółowo rejestrowane były wszystkie postoje. Następnie są one eliminowane - nie uwzględnia się ich w obliczeniach.

Ważnym elementem meteorologicznym, którego nie można zmierzyć w trakcie przejazdu jest prędkość wiatru niezbędna do wyliczenia zastosowanych wskaźników biometeorologicznych. Informacje o rozkładzie pola wiatru na obszarach badanych mobilną stacją pomiarową zostały uzyskane na podstawie cyfrowego modelu terenu (Szymanowski, 2004), którego integralną częścią jest warstwa z informacją o szorstkości podłoża podawanej w centymetrach. Okazało się, że współczynnik korelacji pomiędzy średnią wartością tego parametru a prędkością wiatru wynosi ok. -0,87 w przypadku pierwszego przejazdu i -0,97 w drugim przejeździe (tabela 36). Przeliczenie szorstkości podłoża na prędkość wiatru odbywało się na podstawie wzoru wyliczanego metodą regresji liniowej dla konkretnej sytuacji (prędkość wiatru z okresu przejazdu była uśredniana). Było to możliwe dzięki pracującym równolegle meteorologicznym stacjom automatycznym.

Tabela 36. Współczynniki korelacji pomiędzy szorstkością podłoża z kwadratów o boku 200m, w których centrum zlokalizowane są stacje pomiarowe a średnią prędkością wiatru w czasie pomiarów profilowych

Table 36. Correlation coefficients between roughness from square (200m x 200m) where automatic Weather Stations are located and average wind speed collected by AWS during measuring session (mobile meteorological station was used)

Stacja	szorstkość (średnia z kwadratu o boku 200m; cm)	v (23.03.2003)	v (01.04.2004)	wsp. korelacji	wsp. korelacji
		średnia z godz. 11	średnia z godz. 11	23.03.2003	01.04.2004
T	295	0,1	1,3	-0,87	-0,97
O	172	1,1	1,9		
B	90	0,9	2,8		
S	7	1,3	4,0		

Kolejną niezbędną do obliczenia wybranych wskaźników biometeorologicznych wartością wejściową było natężenie promieniowania słonecznego całkowitego. Przyjęto, że wartość tego strumienia jest stała na obszarze miasta i użyto dla całego przejazdu uśrednionej wartości promieniowania całkowitego zmierzonego na stacjach automatycznych w czasie przejazdu. W przypadku pierwszego przejazdu (23.03.2003) wartość $K_{głob}$ wyniosła $606W/m^2$ a w drugim przejeździe (01.04.2004) było to $627W/m^2$.

Obydwa przejazdy patrolowe nieznacznie różnią się od siebie. Mianowicie w trakcie przejazdu w dniu 23.03.2003 częstość rejestrowanych pomiarów wynosiła 5s a w drugim przejeździe (01.04.2004) była to 1s. Drugi przejazd różnił się nieznacznie od pierwszego: dokonano dodatkowego przejazdu w ścisłym centrum miasta (okolice Rynku) i w osiedlu niskich domów wolnostojących (okolica między ul. Kasprowicza a Kamieńskiego). Istotny wpływ na udział poszczególnych typów zabudowy w badanym profilu miała konieczność eliminowania rekordów związanych z przymusowymi postojami.

Zgromadzone w ten sposób pomiary meteorologiczne posłużyły jako dane wejściowe do obliczenia trzech kompleksowych wskaźników biometeorologicznych:

- temperatury odczuwalnej (STI, °C)
- dopuszczalnego czasu przebywania (MTE, w minutach)
- wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %).

Temperatura odczuwalna i wskaźnik stresu cieplnego zostały już opisane w rozdziale 6. Natomiast maksymalny czas przebywania jest wskaźnikiem wyliczanym z salda wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem według następującego wzoru:

$$MTE = 5400 / |mS|$$

Wynika on z założenia, że zmiana wartości salda wymiany ciepła (na plus lub minus) w ciągu jednej godziny o wartość 90W/m^2 wpływa na zmianę temperatury wewnętrznej o 2°C a to może mieć niebezpieczne dla organizmu konsekwencje (Błażejczyk, 2004).

W trakcie pomiaru patrolowego wykonanego w dniu 23.03.2003 średnia temperatura powietrza w czasie przejazdu (10-11 GMT) wyniosła $9,0^\circ\text{C}$ a jej amplituda wyniosła $2,7^\circ\text{C}$ - najniższa była na obszarze bezpośrednio przylegającym do rzeki ($7,5^\circ\text{C}$) a największa w centrum miasta ($10,2^\circ\text{C}$). Średnia prędkość wiatru w trakcie całego przejazdu wyniosła $0,4\text{m/s}$, ciśnienia pary wodnej $1,9\text{hPa}$ a wilgotność względna niecałe 20%. W przebiegu temperatury powietrza z całego przejazdu wyraźnie widoczne są zmiany związane ze zróżnicowaną zabudową i użytkowaniem terenu, stopniem zainwestowania, intensywnością zabudowy, gęstością zaludnienia czy ilością zieleni (wzrost w okolicach ul. Świdnickiej i ul. Kazimierza Wielkiego; ryc. 90) i bliskością rzeki (spadek w okolicach mostu Uniwersyteckiego i Widawy).

Zarejestrowane w czasie sesji pomiarowej wartości temperatury powietrza nie są duże, lecz niewielka prędkość wiatru i ciśnienia pary wodnej a jednocześnie znaczny dopływ promieniowania słonecznego powodują (tabela 37), że wyliczona temperatura odczuwalna waha się w trakcie całego przejazdu w zakresie od $30,0^\circ\text{C}$ (w okolicy rzeki) do $32,8^\circ\text{C}$ (w centrum miasta). Jej średnia wartość w czasie całego przejazdu wyniosła $31,3^\circ\text{C}$ co klasyfikuje ją jako odczucie „komfortowo”. Tak znaczny wpływ „ocieplający” promieniowania słonecznego jest związany z wysokością Słońca nad horyzontem, która wynosiła wówczas ok. 38° . Związane z nią odczucia ciepłe w okolicach centrum miasta mogą być określane jako „ciepło”.

Maksymalny czas przebywania (MTE) wyniósł średnio w czasie pomiarów 2,5 godziny - najkrótszy był w okolicy rzeki (122 minuty) a najdłuższy w centrum miasta - wówczas można było przebywać tam przez ok. 3godz. i 10 minut. Jednakże uśrednione wartości maksymalnego czasu przebywania wskazują na obszary przemysłowe (6) i niezabudowane, z dużym udziałem zieleni (1) jako te, w których człowiek najszybciej dozna znacznych zmian ciepła w organizmie (tabela 37, ryc. 90).

Wyliczone wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI) w poszczególnych typach użytkowych terenu Wrocławia dość znacznie się różnicują. Jego średnia wartość w całym przejeździe wyniosła ok. 16%, co nie sugeruje występowania stanów parności, lecz analizując przebieg HSI zauważa się dwa obszary na terenie miasta, gdzie można doznać „umiarkowanej parności”. Pierwszym z nich jest osiedle wysokich bloków mieszkalnych (Gaj - wielokondygnacyjna zabudowa złożona z bloków mieszkalnych) w okolicach ul. Orzechowej (3) a kolejnym centrum miasta. Średnie wartości HSI z tych obszarów wynoszą odpowiednio 18,6% i 24,7%, lecz maksymalnie sięgają: 35,9% na osiedlu Gaj (wysoka zabudowa blokowa) i 37,2% w centrum miasta. Dość dyskusyjna jest kwestia, czy przy tak niskiej temperaturze powietrza i ciśnienia pary wodnej można w ogóle mówić o występowaniu chociażby umiarkowanych stanów parności. Wysokie wartości tego wskaźnika wynikają raczej z jego silnej zależności od prędkości wiatru a w dniu pomiarów jego wartości w centrum miasta wyliczone z modelu szorstkości terenu były równe zero (do obliczeń wprowadza się wartości $v > 0,0\text{m/s}$ czyli $0,1\text{m/s}$ - wynika to ze specyfiki używanych formuł matematycznych, w których niemożliwe jest dzielenie przez 0). To właśnie założenie przyczyniło się do uzyskania tak wysokich wartości wskaźnika stresu cieplnego w obszarach ze znaczną intensywnością zabudowy.

Kolejny przejazd patrolowy mobilną stacją pomiarową z dnia 01.04.2004 został przeprowadzony w warunkach bardziej wietrznych. Średnia prędkość wiatru w czasie pomiarów wyniosła $2,1\text{m/s}$, przy czym najsilniejszy był na obszarze w niewielkim stopniu zabudowanym (tereny podmiejskie i przemysłowe), gdzie wyniosła nawet $3,9\text{m/s}$ (średnia to odpowiednio $3,5$ i $3,2\text{m/s}$). Najmniejsza prędkość wiatru była w centrum miasta - średnio wyniosła ona $0,6\text{m/s}$. Zarejestrowana w czasie pomiarów średnia temperatura powietrza wyniosła $13,5^\circ\text{C}$ - najniższa była na obszarze z wysoką, wielokondygnacyjną zabudową blokową ($13,0^\circ\text{C}$; tabela 38). Średnie ciśnienie pary wodnej w czasie pomiarów wyniosło $7,0\text{hPa}$ a wilgotność względna powietrza 45%. Przyjęta do obliczeń średnia wartość strumienia promieniowania całkowitego zmierzona przez stacje automatyczne była równa 627W/m^2 .

Tabela 37. Podstawowe statystyki wybranych elementów meteorologicznych (t, v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) w trakcie przejazdu przez Wrocław w profilu S-N wykonanego 23.03.2003. Oznaczenia typów zabudowy są objaśnione na ryc. 59

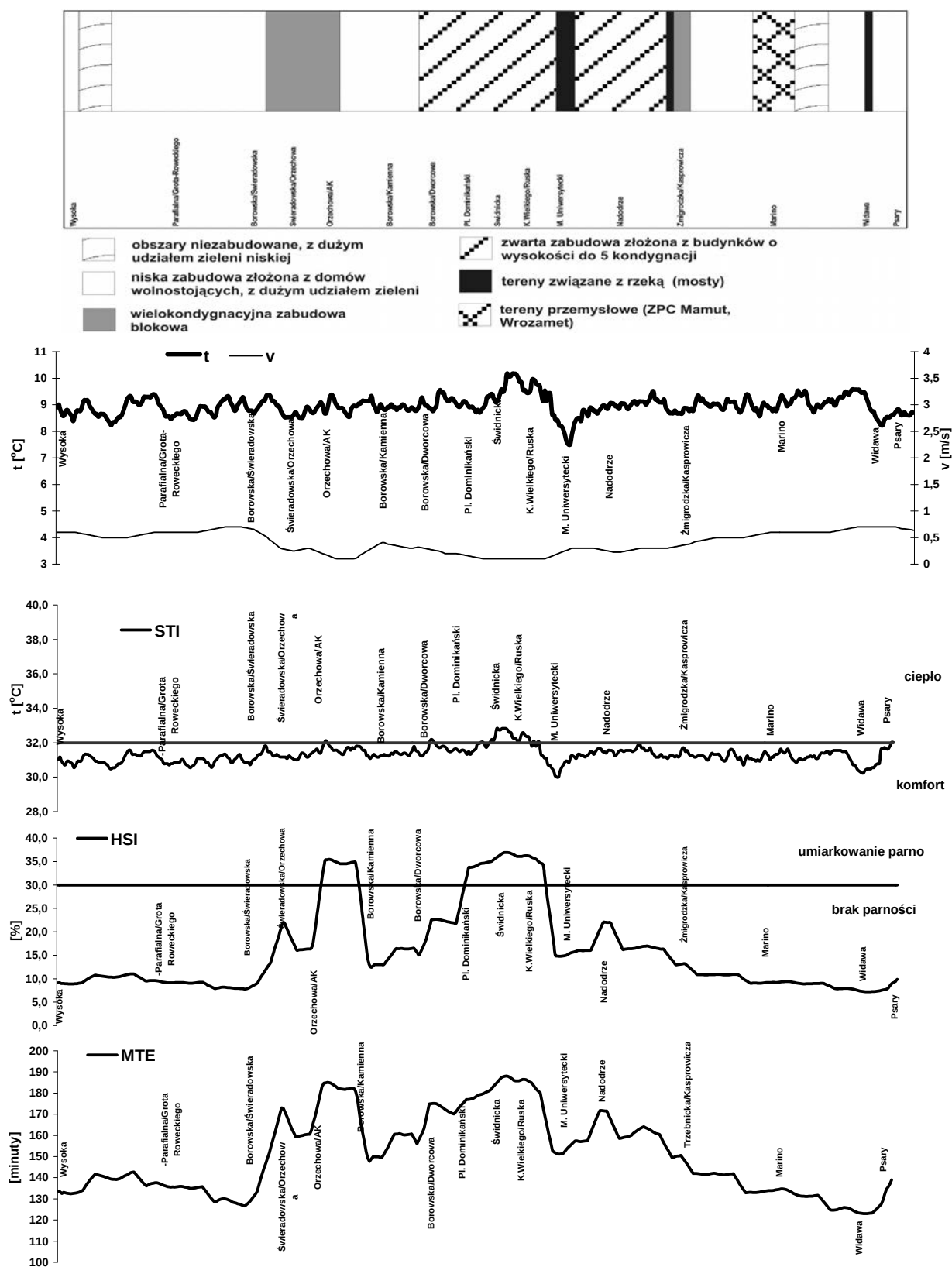
Table 37. Average and extreme values of air temperature (t, [°C]), wind speed (v, [m/s]) and biometeorological indices (STI [°C], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximal Time of Exposition) during measuring session across city (from South to North) in 23.03.2003. Types of land-use passed through during session: 1 - non-built-up area, 2 - dispersed, residential development, 3 - blocks of flats (up to 10-11 storey), 4 - dense development of city centre, 5 - area close to river, 6 - industrial area

	Typ zabudowy:	1	2	3	4	5	6
% udział na trasie przejazdu		2,7	29,9	11,0	36,8	9,3	10,3
t [°C]	średnia arytm.	8,9	8,9	8,9	9,2	8,3	9,0
	minimum	8,4	8,2	8,5	8,4	7,5	8,6
	maksimum	9,5	9,6	9,4	10,2	8,9	9,5
	odch. stand.	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2
v [m/s]	średnia arytm.	0,6	0,5	0,3	0,2	0,5	0,6
	minimum	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5
	maksimum	0,6	0,7	0,6	0,4	0,7	0,6
	odch. stand.	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0
STI [°C]	średnia arytm.	31,1	31,2	31,3	31,7	30,6	31,2
	minimum	30,5	30,5	31,0	30,8	30,0	30,7
	maksimum	31,6	32,0	32,1	32,8	31,3	31,6
	odch. stand.	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2
MTE [minuty]	średnia arytm.	134,9	141,6	161,6	170,9	143,5	133,7
	minimum	130,9	122,9	133,9	149,0	122,8	132,0
	maksimum	143,0	184,5	186,5	189,7	177,8	141,5
	odch. stand.	4,0	15,4	13,4	11,2	18,5	1,8
HSI [%]	średnia arytm.	9,5	12,2	18,6	24,7	13,3	9,2
	minimum	8,7	7,3	9,3	12,9	7,1	8,8
	maksimum	11,0	35,2	35,9	37,2	33,5	10,8
	odch. stand.	0,7	7,1	7,5	8,6	7,1	0,4

Wyliczona na podstawie zgromadzonych w czasie pomiarów danych meteorologicznych średnia temperatura odczuwalna wyniosła 35,3°C - jej minimalna wartość, jaką zaobserwowano była równa 33,1°C (na obszarze związanym z rzeką) a maksymalna 39,2°C (w centrum miasta; ryc. 91). Najniższą średnią temperaturą odczuwalną charakteryzował się obszar podmiejski, niezabudowany (34,1°C) i w tym typie użytkowania terenu miała ona niewielką zmienność - różnica między jej minimalną a maksymalną wartością wyniosła tylko 1,2°C. W trakcie pomiarów odczucia cieplne organizmu człowieka kształtowały się w kategorii „ciepło”.

Natężenie stresu cieplnego w badanym dniu nie było wielkie - nie sprzyjała temu umiarkowana temperatura powietrza. Średnia wartość tego wskaźnika w całym profilu wyniosła 13,2% co nie sugeruje stanu parności. Najmniejszą wartość HSI odnotowano na obszarze podmiejskim, niezabudowanym (0,1%, a średnia wyniosła 0,9%) i na terenach w pobliżu dużych zakładów produkcyjnych (0,2%; średnia 1,6%). Natomiast największa średnia HSI była obserwowana w terenie z gęstą zabudową złożoną z 4-5 kondygnacyjnych kamienic, z małym udziałem zieleni miejskiej (centrum miasta) i wynosiła ona 34,9%. Tylko w tym typie zabudowy obserwowane były stany umiarkowanej parności. Podobnie jak w przypadku wcześniejszych pomiarów patrolowych, umiarkowana temperatura i wilgotność powietrza raczej nie wskazują występowania takich stanów a czynnikiem determinującym tak wysokie wartości HSI jest prędkość wiatru.

Zmienność warunków biometeorologicznych na terenie całego miasta znajduje szczególnie wyraźne odbicie w maksymalnym czasie bezpiecznego przebywania w terenie otwartym, którego średnia wartość w ciągu pomiarów wyniosła 173 minuty. Jednakże wartości tego wskaźnika wahały się w dość szerokim zakresie w zależności od intensywności zabudowy. Najkrótszy średni MTE był na obszarze niezabudowanym, z dużą ilością zieleni miejskiej - wyniósł on tutaj ok. 72 minut (maksymalny MTE w tym typie to 93minuty a minimalny 65 minut; tabela 38). Najdłuższy średni MTE można było obserwować na obszarze z intensywną zabudową śródmiejską, który kształtował się w tej



Ryc. 90. Rozkład wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) we Wrocławiu wzdłuż profilu południe-północ 23.03.2003 w godz. 11-12 GMT. Górny wykres ilustruje typy użytkowania terenu wzdłuż profilu pomiarowego

Fig. 90. Course of selected meteorological parameters (t , v) and biometeorological indices (STI [°C], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximum Time of Exposition) in Wrocław (23.03.2003, 11-12 GMT) collected during measuring session across city (from South to North). Upper diagram is presented types of land-use passed through during session

Tabela 38. Podstawowe statystyki wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) w trakcie przejazdu przez Wrocław w profilu S-N wykonanego 01.04.2004. Oznaczenia typów zabudowy są objaśnione na ryc. 60.

Table 38. Average and extreme values of air temperature (t , [°C]), wind speed (v , [m/s]) and biometeorological indices (STI [°C], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximal Time of Exposition) during measuring session across city (from South to North) in 01.04.2004. Types of land-use passed through during session: 1 - non-built-up area, 2 - dispersed, residential development, 3 - blocks of flats (up to 10-11 storey), 4 - dense development of city centre, 5 - area close to river, 6 - industrial area

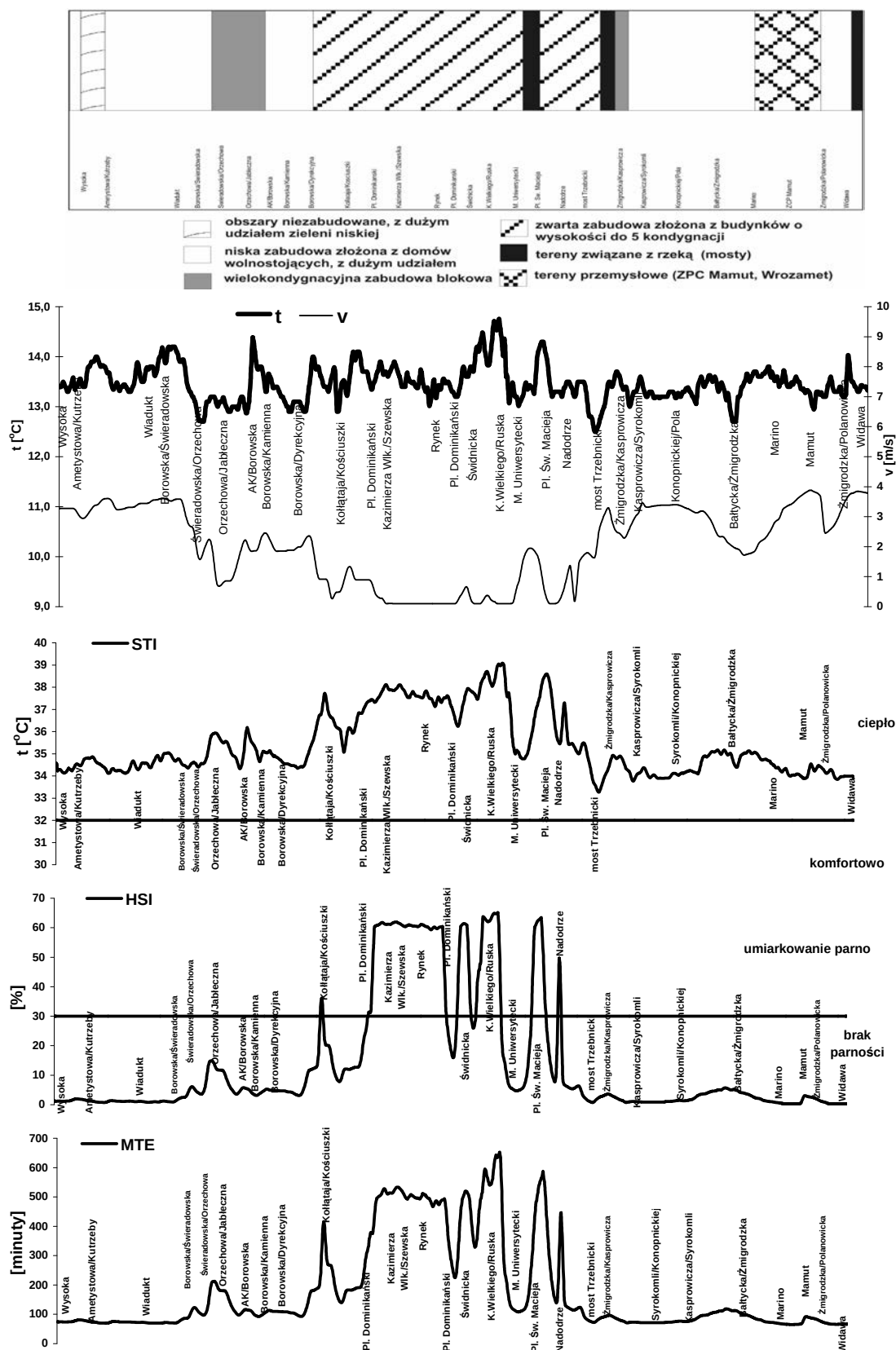
	Typ zabudowy:	1	2	3	4	5	6
% udział na trasie przejazdu		11,9	37,1	6,5	32,6	3,9	8,0
t [°C]	średnia arytm.	13,4	13,4	13,0	13,6	13,2	13,5
	minimum	12,9	12,6	12,7	12,9	12,5	13,2
	maksimum	14,1	14,4	14,4	14,8	15,2	13,8
	odch. stand.	0,2	0,3	0,2	0,4	0,6	0,1
v [m/s]	średnia arytm.	3,5	2,9	1,5	0,6	2,3	3,2
	minimum	2,4	1,7	0,7	0,1	0,7	1,9
	maksimum	3,9	3,6	2,3	2,4	3,7	3,9
	odch. stand.	0,4	0,6	0,5	0,6	0,8	0,6
STI [°C]	średnia arytm.	34,1	34,5	35,1	37,0	34,7	34,5
	minimum	33,7	33,6	34,2	34,2	33,1	33,8
	maksimum	34,9	36,4	36,4	39,2	38,3	35,3
	odch. stand.	0,2	0,4	0,5	1,2	1,2	0,4
MTE [minuty]	średnia arytm.	71,6	84,7	139,9	349,0	106,9	78,0
	minimum	64,8	69,4	95,1	92,2	67,8	64,7
	maksimum	92,9	119,8	212,5	672,9	255,6	110,2
	odch. stand.	6,7	15,5	39,8	169,7	40,8	12,8
HSI [%]	średnia arytm.	0,9	2,3	7,8	34,9	4,4	1,6
	minimum	0,1	0,6	3,3	3,1	0,4	0,2
	maksimum	3,2	6,2	14,9	65,6	17,2	5,0
	odch. stand.	0,7	1,6	3,9	23,7	3,9	1,4

części miasta na poziomie 349 minut. Ten obszar to również miejsce jego największego zróżnicowania - najkrócej w tym typie zabudowy można było przebywać przez około 1,5 godziny a najdłużej aż ponad 11 godzin.

Przeprowadzone pomiary profilowe na terenie Wrocławia dają obraz zmienności warunków biometeorologicznych kształtujących się w stosunkowo niedużej odległości. W umiarkowanych warunkach termicznych może dochodzić do zmian temperatury odczuwalnej rzędu 4-5°C - jest to szczególnie widoczne w trakcie pomiarów prowadzonych w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki. Zmiana warunków biotermicznych skutkuje znacznym ograniczeniem maksymalnego czasu bezpiecznego przebywania człowieka w terenie otwartym, w trakcie którego nie dochodzi do istotnych zmian temperatury wewnętrznej. W centrum Starego Miasta, MTE wynosił w trakcie drugiego pomiaru profilowego (01.04.2004) około 11 godzin a już kilkaset metrów dalej na Moście Uniwersyteckim był ponad pięciokrotnie krótszy.

Elementem meteorologicznym silnie modyfikowanym na terenie miasta jest prędkość wiatru. To właśnie ten parametr oddziałuje szczególnie intensywnie na kształtowanie się warunków biometeorologicznych na terenie miasta. W sytuacjach kiedy prędkość wiatru jest niewielka (co miało miejsce w trakcie pierwszego pomiaru patrolowego przeprowadzonego 23.03.2003) ich zróżnicowanie jest mniejsze niż w dniach z większą prędkością wiatru.

Przyjęte w trakcie analizowania danych meteorologicznych uzyskanych z przejazdów patrolowych założenia (czyli stałe natężenie promieniowania krótkofalowego, wyliczanie prędkości wiatru z szorstkości podłoża) oraz brak informacji chociażby o temperaturze podłoża, nad którym prowadzone były pomiary mogą nie oddawać pełnego obrazu kształtujących się warunków biometeorologicznych. Jednakże taka metodyka badań daje możliwość, w dalszym etapie, modelowania kształtowania się warunków biometeorologicznych na terenie miasta z wykorzystaniem technik dostarczanych przez GIS.



Ryc. 91. Rozkład wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) we Wrocławiu 01.04.2004 w godz. 11-12 GMT. Górny wykres ilustruje typy użytkowania terenu wzdłuż profilu pomiarowego

Fig. 91. Course of selected meteorological parameters (t , v) and biometeorological indices (STI [°C], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximum Time of Exposure) in Wrocław (01.04.2004, 11-12 GMT) collected during measuring session across city (from South to North). Upper diagram is presented types of land-use passed through during session

10. Podsumowanie i wnioski

Intensywnie zmodyfikowane obszary zurbanizowane charakteryzują się specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi środowiska. Ma to bezpośredni wpływ na kształtowanie się stosunków klimatycznych. Dość dobrze rozpoznane i zbadane zjawiska występujące na terenie miasta takie jak: miejska wyspa ciepła, miejskie jezioro chłodu czy miejska wyspa wilgoci, mają istotny wpływ na kształtowanie się właściwości biometeorologicznych. Celem niniejszej analizy było: zbadanie i określenie warunków biometeorologicznych jakie występują na obszarze miasta, określenie oddziaływania wybranych typów zabudowy na kształtowanie się warunków biometeorologicznych oraz określenie rozkładu czasowego i przestrzennego wybranych wskaźników biometeorologicznych. Powyższe cele zostały zrealizowane w oparciu o dane meteorologiczne zgromadzone w Obserwatorium Zakładu Meteorologii i Klimatologii Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego w latach 1981-2000. Pozwoliło to na opracowanie kompleksowej charakterystyki bioklimatycznej Wrocławia uwzględniające zagadnienie bodźcowości klimatu lokalnego, określenie prawidłowości przebiegu rocznego kompleksowych wskaźników bioklimatycznych w odpowiednich skalach odczuwalności termicznej oraz częstości występowania sytuacji korzystnych i niekorzystnych dla człowieka.

Wpływ miasta na modyfikację warunków biometeorologicznych określono na podstawie oryginalnych danych meteorologicznych zgromadzonych przy wykorzystaniu automatycznych stacji meteorologicznych zlokalizowanych w wybranych typach zabudowy w okresie 7.04.2001-31.07.2004. W badaniach tych zastosowano również mobilną stację meteorologiczną – przy jej pomocy przeprowadzono szereg przejazdów patrolowych. Ponadto w okresie 1.11.2003-31.10.2004 przeprowadzono serie pomiarów temperatury odczuwalnej przy pomocy miernika odczuć cieplnych. Zgromadzone w ten sposób dane posłużyły do określenia:

- prawidłowości cyklu dobowego i rocznego określonych wskaźników biometeorologicznych uzyskanych metodami obliczeniowymi i pomiarowymi,
- częstości występowania klas odczuć określonych wskaźników biometeorologicznych w daytime i nocnej porze doby,
- struktury bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (w cyklu dobowym i rocznym),
- rozkładu przestrzennego wybranych wskaźników biometeorologicznych obliczonych na podstawie pomiarów patrolowych.

Przeprowadzona analiza warunków bioklimatycznych występujących na terenie aglomeracji Wrocławia pozwoliła stwierdzić, że:

- duża zmienność ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności powietrza wiosną i jesienią wywołują istotne zmiany ilości tlenu w powietrzu atmosferycznym, co przejawia się dużą częstością pojawiania się „ostrych” zmian jego zawartości szczególnie między terminem obserwacyjnym południowym a porannym
- cechą charakteryzującą ciepłą porę roku jest duża częstość występowania znacznych amplitud dobowych temperatury powietrza odczuwanych przez człowieka jako „ostre” - obserwowane jest to w ok. 55% dni tego okresu (w chłodnej połowie roku ta klasa zmian występuje w ok. 15% dni z minimum w grudniu)
- możliwość wystąpienia sytuacji z odczuciem parności w trakcie południowej obserwacji istnieje w okresie od maja do września (6% wszystkich dni roku) co potwierdził zarówno prosty wskaźnik parności, jakim jest kryterium Sharlau’a, jak również wskaźnik stresu cieplnego (HSI) - ten ostatni wskaźnik identyfikuje dni z parnością również w kwietniu i październiku, lecz wystąpiło to tylko kilkakrotnie w okresie 1981-2000

- średnio, w ciągu całego roku dominującym strumieniem wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem jest strumień konwekcyjny, następnie ewaporacyjny, trzeciorzędne znaczenie ma strata ciepła w postaci promieniowania długofalowego a najmniejszy udział w stratach ma strumień respiracyjny
- w okresie od czerwca do sierpnia zmniejsza się udział ilości ciepła traconego przez organizm człowieka drogą konwekcyjną a dominuje ewaporacyjny strumień straty ciepła
- w miesiącach letnich możliwe są sytuacje pogodowe, w których strumień konwekcyjnych strat ciepła przyjmuje wielkość dodatnia - świadczy to o ogrzewaniu się powierzchni organizmu w wyniku kontaktu z rozgrzanym powietrzem (w ciągu badanego dwudziestolecia miało to miejsce w 16 dniach)
- na podstawie biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji typów pogody wyodrębniono we Wrocławiu w latach 1981-2000 97 typów, podtypów i klas pogody z czego 22 z nich zaobserwowano w 1,0% i więcej dni badanego okresu
- ochładzanie biologiczne (inaczej wielkość ochładzająca powietrza) osiąga najmniejsze wielkości w centrum a największe w niezabudowanej części miasta. Jego zróżnicowanie jest największe w miesiącach zimowych a najmniejsze w letnich
- wydzielony na podstawie wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS) okres z warunkami termoneutralnymi (uwzględniając średnie wielkości dobowe) jest najdłuższy w centrum miasta a na stacji zlokalizowanej w terenie niezabudowanym jest on krótszy o prawie siedem tygodni. Na osiedlach: z luźną zabudową złożoną z domów wolnostojących (Biskupin) i z wielokondygnacyjnymi blokami mieszkalnymi (okolice ul. Orzechowej) warunki termoneutralne pojawiają się miesiąc później niż w centrum miasta oraz kończą się tydzień wcześniej
- wielkości wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS) obserwowane w chłodnej połowie roku na Biskupinie i przy ul. Orzechowej są do siebie mocno zbliżone, lecz w okresie lata (w lipcu i sierpniu) stają się one odmienne (szczególnie w nocnej porze doby): warunki termofizjologiczne w tej pierwszej lokalizacji zaczynają upodabniać się do tych jakie występują na obszarze podmiejskim (na Strachowicach). Natomiast wskaźnik stresu termofizjologicznego na osiedlu z wielokondygnacyjnymi blokami mieszkalnymi przyjmuje wielkości zbliżone do tych, jakie obserwuje się w centrum miasta.
- w centrum miasta organizm człowieka jest w ciągu całego roku w 30% czasu dziennej pory doby pod wpływem termofizjologicznego stresu zimna, który na obszarze niezabudowanym pojawia się w 50% czasu dnia
- najczęściej stany parności obserwuje się we Wrocławiu w centrum miasta, w lipcu i sierpniu - wówczas wskaźnik stresu cieplnego (HSI) identyfikuje te stany w połowie czasu dnia i nocy. Najrzadziej takie sytuacje występują w ciągu dziennej pory doby na obszarze niezabudowanym, natomiast w nocy na osiedlu z niską, zabudową rezydencjonalną
- w centrum miasta w ciągu dnia parność może pojawiać się już w marcu a po raz ostatni obserwuje się taki stan w październiku
- w godzinach porannych w cieplej połowie roku centrum miasta charakteryzuje się wyraźnie niższą temperaturą odczuwalną, lecz już od godz. 9:30 następuje jej szybki wzrost i po upływie jednej godziny obszar ten staje się wyraźnie cieplejszy w porównaniu z terenem podmiejskim. Po ponad sześciogodzinnym uprzywilejowaniu termicznym centrum miasta ponownie obserwuje się większy spadek temperatury odczuwalnej w centrum miasta niż na niezabudowanym obszarze podmiejskim. Wiąże się to z ograniczonym dopływem krótkofalowego promieniowania słonecznego, które w centrum miasta, przy małych wysokościach Słońca nad horyzontem, nie dociera do powierzchni - dominuje wówczas strumień promieniowania rozproszonego mający o wiele mniejsze natężenie.
- w sytuacjach ze słoneczną pogodą, przy niewielkich prędkościach wiatru i umiarkowanej temperaturze powietrza (jakie występowały np. 23.03.2003) możliwe jest kształtowanie się na obszarach z intensywną, zwartą zabudową śródmiejską warunków biometeorologicznych, które umożliwiają sześciokrotnie dłuższy okres przebywania w nich niż na, będących w stosunkowo niewielkiej odległości, terenach o małej intensywności zabudowy (obszary nadrzeczne, przemysłowe i podmiejskie)
- zróżnicowane typy zabudowy na terenie miasta oddziałują znacznie na kształtowanie się warunków bioklimatycznych: w okresie letnim, kiedy możliwe jest pojawianie się warunków pogodowych sprzyjających dyskomfortowi gorąca (związanymi z adwekcjami ciepłych mas powietrza) w centrum miasta, charakteryzującym się zwartą zabudową, dochodzi do występowania sytuacji, w których organizm człowieka poddawany jest stresowi gorąca, podczas kiedy na obszarze niezabudowanym (odległym o 10-15 km) obserwuje się warunki termoneutralne. W chłodnej porze roku zwarta zabudowa centrum miasta wpływa łagodząco na warunki bi-

ometeorologiczne: ograniczona prędkość wiatru spowodowana dużą szorstkością podłoża czy wyższa temperatura powietrza sprawia, że warunki termoneutralne występują tutaj kilkukrotnie częściej niż na położonym w niewielkiej odległości obszarze niezabudowanym.

- zróżnicowanie warunków biometeorologicznych w różnych typach użytkowania terenu są największe w przypadkach cyrkulacji północnej i północno-wschodniej cyklonalnej (Nc+NEc) - różnice średnich dobowych wielkości wymiany ciepła układu człowiek-środowisko między terenami o zróżnicowanych typach zabudowy a obszarem podmiejskim dochodzą wówczas do 30-40 W/m² (o tyle organizm człowieka traci więcej ciepła niż uzyskuje w terenie niezabudowanym). Natomiast te różnice są najmniejsze w sytuacjach centralnych, antycyklonalnych oraz wówczas, kiedy nad obszarem Polski znajduje się klin wyżowy (Ca+Ka) - nie przekraczają one wtedy 10 W/m²

Przeprowadzona analiza kształtowania się warunków bioklimatycznych na terenie miasta pozwoliła zidentyfikować między innymi najbardziej niekorzystne sytuacje, które postrzegane są przez człowieka jako szczególnie uciążliwe. Określenie ich walorów jakościowych było możliwe dzięki zastosowaniu wybranych wskaźników biometeorologicznych, których formuły matematyczne uwzględniają różne elementy meteorologiczne. Zgrupowanie wskaźników w różnych klasach (w tzw. skalach odczuć) i zaprezentowanie częstości ich występowania umożliwiło ocenę ilościową sytuacji korzystnych bądź niekorzystnych. Ta informacja jest niezwykle cenna, ponieważ umożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących sytuacji pogodowych, w których duża liczba osób jest ekspozycyjnych na warunki meteorologiczne.

Badania warunków bioklimatycznych prowadzone w dużych miastach pozwoliły określić jak istotnie zmodyfikowane antropogenicznie środowisko obszarów zurbanizowanych wpływa na odczucia termiczne u ludzi przebywających tam. Szczególnie niekorzystne warunki biometeorologiczne panują w miastach w okresie letnim – wygenerowana wówczas miejska wyspa ciepła wydłuża znacznie okres, w którym organizm człowieka poddawany jest termofizjologicznemu stresowi ciepła. Dodatkowym elementem potęgującym te doznania jest znacznie osłabiona prędkość wiatru –zwarta zabudowa śródmiejska skutecznie hamuje ruchy powietrza. W okresach chłodnej połowy roku może to mieć dość pozytywne znaczenie – zmniejszona prędkość wiatru ogranicza odczucia chłodu. W tym czasie na obszarze podmiejskim (latem miejsce wymarzone do odpoczynku i rekreacji) pojawiają się dość niekorzystne warunki biometeorologiczne: silny wiatr, niższa niż w centrum temperatura powietrza są odpowiedzialne za doznawanie odczucia zimna. Niewątpliwie prędkość wiatru ma korzystny wpływ na poprawę jakości powietrza, co może być korzystne dla osób z chorobami układu oddechowego. Te elementy klimatu odczuwalnego powinni uwzględniać wszyscy ci, którzy decydują się na wybór miejsca zamieszkania.

Literatura

- Ajzenštat B.A.**, 1973, Bioklimatičeskij atlas Srednej Azii, Gidrometeoizdat, Moskva
- Alcoforado M-J., Lopes A.**, 2003, Wind fields and temperature patterns in Lisbon (Portugal) and their modification due to city growth. Proceedings of ICUC 5, Łódź 05-09.09.2003., 383-386.
- Bajbakowa E. M., Nevraev G. A., Čubukov L. A.**, 1963, Metodika analiza klimata kurortov i meteorologiceskich uslovij klimatoterapii, [w:] Očerki po klimatologii kurortov, Moskwa, 5-42.
- Baranowska M., Boniecka-Żółcik H., Gurba A.**, 1986, Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski, Przegl. Geofiz., 31, 1, 27-40.
- Bartosik J., Baścik J., Czerwieniec M., Lewińska J., Zgud K.**, 1982, Wpływ miasta na klimat lokalny (na przykładzie Aglomeracji Krakowskiej), Wydawnictwo Inst. Kształtowania Środowiska, Warszawa, s. 106.
- Bedford T, Warner C.**, 1934, The globe thermometer in studies of heating and ventilation, Journal of Hygiene, 34, 458-473.
- Belding H.S.**, 1949, Protection against dry cold, Physiology of heat regulation and the science of clothing, WB Saunders Company, 351-367
- 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.
- Bińkowska I.**, 2001, Promenada Staromiejska [w:] Encyklopedia Wrocławia, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 676.
- BioKlima® 2.2**, Pakiet programu, www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/bioklima.htm
- Bjorn E.**, 2000, Simulation of human respiration with breathing thermal manikin, Proceeding of the third International Meeting on Thermal Manikin Testing, 3IMM (red.: Nilsson H., Holmer I) Arbete&Kaelsa 2000:4, 78-82.
- Błażejczyk K.**, 1983, Bioklimatologiczna ocena i typologia uzdrowisk Polski, Dok. Geogr., IGiPZ PAN, 3.
- Błażejczyk K.**, 1990, Nowy wskaźnik bioklimatyczny do określenia odczuwalności cieplnej człowieka, Probl. Uzdrowiskowe, 5-6, 59-72.
- Błażejczyk K.**, 1991, Heat balance of the human body in different weather conditions in North-East Poland (the problem of heat stress), Grana, (Stockholm), 277-280.
- Błażejczyk K.**, 1993, Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 159.
- Błażejczyk K.**, 1994, New Climatological-an-Physiological Model of Man-Environment Hot Exchange (MENEX) and its Application in Bioclimatological Studies, Zesz. IGiPZ PAN, 29, 28-58.
- Błażejczyk K.**, 1995, Fizyczne znaczenie promieniowania słonecznego dla człowieka [w:] B. Krawczyk, K. Błażejczyk (red), Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą, Conf. Papers IGiPZ PAN, 23, 61-68
- Błażejczyk K.**, 1998, Promieniowanie słoneczne a gospodarka cieplna organizmu człowieka, Zesz. IGiPZ, 51, s. 85.
- Błażejczyk K.**, 2000, Influence of extremal hot waves on man, Pr. Geogr. Inst. Geogr. UJ, 108, 101-108.
- Błażejczyk K.**, 2001a, Bilans cieplny człowieka jako narzędzie badań bioklimatycznych, Przegl. Geogr., 73, 4, 535-554.
- Błażejczyk K.**, 2001b, 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, 1-20.
- Błażejczyk K.**, 2002, Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej, *Dokumentacja Geograficzna*, 26, s. 160
- Błażejczyk K.**, 2003, Biotermiczne cechy klimatu Polski, *Przegl. Geogr.*, 75, 4, 525-543.
- Błażejczyk K.**, 2004, Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce, *Pr. Geogr.*, 192, s. 291
- Błażejczyk K., Błażejczyk M.**, 2003, BioKlima® for Windows wersja 2.2, *program komputerowy*
- Błażejczyk K., Krawczyk B.**, 1991, The influence climatic conditions on the heat balance of the human body, *Int. J. Biomet.* 35, 103-106.
- Błażejczyk K., Holmer I., Nilsson H.**, 1998, Absorption of solar radiation by an ellipsoid sensor simulated the human body, *Appl. Human Sci.*, 17 (6), 267-273.
- Błażejczyk K., Tokura H., Bortkiewicz A., Szymczak W.**, 2000, Solar radiation and thermal physiology in man [w:] *Biometeorology and urban climatology at the turn of millennium*, Selected papers from the Conference ICB-ICUC '99 WMO, Genewa, 267-271.
- Błażejczyk K., Twardosz R., Kunert A.**, 2003, Zmienność warunków biotermicznych w Krakowie w XX wieku na tle wahań cyrkulacji atmosferycznej, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, *Prace Geogr. IGiPZ PAN*, 188, 233-246.
- Bogucki J., Dąbrowska A., Tyczka S., Wnuk B.**, 1999, *Biometeorologia turystyki i rekreacji*, AWF w Poznaniu, seria: Podręczniki, nr 48, s. 347.
- Bokša V. G., Boguckij B. V.**, 1966, *Klimatoterapija (rukovodstvo dla vračej)*, Izd. Zdorowe, Kiev.
- Bokša V. G., Boguckij B. V.**, 1980, *Medicinskaja klimatologija i klimatoterapija*, Izd. Zdorove, Kiev.
- Bornstein R. D., Johnson D. S.**, 1977, Urban – rural wind velocity differences, *Atmos. Environ.*, 11, 7.
- Bortkiewicz A., Kubacki R., Sobiczewska E., Szmigielski S.**, 2001, Zaburzenia regulacji neurowegetatywnej układu krążenia u osób narażonych na działanie radiofal 10-50 MHz, [w:] *Referaty i doniesienia z I Międzynarodowej Konferencji Naukowej Agrolaser 2001 o Oddziaływaniu pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze*, Lublin, 26-28.09.2001, 89-93.
- Brohus H., Nielsen P.**, 1996, CFD Models of Persons Evaluated by Full-Scale Wind Channel Experiments, *Proceedings of the 5th International conference on air distribution in rooms (ROOMVENT '96)*, Yokohama, Japan, 137-1444
- Bułat A.**, 1992, Zachmurzenie w mieście i w terenie pozamiejskim na przykładzie Krakowa i Gaik Brzozowej, *Zesz. Nauk. UJ Prace Geograficzne*, z. 90.
- Buchert L.**, 1994, Występowanie mas powietrza, frontów atmosferycznych oraz układów barycznych nad Poznaniem w latach 1965-1980, *Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, t. XLV, Seria A, *Geografia Fizyczna*, 43-52.
- Burton A.C., Edholm O. G.**, 1955, *Man in a cold environment*, E. Arnold Publ., Londyn
- Buxon A., Zhubrin S., Daanen H.**, 2003, The QinetiQ virtual manikin - Incorporation of a thermophysiological model, *Proceedings of the 5th International meeting on thermal manikins and modelling*, 5IMM, Strasbourg, France (dostępny w internecie na stronie: www.cepa.c-strasbourg.fr)
- Cena K.**, 1974, Radiative heat loss from animals and man [w:] Mount L.E., Monteith (red) *Heat loss from animals and man*, Butterworths, Londyn, 33-58.
- Cena M., Gregorczuk M.**, 1966, Rozkład temperatury ekwiwalentnej na obszarze Polski, *Rocznik Nauk Rolniczych*, D, 119, 149-168.
- Chrzanowski J.**, 1988, Pokrywa śnieżna w Polsce, klasyfikacja jej grubości i regionalizacja, *Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologiczna*, nr 15, Warszawa
- Chudzia D., Ropuszyński P.**, 1998, Automatyczne stacje meteorologiczne w badaniach klimatu miasta, *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.*, 3, 495-497.
- Clark R.P., Edholm O.G.**, 1985, *Man and his thermal environment*, E. Arnold Ltd., Londyn
- Czerwiński J.**, 2001a, *Geograficzne położenie* [w:] *Encyklopedia Wrocławia*, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 221.
- Czerwiński J.**, 2001b, *Środowisko przyrodnicze* [w:] *Encyklopedia Wrocławia*, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 829.
- Czerwiński J.**, 2002, *Wrocław - przewodnik*, Eko-graf, Wrocław, s. 264.
- de Dear R., Arens E., Hui Z.**, 1997, Convective and radiative heat transfer coefficients for individual human body segments, *Int. J. of Biometeorology*, nr 40, 141-156

- de Dear R., Pickup J.**, 2000, An Outdoor Thermal Environment Index (OUT_SET*) - Part II - Applications [w:] de Dear R., Kalma J., Oke T., Auliciems A., *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium, Selected Papars from the Conference ICB-ICU '99* (Sydney, 8-12.11.1999), WMO, Geneva, WCASP-50, 258-290
- Dozen Y.**, 1989, Studies of the heat and moisture transfer through clothing using a sweating thermal manikin, *Thermal Physiology*, Mercer JB ed, Excerpta Medica, 519-524.
- Driscoll D.M.**, 1992, Thermal Comfort Indexes. Current Uses and Abuses, *National Weather Digest*, 17 (4), 33-38.
- Drzeniecka A., Dubicka M., Netzel P., Pyka J.L., Rosiński D., Sikora S., Szymanowski M.**, 2003, System of the meteorological measurements in the city of Wrocław climate researches, *Acta Univ. Wratisl.*, 2542, *Stud. Geogr.* 75, Wrocław, 599-608.
- Dubaniewicz H., Nurek T., Zawadzka A.**, 1988, *Biometeorologia turystyki, Wybrane zagadnienia z biometeorologii człowieka*, cz. 1, AWF, Gdańsk
- Dubaniewicz H., Nurek T., Zawadzka A.**, 1989, *Biometeorologia turystyki, Wybrane zagadnienia z biometeorologii człowieka*, cz. 2, AWF, Gdańsk
- Dubicka M.**, 1991, Opady atmosferyczne we Wrocławiu i ich związek z cyrkulacją atmosfery, *Acta Univ. Wratisl.*, ser. A, *Geogr. Fiz.*, vol 6, 55-84
- Dubicka M.**, 1994, Wpływ cyrkulacji atmosfery na kształtowanie warunków klimatu (na przykładzie Wrocławia), *Acta Universitatis Wratislaviensis* No 1581, *Studia Geograficzne LX*, Wrocław, s. 295.
- Dubicka M.**, 1996, Termiczne pory roku we Wrocławiu, *Acta Univ. Wratisl.*, 1794, *Prace Inst. Geogr. ser. C, Meteorol. i Klimatol.*, vol. 3, 5-31
- Dubicka M., Pyka, J. L.**, 2001: Wybrane zagadnienia klimatu Wrocławia w XX wieku. *Prace i Studia Geogr. Wydz. Geogr. i Stud. Region. UW.*, 29, 101-112
- Dubicka M., Szymanowski M.**, 2000, Struktura miejskiej wyspy ciepła i jej związek z warunkami pogodowymi i urbanistycznymi Wrocławia, *Acta Univ. Wratisl.*, 2269, *Stud. Geogr.* 74, 99-118.
- Dubicka M., Szymanowski M.**, 2003, Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu – struktura przestrzenna i czasowa, [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, *Prace Geogr.*, IGiPZ PAN, 188, 145-165
- Dubicka M., Rosiński D., Szymanowski M.**, 2003, The influence of the urban environment on the air humidity in Wrocław, *Acta Univ. Wratisl.*, 2542, *Stud. Geogr.* 75, Wrocław, 504-527.
- Dubicka M., Sikora.**, 2003, Influence of the city on the structure of the net heat storage – Wrocław as an example, *Proceedings of ICUC 5*, Łódź 05-09.09.2003., 173-176.
- Dubicka M., Dubicki A., Szymanowski M.**, 2002, *Klimat Wrocławia*, [w:] *Środowisko Wrocławia - Informator 2002*, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław, 9-25.
- Dozen Y.**, 1989, Studies of the heat and moisture transfer through clothing using a sweating thermal manikin [w:] *Thermal Phisiology*, (red.: Mercer J.B), wyd.: Excerpta Medica, 519-524.
- Fan J.**, 2003, New Functions and Applications of "Walter"-Sweating Fabric Manikin, *Proceedings of the 5th International meeting on thermal manikins and modelling*, 5I3M, Strasbourg, France (dostępny w internecie na stronie: www.cepa.c-strasbourg.fr)
- Fan J., Keighly J.**, 1991, An investigation on the effects of: Body motion, clothing design and environmental conditions on the clothing thermal insulation by using fabric manikin, *International Journal of clothing sciences and technology*, MCB University Press, vol. 3, nr 5, 6-13.
- Fanger P.O.**, 1974, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa
- Fiala D., Lomas K., Stohrer M.**, 1999, A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system, *J. of Appl. Physiology*, 87 (5) 1957-1972.
- Flemming G.**, 1983, *Klimat - środowisko - człowiek*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa
- Fortuniak K.**, 1994, Wpływ aglomeracji łódzkiej na usłonecznienie stacji Łódź-Lublinek, *Przeegl. Geofiz.*, 39, 1-2, 169-178.
- Fortuniak K.**, 2003, Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne, Wyd. UŁ, Łódź, 233.
- de Freitas C.R.**, 1985, Assessment of human bioclimate based on thermal response, *Int. J. of Biometeorology*, 29, 97-119.
- de Freitas C.R., Ryken M.G.**, 1989, Climate and physiological heat strain during exercise, *Int. J. of Biometeorology*, 33, 157-164

- Fujibe F.**, 1988, Weekday – weekend differences of urban climates. Part 3. Temperature and wind fields around Tokyo and Osaka. *J. Meteor. Soc. Jap.*. Ser. II, Vol. 66, 2.
- Gagge A., Fobelets A., Berglund L.**, 1986, A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, *ASHRAE Transactions*, t. 92, cz. 2, 709-731, (dostępny w internecie na stronie: www.ashrae.org)
- Gagge A., Stolwijk A., Nishi Y.**, 1971, An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response, *ASHRAE Transactions*, t. 77, 247-257, (dostępny w internecie na stronie: www.ashrae.org)
- Givoni B.**, 1976, *Man, Climate and Architecture*, Appl. Sci. Publishers, Londyn, 483.
- Gocek T.**, 1973, Nomogram zawartości wagowej tlenu w g/m^3 w zależności od ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza w Polsce, *Prob. Uzdrow.*, 5 (71), 153-163.
- Goldreich Y.**, 1975, Observations on the urban humidity island in Johannesburg, *Isr. J. Earth. Sci.*, 23
- Gomes M. da G., Rodriques A.M., Mendes P.**, 2003, Wind effects on and around L- and U-shaped buildings, *Proceedings of ICUC 5*, Łódź 05-09.09.2003., 395-398
- Gregorczyk M.**, 1966, Ciepły wpływ promieniowania słonecznego na człowieka, *Przegl. Geofiz.*, 11, 2, 119-128.
- Gregorczyk M., Leśko R.**, 1970, Temperatury efektywne i radiacyjno-efektywne na obszarze Polski, *Przegl. Geofiz.*, 15 (23), 4, 339-349.
- Hage K. D.**, 1975, Urban-rural humidity differences, *J. Appl. Meteorol.*, 14, 1277-1283.
- Hess M., Olecki Z.**, 1990, Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stosunki radiacyjne w Krakowie, *Zesz. Nauk. UJ., Pr. Geogr.*, 77
- Hill L.**, 1914, Report on ventilation and effect of open air wind on the respiratory metabolism, *Rept. Loc. Gov. Bd. Publ. Health N. S.*, 100
- Holmer I.**, 1995, Heated manikins as a tool for evaluating clothing, *Annals of Occupational Hygiene*, t. 3, cz. 6, 809-818
- Holmer I.**, 1999, Thermal manikins in research and standards, *Proceedings of the third International Meeting on Thermal Manikin Testing, 3IMM*, (red.: Nilsson H., Holmer I) *Arbete&Hälsa* 2000:4, 59-65.
- Holmer B., Eliasson I.**, 1999, Urban-rural vapour pressure differences and their role in the development of urban heat islands, *Int. J. Climatol.*, 19, 989-1009
- Hoeppe P.**, 1982, Physikalischen Prinzipien in der Biometeorologie, *Promet Met. Fortbild.*, 3/4, 4-9.
- Hoeppe P.**, 1984, Die Energiebilanz des Menschen, *Wiss. Mitt. Met. Inst. Univ. Muenchen*, 49
- Hoeppe P.**, 1993, Heat balance modelling, *Experientia*, 49, 741-746.
- Hoeppe P.**, 1999, The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *Int. J. of Biometeorology*, 43, 71-75
- Houghten F., Yagloglou C.**, 1923, Determining equal comfort lines, *Journal of ASHVE, USA*, t. 29, 165-176
- Ichihara M., Saitou M., Nishimura M., Tanabe S.**, 1996, Measurement of convective and radiative heat transfer coefficients of standing human body by using a thermal manikin, *Proceedings of Indoor Air '96: International Conference on Indoor Air Quality & Climate*, Nagoya, Japan, t. 2, 559-564
- Janiszewski F.**, 1998a, Instrukcja dla stacji meteorologicznych, IMGW-Wyd. Geologiczne, Warszawa
- Janiszewski F.**, 1998b, Wskazówki dla posterunków meteorologicznych, IMGW, Warszawa
- Janiszewski S.**, 2001a, Śródmiejski Węzeł Wodny [w:] *Encyklopedia Wrocławia*, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 829.
- Janiszewski S.**, 2001b, Wrocławski Węzeł Wodny [w:] *Encyklopedia Wrocławia*, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 920.
- Jankowiak J.** 1964, Effect of wind on man, *Med. Clim. Physical Medicine Library*, New Haven, USA, 343-357.
- Jankowiak J.** (red), 1976, *Biometeorologia człowieka*, PZWL Warszawa, 187.
- Jendritzky G.**, 2004, UTCI - The Universal Thermal Climate Index, prezentacja w ramach spotkania uczestników programu COST, 22-23.04.2004, Langen
- Jendritzky G., Maarouf A., Fiala D., Staiger H.**, 2002, An Update of the Development of a Universal Thermal Climate Index, *Proceedings of 15th Conference of Biometeorology and Aerobiology [in:] 16th International Conference of Biometeorology '02*, Kansas City, 129-133

- Jendritzky G., Graetz A., Koppe C., Laschewski G.**, 2003, How to deal with the urban development, urban climate, human health effect relationship - a contribution to methodology, Proceedings of ICUC 5, Łódź 05-09.09.2003., t. 2, 46-50
- Kaciuba-Uściłko M.**, 1990, Termoregulacja, [w:] Tkaczyk A. (red) Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej, PZWL, Warszawa
- Kaszewski B.M., Siwek K.**, 1998, Cechy przebiegu dobowego temperatury powietrza w centrum i na peryferiach Lublina, Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 3, 213-220
- Klemm K.**, 2003, Application of CFD to Urban Wind Climate, Proceedings of ICUC 5, Łódź 05-09.09.2003., 423-426
- Kohri I, Moschida T.**, 2002, Evaluation Method of Thermal Comfort in a Vehicle with a Dispersed Two-Node Model. Part 1 - Development of Dispersed Two-Node Model, J. of Human-Environmental System, t. 6, nr 1, 19-29
- Kolendowicz L.**, 1994, Typy cyrkulacji a występowanie dni z burzą w Gorzowie Wielkopolskim i Kołobrzegu w latach 1951-1990. Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią, t. XLV, Seria A, Geografia Fizyczna, Poznań
- Kolendowicz L.**, 1997, Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z burzą a napływ powietrza z określonych kierunków nad Polskę Północno-Zachodnią w latach 1951-1990, Przegląd Geograficzny, t. LXIX, z. 1-2, Warszawa
- Kondracki J.**, 2000, Geografia regionalna Polski, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 441.
- Kosiba A.**, 1948, Klimat ziem śląskich, Katowice-Wrocław
- Kosiba A.**, 1979, Klimat Wrocławia w 1965 r. i jego anomalie. Prace Obserw. Met. i Klim. Uniw. Wrocł., nr 20 (1965), Acta Univ. Wratisl. No 395
- Kossowska-Cezak U.**, 1998, Wpływ rozwoju terytorialnego Warszawy na warunki termiczne, Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 3, 51-57.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M.**, 2000, Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź, 259.
- Kowalenko H.**, 1976, Zarys historii biometeorologii [w:] Biometeorologia człowieka (red. Jankowiak J), PZWL Warszawa, 7-10.
- Kozłowska-Szczęsna T.** (red), 1985, Metody badań bioklimatu człowieka, Probl. Uzdrow., 1/2
- Kozłowska-Szczęsna T.** (red), 1986, Wyniki badań bioklimatu Polski cz. I, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 3.
- Kozłowska-Szczęsna T.**, 1988, Klimat Polski a zdrowie człowieka, [w:] Przemiany środowiska geograficznego Polski, Wszechnica PAN, Warszawa, 185-202.
- Kozłowska-Szczęsna T.** (red), 1991, Wyniki badań bioklimatu Polski cz. II, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 1.
- Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B.**, 1990, Klimatyczne uwarunkowania zdrowotności w Polsce, Conf. Pap., IGiPZ PAN, 9, 71-86
- Kozłowska-Szczęsna T., Grzędziński E.**, 1991, The influence of atmospheric environment upon the occurrence of accidents among construction workers, Urban Climate, Planning and Building, Lausanne, 749-753
- Kozłowska-Szczęsna T., Podogrocki J.**, 1995, Antropogeniczne zmiany warunków radiacyjnych w Warszawie, [w:] K. Kłysik (red), Klimat i bioklimat miast, Wyd. UŁ, 87-97.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K.**, 1998, Promieniowanie słoneczne i jego wpływ na organizm człowieka, Baln. Pol., 40, 1-2, 130-141.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B.**, 1997, Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski, Monografie IGiPZ PAN, 1, 200.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanówka D.**, 2002, Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie, Monografie IGiPZ PAN, 3, 611.
- Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B., Kuchcik M.**, 2004, Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka, Monografie IGiPZ PAN, 4, 194.
- Kożuchowski K.** (red), 2000, Pory roku w Polsce. Sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne, Łódź, 147.
- Krawczyk B.**, 1991, Próba typologii bioklimatu Polski na podstawie temperatury radiacyjno-efektywnej, Przegl. Geogr. 63, 1-2, 43-55.
- Krawczyk B.**, 1993, Typologia i ocena bioklimatu Polski na podstawie bilansu cieplnego ciała człowieka, Pr. Geogr. IGiPZ PAN, 160.

- Krawczyk B.**, 1995, Bioklimat Polski a możliwości klimatoterapii, wypoczynku i pracy na mokrym powietrzu, *Przegl. Geogr.*, 67, 1-2, 29-43
- Krawczyk B.**, 2000, Izolacyjność odzieży jako wskaźnik oceny warunków biotermicznych, *Baln. Polska*, 62, 3-4, 105-111.
- Krawczyk B.**, 2003, Stres ciepła - cecha bioklimatu Polski, [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, *Prace Geogr.*, 188, 283-294.
- Krawczyk B., Błażejczyk K.**, 1991, Wstępne badania bilansu cieplnego ciała człowieka na pustyni Kara-kum, *Przegl. Geogr.*, 63, 1/2, 143-154.
- Krys S.A., Brown R.D.**, 1990, Radiation absorbed by a vertical Cylinder in Complex Outdoor Environments Under Clear Sky Conditions, *Int. J. of Biometeorology*, 34, 69-75.
- Kuczmarski M.**, 1990, Usłonecznienie Polski i jego przydatność do helioterapii, *Dok. Geogr.*, z. 4.
- Kulak T.**, 2001, Historia Wrocławia [w:] *Encyklopedia Wrocławia*, Wyd. Dolnośląskie, Wrocław, 271
- Landsberg H.E.**, 1981, *The urban climate*, Academic Press, 285.
- Lebbin P., Hosni M., Gielda T.**, 2003, Design and manufacturing of two thermal observations manikins for automobile applications, *Proceedings of the 5th International meeting on thermal manikins and modelling*, 5I3M, Strasbourg, France (dostępny w internecie na stronie: www.cepa.c-strasbourg.fr)
- Lewińska J.**, 2000, *Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie.*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków, 151.
- Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Wiatrak W.**, 1990, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa, 171.
- Lewińska J. (red)**, 1991, *Klimat miasta. Vademecum urbanisty*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków, 168.
- Lien F-S., Yee E.** 2003, Modelling wind flow and turbulence through a large regular array of 3-D buildings using a distributed drag-force approach, *Proceedings of ICUC 5*, Łódź 05-09.09.2003., 347-350
- Liopo T. N., Cicenکو G. V.**, 1971, Klimaticeskie uslovija i teplovoje sostojanie celoveka, *Gidrometeoizdat*, Leningrad
- Macdonald R.W.**, 2000, Modelling the mean velocity profile in the urban canopy layer, *Boundary-Layer Meteorology*, 97, 25-45.
- Macdonald R.W., Ejim C.E.**, 2003, Flow and dispersion modeling in an array of 4:1 aspect ratio obstacles, *Proceedings of ICUC 5*, Łódź 05-09.09.2003., 351-354.
- Madsen T., Olesen B., Kristensen N.**, 1984, Comparison between operative and equivalent temperature under typical indoor conditions, *ASHRAE Transactions*, t. 90, cz. 1, 1077-1090, (dostępny w internecie na stronie: www.ashrae.org)
- Matuszko D.**, 1991, Rodzaje chmur nad Krakowem, *Zesz. Nauk. UJ Prace Geograficzne*, z. 83.
- Matuszko D.**, 1992, Wieloletnie zmiany zachmurzenia w Krakowie, *Zesz. Nauk. UJ Prace Geograficzne*, z. 88
- Mayer H.**, 1993, Urban bioclimatology, *Experientia*, 49, 957-963.
- Meinander H.**, 1992, Coppelius - a sweating thermal manikin for the assessment of functional clothing, *Proceedings of Nokobetef IV: Quality and usage of protective clothing*, Kittilä, Finland, 157-161
- Melikov A.**, 2003, Breathing thermal manikin for indoor environment assessment - Important characteristics and requirements, *Proceedings of the 5th International meeting on thermal manikins and modelling*, 5I3M, Strasbourg, France (dostępny w internecie na stronie: www.cepa.c-strasbourg.fr)
- Michna E.**, 1978, Z badań nad przestrzennym rozkładem i przebiegiem rocznym ciśnienia pary wodnej w Polsce, *Przegląd Geofizyczny*, t. 23 (31), z. 3.
- Missenard A.**, 1959, On thermally equivalent environments, *JHVE (Building Service, obecnie: Journal of CIBSE)*, Wlk. Brytania, t. 27, 231-237.
- Miszewska B.**, 1979, Elementy struktury morfologicznej Wrocławia, *Acta Univ. Wratislaviensis*, 438, Pr. Inst. Geogr., ser. B, 29-42.
- Mroczka A.**, 1992, Zróżnicowanie czasowe i przestrzenne wybranych wskaźników biometeorologicznych na terenie Krakowa, *Rocz. Nauk. AWF w Krakowie* 25, 309-337.
- Murakami S., Kato S., Zeng J.**, 1998, Numerical Simulation of Contaminant Distribution Around a Modelled Human Body: CFD Study on Computational Thermal Manikin - Part II, *ASHRAE Transactions*, t. 104, cz. 2, 226-233 (dostępny w internecie na stronie: www.ashrae.org)

- Narita K.**, 2003, Wind tunnel experiment on convective transport coefficient in urban street canyon, *Proceedings of ICUC 5*, Łódź 05-09.09.2003., 355-358.
- Niedźwiedź T.**, 1992, Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza Górnej Wisły (1986-1990), *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 90, 71-78.
- Niedźwiedź T.**, 2003, Częstość występowania mas powietrznych w Polsce południowej w drugiej połowie XX wieku, [w:] *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, *Prace Geograficzne* nr 188 (2003), 65-74.
- Niedźwiedź T.**, 2005, Kalendarz typów cyrkulacji dla Polski Południowej, (informacja niepublikowana, bezpośrednio od autora)
- Niedźwiedź T., Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z.**, 1984, Stosunki bioklimatyczne Krakowa, *Probl. Uzdr.* 1/2 (195/196), 143-151.
- Niedźwiedź T. (red)**, 2003, *Słownik meteorologiczny*, IMGW, Warszawa, 496.
- Nilsson H., Holmer I., Bohm M., Noren O.**, 1997, Equivalent temperature and thermal sensation - Comparison with subjective responses, *Proceedings of Comfort in the automotive industry - Recent development and achievements*, Bolonia, Włochy, 1, 157-162.
- Oke T.**, 1987, *Boundary Layer Climates*, 2nd edition, Londyn, 435.
- Olecki Z.**, 1992, Przezroczystość atmosfery w krakowskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej, *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 90
- Owczarek M.**, 2003, Odczuwalność cieplna w Gdyni w świetle wybranych wskaźników, *Wiad. IMGW*, 26, 4, 37-58
- Owczarowa. F., Byszewa I.W., Szwiejnowa T.G., Aleszina T.P.**, 1974 *Specjalizowany prognoz pogody dla medycznych celów i profilaktyki nieteopatycznych reakcji*, *Woprosy Kurortologii*, 2
- Papiernik Ż.**, 2004, Wskaźniki klimatu odczuwalnego w Polsce; zmiany w okresie 1951-2000 i prognoza na lata 2051-2060 [w:] K. Kozuchowski, *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Łódź, 174.
- Parczewski W.**, 1961, Nowa klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru dla opracowań klimatycznych i bioklimatycznych, *Wiad. Uzdrow.*, 1/2, 111-115.
- Parczewski W.**, 1964, *Fronty atmosferyczne nad Polską*, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, t. 7, z. 59.
- Parsons K.C.**, 2003, *Human thermal environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*, wyd.: Taylor & Francis, London, New York, 527.
- Podstawczyńska A., Fortuniak K.**, 1998, Wstępne wyniki pomiarów promieniowania całkowitego promieniowania krótkofalowego i promieniowania UV w Łodzi, *Acta Univ. Lodzensis, Folia Geographica Physica*, 3, 187-195.
- Pyka, J.L.**, 1991, Temperatura i opady atmosferyczne we Wrocławiu w latach 1881-1980. *Acta Univ. Wratisl.* no 1275, *Prace Inst. Geogr.*, ser A, vol. 6, 19-54
- Pyka J.L.**, 1998, Temperatura powietrza we Wrocławiu w latach 1981-1995, *Acta Univ. Wratisl.*, *Prace Inst. Geogr.*, Seria C, 5., 25-40.
- Rosiński D.**, 2005, Wpływ warunków meteorologicznych i użytkowania terenu na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie wilgotności powietrza we Wrocławiu, *maszynopis pracy doktorskiej* (dostępny w Internecie: <http://www.meteo.uni.wroc.pl/materialy/daros/>)
- Rózdzyński K.**, 1995, *Miernictwo meteorologiczne*, IMGW, Warszawa, t. 1.
- Rózdzyński K.**, 1996, *Miernictwo meteorologiczne*, IMGW, Warszawa, t. 2.
- Sikora S.**, 2003, Biometeorological conditions in Wrocław during the Summer 2001, *Acta Univ. Wratisl.*, 2542, *Stud. Geogr.* 75, Wrocław, 528-538.
- Sisterson D. L., Dirks R. A.**, 1978, Structure of the daytime urban moisture field, *Atm. Environment*, 12, 1943-1949
- Skrzypski J.**, 1974, Usłonecznienie i możliwości stosowania helioterapii w Krynicy, *Probl. Uzdrow.*, 9/10, 83-107.
- Skrzypski J.**, 1978, Bioklimat Krynicy w świetle krótkookresowych zmian ciśnienia powietrza i zawartości tlenu (O₂) w powietrzu, *Probl. Uzdrow.*, 6 (128), 57-146.
- Soltynski K.**, 2000, Test research of a new generation thermal manikin, *Proceedings of the third International Meeting on Thermal Manikin Testing*, 3IMM (red.: Nilsson H., Holmer I) 18-22 (dostępny w internecie na stronie: www.arbetslivsinstitutet.se)

- Steadman R.G.**, 1984, A Universal Scale of Apparent Temperature, *J. Climate and Appl. Meteor.*, 23, 1674-1687
- Szymanowski M.**, 2003(a), Modeling the Urban Heat Island of Wrocław, *Acta Univ. Wratisl.*, 2542, Stud. Geogr. 75, Wrocław, 493-503.
- Szymanowski M.**, 2004, Meteorologiczne i urbanistyczne uwarunkowania miejskiej wyspy ciepła we Wrocławiu, *Stud. Geogr.* 77, Wrocław, 229.
- Terjung W.H.**, 1966, Physiological climate of the conterminous United States: A bioclimate classification based on man, *Annales Association of American Geographers*, 56, 1, 141-179.
- Terjung W.H.**, 1970, Urban energybalance climatology: A preliminary investigations of the city-man system in downtown Los Angeles, *Geogr. Review*, 60, 44-53.
- Tromp S. W. (red)**, 1963, Medical biometeorology, Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-New York, 991.
- Unger J.**, 1999, Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary, *Int. J. Climatol.*, 19, 1509-1515
- Walczak W.**, 1970, Obszar przedsudecki, PWN, Warszawa, 415.
- Wawer J.**, 1995, Wpływ warunków pogodowych na intensywność miejskiej wyspy ciepła w Warszawie, [w:] K. Kłysik (red), *Klimat i bioklimat miasta*, Wyd. UŁ, 71-78
- Woś A.**, 1995, Zarys klimatu Polski, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 301.
- Woś A.**, 1999, *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 302.
- Wójcik, G.**, 1968, Intensywność ochładzania bioklimatycznego we Wrocławiu, *Dok. Geogr.*, IGiPZ PAN, vol. 6, 183

Spis rycin

- Ryc. 1. Współzależność między natężeniem bodźców zewnętrznych a reakcją organizmu (Flemming, 1983)
- Ryc. 2. Podstawowe elementy relacji energetycznej między człowiekiem a środowiskiem
- Ryc. 3. Model UBIKLIM do oceny warunków bioklimatycznych wybranego obszaru (Jendritzky i in., 2003)
- Ryc. 4. Zwarta zabudowa śródmiejska w centrum miasta (okolice stacji T)
- Ryc. 5. Osiedle wysokich bloków mieszkalnych (w pobliżu stacji O)
- Ryc. 6. Obszar podmiejski sąsiadujący z użytkami rolniczymi (stacja S)
- Ryc. 7. Cyfrowy model typów użytkowania terenu we Wrocławiu wraz z rozmieszczeniem automatycznych stacji meteorologicznych (S - Strachowice, B - Biskupin, T - ul. Teatralna, O - ul. Orzechowa; Szymanowski, 2004)
- Ryc. 8. Automatyczna stacja meteorologiczna wykorzystana do zgromadzenia informacji o wybranych elementach meteorologicznych
- Ryc. 9. Przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego we Wrocławiu w latach 1981-2000 w hPa
- Ryc. 10. Częstość [w %] występowania określonych klas zmian ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień we Wrocławiu (1981-2000): A – brak zmian, B – słabe, C – umiarkowane, D – silne, E – bardzo silne
- Ryc. 11. Średnia roczna zawartość tlenu (O_2) w powietrzu (w g/m^3) na podstawie danych z czterech terminów obserwacyjnych i średniej dobowej (lewy diagram) oraz średnie miesięczne zawartości O_2 w powietrzu (prawy diagram) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 12. Bodźcowość zmian zawartości tlenu w powietrzu między kolejnymi terminami obserwacyjnymi (a – 01-07; b – 07-13, c – 13-19, d – 19-01) i z dnia na dzień (e) we Wrocławiu w latach 1981-2000; (poszczególne kategorie oznaczają bodźce: A – obojętne, B – słabe, C – znaczące, D – ostre)
- Ryc. 13. Klasyfikacja prędkości wiatru (wg Parczewskiego, 1961) w głównych terminach obserwacyjnych (a – 01, b – 07, c – 13, d – 19 CET) i średniej dobowej (e) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (poszczególne kategorie oznaczają wiatr: A – cisza, B – bardzo słaby, C – słaby, D – umiarkowany, E – dość silny)
- Ryc. 14. Częstość [w %] występowania dni o określonym stopniu zachmurzenia (A – dni bezchmurne, B – dni z zachmurzeniem $\leq 50\%$, C – dni z zachmurzeniem = 100%) obserwowanego w terminach 07 CET (a), 13 CET (b), 19 CET (c) i średniej dobowej (d) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 15. Częstość [w %] występowania określonych klas przydatności do helioterapii (warunki: A – bardzo dobre, B – dobre, C – przeciętne, D – złe) na podstawie zachmurzenia obserwowanego w poszczególnych terminach: 07 (a), 13 (b), 19 (c) oraz średniego dobowego zachmurzenia (d) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 16. Przebieg roczny temperatury powietrza [$^{\circ}C$] we Wrocławiu w latach 1981-2000; (linia górna – Tmax, linia środkowa - T_i , linia dolna – Tmin; linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube - średnie konsekutywne 11-dniowe)
- Ryc. 17. Liczba dni charakterystycznych we Wrocławiu w latach 1981-2000 (wykres lewy: A – dni bardzo mroźne, B – dni mroźne, C – dni gorące, D – dni upalne; na wykresie prawym dni z $T_i \geq 15,0$)
- Ryc. 18. Częstość występowania [w %] klas odczuć termicznych (A – zimno, B – chłodno, C – ciepło, D – bardzo ciepło, E – gorąco) na podstawie średniej dobowej temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 19. Częstość [w %] bodźców termicznych na podstawie zmian temperatury między godzinami 07-13 i 13-19 (wykresy: a i b; bodźce: A - nieodczuwalne, B – słabo odczuwalne, C – umiarkowane, D – silne,

- E - bardzo silne), T_i z dnia na dzień oraz różnic $T_{max}-T_{min}$ (wykresy: c i d; bodźce A – obojętne, B – odczuwalne, C – znaczne, D - ostre) w poszczególnych dniach we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 20. Przebieg roczny ciśnienia pary wodnej (hPa; a), niedosytu wilgotności powietrza (hPa; b) i wilgotności względnej (%; c) we Wrocławiu w latach 1981-2000. Linie cienkie - średnie rzeczywiste, grube – średnie konsekwentne 11-dniowe, krzywe dolne reprezentują wartości minimalne, środkowe – średnie wartości a górne – wartości maksymalne
- Ryc. 21. Częstość występowania [w %] dni parnych we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 22. Częstość [w %] odczuć wilgotności w głównych terminach obserwacyjnych (01 – a, 07 – b, 13 – c, 19 – d) i na podstawie średniej dobowej wilgotności względnej (e) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 23. Średnie roczne (a) i średnie miesięczne (b) sumy opadów [w mm] we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 24. Miesięczne sumy opadów [w mm] we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 25. Grubość pokrywy śnieżnej [w cm] w kolejnych dniach w latach 1981-2000 (a), średnia grubość pokrywy dla poszczególnych dni z okresu 1981-2000 (b) i częstość [w %] dni z pokrywą śnieżną (c) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 26. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości temperatury ekwiwalentnej (T_e ; °C) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Leitsnera: 1 – parno, 2 – lekko parno, 3 – komfortowo, 4 – lekko chłodno, 5 – chłodno, 6 - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 27. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego temperatury ekwiwalentnej (T_e) w skali wg Leitsnera (A – zimno, B – chłodno, C – lekko chłodno, D – komfortowo, E – lekko parno, F – parno) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 28. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego T_e (w skali Michajłowa: A - bardzo zimno, B - zimno, C - chłodno, D - orzeźwiająco, E - komfortowo, F - ciepło, G - gorąco) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 29. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości temperatury efektywnej (T_e ; °C) z prawej strony zaznaczono przedziały skali odczuć termicznych (wg Michajłowa; 1 - gorąco, 2 - ciepło, 3 - komfortowo, 4 - orzeźwiająco, 5 - chłodno, 6 - zimno, 7 - bardzo zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 30. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wielkości ochładzającej powietrza (H) w skali według Kacvinsky'ego i Petroviča we Wrocławiu w latach 1981-2000 (litery oznaczają: A - upalnie, B - gorąco, C - łagodnie, D - przyjemnie chłodno, E - chłodno, F - zimno, G - bardzo zimno)
- Ryc. 31. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wielkości ochładzającej powietrza ($H; W/m^2$) z zaznaczonymi (prawa część wykresu) przedziałami skali odczuć termicznych (wg Kacvinsky'ego i Petroviča: 1 - nieznośnie zimno i wietrznie, 2 - bardzo zimno, 3 - zimno, 4 - chłodno, 5 - przyjemnie chłodno, 6 - łagodnie, 7 - gorąco, 8 - upalnie) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 32. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wartości przewidywanej termoizolacyjności odzieży (I_{clp}) (w skali skonstruowanej przez Błażejczyka: A - bardzo ciepło, B - ciepło, C - komfortowo, D - chłodno, E - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 33. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości przewidywanej termoizolacyjności odzieży (I_{clp} ; C_{lo}) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Błażejczyka: 1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - komfortowo, 4 - ciepło, 5 - bardzo ciepło) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 34. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wartości temperatury odczuwalnej (STI) (w skali skonstruowanej przez Błażejczyka: A - bardzo gorąco, B - gorąco, C - ciepło, D - komfortowo, E - chłodno, F - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 35. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości temperatury odczuwalnej (STI; °C) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Błażejczyka: 1 - bardzo gorąco, 2 - gorąco, 3 - ciepło, 4 - komfortowo,

- 5 - chłodno, 6 - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 36. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI; litery oznaczają poszczególne odczucia termiczne: A - skrajnie gorąco, B - gorąco, C - zbyt ciepło, D - komfortowo, E - chłodno, F - zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 37. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości wskaźnika ochładzania wiatrem ($WCI, W/m^2$) z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - komfortowo, 4 - zbyt ciepło, 5 - gorąco, 6 - skrajnie gorąco) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 38. Częstość [%] dni z określonym oddziaływaniem na układ termoregulacyjny człowieka wskaźnika stresu cieplnego (HSI; litery oznaczają: A - brak obciążenia cieplnego, B - umiarkowany stres gorąca, C - silny stres gorąca) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 39. Przebieg roczny 20-letnich średnich (krzywa środkowa), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI; w %) z zaznaczonymi przedziałami skali oddziaływania na układ termoregulacyjny człowieka (1 - maksymalny stres gorąca, 2 - bardzo silny stres gorąca, 3 - silny stres gorąca, 4 - umiarkowany stres gorąca, 5 - brak obciążeń cieplnych) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 40. Przebieg roczny wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 41. Udział (%) poszczególnych strumieni wymiany ciepła w sumie strat ($mC+mE+mL+mRes=100\%$) w poszczególnych miesiącach i w roku we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 42. Częstość [%] dni z określonym stopniem odczucia termicznego wartości salda wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem z godz. 13 (w skali skonstruowanej przez Błażejczyka: A - bardzo gorąco, B - gorąco, C - ciepło, D - komfortowo, E - chłodno, F - zimno, G - bardzo zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 43. Przebieg roczny średnich (krzywa w środku), minimalnych (krzywa dolna) i maksymalnych (krzywa górna) wartości salda wymiany ciepła [W/m^2] między człowiekiem a środowiskiem z zaznaczonymi przedziałami skali odczuć termicznych (wg Błażejczyka: 1 - bardzo gorąco, 2 - gorąco, 3 - ciepło, 4 - komfortowo, 5 - chłodno, 6 - zimno, 7 - bardzo zimno) we Wrocławiu w latach 1981-2000 (linie cienkie – średnie arytmetyczne, linie grube – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 44. Częstość [%] występowania określonych typów pogody (1 - pogoda zimna, 2 - pogoda chłodna, 3 - pogoda komfortowa, 4 - pogoda ciepła, 5 - pogoda gorąca, 6 - pogoda bardzo gorąca) w poszczególnych miesiącach we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Ryc. 45. Przebieg roczny wartości wskaźników przydatności poszczególnych typów pogody do określonych form rekreacji i turystyki we Wrocławiu w latach 1981-2000 ($A - WEI_{avgSB}$; $B - WEI_{avgAB}$; $C - WEI_{avgMR}$; $D - WEI_{avgAR}$). Z prawej strony na wykresach umieszczono skalę przydatności pogody do danej formy rekreacji: 1 – pogoda niekorzystna; 2 – pogoda umiarkowanie korzystna; 3 – pogoda korzystna; 4 – pogoda bardzo korzystna (linia cienka – średnie arytmetyczne, linia pogrubiona – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 46. Przebieg średnich wartości sumarycznego wskaźnika oceny (WEI_{tot}) we Wrocławiu w latach 1981-2000. Z prawej strony umieszczono skalę, w której poszczególnym wartościom przyporządkowano następującą ocenę: 1 – warunki niekorzystne, 2 – warunki umiarkowanie korzystne, 3 – warunki korzystne, 4 – warunki bardzo korzystne, 5 - warunki wybitnie korzystne (linia cienka – średnie arytmetyczne, linia pogrubiona – średnie konsekwentne 11-dniowe)
- Ryc. 47. Częstość [%] występowania różnic temperatury powietrza [dt, K] pomiędzy stacjami miejskimi a stacją pozamiejską, Wrocław, IV 2001 - VII 2004
- Ryc. 48. Różnice średnich miesięcznych wartości temperatury [K] (a), ciśnienia pary wodnej [hPa] (b) i prędkości wiatru [m/s] (c) między obszarem zabudowanym (T, O, B) i niezabudowanym (S) w ciągu dnia (I), nocy (II) i całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004

- Ryc. 49. Częstość poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej wg Niedźwiedzia w ciepłej (a) i chłodnej (b) połowie roku we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Ryc. 50. Średnie wartości temperatury powietrza (I) [t, °C], ciśnienia pary wodnej (II) [e, hPa] i prędkości wiatru (III) [v, m/s] w określonych typach cyrkulacji powietrza (wg Niedźwiedzia) w poszczególnych typach zabudowy w ciepłej (a, c, e) i chłodnej (b, d, f) połowie roku we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Ryc. 51. Częstości [%] występowania klas odczuć temperatury ekwiwalentnej (T_e) w dziennej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1- parno, 2 – umiarkowanie parno, 3 – komfortowo, 4 – umiarkowanie chłodno, 5 – chłodno, 6 – zimno
- Ryc. 52. Częstości [%] występowania klas odczuć temperatury ekwiwalentnej (T_e) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1- parno, 2 – umiarkowanie parno, 3 – komfortowo, 4 – umiarkowanie chłodno, 5 – chłodno, 6 – zimno
- Ryc. 53. Średni dobowy przebieg temperatury ekwiwalentnej (T_e , 0°C) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Linie poziome na wykresach oddzielają poszczególne klasy odczuć: 1- umiarkowanie parno, 2- komfortowo, 3- umiarkowanie chłodno, 4- chłodno, 5- zimno (odpowiednie numery znajdują się z prawej strony wykresu dla lutego)
- Ryc. 54. Średnie wartości T_e w określonych typach cyrkulacji (wg Niedźwiedzia) w ciepłej (a) i chłodnej połowie roku (b) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004.
- Ryc. 55. Roczny przebieg średnich wielkości ochładzania powietrza ($H, W/m^2$) w dziennej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Z prawej strony umieszczono skalę odczuć: 1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - umiarkowanie chłodno, 4 - komfortowo, 5 - gorąco (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-dniową)
- Ryc. 56. Częstości [%] występowania klas odczuć wielkości ochładzającej powietrza (H) w dziennej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1 - bardzo zimno, 2 - zimno, 3 - chłodno, 4 - umiarkowanie chłodno, 5 - komfortowo, 6 - gorąco, 7 - bardzo gorąco
- Ryc. 57. Częstości [%] występowania klas odczuć wielkości ochładzającej powietrza (H) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym klasom odczuć: 1 - bardzo zimno, 2 - zimno, 3 - chłodno, 4 - umiarkowanie chłodno, 5 - komfortowo, 6 - gorąco, 7 - bardzo gorąco
- Ryc. 58. Częstość pojawiania się klas odczuć (1 - bardzo gorąco, 2 - gorąco, 3 - komfortowo, 4 - umiarkowanie chłodno, 5 - chłodno, 6 - zimno) ochładzania biologicznego (H) określonych na podstawie średnich wartości dobowych w różnych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004
- Ryc. 59. Średnie dobowe przebiegi wielkości ochładzającej powietrza ($H, W/m^2$) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Linie poziome na wykresach oddzielają poszczególne klasy odczuć: 1 - zimno, 2 - chłodno, 3 - umiarkowanie chłodno, 4 - komfortowo, 5 - gorąco (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-dniową)
- Ryc. 60. Średni dobowy i roczny przebieg różnic wielkości ochładzającej powietrza ($H, W/m^2$) we Wrocławiu w okresie IV 2001 - VII 2004 pomiędzy stacjami zlokalizowanymi na obszarach zabudowanych (B, O i T) a stacją podmiejską (S)
- Ryc. 61. Roczny przebieg średnich wartości stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy) w dziennej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Z prawej strony umieszczono skalę reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka: 1- termofizjologiczny stres zimna, 2-warunki termoneutralne, 3-termofizjologiczny stres gorąca, (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-dniową)
- Ryc. 62. Częstości [%] występowania klas reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka (na podstawie PhS) w dziennej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1- termofizjologiczny stres zimna, 2-warunki termoneutralne, 3-termofizjologiczny stres gorąca

- Ryc. 63. Częstości [%] występowania klas reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka (na podstawie PhS) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1- termofizjologiczny stres zimna, 2-warunki termoneutralne, 3-termofizjologiczny stres gorąca
- Ryc. 64. Średni dobowy przebieg wartości stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Linie poziome na wykresach oddzielają poszczególne klasy reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka: 1 - termofizjologiczny stres zimna, 2 - warunki termoneutralne, 3 - termofizjologiczny stres gorąca, (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową)
- Ryc. 65. Roczny przebieg średnich wartości współczynnika stresu cieplnego (HSI, %: 1 - umiarkowanie parno, 2 - brak parności) w daytimej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową
- Ryc. 66. Częstości [%] występowania klas parności (na podstawie HSI) w daytimej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1-brak parności, 2-umiarkowanie parno, 3-parno
- Ryc. 67. Częstości [%] występowania klas parności (na podstawie HSI) w nocnej porze doby w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów odpowiadają poszczególnym reakcjom: 1-brak parności, 2-umiarkowanie parno, 3-parno
- Ryc. 68. Średnie dobowe przebiegi wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Na prawym górnym wykresie umieszczono klasy parności. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową
- Ryc. 69. Średni dobowy i roczny przebieg różnic wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004, pomiędzy stacjami zlokalizowanymi na obszarach zabudowanych (B, O i T) a stacją podmiejską (S)
- Ryc. 70. Średnie wartości HSI [%] w określonych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) w ciepłej (a) i chłodnej (b) połowie roku we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004
- Ryc. 71. Udział [%] poszczególnych strumieni w sumie strat ciepła z organizmu człowieka we Wrocławiu, IV 2001- VII 2004. Liczby w prawym górnym rogu odpowiadają poszczególnym strumieniom: 1-mC, 2-mE, 3-mL, 4-mRes
- Ryc. 72. Średni dobowy przebieg wartości konwekcyjnego strumienia wymiany ciepła (mC, W/m²) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004. Wartości średnie zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową
- Ryc. 73. Średni dobowy i roczny przebieg różnic strumienia konwekcyjnej wymiany ciepła między stacjami zlokalizowanymi w terenie zabudowanym a stacją podmiejską we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Ryc. 74. Średni dobowy przebieg wartości ewaporacyjnego strumienia wymiany ciepła (mE, W/m²) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy Wrocławia, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową
- Ryc. 75. Średni dobowy i roczny przebieg różnic strumienia ewaporacyjnej wymiany ciepła między stacjami zlokalizowanymi w terenie zabudowanym a stacją podmiejską we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004
- Ryc. 76. Roczny przebieg średnich wartości salda wymiany ciepła (mS, W/m²) w daytimej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-dniową
- Ryc. 77. Średnie wartości strumienia konwekcyjnego (mC, W/m²) i ewaporacyjnego (mE, W/m²) wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem oraz saldo [mS, W/m²] w określonych typach cyrkulacji (wg Niedźwiedzia) w półroczu ciepłym (a, c, e) i chłodnym (b, d, f) we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Ryc. 78. Średni dobowy przebieg wartości salda wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (mS, W/m²) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) w różnych typach zabudowy Wrocławia, IV 2001 - VII 2004. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekwentną 11-minutową

- Ryc. 79. Średni roczny przebieg różnic salda wymiany ciepła (mS ; W/m^2) między człowiekiem a otoczeniem w terenie zabudowanym i stacją podmiejską
- Ryc. 80. Średnie dobowe i roczne różnice między temperaturą odczuwalną (T_c) a temperaturą powietrza (t) w centrum miasta (T), na osiedlu z wysokimi blokami mieszkalnymi (O) i na obszarze niezabudowanym (S) we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004
- Ryc. 81. Roczny przebieg średnich wartości temperatury odczuwalnej (T_c , $^{\circ}C$) w dziennej (I) i nocnej (II) porze doby oraz w ciągu całej doby (III) we Wrocławiu. Z prawej strony umieszczono skalę odczuć cieplnych: 1- zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo, (wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-dniową)
- Ryc. 82. Częstości [%] występowania klas odczuć wartości T_c (na podstawie skali Błażejczyka) w dziennej porze doby we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów oznaczają następujące klasy odczuć: 1-zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo, 4-ciepło, 5-gorąco
- Ryc. 83. Częstości [%] występowania klas odczuć wartości T_c (na podstawie skali Błażejczyka) w nocnej porze doby we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004. Liczby w prawym górnym rogu wykresów oznaczają następujące klasy odczuć: 1-zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo
- Ryc. 84. Częstość [%] klas odczuć (A - zimno, B - chłodno, C - komfortowo, D - ciepło) określonych na podstawie średniej dobowej temperatury odczuwalnej (T_c) w poszczególnych typach cyrkulacji (wg Niedźwiedzia) we Wrocławiu w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004;
- Ryc. 85. Średnie różnice temperatury odczuwalnej (T_c) między terenem zabudowanym (T , O) a niezabudowanym w poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej (wg Niedźwiedzia) we Wrocławiu w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004
- Ryc. 86. Średni dobowy przebieg wartości temperatury odczuwalnej (T_c , $^{\circ}C$) w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik) i różnych typach zabudowy Wrocławia. Na wykresach umieszczono przedziały odczuć cieplnych: 1-zimno, 2-chłodno, 3-komfortowo, 4-ciepło. Wartości średnie dobowe zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-minutową
- Ryc. 87. Średni dobowy przebieg różnic temperatury odczuwalnej (dT_c , $^{\circ}C$) między stacjami miejskimi a stacją podmiejską w wybranych miesiącach (styczeń, kwiecień, lipiec i październik). Wartości średnie zostały „wygładzone” średnią konsekutywną 11-minutową
- Ryc. 88. Średni przebieg dobowy wartości temperatury odczuwalnej (wykres lewy) i jej różnic między stacjami miejskimi a podmiejską w okresie od kwietnia do września 2004 roku
- Ryc. 89. Średnie dobowe i roczne różnice temperatury odczuwalnej między obszarem zabudowanym (stacje T i O) i niezabudowanym (stacja S)
- Ryc. 90. Rozkład wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) we Wrocławiu wzdłuż profilu południe-północ 23.03.2003 w godz. 11-12 GMT. Górny wykres ilustruje typy użytkowania terenu wzdłuż profilu pomiarowego
- Ryc. 91. Rozkład wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) we Wrocławiu 01.04.2004 w godz. 11-12 GMT. Górny wykres ilustruje typy użytkowania terenu wzdłuż profilu pomiarowego

Spis tabel

- Tabela 1. Autorzy i rok opracowania wybranych modeli wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (Błażejczyk 2004; Jendritzky, 2004)
- Tabela 2. Struktura użytkowania terenu we Wrocławiu (Szymanowski, 2004)
- Tabela 3. Uproszczony schemat biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody według K. Błażejczyka (2004)
- Tabela 4. Lokalizacja automatycznych stacji pomiarowych tworzących system pomiarów meteorologicznych we Wrocławiu
- Tabela 5. Skrajne wartości ciśnienia atmosferycznego [hPa] zaobserwowane we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 6. Podstawowe charakterystyki statystyczne zawartości tlenu w powietrzu [g/m^3] w czterech terminach obserwacyjnych (O2-1, O2-7, O2-13, O2-19) i średnia dobową (O2-i) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 7. Średnie prędkości wiatru [m/s] we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 8. Maksymalne prędkości wiatru [m/s] wraz z datą wystąpienia we Wrocławiu w latach 1981-2000 (poziom 14 m n.p.g.)
- Tabela 9. Średnie miesięczne i roczne wartości zachmurzenia (a, w skali 11-stopniowej) oraz liczba dni bezchmurnych ($Z=0$) i pochmurnych ($Z \geq 80$) (b) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 10. Średnie i skrajne wartości temperatury powietrza we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 11. Wartości skrajne temperatury powietrza [$^{\circ}\text{C}$] i daty ich wystąpienia we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 12. Największe różnice temperatury powietrza [$^{\circ}\text{C}$] (między obserwacją o godz. 07,13 i 19 CET) i temperatur ekstremalnych oraz maksymalna zmiana średniej dobowej z dnia na dzień we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 13. Średnie miesięczne i roczne wartości ciśnienia pary wodnej (e [hPa]), wilgotności względnej (U [%]), niedosytu wilgotności (d [hPa]) w głównych terminach obserwacyjnych oraz ich średnie dobowe we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 14. Ekstremalne wartości ciśnienia pary wodnej (e [hPa]) i niedosytu wilgotności (d [hPa]) oraz daty ich wystąpienia we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 15. Częstość występowania [w %] klas opadu na podstawie sum dobowych [mm] wg klasyfikacji Olechnowicz-Bobrowskiej (1970) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 16. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne temperatury ekwiwalentnej (T_e [$^{\circ}\text{C}$]) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 17. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne temperatury efektywnej (T_E [$^{\circ}\text{C}$]) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 18. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wielkości ochładzającej powietrza (H [W/m^2]) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 19. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości przewidywanego współczynnika termoizolacyjności odzieży (Iclp [Clo]) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 20. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości temperatury odczuwalnej (STI [$^{\circ}\text{C}$]) we Wrocławiu w latach 1981-2000

- Tabela 21. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI [W/m^2]) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 22. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI [%]) we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 23. Średnie miesięczne i roczne oraz podstawowe charakterystyki statystyczne wartości poszczególnych składowych bilansu [W/m^2] wymiany ciepła człowiek-środowisko we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 24. Częstość (%) występowania typów, podtypów i klas pogody w poszczególnych miesiącach oraz w roku we Wrocławiu w latach 1981-2000 (w tabeli uwzględniono tylko typy, które wystąpiły w co najmniej 1% dni w roku)
- Tabela 25. Częstość [%] występowania typów, podtypów i klas pogody we Wrocławiu w latach 1981-2000
- Tabela 26. Częstość [%] pojawiania się w poszczególnych porach roku typów, podtypów i klas pogód we Wrocławiu w latach 1981-2000 (przedstawiono tylko typy, które pojawiły się w danej porze roku w $\geq 1,0\%$ dni)
- Tabela 27. Średnie, minimalne i maksymalne wartości miesięczne i roczne wybranych elementów meteorologicznych (t [$^{\circ}\text{C}$], e [hPa], v [m/s]) w ciągu doby we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Tabela 28. Średnie, minimalne i maksymalne wartości miesięczne i roczne wybranych elementów meteorologicznych (t [$^{\circ}\text{C}$], e [hPa], v [m/s]) w porze dziennej doby we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Tabela 29. Średnie, minimalne i maksymalne wartości miesięczne i roczne wybranych elementów meteorologicznych (t [$^{\circ}\text{C}$], e [hPa], v [m/s]) w nocnej porze doby we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Tabela 30. Średnie miesięczne i roczne wartości temperatury ekwiwalentnej (T_e [$^{\circ}\text{C}$]) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Tabela 31. Średnie miesięczne i roczne wartości ochładzającej powietrza (H [W/m^2]) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Tabela 32. Średnie miesięczne i roczne wartości stresu termofizjologicznego (PhS, bezwymiarowy) w wybranych typach zabudowy miejskiej we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004
- Tabela 33. Średnie miesięczne i roczne wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI, %) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001 - VII 2004
- Tabela 34. Średnie miesięczne i roczne wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem oraz jego saldo (W/m^2) w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, IV 2001-VII 2004
- Tabela 35. Podstawowe charakterystyki statystyczne wartości temperatury odczuwalnej (T_c , $^{\circ}\text{C}$) zmierzonej w wybranych typach zabudowy we Wrocławiu, w okresie 01.11.2003 - 31.10.2004
- Tabela 36. Współczynniki korelacji pomiędzy szorstkością podłoża z kwadratów o boku 200m, w których centrum zlokalizowane są stacje pomiarowe a średnią prędkością wiatru w czasie pomiarów profilowych
- Tabela 37. Podstawowe statystyki wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) w trakcie przejazdu przez Wrocław w profilu S-N wykonanego 23.03.2003. Oznaczenia typów zabudowy są objaśnione na ryc. 59
- Tabela 38. Podstawowe statystyki wybranych elementów meteorologicznych (t , v) i wskaźników biometeorologicznych (STI, HSI, MTE) w trakcie przejazdu przez Wrocław w profilu S-N wykonanego 01.04.2004. Typy zabudowy: 1 - obszary podmiejskie, niezabudowane; 2 - tereny z zabudową złożoną z niewysokich domów wolnostojących, z dużym udziałem zieleni; 3 - wysoka zabudowa blokowa (10-11 kondygnacji); 4 - intensywna zabudowa śródmiejska, o wysokości 4-5 kondygnacji; 5 - tereny związane z rzeką (most i okolica); 6 - tereny przemysłowe w N części Wrocławia (Wrozamet, Mamut)

Summary

Intensive increase in the number of people in the world, observed in the last few centuries, is related to the creation and development of city agglomerations, which enable meeting needs of people in an easier way (education, employment, culture, entertainment or finding a partner). Flow of people from rural areas to cities has contributed to creation of huge, very often multi-million agglomerations, which are characterized by completely changed natural environmental features. Materials used for construction of houses and roads (concrete, steel, glass, asphalt) are of different parameters than natural elements of the environment. This results in generating, in urban areas, environment which is anthropogenically changed. This environment has significantly different physical and chemical parameters than natural environment. Information about what types of biometeorological conditions might be expected during respective seasons of the year should be the basis for rationalization of actions, for instance in tourism and recreation or in first-aid services (e.g. during heat waves).

Presented paper is focused on:

- study and estimation of biometeorological conditions in anthropogenically changed environment;
- defining the influence of selected structures of land development on formation of biometeorological conditions (such as: dense development of city centre, block of flats estate, villa settlement, non-built-up areas);
- determining time distribution (on daily, monthly and annual bases) and spatial parameters, which define biometeorological conditions in the city.

Analysis of seasonal and spatial diversification of biometeorological conditions in the city is based on results of measurements carried in the period from 07-04-2001 to 31-07-2001 with appliance of Automatic Weather Stations (AWS) located in four types of city's land-use: in the centre of the city (T), in blocks of flats type of housing estate (O), in housing estate which is characterized by dispersed development with significant presence of city greens (B), in non-built-up suburban areas, which borders agricultural areas (S). Measurements made by this equipment were carried with appliance of one minute time step. All the measurements were later on used to determine the extent of influence of examined types of land development on the local climate, by performing calculations of selected biometeorological indices. At this stage, it is important to note, that all the calculations were made, with appliance of criteria of division of day into day-time and night-time periods based on sunrise and sunset.

Such an assumption has ascertained, that biological cooling power (H) reaches its minimal values in the city centre and is the highest in not developed parts of the city. Differences in values of this index, observed in different types of land development are the highest during winter months and the lowest during summer months. Moreover, the period of thermo-neutral conditions (including average values for twenty-four hours) estimated on the basis of Physiological Strain in Man (PhS) index, is the longest in the city centre, and in the station located in suburban area this period is even seven weeks shorter. In housing estates characterized by dispersed development of detached houses (Biskupin) and multi-storey block of flats (areas nearby Orzechowa Street) thermo-neutral conditions occur month later than in the city centre and finish one week earlier. Values of the Physiological Strain index observed during winter half of the year in Biskupin and in the areas nearby Orzechowa Street are very similar, however

in the summer (in July and August) the results are different (especially during night-time): biometeorological conditions in first location are becoming alike to the conditions occurring in suburban areas (Strachowice). However, values of the Physiological Strain index in the multi-storey block of flats housing estate, are similar to the values observed in the city centre. During the year, human body is exposed to physiological cold strain in the city centre to the extent of 30% of day-time, whereas in not developed areas this extent equals to 50% of the duration of day-time.

The integral element of bioclimatic conditions are biothermal conditions, which contribute to thermal sensations. There are many methods to define those conditions: such as calculational methods (based on meteorological data) and empirical methods (with appliance of thermal sensation measurement equipment). Special equipment was installed in three types of land-use in Wrocław: in the city centre (station T), in multi-storey blocks of flats type of housing estate (O) and in suburban areas (S). Thermal sensation measurement equipment installed in those locations enabled gathering information concerning biothermal conditions of the city. This is a crucial complementation of the analysis of the bioclimate of urban area.

Values of bioclimatic indices obtained due to appliance of calculational method and indications of thermal sensation measurement equipment, were also analyzed with taking into account the type of synoptic situations based on the calendar of circulation types prepared by Niedźwiedź.

This paper also presents results of city's climate study, which were obtained from the mobile meteorological station. Surveys conducted so far, were mainly focused on monitoring urban heat island. Those surveys were realized during the night-time. However, for biometeorological purposes it was decided to make patrol rides in hours about noon (i.e. 10-11 GMT time). During measuring session, meteorological conditions in different types of land-use were investigated. Those tests enabled us to acknowledge that in situations when the weather is shaped by anticyclone conditions, when a small cloud cover is observed, high intensity of solar radiation, light wind and moderate temperature, it is possible that in the areas of intensive land development (city centre) biometeorological conditions which enable six time longer period of safe stay for humans in the open areas (i.e. conditions which do not significantly affect the change of inner temperature of human body) will develop there. However, the situation will be different in areas located in a relatively short distance from the city centre, areas of small intensity of development (areas nearby rivers, industrial and suburban areas).

The analysis of bioclimate in Wrocław enables to note many regularities, such as: e.g. high variability in changes of atmospheric pressure, temperature and humidity of air in the spring and autumn results in significant changes in the content of oxygen in air. This results in frequent occurrence of changes in its content, defined as "sharp". The characteristic feature which defines season of the year is a significant frequency of occurrence of high twenty-four-hours amplitudes of air temperature sensed by human as "sharp". This is observed during approximately 55% days of this period (during cool half of the year this class of changes occurs in approximately 15% of days in December). The most dominant stream of heat exchange between man and environment, during the whole year is convection stream (mC), secondly evaporation stream (mE) and thirdly it is the loss of heat by means of emitting long wave radiation (mL) from the human body. The least significant in heat loss from human body is respiratory stream (mRes). During summer months, smaller heat exchange between man and environment by means of convection (mC) is noted and it is evaporation stream (mE) which is the most significant during this time of year. It is possible for some weather conditions, that convection stream of heat losses (mC) might be of positive values; what means that body gets heated due to contact with the heated air (in the period 20 years such a situation has occurred during 16 days).

The analysis of relationship of diversification of biometeorological conditions with different types of synoptic stations conducted in the paper, has confirmed the crucial role they have in shaping, progress and frequency of occurrence of specific biometeorological conditions in Wrocław. It was concluded that, the highest differences between average value of twenty-four-hours heat exchange between man and environment, in different type of land development areas, are the highest in case of northern

and north-eastern cyclone circulation (Nc + NEc). Differences of average values of man - environment heat exchange between areas of different land development and suburban areas are even up to 30-40 W/m² (human body loses this amount of heat than obtains it in not developed areas). Whereas, those differences are the smallest in case of central and anticyclone conditions and also when Poland is in the zone of high-pressure area (Ca+Ka). In those cases the values do not exceed 10 W/m². Separated, on the basis of cooling power (H), classes of heat sensations especially strenuous for man ("very hot" and "hot") are the most common for conditions when Poland is in the centre of anticyclone or in the zone of high-pressure area (Ca+Ka). For this type the highest differences in HSI values were noted between city centre and non-built-up areas (the results were respectively 25% and 11%). Sensation of "comfortable", the most advantageous for man, is the least often observed in case of eastern and south-eastern circulation both in case of cyclone and anticyclone circulation measured in annual scale. Days with average cooling value of air, sensed as "cool" and "cold" are the most probable for western and north-western types of cyclone circulation (Wc+NWc).

The analysis of bioclimatic conditions occurring in highly urbanized and anthropologically changed areas on the example of Wrocław, is a source of information about bioclimate which is to be expected in a specific types of land-use areas. The aforementioned analysis could be used as a reference paper by people who deal with urban development and planning of already existing or newly designed housing estates.

List of figures

- Fig. 1. Relation among intensity of external stimuli and organisms (Flemming, 1983)
- Fig. 2. Man-environment heat exchange diagram
- Fig. 3. UBIKLIM Model used for biometeorological evaluation of environment (Jendritzky et al, 2003)
- Fig. 4. Densely built-up area of city centre - localization of Automatic Weather Station (station T)
- Fig. 5. Large housing estates - localization of Automatic Weather Station (station O)
- Fig. 6. Rural, non-built-up area - localization of Automatic Weather Station (station S)
- Fig. 7. Types of land-use in Wrocław and localizations of Automatic Weather Stations used in presented paper (S - rural area, B - residential estates, T - city centre, O - blocks of flats; Szymanowski, 2004)
- Fig. 8. The Automatic Weather Station used for collecting meteorological data in the city of Wrocław climate researches
- Fig. 9. Annual course of air pressure [hPa] in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 10. Frequency of occurrence [%] of air pressure changing index from day to day in Wrocław (1981-2000; A - neutral stimuli, B - weak stimuli, C - moderate stimuli, D - severe stimuli, E - very severe stimuli)
- Fig. 11. Annual mean of Atmospheric Oxygen Contents index [O_2 , g/m³] in Wrocław (1981-2000); figure left: mean of main meteorological observations times (01, 07, 13 and 19 CET) and daily mean; figure right: monthly mean
- Fig. 12. Stimuli of the Atmospheric Oxygen Contents index [O_2 , g/m³] changing among the main meteorological observations time (a – 01-07; b – 07-13, c – 13-19, d – 19-01) and from day to day (e) in Wrocław (1981-2000); A - neutral stimuli, B - weak stimuli, C - moderate stimuli, D - severe stimuli
- Fig. 13. Classification of wind speed (according to Parczewski, 1961) recorded at the main meteorological observations times (a – 01, b – 07, c – 13, d – 19 CET) and daily mean (e) in Wrocław (1981-2000); A - no wind, B - very weak wind, C - weak wind, D - moderate wind, E - strong wind
- Fig. 14. Frequency of occurrence [%] of days with selected classes of cloudiness (A - cloudless days, B - days with cloudiness $\leq 50\%$, C - cloudy days = 100%) observed at the main meteorological observations times 07 CET (a), 13 CET (b), 19 CET (c) and daily mean (d) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 15. Frequency of occurrence [%] of selected classes of suitability for heliotherapy (A - very good conditions, B - good conditions, C - moderate conditions, D - weak conditions) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 16. Annual course of mean air temperature [°C] in Wrocław (1981-2000; upper line - maximum of air temperature, middle line - mean air temperature, lower line - minimum of air temperature)
- Fig. 17. Number of characteristic days in Wrocław (1981-2000). Left figure: A - very frosty days ($T_{\max} \leq -10^\circ\text{C}$), B - frosty days ($T_{\min} \leq -10^\circ\text{C}$), C - hot days ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$), D - sweltering days ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$); right figure: days with daily mean air temperature $\geq 15^\circ\text{C}$
- Fig. 18. Frequency of occurrence [%] of thermal feelings (A - cold, B - cool, C - warm, D - very warm, E - hot) based on mean of daily air temperature in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 19. Frequency of occurrence [%] of thermal stimuli (differences between 07-13 CET: figure a and 13-19 CET: figure b; stimuli: A - imperceptible, B - weak, C - moderate, D - severe, E - very severe). Thermal stimuli based on differences between daily mean air temperature from day to day (figure c) and $T_{\max} - T_{\min}$ (stimuli: A – imperceptible, B - weak, C - moderate, D - severe) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 20. Annual course of vapour pressure (hPa; a), saturation deficit (hPa; b) and relative humidity (%; c) in Wrocław (1981-2000; upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values)

- Fig. 21. Frequency of occurrence [%] of sultry days (vapour pressure $\geq 18,8$ hPa; Sharlau's criterion) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 22. Frequency of moisture feelings based on relative humidity observed at the main meteorological observations times (01CET – a, 07 CET – b, 13 CET – c, 19 CET – d) and daily mean (e) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 23. Annual (a) and monthly (b) mean of precipitation [mm] in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 24. Monthly sums of precipitation [mm] in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 25. Daily snow cover depth [cm] (figure a) in period 1981-2000, annual course of daily mean snow cover depth (figure b) and frequency [%] of days with snow cover (figure c) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 26. Annual course of Equivalent temperature (T_e ; °C): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Leitsner's scale): 1 - sultry, 2 - slightly sultry, 3 - comfortable, 4 - slightly cool, 5 - cool, 6 - cold
- Fig. 27. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Leitsner's scale) based on Equivalent temperature in Wrocław (1981-2000): A – cold, B – cool, C – slightly cool, D – comfortable, E – slightly sultry, F – sultry
- Fig. 28. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Michajłowa scale) based on Effective temperature in Wrocław (1981-2000): A – very cold, B – cold, C - cool, D – fresh, E – comfortable, F – warm, G - hot
- Fig. 29. Annual course of Effective temperature (T_E ; °C): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Michajłowa classification): 1 - hot, 2 - warm, 3 - comfortable, 4 - fresh, 5 - cool, 6 - cold, 7 - very cold
- Fig. 30. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale) based on cooling power (H) in Wrocław (1981-2000): A – very hot, B – hot, C - neutral, D – slightly cool, E – cool, F – cold, G - very cold
- Fig. 31. Annual course of Cooling power (H ; W/m^2): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale): 1 - extremely cold and windy, 2 - very cold, 3 - cold, 4 - cool, 5 - slightly cool, 6 - neutral, 7 - hot, 8 - very hot
- Fig. 32. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Insulation predicted index (Iclp) in Wrocław (1981-2000): A – very warm, B – warm, C - neutral, D – cool, E – cold
- Fig. 33. Annual course of Insulation predicted index (Iclp; Clo): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral, 7 - warm, 8 - very warm
- Fig. 34. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Subjective Temperature Index (STI) in Wrocław (1981-2000): A – very hot, B – hot, C - warm, D - neutral, E – cool, F – cold
- Fig. 35. Annual course of Subjective Temperature Index (STI; °C): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 – very hot, 2 – hot, 3 - warm, 4 - neutral, 5 – cool, 6 – cold
- Fig. 36. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Wind Chill Index (WCI) in Wrocław (1981-2000): A – extremely hot, B – hot, C - warm, D - neutral, E – cool, F – cold
- Fig. 37. Annual course of Wind Chill Index (WCI, W/m^2): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 – cold, 2 – cool, 3 - neutral, 4 - warm, 5 – hot, 6 – extremely hot
- Fig. 38. Frequency of occurrence [%] of days with specific physiological responses of an organism (according to Błażejczyk's scale) based on Heat Stress Index (HSI) in Wrocław (1981-2000): A - thermoneutral conditions, B - slight and moderate heat stress, C - intensive heat stress
- Fig. 39. Annual course of Heat Stress Index (HSI; %): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram specific physiological responses of

an organism are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - maximal heat stress, 2 - very intensive heat stress, 3 - intensive heat stress, 4 - slight and moderate heat stress, 5 - thermoneutral conditions

- Fig. 40. Annual course of man-environment heat exchange fluxes (mC - turbulent exchange of sensible, mE - turbulent exchange of latent heat, mRes - respiratory heat loss, mL - heat exchange by long-wave radiation, mR - absorbed solar radiation, mQ - radiation balance of man) in Wrocław (1981-2000)
- Fig. 41. Monthly and annual contribution [%] of every heat fluxes (mC - turbulent exchange of sensible, mE - turbulent exchange of latent heat, mL - heat exchange by long-wave radiation, mRes - respiratory heat loss) in total heat loss (mC+mE+mL+mRes=100%) Wrocław (1981-2000)
- Fig. 42. Frequency of occurrence [%] of days with specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on net heat storage (mS) derived from the human heat balance model in Wrocław (1981-2000): A – extremely hot, B – hot, C - warm, D - neutral, E – cool, F – cold, G - very cold
- Fig. 43. Annual course of net heat storage (mS, W/m²): upper line - maximum values, middle line - mean values, lower line - minimum values in Wrocław (1981-2000). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 – extremely hot, 2 – hot, 3 - warm, 4 - neutral, 5 – cool, 6 – cold, 7 - very cold
- Fig. 44. Frequency of occurrence [%] of days with specific weather's types (by Błażejczyk) in Wrocław (1981-2000): 1 - very cold weather, 2 - cold weather, 3 - cool weather, 4 - warm weather, 5 - hot weather, 6 - extremely hot weather
- Fig. 45. Annual course of Weather Evaluating Index which evaluates usefulness of various weather conditions for different forms of recreation and tourism (diagram A – WEI_{avgSB}: sun baths; diagram B – WEI_{avgAB}: air baths; diagram C – WEI_{avgMR}: mild recreational activity; diagram D – WEI_{avgAR}: intensive recreation and summer tourism) in Wrocław (1981-2000). On diagram usefulness for different forms of recreation and tourism are presented (according to Błażejczyk): 1 - unsuitable, 2 - moderate suitable, 3 - suitable with limitations, 4 - suitable without limitations
- Fig. 46. Annual course of Total Weather Evaluating Index (WEI_{tot}) in Wrocław (1981-2000). On diagram scale of weather suitability are presented (according to Błażejczyk): 1 - unsuitable conditions, 2 - moderate suitable conditions, 3 - suitable conditions, 4 - very suitable conditions, 5 - excellent suitable conditions
- Fig. 47. Frequency of occurrence [%] of air temperature differences [dt, K] between built-up area (stations T, O and B) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 48. Differences of monthly mean of: air temperature [K] (diagram a), vapour pressure [hPa] (diagram b) and wind speed [m/s] (diagram c) between built-up area (stations T, O and B) and rural area (S) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 49. Frequency of occurrence [%] of atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (a) and cold (b) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 50. Mean air temperature (I) [t, °C], vapour pressure (II) [e, hPa] and wind speed (III) [v, m/s] in selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź classification) in warm (diagrams: a, c, e) and cold (diagrams: b, d, f) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004; S - rural area, B - residential estates, T - city centre, O - blocks of flats)
- Fig. 51. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Leitsner's scale) based on Equivalent temperature (Te) during daytime in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): 1 – sultry, 2 – slightly sultry, 3 – comfortable, 4 – slightly cool, 5 – cool, 6 – cold
- Fig. 52. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Leitsner's scale) based on Equivalent temperature (Te) during night in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): 1 – sultry, 2 – slightly sultry, 3 – comfortable, 4 – slightly cool, 5 – cool, 6 – cold
- Fig. 53. Daily course of Equivalent temperature (Te; °C) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermal feelings are presented (according to Leitsner's scale): 1 - slightly sultry, 2 - comfortable, 3 - slightly cool, 4 - cool, 5 - cold
- Fig. 54. Mean values of Equivalent temperature (Te; °C) in different types of land-use and selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (diagram: a) and cold (diagram: b) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 55. Annual course of cooling power (H, W/m²) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermal feelings are presented (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - slightly cool, 4 - neutral, 5 - hot

- Fig. 56. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale) based on cooling power (H) during daytime in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - very cold, 2 - cold, 3 - cool, 4 - slightly cool, 5 - neutral, 6 - hot, 7 - very hot
- Fig. 57. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to modified Petrovic-Kacvinski's scale) based on cooling power (H) during night in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - very cold, 2 - cold, 3 - cool, 4 - slightly cool, 5 - neutral, 6 - hot, 7 - very hot
- Fig. 58. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (1 - very hot, 2 - hot, 3 - neutral, 4 - slightly cool, 5 - cool, 6 - cold) based on mean cooling power (H) calculated for different atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 59. Daily course of cooling power ($H, W/m^2$) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermal feelings are presented: 1 - cold, 2 - cool, 3 - slightly cool, 4 - neutral, 5 - hot
- Fig. 60. Daily and annual mean of differences of cooling power ($H, W/m^2$) between built-up (B, O i T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 61. Annual course of Physiological Strain index (PhS, dimensionless) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermophysiological reaction of human body are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain
- Fig. 62. Frequency of occurrence [%] of specific thermophysiological reaction of human body (according to Błażejczyk's scale) based on Physiological Strain index (PhS) during daytime in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain
- Fig. 63. Frequency of occurrence [%] of specific thermophysiological reaction of human body (according to Błażejczyk's scale) based on Physiological Strain index (PhS) during night in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain
- Fig. 64. Daily course of Physiological Strain index (PhS, dimensionless) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram thermophysiological reaction of human body are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold strain, 2 - termoneutral conditions, 3 - hot strain
- Fig. 65. Annual course of Heat Stress Index (HSI, %) during daytime (I), night (II) and day (III) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram intensity of sultriness are presented: 1 - moderate sultry, 2 - non-sultry conditions
- Fig. 66. Frequency of occurrence [%] of specific sultriness intensity based on Heat Stress Index (HSI, %) during daytime in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - non-sultry conditions, 2 - moderate sultry, 3 - sultry
- Fig. 67. Frequency of occurrence [%] of specific sultriness intensity based on Heat Stress Index (HSI, %) during night in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004): diagram 1 - non-sultry conditions, 2 - moderate sultry, 3 - sultry
- Fig. 68. Daily course of Heat Stress Index (HSI, %) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004). On diagram intensity of sultriness are presented: 1 - moderate sultry, 2 - non-sultry conditions
- Fig. 69. Daily and annual mean of differences of Heat Stress Index (HSI, %) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 70. Mean of HSI [%] in selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (a) and cold (b) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 71. Monthly and annual contribution [%] of every heat fluxes (diagram 1: mC - turbulent exchange of sensible, diagram 2: mE - turbulent exchange of latent heat, diagram 3: mL - heat exchange by long-wave radiation, diagram 4: mRes - respiratory heat loss) in total heat loss ($mC+mE+mL+mRes=100\%$)
- Fig. 72. Daily course of heat loss by convection ($mC, W/m^2$) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 73. Daily and annual mean of differences of heat loss by convection ($mC, W/m^2$) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 74. Daily course of heat loss by evaporation ($mE, W/m^2$) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)

- Fig. 75. Daily and annual mean of differences of heat loss by evaporation (mE , W/m^2) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 76. Annual course of net heat storage (mS , W/m^2) during daytime (I), night (II) and day (III) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 77. Mean of heat loss by convection [mC , W/m^2] and evaporation [mE , W/m^2] and net heat storage [mS , W/m^2] in selected atmospheric circulation types (according to Niedźwiedź) in warm (diagrams: a, c, e) and cold (diagrams: b, d, f) half-year in Wrocław (IV 2001 - VII 2004; S - rural area, B - residential estates, T - city centre, O - blocks of flats)
- Fig. 78. Daily course of net heat storage (mS , W/m^2) in selected months (I, IV, VII, X) in different types of land-use in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 79. Daily and annual mean of differences of net heat storage (mS , W/m^2) between built-up (B, O and T) and rural area (S) in Wrocław (IV 2001 - VII 2004)
- Fig. 80. Daily and annual mean of differences between Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$; measured) and air temperature in built-up (stations: T and O) and non built-up area (station S) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)
- Fig. 81. Annual course of Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) during daytime (I), night (II) and day (III) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral,
- Fig. 82. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) during daytime in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004): diagram 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral, 4 - warm, 5 - hot
- Fig. 83. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (according to Błażejczyk's scale) based on Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) during night in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004): diagram 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral,
- Fig. 84. Frequency of occurrence [%] of specific thermal feeling (diagrams: A - cold, B - cool, C - neutral, D - warm) based on daily mean of Sensible Temperature (T_c) calculated for different atmospheric circulation types (by Niedźwiedź) in different types of land-use in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)
- Fig. 85. Daily and annual mean of differences of Sensible Temperature (T_c) between built-up (T, O) and rural area (S) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)
- Fig. 86. Daily course of Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004). On diagram thermal feelings are presented (according to Błażejczyk's scale): 1 - cold, 2 - cool, 3 - neutral, 4 - warm
- Fig. 87. Daily course of mean differences between built-up (stations: T and O) and non built-up area (station S) of Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) in selected months (I, IV, VII, X) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)
- Fig. 88. Course of daily mean (left diagram) and daily differences between built-up (stations: T and O) and non built-up area (station S; right diagram;) of Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) from 04.2004 to 09.2004 in Wrocław
- Fig. 89. Daily and annual mean of differences of Sensible Temperature (T_c ; $^{\circ}C$) between built-up (B, O i T) and rural area (S) in Wrocław (01.11.2003 - 31.10.2004)
- Fig. 90. Course of selected meteorological parameters (t , v) and biometerological indices (STI [$^{\circ}C$], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximum Time of Exposition) in Wrocław (23.03.2003, 11-12 GMT) collected during measuring session across city (from South to North). Upper diagram is presented types of land-use passed through during session
- Fig. 91. Course of selected meteorological parameters (t , v) and biometerological indices (STI [$^{\circ}C$], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximum Time of Exposition) in Wrocław (01.04.2004, 11-12 GMT) collected during measuring session across city (from South to North). Upper diagram is presented types of land-use passed through during session

List of tables

- Table 1. Authors and dates of publication selected man-environment heat exchange models (Błażejczyk 2004; Jendritzky, 2004)
- Table 2. Types of land-use in Wrocław (Szymanowski, 2004)
- Table 3. Scheme of biothermal-meteorological weather's classification by K. Błażejczyk (2004)
- Table 4. Localization of Automatic Weather Stations in Wrocław - elements of urban climate measurement system
- Table 5. Extreme values of air pressure [hPa] in Wrocław (1981-2000)
- Table 6. Atmospheric oxygen contents index [g/m^3] at 01 (O_2 -1), 07 (O_2 -7), 13 (O_2 -13), 19 (O_2 -19) CET and daily average (O_2 -i) in Wrocław (1981-2000)
- Table 7. Average wind speed [m/s] in Wrocław (1981-2000)
- Table 8. Maximum wind speed and its acquisition's time in Wrocław (1981-2000; 14m above ground surface)
- Table 9. Monthly and annual average of cloudiness (a) and number of cloudless ($Z=0$) and cloudy days ($Z\geq 80$) (b) in Wrocław (1981-2000)
- Table 10. Average and extreme values of air temperature [$^{\circ}\text{C}$] in Wrocław (1981-2000)
- Table 11. Extreme values of air temperature [$^{\circ}\text{C}$] and its acquisition's time in Wrocław (1981-2000)
- Table 12. Highest differences of: air temperature between consecutive observation's time (07, 13 and 19 CET), extreme air temperature ($T_{\max}-T_{\min}$) and daily average of air temperature [$^{\circ}\text{C}$] (from day to day) in Wrocław (1981-2000)
- Table 13. Monthly and annual average of: vapour pressure (e, [hPa]), relative air humidity (U, [%]), saturation deficit (d, [hPa]) at 01, 07, 13, 19 CET and its daily average in Wrocław (1981-2000)
- Table 14. Extreme values of: vapour pressure (e, [hPa]), saturation deficit (d, [hPa]) and its acquisition's time in Wrocław (1981-2000)
- Table 15. Frequency [%] of precipitation's daily sum classes [mm] (according to Olechnowicz-Bobrowska classification, 1970) in Wrocław (1981-2000)
- Table 16. Monthly and annual average of Equivalent Temperature (T_e , [$^{\circ}\text{C}$]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 17. Monthly and annual average of Effective Temperature (T_E , [$^{\circ}\text{C}$]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 18. Monthly and annual average of Cooling Power (H, [$^{\circ}\text{C}$]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 19. Monthly and annual average of Insulation Predicted (Iclp, [Clo]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 20. Monthly and annual average of Subjective Temperature Index by Błażejczyk (STI, [$^{\circ}\text{C}$]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 21. Monthly and annual average of Wind Chill Index (WCI, [W/m^2]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 22. Monthly and annual average of Heat Stress Index (HSI, [%]) in Wrocław (1981-2000)
- Table 23. Monthly and annual average of: radiation balance of man (mQ), absorbed solar radiation (mR), net long wave radiation exchange (mL), evaporative heat loss (mE), heat exchange by convection (mC), heat loss by respiration (mRes) and net heat storage (mS) [W/m^2] in Wrocław (1981-2000)
- Table 24. Monthly and annual frequency [%] of types, subtypes and weather classes (by Błażejczyk) in Wrocław (1981-2000; only types observed in 1% of days and more are presented in the table)
- Table 25. Monthly and annual frequency [%] of types, subtypes and weather classes (by Błażejczyk) in Wrocław (1981-2000)

- Table 26. Frequency [%] of types, subtypes and weather classes (by Błażejczyk) in seasons, Wrocław (1981-2000; only types observed in 1% of days and more presented in table)
- Table 27. Monthly and annual average and extremes values of selected meteorological parameters (t [°C], e [hPa], v [m/s]) in Wrocław (04.2001-07.2004; data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 28. Monthly and annual average and extremes values of selected meteorological parameters (t [°C], e [hPa], v [m/s]) during daytime in Wrocław (04.2001-07.2004; data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 29. Monthly and annual average and extremes values of selected meteorological parameters (t [°C], e [hPa], v [m/s]) during night in Wrocław (04.2001-07.2004; data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 30. Monthly and annual average of Equivalent Temperature (T_e , [°C]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 31. Monthly and annual average of Cooling Power (H , [W/m²]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 32. Monthly and annual average of Physiological Strain (PhS , [dimensionless]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 33. Monthly and annual average of Heat Stress Index (HSI , [%]) in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 34. Monthly and annual average of: radiation balance of man (mQ), evaporative heat loss (mE), heat exchange by convection (mC), heat loss by respiration ($mRes$) and net heat storage (mS) [W/m²] in selected types of land-use in Wrocław (04.2001-07.2004; input data collected by Automatic Weather Stations)
- Table 35. Monthly and annual average of Sensible Temperature (T_c , [°C]; measured by Sensible Temperature Measurer) in selected types of land-use in Wrocław (01.11.2003-31.10.2004)
- Table 36. Correlation coefficients between roughness from square (200m x 200m) where automatic Weather Stations are located and average wind speed collected by AWS during measuring session (mobile meteorological station was used)
- Table 37. Average and extreme values of air temperature (t , [°C]), wind speed (v , [m/s]) and biometeorological indices (STI [°C], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximal Time of Exposition) during measuring session across city (from South to North) in 23.03.2003. Types of land-use passed through during session: 1 - non-built-up area, 2 - dispersed, residential development, 3 - blocks of flats (up to 10-11 storey), 4 - dense development of city centre, 5 - area close to river, 6 - industrial area
- Table 38. Average and extreme values of air temperature (t , [°C]), wind speed (v , [m/s]) and biometeorological indices (STI [°C], HSI [%] and MTE [minutes] - Maximal Time of Exposition) during measuring session across city (from South to North) in 01.04.2004. Types of land-use passed through during session: 1 - non-built-up area, 2 - dispersed, residential development, 3 - blocks of flats (up to 10-11 storey), 4 - dense development of city centre, 5 - area close to river, 6 - industrial area

Załączniki

Załącznik 1. Kalendarz typów pogody występujących we Wrocławiu w latach 1981-2000 opracowany na podstawie biotermiczne-meteorologicznej typologii pogód wg Błażejczyka.

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

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

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

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

Załącznik 2. Kalendarze wartości wskaźników oceny pogody dla odpowiednich form rekreacji

WEI _{avgSB}												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0.0	0.0	0.6	1.1	1.6	2.1	1.4	1.2	1.4	1.6	0.5	0.0
2	0.0	0.0	0.3	1.0	1.5	1.3	1.7	1.3	1.1	1.5	0.9	0.0
3	0.0	0.0	0.2	1.0	1.5	1.3	1.7	1.4	1.1	1.9	0.3	0.0
4	0.0	0.0	0.8	0.8	1.5	1.0	1.6	1.0	1.4	1.7	0.3	0.0
5	0.0	0.0	0.3	1.1	1.7	1.5	1.4	1.6	1.3	1.6	0.3	0.0
6	0.0	0.3	0.2	1.2	1.4	1.6	1.3	1.4	1.1	1.3	0.3	0.0
7	0.0	0.2	0.6	1.2	1.5	1.4	1.4	1.9	1.3	1.0	0.2	0.0
8	0.0	0.2	1.2	1.2	1.5	1.2	1.2	1.7	1.5	1.0	0.5	0.0
9	0.0	0.0	0.2	1.3	1.3	1.6	1.5	1.7	1.7	1.0	0.3	0.0
10	0.0	0.2	0.5	0.8	1.3	1.6	2.0	1.5	1.5	1.5	0.3	0.0
11	0.0	0.0	0.6	0.8	0.6	1.2	1.5	1.9	1.4	1.1	0.2	0.0
12	0.0	0.0	0.3	0.8	1.5	1.3	1.1	1.9	1.7	1.4	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.3	1.0	1.7	1.3	1.6	1.6	1.4	1.5	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.5	1.4	1.6	1.8	1.4	1.6	1.1	1.4	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.6	1.6	1.9	0.8	1.6	1.2	1.4	1.6	0.0	0.0
16	0.0	0.2	1.0	1.1	1.8	1.0	0.9	1.5	1.0	1.4	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.6	1.4	1.5	1.2	1.7	1.5	1.0	0.9	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.8	1.7	1.4	0.9	0.5	1.9	1.3	1.2	0.0	0.0
19	0.0	0.3	1.2	1.3	1.8	1.1	1.6	1.5	1.4	1.1	0.0	0.0
20	0.0	0.4	0.8	2.0	2.0	1.2	1.2	1.4	1.3	0.8	0.0	0.0
21	0.0	0.2	0.8	1.3	1.3	1.3	1.5	1.9	1.1	0.9	0.0	0.0
22	0.0	0.5	0.9	1.7	1.3	1.0	1.8	1.9	1.1	0.8	0.0	0.0
23	0.0	0.3	0.7	1.7	1.4	0.9	2.2	1.8	1.5	0.8	0.0	0.0
24	0.0	0.2	0.5	1.7	1.5	1.4	1.2	1.5	1.5	0.8	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.8	1.4	1.9	1.4	1.6	1.5	1.8	0.7	0.0	0.0
26	0.0	0.2	1.0	1.7	2.0	1.4	1.5	1.8	1.6	0.9	0.0	0.0
27	0.0	0.3	0.7	1.6	1.9	1.3	1.5	1.7	1.3	0.8	0.0	0.0
28	0.0	0.3	0.6	1.1	1.2	1.3	1.8	1.2	2.1	0.8	0.0	0.0
29	0.0		0.4	1.0	1.6	1.6	1.2	1.4	1.1	0.5	0.0	0.0
30	0.0		1.0	1.6	1.0	1.1	2.3	1.7	1.1	0.3	0.0	0.0
31	0.0		0.9		1.6		2.0	1.6		0.6		0.0
Srednia	0.0	0.1	0.6	1.3	1.5	1.3	1.5	1.6	1.3	1.1	0.1	0.0

WEI _{avgAB}												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0.0	0.5	0.9	1.1	1.7	2.2	2.2	1.7	2.0	2.0	0.9	0.2
2	0.1	0.5	0.6	1.2	1.7	2.0	2.3	1.8	2.2	1.7	1.0	0.1
3	0.1	0.5	0.4	1.3	1.7	1.8	2.3	1.8	2.2	2.1	1.1	0.2
4	0.1	0.4	1.0	1.0	1.8	1.8	2.2	1.5	2.0	2.0	0.6	0.2
5	0.1	0.4	0.4	1.2	1.8	1.7	2.2	2.3	1.6	1.9	0.9	0.3
6	0.1	0.5	0.2	1.2	1.7	2.3	1.8	2.0	1.8	1.7	0.7	0.1
7	0.1	0.4	0.6	1.5	1.9	2.0	1.9	2.3	2.0	1.6	0.5	0.2
8	0.0	0.4	1.2	1.2	1.8	1.8	1.7	2.0	2.1	1.4	0.8	0.2
9	0.0	0.4	0.5	1.3	1.9	1.9	2.1	2.3	2.1	1.4	0.6	0.3
10	0.0	0.7	0.6	0.9	1.6	2.1	2.2	2.0	1.8	1.8	0.6	0.1
11	0.1	0.4	0.7	0.9	1.0	1.7	2.2	2.5	2.0	1.6	0.5	0.0
12	0.2	0.4	0.7	1.1	2.1	1.8	1.9	2.4	1.9	1.6	0.4	0.1
13	0.1	0.4	0.4	1.1	2.1	2.0	2.2	2.0	2.1	2.0	0.6	0.2
14	0.1	0.5	0.7	1.4	1.9	2.3	1.8	2.2	1.9	1.9	0.3	0.1
15	0.1	0.4	0.7	1.4	2.3	1.8	2.3	1.8	1.9	1.8	0.4	0.1
16	0.2	0.5	0.8	1.1	2.4	1.5	2.0	2.0	1.5	1.8	0.3	0.1
17	0.3	0.5	0.8	1.6	1.9	1.9	2.3	2.1	1.9	1.5	0.4	0.1
18	0.2	0.2	0.8	1.7	1.8	1.7	1.5	2.4	1.9	1.9	0.4	0.1
19	0.2	0.6	1.0	1.4	2.0	2.0	2.1	1.8	1.7	1.8	0.3	0.0
20	0.3	0.7	0.7	1.9	2.4	2.0	2.0	1.7	2.0	1.0	0.3	0.0
21	0.3	0.4	0.7	1.5	1.7	2.0	2.1	2.6	1.6	1.3	0.4	0.1
22	0.1	0.7	1.0	2.1	1.9	1.8	2.5	2.1	1.9	1.2	0.4	0.1
23	0.3	0.6	0.7	1.7	2.1	1.7	2.5	2.5	1.7	1.5	0.3	0.1
24	0.2	0.6	0.6	1.9	2.2	2.2	1.7	2.0	1.9	1.4	0.4	0.2
25	0.2	0.4	1.0	1.9	2.6	2.0	2.1	2.1	2.1	1.2	0.2	0.2
26	0.2	0.5	1.0	2.0	2.4	1.9	2.1	2.3	1.8	1.2	0.1	0.1
27	0.4	0.8	0.9	1.8	2.0	1.9	2.0	2.2	2.1	1.0	0.1	0.0
28	0.3	0.7	0.8	1.3	1.7	2.1	2.2	2.3	2.5	1.1	0.1	0.1
29	0.5		0.6	1.4	2.0	2.0	2.1	2.0	1.5	0.9	0.1	0.1
30	0.3		1.3	2.0	1.8	1.8	2.7	2.3	1.7	1.0	0.0	0.1
31	0.6		1.2		1.9		2.4	2.0		1.1		0.1
Srednia	0.2	0.5	0.7	1.4	1.9	1.9	2.1	2.1	1.9	1.5	0.4	0.1

WEI _{avgMR}												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0.9	1.9	1.9	1.8	2.2	2.3	2.1	1.4	2.1	2.4	2.0	1.1
2	0.8	1.9	1.6	1.9	2.4	1.9	1.9	1.4	2.3	2.0	1.8	1.1
3	0.9	1.8	1.6	1.9	2.2	1.7	2.2	1.4	2.3	2.5	2.2	1.2
4	1.1	1.7	2.0	1.9	2.1	2.1	1.9	1.4	2.1	2.5	1.7	1.3
5	1.1	1.6	1.5	1.8	2.1	1.7	2.0	2.1	2.1	2.3	2.3	1.4
6	1.1	1.4	1.4	1.8	2.2	2.1	1.7	1.8	2.2	2.6	1.9	1.1
7	1.2	1.3	1.7	2.2	2.2	2.0	1.7	2.0	2.6	2.1	1.7	1.2
8	0.9	1.5	2.1	1.9	2.2	2.1	1.5	1.9	2.5	2.1	1.9	1.2
9	0.9	1.6	1.8	2.0	2.3	2.0	1.8	2.2	2.3	1.9	1.7	1.3
10	0.9	2.1	1.8	2.0	2.1	2.3	2.0	1.9	2.3	2.1	1.8	0.8
11	1.0	1.8	1.7	1.7	1.6	1.7	2.1	2.4	2.4	2.5	1.6	0.9
12	1.2	1.7	1.9	1.8	2.2	1.9	1.9	2.0	2.2	2.3	1.8	1.0
13	1.2	1.6	1.6	2.0	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.5	1.8	0.9
14	1.1	1.8	2.0	2.2	2.1	2.4	1.4	2.1	2.3	2.3	1.5	1.0
15	0.9	1.6	1.7	2.1	2.2	2.1	2.1	1.8	2.4	2.1	1.5	1.1
16	1.2	1.6	1.7	2.0	2.4	1.8	1.9	2.0	2.0	2.6	1.4	1.2
17	1.5	1.9	2.0	2.2	2.1	2.2	2.2	2.1	2.3	2.2	1.3	1.2
18	1.3	1.2	1.9	2.2	1.8	2.0	1.5	2.4	2.4	2.6	1.8	0.9
19	1.3	1.5	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	1.8	2.2	2.4	1.4	0.8
20	1.6	1.6	1.8	2.5	2.5	2.3	2.0	1.8	2.4	1.9	1.5	0.8
21	1.4	1.4	1.9	2.2	2.2	2.1	2.0	2.3	2.3	2.1	1.6	0.9
22	1.0	1.8	2.0	2.3	2.2	1.7	2.2	1.8	2.5	1.9	1.6	1.0
23	1.4	1.4	1.6	2.0	2.2	1.7	2.3	2.3	2.2	2.1	1.4	1.1
24	1.3	1.6	1.7	2.4	2.3	2.1	1.6	1.9	2.4	2.1	1.5	1.3
25	1.2	1.8	1.6	2.4	2.4	2.2	1.6	2.3	2.4	2.2	1.3	1.0
26	1.3	1.7	1.8	2.4	2.4	1.6	2.0	2.2	2.2	2.1	1.2	1.1
27	1.6	2.1	1.8	2.3	1.9	1.8	1.8	2.3	2.3	2.0	1.1	0.9
28	1.3	1.8	1.7	1.9	1.8	1.9	2.0	2.2	2.7	1.9	1.1	1.0
29	1.8		1.6	1.9	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2	1.9	1.1	0.9
30	1.6		2.0	2.2	2.2	1.9	2.1	2.1	2.3	2.1	0.9	0.9
31	2.1		1.9		2.2		1.9	2.4		2.0		1.1
Srednia	1.2	1.6	1.8	2.1	2.2	2.0	1.9	2.0	2.3	2.2	1.6	1.0

WEI _{avgAR}												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2.7	2.6	2.6	2.1	2.4	2.3	2.0	1.2	2.0	2.7	2.4	2.6
2	2.0	2.6	2.3	2.6	2.4	1.8	1.6	1.1	2.3	2.1	2.4	2.3
3	2.1	2.6	2.4	2.6	2.2	1.6	2.1	1.1	2.3	2.7	2.7	2.7
4	2.1	2.5	2.8	2.5	2.1	2.0	1.8	1.2	2.0	2.7	2.5	2.5
5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.1	1.6	1.8	1.9	2.1	2.6	2.6	2.5
6	2.5	2.4	2.4	2.7	2.5	2.1	1.4	1.6	2.3	2.7	2.6	2.3
7	2.5	2.4	2.3	2.5	2.5	2.0	1.5	1.7	2.5	2.4	2.3	2.6
8	2.4	2.3	2.5	2.3	2.4	2.0	1.4	1.7	2.6	2.6	2.5	2.4
9	2.5	2.6	2.4	2.7	2.3	2.1	1.5	2.1	2.5	2.2	2.8	2.5
10	2.5	2.6	2.5	2.6	2.2	2.2	1.8	1.4	2.3	2.4	2.6	2.0
11	2.4	2.7	2.3	2.1	1.8	1.5	1.9	2.3	2.5	2.7	2.4	2.1
12	2.3	2.5	2.5	2.4	2.1	1.8	1.7	1.8	2.1	2.6	2.6	2.1
13	2.9	1.9	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	2.3	2.6	2.2	2.3
14	2.6	2.4	2.7	2.6	2.1	2.4	1.2	1.9	2.3	2.4	2.3	2.0
15	2.4	2.3	2.4	2.4	2.1	2.1	1.9	1.6	2.4	2.4	2.4	2.5
16	2.4	2.3	2.4	2.2	2.5	2.0	1.8	1.6	2.1	3.0	2.7	2.2
17	2.4	2.5	2.4	1.9	1.9	2.3	2.0	2.0	2.3	2.6	2.1	2.8
18	2.7	2.3	2.3	2.5	1.6	1.8	1.4	2.2	2.6	2.7	2.5	2.1
19	2.6	2.1	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.5	2.4	2.7	2.3	2.5
20	2.7	2.3	2.4	2.4	2.5	2.2	1.8	1.5	2.5	2.8	2.2	2.0
21	2.4	2.4	2.5	2.4	2.3	2.0	1.9	2.0	2.6	2.5	2.5	2.4
22	2.3	2.9	2.6	2.4	2.2	1.5	2.0	1.5	2.6	2.4	2.5	2.4
23	2.5	2.0	2.5	2.5	2.1	1.7	1.8	2.1	2.4	2.6	2.4	2.5
24	2.7	2.4	2.3	2.2	2.3	2.0	1.4	1.7	2.4	2.4	2.6	2.5
25	2.3	2.4	2.3	2.9	2.2	2.2	1.2	2.2	2.4	2.6	2.5	2.2
26	2.5	2.5	2.3	2.3	2.3	1.5	1.8	2.0	2.5	2.3	2.3	2.3
27	2.5	2.7	2.3	2.3	1.6	1.8	1.6	2.2	2.4	2.5	2.4	2.5
28	2.1	2.4	2.3	2.3	1.9	1.8	1.7	2.1	2.9	2.4	2.6	2.4
29	2.4		2.5	2.0	2.0	2.0	1.7	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6
30	2.3		2.4	2.3	2.1	1.8	1.8	2.0	2.5	2.4	2.5	2.4
31	2.7		2.4		2.1		1.7	2.3		2.7		2.5
Srednia	2.4	2.4	2.4	2.4	2.1	1.9	1.7	1.8	2.4	2.5	2.5	2.4

WEI _{tot}												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	3,7	5,1	5,9	6,0	7,8	8,9	7,6	5,4	7,5	8,6	5,7	4,0
2	2,9	5,1	4,8	6,6	8,0	7,0	7,4	5,6	7,8	7,3	6,1	3,5
3	3,2	5,0	4,7	6,8	7,6	6,3	8,2	5,7	7,9	9,2	6,3	4,1
4	3,4	4,7	6,6	6,2	7,4	6,8	7,5	5,1	7,4	8,9	5,1	4,0
5	3,7	4,5	4,7	6,6	7,6	6,4	7,3	7,8	7,1	8,4	6,1	4,2
6	3,7	4,6	4,2	6,9	7,7	8,0	6,1	6,7	7,4	8,3	5,4	3,5
7	3,8	4,4	5,2	7,4	8,0	7,3	6,5	7,8	8,4	7,1	4,6	3,9
8	3,4	4,8	6,9	6,6	7,9	7,1	5,8	7,3	8,7	7,1	5,6	3,8
9	3,7	4,8	4,8	7,3	7,7	7,5	6,8	8,2	8,5	6,5	5,4	4,2
10	3,6	5,9	5,4	6,2	7,2	8,2	7,9	6,7	7,9	7,7	5,3	3,0
11	3,7	5,2	5,3	5,5	5,0	6,0	7,7	9,1	8,2	7,9	4,7	3,2
12	3,9	4,7	5,4	6,1	7,8	6,8	6,5	8,1	7,8	7,9	4,8	3,3
13	4,4	4,0	4,7	6,3	8,1	7,3	7,7	7,4	7,9	8,6	4,6	3,4
14	4,2	5,0	5,9	7,6	7,6	8,9	5,8	7,7	7,5	8,0	4,1	3,3
15	3,5	4,5	5,4	7,5	8,5	6,8	7,8	6,3	8,1	7,9	4,3	3,7
16	4,0	4,8	5,9	6,4	9,1	6,2	6,6	7,1	6,5	8,8	4,3	3,5
17	4,3	5,2	5,8	7,1	7,3	7,6	8,2	7,7	7,4	7,2	3,7	4,1
18	4,4	3,9	5,8	8,1	6,5	6,4	4,8	8,8	8,2	8,4	4,7	3,0
19	4,3	4,6	6,6	7,0	7,8	7,3	7,8	6,5	7,6	8,0	4,0	3,3
20	4,8	5,3	5,7	8,7	9,4	7,6	6,9	6,3	8,2	6,4	4,0	2,8
21	4,2	4,5	5,8	7,4	7,5	7,3	7,3	8,6	7,6	6,8	4,5	3,3
22	3,5	6,2	6,5	8,5	7,5	6,0	8,4	7,2	8,1	6,2	4,4	3,4
23	4,4	4,4	5,5	7,8	7,8	6,0	8,7	8,7	7,7	7,0	4,0	3,6
24	4,4	4,9	5,0	8,2	8,2	7,7	5,8	7,0	8,2	6,7	4,5	4,0
25	3,8	4,9	5,7	8,5	9,0	7,7	6,5	8,1	8,7	6,6	4,0	3,4
26	4,3	5,1	6,0	8,4	9,0	6,3	7,3	8,3	8,1	6,5	3,6	3,6
27	4,7	6,0	5,6	8,0	7,3	6,7	6,9	8,4	8,0	6,3	3,6	3,6
28	3,9	5,3	5,4	6,6	6,6	7,0	7,7	7,7	10,2	6,2	3,9	3,6
29	4,9		5,0	6,2	7,6	7,4	6,9	7,7	7,4	5,8	3,8	3,9
30	4,4		6,8	8,0	7,0	6,6	8,7	8,0	7,6	5,8	3,4	3,6
31	5,5		6,5		7,8		7,9	8,3		6,4		4,0
Średnia	4,0	4,9	5,6	7,1	7,7	7,1	7,2	7,4	7,9	7,3	4,6	3,6

Poszczególne skróty oznaczają:

- WEI_{avgSB}** – wskaźnik oceny przydatności pogody do kąpieli słonecznych
WEI_{avgAB} – wskaźnik oceny przydatności pogody do kąpieli powietrznych
WEI_{avgMR} – wskaźnik oceny przydatności pogody do spacerów i spokojnych zajęć terenowych
WEI_{avgAR} – wskaźnik oceny przydatności pogody do gier terenowych i intensywnych marszów, turystyki pieszej i rowerowej oraz pracy w otwartym terenie

Poszczególnym wartościom powyższych wskaźników przypisana jest następująca klasyfikacja:

- WEI_{avg}** < 0,5 – pogoda niekorzystna
 0,5 < **WEI_{avg}** < 1,2 – pogoda umiarkowanie korzystna
 1,2 < **WEI_{avg}** < 2,0 – pogoda korzystna
 2,0 < **WEI_{avg}** – pogoda bardzo korzystna

WEI_{tot} – sumaryczny wskaźnik oceny warunków pogodowych

Poszczególnym wartościom **WEI_{tot}** przypisano następującą skalę:

- WEI_{tot}** < 3,5 – warunki niekorzystne
 3,5 < **WEI_{tot}** < 5,0 – warunki umiarkowanie korzystne
 5,0 < **WEI_{tot}** < 6,5 – warunki korzystne
 6,5 < **WEI_{tot}** < 8 – warunki bardzo korzystne
 8 < **WEI_{tot}** – warunki wybitnie korzystne