

ZRÓŻNICOWANIE BIOKLIMATU KIELC W SEZONIE LETNIM

Grzegorz Żarnowiecki

Żarnowiecki G., 2002: *Zróżnicowanie bioklimatu Kielc w sezonie letnim (Differentiation of Kielce bioclimate in summer season)*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Nr 3., s. 109-116, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Pomiary temperatury podłoża, temperatury i wilgotności powietrza oraz wielkości ochładzającej powietrza wykonywano w trzech sezonach letnich na 8 stanowiskach reprezentujących różne typy krajobrazu. Obliczono częstość stanów parności wykorzystując kryterium Scharlau'a oraz skalę Leitsnera temperatury ekwiwalentnej. W celu określenia stopnia zróżnicowania bioklimatycznego posłużono się analizą skupień.

Grzegorz Żarnowiecki, Zakład Meteorologii i Bioklimatologii, Instytut Geografii, Akademia Świętokrzyska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce.
e-mail: gzarn@pu.kielce.pl

1. Wprowadzenie

Celem pracy jest przedstawienie wstępnych wyników terenowych badań nad zróżnicowaniem bioklimatycznym miasta Kielc. Badania te prowadzone są od roku 1999 przez Zakład Meteorologii i Bioklimatologii Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej. Pomimo, że nie spełniają one w pełni warunków klasycznego monitoringu mają pewne jego cechy. Należą do nich: stałe miejsca pomiarów, zawsze ta sama metodyka ich wykonywania, okres (czerwiec-lipiec) oraz jednakowy sprzęt pomiarowy. Zmiennymi są pogoda kształtowana przez sytuacje makrosynoptyczne oraz w mniejszym stopniu zabudowa, roślinność i użytkowanie terenu. Są to pierwsze tego typu badania w Kielcach, a ich celowość dodatkowo uzasadnia brak stacji meteorologicznej na terenie miasta od roku 1975.

Badania bioklimatyczne obszarów zurbanizowanych mają długą historię. Przegląd obszernej literatury na ten temat z omówieniem ważniejszych metod przedstawiła Kozłowska-Szczęśna (1992). W innej pracy autorka zebrała wszystkie publikacje poświęcone bioklimatowi uzdrowisk polskich (Kozłowska-Szczęśna 2000). Na szczególną uwagę zasługuje wspólne opracowanie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie i Instytutu Balneoklimatycznego w Poznaniu pt. „Bioklimat Uzdrowisk Polskich” (Jankowiak, Parczewski, red., 1978). Opracowanie to zawiera charakterystykę bioklimatu 22 uzdrowisk, wykonaną na podstawie materiałów obserwacyjnych stacji meteorologicznych. W niektórych uzdrowiskach, jak np. Busko-Zdrój prowadzono również mikroklimatyczne pomiary terenowe (Dykczyńska, 1969). Szereg propozycji metodycznych dotyczących badań

zróżnicowania bioklimatycznego uzdrowisk można znaleźć w pracach Błażejczyka (1984) i Krawczyk (1979). Zasady klasyfikacji i oceny bioklimatu przedstawił także Kłysik i wsp. (1984) na przykładzie Ostrowca Świętokrzyskiego.

Podjęmowano również badania bioklimatyczne w dużych skupiskach miejskich. W aglomeracji krakowskiej Hess z zespołem (1989) wyodrębnił 7 typów mikroklimatu uwarunkowanego charakterem powierzchni czynnej. Warunki bioklimatyczne aglomeracji gdańskiej opracował zespół Uniwersytetu Gdańskiego (Nurek i wsp., 1992) na podstawie zespołowych wskaźników biometeorologicznych oraz typów pogody. Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne analizowali także Błażejczyk (1992) dla województwa katowickiego i Kłysik z zespołem (1984, 1995) dla Łodzi. Podobną problematykę można znaleźć w licznych pracach dotyczących Warszawy (np. Bednarek, Huculak 1983, Stopa-Boryczka 1992).

Spośród miast porównywalnych wielkością do Kielc badano klimat lokalny Częstochowy (Tarajkowska 1971), Gdyni (Trapp (1980) oraz Torunia (Wójcik, Marciniak 1995, Wójcik, Rzepka-Urbańska 1997).

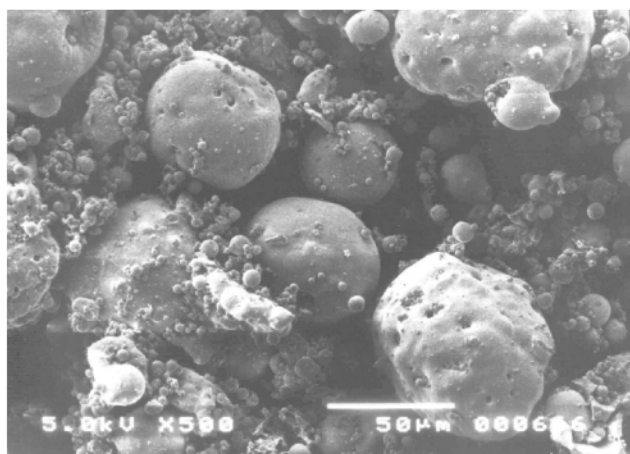
2. Teren badań

Wyznaczono 8 stanowisk pomiarowych, położonych w granicach administracyjnych miasta w maksymalnej odległości 5 km od siebie (ryc. 1). Ich wybór podyktowany był reprezentatywnością typowych krajobrazów miejskich i podmiejskich. Stąd też kryteria stanowiły: charakter zabudowy, rodzaj podłoża, warunki topograficzne i roślinność.



Żarnowiecki G., 2002: Zróżnicowanie bioklimatu Kielc w sezonie letnim (*Differentiation of Kielce bioclimate in summer season*)

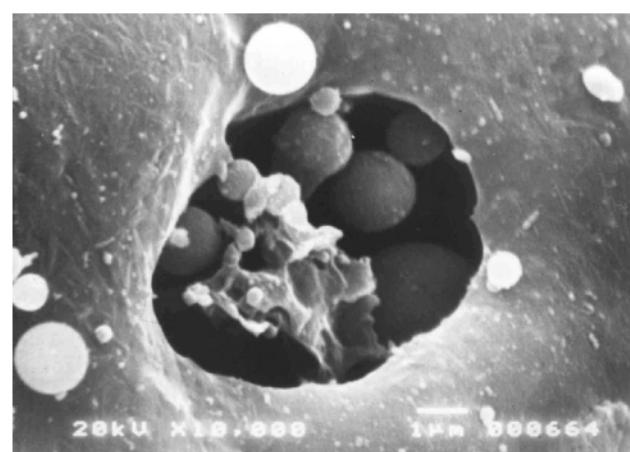
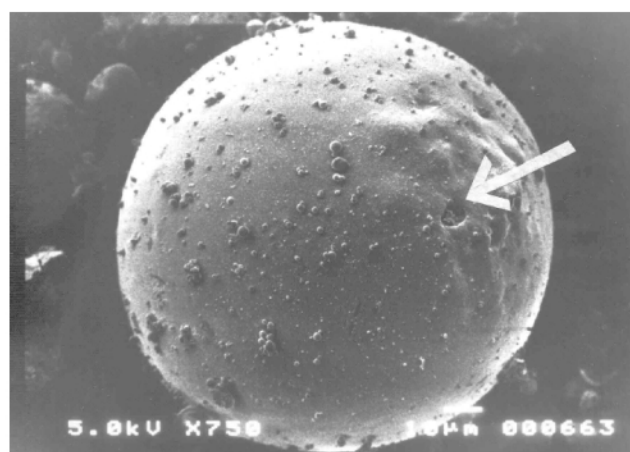
Ryc. 1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych
Fig. 1. Distribution of the measurement points



Woźniak M., Żygadło M., 2002: Monitoring składowisk odpadów paleniskowych (*Fly ash landfills' monitoring*)

Fot. 1. Morfologia ziaren popiołów lotnych z instalacji EC Kielce popioły spod elektrofiltra (fotografie obrazów uzyskanych w mikroskopie skaningowym). Dolna fotografia ilustruje w dużym powiększeniu widok kulistych form w otworze pojedynczego ziarna, zaznaczonym na fotografii wyżej strzałką

Fot. 1. Morphology of fly ash waste from heat-power plant in Kielce



Ryc. 1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych.
Fig. 1. Distribution of the measurement points.

Obszary zabudowane o betonowo-asfaltowej powierzchni czynnej reprezentowały stanowiska: PLAC na środku Placu Wolności (zabudowa zwarta), i DWORZEC obok dworca PKP (zabudowa luźna). W centrum miasta, na Wzgórzu Zamkowym zlokalizowano stanowisko KATEDRA. Na skwerze między Pałacem Biskupim a bazyliką katedralną występuje zróżnicowane podłoże z przewagą trawiastego. Tereny z wysoką i luźną zabudową reprezentowało stanowisko SZPITAL znajdujące się na płaskim wzniesieniu w dzielnicy Czarnów obok Szpitala Neuropsychiatrycznego. Podłoże na punkcie pomiarowym było niejednorodne, ziemno-trawiaste, w odległości 25 m od dwupasmowej ulicy Grunwaldzkiej.

Tereny rekreacyjne miasta reprezentowały trzy stanowiska: PARK, ZALEW i SILNICA. W Miejskim Parku przy ulicy Solnej funkcjonowało stanowisko PARK, a w północnej dzielnicy Szydłówek stanowisko ZALEW. Znajdowały się one w pobliżu zbiorników wodnych na rzece Silnica. W punkcie nad Zalewem odległość do jego wschodniego brzegu wynosiła 5 m, w Parku około 10 m. Stanowisko PARK na podłożu trawiastym, w sąsiedztwie asfaltowej alejki, jako jedyne było zacienione wysokimi drzewami (głównie kasztanowce i wierzby). Wysoka trawa porastała punkt nad Zalewem i na stanowisku SILNICA. Znajdowało się ono nad strumieniem o tej samej nazwie (5 m od brzegu), w dolinie o głębokości około 25 m, zorientowanej w kierunku W-E. W jej sąsiedztwie znajdują się sady i ogródki działkowe.

Jako punkt odniesienia traktowano stanowisko OGRÓDEK znajdujące się w dydaktycznym ogródku meteorologicznym Instytutu Geografii AŚ. Ze względu na swe położenie i otoczenie przez pola uprawne mogło z pewnym przybliżeniem reprezentować warunki występujące poza miastem.

3. Materiał i metody

Materiał obserwacyjny pochodził z całodobowych, codziennych pomiarów terenowych prowadzonych w dniach: 13-16.VI i 9-20.VII 1999, 4-11.VII 2000, 27.VI-2.VII, 3-8 i 9-14.VII 2001. W okresach tych przeważała pogoda słoneczna z małym i umiarkowanym zachmurzeniem kłębiastym, ze słabym wiatrem i tylko w dwóch dniach z przelotnym opadem deszczu. Warunki takie sprzyjały ujawnianiu się różnic mikroklimatycznych. Po krytycznej weryfikacji materiału obserwacyjnego uzyskano około 250 porównywalnych terminowych danych dla każdego elementu, co zapewniło wiarygodność dokonanej analizy statystycznej.

Na każdym stanowisku pomiarowym, na wysokości 1,3 m nad poziomem gruntu mierzono temperaturę i wilgotność powietrza psychrometrami aspiracyjnymi Assmanna oraz wielkość ochładzającą powietrza (tzw. ochładzanie bioklimatyczne suche) katatermometrami Hilla. Pomiary temperatury powierzchni czynnej były wykonywane termometrami elektronicznymi HD 8605 z sondami przylgowymi włoskiej firmy Padova. Jednocze-

śnie prowadzono pomiary prędkości wiatru anemometrami Robinsona na poziomie 2 m, oraz obserwacje zachmurzenia i hydrometeorów zgodnie ze „Wskazówkami dla posterunków meteorologicznych” Janiszewskiego (1988).

W pracy przedstawiono ważniejsze wyniki tych pomiarów zestawiając w tabeli charakterystyki statystyczne wybranych elementów bioklimatu oraz wykresy ich średnich dziennych przebiegów. Określono również związki korelacyjne pomiędzy terminowymi (godzinnymi) wartościami danego elementu w punkcie OGRÓDEK i na pozostałych stanowiskach na terenie miasta. Niskie współczynniki korelacji wskazują pośrednio na indywidualny charakter elementu bioklimatu w danym miejscu.

Z uwagi na charakter pogody występujący podczas obserwacji obliczono częstość występowania stanów parności na poszczególnych stanowiskach pomiarowych. Wykorzystano tzw. kryterium Scharlau'a, w którym za dolną granicę stanu parności uważa się aktualne ciśnienie pary wodnej równe 18,8 hPa. Uzupełnieniem była częstość występowania stanów odczucia „parno” ze skali Leitsnera temperatury ekwiwalentnej. ($T_e > 56^\circ\text{C}$). Temperaturę ekwiwalentną obliczano według uproszczonej formuły Protta (Cena Gregorcuk 1966):

$$T_e = T + 1,5e$$

gdzie: T oznacza temperaturę powietrza,
e – aktualne ciśnienie pary wodnej.

Wadą tego wskaźnika jest jego ograniczona przydatność do warunków bezwietrznych. Łączny wpływ prędkości wiatru i temperatury powietrza na odczuwalność ciepłą wyraża wielkość ochładzająca powietrza. Dla oceny zróżnicowania stanowisk pod względem tego elementu określono częstości występowania poszczególnych przedziałów odczucia ciepłego. Wykorzystano w tym celu skalę Petroviča i Kacvinsky'ego (Kozłowska-Szczęśna i wsp. 1997) w której stan komfortu termicznego określany jako „łagodnie” oznacza przedział wielkości ochładzającej od 420,1 do 630,0 W/m² lub od 10,1 do 15,0 mcal/cm²s.

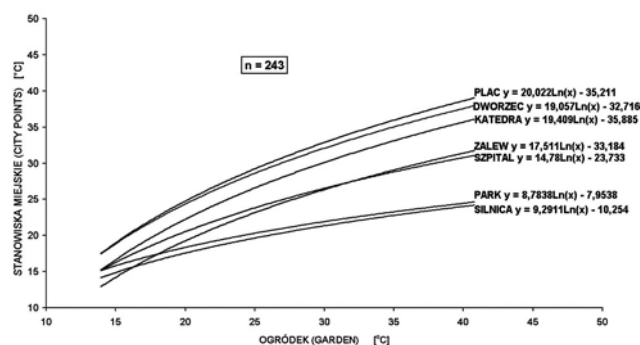
Jako podstawową metodę oceny zróżnicowania bioklimatycznego wybrano analizę skupień. Przeprowadzono ją oddzielnie dla poszczególnych elementów bioklimatu z wartości in extenso oraz na podstawie ich wartości średnich ze wszystkich okresów pomiarowych. W tym drugim przypadku wartości cech (elementów) poddano standaryzacji. W metodzie amalgamacji (wiązania) przy formowaniu skupień zastosowano metodę średnich połączeń. Jako miarę odległości między skupieniami wybrano „odległość miejską” (Manhattan). Obliczenia wykonano programem STATISTICA PL, a graficznym wyrazem przeprowadzonej analizy są poziome hierarchiczne wykresy drzewkowe tzw. dendrogramy.

4. Wyniki

Temperatura powierzchni gruntu

Zmiany w czasie temperatury powierzchni gruntu odzwierciedlają przebieg bilansu cieplnego na styku atmosfera-podłoże i bezpośrednio wpływają na warunki termiczne w przygruntowej warstwie powietrza. Związki tego elementu w mieście z punktem OGRÓDEK najlepiej

aprosymują funkcje logarytmiczne. Układ linii regresji wskazuje na 3 grupy stanowisk: bardzo ciepłych, umiarkowanie ciepłych i stosunkowo chłodnych (ryc. 2, tab. 1). Do pierwszej grupy należą stanowiska PLAC ze średnią temperaturą 24,8°C, DWORZEC (24,6°C) i KATEDRA (22,9°C). Drugą grupę tworzą punkty SZPITAL (21,7°C) i ZALEW (19,5°C), a trzecią PARK (19,1°C) i SILNICA (18,3°C). Podobny układ występuje na dendrogramie, który porządkuje obiekty w 3 skupienia (ryc. 3). Pierwsze o największym podobieństwie tworzą stanowiska PLAC i DWORZEC gdzie pomiary temperatury wykonywano na podłożu betonowym. W drugim skupieniu występują stanowiska ciepłe OGRÓDEK, KATEDRA SZPITAL o podłożu ziemno-trawiastym. Trzecie stanowią punkty stosunkowo chłodne ZALEW PARK SILNICA o podłożu trawiastym. Stanowiska PLAC i DWORZEC są najbardziej do siebie podobne, ale zarazem najsilniej manifestują swoją odrębność w stosunku do pozostałych. Dendrogram wskazuje, że w przypadku tego elementu mniejsze znaczenie ma obecność drzew (PARK i SILNICA w jednym skupieniu), a decydują własności fizyczne podłoża tj. jego albedo oraz pojemność i przewodnictwo cieplne zależne przede wszystkim od jego wilgotności. Znaczenie rodzaju powierzchni czynnej wzrastało pod tym względem w godzinach 12-17 kiedy różnice między stanowiskami były największe. Na PLACU i DWORCU temperatury powierzchni czynnej były o około 7° wyższe niż na najchłodniejszym ZALEWIE.



Ryc. 2. Zależności pomiędzy godzinnymi wartościami temperatury powierzchni gruntu stanowiska OGRÓDEK (X), a odpowiednimi wartościami na pozostałych stanowiskach pomiarowych (Y)

Fig. 2. The relationship between the hourly values of ground surface temperature in the point GARDEN (X) and corresponding values on the remaining measurement points (Y)

Zmienność temperatury podłoża była wyraźnie większa na stanowiskach najcieplejszych, niż na chłodnych. Najbardziej stabilne warunki termiczne panowały w PARKU (tab. 1) dzięki ekranującemu działaniu rosnących tam ogromnych drzew oraz w dolinie SILNICY gdzie podłoże było najbardziej wilgotne. Na suchym podłożu Placu Wolności zmienność temperatury powierzchni czynnej okazała się być dużo większa. Specyfikę termiki podłoża na stanowiskach PARK i SILNICA potwierdzają stosunkowo niskie wartości współczynników korelacji, np. między PARKIEM a ZALEWEM $r = 0,64$, gdy między DWORCEM a PLACEM $r = 0,93$ (tab. 2).

Temperatura powietrza

Dendrogram temperatury powietrza porządkuje stanowiska w dwa skupienia: KATEDRA-PLAC-SZPITAL jako grupa terenów zabudowanych oraz OGRÓDEK-

PARK-ZALEW-SILNICA jako grupa terenów zielonych. DWORZEC jest punktem o największym niepodobieństwie do pozostałych (ryc. 3). Specyfika termiczna tego stanowiska wynika stąd, iż jest ono najcieplejsze i zarazem najsłabiej skorelowane z pozostałymi stanowiskami. Poza tym punktem współczynniki korelacji między punktami mają wysoki poziom 0,95-0,98 (tab. 2). Podobieństwo stanowisk OGRÓDEK-PARK ujawnia silne skorelowanie wartości godzinnych oraz niemal identyczną wartość średnią temperatury powietrza. Nie dotyczy ona zmienności temperatury powietrza – w zacienionym PARKU była ona najmniejsza (tab. 1).

Tab. 1 Wartości średnie (AVG), ekstremalne (MAX, MIN) i odchylenia standardowe (SD) elementów bioklimatu poszczególnych stanowisk pomiarowych

Tab. 1. Average values (AVG), extreme values (MAX, MIN) and standard deviation (SD) of bioclimate elements on the measurement points

Elementy bioklimatu - Elements of bioclimate	Parametr	OGRÓDEK	SILNICA	ZALEW	PLAC	PARK	KATEDRA	DWORZEC	SZPITAL
Temperatura powierzchni gruntu Surface temperature [°C] n=255	AVG	21,56	18,30	19,48	24,83	19,13	22,85	24,62	21,68
	MAX	32,8	27,2	33,0	40,9	33,6	40,4	44,1	32,7
	MIN	13,1	7,6	11,8	12,0	11,5	12,8	11,6	12,6
	SD	5,35	3,02	4,07	6,15	2,80	5,10	5,50	4,20
Temperatura powietrza Air temperature 1,3 m [°C] n=255	AVG	19,60	19,23	20,04	20,65	19,62	20,54	21,61	20,37
	MAX	28,9	27,3	29,4	29,8	27,4	29,2	30,6	28,6
	MIN	8,6	7,2	8,6	11,1	10	9,9	10,3	9,8
	SD	4,05	4,10	4,02	4,07	3,61	3,94	4,01	4,04
Ciśnienie pary wodnej Vapour pressure [hPa] n=255	AVG	15,36	16,54	16,9	16,4	16	15,3	17	15,2
	MAX	21,6	26,3	28,8	25,6	22,4	22,3	27,2	23
	MIN	9,3	9,1	8,6	9,6	10,4	9,6	9,9	9,7
	SD	2,57	3,07	3,10	3,13	2,41	2,60	2,80	2,63
Niedosyt wilgotności Saturation deficit [hPa] n=227	AVG	8,25	6,59	7,35	8,82	7,47	9,75	9,76	9,63
	MAX	21,2	18,9	20,9	22,2	21	25,4	25,7	25,1
	MIN	0	0	0	0,3	0,2	0	0,3	0,4
	SD	5,27	4,58	4,92	5,35	4,67	5,82	6,16	5,65
Ochładzanie bioklimatyczne Cooling power [mcu/cm²s] n=153	AVG	10,72	7,99	10,03	9,03	8,89	8,86	8,32	9,64
	MAX	22,80	16,80	18,26	20,00	16,53	16,00	14,99	22,80
	MIN	1,00	2,80	4,10	1,80	3,18	2,90	1,60	2,90
	SD	3,46	2,44	2,75	2,92	2,72	2,55	2,46	3,54
Temperatura ekwiwalentna Equivalent temperature [°C] n=244	AVG	42,67	44,02	45,45	45,23	43,61	43,46	47,16	43,18
	MAX	58,5	64,9	68,4	67,7	58,3	61,7	66,6	59,1
	MIN	24,2	20,9	24,7	26,7	27,1	26,9	27,6	26,2
	SD	6,69	7,83	7,62	7,59	6,16	6,29	6,90	6,63

AVG wartość średnia – average value

SD – odchylenie standardowe – standard deviation

W średnim przebiegu dobowym temperatury powietrza widoczne są pewne prawidłowości. Nocą i wczesnie rano najchłodniejszym miejscem jest dolina SILNICY, natomiast w godzinach około południowych PARK. Zwraca uwagę najzimniejszy punkt SILNICA, drugi pod względem specyfiki termicznej, choć z innych powodów. Najniższe temperatury średnie i ekstremalne wynikały z położenia stanowiska na dnie doliny gdzie ze stoku północnego zachodził grawitacyjny wpływ oziębianego powietrza, już po godz. 16 było tu najzimniej (ryc. 4). Najwyższą temperaturę powietrza w ciągu doby notowano najczęściej obok DWORCA lub na PLACU. Różnice między tymi stanowiskami wynikały stąd, iż punkt koło DWORCA był osłonięty budynkiem od zachodu. Uprzylegowanie termiczne tego miejsca było widoczne tylko do godziny 16 po południu, później punkt ten znajdował

się w cieniu (ryc. 4). Największe różnice temperatury powietrza przekraczające 7 stopni (max. 7,7°C) występowały wieczorem, w godz. 20–22 między stanowiskami SILNICA i DWORZEC oraz SILNICA i PLAC. Wystąpienie wartości maksymalnej przypadało w centrum miasta o 1 do 3 godz. później, niż na jego krańcach (w OGRÓDKU). Zwłaszcza w punktach DWORZEC, PLAC i SZPITAL terminy temperatury maksymalnej opóźniały się przypadając najczęściej na godziny 16–17.

Tab. 2. Macierze współczynników korelacji między poszczególnymi stanowiskami dla temperatury powierzchni gruntu, temperatury powietrza, niedosytu wilgotności, ciśnienia pary wodnej i wielkości ochładzającej powietrza

Tab. 2. The matrixes of correlation coefficients between individual measurement points for ground surface temperature, air temperature, saturation deficit, water vapour pressure, equivalent temperature and cooling power

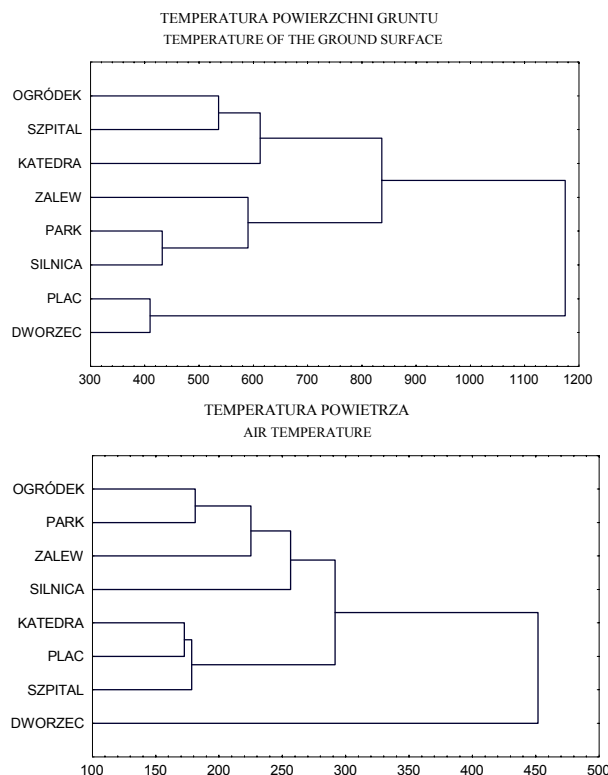
Temperatura powierzchni czynnej – Ground surface temperature								
	OGRÓDEK	ZALEW	KATEDRA	PARK	SZPITAL	PLAC	SILNICA	DWORZEC
OGRÓDEK	1,000	0,867	0,837	0,749	0,812	0,773	0,760	0,821
ZALEW	0,867	1,000	0,845	0,643	0,741	0,792	0,675	0,801
KATEDRA	0,837	0,845	1,000	0,688	0,748	0,798	0,724	0,829
PARK	0,749	0,643	0,688	1,000	0,849	0,759	0,757	0,746
SZPITAL	0,812	0,741	0,748	0,849	1,000	0,768	0,792	0,795
PLAC	0,773	0,792	0,798	0,759	0,768	1,000	0,679	0,934
SILNICA	0,760	0,675	0,724	0,757	0,792	0,679	1,000	0,752
DWORZEC	0,821	0,801	0,829	0,746	0,795	0,934	0,752	1,000

Temperatura powietrza – Air temperature								
	OGRÓDEK	ZALEW	KATEDRA	PARK	SZPITAL	PLAC	SILNICA	DWORZEC
OGRÓDEK	1,000	0,969	0,963	0,971	0,966	0,962	0,962	0,948
ZALEW	0,969	1,000	0,950	0,953	0,964	0,949	0,962	0,937
KATEDRA	0,963	0,950	1,000	0,974	0,972	0,974	0,930	0,949
PARK	0,971	0,953	0,974	1,000	0,973	0,973	0,931	0,944
SZPITAL	0,966	0,964	0,972	0,973	1,000	0,972	0,937	0,948
PLAC	0,962	0,949	0,974	0,973	0,972	1,000	0,921	0,943
SILNICA	0,962	0,962	0,930	0,931	0,937	0,921	1,000	0,930
DWORZEC	0,948	0,937	0,949	0,944	0,948	0,943	0,930	1,000

Niedosyt wilgotności – Saturation deficit								
	OGRÓDEK	ZALEW	KATEDRA	PARK	SZPITAL	PLAC	SILNICA	DWORZEC
OGRÓDEK	1,000	0,819	0,871	0,902	0,861	0,804	0,874	0,849
ZALEW	0,819	1,000	0,819	0,783	0,828	0,811	0,759	0,816
KATEDRA	0,871	0,819	1,000	0,908	0,891	0,793	0,794	0,917
PARK	0,902	0,783	0,908	1,000	0,874	0,782	0,814	0,897
SZPITAL	0,861	0,828	0,891	0,874	1,000	0,759	0,759	0,898
PLAC	0,804	0,811	0,793	0,782	0,759	1,000	0,743	0,761
SILNICA	0,874	0,759	0,794	0,814	0,759	0,743	1,000	0,765
DWORZEC	0,849	0,816	0,917	0,897	0,898	0,761	0,765	1,000

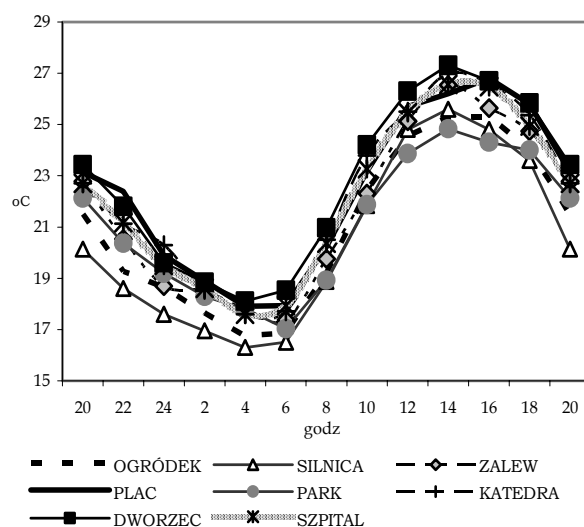
Ciśnienie pary wodnej – Water vapour pressure								
	OGRÓDEK	ZALEW	KATEDRA	PARK	SZPITAL	PLAC	SILNICA	DWORZEC
OGRÓDEK	1,000	0,696	0,796	0,863	0,740	0,552	0,775	0,621
ZALEW	0,696	1,000	0,629	0,658	0,719	0,592	0,628	0,550
KATEDRA	0,796	0,629	1,000	0,781	0,697	0,453	0,613	0,603
PARK	0,863	0,658	0,781	1,000	0,699	0,590	0,761	0,646
SZPITAL	0,740	0,719	0,697	0,699	1,000	0,424	0,589	0,536
PLAC	0,552	0,592	0,453	0,590	0,424	1,000	0,564	0,476
SILNICA	0,775	0,628	0,613	0,761	0,589	0,564	1,000	0,481
DWORZEC	0,621	0,550	0,603	0,646	0,536	0,476	0,481	1,000

Wielkość ochładzająca powietrza – Cooling power								
	OGRÓDEK	ZALEW	KATEDRA	PARK	SZPITAL	PLAC	SILNICA	DWORZEC
OGRÓDEK	1,000	0,495	0,670	0,547	0,696	0,692	0,680	0,661
ZALEW	0,495	1,000	0,436	0,395	0,538	0,520	0,595	0,525
KATEDRA	0,670	0,436	1,000	0,663	0,639	0,713	0,691	0,754
PARK	0,547	0,395	0,663	1,000	0,521	0,706	0,655	0,544
SZPITAL	0,696	0,538	0,639	0,521	1,000	0,699	0,711	0,687
PLAC	0,692	0,520	0,713	0,706	0,699	1,000	0,777	0,716
SILNICA	0,680	0,595	0,691	0,655	0,711	0,777	1,000	0,732
DWORZEC	0,661	0,525	0,754	0,544	0,687	0,716	0,732	1,000



Ryc. 3. Podobieństwo stanowisk pomiarowych pod względem temperatury powierzchni gruntu i temperatury powietrza

Fig. 3. Similarity of the measurement points in respect of ground surface temperature and air temperature



Ryc. 4. Średni dobowy przebieg temperatury powietrza

Fig. 4. Mean daily course of air temperature

Wilgotność powietrza i stany parności

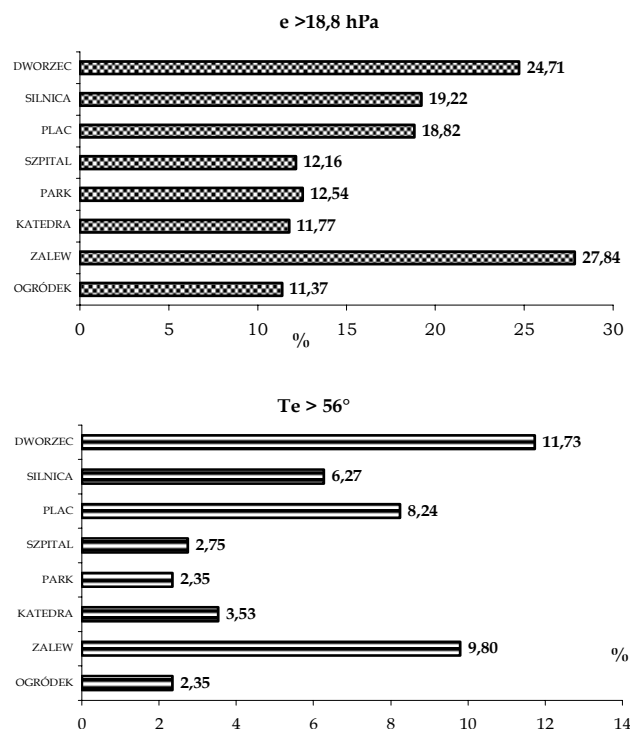
Wśród podstawowych charakterystyk wilgotności powietrza w bioklimatologii duże znaczenie ma niedosyt wilgotności powietrza. Jego wielkość daje informację o warunkach parowania i transpiracji, co w warunkach letnich upałów oznacza także zdolność organizmu człowieka do odprowadzania ciepła poprzez parowanie potu. Gdy niedosyt wilgotności jest wysoki pot paruje i ochładza skórę, natomiast przy niedosycie zbliżonym do zera parowanie potu jest utrudnione, co może być niebezpieczne dla osób z chorobami serca i układu krążenia. W warunkach letnich również wysokie ciśnienie pary wodnej jest czynnikiem obciążającym organizm człowieka. Wykazano, że jej wartość równa 18,8 hPa jest dolną granicą stanu parności (tzw. kryterium Scharlau'a).

Pod względem częstości występowania stanów parności warunkami najmniej korzystnymi charakteryzowały się stanowiska w sąsiedztwie rzeki – ZALEW (32%) i SILNICA (29%), a także tereny zwartej zabudowy – DWORZEC (30%) i PLAC (28%). Na pozostałych punktach częstość stanów parności była zdecydowanie mniejsza i wynosiła od 15% w punkcie KATEDRA do 18% w punktach SZPITAL i PARK (ryc. 5).

Dla porównania określono występowanie stanów parności według skali temperatury ekwiwalentnej ($T_e > 56^\circ\text{C}$). Wyniki okazały się podobne, choć w tym przypadku warunki parności występowały najczęściej na DWORCU (11,7%), a najrzadziej w PARKU (2,35%). W obydwu kryteriach najkorzystniej prezentuje się punkt poza miastem OGRÓDEK (ryc. 5).

Na wielkość ciśnienia pary wodnej wpływa przede wszystkim temperatura powietrza i turbulencja. Pewne znaczenie ma również wilgotność podłoża, dlatego też najwyższe średnie i maksymalne wartości uzyskano dla tak różnych stanowisk jak DWORZEC (17,0 hPa) i ZALEW (16,9 hPa). Najniższe wartości średnie otrzymano dla punktów dobrze przewietrzanych jak SZPITAL (15,2), KATEDRA (15,3) i OGRÓDEK (15,4, tab. 1).

Dendrogram podobieństwa pod względem niedosytu wilgotności porządkuje obiekty w dwa skupienia. Pierwsze to stanowiska OGRÓDEK PARK-SILNICA i ZALEW, a więc tereny rekreacyjne, w drugim skupieniu znajdują się tereny zabudowane: KATEDRA, SZPITAL, DWORZEC i PLAC (ryc. 6). W pierwszej grupie widoczna jest znaczna specyfika stanowiska nad ZALEWEM. Obserwowano charakterystyczną prawidłowość – im dzień był bardziej gorący tym bardziej punkt ZALEW wyróżniał się obniżonym niedosytem. Oprócz ZALEWU niskie niedosyty występowały w dolinie SILNICY i w PARKU. Dolinne położenie tych punktów i sąsiedztwo wody wpływało również na małą zmienność tego elementu (tab. 1). Największymi niedosytami odznaczały się stanowiska: DWORZEC, KATEDRA, i SZPITAL. W tym ostatnim czynnikiem podtrzymującym duże niedosyty był wiatr.



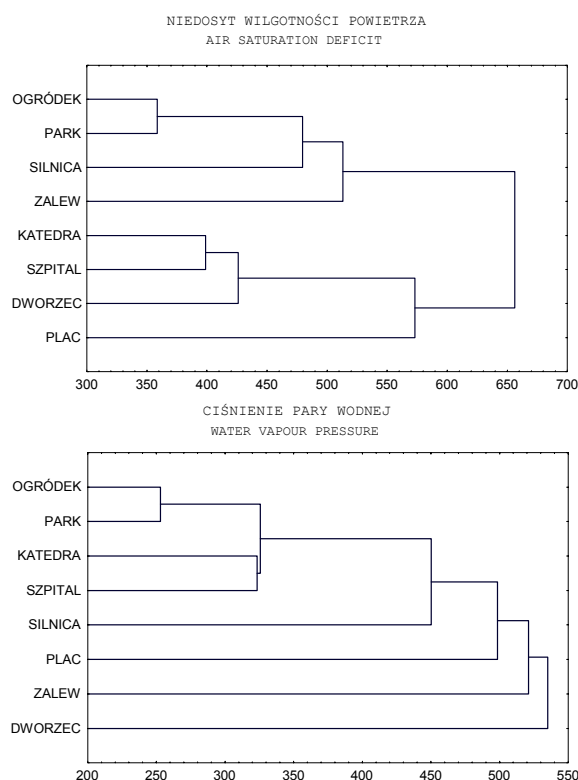
Ryc. 5. Częstość (w %) występowania stanów parności według kryterium Scharlau'a ($e \geq 18,8 \text{ hPa}$) i skali temperatury ekwiwalentnej ($T_e > 56^\circ\text{C}$)

Fig. 5. Frequency (in %) of sultry states after Scharlau's criterion ($e \geq 18,8 \text{ hPa}$) and the scale of equivalent temperature. ($T_e > 56^\circ\text{C}$)

Dendrogram dla ciśnienia pary wodnej wskazuje na specyfikę DWORCA, PLACU, ZALEWU i SILNICY. O podobieństwie można mówić jedynie w odniesieniu do stanowisk OGRÓDEK i PARK, oraz w mniejszym stopniu punktów KATEDRA i SZPITAL (ryc. 6). Potwierdzają to także wartości współczynników korelacji. Najslabiej skorelowanymi z pozostałymi punktami są stanowiska na PLACU ($r = 0,424$ do $0,592$) i DWORCU (tab. 2).

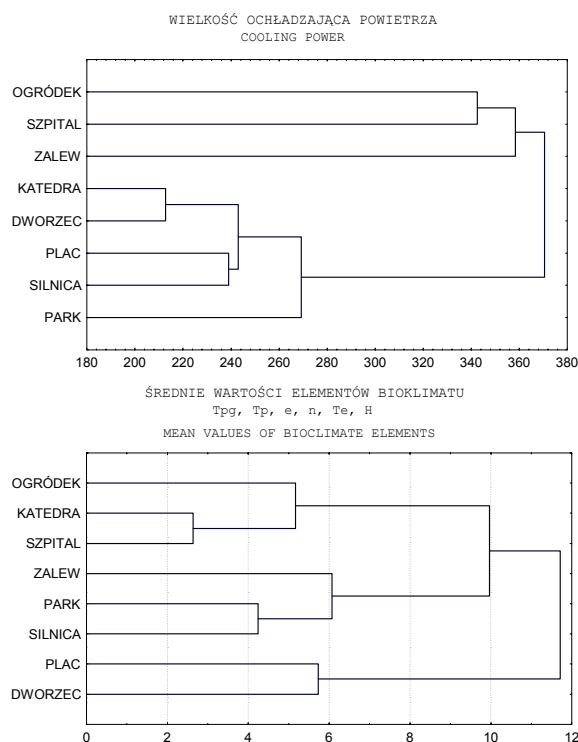
Wielkość ochładzająca powietrza

Wskaźnik ten zależy od temperatury powietrza i prędkości wiatru. Największą średnią wartością ochładzania odznaczały się stanowiska dobrze przewietrzane: OGRÓDEK ($10,7 \text{ mcal/cm}^2\text{s}$), ZALEW ($10,0$) i SZPITAL ($9,6$). Najniższa wartość tego elementu przypada na zaciszne dno doliny SILNICY ($8,0$, tab. 1). Wyniki te wskazują na dominujący wpływ ruchu powietrza na ochładzanie w porze dziennej. Potwierdza to także dendrogram podobieństwa, w którym punkty OGRÓDEK i SZPITAL tworzą dwuelementowe skupienie, o dużej specyfice, choć zarazem największym podobieństwem do ZALEWU. Pozostałe stanowiska reprezentują warunki zaciszne i tworzą drugie skupienie dendrogramu z parami obiektów podobnych KATEDRA-DWORZEC i PLAC-SILNICA. Stanowisko PARK cechuje pewien indywidualizm pod tym względem (ryc. 7).



Ryc. 6. Podobieństwo stanowisk pomiarowych pod względem niedosytu wilgotności i ciśnienia pary wodnej

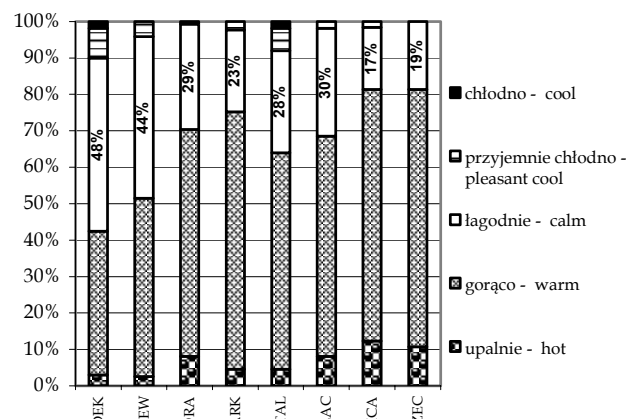
Fig. 6. Similarity of the measurement points in respect of saturation deficit and water vapour pressure



Ryc. 7. Podobieństwo stanowisk pomiarowych pod względem wielkości ochładzającej powietrza oraz pod względem średnich wartości elementów bioklimatu (temperatury powierzchni gruntu, temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej, niedosytu wilgotności, temperatury ekwiwalentnej i wielkości ochładzającej powietrza)

Fig. 7. Similarity of the measurement points in respect of cooling power and in respect of mean values of bioclimate elements (temperature of the ground, air temperature, water vapour pressure saturation deficit equivalent temperature and cooling power)

Uzupełnieniem stopnia zróżnicowania tego elementu jest częstość występowania wielkości ochładzającej powietrza w poszczególnych przedziałach odczuwalności. Warunki komfortowe wyznacza przedział 10,1-15,0 mcal/cm²s (420,1-630,0 W/m²) oznaczające odczucie określone jako „łagodnie”. Najczęściej takie stany notowano poza miastem (OGRÓDEK 47,7%) oraz nad ZALEWEM (44,4%). Najgorzej pod tym względem jest w okolicach DWORCA (18,5% i na Siejach nad SILNICĄ (17,2%). Te dwa stanowiska wyróżniły się także najczęściej występującymi stanami „upalnie” (ryc. 8).



Ryc. 8. Częstość (w %) występowania przedziałów odczuwalności cieplnej według skali ochładzania Petroviča i Kacvinsky'ego

Fig. 8. Frequency (in %) of cooling power stages of sensibility after Petrovič and Kacvinsky

Podobieństwo bioklimatyczne pod względem wartości średnich

Dendrogram powstały w oparciu o wartości średnie 6 elementów bioklimatu (temperatury powietrza, temperatury powierzchni czynnej, temperatury ekwiwalentnej, ciśnienia pary wodnej, niedosytu wilgotności i wielkości ochładzającej powietrza) uporządkował obiekty w 3 skupienia: [1] PLAC - DWORZEC, [2] PARK-SILNICA + ZALEW, [3] KATEDRA - SZPITAL + OGRÓDEK (ryc. 7).

Stanowiska skupienia [1] reprezentują zwartą zabudowę miejską. W grupie [2] znalazły się tereny rekreacyjne w bliskim sąsiedztwie powierzchni wody. W skupieniu [3] występują stanowiska położone na wzniesieniach tj. SZPITAL i KATEDRA i zarazem na peryferiach miasta tj. SZPITAL i OGRÓDEK. Skupienie [2] i [3] stanowi razem jedną gałąź dendrogramu podkreślając tym samym indywidualizm klimatyczny pary PLAC-DWORZEC. Zwraca uwagę, że największe podobieństwo bioklimatyczne uzyskały stanowiska KATEDRA i SZPITAL, jedno w centrum miasta, drugie na jego obrzeżach. Ich wspólną cechą jest urozmaicony charakter podłoża (ziemno-trawiasto-asfaltowy) i położenie na wzniesieniu.

5. Dyskusja wyników

Zgodnie z oczekiwaniami największy indywidualizm bioklimatyczny ujawniły dwa stanowiska reprezentujące zwartą zabudowę: PLAC i DWORZEC, jako tereny najsilniej przekształcone o betonowo-asfaltowej powierzchni czynnej. Oczywiście nie tylko rodzaj powierzchni odgrywa tu rolę, ale także sama jej wielkość niejako powiększona w mieście o wysokość tworzących ją budynków. Wyróż-

niały się także tereny, których swoistość klimatyczna związana jest z roślinnością wysoką (PARK) i orografią (SILNICA).

Indywidualizm klimatyczny Parku Miejskiego w Kielcach w największym stopniu dotyczył stabilności warunków termiczno-wilgotnościowych. Bardzo silny wpływ śródmiejskiej roślinności (tu PARKU) na klimat potwierdziły np. badania prowadzone przez Bednarka i Huculaka (1983) w Warszawie. Autorzy uzyskali podobne różnice w średnich charakterystykach, zwłaszcza wilgotności powietrza między terenami o podłożu betonowo-asfaltowymi i roślinnym. Park Miejski mimo stosunkowo niewielkiej powierzchni i położenia w centrum miasta odznacza się w okresie upałów z wiatrem najbardziej komfortowymi warunkami termiczno-wilgotnościowymi. Przy ogólnie dużej wilgotności powietrza, jaka występuje np. w masach zwrotnikowych pochodzenia morskiego park spełnia dobrze swą rolę ograniczając uciążliwe stany parności. Występują one najczęściej wewnątrz zwartej zabudowy (place, skwery) oraz w obniżeniach w pobliżu zbiorników wodnych. Przy niskiej i umiarkowanej prężności pary wodnej tereny w pobliżu Zalewu odznaczają się korzystnymi w porze dziennej warunkami termicznymi.

O ile w ciągu dnia najskuteczniej obniża temperaturę powietrza wysoki drzewostan, to nocą rzeźba terenu decyduje o spadkach temperatury. Jak się okazało wąskie dno doliny Silnicy sprzyja wprowadzić obniżaniu temperatury minimalnej, lecz nie podwyższa znacząco temperatury maksymalnej. Zwarta zabudowa podnosi temperaturę powietrza w ciągu całej doby, ale najsilniej jest to odczuwane późnym popołudniem i wieczorem.

Porównując wyniki ciśnienia pary wodnej z ochładzaniem bioklimatycznym zauważamy, że w korzystnym pod tym względem stanowisku ZALEW brak wiatru może oznaczać uciążliwy stan parności. Zwykle dobra wentylacja na Wzgórzu Zamkowym (KATEDRA) i wzniesieniu koło SZPITALA sprawiają, że stany parności występują tam stosunkowo rzadko. W punkcie PARK prężność pary wodnej jest niższa ze względu na chłodniejsze, bo zwykle zacienione podłoże. Niskiej zmienności termicznej towarzyszy tu niewielka zmienność ciśnienia pary wodnej.

Wyniki dotyczące ochładzania bioklimatycznego wskazują, że podczas upałów i ciszy najlepiej jest szukać ochłody poza miastem lub na jego peryferiach. Przy takiej pogodzie warunki w Parku Miejskim niewiele się różnią od tych na Placu Wolności. Większa zmienność ochładzania na peryferiach miasta, niż w jego centrum jest zgodna ze sprostaczeniami Kłysika i wsp. (1984), który wskazuje na wysoką dyspersję elementów meteorologicznych w dzielnicach o wysokiej i rozproszonej zabudowie. Poza ochładzaniem nie znalazło to potwierdzenia dla innych elementów w Kielcach gdzie takie warunki reprezentuje stanowisko SZPITAL. Analiza skupień tego elementu wykazała większy udział prędkości wiatru w ochładzaniu niż temperatury powietrza, co jest zgodne z badaniami Lewińskiej i wsp. (1982) w aglomeracji krakowskiej.

6. Wnioski końcowe

1. Przedstawione w pracy wstępne wyniki badań klimatu lokalnego Kielc pozwalają przyjąć, że czynnikiem

decydującym o zróżnicowaniu bioklimatycznym są fizyczne cechy powierzchni czynnej. Duże znaczenie ma tu szorstkość podłoża rozumiana zarówno jako rzeźba terenu jak i obecność wysokiej zabudowy. Czynniki te decydują o warunkach wentylacji, tym samym wpływa na stany parności. Ich występowanie ogranicza także roślinność wysoka, stąd rzadkie stany parności w Miejskim Parku. Zamknięte place i doliny, zwłaszcza bez drzew, ale z rozlewiskami rzek, są pod tym względem niekorzystne.

2. Badania wykazały również, że latem klimat Kielce odznacza się dużym stopniem zróżnicowania przestrzennego. Wynika to nie tylko z typowego dla każdego miasta różnego charakteru powierzchni czynnej, ale także z charakterystycznej dla Kielc urozmaiconej rzeźbie terenu. Jest ona „wzmacniana” wysoką zabudową osiedli mieszkaniowych położonych na licznych wzgórzach otaczających centrum miasta. Taki rozkład zabudowy sprzyja latem przewietrzaniu miasta poprawiając jego warunki aerosanitarne, natomiast zimą może je pogarszać przez tworzenie się inwersyjnej startyfikacji termicznej w śródmieściu.

3. W układzie urbanistycznym miasta najkorzystniejszy jest mozaikowy układ zabudowy i terenów zielonych. Poprawę warunków bioklimatycznych najłatwiej można osiągnąć przez powiększenie terenów zielonych, pamiętając tylko, że aby spełniały swoją rolę wielkość trawników miejskich nie powinna być mniejsza od 3000 m² (Orzeszek-Gajewska, 1982). Najlepiej jest, gdy powierzchnie zielone są pokryte zróżnicowaną roślinnością (trawniki, grupy drzew, kępy krzewów). Wysoka zieleni może istotnie wpływać na klimat lokalny miasta, gdy jego średnica nie jest mniejsza od 400 m (Lewińska red., 1991).

4. Szybki i skuteczny efekt poprawiający warunki bioklimatyczne w centrum miasta może dać budowa różnego rodzaju kaskad i fontann. Te ostatnie poza walorami estetycznymi poprawiają stan higieniczny powietrza i jego elektroklimatek. Fontanny poprzez hydrojonizację zwiększają w powietrzu liczbę lekkich jonów ujemnych, których korzystne oddziaływanie na zdrowie człowieka znane jest od dawna (Yaglou, Benjamin, Brandt 1933, Frey, Granda 1961). W okresie ogólnego ocieplenia klimatu i coraz częstszego występowania dni gorących i upalnych proponowane przedsięwzięcia wydają się być szczególnie uzasadnione.

Podziękowania. Autor pragnie wyrazić serdeczne podziękowanie Panu prof. dr hab. J. L. Olszewskiemu, kierownikowi Zakładu Meteorologii i Bioklimatologii Instytutu Geografii AŚ za twórczą inspirację i krytyczne przejrzenie maszynopisu. Za pomoc przy wykonywaniu pomiarów wyrażam podziękowanie moim współpracownikom Panu mgr G. Szałachowi i Pani mgr W. Przybył oraz studentom I i II roku studiów geograficznych.

7. Literatura

- Bednarek A., Huculak W., 1983: *Differentiation of microclimatic conditions in Warsaw*. Pol. Ecol. Stud., 9, 1-2: 7-24.
Błażejczyk K., 1984: *Bioklimatyczna klasyfikacja klimatów lokalnych z zastosowaniem do badań uzdrowisk*. Czas. Geogr., 55, 4: 491-505.
Błażejczyk K., 1992: *Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne (na przykładzie województwa katowickiego)*. Zesz. IGiPZ PAN 6: 15-28.

- Cena M., Gregorczyk M., 1966: Rozkład temperatury ekwiwalentnej na obszarze Polski. Roczn. Nauk Roln., D, 119: 191-211.
- Clarke J.F., Bach W., 1971: Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. Int. J. Biomet., 15, 1: 41-54.
- Dykczyńska K., 1969: Próba oceny klimatu Buska-Zdroju. Zesz. Nauk. UŁ., 32, S.II: 105-123.
- Frey A.H., Granda R.E., 1961: Human reactions to air ions, Part I, Experimental controls, Ithaca, General Electric Advanced Electronics Center at Cornell University. New York.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1989: Bioklimat Krakowa. Zesz. Nauk. UJ, CMXII, Prace Geograf., 73: 7-57.
- Janiszewski F., 1988: Wskazówki dla posterunków meteorologicznych. WKiŁ Warszawa.
- Jankowiak J., Parczewski W. (red.), 1978: Bioklimat uzdrowisk polskich. WKiŁ, Warszawa.
- Kłysik K., Kożuchowski K., Tarajkowska M., 1984: Zasady klasyfikacji klimatu i oceny bioklimatu terenów miejskich. Mat. I Ogólnopolskiej Konf. „Klimat i bioklimat miast” Łódź, 22-24 XI 1984: 140-154.
- Kłysik K., Fortuniak K., Zawadzka A., 1995: Charakterystyka bioklimatu Łodzi-Lublinka w świetle zmienności ochładzania w latach 1951-1990. [w:] Klimat i bioklimat miast pod red. Kłysika, Wyd. UŁ, Łódź.: 271-278.
- Kozłowska-Szczęsna T., 1992: Uwagi o metodach badań klimatu miast. Zeszyty IGiPZ PAN, 6: 5-12.
- Kozłowska-Szczęsna T., 2000: Stan badań klimatu i bioklimatu uzdrowisk polskich. Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 16: 1-61.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997: Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski. IGiPZ PAN Monografie, 1: 1-200.
- Krawczyk B., 1979: Bilans cieplny ciała człowieka jako podstawa podziału bioklimatycznego Iwonicza. Prace Geogr. IGiPZ PAN, 131.
- Lewińska J., (red). 1991: Klimat miasta. Vademecum urbanisty, Kraków.
- Nurek T., Korzeniewski J., Trapp J., Wyszowski A., 1992: Bioklimat aglomeracji gdańskiej. Uniw. Gd. Zesz. Nauk. - Geografia 18: 21-43.
- Orzeszek-Gajewska 1982: Kształtowanie terenów zieleni w miastach, Warszawa, PWN.
- Stopa-Boryczka M., 1992: Z badań klimatu Warszawy Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego. Prace i Studia Geograficzne, 11: 21-38.
- Tarajkowska M., 1971: Wpływ zabudowy miejskiej na warunki termiczne powietrza na przykładzie Częstochowy. Zesz. Nauk. Uniw. Łódzkiego, 2, 43: 139-159.
- Trapp J., 1980: Wpływ warunków naturalnych i zabudowy na klimat Gdyni. Dok., Geogr., 6: 52-53.
- Wójcik G., Marciniak K., 1995: Miejska wyspa ciepła w Toruniu. [W:] Człowiek a środowisko. Red. Z. Babiński, J. Szupryczyński, Toruń: 170-175.
- Wójcik G., Rzepka-Urbańska V., 1997: Bioklimat Torunia w świetle wybranych wskaźników kompleksowych. [W:] III Ogólnopolska Konferencja „Klimat i bioklimat miast”, Łódź 12-24 października.
- Yaglou C.P., Benjamin L.C., Brandt A.D., 1933: Physiological changes during exposure to ionized air. Heat. Pip. Air Condit., 5: 423-430.

DIFFERENTIATION OF KIELCE BIOCLIMATE IN SUMMER SEASON

Summary

The aim of the present study was to determine the degree of differentiation of biotopoclimatic conditions on the area of Kielce during summer season. An attempt at estimation of the effect of individual factors upon these conditions was made too.

The measurements were made in 8 places located in various topographical situations (max. distance 4,5 km). Downtown points SQUARE (PLAC) and STATION

(DWORZEC) represented build-up area, the point PARK was situated in City Park and CATHEDRAL (KATEDRA) was located on the cathedral hill. The points SILNICA and LAKE (ZALEW) were situated (respectively) at the bottom of the river valley, and in the vicinity of the artificial lake. The point HOSPITAL (SZPITAL) was on the hill near a wide road. The stand GARDEN (OGRÓDEK) was located outside the town and was treated as a relation point (fig. 1). The synchronous all day and every hour measurements were conducted in June and July of 1999, 2000 and 2001 during sunny and dry weather. The measurements of air temperature and humidity were made by Assmann's aspiration psychrometers at 130 cm above the ground. The cooling power was measured by Kata thermometers at the same level. The speed of wind was measured by Robinson's anemometer at height 200 cm. Statistical characteristics of some meteorological elements and biometeorological indices are presented in table 1.

Relationships between hourly values of ground surface temperature outside the city (GARDEN) and appropriate values at the remaining points were calculated (tab. 2). The temperature of the ground (active surface) most differentiated measured points. Its role as differentiation factor increased in conditions of intense insolation at midday. Relationships between active surface temperature outside the town (GARDEN) and on the other points were obtained in the form of logarithmic functions (fig. 2). These functions revealed 3 groups of points: very warm (SQUARE, STATION, CATHEDRAL), moderately warm (LAKE, HOSPITAL) and cool (PARK, SILNICA). The first group of points has usually a higher air temperature in relation to the suburban. The frequency of sultry states was calculated using Leitsner scale of equivalent temperature (Prott formula) and Scharlau's criterion of actual vapour pressure (fig. 5). Sultry periods occurred most often in the vicinity of water (LAKE and SILNICA) and inside compact building (STATION and SQUARE).

Bioclimatic conditions in the town with respect to dry cooling power using Kacvisnsky and Petrovič scale were estimated too. The comfort conditions "calm" were most often in points GARDEN and LAKE. On the other hand thermal condition "hot" were noted most often on stands SILNICA and STATION because these places are sheltered. The conditions "cool" occurred only at points GARDEN and HOSPITAL (fig. 8).

Tree clustering analysis was conducted in order to determine bioclimatic differentiation on the basis of average values of individual elements and all elements jointly. The results are presented in the form of dendrograms using Manhattan distance method (figs. 3, 6, 7). The highest degree of bioclimatic similarity in respect of mean values distinguished CATHEDRAL and HOSPITAL - the points situated on hill with grass as active surface. The second set forms SILNICA and PARK, which characterised by small ventilation. The most individual character of its bioclimate appeared SQUARE and STATION, which represented concrete-covered active surfaces. In conclusion one may state that differentiation of biotopoclimate in Kielce during radiation weather is determined above all by physical properties of the active surface.