

SZYMON ŁUKASIEWICZ, JACEK OLEKSYN

## ZRÓŻNICOWANIE PRZESTRZENNE ELEMENTÓW METEOROLOGICZNYCH I ICH WPŁYW NA ROZWÓJ KASZTANOWCA ZWYCZAJNEGO (*AESCULUS HIPPOCASTANUM* L.) W WARUNKACH MIEJSKICH POZNANIA

### ZARYS TREŚCI

W pracy przedstawiono zróżnicowanie warunków topoklimatycznych na obszarze szeroko rozumianego centrum Poznania. Badania prowadzono od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. na 21 stanowiskach na terenie miasta. Wykonywane co godzinę, automatyczne pomiary dotyczyły czterech elementów meteorologicznych: temperatury powietrza i temperatury punktu rosy oraz wilgotności względnej i bezwzględnej powietrza. Z uzyskanych  $t^1$  drog<sup>1</sup> danych obliczono niedosyt wilgotności powietrza. Wyniki wykazały m.in.: znaczne zróżnicowanie temperatur i wilgotności na stanowiskach w obrębie miasta, dominujący wpływ wrażliwości podłoża na zróżnicowanie ww. elementów meteorologicznych oraz opóźnienie wzrostu wilgotności powietrza w centrum miasta po wystąpieniu opadów – w porównaniu do stanowisk o naturalnej, tj. nieutwardzonej powierzchni gleby.

### WSTĘP

#### MIEJSKA WYSPA CIEPŁA

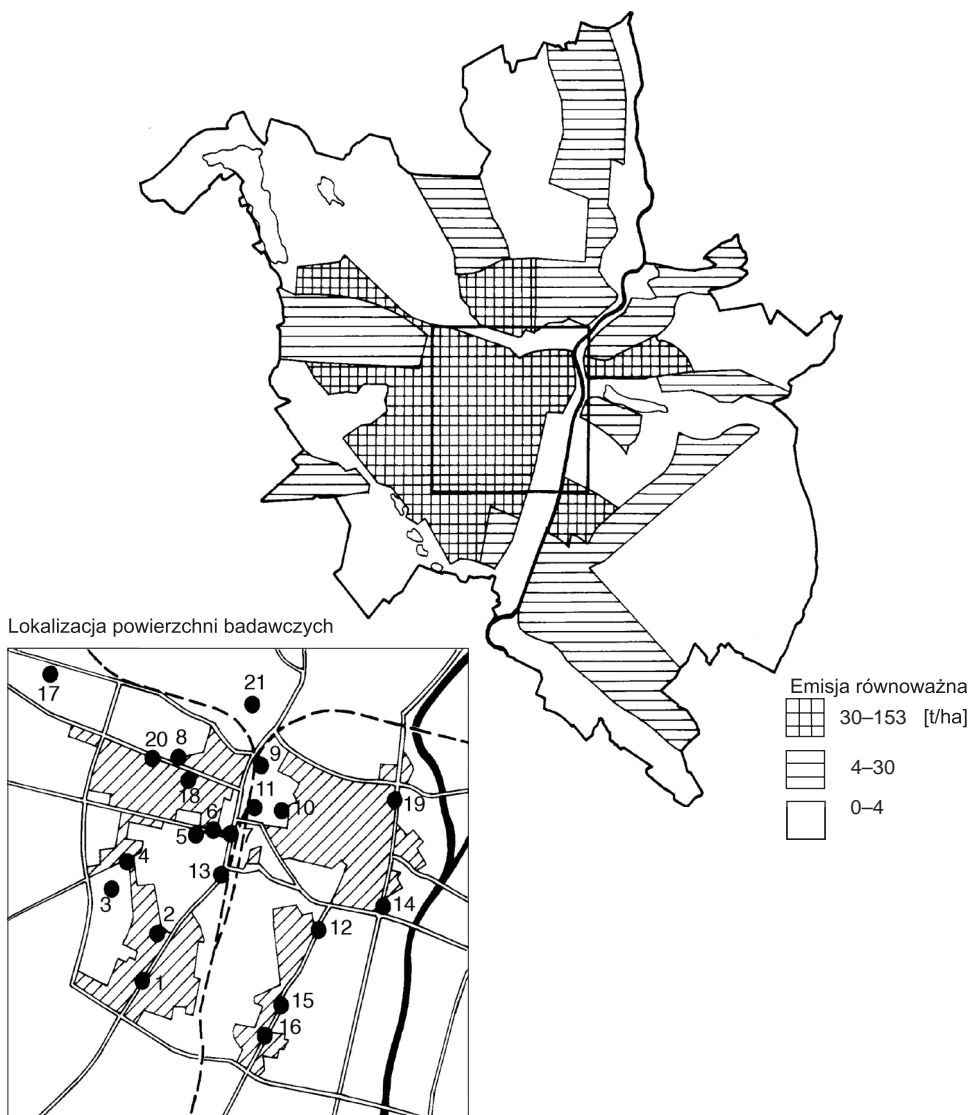
Temperatura powietrza wewnątrz miasta jest zazwyczaj wyższa niż na terenach leżących poza nim. Zjawisko to określa się w literaturze przedmiotu terminem „wyspa ciepła”. Tak rozumiana wyspa ciepła nie stanowi jednorodnego obszaru o wyższej temperaturze, lecz składa się z wielu, różniących się termicznie, powierzchni. Kontrasty cieplne podłoża mogą wynosić nawet kilkanaście stopni. Miarą tego zjawiska w danej aglomeracji jest różnica temperatur maksymalnych między centrum miasta a obszarem pozamiejskim. Na przykład w Poznaniu różnica temperatury powietrza między centrum a obszarem niezurbanizowanym może wynosić 6 do 7°C (OKE 1997 za: LEWIŃSKA 2000).

### CEL PRACY

Celem pracy było przedstawienie zróżnicowania elementów meteorologicznych na 21 stanowiskach w obrębie szeroko rozumianego centrum Poznania (rys. 1), na których prowadzono szersze badania środowiskowe wykorzystujące drzewa kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* L. jako indykatora warunków środowiska (ŁUKASIEWICZ 2002).

### MATERIAŁ I METODY

Pomiary wybranych elementów meteorologicznych w 1999 r. zostały wykonane w ramach badań (1995–1999) wpływu środowiska miejskiego na rozwój osobników kasztanowca zwyczajnego



Rys. 1. Rozmieszczenie 21 stanowisk badawczych kasztanowca zwyczajnego (białego) *Aesculus hippocastanum* L. na terenie Poznania, na tle obciążenia powietrza emisjami zanieczyszczeń. Objąwienia numerów stanowisk zamieszczono w tabeli 1

Fig. 1. Location of 21 sites of horsechestnut, *Aesculus hippocastanum* L. in Poznan in relation to pollution immission

(*Aesculus hippocastanum* L.), rosnących na terenie szeroko rozumianego centrum Poznania (ŁUKASIEWICZ 2002). Takson ten jest w pełni zaaklimatyzowany w Polsce i często rozmnaża się przez

samosiew. Wrażliwość kasztanowca na kompleks niekorzystnych warunków miejskich sprawia przy tym, iż jest on dogodnym obiektem badawczym ze względu na jego wyraźne reakcje na

niekorzystne zmiany parametrów środowiska (ŁUKASIEWICZ 1978, 1995).

Na ogóln<sup>1</sup> liczbę 21 powierzchni badawczych, na których wykonywano m.in. obserwacje fenologiczne i pomiary meteorologiczne, na 14 stanowiskach wybrano po dwa drzewa w wieku od ok. 40 do 70 lat. Na 7 powierzchniach występowały jedynie pojedyncze drzewa. Dane dotyczący wybranych drzew i powierzchni badawczych przedstawiono w tabeli 1, a rozmieszczenie stanowisk obrazuje rys. 1. Granicami tego obszaru s<sup>1</sup>: od północy – Aleja Wielkopolska, od południa – ul. Hetmańska, od zachodu – Ogród Botaniczny i od wschodu – rzeka Warta.

Tak określona powierzchnia obejmuje swym zasięgiem trzy jednostki geomorfologiczne: w części zasadniczej, od zachodu i południowego zachodu – wysoczyznę morenową p<sup>3</sup>ask<sup>1</sup>, którą ograniczają: od południowego wschodu i od wschodu – terasy zalewowe rynny glacialnej Warty, a od północy – terasa zalewowa rynny glacialnej Bogdanki (BARTKOWSKI, KRYGOWSKI 1959; KRYGOWSKI 1975; STANKOWSKI 1981). Geneza wymienionych jednostek nie określa jednakże typów i rodzajów gleb ze względu na dominujący w miejscu udział gruntów nasypowych.

Powierzchnie z występującym *A. hippocastanum* L. zostały wyznaczone w strefie największej emisji zanieczyszczeń, w przeliczeniu na tzw. emisję równoważną [t/ha] (rys. 1). Pod pojęciem tym rozumie się sprowadzenie negatywnego oddziaływania wszystkich emitowanych zanieczyszczeń do poziomu szkodliwości ci SO<sub>2</sub> (Źródło naturalne... 1996).

Ze względu na niewielkie przekształcenia gleby, przy obecności podobnych zanieczyszczeń atmosfery, punktem odniesienia w przedstawionych badaniach były osobniki kasztanowca bialego rosnące w Ogrodzie Botanicznym UAM.

Wybór tej powierzchni na początku badań jako stanowiska kontrolnego był uzasadniony z kilku powodów:

– sytuowanie na wspólnej z innymi kasztanowcami „platformie”, tj. wysokości morenowej p<sup>3</sup>askiej zlodowacenia bałtyckiego (BARTKOWSKI, KRYGOWSKI 1959; KRYGOWSKI 1975; STANKOWSKI 1981), porównywalna z innymi stanowiskami przez zanieczyszczeń atmosferycznych (Źródło naturalne... 1996),

– „neutralność” topoklimatyczna miejsca w postaci uniknięcia zwartej drzewostanu z jednej strony lub całkowicie otwartej powierzchni z drugiej,

– brak znaczących przekształceń podłoża w postaci g<sup>3</sup>ębokich przekopów lub nasypów antropogenicznych.

Czynnikami te stanowi o istnieniu na tym stanowisku presji środowiska kulturowego w postaci opadu pyłu i obecności w atmosferze zanieczyszczeń gazowych. Brak zwarcia typu leśnego powoduje nieograniczone nasłonecznienie wymuszające utratę wilgoci, co umożliwia porównanie tej powierzchni ze stanowiskami na terenie miasta. Pokrywa glebowa ma odbiegając od optymalnej zawartość analizowanych pierwiastków. Jest ona jednak utworem o zrównoważonym składzie chemicznym, aktywnym mikrobiologicznie. Zachodzi tu procesy akumulacji i rozkładu próchnicy, niezakończona wymiana gazowa ryzosfery i dostawa wilgoci z opadów atmosferycznych.

Wybierając stanowiska w obrębie miasta, starano się uchwycić występujące na obszarach zurbanizowanych różnice, polegające m.in. na różnym udziale biologicznie czynnej powierzchni gleby. Mogłoby one być źródłem zróżnicowania:

– dopływu szkodliwych substancji (Na, Cl, Pb, Cd i innych);  
– wartości albedo;  
– dostępu wód opadowych;

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów obserwowanych osobników *Aesculus hippocastanum* L. z 21 stanowisk na terenie Poznania  
Table 1. Traits of *Aesculus hippocastanum* L. trees recorded on 21 sites in Poznań

Nr na rycinie I	Stanowisko	Nr drzewa	Lata obserwacji fenologicznych	Wysokość 2000 r.	Promień korony 2000 r.	Obwód pnia 2000 r.	Przyrost pędu 1997 r.	Grubość pędu 1997 r.	Masa owoców 1998 r.	Wolna powierzchnia 2000 r.	Natężenie ruchu 1995–1998	Temp. max. lipiec 1999
21	Aleja Wielkopolska	1	1996–1999	16,00	6,5	1,92	4,7	7,8	10,9	530,0	830	32,3
		2	1996–1999	11,25	4,5	1,42	3,2	6,0	0,0	125,0	830	
14	Bema	1	1994–1999	8,50	3,5	0,95	9,8	8,8	21,5	10,0	1756	34,0
		2	1995–1999	8,25	4,0	1,00	8,8	8,8	0,0	50,0	1756	
19	Dominikańska	1	1995–1999	14,25	5,0	1,80	8,0	5,6	17,8	0,5	2323	34,4
		2	1997–1999	14,00	4,0	1,70	2,5	5,7	0,0	0,5	2323	
1	G <sup>3</sup> ogowska I	1	1994–1999	16,75	5,0	1,60	3,2	6,1	23,6	60,0	1247	33,2
13	G <sup>3</sup> ogowska II	1	1994–1999	13,00	6,3	1,95	3,5	5,8	0,0	135,0	2362	34,0
7	Grunwaldzka I	1	1994–1999	10,25	4,0	1,45	2,2	7,0	0,0	2,0	1708	36,6
		6	1995–1999	10,00	4,5	1,45	2,7	7,1	11,0	2,0	1708	
6	Grunwaldzka II	1	1994–1999	14,75	5,0	1,75	5,3	8,1	0,0	1,0	1708	34,9
		2	1997–1999	15,75	7,5	1,79	10,0	6,7	15,6	1,0	1708	
15	Jerzego	1	1995–1999	15,25	6,0	1,80	8,8	8,9	20,5	110,0	850	31,9
		2	1997–1999	15,50	5,0	1,00	8,3	7,0	16,0	90,0	850	
8	Kocielejna	1	1994–1999	19,75	7,0	2,45	4,0	7,7	18,4	5,0	1456	33,6
10	Kocziuski	1	1994–1999	18,25	6,5	1,95	5,5	6,8	18,6	1,0	427	32,8

2	Matejki	1	1994-1999	22,50	6,0	2,10	19,7	7,2	27,4	420,0	862	32,8
		2	1997-1999	18,75	4,5	1,70	4,8	6,3	15,5	50,0	862	
9	Noskowskiego	1	1994-1999	15,50	6,0	1,60	10,5	7,8	14,2	450,0	50	34,0
		2	1997-1999	16,75	5,5	2,00	7,5	8,4	14,5	95,0	50	
17	Ogród Botaniczny	1	1995-1999	15,50	6,0	1,70	8,3	9,1	15,4	450,0	0	32,8
		2	1997-1999	15,00	5,0	1,85	15,2	8,1	11,1	315,0	0	
18	Prusa	1	1995-1999	16,25	5,0	1,95	8,7	7,8	15,3	30,0	350	33,6
12	Spadzista	1	1994-1999	24,00	8,0	2,60	9,2	8,2	20,4	750,0	1282	31,1
		2	1997-1999	18,75	7,0	1,86	13,3	8,9	21,8	570,0	1282	
20	Staszica	1	1994-1999	17,75	4,5	1,90	7,5	8,2	15,0	55,0	1837	33,2
		2	1997-1999	14,50	3,0	1,17	1,5	6,2	0,0	65,0	1837	
5	Źwińcówskiego	1	1994-1999	12,00	4,5	1,60	5,3	7,4	18,4	20,0	1708	33,2
		2	1995-1999	14,75	5,7	1,55	2,7	6,4	13,6	1,0	1708	
4	U'ańska	1	1994-1999	17,50	7,0	2,00	4,5	6,8	13,4	310,0	1923	35,3
		2	1995-1999	21,00	9,0	2,50	8,3	8,3	13,0	1020,0	1923	
11	Wieniawskiego	1	1994-1995	13,25	5,5	1,70	6,3	8,5	14,5	1,0	50	34,4
3	Wojskowa	1	1994-1999	12,75	6,1	1,95	4,3	6,9	13,4	140,0	936	34,9
		3	1995-1999	12,25	5,5	1,60	5,3	6,9	13,9	45,0	936	

wymiany gazowej ryzosfery;  
możliwości samonawożenia;  
rozwoju procesów glebotwórczych.

Brak lub istnienie w bezpośrednim sąsiedztwie drzew terenów pokrytych zielenią sprzyja powstaniu różnic elementów meteorologicznych między poszczególnymi stanowiskami. Synergiczne oddziaływanie warunków pogodowych i wilgotności podłoża jest szczególnie widoczne w okresie suszy i letnich upałów. Objawia się to postępującymi nekrozami liści już od początku lata (fot. 1).

Wyszczególnione w opisie poszczególnych lokalizacji powierzchnie biologicznie czynne wokół drzew (tab. 1) odnoszone są do okręgu o promieniu  $2r$  ( $r$  – promień korony).

#### POMIARY TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI POWIETRZA

W marcu 1999 r. na każdym z 21 stanowisk zainstalowano mikrorejestratory temperatury i wilgotności powietrza (Hobo Pro Series Data Loggers, Onset Computer Corporation, USA). Dysponując informacjami o sumie opadów i ich rozkładzie rocznym (dane z IMGW), uzupełnionymi o wartości wilgotności i temperatury powietrza na stanowiskach, można określać dominujące cechy występującego tam reżimu pogody. Wymienione elementy meteorologiczne są bowiem głównymi parametrami określającymi klimat danego obszaru (Województwo 1994, 1999).

Mikrorejestratory temperatury i wilgotności powietrza dzięki dużej pojemności pamięci mikroprocesora (zdolnej do zapisania 65000 pomiarów), wodoodporności, małemu poborowi energii (jedna bateria wystarcza na 3 lata), dokładności ( $0,1^{\circ}\text{C}$  w zakresie od  $-30$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ ,  $3\%$   $RH$ ) i małym rozmiarem (średnica 8 cm) umożliwiają zapisywanie wartości temperatur i wilgotności na

dowolnych stanowiskach. W omawianym przypadku zostały one zamocowane bezpośrednio przy pniu drzewa, po stronie północnej, na wysokości 4 metrów nad powierzchnią gruntu. Umieszczenie czujników wewnątrz korony było spowodowane koniecznością ich zainstalowania w sposób trwały, tj. przytwierdzenia do pnia. Wystawa północna pozwoliła na wyeliminowanie wahań temperatury wywołanych bezpośrednim promieniowaniem słonecznym. Czujniki zostały zaprogramowane na dokonywanie pomiarów co godzinę i zawieszono 9 marca 1999 r. w godzinach porannych, a zdjęte 13 grudnia 1999 r. We wszystkich przypadkach Hobo Data Loggers zostały umieszczone na pierwszym z obserwowanych drzew na danym stanowisku. Dokonywanie pomiarów zostało zaprogramowane od 10 marca, a ostatnie pomiary do obliczeń odczytano do 12 grudnia włącznie. Termin rozpoczęcia pomiarów na stanowiskach wyprzedza o ok. miesiąc ukazywanie się pierwszych liści na obserwowanych osobnikach kasztanowców. Zdjęcia czujników dokonano po opadnięciu ostatnich liści na wszystkich drzewach. Różnym odniesienia, tj. standardowych danych meteorologicznych dla terenu Poznania, była stacja sieci pomiarowej IMGW Poznań-Ławica.

Czujniki dokonywały automatycznie pomiarów temperatury i wilgotności: wilgotności względnej –  $RH$  [%], wilgotności bezwzględnej –  $HUM$  [ $\text{g m}^{-3}$ ], temperatury –  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] oraz temperatury punktu rosy –  $DP$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

#### POMIAR NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA FOTOSYNTETYCZNEGO CZYNNEGO

W celu określenia wpływu ulistnienia kasztanowca na ocienienie powierzchni gruntu wykonano pomiary natężenia światła pod koronami i poza ich obrębem za pomocą czujnika światła foto-

syntetycznie czynnego LI – 190SA Quantum Sensor [ $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ] i Data Loggera typ LI-1000 (LI – COR, Lincoln, Nebraska, USA). Pomiarów dokonano w sierpniu 2001 r. na trzech stanowiskach: Użańska, Spadzista i Jerzego, na których występowały drzewa z zachowanymi nisko ugaźzionymi koronami.

#### NIEDOSYT WILGOTNOŒCI POWIETRZA

Ten element meteorologiczny dopeŝnia omówione powyźej wskaźniki pogodowe, pozwalajc na lepszą ocenę istotnych dla roŝdin fizycznych czynników atmosferycznych w œrodowisku zurbanizowanym.

Do obliczenia pręźnoŝci (ciężnienia) pary wodnej nasyconej zastosowano wzór (KĘDZIORA 1999) o postaci:

$$e_s = 6,123 \exp(17,25 t / t + 237,20) \quad (1)$$

gdzie:  $e_s$  – pręźnoŝć pary wodnej nasyconej w danej temperaturze [hPa],  $t$  – wartość temperatury [°C].

Do powyźszego wzoru w miejsce temperatury  $t$  można wstawić dwa rodzaje temperatur zapisywanych przez mikrorejstratory:  $T$  – temperaturę aktualną lub  $DP$  – temperaturę punktu rosy. Dzięki temu można obliczyć dwa rodzaje danych: aktualną pręźnoŝć pary wodnej ( $e_{DP}$ ) oraz pręźnoŝć (ciężnienie) pary wodnej nasyconej obliczone dla aktualnej temperatury powietrza ( $e_T$ ). W wyniku ich różnicy otrzymujemy wartość niedosytu wilgotnoŝci powietrza:

$$d = e_T - e_{DP} \quad (2)$$

gdzie:  $d$  – niedosyt wilgotnoŝci powietrza,  $e_T$  – ciężnienie pary wodnej nasyconej w danej temperaturze,  $e_{DP}$  – aktualne ciężnienie pary wodnej.

W tabeli 2 zestawiono wartości niedosytu wilgotnoŝci w kolejnych miesi¹cach od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Wartoŝci niedosytu wilgotnoŝci powietrza zosta³y w niej przedstawione jako

wartoŝci œrednie dobowe wraz z zakresami minimalnych i maksymalnych œrednich dobowych wartoŝci niedosytu w danych miesi¹cach.

Zdolnoŝ ewaporacyjną ( $\text{si}^{\text{e}} \text{ss}^1\text{c}^1$ ) powietrza wyliczono ze wzoru (KĘDZIORA 1999, patrz równanie 3 w rozdz. Wyniki).

#### WYNIKI

##### TOPOKLIMAT 21 STANOWISK NA TERENIE POZNANIA

Ze względu na dominujcý wpýw otoczenia na korony drzew uzyskane w niniejszej pracy wyniki pomiarów temperatury i wilgotnoŝci naleźy rozpatrywać w kategorii pomiarów topoklimatycznych. Nie można ich natomiast zaliczyć do pomiarów mikroklimatycznych ze względu na brak, obejmujcý wszystkie stanowiska, jednorodnej powierzchni topoklimatycznej jako jednostki wyźszego rzędu. Dla elementów meteorologicznych 21 stanowisk odniesieniem jest skala przestrzenna mezoklimatu miasta.

Podczas analizy wyników naleźy brać pod uwagę następujce uwarunkowania i czynniki limitujce:

1. Dokonywane pomiary obrazuj wahania wartoŝci elementów pogodowych we wnętrzu korony. Opisana lokalizacja czujników pozwala więc na dokonywanie przez urz¹dzenia „uśrednionych” pomiarów. Pominięte zostaj¹ bowiem wartoŝci skrajne na tzw. powierzchni czynnej, gdzie zachodz¹ intensywne procesy zamiany energii. Dotyczy to zarówno temperatur maksymalnych w dzieñ, jak i odczuwalnych szczególnie nad ranem na otwartej powierzchni wych³odzeñ typu radiacyjnego.

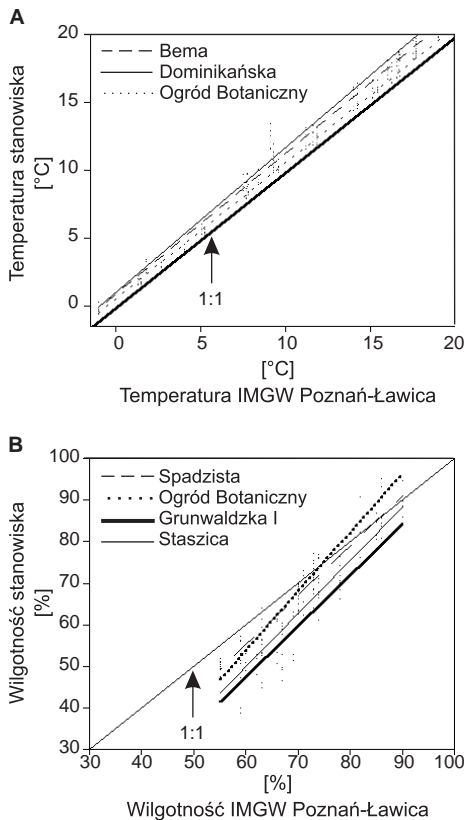
2. Skrajne wyniki mierzonych elementów meteorologicznych, w skali przestrzennej œródmięcia Poznania, wynikaj¹ z różnych w³aciwoci pod³oźa wo-

kó<sup>3</sup> stanowisk. Oznacza to dominację warunków topoklimatycznych nad bioklimatem tworzonym przez koronę pojedynczego drzewa (fot. 2).

W tabelach 2–9 zamieszczono obliczone na podstawie wskazań godzinnych wartości średniodobowe kolejnych elementów meteorologicznych wraz z ich zakresami dla poszczególnych miesięcy, od marca do grudnia 1999 r. W przypadku temperatur i wilgotności względnej odniesieniem mog<sup>1</sup> być dane ze stacji IMGW Poznań-Ławica.

#### ŚREDNIA TEMPERATURA POWIETRZA

Średnie dobowe temperatury dla 21 stanowisk we wszystkich miesiącach s<sup>1</sup> wyższe od analogicznych wartości stacji IMGW (tab. 3, rys. 2A). Największe bez-



względne wartości tych różnic dotyczą miesięcy letnich, od czerwca do września w<sup>3</sup>icznie. Natomiast między stanowiskami krańcowe (sięgają<sup>1</sup>ce ponad 2°C) różnice temperatur wystąpiły w lipcu i sierpniu. Na podkreślenie zasługuje fakt, że tak znaczne różnice temperatur występowały na powierzchniach leżących w niewielkiej odległości od siebie. Jest to wynikiem znacznego zróżnicowania czynników radiacyjnych na omawianych stanowiskach – bilansu promieniowania i bilansu cieplnego. Świadczy to także o tym, iż wartości fizyczne podłoża w promieniu do kilkuset metrów mają bezpośredni wpływ na wartości elementów meteorologicznych, takich jak temperatura i wilgotność (fot. 2).

Na rys. 2A przedstawiono wartości średnich temperatur na wybranych stanowiskach, w porównaniu do temperatury odnotowanej na stacji IMGW. Ze względu na czytelność wykresu zamieszczono w nim przebieg temperatur na powierzchniach krańcowo różnych spośród 21 stanowisk. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż ogół stanowisk, na których rejestrowano omawiane elementy, posiada wszystkie wartości wyższe od danych ze stacji meteorologicznej.

Rys. 2. Związek średniej temperatury (A) i względnej wilgotności powietrza (B) na wybranych stanowiskach i na stacji meteorologicznej IMGW Poznań-Ławica

Proste regresji wykreślono dla średnich tygodniowych wartości temperatur i wilgotności powietrza w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Przedstawione stanowiska charakteryzują się skrajnymi wartościami mierzonych elementów meteorologicznych (patrz tabele 3 i 9)

Fig. 2. Relationship between mean air temperature (A) and relative humidity (B) at selected sites and meteorological station Poznań-Ławica of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW)

Regression lines are for 7-days averaged temperature and air humidity values measured between March 10 and December 12, 1999. Shown sites were characterized with diverse values of measured meteorological parameters (see tables 3 and 9)



Tabela 2. Wartości średnie miesięczne oraz maksymalne wartości niedosytu wilgotności powietrza [hPa] w poszczególnych miesiącach, zarejestrowane na 21 stanowiskach w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Jako sezon wegetacyjny dla stanowisk przyjęto okres od ukazania się pierwszych liści do daty końca ich opadania, tj. długie utrzymywania się liści na drzewie

Table 2. Average and maximal monthly values of air humidity deficit [hPa] in different months measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia/ sezon wegetacyjny
Aleja Wielkopolska	2.0 (14.2)	3.3 (18.6)	5.9 (24.7)	4.5 (19.6)	8.7 (31.6)	8.3 (24.8)	7.5 (24.8)	1.5 (15.2)	0.0 (7.4)	0.4 (4.0)	4.2 (31.6)
Berna	3.0 (27.7)	3.9 (24.2)	6.9 (29.4)	5.1 (22.3)	9.6 (36.5)	9.3 (32.7)	6.0 (23.6)	0.2 (14.1)	0.0 (6.4)	0.0 (3.4)	4.3 (36.5)
Dominikańska	2.6 (17.4)	4.2 (21.5)	7.8 (29.9)	6.5 (24.4)	11.8 (38.1)	10.8 (33.6)	7.6 (24.6)	1.7 (13.6)	0.2 (7.1)	0.7 (3.4)	5.4 (38.1)
Czogowska I	2.5 (16.3)	3.8 (19.2)	7.0 (29.2)	4.6 (21.2)	9.8 (36.0)	9.9 (32.1)	6.7 (23.5)	0.8 (9.9)	0.0 (5.5)	0.2 (2.3)	4.5 (36.0)
Czogowska II	2.6 (16.5)	3.7 (19.3)	7.5 (30.5)	5.7 (25.2)	11.2 (39.2)	10.8 (35.8)	7.5 (29.4)	0 (16.7)	0.0 (6.7)	0.0 (3.0)	4.8 (39.2)
Grunwaldzka I	2.5 (18.1)	3.9 (21.4)	8 (41.8)	6.8 (35.1)	12 (45.5)	11.0 (42.6)	7.5 (29.8)	1.2 (13.1)	0.0 (5.1)	0.5 (3.1)	5.3 (45.5)
Grunwaldzka II	2.6 (16.0)	4.2 (19)	8 (30.0)	6.7 (27.3)	12.2 (39.4)	11 (37.3)	7.8 (25.3)	1.5 (13.7)	0.1 (5.7)	0.6 (3.2)	5.5 (39.4)
Jerzego	2.1 (14.0)	3.5 (16.3)	6.4 (25.3)	4.8 (19.1)	8.9 (31.1)	8.9 (27.2)	5.8 (18.8)	0.7 (9.0)	0.0 (3.8)	0.2 (2.4)	4.1 (31.1)
Kowcielna	2.4 (14.9)	3.9 (17.9)	7.5 (27.4)	6.1 (23.3)	11.4 (35.9)	10.3 (32.5)	7.0 (21.1)	1.4 (11.9)	0.1 (5.5)	0.7 (3.1)	5.1 (35.9)
Kowciszki	2.4 (15.7)	3.8 (19)	6.9 (26.5)	5.6 (20.6)	10.3 (33.1)	9.8 (29.7)	8.8 (21.1)	1.5 (11.4)	0.2 (5.1)	0.8 (3.2)	4.8 (33.1)
Kosińskiego	2.4 (15.2)	3.8 (17)	6.9 (26.8)	5.4 (20.7)	10.2 (33.7)	9.7 (29.5)	6.8 (21.6)	1.4 (11.4)	0.1 (5.6)	0.7 (3.1)	4.7 (33.7)
Matejki	2.7 (17.3)	4 (20)	6.7 (25.7)	4.7 (20.3)	9.7 (33.6)	9.5 (31.0)	6.9 (22.3)	1.0 (11.6)	0.0 (5.2)	0.3 (2.7)	4.5 (33.6)
Noskowskiego	2.6 (16.1)	4.3 (22.3)	7.4 (29.2)	5.8 (23.3)	10.9 (36.6)	10.1 (33.3)	6.9 (23.3)	1.2 (12.0)	0.0 (5.9)	0.4 (2.9)	4.9 (36.6)
Ogród Botaniczny	1.9 (14.4)	2.9 (25.1)	5.4 (25.1)	3.7 (19.8)	8.8 (33.7)	7.7 (31.2)	4.9 (23.6)	0.0 (12.5)	0.0 (4.2)	0.0 (1.5)	3.4 (33.7)
Prusa	2.5 (15.1)	3.9 (17.9)	7.3 (28.7)	5.7 (21.5)	11 (35.6)	10.1 (32.6)	6.9 (21.8)	1.3 (11.1)	0.1 (5.2)	0.7 (3.1)	4.9 (35.6)
Spadzista	2.0 (14.3)	3.5 (18.1)	6.2 (23.1)	4.4 (17.8)	8.5 (28.0)	8.7 (25.5)	6 (19.9)	0.9 (9.2)	0.0 (4.0)	0.1 (2.4)	4.0 (28.0)
Staszica	2.4 (15.2)	3.7 (18.3)	6.9 (26.6)	5.4 (21.6)	10.2 (34.3)	9.5 (30.8)	6.8 (21.9)	1.2 (11.7)	0.0 (5.8)	0.4 (3.0)	4.6 (34.3)
Święcickiego	2.4 (16.8)	3.8 (18.7)	7.1 (28.0)	5.6 (22.4)	10.5 (36.3)	9.7 (31.3)	6.8 (21.3)	1.2 (11.1)	0.0 (5.1)	0.4 (3.0)	4.8 (36.3)
U'ańska	2.7 (22.4)	3.9 (22.6)	7.6 (30.3)	5.8 (25.0)	11.0 (40.9)	10 (36.7)	6.7 (35.9)	0.0 (15.7)	0.0 (7.7)	0.0 (0.1)	4.6 (40.9)
Wieniawskiego	2.7 (26.7)	4.1 (26.1)	7.3 (29.7)	5.7 (24.1)	10.8 (38.9)	10.3 (34.5)	7.0 (23.8)	1.3 (12.0)	0.1 (5.3)	0.7 (3.2)	5.0 (38.9)
Wojskowa	2.1 (16.8)	3.5 (19.9)	7 (30.6)	5.2 (23.8)	10.4 (39.3)	9.4 (35.7)	6.1 (21.5)	0.2 (15.5)	0 (4.6)	0.0 (1.3)	4.2 (39.3)
Średnia	2.4 (1.9-3.0)	3.8 (2.9-4.3)	7 (5.4-8.0)	5.4 (3.7-6.8)	10.4 (8.5-12.2)	9.7 (7.7-11.0)	6.8 (4.9-7.8)	0.9 (0.0-1.5)	0.0 (0.0-0.2)	0.2 (0.0-0.8)	4.7 (4.6-7.4)

\* zamieszczone wyniki dotyczą podanego w tytule okresu pomiarów

Tabela 3. Wartości średnie miesięczne oraz zakresy średnich dobowych temperatur powietrza zarejestrowanych na 21 stanowiskach w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Jako sezon wegetacyjny dla stanowisk przyjęto okres od ukazania się pierwszych liści do daty końca ich opadania, tj. długość utrzymywania się liści na drzewie

Table 3. Average monthly and range of daily air temperatures measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia	średnia/ sezon we- getacyjny
Alėja Wielkopolska	5.4 (-2.9-20.2)	10.4 (0.7-20.6)	14.2 (4.6-28.7)	16.9 (7.4-26.3)	20.9 (12.9-32.3)	18.9 (10.2-29.1)	17.5 (8.2-27.1)	9.0 (-0.2-20.6)	3.1 (-0.3-14.5)	4.9 (-1.1-9.4)	12.8 (3.1-20.9)	15.3 (3.2-26.4)
Bema	6.4 (-2.9-27.5)	11.0 (1.6-24.0)	14.9 (4.6-30.3)	17.7 (8.2-27.9)	21.7 (12.9-34.0)	19.7 (10.6-31.1)	18.1 (8.2-28.3)	9.4 (-0.2-21.7)	3.3 (-0.3-15.2)	4.9 (-1.1-9.8)	13.5 (3.3-21.7)	16 (3.5-27.3)
Dominikańska	6.4 (-2.0-21.3)	11.4 (2.5-22.5)	15.7 (5.8-30.7)	18.3 (9.4-28.3)	22.4 (14.1-34.4)	20.4 (11.8-31.1)	18.7 (9.0-28.7)	9.8 (0.7-21.3)	3.8 (-0.3-15.2)	5.2 (-0.2-9.4)	14 (3.8-22.4)	16.5 (3.9-27.8)
Człogowska I	6.1 (-2.0-20.6)	11.1 (1.6-21.3)	15.0 (5.8-30.3)	17.3 (8.8-27.1)	21.6 (13.7-33.2)	19.8 (11.4-31.1)	18.3 (9.4-28.3)	9.3 (0.3-21.3)	3.3 (-0.8-14.5)	4.8 (-0.6-9.0)	13.4 (3.3-21.6)	15.9 (3.5-27.0)
Człogowska II	6.3 (-2.0-21.0)	11.0 (1.6-21.7)	15.0 (5.4-29.9)	17.7 (8.8-27.9)	21.9 (14.1-34.0)	20.1 (11.4-30.7)	18.7 (8.6-28.3)	9.5 (0.3-24.4)	3.4 (-0.3-14.9)	4.8 (-0.6-9.4)	13.6 (3.4-21.9)	16.4 (3.5-27.8)
Grunwaldzka I	5.8 (-2.4-22.1)	10.8 (1.2-23.2)	15.3 (4.6-32.3)	18.1 (8.4-31.9)	22.1 (13.3-36.6)	20.1 (11.4-34.0)	18.3 (7.8-30.3)	9.1 (-0.2-22.1)	3.3 (-0.8-15.2)	4.8 (-1.1-9.8)	13.6 (3.3-22.1)	16.1 (3.2-28.3)
Grunwaldzka II	6.2 (-2.0-20.6)	11.4 (1.6-21.3)	15.8 (5.0-30.7)	18.5 (10.2-29.5)	22.7 (14.1-34.9)	20.5 (11.8-31.5)	18.8 (8.6-29.1)	9.6 (0.3-21.7)	3.5 (-0.8-14.9)	5 (-0.6-9.4)	14 (3.5-22.7)	16.7 (3.5-28.6)
Jerzego	5.7 (-2.0-18.7)	10.7 (2.0-19.4)	14.5 (5.4-28.7)	17.2 (8.8-26.3)	21.2 (14.5-31.9)	19.5 (12.2-29.1)	17.9 (9.4-26.0)	9.3 (0.3-19.8)	3.4 (-0.8-14.5)	5.0 (-0.6-9.4)	13.2 (3.4-21.2)	15.2 (-0.1-26.5)
Kocielelna	6 (-2.4-19.8)	11.1 (2.0-20.6)	15.4 (5.0-29.5)	18.0 (9.8-27.5)	22.3 (14.5-33.6)	20.1 (11.8-34.0)	18.3 (8.6-27.1)	9.5 (0.3-20.6)	3.6 (-0.8-14.5)	5.1 (-0.6-9.4)	13.7 (3.6-22.3)	15.5 (-0.5-27.9)
Kocziuski	6.2 (-1.5-21.0)	11.0 (2.0-21.0)	14.8 (5.4-29.1)	17.5 (10.2-26.7)	21.5 (14.5-32.8)	19.7 (12.6-29.5)	18.2 (9.8-26.7)	9.7 (1.2-19.8)	3.9 (-0.3-14.5)	5.3 (-0.2-9.8)	13.5 (3.9-21.5)	15.3 (0.1-26.8)
Kosińskiego	6 (-2.0-19.4)	10.9 (2.0-19.8)	14.8 (5.8-29.1)	17.5 (9.8-26.7)	21.5 (14.5-32.8)	19.7 (12.2-29.1)	18.2 (8.6-26.7)	9.5 (0.3-20.6)	3.6 (-0.3-15.2)	5.1 (-0.6-9.4)	13.4 (3.6-21.5)	16 (3.6-26.9)
Matejki	6.5 (-2.4-21.7)	11.3 (1.2-23.2)	14.9 (5.4-29.5)	17.2 (9.8-26.7)	21.4 (13.7-32.8)	19.7 (11.4-30.3)	18.4 (9.4-27.5)	9.3 (0.7-20.2)	3.3 (-0.3-14.1)	4.7 (-1.1-9.0)	13.4 (3.3-21.4)	15.6 (1.9-27.0)
Noskowskiego	6.4 (-2.9-21.3)	11.6 (1.6-26.0)	15.4 (4.6-30.7)	17.9 (8.2-27.9)	22.1 (14.1-34.0)	20.0 (11.0-31.1)	18.3 (8.6-28.3)	9.4 (0.3-21.7)	3.3 (-0.8-14.9)	4.8 (-1.1-9.8)	13.7 (3.3-22.1)	16.2 (3.4-27.3)
Ogród Botaniczny	5.4 (-3.4-19.8)	10.3 (0.7-20.6)	13.9 (4.6-28.7)	16.7 (7.4-26.3)	20.7 (12.9-32.8)	18.7 (10.2-29.9)	17.5 (8.2-27.5)	9 (-0.2-21.0)	3.2 (-0.8-14.1)	4.9 (-1.1-9.4)	12.7 (3.2-20.7)	14.9 (3.1-26.3)
Prusa	6.1 (-2.0-19.4)	11.0 (1.6-20.2)	15.1 (5.4-30.3)	17.6 (9.4-27.5)	21.9 (14.1-33.6)	19.9 (11.4-30.7)	18.2 (9.4-27.1)	9.4 (0.7-20.2)	3.6 (-0.3-14.5)	5.1 (-0.6-9.8)	13.6 (3.6-21.9)	15.7 (2.1-27.6)
Spadzista	5.5 (-2.0-18.7)	10.7 (2.0-20.6)	14.4 (5.0-27.9)	16.9 (9.0-25.6)	20.7 (14.1-31.1)	19.2 (11.8-28.3)	17.8 (9.0-26.0)	9.2 (0.3-19.4)	3.2 (-0.8-13.7)	4.7 (-0.2-9.0)	13 (3.2-20.7)	15.4 (3.2-25.5)
Staszica	6.1 (-2.0-20.2)	10.9 (2.0-21.0)	14.8 (5.4-29.5)	17.5 (9.8-27.1)	21.5 (14.1-33.2)	19.6 (11.8-29.9)	18.2 (9.8-27.1)	9.5 (0.7-20.2)	3.7 (-0.3-14.5)	5.1 (-0.2-9.4)	13.4 (3.7-21.5)	16.1 (3.8-27.3)
Święcickiego	5.8 (-2.4-24.4)	10.9 (1.2-23.2)	14.9 (5.0-29.9)	17.5 (9.8-27.5)	21.6 (13.7-33.2)	19.6 (11.4-29.5)	18.1 (9.0-27.1)	9.3 (0.3-20.2)	3.4 (-0.3-14.5)	4.8 (-0.6-9.4)	13.3 (3.4-21.6)	15.9 (3.4-27.2)
Uśńska	6.1 (-2.4-24.4)	11.0 (1.2-23.2)	15.3 (5.0-30.3)	17.8 (9.4-28.7)	21.9 (13.3-35.3)	19.8 (11.4-31.5)	18.5 (9.0-30.3)	9.3 (0.3-22.5)	3.3 (-0.3-15.6)	4.8 (-1.1-9.8)	13.5 (3.3-21.9)	16 (3.5-27.8)
Wieniawskiego	6.2 (-2.0-28.7)	11.0 (1.6-26.0)	15.0 (5.0-30.7)	17.6 (9.8-28.3)	21.7 (13.7-34.4)	19.8 (12.2-31.5)	18.2 (8.6-28.3)	9.3 (0.3-20.6)	3.4 (-0.8-14.9)	4.9 (-0.6-9.4)	13.5 (3.4-21.7)	15.9 (3.3-27.5)
Wojskowa	5.9 (-2.9-21.7)	10.9 (0.7-21.3)	15.1 (5.4-30.7)	17.6 (9.0-28.3)	21.8 (13.7-34.9)	19.8 (11.4-31.5)	18.5 (9.0-29.1)	9.3 (0.3-22.5)	3.1 (-0.3-14.9)	4.7 (-1.5-9.4)	13.4 (3.1-21.8)	15.9 (3.5-27.8)
Średnia	6 (5.4-6.5)	11.0 (10.4-11.6)	14 (13.9-15.8)	17.6 (16.7-18.5)	21.7 (20.7-22.7)	19.7 (18.7-20.5)	18.2 (17.5-18.8)	9.4 (9.0-9.8)	3.4 (3.1-3.9)	4.9 (4.7-5.3)	12.6 (3.4-21.7)	15.8 (14.9-16.7)
IMGW	4.5 (-0.7-10.7)	9.2 (3.8-13.6)	13.5 (8.6-20.8)	16.3 (10.9-20.4)	20.2 (16.3-25.8)	17.9 (13.3-22.9)	17 (13.5-20.1)	8.5 (2.4-15.2)	2.8 (-3.9-11.4)	4.8 (1.1-7.8)	11.5 (2.8-20.2)	14.6** (2.4-25.8)

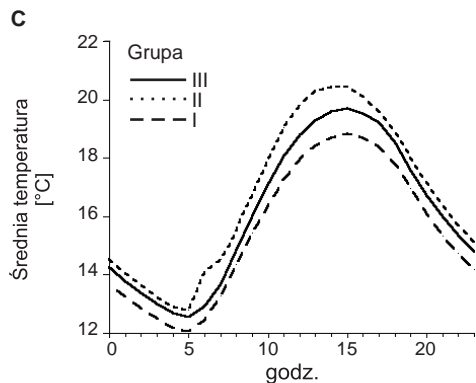
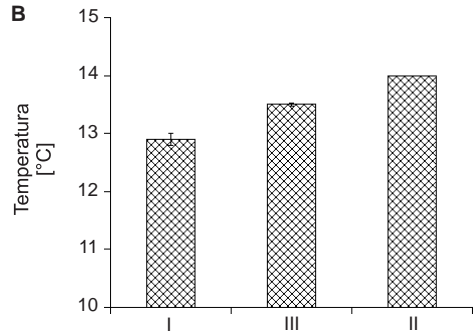
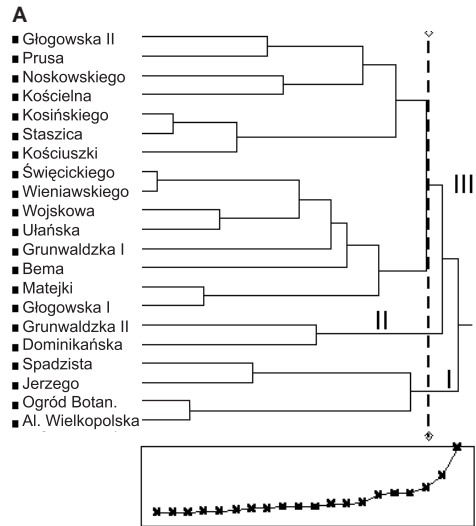
\* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów; \*\* sezon wegetacyjny za okres od 1 IV do 31 X

Rys. 3. A – podzia<sup>3</sup> 21 stanowisk pod względem podobieństwa przebiegu średnich dziennych wartości temperatury powietrza w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. B – średnia dzienna temperatura powietrza w okresie pomiarowym, dla grup wydzielonych w dendrogramie A. C – dobowy przebieg temperatury powietrza dla trzech wyodrębnionych grup

Fig. 3. A – dendrogram of cluster groupings of mean daily air temperature values measured between March 10 and December 12, 1999. B – mean daily temperatures for the cluster groups shown in dendrogram A. C – daily pattern of air temperatures for three clusters shown in dendrogram A.

Stosunkowo niewielki zakres tych różnic, jaki istnieje przy temperaturach bliskich 0°C, sukcesywnie się zwiększa w miarę wzrostu wartości temperatur. Świadczy to o umacnianiu się zjawiska miejskiej wyspy ciepła wraz ze wzrostem temperatury.

Na rysunku 3A przedstawiono dendrogram grupujący stanowiska według podobieństwa średniej dziennej temperatury powietrza. Widoczne na dendrogramie grupy stanowisk różni się średni temperatur okresu pomiarowego o ponad jeden stopień C (rys. 3 B–C). Do najcieplejszych lokalizacji należą stanowiska Grunwaldzka II oraz Dominikańska o średniej temperaturze 14,0°C (dla okresu pomiarowego 10 marca do 12 grudnia 1999 r.). Natomiast do najchłodniejszych, o wartości 12,9°C, należą, obok lokalizacji Spadzista i Jerzego, powierzchnie badawcze Ogród Botaniczny i Aleja Wielkopolska. Obraz ten powtarza się w przypadku dendrogramu grupującego stanowiska według średniej temperatury dla poszczególnych godzin. Także tutaj do grup krańcowych należą te same stanowiska. Warto przy tym zauważyć, że skrajne grupy stanowisk mają, odpowiednio, najmniejsze i zbliżone do optymalnych wielkości nieutwardzonej powierzchni wokół drzew. Pełniejszy obraz warunków termicznych



oddaj<sup>1</sup> za<sup>31</sup>czone zestawienia średnich miesięcznych temperatur maksymalnych i minimalnych (tab. 4–5).

#### TEMPERATURY MAKSYMALNE

Średnie temperatury maksymalne ogó<sup>3</sup>u stanowisk pozostaj<sup>1</sup> nieco wyższe od wartości zanotowanych na stacji IMGW (o dziesiąte części stopnia C), jednakże przy szerszych zakresach temperatur (tab. 4). Dolne wartości tych zakresów mog<sup>1</sup> wynikać z dokonywania pomiarów na wysokości 4 metrów, w porównaniu do wysokości dwóch metrów, na której dokonywane s<sup>1</sup> pomiary w stacji. Natomiast ich górny zakres, znacznie wyższy niż na stacji meteorologicznej, może być dobrym odzwierciedleniem panuj<sup>1</sup>cych na poszczególnych stanowiskach warunków termicznych. Podobn<sup>1</sup> charakterystykę zróżnicowania temperatur zawieraj<sup>1</sup> dane średniej temperatury maksymalnej w sezonie wegetacyjnym. Różnice między stanowiskami wahaj<sup>1</sup> się tu od 18,8 do 21,9°C, wobec wartości 20,1°C ze stacji meteorologicznej.

Największe różnice temperatur maksymalnych zanotowano na stanowiskach Spadzista i Grunwaldzka I. Stwierdzono tam kolejno 31,1 i 36,6°C (tab. 4). Na uzyskane wyniki na stanowisku Spadzista tonuj<sup>1</sup>cy wp<sup>3</sup>yw maj<sup>1</sup>: ukształtowanie terenu (dolinne położenie terasy zalewowej Warty), wystawa północna (osłonięcie ścian<sup>1</sup> wysokiego budynku) oraz naturalny charakter nawierzchni podłoga. Stanowisko Grunwaldzka natomiast cechuje się zabudowanym, asfaltowanym i utwardzonym podłogiem w promieniu kilkuset metrów (fot. 2). Właściwości fizyczne nienaturalnej powierzchni czynnej wywołuj<sup>1</sup> negatywne, w kontekście ich oddziaływania na organizmy roślinne, zmiany elementów meteorologicznych.

Na wykresie temperatur maksymalnych (rys. 4A) zwracaj<sup>1</sup> uwagę najwyż-

sze wartości na stanowiskach: Grunwaldzka I, Ułańska, Grunwaldzka II, Wojskowa, Dominikańska oraz Wieniawskiego\*. Wymienione lokalizacje w ich najbliższym sąsiedztwie otaczaj<sup>1</sup> asfaltowane i zabetonowane nawierzchnie ulic w promieniu nawet do kilkuset metrów. Generuj<sup>1</sup> one wzrost temperatury powietrza wynikaj<sup>1</sup>cy ze zmienionych wartości: niskiej wartości albedo asfaltu oraz wysokiej betonowych nawierzchni chodników. Efektem tych właściwości jest akumulacja energii przez bryły budynków, rozgrzanie nawierzchni asfaltowych, a także odbicie promieniowania przez jasne nawierzchnie ścian i chodników. Procesy te, nakładaj<sup>1</sup>c się na siebie, powoduj<sup>1</sup> najwyższe wartości temperatur ok. godziny 15.00. Skutkuje to zarejestrowanymi o tej godzinie maksymalnymi temperaturami powietrza. Wykazano, że stanowiska Grunwaldzka II i Dominikańska s<sup>1</sup> najcieplejsze w sezonie wegetacyjnym spośród 21 analizowanych powierzchni.

#### TEMPERATURY MINIMALNE

Nieco odmiennie od temperatur maksymalnych kształtuj<sup>1</sup> się średnie temperatury minimalne dla stanowisk (tab. 5). S<sup>1</sup> one we wszystkich miesiącach zdecydowanie wyższe od wartości zarejestrowanych na stacji Poznań-Ławica. Znacznie przesunięciu, w kierunku wyższych wartości w stosunku do danych IMGW, uległy także ich zakresy. Największe różnice dochodz<sup>1</sup> tu do 6,9°C. Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci średniej dla okresu pomiarowego i sezonu wegetacyjnego (tab. 5). W okresie od marca do grudnia średnia mini-

\* Wyj<sup>1</sup>tek stanowi usytuowanie korony drzewa przy ul. Wieniawskiego, gdzie wzrost temperatury w koronie drzewa został spowodowany bezpośrednim sąsiedztwem czarnej nawierzchni dachu parterowego budynku drukarni.

Tabela 4. Wartości średnie miesięczne oraz zakresy temperatur maksymalnych w miesi'cu [°C] zarejestrowane na 21 stanowiskach w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Jako sezon wegetacyjny dla stanowisk przyjęto okres od ukazania się pierwszych liści do daty końca ich opadania, tj. długość utrzymywania się liści na drzewie

Table 4. Average and range of maximal monthly air temperatures [°C] measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia	średnia/ sezon we- getacyjny
Aleja Wielkopolska	9,8 (1,6-20,2)	14,9 (5,8-20,6)	18,6 (11,0-28,7)	20,4 (13,7-26,3)	25,1 (18,7-32,3)	23,1 (16,4-29,1)	22,5 (15,2-27,1)	12,3 (5,0-20,6)	5,5 (-1,5-14,5)	7,0 (3,3-9,4)	15,9	19,6 (5,0-32,3)
Bema	12,6 (2,0-27,5)	15,9 (5,8-24,0)	19,9 (11,8-30,3)	21,8 (14,5-27,9)	26,5 (19,0-34,0)	24,3 (17,5-31,1)	23,3 (16,8-28,3)	12,8 (5,4-21,7)	6,0 (-1,5-15,2)	7,4 (3,3-9,8)	17,0	20,6 (5,4-34,0)
Dominikańska	10,7 (2,0-21,3)	15,9 (6,2-22,5)	20,3 (12,6-30,7)	22,0 (14,8-28,3)	26,9 (19,4-34,4)	24,6 (18,3-31,1)	23,5 (16,8-28,7)	13,1 (5,4-21,3)	6,2 (-1,1-15,2)	7,4 (3,7-9,4)	17,1	20,8 (5,4-34,4)
C'ogowska I	10,1 (1,6-20,6)	15,3 (5,4-21,3)	19,6 (11,4-30,3)	21,0 (14,1-27,1)	26,2 (19,0-33,2)	24,2 (17,5-31,1)	22,7 (15,6-28,3)	12,4 (5,4-21,3)	5,5 (-1,5-14,5)	6,8 (3,3-9,0)	16,4	20,2 (5,4-33,2)
C'ogowska II	10,7 (1,6-20,9)	15,2 (5,4-21,7)	19,4 (11,8-29,9)	21,4 (14,1-27,9)	26,4 (19,0-34,0)	24,2 (17,5-30,7)	23,5 (15,6-28,3)	13,1 (5,4-24,4)	5,6 (-1,3-14,8)	6,9 (3,3-9,4)	16,6	20,7 (5,4-34,0)
Grunwaldzka I	10,4 (1,6-22,1)	15,9 (5,8-23,2)	21,9 (12,6-32,3)	23,8 (14,1-31,9)	28,4 (19,4-36,6)	26,1 (18,3-34,0)	24,0 (17,1-30,3)	12,8 (5,4-22,1)	5,6 (-1,5-15,2)	7,1 (3,3-9,8)	17,6	21,9 (5,4-36,6)
Grunwaldzka II	10,3 (2,0-20,6)	15,8 (6,2-21,3)	20,4 (12,9-30,7)	22,8 (14,5-29,5)	27,5 (20,2-34,9)	25,1 (18,3-31,5)	23,8 (17,5-29,1)	13,0 (5,8-21,7)	5,7 (-1,3-14,8)	7,1 (3,3-9,4)	17,2	21,3 (5,8-34,9)
Jerzego	9,2 (1,6-18,7)	14,5 (5,4-19,4)	18,4 (11,4-28,7)	20,4 (13,7-26,3)	25,1 (18,3-31,9)	23,1 (17,1-29,1)	21,5 (14,8-25,9)	11,9 (5,0-19,8)	5,3 (-1,5-14,5)	6,9 (3,3-9,4)	15,6	18,8 (5,0-31,9)
Kocielelna	9,8 (1,6-19,8)	15 (6,2-20,6)	19,9 (12,2-29,5)	21,5 (14,5-27,5)	26,5 (19,0-33,6)	24,1 (17,1-34,0)	22,4 (16,0-27,1)	12,5 (5,0-20,6)	5,7 (-1,5-14,5)	7,2 (3,7-9,4)	16,5	19,6 (1,6-34,0)
Kociuszki	10,4 (2,0-20,9)	15,3 (5,4-20,9)	19,1 (11,8-29,1)	20,9 (14,1-26,7)	25,5 (19,0-32,8)	23,4 (17,1-29,5)	22,4 (16,8-26,7)	12,4 (5,8-19,8)	5,8 (-1,1-14,5)	7,2 (3,7-9,8)	16,2	19,2 (1,6-32,8)
Kosińskiego	9,7 (2,0-19,4)	14,7 (5,8-19,8)	18,9 (11,4-29,1)	20,9 (13,7-26,7)	25,5 (18,7-32,8)	23,3 (16,8-29,1)	22,2 (16,0-26,7)	12,3 (5,8-20,6)	5,7 (-1,5-15,2)	7,1 (3,3-9,4)	16,0	19,8 (5,8-32,8)
Matejki	11,3 (2,0-21,7)	15,7 (5,8-23,2)	19,1 (10,6-29,5)	20,4 (14,1-26,7)	25,7 (19,0-32,8)	23,8 (17,1-30,3)	22,5 (15,6-27,5)	12,2 (5,0-20,2)	5,3 (-1,1-14,1)	6,7 (3,3-9,0)	16,3	19,6 (5,0-32,8)
Noskowskiego	11,4 (2,5-21,3)	17 (6,2-25,9)	20,2 (11,8-30,7)	21,8 (14,1-27,9)	26,7 (19,4-34,0)	24,6 (17,9-31,1)	23,1 (17,5-28,3)	12,7 (5,4-21,7)	5,7 (-1,5-14,8)	6,9 (3,3-9,8)	17,0	20,8 (5,4-34,0)
Ogród Botaniczny	9,6 (1,6-19,8)	14,7 (5,4-20,6)	18,6 (10,6-28,7)	20,3 (13,3-26,3)	25,2 (18,3-32,8)	23,2 (16,8-29,9)	22,4 (15,2-27,5)	12,3 (4,6-20,9)	5,6 (-2,0-14,1)	7,1 (3,7-9,4)	15,9	19,3 (4,6-32,8)
Prusa	9,9 (2,5-19,4)	15,1 (5,4-20,2)	19,4 (11,8-30,3)	21,2 (14,1-27,5)	26,4 (19,0-33,6)	23,9 (17,1-30,7)	22,3 (14,5-27,1)	12,2 (5,4-20,2)	5,6 (-1,1-14,5)	7,0 (3,3-9,4)	16,3	19,7 (5,4-33,6)
Spadzista	9,2 (1,6-18,7)	15,0 (5,8-20,6)	18,4 (11,4-27,9)	19,9 (13,7-25,6)	24,2 (18,3-31,1)	22,6 (16,8-28,3)	21,5 (15,6-25,9)	11,7 (4,6-19,4)	5,2 (-1,5-13,7)	6,6 (3,3-9,0)	15,4	19,0 (4,6-31,1)
Staszica	9,9 (2,0-20,2)	14,8 (5,8-20,9)	19,1 (11,8-29,5)	21,0 (13,7-27,1)	25,7 (18,7-33,2)	23,4 (17,1-29,9)	22,3 (16,0-27,1)	12,3 (5,4-20,2)	5,9 (-1,1-14,5)	7,0 (3,7-9,4)	16,1	20,0 (5,4-33,2)
Święcickiego	10,2 (2,0-20,6)	15,3 (5,8-20,6)	19,9 (11,4-29,9)	21,3 (13,7-27,5)	26,0 (18,7-33,2)	23,6 (16,8-29,5)	22,3 (16,0-27,1)	12,1 (5,4-20,2)	5,5 (-1,5-14,5)	7,0 (3,3-9,4)	16,3	20,1 (5,4-33,2)
U'anska	11,8 (2,5-24,4)	16,5 (5,4-23,2)	20,9 (12,2-30,3)	22 (14,2-28,7)	27,1 (19,4-35,3)	24,9 (17,5-31,5)	24,5 (17,9-30,3)	13,3 (5,8-22,5)	6,1 (-1,5-15,6)	7,3 (4,2-9,8)	17,4	21,3 (5,4-35,3)
Wieniawskiego	12,2 (1,6-28,7)	16,1 (5,8-25,9)	19,9 (11,4-30,7)	21,3 (14,1-28,3)	26,4 (18,7-34,4)	24,5 (17,1-31,5)	23 (16,8-28,3)	12,3 (5,0-20,6)	6 (-1,5-14,8)	7,0 (2,9-9,4)	16,9	20,5 (5,0-34,4)
Wojskowa	10,7 (2,0-21,7)	15,6 (5,4-21,3)	20,1 (12,2-30,7)	21,7 (13,7-28,3)	26,7 (18,3-34,9)	24,5 (17,1-31,5)	23,5 (16,8-29,1)	12,8 (5,4-22,5)	5,7 (-1,5-14,8)	7,0 (3,3-9,4)	16,9	20,7 (5,4-34,9)
Średnia	10,5	15,4	19,6	21,3	26,2	24,0	22,8	12,5	5,7	7,0	16,5	20,2
IMGW Poznań-Ławica	9,4 (1,3-19,6)	14,6 (5,5-19,3)	19,2 (13,4-29,1)	21,2 (13,2-27,3)	26,0 (18,8-32,9)	24,0 (18,1-30,7)	22,9 (17,3-28,4)	12,7 (5,0-20,9)	5,7 (-1,4-14,5)	7,3 (3,3-10,4)	17,1	20,1** (5,0-32,9)

\* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów; \*\* sezon wegetacyjny za okres od I IV do 31 X

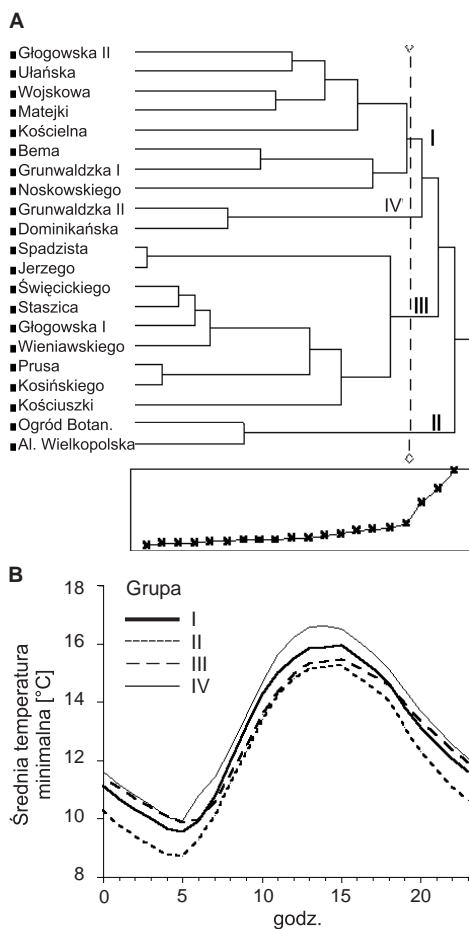
Tabela 5. Wartości średnie miesięczne oraz zakresy temperatur minimalnych w miesi'cu [°C] zarejestrowane na 21 stanowiskach w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Jako sezon wegetacyjny dla stanowisk przyjęto okres od ukazania się pierwszych liści do daty końca ich opadania, tj. długość utrzymywania się liści na drzewie

Table 5. Average and range of minimal monthly air temperatures [°C] measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia	średnia/ sezon we- getacyjny
Aleja Wielkopolska	1.3 (-2.9-7.4)	6.0 (0.7-11.4)	9 (4.6-16.4)	13.0 (7.4-16.8)	16.3 (12.9-19.4)	14.5 (10.2-19.0)	13.1 (8.2-17.1)	6.0 (-0.2-11.0)	0.9 (-6.3-8.6)	2.7 (-1.1-5.8)	8.3	11.2 (-0.2-19.4)
Bema	1.5 (-2.9-7.8)	6.3 (1.6-11.4)	9.3 (4.6-17.1)	13.5 (8.2-17.1)	16.6 (12.9-20.6)	14.9 (10.6-19.8)	13.4 (8.2-17.1)	6.2 (-0.2-11.0)	0.9 (-6.3-7.8)	2.4 (-1.1-5.0)	8.5	11.3 (-0.2-20.6)
Dominikańska	2.4 (-2.0-8.2)	7.2 (2.5-11.8)	10.3 (5.8-17.9)	14.3 (9.4-17.9)	17.5 (14.1-21.3)	16.0 (11.8-21.3)	14.3 (9.0-17.5)	7 (0.7-11.8)	1.6 (-6.3-8.6)	3.0 (-0.2-5.8)	9.4	12.3 (0.7-21.3)
Ci'ogowska I	2.5 (-2.0-9.0)	7.2 (1.6-12.2)	10.1 (5.8-17.5)	13.7 (9.8-17.5)	17.1 (13.7-20.6)	15.7 (11.4-20.6)	14.2 (9.4-18.7)	6.6 (0.3-11.0)	1.3 (-4.8-8.2)	2.7 (-0.6-5.4)	9.1	12.1 (0.3-20.6)
Ci'ogowska II	2.4 (-2.0-8.2)	7.1 (1.6-11.8)	10.0 (5.4-16.8)	13.8 (9.8-18.3)	17.2 (14.1-20.6)	15.8 (11.4-20.6)	14.1 (8.6-18.7)	6.5 (0.3-11.0)	1.3 (-5.3-8.2)	2.7 (-0.6-5.4)	9.1	12.2 (0.3-20.6)
Grunwaldzka I	1.9 (-2.4-7.4)	6.5 (1.2-11.4)	9.4 (4.6-16.4)	13.4 (9.4-17.5)	16.7 (13.3-20.6)	15.1 (11.4-20.2)	13.5 (7.8-17.9)	6.0 (-0.2-10.6)	1 (-5.8-7.4)	2.5 (-1.1-5.4)	8.6	11.5 (-0.2-20.6)
Grunwaldzka II	2.5 (-2.0-8.2)	7.1 (1.6-12.2)	10.2 (5.0-17.1)	14.1 (10.2-18.3)	17.5 (14.1-20.9)	15.8 (11.8-20.9)	14.2 (8.6-18.7)	6.7 (0.3-11.4)	1.4 (-4.8-8.2)	2.7 (-0.6-5.4)	9.2	12.3 (0.3-21.0)
Jerzego	2.3 (-2.0-8.2)	7.0 (2.0-11.8)	9.9 (5.4-16.8)	13.8 (9.8-17.5)	17.1 (14.5-20.6)	15.8 (12.2-20.6)	14.1 (9.4-17.5)	6.7 (0.3-11.0)	1.6 (-4.8-8.6)	2.9 (-0.6-5.8)	9.1	11.8 (0.3-20.6)
Kowalelna	2.2 (-2.4-7.8)	7.1 (2.0-11.8)	10.0 (5.0-17.5)	14.1 (9.8-18.7)	17.5 (14.5-21.7)	15.8 (11.8-20.6)	14.2 (8.6-17.5)	6.8 (0.3-11.4)	1.5 (-5.8-9.0)	3.0 (-0.6-5.8)	9.2	11.7 (-1.1-21.7)
Kocziuski	2.8 (-1.5-8.2)	7.4 (2.0-12.2)	10.2 (5.4-17.5)	14.2 (10.2-17.9)	17.4 (14.5-20.9)	16.0 (12.6-20.9)	14.4 (9.8-17.5)	7.2 (1.2-12.2)	2.1 (-5.3-9.0)	3.4 (-0.2-6.2)	9.5	12.0 (-0.6-21.0)
Kosińskiego	2.5 (-2.0-8.6)	7.2 (2.0-12.2)	10.0 (5.8-16.8)	13.9 (9.8-17.5)	17.3 (14.5-20.6)	15.8 (12.2-20.9)	14.2 (8.6-17.9)	6.8 (0.3-11.8)	1.6 (-5.3-8.6)	3.0 (-0.6-5.8)	9.2	12.2 (0.3-21.0)
Matejki	2.5 (-2.4-8.6)	7.2 (1.2-11.8)	10.1 (5.4-17.5)	13.7 (9.8-17.9)	16.9 (13.7-20.9)	15.6 (11.4-20.2)	14.2 (9.4-18.7)	6.6 (0.7-11.0)	1.4 (-4.3-8.6)	2.6 (-1.1-5.4)	9.1	11.8 (0.7-21.0)
Noskowskiego	1.8 (-2.9-7.4)	6.7 (1.6-11.8)	9.7 (4.6-17.1)	13.7 (8.2-17.5)	17.1 (14.1-20.2)	15.4 (11.0-20.6)	13.9 (8.6-17.5)	6.4 (0.3-11.4)	1.1 (-5.8-8.2)	2.6 (-1.1-5.4)	8.8	11.9 (0.3-20.6)
Ogród Botaniczny	1.4 (-3.4-7.0)	5.8 (0.7-11.0)	8.8 (4.6-15.6)	12.9 (7.4-16.8)	16.0 (12.9-19.0)	14.3 (10.2-19.0)	13.0 (8.2-16.8)	6.0 (-0.2-11.0)	0.9 (-5.8-9.0)	2.8 (-1.1-5.8)	8.2	10.8 (-0.2-19.0)
Prusa	2.8 (-2.0-8.6)	7.2 (1.6-12.2)	10.2 (5.4-17.5)	13.8 (9.4-18.3)	17.3 (14.1-21.3)	15.9 (11.4-20.6)	14.3 (9.4-18.7)	6.7 (0.7-11.4)	1.7 (-5.3-9.0)	3.1 (-0.6-5.8)	9.3	12 (0.7-21.3)
Spadzista	2.1 (-2.0-8.2)	7.1 (2.0-11.8)	9.9 (5.0-17.1)	13.7 (9.8-18.7)	16.8 (14.1-20.2)	15.6 (11.8-19.8)	14.1 (9.0-17.5)	6.8 (0.3-11.8)	1.2 (-4.8-7.8)	2.7 (-0.2-5.0)	9.0	11.9 (0.3-20.2)
Staszica	2.6 (-2.0-8.2)	7.2 (2.0-11.8)	10 (5.4-17.9)	13.9 (9.8-18.7)	17.3 (14.1-21.7)	15.7 (11.8-20.6)	14.4 (9.8-17.5)	6.9 (0.7-11.8)	1.8 (-5.3-9.0)	3.3 (-0.2-5.8)	9.3	12.3 (0.7-21.7)
Święcickiego	2.2 (-2.4-7.8)	6.8 (1.6-11.8)	9.9 (5.0-17.1)	13.8 (9.8-17.9)	17.1 (13.7-20.9)	15.6 (11.4-20.2)	14.2 (9.0-18.3)	6.6 (0.3-11.0)	1.3 (-5.3-8.2)	2.6 (-0.6-5.4)	9.0	12.1 (0.3-21.0)
U'anska	2.1 (-2.4-7.8)	6.8 (1.2-12.2)	9.9 (5.0-17.1)	13.8 (9.4-17.9)	17.2 (13.3-20.9)	15.4 (11.4-20.2)	14.0 (9.0-17.9)	6.4 (0.3-10.6)	1.0 (-5.3-8.2)	2.5 (-1.1-5.4)	8.9	11.9 (0.3-21.0)
Wieniawskiego	2.4 (-2.0-8.2)	7 (1.6-11.8)	10.1 (5.0-17.5)	14 (9.8-17.9)	17.2 (13.7-20.9)	15.7 (12.2-20.6)	14.0 (8.6-17.5)	6.6 (0.3-11.0)	1.4 (-5.8-8.2)	2.8 (-0.6-5.4)	9.1	12.1 (0.3-21.0)
Wojskowa	1.8 (-2.9-7.8)	6.5 (0.7-11.4)	9.9 (5.4-17.1)	13.7 (9.0-18.3)	17.0 (13.7-20.9)	15.3 (11.4-20.2)	14.0 (9.0-17.9)	6.3 (0.3-11.0)	0.8 (-5.3-8.2)	2.3 (-1.5-5.0)	8.8	11.8 (0.3-21.0)
Średnia	2.2	6.9	9.9	13.8	17.0	15.5	14.0	6.6	1.3	1.9	9.0	11.9
IMGW Poznań-Ławica	0.4 (-4.7-5.3)	4.4 (-2.5-11.1)	7.1 (0.6-13.1)	11.2 (3.7-15.3)	14.3 (10.2-20.3)	11.6 (5.7-17.3)	11.3 (6.6-17.3)	5.0 (-3.2-12.3)	0.0 (-6.8-7.9)	1.9 (-1.6-4.5)	6.7	9.3** (-3.2-20.3)

\* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów. \*\* sezon wegetacyjny za okres od 1 IV do 31 X





Rys. 5. A – dendrogram grupujący stanowiska pod względem podobieństwa średnich temperatur minimalnych w sezonie wegetacyjnym (od 1. 04. do 31. 10. 1999). B – przebieg średniej temperatury minimalnej w okresie dobowym dla grup przedstawionych na dendrogramie A

Fig. 5. A – Dendrogram of cluster groupings of sites based on similarity of minimal monthly air temperatures measured during the growing season (between April 1 and October 31, 1999). B – Pattern of minimal monthly air temperatures for four cluster groups shown in dendrogram A.

Na wszystkich tych stanowiskach zanotowano w okresie pomiarowym minimalną temperaturę  $-6,31^{\circ}\text{C}$ . Podobny cha-

rakter mają stanowiska Noskowskiego oraz Wieniawskiego o temperaturze minimalnej  $-5,81^{\circ}\text{C}$ . Tak samą wartość przyjmuje omawiana cecha na stanowiskach Ogród Botaniczny, Grunwaldzka I i Kościelna.

Przedstawione powyżej wyniki prowadzą do wniosku, iż czynnikiem odpowiedzialnym za przestrzenny rozkład temperatur minimalnych na terenie Poznania jest zjawisko spływu chłodnych mas powietrza do lokalnych obniżeń, powodujące spadki temperatur i two-

Tabela 6. Godziny występowania temperatur minimalnych na 21 stanowiskach pomiarowych na terenie Poznania w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r.

Table 6. List of hours when minimal temperatures were observed at 21 sites between March 10 and December 12, 1999

Stanowisko	Godzina				
	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
Aleja Wielkopolska					
Ogród Botaniczny					
Bema					
Noskowskiego					
Dominikańska					
Głogowska II					
Grunwaldzka II					
Matejki					
Ułańska					
Wojskowa					
Kościelna					
Głogowska I					
Grunwaldzka I					
Jerzego					
Kościuszki					
Kosińskiego					
Prusa					
Spadzista					
Staszica					
Święckiego					
Wieniawskiego					

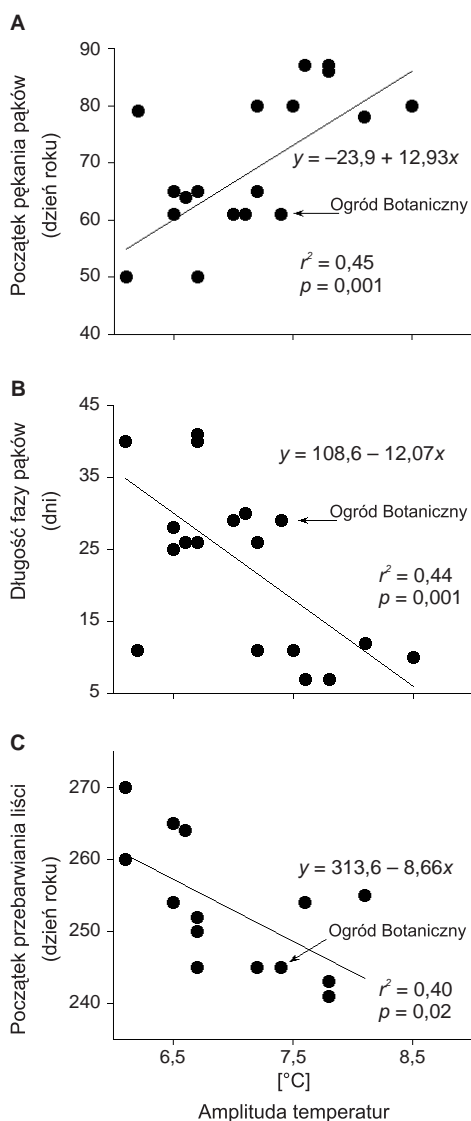


Tabela 7. Średnie miesięczne wartości amplitud temperatur 21 stanowisk na terenie Poznania, obliczone jako różnica między temperaturami o godzinach 15,00 i 5,00. W nawiasach podano wartości amplitud miesięcznych dla godzin 5,00 i 15,00  
 Table 7. Average monthly amplitudes of air temperatures measured at 21 sites in Poznan between March 10 and December 12, 1999. The amplitude was measured as the difference between temperatures at 3 pm, and 5 am

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia	średnia/ sezon we- getacyjny
Aleja Wielkopolska	7,2 (10,7 ; 19,5)	7,8 (11,0 ; 15,2)	8,5 (12,6 ; 19,7)	5,9 (8,5 ; 16,1)	7,9 (9,9 ; 13,7)	7,9 (8,8 ; 14,6)	8,7 (10,8 ; 12,3)	4,6 (15,0 ; 15,6)	2,9 (14,3 ; 17,6)	1,9 (5,9 ; 6,1)	6,3 (10,8 ; 15,0)	7,2
Bema	8,6 (10,7 ; 22,5)	8,2 (9,7 ; 17,1)	9,5 (13,0 ; 20,5)	6,8 (8,9 ; 17,7)	9,0 (9,2 ; 16,1)	8,6 (9,2 ; 17,0)	9,2 (10,8 ; 11,6)	5,1 (15,3 ; 15,9)	3,5 (12,9 ; 18,7)	2,3 (6,3 ; 6,5)	7,1 (10,6 ; 16,4)	8,1
Dominikańska	7,2 (10,2 ; 19,7)	7,6 (9,7 ; 17,1)	8,9 (13,2 ; 20,1)	6,3 (7,7 ; 16,5)	8,5 (8,8 ; 15,0)	7,8 (9,6 ; 16,3)	8,6 (9,6 ; 11,9)	4,7 (14,5 ; 15,9)	2,9 (12,3 ; 17,4)	1,9 (5,5 ; 5,7)	6,4 (10,1 ; 15,6)	7,4
C'ogowska I	6,4 (11,4 ; 20,3)	6,9 (10,6 ; 16,0)	8,4 (12,9 ; 20,5)	5,8 (7,7 ; 16,5)	8 (8,8 ; 13,7)	7,4 (9,2 ; 16,6)	7,7 (9,2 ; 11,9)	4,3 (14,1 ; 15,6)	2,7 (12,3 ; 17,5)	2,1 (5,9 ; 6,1)	6 (10,2 ; 15,5)	7,0
C'ogowska II	6,7 (11,0 ; 21,1)	7,0 (10,6 ; 15,5)	7,9 (14,0 ; 20,1)	5,9 (8,1 ; 17,3)	8,1 (8,8 ; 15,0)	7,6 (9,2 ; 16,6)	8,4 (10,0 ; 13,8)	4,8 (14,6 ; 16,0)	2,7 (12,3 ; 17,9)	2,0 (5,9 ; 6,1)	6,1 (10,4 ; 16,0)	7,1
Grunwaldzka I	7,2 (10,2 ; 20,5)	8,1 (10,6 ; 16,7)	10,0 (14,9 ; 22,9)	7,6 (7,7 ; 18,9)	9,8 (9,5 ; 17,1)	9,6 (8,8 ; 19,9)	9,6 (10,0 ; 13,2)	5,0 (13,8 ; 15,5)	3,1 (12,0 ; 17,9)	2,1 (6,3 ; 6,5)	7,2 (10,4 ; 16,9)	8,5
Grunwaldzka II	6,7 (11,0 ; 19,0)	7,6 (10,6 ; 15,1)	9,0 (14,4 ; 20,1)	6,8 (7,7 ; 18,1)	9,0 (8,4 ; 14,7)	8,6 (9,2 ; 16,3)	8,9 (10,0 ; 11,6)	4,8 (14,6 ; 15,9)	2,8 (11,9 ; 17,1)	2 (6,3 ; 6,1)	6,6 (10,4 ; 15,4)	7,8
Jerzego	5,8 (11,0 ; 17,5)	6,5 (9,7 ; 13,6)	7,6 (12,5 ; 19,3)	5,4 (8,1 ; 15,7)	7,2 (7,6 ; 13,6)	6,6 (8,4 ; 14,6)	6,7 (9,2 ; 11,1)	3,7 (14,5 ; 14,9)	2,4 (12,7 ; 17,6)	1,9 (5,9 ; 6,1)	5,4 (10,0 ; 14,4)	6,1
Kowcielna	6,3 (10,7 ; 17,9)	6,9 (10,1 ; 14,0)	7,8 (15,2 ; 19,7)	5,4 (8,0 ; 16,1)	7,5 (9,2 ; 14,1)	7,1 (9,2 ; 15,0)	7,6 (10,0 ; 11,1)	4,1 (14,1 ; 15,2)	2,5 (12,7 ; 17,1)	2,0 (5,9 ; 6,1)	5,7 (10,5 ; 14,6)	6,5
Kowtuski	6,4 (10,5 ; 20,7)	6,7 (9,7 ; 16,0)	7,9 (13,6 ; 19,7)	5,5 (7,7 ; 15,7)	7,2 (8,0 ; 13,7)	6,5 (8,4 ; 15,0)	7,3 (8,8 ; 10,0)	3,8 (13,0 ; 14,0)	2,3 (11,8 ; 17,5)	1,9 (5,0 ; 6,1)	5,6 (9,7 ; 14,8)	6,2
Kosinińskiego	6,1 (10,5 ; 18,2)	6,5 (10,1 ; 14,0)	7,8 (12,5 ; 19,7)	5,6 (7,7 ; 15,7)	7,3 (7,6 ; 14,1)	6,7 (8,4 ; 14,6)	7,4 (9,6 ; 10,7)	4,1 (14,5 ; 14,8)	2,6 (12,3 ; 17,6)	2,0 (5,9 ; 5,7)	5,6 (9,9 ; 14,5)	6,5
Matejki	6,6 (11,0 ; 19,5)	7,2 (11,0 ; 16,3)	8,1 (12,9 ; 20,1)	5,5 (8,1 ; 15,7)	8,0 (8,4 ; 13,7)	7,4 (8,8 ; 16,2)	7,6 (9,2 ; 11,5)	4,0 (14,1 ; 15,2)	2,5 (12,7 ; 16,1)	2,1 (5,9 ; 6,1)	5,9 (10,2 ; 15,1)	6,7
Noskowskiego	7,3 (11,1 ; 20,4)	8,3 (10,6 ; 15,1)	9,3 (13,7 ; 20,5)	6,5 (8,5 ; 17,3)	8,5 (8,8 ; 14,6)	8,2 (9,6 ; 16,3)	8,4 (10,0 ; 10,4)	4,3 (14,1 ; 15,2)	2,7 (12,8 ; 17,1)	2,1 (5,9 ; 6,1)	6,6 (10,5 ; 15,3)	7,6
Ogród Botaniczny	7,0 (10,3 ; 18,7)	7,7 (11,0 ; 15,2)	8,8 (11,8 ; 19,3)	6,0 (8,5 ; 16,1)	8,3 (9,2 ; 14,4)	8,1 (8,8 ; 15,8)	8,7 (10,8 ; 13,0)	4,6 (14,0 ; 16,0)	3,0 (14,9 ; 17,1)	2,0 (6,3 ; 6,6)	6,4 (10,6 ; 15,2)	7,4
Prusa	6,1 (10,5 ; 19,1)	6,8 (10,5 ; 14,8)	8,4 (14,0 ; 20,9)	5,9 (8,5 ; 17,3)	8,1 (8,8 ; 14,6)	7,1 (9,6 ; 16,6)	7,2 (9,6 ; 12,3)	3,9 (13,7 ; 14,4)	2,4 (11,8 ; 17,1)	2,0 (5,5 ; 5,7)	5,8 (10,2 ; 15,3)	6,7
Spadzista	6,0 (11,0 ; 17,9)	6,5 (10,1 ; 14,0)	7,5 (12,5 ; 18,1)	5,1 (7,7 ; 13,8)	6,7 (7,2 ; 12,8)	6,3 (8,4 ; 13,4)	6,7 (9,2 ; 9,6)	3,7 (14,5 ; 14,1)	2,5 (12,4 ; 16,7)	1,9 (5,5 ; 5,7)	5,3 (9,9 ; 13,6)	6,1
Staszica	6,2 (11,0 ; 19,5)	6,5 (9,7 ; 14,8)	8,1 (14,0 ; 20,5)	5,8 (8,8 ; 16,1)	7,4 (9,1 ; 14,5)	6,8 (9,2 ; 15,8)	7,3 (9,2 ; 11,1)	4,0 (14,1 ; 14,4)	2,5 (11,8 ; 17,6)	1,9 (5,5 ; 5,7)	5,7 (10,2 ; 15,0)	6,6
Święcickiego	6,6 (11,1 ; 19,5)	7,2 (10,6 ; 14,0)	8,0 (14,0 ; 20,5)	5,8 (7,7 ; 16,5)	7,7 (9,2 ; 14,5)	7 (9,2 ; 15,4)	7,4 (9,2 ; 10,7)	4,0 (14,1 ; 14,8)	2,6 (12,3 ; 17,6)	1,9 (6,3 ; 6,1)	5,8 (10,4 ; 14,9)	6,7
U'ańska	8,3 (11,1 ; 23,7)	8,2 (11,0 ; 17,9)	8,8 (14,4 ; 21,3)	6,3 (8,4 ; 17,3)	8,3 (9,9 ; 15,0)	8,4 (8,8 ; 17,4)	9,5 (9,2 ; 12,0)	5,2 (14,2 ; 17,1)	3,1 (12,8 ; 18,3)	2,1 (6,3 ; 6,1)	6,8 (10,6 ; 16,6)	7,8
Wieniawskiego	7,9 (10,6 ; 26,0)	7,6 (10,6 ; 18,2)	8,7 (14,4 ; 21,7)	6,1 (7,3 ; 17,7)	8,2 (9,2 ; 15,3)	7,6 (8,8 ; 17,4)	8 (9,6 ; 11,5)	4,1 (14,1 ; 14,8)	2,8 (11,5 ; 17,6)	1,9 (5,9 ; 6,1)	6,3 (10,2 ; 16,6)	7,2
Wojskowa	7,4 (11,5 ; 20,2)	7,9 (11,4 ; 16,3)	8,8 (13,6 ; 20,9)	6,2 (8,1 ; 18,1)	8,4 (9,2 ; 16,1)	8,1 (9,2 ; 17,8)	8,7 (10,0 ; 11,9)	4,8 (14,6 ; 16,3)	3,0 (13,3 ; 17,9)	2,1 (6,4 ; 6,6)	6,5 (10,7 ; 16,2)	7,5
Średnia	6,8 (10,8 ; 20,1)	7,3 (10,4 ; 15,6)	8,5 (13,5 ; 20,3)	6 (8,1 ; 16,7)	8,1 (8,8 ; 14,6)	7,6 (9,0 ; 16,1)	8,1 (9,7 ; 11,6)	4,4 (14,3 ; 15,3)	2,7 (12,6 ; 17,5)	2,0 (5,9 ; 6,1)	6,1 (10,7 ; 16,2)	7,1
IMGW Poznań-Ławica	9,0 (10,0 ; 18,3)	10,3 (13,6 ; 13,8)	12,1 (12,5 ; 15,7)	9,9 (11,6 ; 14,1)	11,7 (10,1 ; 14,1)	12,4 (11,6 ; 12,6)	11,6 (10,7 ; 11,1)	7,6 (15,5 ; 15,9)	5,7 (14,7 ; 15,9)	5,4 (6,1 ; 7,1)	9,6 (12,2 ; 13,9)	10,8**

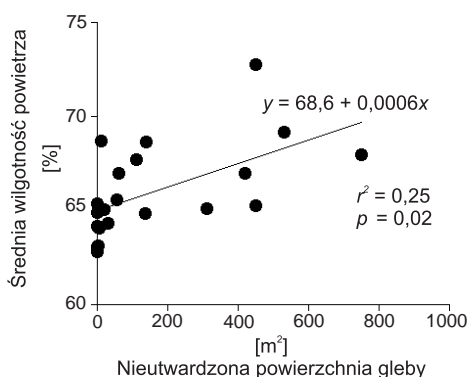
\* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów; \*\* sezon wegetacyjny za okres od I IV do 31 X





Rys. 6. Zależność między dobową amplitudą temperatur powietrza a początkiem pęknięcia pąków liściowych (A), długością fazy pąków liściowych (B) oraz początkiem przebarwiania liści (C) *Aesculus hippocastanum* L. na terenie Poznania

Fig. 6. Relationship between daily temperature amplitudes and phenological observations of *Aesculus hippocastanum* L.: (A) beginning of leaf bud break, (B) length of leaf bud stage, and (C) day of year when fall leaf coloration was observed



Rys. 7. Zależność średniej względnej wilgotności powietrza (w okresie od kwietnia do października) od wielkości nieutwardzonej powierzchni gleby wokół drzew *Aesculus hippocastanum* L.

Fig. 7. Relationship between the average relative air humidity (measured between April and October) and unpaved ground surrounding *Aesculus hippocastanum* L. tree

dużą przewagą dni o tym typie pogody nie wynika z prostego przesunięcia liczby dni typu bardzo ciepłego do gorącego, gdyż niższy przedział, 15–25°C, także cechuje się przewagą dni tego typu na stanowiskach w mieście. Jednocześnie przewaga dni zakwalifikowanych jako gorące i bardzo ciepłe świadczy o dominującym reżimie wyższych temperatur panujących na powierzchniach wewnątrz obszaru miasta.

#### WILGOTNOŚĆ POWIETRZA

W tabeli 9 przedstawiono średnie miesięczne wartości wilgotności względnej powietrza wraz z zakresami ich występowania. Zwraca w nich uwagę niższy od odniesienia (stacja meteorologiczna Poznań-Ławica) średni poziom tego elementu dla 21 stanowisk, w kolejnych miesiącach, od marca do września w<sup>31</sup> czerwiec. Natomiast od października zaznacza się trend wzrostu wilgotności względnej na terenie miasta w stosunku do stacji IMGW. Jest to szczególnie widoczne w listopadzie i grudniu. Najniższe



Table 9. Średnie miesięczne oraz zakresy średnich dobowych wartości wilgotności względnej powietrza RH [%] zarejestrowane na 21 stacjach w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Jako sezon wegetacyjny dla stanowisk przyjęto okres od ukazania się pierwszych liści do daty końca ich opadania, tj. długość utrzymywania się liści na drzewie

Table 9. Average monthly and range of daily relative air humidity RH [%] values measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia	średnia / sezon wegetacyjny
Alėja Wielkopolska	76 (60-76)	73 (48-99)	65 (43-93)	77 (59-95)	67 (48-90)	65 (46-90)	64 (40-95)	83 (63-103)	94 (75-104)	88 (60-104)	75 (64-94)	69 (40-99)
Bema	72 (53-89)	71 (44-100)	62 (42-91)	77 (55-99)	68 (46-101)	64 (43-97)	75 (48-104)	96 (75-104)	100 (88-104)	98 (69-104)	78 (62-100)	69 (42-103)
Dominikańska	72 (55-88)	68 (45-98)	59 (39-87)	70 (50-91)	60 (42-86)	58 (40-86)	66 (45-90)	82 (68-95)	88 (75-98)	83 (67-93)	71 (58-88)	64 (39-98)
Ciśogowska I	73 (45-94)	70 (41-100)	61 (38-95)	78 (52-100)	65 (42-88)	61 (36-93)	69 (44-97)	88 (73-99)	94 (80-100)	88 (79-98)	75 (61-94)	67 (36-100)
Ciśogowska II	72 (47-91)	72 (43-104)	59 (35-93)	74 (45-100)	62 (37-92)	59 (30-94)	70 (33-104)	99 (77-104)	103 (95-104)	100 (72-104)	77 (59-103)	65 (35-104)
Grunwaldzka I	72 (48-90)	70 (44-99)	58 (37-87)	70 (46-92)	60 (39-86)	58 (35-89)	67 (46-91)	85 (72-98)	91 (79-99)	86 (69-97)	72 (58-91)	66 (37-99)
Grunwaldzka II	71 (47-89)	69 (43-97)	58 (38-87)	70 (47-92)	59 (39-85)	58 (35-87)	66 (45-90)	83 (68-94)	89 (79-98)	84 (69-94)	71 (58-89)	63 (35-97)
Jerzego	74 (54-90)	71 (46-98)	62 (41-92)	76 (55-96)	66 (46-90)	63 (41-92)	72 (47-90)	89 (76-100)	95 (83-103)	89 (73-100)	76 (62-95)	70 (41-100)
Kociewna	73 (53-88)	70 (45-96)	59 (40-89)	72 (48-93)	60 (38-88)	59 (37-87)	67 (47-90)	84 (70-94)	89 (78-97)	83 (68-93)	72 (59-89)	64 (37-96)
Kociewski	72 (52-90)	69 (44-99)	60 (39-87)	73 (51-94)	62 (42-86)	60 (38-86)	68 (47-90)	83 (69-94)	88 (77-97)	82 (66-95)	72 (60-88)	64 (38-99)
Kosińskiego	72 (50-89)	70 (44-97)	61 (40-89)	73 (52-93)	63 (44-86)	60 (39-88)	68 (45-91)	84 (71-97)	89 (78-98)	83 (68-96)	72 (60-89)	65 (39-97)
Matejki	72 (46-93)	70 (42-99)	62 (39-91)	77 (53-98)	65 (44-89)	62 (37-91)	69 (44-96)	87 (72-100)	93 (79-102)	87 (72-98)	74 (62-93)	69 (37-100)
Noskowskiego	73 (56-94)	69 (46-99)	61 (41-88)	74 (52-98)	62 (43-87)	61 (40-86)	69 (48-91)	85 (71-97)	92 (79-101)	86 (69-99)	73 (61-92)	66 (40-99)
Ogród Botaniczny	77 (62-94)	77 (53-104)	68 (43-95)	82 (59-101)	68 (45-95)	69 (44-98)	78 (48-103)	97 (79-104)	102 (91-104)	101 (88-104)	82 (68-102)	74 (43-104)
Prusa	71 (49-88)	69 (44-98)	59 (38-89)	73 (48-95)	61 (39-87)	59 (35-89)	68 (45-92)	84 (71-97)	89 (78-97)	83 (67-96)	72 (59-89)	65 (35-98)
Spadzišta	75 (55-89)	71 (45-99)	63 (41-89)	77 (58-95)	67 (46-89)	63 (41-88)	71 (46-95)	87 (74-99)	94 (83-104)	90 (72-102)	76 (63-94)	66 (35-97)
Staszica	72 (51-88)	70 (45-96)	60 (40-88)	73 (50-95)	62 (40-90)	60 (38-90)	68 (46-93)	85 (70-97)	91 (80-101)	86 (69-98)	73 (60-91)	68 (38-97)
Źwięcińskiego	72 (48-89)	70 (44-97)	61 (39-88)	74 (50-94)	63 (40-88)	61 (36-89)	68 (45-92)	85 (72-95)	91 (80-100)	86 (69-96)	73 (61-91)	68 (36-97)
Ursńska	73 (48-91)	71 (43-100)	59 (38-88)	73 (50-95)	62 (42-88)	61 (35-93)	72 (43-104)	99 (80-104)	102 (93-104)	104 (104-104)	78 (59-104)	71 (35-104)
Wierciańskiego	71 (50-88)	69 (43-96)	59 (39-87)	73 (49-93)	61 (41-86)	59 (37-87)	68 (47-90)	84 (71-95)	89 (78-97)	83 (67-93)	72 (59-89)	68 (37-96)
Wojskowa	76 (51-101)	74 (45-104)	62 (37-96)	77 (49-101)	65 (41-95)	65 (33-100)	75 (44-104)	100 (82-104)	103 (98-104)	103 (94-104)	80 (62-103)	74 (33-104)
Źrednia	73 (71-77)	71 (69-77)	61 (58-68)	74 (70-82)	63 (59-68)	61 (58-69)	69 (64-78)	88 (83-100)	94 (88-103)	89 (82-104)	74 (61-94)	82 (61-94)
IMGW	76 (59-90)	73 (52-96)	69 (47-91)	79 (65-96)	69 (50-90)	68 (49-92)	74 (56-94)	86 (69-96)	89 (78-97)	81 (67-89)	76 (68-89)	74** (68-86)

\* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów, \*\* sezon wegetacyjny za okres od 1 IV do 31 X

otrzymanych ze stacji IMGW, przedstawiono na rys. 2B. Cech<sup>1</sup> charakterystyczny<sup>1</sup> jest mniejsza wilgotnoœæ ogó³u stanowisk w porównaniu do danych pochodz<sup>1</sup>cych ze stacji, tak¿e przy wartoœciach maksymalnych, wystêpuj<sup>1</sup>cych w czasie opadów. Zwraca uwagê pog<sup>3</sup>êbianie siê deficytu wilgoci na stanowiskach w miarê spadku jej wzglêdnej wartoœci w masie powietrza nap<sup>3</sup>ywaj<sup>1</sup>cej na obszar miasta. Poniewa¿ obni¿aniu siê wartoœci wzglêdnej wilgotnoœci powietrza w ciep<sup>3</sup>ym pó³roczu towarzyszy wzrost temperatury, sumarycznie otrzymujemy obraz wzajemnego pog<sup>3</sup>êbiania siê ró¿nic obydwu elementów atmosfery. Jedynym wyj<sup>1</sup>tkiem na omawianym wykresie jest stanowisko Ogród Botaniczny, co jest spowodowane otoczeniem o charakterze parkowo-leœnym w skali topoklimatycznej.

Na rysunku 8A przedstawiono dendrogram grupuj<sup>1</sup>cy stanowiska pod wzglêdem podobieñstwa wartoœci wzglêdnej wilgotnoœci. Znajduj<sup>1</sup>cy siê poni¿ej wykres (rys. 8B) obrazuje sezonowy przebieg tego elementu dla dwóch grup. Zwraca w nich uwagê fakt utrzymywania siê przez ca³y okres wegetacyjny znacznych ró¿nic, przekraczaj<sup>1</sup>cych 10% ca³kowitej wartoœci mierzonego elementu.

Rysunek 9A–B obrazuje przebieg wartoœci wilgotnoœci wzglêdnej grupy cechuj<sup>1</sup>cej siê wiêkszym kseryzmem na tle wystêpuj<sup>1</sup>cych temperatur (A) oraz zanotowanych opadów (B). Znamienny jest trend wzajemnego „antagonizmu” obydwu w<sup>3</sup>aciwoœci atmosfery oraz niewielki wp<sup>3</sup>yw na wilgotnoœæ wzglêdn<sup>1</sup> powietrza opadów o charakterze nawalnym. Zgodnie z przedstawionym na rysunku 9A trendem decyduj<sup>1</sup>cy wp<sup>3</sup>yw na zmniejszanie wartoœci wilgotnoœci wzglêdnej maj<sup>1</sup> temperatury, szczególnie gdy utrzymuj<sup>1</sup> siê one powy¿ej 10°C (tab. 3, 9). Ciep³e i suche masy powietrza odpowiadaj<sup>1</sup> za rozmijanie siê war-

toœci obydwu elementów meteorologicznych. Brak opadów w okresie letnim pog<sup>3</sup>êbi<sup>3</sup> ten stan, doprowadzaj<sup>1</sup>c w sierpniu do najni¿szych zarejestrowanych wartoœci wilgotnoœci wzglêdnej, rzêdu 30% (stanowisko G<sup>3</sup>ogowska II, tab. 9). Na omawianym rysunku przedstawione s<sup>1</sup> stanowiska cechuj<sup>1</sup>ce siê ubogimi (w porównaniu do terenów niezurbanizowanych) zasobami wilgoci w œrodowisku. Uwidacznia siê to mniejszymi wartoœciami wilgotnoœci powietrza w sytuacji odizolowania pod<sup>3</sup>o¿a wokó³ stanowisk od wód opadowych, w promieniu nawet do kilkuset metrów. Wp<sup>3</sup>yw opadów na wilgotnoœæ wzglêdn<sup>1</sup> w œródmieœciu uwidacznia siê przy jednoczesnym wystêpowaniu ni¿szych zakresów temperatur z d<sup>3</sup>u¿szymi okresami opadów na przestrzeni od kilku do kilkunastu dni. Mo¿e to œwiadczyæ o istniej<sup>1</sup>cej bezw<sup>3</sup>adnoœci œrodowiska antropogenicznego w odniesieniu do zmian elementów meteorologicznych, g<sup>3</sup>ównie wilgotnoœci. OpóŹniona reakcja wzrostu wilgotnoœci powietrza po opadach œwiadczy o przedziale czasowym, jaki jest potrzebny do nasycenia wilgoci<sup>1</sup> atmosfery na terenach intensywnej zabudowy w centrum miasta, z minimaln<sup>1</sup> powierzchni<sup>1</sup> biologicznie czynn<sup>1</sup>. Potwierdzaj<sup>1</sup> to dane przedstawione na rysunku 7, gdzie zilustrowano zale¿noœæ wilgotnoœci wzglêdnej powietrza od wielkoœci wolnej powierzchni wokó³ drzew na stanowiskach. Zale¿noœæ istotna statystycznie ukazuje wzrost wilgotnoœci wraz ze zwiêkszaniem area³u wolnej powierzchni gleby wokó³ drzew.

#### NIEDOSYT WILGOTNOœCI POWIETRZA

Zdolnoœæ ewaporacyjn<sup>1</sup> (siê ss<sup>1</sup>c<sup>1</sup>) powietrza mo¿na wyliczyæ ze wzoru (KêDZIORA 1999):

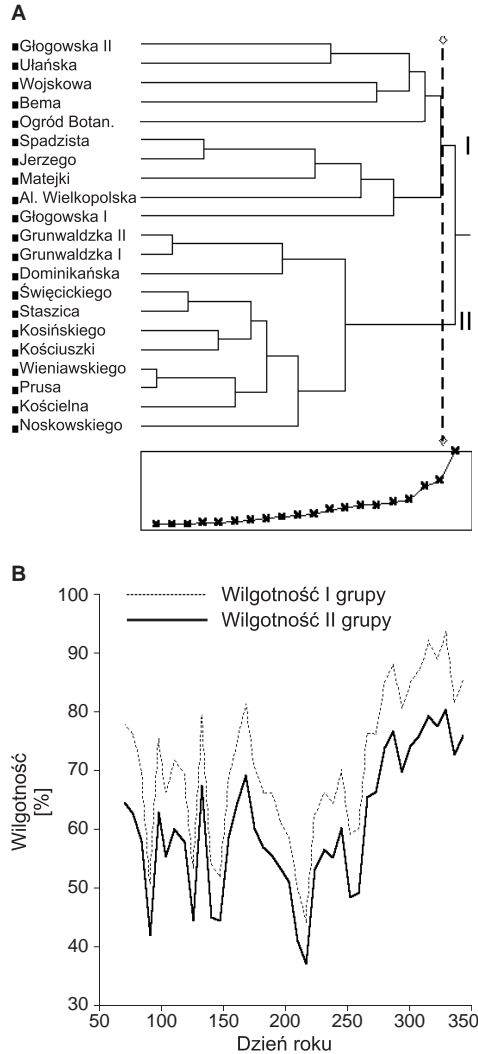
$$E_a = 7,44 (1 + 0,54U_2) d, \quad (3)$$

gdzie:  $E_a$  – zdolnoœæ ewaporacyjna powietrza [ $Wm^{-2}$ ],  $U_2$  – œrednia dobowa prędkoœæ wiatru na wysokoœci 2 m nad powierzchni¹ [ $m s^{-1}$ ],  $d$  – niedosyt wilgotnoœci powietrza [hPa].

Na badanych stanowiskach stwierdzono zwi¹zek pomiędzy wartoœciami niedosytu wilgotnoœci powietrza a wolnoœci¹, nieutwardzon¹ powierzchni¹ gleby wokół³ drzew. Im wiêksza wolna powierzchnia, tym mniejszy niedosyt wilgotnoœci ( $r^2 = 0,38$ ,  $p = 0,003$ ).

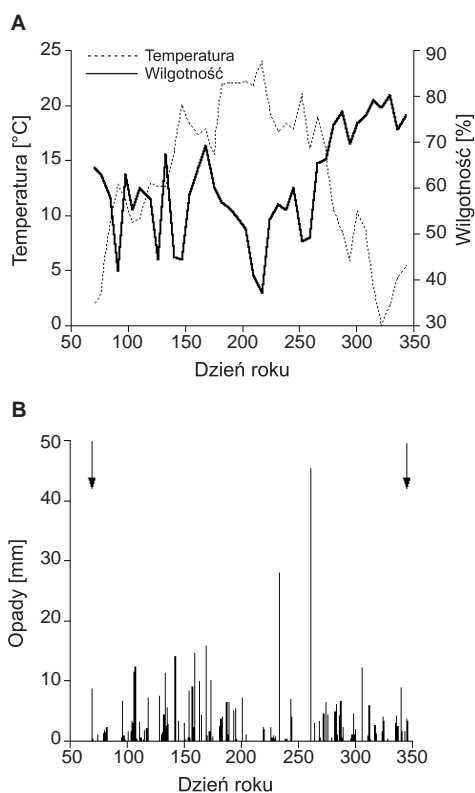
Do istotnych czynników wp³ywaj¹cych na drzewa w zurbanizowanych rejonach Poznania nale¿¹: zmniejszanie siê „wolnej”, nieutwardzonej powierzchni wokół³ drzew, béd¹cej rezultatem wzrostu udzia³u nawierzchni sztucznych w obrêbie ulic, oraz swobodny przep³yw strumieni powietrza (czemu sprzyjaj¹ szerokie p³aszczyzny jezdni i chodników). W Poznaniu dominuj¹ sumarycznie wiatry bardzo s³abe ( $<2 m s^{-1}$ ) i s³abe ( $2-5 m s^{-1}$ ), które zajmuj¹ œrednio rocznie ponad 60% spoœród wszystkich zanotowanych, a wraz z wiatrami umiarkowanymi ( $5-7 m s^{-1}$ ) stanowi¹ ponad 77% ich frekwencji (GIERMAZIAK 1974; WOŒ 1994). Ponadto cisze w p³orocznie wynosz¹ ponad 11%. Sumarycznie dane te wskazuj¹ na to, ¿e czynnik dynamiczny atmosfery w Poznaniu w sezonie wegetacyjnym generalnie nie przyjmuje sta³ych, wysokich wartoœci. Tak wiêc chocia¿ w sensie liczbowym zamieszczony niedosyt wilgotnoœci nie jest to¿samy ze zdolnoœci¹ ewaporacyjn¹ powietrza, mo¿e byæ w tym przypadku uznany jako oddaj¹cy jej tendencjê na poszczególnych stanowiskach.

W okresie pomiarowym obserwowano wzrost niedosytu wilgotnoœci w kolejnych miesi¹cach, do lipca w³icznie (tab. 2). W pe³ni lata zanotowano tak¿e najwiêksze zróźnicowanie wartoœci ekstremalnych, minimalnych i maksymalnych na poszczególnych stanowiskach.



Rys. 8. Dendrogram grupuj¹cy stanowiska wed³ug podobieñstwa wilgotnoœci wzglêdnej powietrza (A) oraz uœredniony przebieg wilgotnoœci wzglêdnej dla dwóch grup (B) wyodrêbnionych na dendrogramie A. Pomiary wykonano w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r.

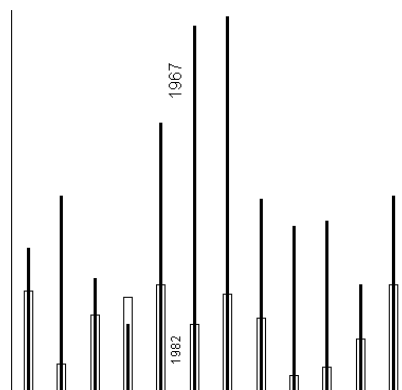
Fig. 8. A – dendrogram of cluster groupings of relative air humidity measured between March 10 and December 12, 1999. B – seasonal changes in air humidity for two clusters shown in dendrogram A



Rys. 9. Przebieg temperatury i względnej wilgotności powietrza dla II grupy stanowisk pokazanych na rys. 8B, na tle opadów dziennych (B) w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Strzałki na wykresie B oznaczają początek i koniec pomiarów

Fig. 9. A – seasonal pattern of air temperature and humidity for the cluster group shown in Fig. 8B measured between March 10 and December 12, 1999. B – daily precipitation values. Arrows indicate the beginning and the end of the measured period

Prowadzi to do różnic rzędu 45 hPa (lipiec – Grunwaldzka I). Warto tu przytoczyć fakt, że tak wysokie wartości niedosytu wilgotności powietrza notowano np. na terenach stepowo-pustynnych w rejonie A<sup>3</sup>ma-Aty (KÉDZIORA 2005 – inf. ustna). Analiza niedosytu wilgotności i panujących temperatur pozwala oceniać wpływ tych ostatnich na niedosyt wil-



Rys. 10. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych odnotowane w dwóch skrajnych latach: 1967 i 1982. Dane ze stacji IMGW Poznań-Ławica  
Fig. 10. Monthly precipitation recorded in two extreme years (1967 and 1982). Based on data from meteorological station Poznań-Ławica of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW)

gotności. Nasze wyniki wskazują, że przekroczenie progu 10°C jako średniej temperatury miesięcznej powodowało wzrost niedosytu wilgotności powietrza o ok. 100%, w porównaniu do siedlisk, chłodniejszych miesięcy. Zauważalne to było szczególnie w kwietniu i w maju oraz we wrześniu i październiku. Widoczny był jednocześnie pozytywny wpływ zwiększonej w stosunku do wielolecia częstotliwości i sum opadów w czerwcu na zmniejszenie niedosytu wilgotności powietrza.

W trakcie sezonu wegetacyjnego powierzchniami cechującymi się najmniejszymi wartościami omawianej cechy stanowiska: Ogród Botaniczny, Jerzego i Spadzista. Natomiast najwyższymi wartościami cechują się powierzchnie: Grunwaldzka I i II oraz Dominikańska. Wymienione lokalizacje należą odpowiednio do najchłodniejszych oraz najcieplejszych spośród 21 stanowisk na terenie Poznania.



Table 10. Średnie miesięczne oraz zakresy dobowych wartości wilgotności bezwzględnej powietrza  $[gm^{-3}]$ , zarejestrowane na 21 stanowiskach w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Jako sezon wegetacyjny dla stanowisk przyjęto okres od ukazania się pierwszych liści do daty końca ich opadania, tj. długość utrzymywania się liści na drzewie

Table 10. Average monthly and range of daily absolute humidity  $[gm^{-3}]$  values measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

Stanowisko	marzec*	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień*	średnia	średnia/ sezon we- getacyjny
Aleja Wielkopolska	5.2 (3.6-7.7)	6.9 (4.4-10.0)	7.8 (3.9-12.6)	10.9 (7.9-13.5)	11.9 (8.4-15.5)	10.1 (7.5-13.9)	9.2 (4.8-11.8)	7.3 (3.9-10.2)	5.7 (3.9-8.8)	5.9 (3.9-7.7)	8.1 (5.2-11.9)	9.2 (3.9-15.5)
Bema	5.2 (3.5-7.4)	6.9 (4.3-10.1)	7.7 (4.0-12.8)	11.3 (8.1-14.5)	12.2 (8.0-16.9)	10.2 (7.4-13.8)	11.1 (6.1-14.0)	8.6 (4.6-12.1)	6.1 (3.9-10.3)	6.5 (4.5-8.0)	8.6 (5.2-12.2)	9.7 (4.0-16.9)
Dominikańska	5.3 (3.6-7.7)	6.9 (4.4-10.1)	7.6 (3.9-12.5)	10.7 (7.6-13.7)	11.4 (8.0-14.9)	9.8 (7.3-13.0)	10.3 (6.0-12.8)	7.7 (4.4-10.2)	5.7 (3.8-9.0)	5.7 (4.5-7.1)	8.1 (5.3-11.4)	9.2 (3.9-14.9)
Czogowska I	5.3 (3.9-7.7)	6.9 (4.4-9.9)	7.6 (3.7-12.3)	11.3 (8.0-13.7)	11.9 (7.8-17.3)	9.9 (7.2-14.2)	10.5 (5.9-13.3)	8.0 (4.5-10.7)	5.9 (3.9-9.0)	6.0 (4.9-7.3)	8.3 (5.3-11.9)	9.4 (3.7-17.3)
Czogowska II	5.3 (3.5-8.0)	7.0 (4.3-10.5)	7.2 (3.3-12.1)	10.8 (7.2-14.3)	11.3 (7.4-15.8)	9.5 (5.3-14.2)	10.5 (4.6-15.0)	8.9 (4.7-12.1)	6.3 (4.0-10.4)	6.6 (4.7-7.8)	8.3 (5.3-11.3)	9.3 (3.3-15.8)
Grunwaldzka I	5.1 (3.5-7.5)	6.7 (4.2-9.8)	7.3 (3.6-12.0)	10.5 (7.4-13.4)	11.1 (7.5-14.8)	9.5 (7.0-13.0)	10.1 (5.8-12.7)	7.7 (4.4-10.3)	5.7 (3.8-9.0)	5.8 (4.5-7.2)	7.9 (5.1-11.1)	9.0 (3.6-14.8)
Grunwaldzka II	5.2 (3.5-7.7)	6.8 (4.3-10.0)	7.6 (3.7-12.5)	10.8 (7.7-13.7)	11.5 (8.0-15.2)	9.9 (7.4-13.5)	10.3 (6.0-12.8)	7.7 (4.4-10.3)	5.6 (3.9-9.0)	5.7 (4.5-7.2)	8.1 (5.2-11.5)	9.3 (3.7-15.2)
Jerzego	5.3 (3.6-7.8)	6.9 (4.3-9.9)	7.6 (3.8-12.7)	11.0 (7.9-13.7)	11.9 (8.1-16.0)	10.1 (7.6-13.5)	10.8 (6.1-13.5)	8.1 (4.6-10.9)	5.9 (4.0-9.4)	6.1 (4.8-7.6)	8.4 (5.3-11.9)	9.4 (3.8-16.0)
Koczielna	5.3 (3.6-7.8)	6.9 (4.4-10.0)	7.6 (3.8-12.5)	10.8 (7.7-13.7)	11.5 (8.1-15.0)	9.8 (7.3-13.6)	10.3 (6.0-12.8)	7.7 (4.4-10.2)	5.7 (3.9-9.0)	5.7 (4.5-7.1)	8.1 (5.3-11.5)	9.1 (3.8-15.0)
Kociszewski	5.2 (3.6-7.7)	6.8 (4.3-10.0)	7.5 (3.8-12.3)	10.7 (7.6-13.5)	11.4 (8.0-14.8)	9.7 (7.3-13.1)	10.4 (6.1-12.8)	7.7 (4.4-10.1)	5.7 (3.9-9.0)	5.8 (4.5-7.2)	8.1 (5.2-11.4)	9.0 (3.8-14.8)
Kosińskiego	5.2 (3.5-7.6)	6.8 (4.3-9.9)	7.5 (3.8-12.6)	10.7 (7.6-13.4)	11.5 (7.9-14.9)	9.8 (7.4-13.1)	10.3 (6.0-12.9)	7.7 (4.4-10.2)	5.7 (3.8-9.0)	5.8 (4.5-7.2)	8.1 (5.2-11.5)	9.2 (3.8-14.9)
Matejki	5.3 (3.7-7.9)	7.0 (4.6-10.1)	7.7 (3.8-12.6)	11.0 (8.0-13.9)	11.8 (8.2-15.4)	10.0 (7.4-13.5)	10.5 (6.1-13.1)	7.9 (4.5-10.4)	5.8 (4.0-9.1)	5.8 (4.6-7.2)	8.3 (5.3-11.8)	9.3 (3.8-15.4)
Noskowskiego	5.3 (3.7-8.0)	7.0 (4.5-10.0)	7.7 (3.9-12.6)	10.9 (7.8-13.7)	11.7 (8.3-15.2)	10.0 (7.5-13.3)	10.5 (6.1-12.9)	7.8 (4.4-10.4)	5.7 (3.9-9.0)	5.8 (4.5-7.6)	8.2 (5.3-11.7)	9.4 (3.9-15.2)
Ogród Botaniczny	5.4 (3.6-8.2)	7.1 (4.5-10.3)	7.9 (3.9-13.3)	11.4 (8.2-14.3)	11.6 (8.3-15.8)	10.4 (7.1-14.5)	11.2 (6.0-14.3)	8.5 (5.1-11.5)	6.2 (4.0-10.0)	6.7 (5.3-8.1)	8.6 (5.4-11.6)	9.7 (3.9-15.8)
Pruša	5.2 (3.5-7.7)	6.8 (4.3-9.9)	7.5 (3.7-12.3)	10.7 (7.6-13.6)	11.4 (7.9-14.9)	9.7 (7.3-13.2)	10.3 (6.0-12.8)	7.7 (4.4-10.2)	5.7 (3.9-9.0)	5.7 (4.5-7.2)	8.1 (5.2-11.4)	9.1 (3.7-14.9)
Spadzista	5.3 (3.6-7.7)	6.9 (4.3-10.1)	7.6 (3.8-12.6)	10.9 (7.8-13.6)	11.7 (8.1-15.2)	9.9 (7.3-13.3)	10.5 (6.0-13.2)	7.9 (4.5-10.4)	5.8 (4.0-9.3)	6.0 (4.7-7.6)	8.3 (5.3-11.7)	9.3 (3.8-15.2)
Staszca	5.2 (3.5-7.7)	6.8 (4.3-9.9)	7.5 (3.8-12.4)	10.7 (7.6-13.6)	11.4 (7.9-15.1)	9.8 (7.3-13.5)	10.4 (6.0-13.0)	7.9 (4.4-10.3)	5.8 (4.0-9.2)	6.0 (4.6-7.4)	8.1 (5.2-11.4)	9.3 (3.8-15.1)
Świętokrzęckiego	5.2 (3.5-7.6)	6.8 (4.3-10.0)	7.4 (3.7-12.3)	10.7 (7.5-13.5)	11.4 (7.9-14.9)	9.7 (7.2-13.3)	10.3 (6.0-12.8)	7.7 (4.4-10.2)	5.7 (3.9-9.1)	5.8 (4.5-7.4)	8.1 (5.2-11.4)	9.2 (3.7-14.9)
Ułańska	5.2 (3.6-7.7)	6.8 (4.4-10.0)	7.5 (3.7-12.4)	10.8 (7.7-13.6)	11.4 (7.7-15.0)	9.8 (7.1-13.6)	10.9 (5.8-14.2)	8.8 (4.9-12.2)	6.2 (4.0-10.4)	6.8 (5.3-8.2)	8.4 (5.2-11.4)	9.4 (3.7-15.0)
Wieniawskiego	5.2 (3.5-7.7)	6.7 (4.2-9.8)	7.4 (3.8-12.3)	10.6 (7.6-13.4)	11.3 (7.8-14.8)	9.6 (7.3-13.0)	10.2 (6.0-12.8)	7.6 (4.3-10.0)	5.6 (3.8-8.9)	5.6 (4.4-7.1)	8.0 (5.2-11.3)	9.1 (3.8-14.8)
Wojskowa	5.4 (3.7-8.0)	7.1 (4.4-10.3)	7.7 (3.7-13.3)	11.1 (7.7-14.0)	11.8 (8.1-15.6)	10.3 (6.9-14.8)	11.3 (5.9-14.4)	8.8 (5.1-11.9)	6.2 (4.0-10.4)	6.7 (5.2-8.0)	8.6 (5.4-11.8)	9.7 (3.7-15.6)
Średnia	5.2 (5.1-5.4)	6.9 (6.7-7.1)	7.6 (7.2-7.9)	10.9 (10.5-11.4)	11.6 (11.1-12.2)	9.9 (9.5-10.4)	10.5 (9.2-11.3)	8.0 (7.3-8.9)	5.8 (5.6-6.3)	6.0 (5.6-6.8)	8.2 (8.2)	9.3 (9.0-9.7)

\* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów

## DYSKUSJA

## WARUNKI KLIMATYCZNE MIASTA

W oparciu o analizy czynników cyrkulacyjnych i radiacyjnych, cech dynamicznych, termicznych i higrycznych atmosfery Poznań zakwalifikowano do miejscowości położonych w strefie umiarkowanej, otrzymujących opady w sposób nierównomierny i cyklicznie zróżnicowany (PASZYŃSKI, NIED WIED 1991; WOŃ 1999; patrz także rys. 10). Przy średniej opadów z 50-lecia 1955–2004 wynoszącej 523 mm zdarzają się lata wybitnie wilgotne (np. 1967), o ilości opadów przekraczającej 760 mm, oraz lata katastrofalnych susz (1982–1983), o sumie opadów wynoszącej odpowiednio 275 i 356 mm. Zaobserwowane różnice sum opadów, dochodzące do 300% między wartościami ekstremalnymi, uwidaczniają znaczną zmienność tego elementu pogody w kolejnych latach. Według WOŚCIA (1999) tak znaczne wahania, zarówno w okresach miesięcznych, jak i między poszczególnymi latami, są charakterystycznym rysem klimatu tej części kontynentu. Biorąc pod uwagę tylko kryterium opadów z lat posusznych 1982–1983 (275 i 356 mm), 1989 (335 mm), a także 1992 (355 mm), można by umiejscowić Poznań wśród obszarów strefy półpustyń, o klimacie charakteryzującym się opadami w granicach 250–500 mm (KLIMASZEWSKI 1981). Są to ilości opadów bardzo małe, uwzględniając wielkość tzw. parowania potencjalnego tego obszaru, rozumianego jako zdolność suszącego powietrza. Wartość ta wynosi do 750 mm w okresie wegetacyjnym (IV–X), przy parowaniu rzeczywistym wynoszącym tylko 400 mm (PASZYŃSKI, NIED WIED 1991). O istniejącym niedosycie wilgotności atmosfery świadczy fakt, że czynnikiem ograniczającym wartość parowania nie jest suma dostarczonej energii, lecz ilość wody, która mogłaby wyparować (CZARNOWSKI 1989).

O przetrwaniu roślinności w warunkach deficytu wodnego (takiego, z jakim mieliśmy do czynienia np. w latach 1982–1983) decyduje, z jednej strony, mniejsza ilość dostarczanej w naszych szerokościach energii słonecznej (w porównaniu do przywożonych ze względu na sumy opadów obszarów podzwrotnikowych). Oznacza to mniejszą dostawę ciepła wymuszającego utratę wody przez rośliny. Z drugiej strony, równie ważnym czynnikiem jest wykorzystanie zasobów wilgoci z głębszych warstw podłoża oraz mechanizmy obronne roślin – zamykanie szparek lub, w skrajnych sytuacjach, więdnięcie, zasychanie i przedwczesne zrzućanie owoców i liści.

Aby dokładniej uzmysłowić wagę niedostatecznej ilości wody, okresowo zaznaczają się w warunkach klimatycznych Poznania, można przytoczyć wymieniany w hydrologii podział okresów suszy. Rozróżnia się w nim:

- suszę atmosferyczną,
- suszę glebową (prowadzącą do suszy biologicznej),
- suszę hydrologiczną (DĘBSKI 1970; MOLGA 1980; BAJKIEWICZ-GRABOWSKA, MIKULSKI 1996).

Susza hydrologiczna oznacza wystąpienie pełnej suszy glebowej i biologicznej. Objawia się to wysychaniem płytszych zbiorników wodnych, zanikiem mniejszych cieków, przejściem rzek wyłącznie na zasilanie podziemne itp. Tak więc susza biologiczna, która spowodowała w Poznaniu masowe zamieranie roślin w latach z katastrofalnie niskimi opadami (1982, 1983, 1992), umiejscawia kondycję środowiska z tego okresu jako stan poprzedzający całkowite rozregulowanie systemu przyrodniczego. Należy dodać, że ilość opadów odprowadzanych w mieście przez kanalizację burzową wynosi w miastach do 85% (TRÉBALA 1991; SCHLEUSS i in. 1998). Wielkość ta

dobrze obrazuje drastyczne zmniejszenie powierzchni biologicznie czynnej na terenie aglomeracji, wywołane odizolowaniem powierzchni gleby od wód opadowych. Nie można w takiej sytuacji nie zgodzić się z twierdzeniem, że klimat miejski nadaje siedliskom roślin skrajnie kseryczny charakter (GLASER 1963; ZIMNY 1973). Przemawiają za tym drastyczne ograniczenia możliwości infiltracji wód opadowych oraz prawie dwukrotna przewaga parowania potencjalnego okresu wegetacji (750 mm) nad wysokością opadów (400 mm). Konsekwencją są pogłębiające się w miastach dysproporcje między zasobami wody w środowisku a wielkościami transpiracji roślin. W warunkach niedoboru wilgoci glebowej to niekorzystne zjawisko jest dodatkowo zwiększane przez wysokie wartości niedosytu wilgotności powietrza.

#### MEZOKLIMAT POZNANIA

W aglomeracjach zróźnicowanie pokrycia terenu wpływa bezpośrednio na charakter powierzchni czynnej. Największe różnice dotyczą mody: albedo, pojemności cieplnej i wielkości emisji energii promieniowania w zakresie długofalowym (Wojcik 1994, 1999). Wydaje się, iż zarejestrowane przez nas elementy meteorologiczne dobrze oddają istotę tych różnic. Dokonywanie pomiarów co godzinę umożliwia, biorąc pod uwagę charakter procesów atmosferycznych, zapis elementów meteorologicznych praktycznie w sposób ciągły. Uzyskano dzięki temu dane obrazujące różnice topoklimatyczne pomiędzy stanowiskami w obrębie jednostki klimatycznej – mezoklimatu miasta. Dzięki zachowaniu jednakowych warunków pomiarów (wysokość, wystawa, sposób zamocowania czujników) uzyskane elementy, dotyczące np. temperatur maksymalnych, dobrze odzwierciedlają różnice, które w przy-

padku temperatur maksymalnych sięgają do 5,5°C między stanowiskami o tej samej godzinie.

Według danych za 50-lecie (1955–2004), pochodzących ze stacji IMGW Poznań-Ławica, średnia temperatura najcieplejszego i najzimniejszego miesiąca wynoszą odpowiednio +18,3 i -1,5°C, przy wartościach skrajnych +37,4 i -28,7°C (1985). Średnie roczne amplitudy temperatur wynoszą dla regionu Poznania 21°C (PASZYŃSKI, NIEDWIED 1991). Posługiwanie się danymi średnimi nie oddaje jednak warunków stresu termicznego, jakiemu poddane są organizmy roślinne w skrajnych porach roku. Bezwzględna amplituda temperatur (w odróżnieniu od średniorocznej amplitudy temperatur) w 1985 r. wyniosła aż 66,1°C (od +37,4 do -28,7°C). Należy dodatkowo wziąć pod uwagę fakt, że w warunkach miejskich amplituda ta może być wyższa niż obserwowana na stacji IMGW, bowiem dokonywanie pomiarów w klatce meteorologicznej eliminuje ekstremalne wartości temperatur dzięki ocienieniu i wyniesieniu miejsca pomiarów na wysokość dwóch metrów. Także usytuowanie stacji na obrzeżach aglomeracji zmniejsza wpływ miejskiej wyspy ciepła. Naturalna zmienność elementów meteorologicznych wydaje się być czynnikiem stresowym nawet dla gatunków krajowych, uznanych za w pełni zaaklimatyzowane. Na przykład w trakcie surowej zimy 1995/1996 zaobserwowano na większych powierzchniach w Ogrodzie Botanicznym UAM w Poznaniu przemarzanie gatunków rodzimych, m.in. żarnowca (*Chamaecytisus scoparius* L.) oraz bluszczu (*Hedera helix* L.), uznanych za w pełni zaaklimatyzowane. W sytuacji naturalnie występującej mozaiki pogodowej dodatkowe zmiany czynników atmosferycznych na terenach aglomeracji, takich jak podwyższone temperatury, zmniejszenie wilgotności

powietrza oraz nasilenie prędkości wiatru, mogą istotnie osłabiać funkcje życiowe roślin. Nie może więc dziwić fakt zarówno masowego zasychania, jak i przemarzania gatunków bardziej wrażliwych na tak ekstremalne wartości temperatur. Dotyczy to zwłaszcza roślin pochodzących z obszarów o klimacie sągodniejszym, choć w tak zróżnicowanych warunkach klimatycznych również gatunki krajowe roślin cierpią w różnym stopniu (ŁUKASIEWICZ 1987, 1989). Wspomniane skrajne wartości temperatury i wilgotności są szczególnie niebezpieczne, gdy pojawiają się kolejno, w występujących po sobie latach. Możemy wówczas mówić o potęgowaniu się niekorzystnych czynników klimatu na organizmy roślin, od suszy atmosferycznej i glebowej w okresach upalnych do mrozów i suszy fizjologicznej zimy.

Szeroką geograficzną Poznań decyduje zarówno o ilości dostarczanej energii słonecznej (kąt padania promieni słonecznych), jak i o jej cykliczności (pory roku). W tej sytuacji czynnikami decydującymi o możliwości rozwoju szaty roślinnej są wysokość: opadów i temperatur (ŁUKASIEWICZ 1996). Determinujące funkcjonowanie układu roślinno-rodowisko.

#### TEMPERATURA POWIETRZA

Zawarte w tabelach 2–10 dane potwierdzają istnienie na terenie Poznania miejskiej wyspy ciepła, rozumianej jako obszar o podwyższonych w stosunku do terenu pozamiejskiego wartościach temperatur. Tego rodzaju zjawisko obserwowane jest zarówno w innych polskich aglomeracjach miejsko-przemysłowych (LEWIŃSKA 2000; TAMULEWICZ 1997), jak i w większości innych miast na świecie (CAMILIONI, BARROS 1997; BRAZDIL, BUDIKOVA 1999; TUMANO i in. 1999; UNGER i in. 2001). Miejska wyspa ciepła nie jest przy tym zjawiskiem jednorodnym, lecz skłania

się z wielu powierzchni różniących się dobowym i sezonowym przebiegiem temperatur powietrza.

Obserwowane w Poznaniu podwyższone wartości średnich dobowych temperatur powietrza (tab. 3) wynikają w głównej mierze ze wzrostu temperatur minimalnych (tab. 5), a także z górnych zakresów panujących na nich temperatur maksymalnych (tab. 4). W lipcu 1999 r. różnice temperatur maksymalnych między stanowiskami w mieście a terenem odniesienia – IMGW osi gniazdy 3,7°C, przy zróżnicowaniu pomiędzy stanowiskami, które dochodziło do wartości 5,5°C (Grunwaldzka I – Spadzista, tab. 4).

Konsekwencją znacznego wzrostu temperatur minimalnych (tab. 5) są niższe niż na terenie niezabudowanym wartości amplitud temperatur na stanowiskach. Jest to konsekwencją zawężenia i przesunięcia przedziału temperatur w kierunku wyższych wartości. Zmniejszenie dobowych amplitud temperatur może świadczyć o słabszych zdolnościach radiacyjnych powierzchni czynnych na stanowiskach w centrum miasta, w stosunku do terenu kontrolnego. Potwierdzeniem tego może być fakt późniejszego występowania absolutnych temperatur minimalnych. W meteorologii przyjmuje się, iż temperatury minimalne występują zazwyczaj przed wschodem słońca, co zanotowano jedynie na stanowiskach Aleja Wielkopolska i Ogród Botaniczny w godzinach 3.00 i 4.00. Natomiast na obszarze zabudowy wielkomiejskiej okres ich występowania jest przesunięty na godziny od 5.00 do 7.00 wspanicznie (tab. 6). Tłumaczy to możliwość większej ilości zakumulowanej energii w postaci ciepła nagranych budynków i nawierzchni ulic oraz zakłóceniem, w porównaniu do terenów otwartych, swobodnego wypromieniowania energii.

Należy nadmienić, że na niektórych stanowiskach (np. Jerzego, Spadzista) drzewa cechują się dorodnymi koronami, co sprzyja maksymalnemu ocienieniu przez liście powierzchni gruntu. Z literatury oraz z pomiarów własnych wynika, że ulistnienie kasztanowca zwyczajnego (białego) redukuje natężenie światła do jednych z najniższych wartości spotykanych u lasotwórczych gatunków drzew (BEDNAREK 1990). Przeprowadzone przez nas pomiary wykazały, że natężenie oświetlenia pod koronami kasztanowców, mierzone jako natężenie promieniowania fotosyntetycznie czułego, zredukowane jest do 0,5% natężenia oświetlenia w terenie niezadrzewionym (ŁUKASIEWICZ 2002). Dobrze wykształcone, bogate ulistnienie wydaje się oddziaływać w dwojaki sposób na warunki termiczne. Istnienie cienia w jego zasięgu obniża temperatury maksymalne, gdyż największe ilości ciepła zatrzymują górne partie koron drzew. Jednocześnie korony drzew utrudniają w godzinach nocnych utratę energii na skutek wypromieniowania. W konsekwencji zmniejsza to samoistne wychłodzenie powierzchni, prowadzi do wzrostu temperatur minimalnych. Osłabienie promieniowania dowodzi obserwowane na badanych stanowiskach niższe amplitudy temperatur od wartości średnich dla 21 stanowisk. Istotny wpływ na temperaturę i zmniejszenie strat wilgoci wywiera także osłonięcie stanowisk przez znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie wysokie bryły kamienic o wystawie północnej. Uwarunkowania te mogą tłumaczyć zanotowane niewielkie amplitudy średnich dobowych temperatur powietrza omawianych stanowisk w sezonie wegetacyjnym. Jest to zgodne z doniesieniami literaturowymi, przy czym przedstawione dane są niższe od obliczeń teoretycznych, które dla Poznania wynoszą do 7,0°C (OKE 1997 za: LEWIŃ-

SKA 2000). Graficzne zestawienie obrazu panujących temperatur na 21 stanowiskach przedstawiono na rysunku 4.

BUDYKO 1980 (za KORNAŁ 2002) podaje średnie wartości temperatur wybranych miesięcy dla 10° przedziałów kolejnych szerokości geograficznych. W lipcu na półkuli północnej dla przedziału 40–50° średnia temperatura wynosi 20°C, a dla szerokości 50–60° 14°C. Wynika z tego, iż przesuwanie się o 10° na południe, temperatura wzrasta o 6°C, czyli że na odcinku 1° (1° = 111,1 km) wzrasta o ok. 0,6°C, przyjmując niezmienną warunki topograficzne. Poznań położony jest na 54° szerokości geograficznej północnej. Średnia temperatura 21 stanowisk w lipcu jest o 1,5°C wyższa od zanotowanej na stacji IMGW. W warunkach naturalnych oznaczałoby to przesunięcie obszaru o 2,5° w kierunku południowym, czyli o prawie 300 kilometrów. Uznawia to skalę zaburzeń termicznych w zurbanizowanym środowisku Poznania.

#### WILGOTNOŚĆ POWIETRZA

Przedstawione w tabeli 9 wartości średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wskazują na zmniejszanie się wartości omawianego elementu meteorologicznego w kolejnych miesiącach sezonu pomiarowego, począwszy od marca. Potwierdza to charakterystyczne dla terenów zurbanizowanych zmniejszanie się wilgotności oraz wzrost temperatury powietrza (KĘDZIORA 1999; LEWIŃSKA 2000; WOŁ 1999). Jest to skutkiem m.in. zmian charakteru powierzchni czynnej, wyrażanej w niniejszej pracy jako wielkość wolnej, tj. nieutwardzonej powierzchni gleby wokół drzew (rys. 7). Mniejsze wartości wilgotności względnej na badanych przez nas stanowiskach w odniesieniu do stacji IMGW są widoczne do września włącznie. Natomiast w okresie jesienno-zimowym, od października do

grudnia, widoczny jest wzrost wartości tego elementu meteorologicznego na terenie miasta, co jest zgodne z obserwacjami innych badaczy (LEWIŃSKA 2000).

Czynnikiem odpowiedzialnym za zmniejszanie się wilgotności względnej na terenach zurbanizowanych wydają się wyższe temperatury panujące na tych obszarach. Potwierdzeniem tego mogą być zdarzające się zerowe wartości niedosytu wilgotności powietrza (tab. 2) w miesiącach od października do grudnia.

Na rysunku 2 przedstawione zostały wykresy obrazujące przebieg temperatur i wilgotności na wybranych, skrajnych stanowiskach, w porównaniu do stacji IMGW Poznań-Ławica. Na wykresie temperatury (rys. 2A) widoczne są charakterystyczne dla warunków miejskich wyższe temperatury ogólnie stanowisk w porównaniu do terenu pozamiejskiego. Na rysunku 2B przedstawiono przebieg wilgotności względnej w porównaniu do wyników otrzymanych ze stacji IMGW. Zwracają w nim uwagę niższe wartości wilgotności na większości stanowisk oraz zwiększające się dysproporcje między stacją a stanowiskami w miarę zmniejszania się wartości wilgotności. Jedynym wyjątkiem wśród stanowisk, i to tylko przy wilgotności przekraczającej 70%, jest stanowisko Ogród Botaniczny, gdzie duże powierzchnie podszytu z roślin okrywowych oraz znaczny udział rozwiniętej warstwy krzewów sprawiają, iż opady nawilżają niewspółmiernie większą od poziomej powierzchnię liści, pędów, konarów itp. Wielopiętrowość oraz wzajemne osłanianie się roślin wymuszają przy tym turbulencje, co sprzyja duższemu utrzymywaniu się wilgotnych strumieni powietrza. Szata roślinna hamuje prędkość wiatru, przez co wilgotność w warstwach przygruntowych powietrza utrzymuje się dużiej. W tym znaczeniu sze-

rookie, nieosłonięte przestrzenie, np. szerokich ulic, sprzyjają tworzeniu się „tuneli aerodynamicznych”, będącym wymuszały utratę, będącej niekiedy w skrajnym deficycie, wody. Wskazuje to na newralgiczną rolę dynamicznych cech atmosfery w ubogim w wilgoć środowisku zurbanizowanym.

Wzrost wilgotności powietrza powoduje zmniejszenie jego siły ssącej w stosunku do wilgoci, wymuszającej bezproduktywne parowanie wody z powierzchni roślin (CZARNOWSKI 1989). Dlatego też brak bądź spowolnienie wzrostu wilgotności powietrza po jednostkowych opadach na terenie aglomeracji należy uznać w sytuacji kseryzmu warunków miejskich, za zjawisko niekorzystne, utrwalające deficyt wilgoci w środowisku. Wskazuje to na decydującą rolę rodzaju nawierzchni w bezpośrednim otoczeniu roślin na zróżnicowanie omawianych elementów meteorologicznych.

## WNIOSKI

1) Przedstawione w niniejszej pracy wyniki wykazały znaczne zróżnicowanie temperatury i wilgotności powietrza między poszczególnymi stanowiskami, zlokalizowanymi w obrębie szeroko rozumianego centrum Poznania.

2) Wykazano istotną, dodatnią zależność między wielkością sztucznej, utwardzonej nawierzchni a wzrostem temperatur i zmniejszeniem wilgotności powietrza. Na takich powierzchniach właściwości podłoża dominowały nad modyfikacjami elementów meteorologicznych przez korony pojedynczych drzew.

3) Zanotowane wyższe temperatury minimalne w zabudowanym centrum miasta wskazują na istotne znaczenie obszarów zabudowanych w kształtowaniu warunków termicznych. W porze

nocnej d³ugofalowe promieniowanie energii z obiektów kubaturowych zmniejsza tempo wych³adzania powietrza.

4) W okresie pomiarowym (od marca do grudnia 1999 r.) zanotowano wy¿sze œrednie dobowe i miesiêczne temperatury powietrza (tak¿e minimalne i maksymalne) na terenie Poznania w stosunku do odniesienia – stacji IMGW Poznañ-£awica.

5) W centrum miasta zanotowano mniejsz¹ wilgotnoœœ powietrza w porównaniu do terenu pozamiejskiego.

6) Po wyst¹pieniu opadów atmosferycznych wilgotnoœœ powietrza na terenie miasta wzrasta³a wolniej ni¿ obserwowano to na stacji IMGW.

7) Opady o charakterze nawalnym, w stosunku do swego natêżenia, mia³y niewielki wp³yw na wilgotnoœœ powietrza.

8) Czynnikiem decyduj¹cym o wzroœcie niedosytu wilgotnoœci powietrza by³y okresy z panuj¹c¹ œredni¹ temperatur¹ dobow¹ powy¿ej 10°C.

9) Zmniejszeniu niedosytu wilgotnoœci powietrza sprzyja³y d³u¿sze, kilkudniowe okresy opadów.

10) Zróźnicowanie temperatur: œrednich, maksymalnych i minimalnych, œrednia wilgotnoœœ powietrza [ $\text{g m}^{-3}$ , %], a tak¿e natêżenie transpiracji (£UKASIEWICZ 2002) s¹ œciœle skorelowane z wielkoœci¹ wolnej, tj. nieutwardzonej powierzchni gleby wokó³ drzew.

11) D³ugoœœ faz fenologicznych: listnienia, jesiennego przebarwienia oraz zamierania i opadania liœci by³y istotnie skorelowane z wysokoœci¹ opadów pierwszego pó³rocza (£UKASIEWICZ 2002).

## LITERATURA

- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MIKULSKI Z., 1996: Hydrologia ogólna. PWN, Warszawa.
- BARTKOWSKI T., KRYGOWSKI B., 1959: Próba kartograficznego ujęcia geomorfologii najbliższej okolicy Poznania. Zeszyty Nauk. UAM, Geografia, 2: 87–94.
- BEDNAREK A., 1990: Warunki klimatyczne na terenie zieleni miejskiej. [W:] Zimny H. (red.), Wykorzystanie uk³adów ekologicznych w systemie zieleni miejskiej. SGGW-AR, Warszawa, 43–52.
- BRAZDIL R., BUDIKOVA M., 1999: An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, The Czech Republic. Atmospheric Environment, 33, 4211–4217.
- CAMILLONI I., BARROS V., 1997: On the urban heat island effect dependence on temperature trends. Climatic Change, 37, 665–681.
- CZARNOWSKI M., 1989: Zarys ekologii roœlin i³dowych. PWN, Warszawa.
- DĘBSKI K., 1970: Hydrologia. Arkady, Warszawa.
- GIERMAZIAK R., 1974: Z badañ nad prędkoœciami wiatru w Poznaniu. Badania Fizjograficzne Nad Polsk¹ Zachodni¹, Seria A – Geografia Fizyczna, XXVII, 39–60.
- GLASER T., 1963: Wp³yw œrodowiska miejskiego na rozwój i zdrowotnoœœ zadrzewieñ. Ekologia Polska, B, 9, 197–205.
- KĘDZIORA A., 1999: Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznañ.
- KLIMASZEWSKI M., 1981: Geomorfologia. PWN, Warszawa.
- KORNAE J., MEDWECKA-KORNAE A., 2002: Geografia roœlin. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KOTOŃSKA B., 1974: Wilgotnoœœ powietrza w Poznaniu. Badania Fizjograficzne nad Polsk¹ Zachodni¹, Seria A – Geografia Fizyczna, XXVII, 71–85.
- KRYGOWSKI B., 1975: Warunki geomorfologiczne. [W:] Żurawski M. (red.), Zaplecze wodne Poznania. Wyd. Nauk. UAM, Poznañ, 3: 1–9.
- LEWIŃSKA J., 2000: Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kszta³towanie. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej. Kraków.
- £UKASIEWICZ A. 1978: Rozwój drzew i krzewów na terenie miasta Poznania. Wyd. Mat.-Przyr., Kom. Biol. PTPN, 49, 132.
- £UKASIEWICZ A., 1987: Wp³yw surowej zimy 1984/1985 na drzewa i krzewy w Ogrodzie Botanicznym UAM w Poznaniu. Wiad. Bot., 31(4), 5–36.
- £UKASIEWICZ A., 1989: Wp³yw katastrofalnej suchoœci w latach 1982 i 1983 na drzewa i krzewy w Ogrodzie Botanicznym UAM i na terenie miasta Poznania. Cz. I i II. Wiad. Bot., 33(2), 21–52.
- £UKASIEWICZ A., 1995: Dobór drzew i krzewów dla zieleni miejskiej œrodkowo-zachodniej Polski. Wyd. Nauk. UAM, Poznañ.

- ŁUKASIEWICZ Sz., 1996: Rzeźba terenu i warunki gruntowo-wodne Ogródo Botanicznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. *Biuletyn Ogródo Botanicznych*, 5, 73–78.
- ŁUKASIEWICZ Sz., 2002: Wpływ wybranych czynników na rozwój kasztanowca białego *Aesculus hippocastanum* L. w warunkach miejskich Poznania. Rozprawa doktorska z Wydziału Biologii UAM, Poznań (mskr.).
- MAKOWSKA D., 1995: Atmosfera. [W:] Dylikowa A. i in. *Ziemia i człowiek*. WSiP, Warszawa, 45–67.
- MOLGA M., 1980: *Meteorologia rolnicza*. PWRiL, Warszawa.
- PASZYŃSKI J., NIED WIED T., 1991: *Klimat*. [W:] Starke L. (red.), *Geografia Polski – środowisko przyrodnicze*. PWN, Warszawa, 296–355.
- PRONCZUK J., 1982: *Podstawy ekologii rolniczej*. PWN, Warszawa.
- SCHLEUSS U., WU Q., BLUME H.P., 1998: Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. *Catena*, 33, 255–270.
- STANKOWSKI W., 1981: *Rozwój środowiska fizyczno-geograficznego Polski*. PWN, Warszawa–Łódź.
- Środowisko naturalne miasta Poznania. 1996. Cz. I. Wydział Ochrony Środowiska, Urząd Miejski, Poznań.
- TAMULEWICZ J., 1997: *Pogoda i klimat ziemi*. Wielka encyklopedia geografii świata, t. V. Wyd. Kurpisz, Poznań, 360.
- TRÉBALA B., 1991: O bardziej kompleksowe spojrzenie na Czorsztyn. *Aura*, 11, 11–12.
- TUMANO S., STAN-SION A., LUPU A., 1999: Influences of the city of Bucharest on weather and climate parameters. *Atmospheric Environment*, 33, 4173–4183.
- UNGER J., SUMEGHY Z., ZOBOKI J., 2001: Temperature cross-section features in an urban area. *Atmospheric Research*, 58, 117–127.
- WOJE A., 1994: *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wyd. Naukowe UAM, Poznań.
- WOJE A., 1999: *Klimat Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- ZIMNY H., 1973: *Miejskie warunki ekologiczne a roślinność drzewiasta*. Materiały z Sympozjum pt. *Problemy pielęgnacji i ochrony drzew w aglomeracjach miejskich i obiektach zabytkowych*. Łańcut.

Recenzent: prof. dr hab. Andrzej Kędziora

Szymon Łukasiewicz  
Ogród Botaniczny UAM  
ul. D'browskiego 165  
60-594 Poznań

Jacek Oleksyn  
Instytut Dendrologii PAN  
ul. Parkowa 5  
62-035 Kórnik

## HETEROGENEITY OF SPATIAL METEOROLOGICAL TRAITS AND THEIR EFFECTS ON HORSECHESNUT (*AESCVLUS HIPPOCASTANUM* L.) DEVELOPMENT IN URBAN CONDITIONS OF POZNAN

### Summary

We explored differentiation of topoclimatic conditions in the center of Poznań. Studies were conducted on 21 sites, between March 10 and December 12, 1999. On an hourly basis, four meteorological parameters were automatically measured using battery-operated HOBO data loggers: air temperature, dew point, absolute and relative air humidity. Based on these mea-

surements, humidity deficit was calculated. We found significant differences in air temperature and humidity among studied sites. The main factors affecting observed meteorological differences were substrate parameters and the modifying effect of surface cover in an urban environment on variation in air humidity.