

Paweł Jezioro

WPŁYW ROŚLINNOŚCI NA WARUNKI BIOKLIMATYCZNE PARKÓW MIEJSKICH

Zarys treści: W pracy przedstawiono charakterystykę warunków bioklimatycznych parku miejskiego na przykładzie Parku im. dra H. Jordana w Krakowie. Wyniki badań opierają się na obserwacjach mikroklimatycznych prowadzonych przez autora w wybranych dniach w roku 2006. Dowodzą one istnienia zróżnicowania warunków bioklimatycznych wynikających z pionowej struktury roślinności parku. Stwierdzono, że największe różnice w odczuciu cieplnym, mierzone przy użyciu wskaźnika STI, między obszarem pokrytym krzewami i drzewami a terenem otwartym (trawnik) mogą dochodzić do kilku stopni Celsjusza. Zróżnicowanie to jest wyraźne podczas pogody o charakterze insolacyjnym oraz w pełni okresu wegetacyjnego, czyli gdy występuje ulistnienie drzew i krzewów. Otoczenie krzewów i drzew wyraźnie łagodzi odczucia cieplne człowieka w porównaniu z terenem otwartym.

Słowa kluczowe: mikroklimat, bioklimat, tereny zieleni miejskiej, parki miejskie, pionowa struktura roślinności

Key words: microclimate, bioclimate, urban green areas, urban parks, vertical structure of vegetation

Wstęp

Park miejski, jako podstawowa jednostka zieleni miejskiej, jest obszarem rekreacji, a zatem miejscem odnowy sił fizycznych i psychicznych dla mieszkańców miasta. Zwykle teren parku miejskiego ma uporządkowaną strukturę przestrzenną. Roślinność jest ukształtowana w kompozycje drzew, krzewów i trawników. Występują też inne elementy, takie jak sieć ciągów spacerowych, mała architektura, a niekiedy obiekty kulturalne i sportowe. Jakość wypoczynku w parku miejskim zależy od tego, czy wymienione elementy parku pozostają w stosunku do siebie w odpowiednich proporcjach (Niemirski 1973). Nowakowski (1987) wskazuje, że aby park spełniał swoje funkcje ogólnomiejskie, jego powierzchnia nie powinna być mniejsza niż 5 ha. Duże znaczenie w odczuciu komfortu wypoczynku mają także

warunki mikroklimatyczne poszczególnych fragmentów parku, odnoszone do struktury przestrzennej roślinności (Czerwieniec, Lewińska 2000).

Badania prowadzone przez autora zmierzały do określenia wielkości zróżnicowania warunków mikroklimatycznych, uzależnionych od pionowej struktury roślinności¹ oraz ich znaczenia w kształtowaniu bioklimatu parku miejskiego.

Zagadnienia tego rodzaju są coraz częściej przedmiotem badań. W ostatnich latach ukazało się wiele publikacji, w których zajmowano się aspektami klimatycznymi w odniesieniu do obszarów zieleni miejskiej. Badano zarówno warunki mikroklimatyczne parków miejskich w porównaniu z otaczającym je obszarem zabudowanym (Andrade, Vieira 2006, Janson i in. 2007), jak również warunki bioklimatyczne w odniesieniu do komfortu wypoczynku w parkach miejskich (Thorsson i in. 2004). Wskazywano też na znaczenie struktury przestrzennej parku miejskiego w kształtowaniu się warunków bioklimatycznych poszczególnych jego fragmentów (Hadas, Baruch 2003, Bacci, Morabito 2005, Cohen i in. 2006).

Badania, których częściowe wyniki są prezentowane w niniejszym artykule, były prowadzone, w ramach autorskiego projektu badawczego pt. *Wpływ struktury zieleni miejskiej na warunki bioklimatyczne w Krakowie*. Projekt był współfinansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego oraz budżetu państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego. W całości zostaną one przedstawione w przygotowywanej przez autora rozprawie doktorskiej.

Metoda

W ramach wspomnianego wcześniej projektu badawczego prowadzono obserwacje mikroklimatyczne w pięciu obszarach testowych na terenie Krakowa. Cztery z nich są terenami zieleni miejskiej, jeden, to teren o gęstej zabudowie kilkukondygnacyjnej. Obserwacje odbywały się w 22 wybranych dniach w latach 2006 i 2007. Dobór dni do prowadzenia obserwacji był uzależniony od występowania pogody o charakterze insolacyjnym.

Badania, których wyniki prezentowane są w niniejszym artykule, były wykonywane na terenie Parku im. dra H. Jordana w Krakowie. Jest to park o powierzchni około 21 ha, znajdujący się w pobliżu centrum miasta. Z uwagi na historyczne aspekty związane z zagospodarowaniem tej części miasta, w bezpośredniej bliskości parku pozostał jednak duży teren niezabudowany – Błonia Krakowskie. Poza tym do parku przylega duży fragment zwartej zabudowy Miasteczka Akademickiego Akademii Górniczo-Hutniczej i budynki kilku wydziałów Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz teren obiektów sportowych Towarzystwa Sportowego Wisła Kraków. Park ten został utworzony w 1889 roku z inicjatywy lekarza i społecznika, profesora UJ, Henryka Jordana (1842–1907), z przeznaczeniem dla rekreacji dzieci i młodzieży, jako pierwszy tego typu w Polsce i jeden z pierwszych na świecie. Miał on jednak przyczynić się nie tylko do rozwoju fizycznego młodzieży, ale również skłaniać do patriotycznych refleksji przez ukazanie przykładów z życia wybitnych Polaków. Dlatego

¹ Pojęcie „pionowa struktura roślinności” zostało przez autora użyte w odniesieniu do zróżnicowania charakteru roślinności parku miejskiego w profilu pionowym. Autor nie wnika w skład gatunkowy poszczególnych zespołów roślinnych, a profil pionowy w rozumieniu autora odzwierciedla jedynie występowanie roślinności o różnej wysokości: roślinność niska – trawnik, roślinność średniej wysokości – krzewy, roślinność wysoka – drzewa.

w parku znalazła też swoje miejsce galeria popiersi wybitnych poetów, pisarzy, uczonych, bohaterów i artystów (Torowska 2001, Rożek 2006). Do czasów współczesnych zachowały się jedynie fragmenty pierwotnego założenia parku. Idea dra Henryka Jordana jest nadal podtrzymywana, lecz już w nieco zmienionej i uwspółcześnionej formie. Park ten jest wpisany do rejestru zabytków województwa małopolskiego.

W opracowaniu wykorzystano dane mikroklimatyczne zebrane w trakcie badań prowadzonych w roku 2006, w 4 dniach charakteryzujących się warunkami pogody wybranych pór roku: zimy, lata i jesieni. Na terenie parku wyznaczono trzy poletka badawcze, różniące się pokryciem podłoża. Uwzględniono przy tym zróżnicowanie pionowej struktury roślinności: roślinność wysoka – drzewa, roślinność średniej wysokości – krzewy, roślinność niska – trawnik (ryc. 1). Przeprowadzono obserwacje elementów meteorologicznych, do których należały pomiary: temperatury powietrza, wilgotności względnej i prędkości wiatru na wysokości 120 cm nad poziomem gruntu oraz obserwacje wizualne wielkości



Ryc. 1. Poletka badawcze na terenie Parku im. H. Jordana w Krakowie

D – poletko „drzewa”, K – poletko „krzewy”, T – poletko „trawnik”

Do wykonania ryciny wykorzystano fragmenty ortofotomapy obszaru Krakowa – zezwolenie Marszałka Województwa Małopolskiego, nr 25/2008.

Figure 1. Research areas in Jordan's Park in Krakow

D – Tree-covered area, K – Shrub-covered area, T – Grass-covered area

To create this Picture used the excerpt of orthophotomap of Krakow – permission of the Marshal of the Malopolska Region, no. 25/2008.

uśłonecznienia, zachmurzenia, zjawisk atmosferycznych i stanu powierzchni gruntu (Jezioro 2006). Pomiarów wykonywano przy użyciu elektronicznych rejestratorów Kestrel firmy Nielsen–Kellerman, po uprzednim skalibrowaniu i sprawdzeniu poprawności otrzymanych wyników przez porównanie z wynikami otrzymanymi z rejestratora HOBO firmy Onset oraz psychrometru aspiracyjnego Assmanna. Obserwacje wykonywano podczas dnia, co godzinę – od 8.00 czasu urzędowego do zmierzchu.

Analiza warunków bioklimatycznych została przeprowadzona na podstawie elementów bilansu cieplnego człowieka. Zastosowano dwa wskaźniki, wykorzystywane w biometeorologii turystyki i rekreacji: wskaźnik temperatury odczuwalnej (STI – Subjective Temperature Index) i wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS – Physiological Strain).

Wskaźnik temperatury odczuwalnej STI odzwierciedla odczucie ciepłe człowieka, które powstają w wyniku reakcji receptorów ciepła i zimna (skórnych i w ośrodkowym układzie nerwowym) na bodźce termiczne docierające do nich z otoczenia. Wyraża on subiektywne odczucie ciepłe, będące kombinacją wskaźnika M_{rt} – średniej temperatury promieniowania i wskaźnika S^* – wynikowej wartości salda wymiany ciepła (Błażejczyk 2004). Poszczególnym przedziałom wartości wskaźnika STI można przypisać określone odczucie ciepłe: poniżej $-38,0^{\circ}\text{C}$ – bardzo zimno, od $-38,0$ do $-0,5^{\circ}\text{C}$ – zimno, od $-0,5$ do $22,5^{\circ}\text{C}$ – chłodno, od $22,5$ do $32,0^{\circ}\text{C}$ – komfortowo, od $32,0$ do $46,0^{\circ}\text{C}$ – ciepło, od $46,0$ do $55,0^{\circ}\text{C}$ – gorąco, od $55,0$ do $70,0^{\circ}\text{C}$ – bardzo gorąco, powyżej 70°C – upalnie. Z uwagi na brak danych dotyczących promieniowania słonecznego do wyznaczenia temperatury odczuwalnej wykorzystano uproszczoną formułę tzw. pSTI (Approximated Subjective Temperature Index), zastosowaną przez Błażejczyka (1994) w modelu MENEX.

Wskaźnik stresu termofizjologicznego PhS (niemianowany) wyraża, jakie są termoregulacyjne reakcje dostosowawcze organizmu człowieka do zastanych warunków otoczenia. Jest on określany na podstawie stosunku strat ciepła z organizmu człowieka przez unoszenie (konwekcja) do strat ciepła w wyniku parowania potu (ewaporacja). Gdy przy wymianie ciepła z otoczeniem panuje równowaga między tymi dwoma strumieniami, nie są uaktywniane reakcje termoregulacyjne organizmu (warunki termoneutralne). Przy przewadze konwekcyjnych strat ciepła występuje fizjologiczny stres zimna, a gdy przeważa ewaporacja – stres gorąca (Błażejczyk 2004).

Wartości opisanych wskaźników otrzymano w odniesieniu do tzw. „średniego człowieka” (mężczyzny w wieku 30 lat, wzroście 174 cm i wadze 75 kg), o metabolizmie podstawowym BMR równym $45\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ i całkowitej metabolicznej produkcji ciepła M równej $135\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, co opowiada podejmowanej aktywności fizycznej ograniczającej się do spaceru z prędkością 4 km/godz. (Fanger 1974, ISO 8996). Obliczenia przeprowadzono wykorzystując program komputerowy Bioklima 2.4².

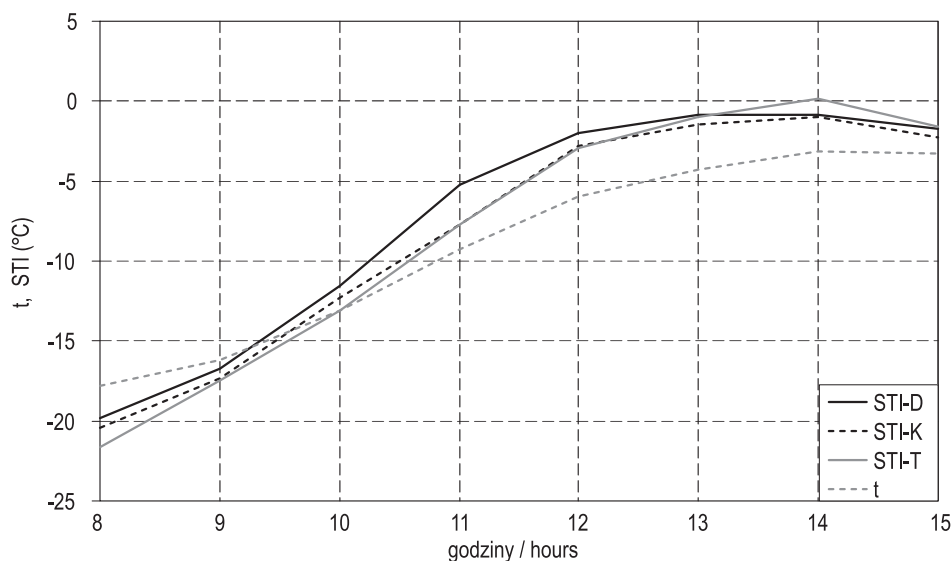
Określono również wartości temperatury powietrza w parku, jako średnie z każdego terminu pomiarowego, z wartości na poszczególnych poletkach badawczych.

² Bioklima 2.4 – pakiet programu autorstwa prof. dr. hab. Krzysztofa Błażejczyka, służący do wyznaczania różnych wskaźników biometeorologicznych i termofizjologicznych.
(www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm)

Wyniki

Wybrany dzień w zimie (27 stycznia 2006 r.) charakteryzował się występowaniem pogody insolacyjnej. W czasie prowadzenia obserwacji w tym dniu, czyli w godzinach od 8.00 do 15.00, temperatura powietrza była niższa od $0,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 2), wilgotność względna powietrza wahała się od około 40 do 100%, a prędkość wiatru nie przekraczała $1,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Był to dzień pogodny, z zachmurzeniem ogólnym nie przekraczającym 20% i chmurami piętra wysokiego (Ci), występującymi tylko w godzinach dopołudniowych. Pokrywa śnieżna miała grubość średnio 12 cm.

Temperatura odczuwalna STI wahała się od około $-20,0$ do $0,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 2). W pierwszej części dnia, do godzin południowych, w otoczeniu drzew wyraźnie wystąpił efekt łagodzenia odczucia „zimno” w porównaniu z otoczeniem krzewów i terenem otwartym. Najwyraźniej efekt ten zaznaczył się o godzinie 11.00, kiedy różnica wartości wskaźnika STI między wymienionymi poletkami badawczymi dochodziła do $2,5^{\circ}\text{C}$. Tak kształtujące się warunki subiektywnego odczucia cieplnego mogły być wynikiem ograniczenia ochładzającego wpływu prędkości wiatru w obrębie roślinności wysokiej, z uwagi na zwiększenie szorstkości podłoża. Przy ujemnej temperaturze powietrza nawet niewielka prędkość wiatru – jak to było rozpatrywanego dnia – jest uważana za znaczący czynnik w kształtowaniu odczucia cieplnego człowieka (Maarouf, Bitzos 2001). W drugiej części dnia, kiedy subiektywne odczucie ciepłe kształtowało się między „zimno” i „chłodno” wykazana prawidłowość



Ryc. 2. Wartości temperatury powietrza (t) i wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) w wybranym dniu zimowym 27.01.2006 (D, K, T – objaśnienie na rycinie 1)

Figure 2. Air temperature (t) and Subjective Temperature (STI) during selected winter day 27.01.2006 (D, K, T – explanation on figure 1)

Tab. 1. Wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS) w wybranych dniach: 27.01.2006, 11.07.2006, 4.08.2006, 11.10.2006

Table 1. Physiological Strain (PhS) during selected days: 27.01.2006, 11.07.2006, 4.08.2006, 11.10.2006

Data (date)	Poletko badawcze (research area)	PhS		
		a	b	c
27.01.2006	drzewa (tree-covered)	2,15	2,50	1,88
	krzewy (shrub-covered)	2,15	2,52	1,89
	trawnik (grass-covered)	2,17	2,56	1,84
11.07.2006	drzewa (tree-covered)	0,29	0,87	0,16
	krzewy (shrub-covered)	0,25	0,93	0,01
	trawnik (grass-covered)	0,17	0,74	0,01
4.08.2006	drzewa (tree-covered)	1,29	1,50	1,21
	krzewy (shrub-covered)	1,26	1,45	1,18
	trawnik (grass-covered)	1,32	1,59	1,18
11.10.2006	drzewa (tree-covered)	1,24	1,63	0,87
	krzewy (shrub-covered)	1,26	1,63	0,89
	trawnik (grass-covered)	1,17	1,66	0,81

wartości: a – minimalna, b – maksymalna, c – średnia
values: a – minimum, b – maximum, c – mean

skóry, osłabienie przepływu krwi w obrębie mięśni i skóry, zwiększenie ciśnienia krwi, zwiększenie właściwości termoizolacyjnych skóry oraz w warunkach silnego stresu zimna – drżenie mięśniowe.

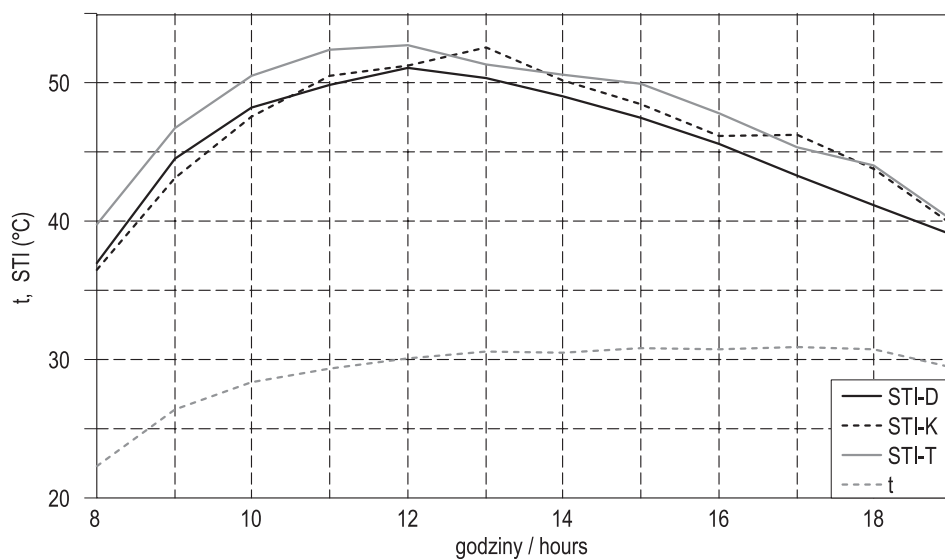
W pełni okresu wegetacyjnego podstawowym elementem związanym z podłożem, który w znaczący sposób ogranicza dopływ promieniowania słonecznego do najniższych warstw roślinności i do gleby, jest ulistnienie drzew i krzewów (Oke 1978). Przykładem zależności występujących w parku miejskim w tym okresie, z punktu widzenia subiektywnego odczucia ciepłego oraz poziomu stresu termofizjologicznego, są wyniki badań przeprowadzonych przez autora latem i jesienią, w dniach: 11 lipca i 11 października 2006 roku.

nie była widoczna, a korzystniejsze warunki z punktu widzenia tego wskaźnika pojawiły się w terenie otwartym – na trawniku. Wiąże się to z przejściem roli w kształtowaniu odczucia ciepłego człowieka przez czynnik związany z dostarczaniem do powierzchni ziemi większej ilości energii promieniowania słonecznego, niż to miało miejsce w godzinach popołudniowych. Pomimo tego, że duża część tej energii jest odbijana od zalegającej pokrywy śnieżnej, w terenie pokrytym roślinnością średnią i wysoką bezlistne konary stanowią pewną barierę dla przenikania tego promieniowania do powierzchni śniegu, a zatem ograniczają wielkość tego strumienia promieniowania w wymianie energii między podłożem i atmosferą (Oke 1978, Kędziora 1999).

W omawianym dniu na wszystkich poletkach badawczych wskaźnik stresu termofizjologicznego PhS kształtował się w strefie znacznego natężenia stresu zimna, którego poziom określają wartości od 1,50 do 4,00 (tab. 1). Podczas pojawienia się fizjologicznego stresu zimna przeważają konwekcyjne straty ciepła z organizmu nad utratą ciepła w wyniku parowania potu (Błażejczyk 2004). Im niższa jest temperatura powietrza, tym silniejsze reakcje dostosowawcze organizmu człowieka. Należą do nich: obniżenie temperatury

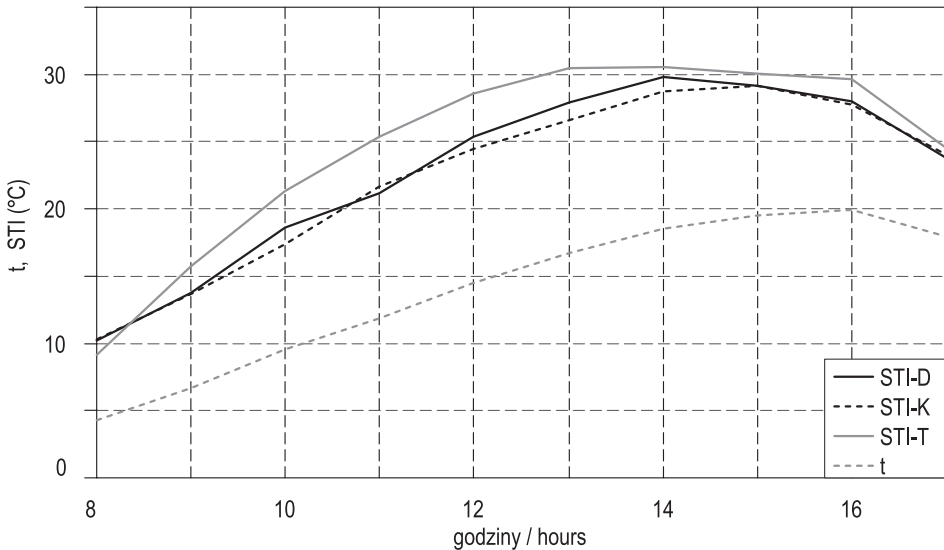
W pierwszym z wymienionych dni – w czasie wykonywania obserwacji, tj. w godzinach: 8.00–19.00 – temperatura powietrza w parku przez większość dnia była wyższa od $30,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 3), wilgotność względna powietrza kształtowała się od około 30 do 80%, a prędkość wiatru, poza dwoma terminami obserwacji, nie przekraczała $1,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Był to dzień bezchmurny. Kolejny dzień (obserwacje w godzinach 8.00–17.00) charakteryzował się temperaturą powietrza, od około $4,0^{\circ}\text{C}$ rano do $20,0^{\circ}\text{C}$ po południu (ryc. 4). Wilgotność względna wynosiła od 55 do 100%, a prędkość wiatru nie przekraczała $1,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Był to dzień, który również można uznać za pogodny; pomijając pierwszy termin obserwacji (o godzinie 8.00), w którym wystąpiła mgła, zachmurzenie ogólne nie przekraczało 20%. Obserwowano chmury piętra średniego (Ac) i wysokiego (Ci).

W wybranym dniu letnim (11 lipca 2006 r.) subiektywne odczucie ciepłe (wskaźnik STI) kształtowało się na poziomie „ciepło” w godzinach porannych i późnym popołudniem oraz na poziomie „gorąco” w pozostałej części dnia (ryc. 3). W dniu jesiennym (11 października 2006 r.) odczucie ciepłe pozostawało w granicach określonych jako „chłodno” w godzinach przedpołudniowych i „komfortowo” w godzinach popołudniowych (ryc. 4). W przebiegu dziennym tego wskaźnika na wyznaczonych poletkach badawczych zaobserwowano wyraźną prawidłowość: wartość temperatury odczuwalnej była wyraźnie wyższa w terenie otwartym w porównaniu z tym w otoczeniu krzewów i drzew. W dniu letnim różnice te sięgały maksymalnie do $3,0^{\circ}\text{C}$ (około godziny 10.00), a w dniu jesiennym



Ryc. 3. Wartości temperatury powietrza (t) i wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) w wybranym słonecznym dniu letnim 11.07.2006 (D, K, T – objaśnienie na rycinie 1)

Figure 3. Air temperature (t) and Subjective Temperature (STI) during the selected sunny summer day 11.07.2006 (D, K, T – explanation on figure 1)



Ryc. 4. Wartości temperatury powietrza (t) i wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) w wybranym dniu jesiennym 11.10.2006 (D, K, T – objaśnienie na rycinie 1)

Figure 4. Air temperature (t) and Subjective Temperature (STI) during the selected autumn day 11.10.2006 (D, K, T – explanation on figure 1)

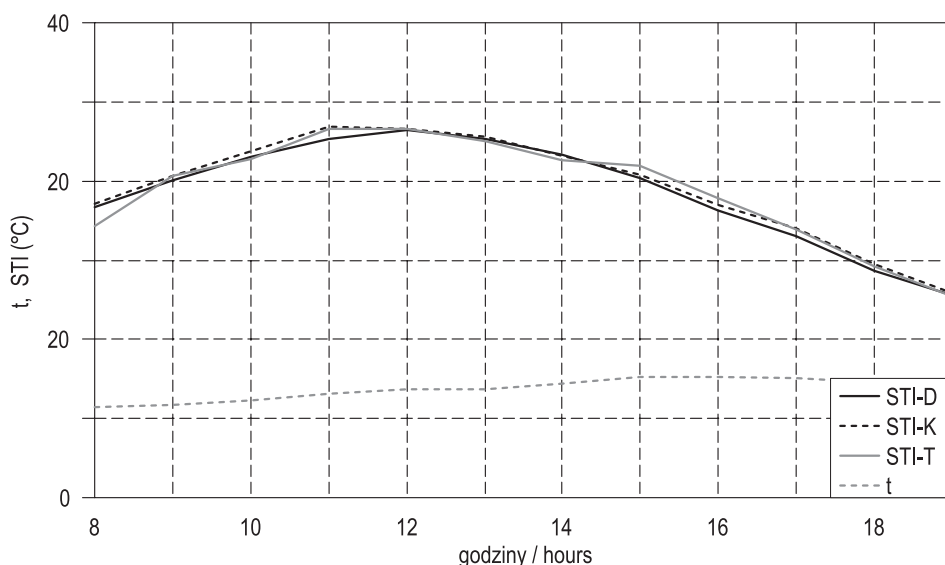
o godzinie 11.00 nawet do 4,0°C (ryc. 3, 4). Prawidłowość ta jest związana z faktem, że w pełni okresu wegetacyjnego, przy występowaniu ulistnienia drzew i krzewów, korony drzew zatrzymują dużą część promieniowania słonecznego powodując, że tylko około 20% tego promieniowania może docierać do niższych warstw roślinności (Radomski 1987). Otoczenie drzew i krzewów wyraźnie łagodzi odczucia ciepłe człowieka w porównaniu z terenem otwartym. Charakterystyczne jest również to, że odczucie ciepłe człowieka w otoczeniu krzewów i drzew jest w tych porach roku i przy tej pogodzie zbliżone. Pewne odstępstwa od tej reguły były widoczne w przebiegu wskaźnika temperatury odczuwalnej STI w dniu letnim w godzinach: 13.00 i 17.00. Były one wywołane wzrostem prędkości wiatru o składowej zachodniej w przypowierzchniowej warstwie powietrza (porywy do około 3 m·s⁻¹), a co za tym idzie przemieszczaniem się cieplejszego powietrza z terenu otwartego w kierunku terenu osłoniętego przez roślinność średnią i wysoką. Potwierdzeniem takiego przebiegu tego procesu było widoczne w tych godzinach nieznaczne obniżenie się wartości wskaźnika temperatury odczuwalnej w terenie otwartym.

Wskaźnik stresu termofizjologicznego PhS pozostawał w wybranym dniu letnim (11 lipca 2006 r.) w zakresie od warunków termoneutralnych (0,75–1,50), poprzez znaczne natężenie stresu gorąca (0,25–0,75), do dużego natężenia stresu gorąca, określanego wartościami mniejszymi od 0,25 (tab. 1). Podczas występowania stresu gorąca w wymianie ciepła z otoczeniem ewaporacja przeważa nad konwekcyjnymi stratami ciepła z organizmu (Błażejczyk 2004). Im wyższa jest temperatura powietrza, tym silniejsze są reakcje dostosowawcze organizmu człowieka. Polegają one na okresowych zmianach temperatury skóry (wysokiej podczas fazy

nagrzewania się suchej skóry i niskiej podczas pocenia się), zwiększeniu przepływu krwi w obrębie skóry, zmniejszeniu ciśnienia krwi, zwiększeniu tętna oraz intensywnego pocenia się, co może prowadzić do odwodnienia organizmu. W dniu jesiennym (11 października 2006 roku) wskaźnik stresu termofizjologicznego pozostawał w zakresie od warunków znacznego natężenia stresu zimna (1,50–4,00) do warunków termoneutralnych (tab. 1).

Dla porównania przedstawiono również zależności, jakie występują w przebiegu temperatury odczuwalnej STI i stresu termofizjologicznego PhS w dniu pochmurnym (4 sierpnia 2006 roku). Temperatura powietrza w tym dniu w czasie wykonywania obserwacji, czyli w godzinach 8.00–19.00, kształtowała się na stałym poziomie około 16,0–17,0°C (ryc. 5), wilgotność względna powietrza wynosiła od 90 do 100%, a prędkość wiatru nie przekraczała 1,5 m·s⁻¹. Był to dzień z zachmurzeniem całkowitym. Występowały chmury piętra niskiego (St, Sc).

W tym dniu nie zaobserwowano wyraźnych różnic w przebiegu temperatury odczuwalnej STI, jak i w wartościach wskaźnika stresu termofizjologicznego w otoczeniu roślinności o różnej strukturze pionowej (ryc. 5, tab. 1). Subiektywne odczucie ciepła człowieka kształtowało się w zakresie „komfortowo” w godzinach przedpołudniowych i popołudniowych, a około południa występowało odczucie „ciepło”. Z punktu widzenia wskaźnika stresu termofizjologicznego PhS – przez cały dzień miały miejsce warunki termoneutralne. Jedynie o godzinie 19.00 i tylko w terenie otwartym (na trawniku) wystąpiło znaczne natężenie stresu zimna.



Ryc. 5. Wartości temperatury powietrza (t) i wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) w wybranym pochmurnym dniu letnim 4.08.2006 (D, K, T – objaśnienie na rycinie 1)

Figure 5. Air temperature (t) and Subjective Temperature (STI) during selected cloudy summer day 4.08.2006 (D, K, T – explanation on figure 1)

Wnioski

Zaprezentowane wyniki badań wskazują na istnienie zróżnicowania warunków bioklimatycznych zależnych od pionowej struktury roślinności parku miejskiego. Zróżnicowanie to, określane przez subiektywne odczucie ciepłe STI oraz poziom stresu termofizjologicznego PhS, występuje wyraźnie podczas pogody bezchmurnej lub z niewielkim zachmurzeniem oraz przy małej prędkości wiatru. W okresie wegetacyjnym, gdy ulistnienie drzew i krzewów odgrywa zasadniczą rolę w kształtowaniu bilansu energii obszarów zieleni, otoczenie drzew i krzewów wyraźnie łagodzi subiektywne odczucie ciepłe człowieka w porównaniu z terenem odsłoniętym. Różnice te mogą dochodzić nawet do kilku stopni Celsjusza. Złagodzeniu ulega też poziom stresu termofizjologicznego. Warto odnotowania jest fakt, że odczucie ciepłe w otoczeniu krzewów i drzew jest w tym okresie bardzo zbliżone. W okresie zimowym opisana zależność jest słabiej widoczna. W tej porze roku otoczenie drzew i krzewów może w pewnym stopniu łagodzić odczucie ciepłe podczas występowania zachmurzenia, lecz podczas pogody bezchmurnej korzystniejsze warunki panują w terenie otwartym. Zasadnicze znaczenie w kształtowaniu się warunków bioklimatycznych obszarów zieleni ma prędkość wiatru i zachmurzenie. Wzrost prędkości wiatru i duże zachmurzenie prowadzą do zaniku zróżnicowania subiektywnego odczucia ciepłego oraz wyrównania poziomu stresu termofizjologicznego w parku niezależnie od charakteru roślinności.

Literatura

- Andrade H., Vieira R., 2006, *Local and microclimate differentiation of urban green space in Lisbon (Portugal)*, [w:] *Sixth International Conference on Urban Climate*, Preprints, Göteborg 12–16 June 2006, 659–662.
- Bacci L., Morabito M., 2005, *Bioclimatic conditions of urban green areas differing in size, composition and structure during summer and winter in Florence Italy*, [w:] *17th International Congress of Biometeorology ICB 2005*, *Annalen der Meteorologie*, 41,1, 141–144.
- Błażejczyk K., 1994, *Klimatologiczno-fizjologiczny model wymiany ciepła między człowiekiem i otoczeniem (MENEX)*, *Przegląd Geograficzny*, 66, 1–2, s. 33–55.
- Błażejczyk K., 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 192.
- Cohen P., Potchter O., Bitan A., 2006, *The correlation between climatic condition in different designed urban parks and their pattern of use*, [w:] *Sixth International Conference on Urban Climate*, Preprints, Göteborg 12–16 June 2006, 262–265.
- Czerwieniec M., Lewińska J., 2000, *Zieleń w mieście*, Wyd. IGPiK, Kraków.
- Fanger P.O., 1974, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa.
- Hadas S., Baruch Z., 2003, *The impact of a small lake on heat stress in a mediterranean urban park: the case of Tel Aviv, Israel*, *Int. Journal of Biometeorology*, 47, 156–165.
- ISO 8996, *Ergonomics – determination of metabolic heat production*, International Organization of Standardization, Geneva.
- Janson C., Janson P.E., Gustafsson D., 2007, *Near surface climate in an urban vegetated park and its surroundings*, *Theoretical and Applied Climatology*, 89, 185–193.

- Jeziorno P., 2006, *Instrukcja prowadzenia obserwacji meteorologicznych (w ramach projektu badawczego: Wpływ struktury zieleni miejskiej na warunki klimatyczne)*, maszynopis, Zakład Klimatologii, IGiP UJ, Kraków.
- Kędziora A., 1999, *Podstawy agrometeorologii*, Państw. Wyd. Rolnicze i Leśne, Poznań.
- Maarouf A., Bitzos M., 2001, *Les indices de refroidissement éolien: état de la question, applications actuelles et orientations futures pour le Canada*, Climat et Santé, 22, 7–37.
- Niemirski W., 1973, *Kształtowanie terenów zieleni*, Wyd. Arkady, Warszawa.
- Nowakowski Z., 1987, *Normy, wskaźniki i informacje dla potrzeb planowania przestrzennego, III. Tereny zieleni i sportu*, [w:] *Materiały do projektowania regionalnych i miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego*, Wyd. IGPiK, Warszawa, 58–61.
- Oke T.R., 1978, *Boundary layer climates*, Methuen & Co Ltd, London.
- Radomski Cz., 1987, *Agrometeorologia*, PWN, Warszawa.
- Rożek M., 2006, *Urbs celeberrima (przewodnik po zabytkach Krakowa)*, Wyd. WAM, Kraków.
- Thorsson S., Lindqvist M., Lindqvist S., 2004, *Thermal bioclimatic conditions and patterns of behavior in an urban park in Göteborg, Sweden*, Int. Journal of Biometeorology, 48, 149–156.
- Torowska J., 2001, *Parki Krakowa (część 1)*, Wyd. Sponta, Kraków.

The influence of vegetation on bioclimatic conditions in urban parks

Summary

Urban parks are popular for recreation and outdoor activities. A mosaic microclimate, linked to a vertical vegetation structure, plays an important role in these pursuits.

The paper presents an analysis of the bioclimatic conditions in urban vegetated park, based on microclimatic data. Measurements were taken in the Jordan's Park in Krakow on four days, including three sunny days and one cloudy day, in various seasons of 2006. The measurement equipment – data loggers of air temperature, relative humidity and wind speed – were situated at 1.2 m above the ground in tree-covered area, shrub-covered area and grass-covered area (Jeziorno 2006). This data were used to calculate two indices: subjective temperature index STI and physiological strain PhS (Błażejczyk 2004).

It was found out, that the great difference of bioclimatic conditions, by the STI and the PhS indices measured between the shaded surface (trees and shrub) and sunny surface (grass), occurs on sunny days and in the middle of the vegetation season. These differences in thermal sensation has gone up to 4°C (Figure 4). In winter this pattern was not clear. It was not found at all on the cloudy day. An increase of wind speed reduced the differentiation of bioclimatic conditions in the vertical structure of vegetation in that urban park.

Paweł Jeziorno
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 7
30–387 Kraków
e-mail: pjeziorno@wp.pl

