

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 tą drogą danych obliczono niedosyt wilgotności powietrza. Wyniki wykazały m.in.: znaczne zróżnicowanie temperatur i wilgotności na stanowiskach w obrębie miasta, dominujący wpływ właściwości 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

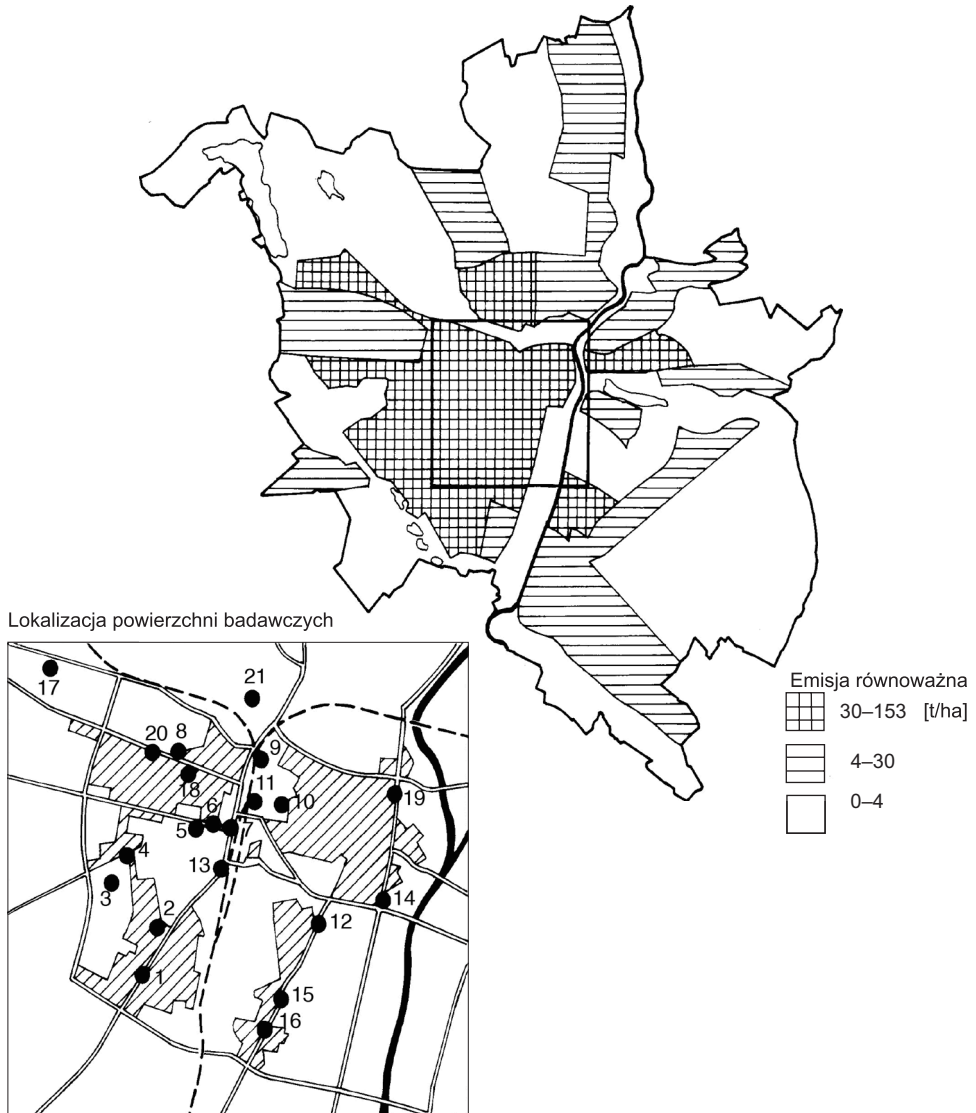
Temperatura powietrza wewnątrz miasta jest zazwyczaj wyższa niż na terenach leżących poza nim. Zjawisko to określa się w literaturze przedmiotu terminem „wyspa ciepła”. Tak rozumiana wyspa ciepła nie stanowi jednorodnego obszaru o wyższej temperaturze, lecz składa się z wielu, różniących się termicznie, 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 emisją zanieczyszczeń

Objaśnienia 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 ogólną 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 dotyczące wybranych drzew i powierzchni badawczych przedstawiono w tabeli 1, a rozmieszczenie stanowisk obrazuje rys. 1. Granicami tego obszaru są: 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 płaską, 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 mieście 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 SO_2 (Środowisko naturalne... 1996).

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

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

- usytuowanie na wspólnej z innymi kasztanowcami „platformie”, tj. wysoczyźnie morenowej płaskiej zlodowacenia bałtyckiego (BARTKOWSKI, KRYGOWSKI 1959; KRYGOWSKI 1975; STANKOWSKI 1981),
- porównywalna z innymi stanowiskami presją zanieczyszczeń atmosferycznych (Środowisko 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 głębokich przekopów lub nasypów antropogenicznych.

Czynniki te stanowią 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 odbiegającą od optymalnej zawartość analizowanych pierwiastków. Jest ona jednak utworem o zrównoważonym składzie chemicznym, aktywnym mikrobiologicznie. Zachodzą tu procesy akumulacji i rozkładu próchnicy, niezakłócona 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. Mogą 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.	Nateżenie 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	Głogowska I	1	1994–1999	16,75	5,0	1,60	3,2	6,1	23,6	60,0	1247	33,2
13	Głogowska II	1	1994–1999	13,00	6,3	1,95	3,5	5,8	0,0	135,0	2362	34,0
		1	1994–1999	10,25	4,0	1,45	2,2	7,0	0,0	2,0	1708	36,6
7	Grunwaldzka I	6	1995–1999	10,00	4,5	1,45	2,7	7,1	11,0	2,0	1708	
		1	1994–1999	14,75	5,0	1,75	5,3	8,1	0,0	1,0	1708	34,9
6	Grunwaldzka II	2	1997–1999	15,75	7,5	1,79	10,0	6,7	15,6	1,0	1708	
		1	1995–1999	15,25	6,0	1,80	8,8	8,9	20,5	110,0	850	31,9
15	Jerzego	2	1997–1999	15,50	5,0	1,00	8,3	7,0	16,0	90,0	850	
		1	1994–1999	19,75	7,0	2,45	4,0	7,7	18,4	5,0	1456	33,6
10	Kościuszki	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	Święckiego	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	Ulańska	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 właściwości 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 określić dominujące cechy występującego tam reżimu pogody. Wymienione elementy meteorologiczne są bowiem głównymi parametrami określającymi klimat danego obszaru (Woś 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) umożliwiając 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 wyprzedzał o ok. miesiąc ukazywanie się pierwszych liści na obserwowanych osobnikach kasztanowców. Zdjęcia czujników dokonano po opadnięciu ostatnich liści na wszystkich drzewach. Źródłem 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 [gm^{-3}], temperatury – T [$^{\circ}\text{C}$] oraz temperatury punktu rosy – DP [$^{\circ}\text{C}$].

POMIAR NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA FOTOSYNTETYCZNE 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: Ułańska, Spadzista i Jerzego, na których występowały drzewa z zachowanymi nisko ugałęzionymi koronami.

NIEDOSYT WILGOTNOŚCI POWIETRZA

Ten element meteorologiczny dopełnia omówione powyżej wskaźniki pogodowe, pozwalając na lepszą ocenę istotnych dla roślin fizycznych czynników atmosferycznych w środowisku zurbanizowanym.

Do obliczenia prężności (ciśnienia) pary wodnej nasyconej zastosowano wzór (KĘDZIORA 1999) o postaci:

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

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

Do powyższego wzoru w miejsce temperatury t można wstawić dwa rodzaje temperatur zapisywanych przez mikrojestratory: T – temperaturę aktualną lub DP – temperaturę punktu rosy. Dzięki temu można obliczyć dwa rodzaje danych: aktualną prężność pary wodnej (e_{DP}) oraz prężność (ciśnienie) pary wodnej nasyconej obliczone dla aktualnej temperatury powietrza (e_T). W wyniku ich różnicy otrzymujemy wartości niedosytu wilgotności powietrza:

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

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

W tabeli 2 zestawiono wartości niedosytu wilgotności w kolejnych miesiącach od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Wartości niedosytu wilgotności powietrza zostały w niej przedstawione jako

wartości średnie dobowe wraz z zakresami minimalnych i maksymalnych średnich dobowych wartości niedosytu w danych miesiącach.

Zdolność ewaporacyjną (siłę ssącą) powietrza wyliczono ze wzoru (KĘDZIORA 1999, patrz równanie 3 w rozdz. Wyniki).

WYNIKI

TOPOKLIMAT 21 STANOWISK NA TERENIE POZNANIA

Ze względu na dominujący wpływ otoczenia na korony drzew uzyskane w niniejszej pracy wyniki pomiarów temperatury i wilgotności należy rozpatrywać w kategorii pomiarów topoklimatycznych. Nie można ich natomiast zaliczyć do pomiarów mikroklimatycznych ze względu na brak, obejmującej wszystkie stanowiska, jednorodnej powierzchni topoklimatycznej jako jednostki wyższego rzędu. Dla elementów meteorologicznych 21 stanowisk odniesieniem jest skala przestrzenna mezoklimatu miasta.

Podczas analizy wyników należy brać pod uwagę następujące uwarunkowania i czynniki limitujące:

1. Dokonywane pomiary obrazują wahania wartości elementów pogodowych we wnętrzu korony. Opisana lokalizacja czujników pozwala więc na dokonywanie przez urzędników „uśrednionych” pomiarów. Pominięte zostają bowiem wartości skrajne na tzw. powierzchni czynnej, gdzie zachodzą intensywne procesy zamiany energii. Dotyczy to zarówno temperatur maksymalnych w dzień, jak i odczuwalnych szczególnie nad ranem na otwartej powierzchni wychłodzeń typu radiacyjnego.

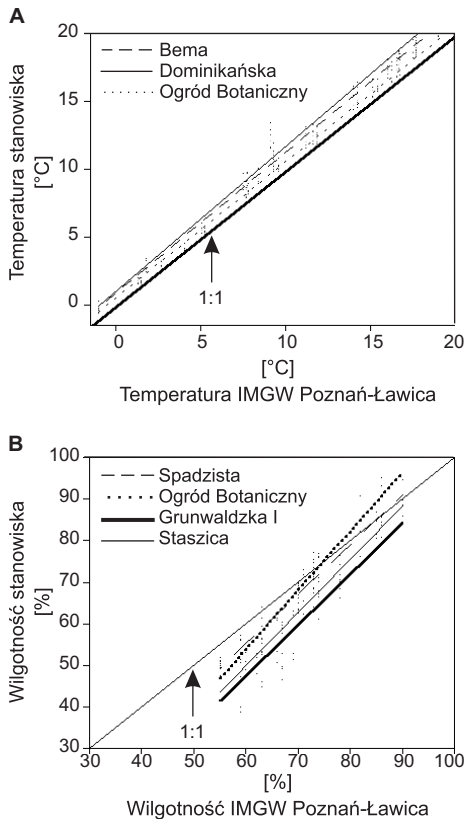
2. Skrajne wyniki mierzonych elementów meteorologicznych, w skali przestrzennej śródmieścia Poznania, wynikają z różnych właściwości podłoża wo-

kół stanowisk. Oznacza to dominację warunków topoklimatycznych nad bioklimatem tworzoną 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 mogą być dane ze stacji IMGW Poznań-Ławica.

ŚREDNIA TEMPERATURA POWIETRZA

Średnie dobowe temperatury dla 21 stanowisk we wszystkich miesiącach są wyższe od analogicznych wartości stacji IMGW (tab. 3, rys. 2A). Największe bez-



względne wartości tych różnic dotyczą miesięcy letnich, od czerwca do września włącznie. Natomiast między stanowiskami krańcowe (sięgające 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 właściwości fizyczne podłoża w promieniu do kilkuset metrów mają bezpośredni wpływ na właściwości 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. długość 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	średnia/ sezon we- getacyjny
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 (8,7)	5,6 (31,6)
Bema	3,0 (27,7)	3,9 (24,3)	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 (9,6)	5,8 (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 (11,8)	7,1 (38,1)
Głogowska 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 (9,9)	6,1 (36,0)
Głogowska 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 (11,2)	6,9 (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 (12,0)	7,2 (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 (12,2)	7,4 (39,4)
Jerzego	2,1 (14,0)	3,5 (16,3)	6,4 (25,3)	4,8 (19,1)	9,1 (31,1)	8,9 (27,2)	5,8 (18,8)	0,7 (9,0)	0,0 (3,8)	0,2 (2,4)	4,1 (9,1)	5,3 (31,1)
Kościelna	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 (11,4)	6,4 (35,9)
Kościuszki	2,4 (15,7)	3,8 (19)	6,9 (26,5)	5,6 (20,6)	10,3 (33,1)	9,8 (29,7)	6,9 (21,1)	1,5 (11,4)	0,2 (5,1)	0,8 (3,2)	4,8 (10,3)	6,1 (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 (10,2)	6,4 (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 (10,7)	5,9 (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 (10,9)	6,6 (36,6)
Ogród Botaniczny	1,9 (14,4)	2,9 (18,2)	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 (8,8)	4,6 (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 (11,0)	6,4 (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 (8,7)	5,5 (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 (10,2)	6,4 (34,30)
Święckiego	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 (10,5)	6,4 (36,30)
Ulańska	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 (11,0)	6,4 (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 (10,8)	6,6 (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 (28,2)	0,2 (15,5)	0 (4,6)	0,3 (1,3)	4,2 (10,4)	5,9 (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)	6,2 (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,

fj. 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
Aleja 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 (-6,3-14,5)	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 (-6,3-15,2)	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 (-6,3-15,2)	5,2 (-0,2-9,4)	14 (3,8-22,4)	16,5 (3,9-27,8)
Głogowska 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 (-4,8-14,5)	4,8 (-0,6-9,0)	13,4 (3,3-21,6)	15,9 (3,5-27,0)
Głogowska 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 (-5,3-14,9)	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 (9,4-31,9)	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 (-5,8-15,2)	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 (-4,8-14,9)	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 (-4,8-14,5)	5,0 (-0,6-9,4)	13,2 (3,4-21,2)	15,2 (-0,1-26,5)
Kościelna	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 (-5,8-14,5)	5,1 (-0,6-9,4)	13,7 (3,6-22,3)	15,5 (-0,5-27,9)
Kosciuszki	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 (-5,3-14,5)	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 (-5,3-15,2)	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 (-4,3-14,1)	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 (-5,8-14,9)	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 (-5,8-14,1)	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 (9,8-27,5)	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 (-5,3-14,5)	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 (-4,8-13,7)	4,7 (-0,2-9,0)	13 (3,2-20,7)	15,4 (3,2-25,5)
Słazica	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 (-5,3-14,5)	5,1 (-0,2-9,4)	13,4 (3,7-21,5)	16,1 (3,8-27,3)
Święckiego	5,8 (-2,4-20,6)	10,9 (1,6-20,6)	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 (-5,3-14,5)	4,8 (-0,6-9,4)	13,3 (3,4-21,6)	15,9 (3,4-27,2)
Ułańska	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 (-5,3-15,6)	4,8 (-1,1-9,8)	13,5 (3,3-21,9)	16 (3,5-27,8)
Wieniańskiego	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 (-5,8-14,9)	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 (-5,3-14,9)	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)

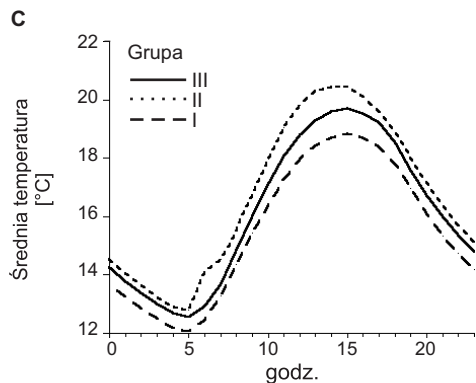
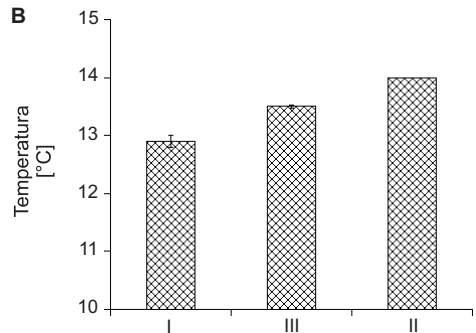
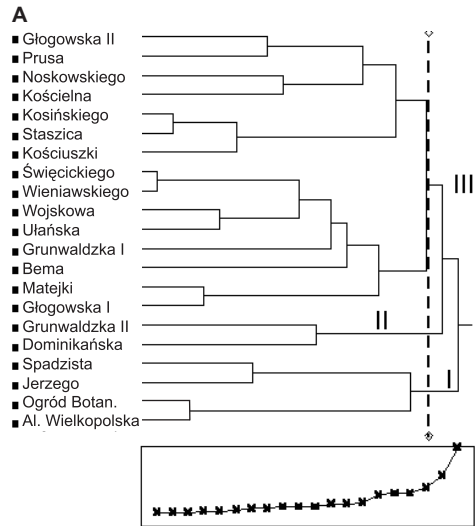
* zamieszczona średnia dotyczy podanego w tytule okresu pomiarów, ** sezon wegetacyjny za okres od 1 IV do 31 X

Rys. 3. A – podział 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 różnią się średnią temperaturą 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



oddają załączone zestawienia średnich miesięcznych temperatur maksymalnych i minimalnych (tab. 4–5).

TEMPERATURY MAKSYMALNE

Średnie temperatury maksymalne ogółu stanowisk pozostają nieco wyższe od wartości zanotowanych na stacji IMGW (o dziesiąte części stopnia C), jednakże przy szerszych zakresach temperatur (tab. 4). Dolne wartości tych zakresów mogą wynikać z dokonywania pomiarów na wysokości 4 metrów, w porównaniu do wysokości dwóch metrów, na której dokonywane są pomiary w stacji. Natomiast ich górny zakres, znacznie wyższy niż na stacji meteorologicznej, może być dobrym odzwierciedleniem panujących na poszczególnych stanowiskach warunków termicznych. Podobną charakterystykę zróżnicowania temperatur zawierają dane średniej temperatury maksymalnej w sezonie wegetacyjnym. Różnice między stanowiskami wahają 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 tonujący wpływ mają: ukształtowanie terenu (dolinne położenie terasy zalewowej Warty), wystawa północna (osłonięcie ścianą wysokiego budynku) oraz naturalny charakter nawierzchni podłoża. Stanowisko Grunwaldzka natomiast cechuje się zabudowanym, asfaltowanym i utwardzonym podłożem w promieniu kilkuset metrów (fot. 2). Właściwości fizyczne nienaturalnej powierzchni czynnej wywołują negatywne, w kontekście ich oddziaływania na organizmy roślinne, zmiany elementów meteorologicznych.

Na wykresie temperatur maksymalnych (rys. 4A) zwracają uwagę najwyż-

sze wartości na stanowiskach: Grunwaldzka I, Ułańska, Grunwaldzka II, Wojskowa, Dominikańska oraz Wieniawskiego*. Wymienione lokalizacje w ich najbliższym sąsiedztwie otaczają zaasfaltowane i zabetonowane nawierzchnie ulic w promieniu nawet do kilkuset metrów. Generują one wzrost temperatury powietrza wynikający 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, nakładając się na siebie, powodują najwyższe wartości temperatur ok. godziny 15.00. Skutkuje to zarejestrowanymi o tej godzinie maksymalnymi temperaturami powietrza. Wykazano, że stanowiska Grunwaldzka II i Dominikańska są najcieplejsze w sezonie wegetacyjnym spośród 21 analizowanych powierzchni.

TEMPERATURY MINIMALNE

Nieco odmiennie od temperatur maksymalnych kształtują się średnie temperatury minimalne dla stanowisk (tab. 5). Są one we wszystkich miesiącach zdecydowanie wyższe od wartości zarejestrowanych na stacji Poznań-Ławica. Znacznemu przesunięciu, w kierunku wyższych wartości w stosunku do danych IMGW, uległy także ich zakresy. Największe różnice dochodzą 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-

* Wyjątek 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 miesiącu [°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 wegetacyjny
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	15,9	20,3	22,0	26,9	24,6	23,5	13,1	6,2	7,4	17,1	20,8 (5,4-34,4)
Głogowska I	10,1	15,3	19,6	21,0	26,2	24,2	22,7	12,4	5,5	6,8	20,2	20,2 (5,4-33,2)
Głogowska II	10,7	15,2	19,4	21,4	26,4	24,2	23,5	13,1	5,6	6,9	16,6	20,7 (5,4-34,0)
Grunwaldzka I	10,4	15,9	21,9	23,8	28,4	26,1	24,0	12,8	5,6	7,1	17,6	21,9 (5,4-36,6)
Grunwaldzka II	10,3	15,8	20,4	22,8	27,5	25,1	23,8	13,0	5,7	7,1	17,2	21,3 (5,8-34,9)
Jerzego	9,2	14,5	18,4	20,4	25,1	23,1	21,5	11,9	5,3	6,9	15,6	18,8 (5,0-31,9)
Kościelna	9,8	15	19,9	21,5	26,5	24,1	22,4	12,5	5,7	7,2	16,5	19,6 (1,6-34,0)
Kościuszki	10,4	15,3	19,1	20,9	25,5	23,4	22,4	12,4	5,8	7,2	16,2	19,2 (1,6-32,8)
Kosińskiego	9,7	14,7	18,9	20,9	25,5	23,3	22,2	12,3	5,7	7,1	16,0	19,8 (5,8-32,8)
Matejki	11,3	15,7	19,1	20,4	25,7	23,8	22,5	12,2	5,3	6,7	16,3	19,6 (5,0-32,8)
Noskowskiego	11,4	17	20,2	21,8	26,7	24,6	23,1	12,7	5,7	6,9	17,0	20,8 (5,4-34,0)
Ogród Botaniczny	9,6	14,7	18,6	20,3	25,2	23,2	22,4	12,3	5,6	7,1	15,9	19,3 (4,6-32,8)
Prusa	9,9	15,1	19,4	21,2	26,4	23,9	22,3	12,2	5,6	7,0	16,3	19,7 (5,4-33,6)
Spadzista	9,2	15,0	18,4	19,9	24,2	22,6	21,5	11,7	5,2	6,6	15,4	19,0 (4,6-31,1)
Słazica	9,9	14,8	19,1	21,0	25,7	23,4	22,3	12,3	5,9	7,0	16,1	20,0 (5,4-33,2)
Święckiego	10,2	15,3	19,9	21,3	26,0	23,6	22,3	12,1	5,5	7,0	16,3	20,1 (5,4-33,2)
Ułańska	11,8	16,5	20,9	22	27,1	24,9	24,5	13,3	6,1	7,3	17,4	21,3 (5,4-35,3)
Wienawskiego	12,2	16,1	19,9	21,3	26,4	24,5	23	12,3	6	7,0	16,9	20,5 (5,0-34,4)
Wojskowa	10,7	15,6	20,1	21,7	26,7	24,5	23,5	12,8	5,7	7,0	16,9	20,7 (5,4-34,9)
Srednia	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 Poznan-Lawica	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 1 IV do 31 X

Tabela 5. Wartości średnie miesięczne oraz zakresy temperatur minimalnych w miesiącu [°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

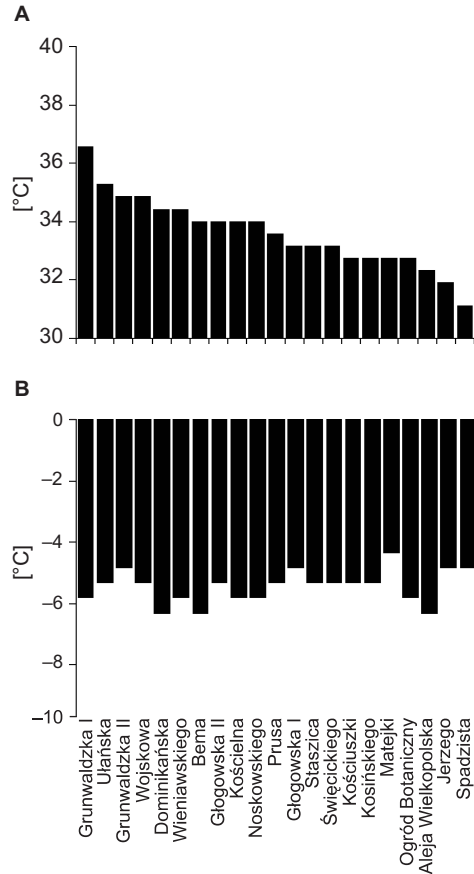
Table 5. Average and range of minimal monthly air temperatures [°C] measured at 21 sites between March 10 and December 12, 1999. The growing season was defined as the period from the leaves unfolding to their fall

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)
Głogowska 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)
Głogowska 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 (-4,8-8,6)	2,7 (-0,6-5,8)	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)
Kościelna	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)
Kościuszki	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 (9,0-17,1)	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)
Słazica	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)
Święckiego	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)
Ułańska	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)
Wieniańskiego	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	2,9	9,0	11,9
IMGW Poznań-Lawica	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

malna temperatura powietrza 21 stanowisk w Poznaniu była o 2,3°C wyższa od zanotowanej na stacji IMGW. Jeszcze większa różnica wystąpiła dla sezonu wegetacyjnego, gdzie ww. zróźnicowanie osiągnęło wartość 2,6°C.

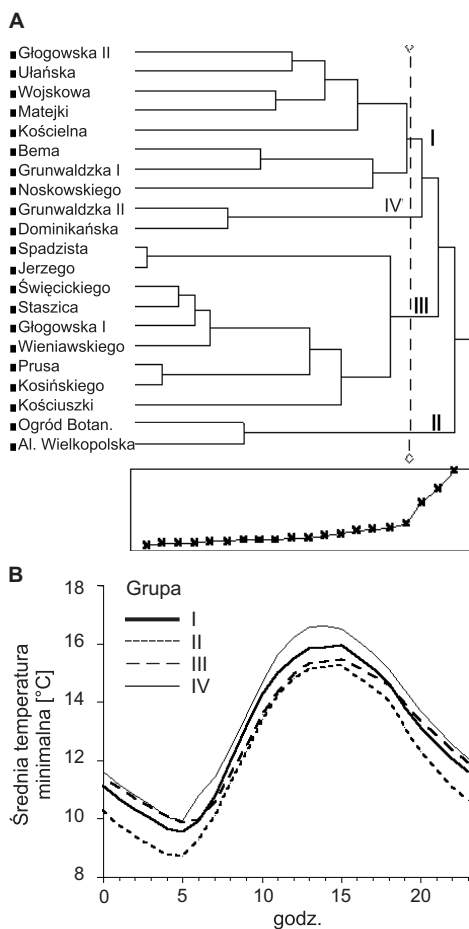
Rysunek 5A przedstawia dendrogram grupujący stanowiska cechujące się podobieństwem występowania temperatur minimalnych. Analiza wykazała istnienie czterech grup stanowisk o zbliżonych wartościach sezonowej dynamiki temperatur minimalnych. Spośród 21 powierzchni wyodrębiają się stanowiska: Aleja Wielkopolska i Ogród Botaniczny oraz Grunwaldzka II i Dominikańska. Na rysunku 5B przedstawiono wykres temperatur ww. grup stanowisk w okresie dobowym. W jego przebiegu charakterystyczne jest występowanie wyższych temperatur minimalnych na terenach intensywnej zabudowy, w porównaniu do powierzchni otoczonych większymi zespołami zieleni. Powierzchnie zabudowane cechuje przesunięcie naturalnego przebiegu temperatury w kierunku wartości wyższych. Ekstremalne różnice dotyczą godzin nocnych, z minimum temperatury przypadającym na godziny 4.00–5.00 oraz dziennych od 13.00 do 15.00 (tab. 5, 6). W godzinach nocnych stanowiska najchłodniejsze cechuje spadek średniej temperatury minimalnej rzędu 1,5°C w porównaniu do zabudowanych powierzchni miejskich. W ciągu dnia w sposób wyraźny zaznacza się odrębność dobowego rytmu temperatur na stanowiskach Dominikańska i Grunwaldzka II, różniących się o ok. 2°C od Alei Wielkopolskiej i Ogródu Botanicznego. Odzwierciedla to powolniejsze ochładzanie w porze nocnej przestrzeni zabudowanych, o większej pojemności cieplnej i wyższych zakresach temperatur w godzinach południowych. Skutkuje to utrzymywaniem się na nich podwyższonych temperatur, także minimalnych, w całym przedziale dobowym.



Rys. 4. Wartości maksymalnej (A) i minimalnej (B) temperatury powietrza odnotowane na 21 stanowiskach kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* L. w Poznaniu w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r.

Fig. 4. Maximal (A) and minimal air temperatures recorded in 21 sites of horsechestnut, *Aesculus hippocastanum* L. in Poznań for the period March 10 and December 12, 1999

Na rysunku 4B, przedstawiono wartości absolutnej temperatury minimalnej na wszystkich stanowiskach. Warto w tym miejscu zauważyć, iż najniższe wartości dotyczą stanowisk o położeniu dolinnym. Aleja Wielkopolska przebiega na terasie zalewowej rzeki Bogdanki, natomiast Bema oraz Dominikańska położone są na terasie zalewowej Warty.



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 $-5,81^{\circ}\text{C}$. Taką 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 obniżzeń, 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 Poznań 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 wegetacyjny
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 (15,9 ; 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 (15,4 ; 15,9)	3,5 (12,9 ; 18,7)	2,3 (6,3 ; 6,5)	7,1 (10,6 ; 16,4)	8,1
Dominikanska	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
Głogowska 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
Głogowska 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 (9,5 ; 17,1)	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
Kościelna	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
Kościuszki	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 (13,6 ; 14,0)	2,3 (11,8 ; 17,5)	1,9 (5,0 ; 6,1)	5,6 (9,7 ; 14,8)	6,2
Kosińskiego	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 (14,6 ; 16,0)	3,0 (14,9 ; 17,1)	2,0 (6,8 ; 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 ; 6,1)	5,7 (10,2 ; 15,0)	6,6
Święckiego	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 ; 5,7)	5,8 (10,4 ; 14,9)	6,7
Ułańska	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-Lawica	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

rzenie się zamrozi. W tym kontekście decydujące znaczenie odgrywa położenie dolinne jako forma terenu. Drugą ważną cechą jest brak bądź niewielki stopień pokrycia terenu i wynikające z tego potencjalnie duże możliwości wychłodzenia podłoża typu radiacyjnego. Dotyczy to takich stanowisk, jak: Wojskowa, Grunwaldzka I i Kościelna. Czynniki te można uznać jako odpowiedzialne za zróżnicowanie występujących na terenie miasta temperatur minimalnych.

AMPLITUDY TEMPERATUR

Dopełnieniem charakterystyki warunków termicznych są średnie dobowe wartości amplitud dla kolejnych miesięcy (tab. 7). W każdym przedziale pomiarowym, od marca do grudnia, uzyskane na terenie miasta wartości są niższe od analogicznych danych ze stacji meteorologicznej Poznań-Ławica. Różnice są znaczne i wynoszą od 30 do 40% wartości zanotowanej na stacji IMGW.

W miesiącach od kwietnia do października występują mniejsze amplitudy temperatur minimalnych oraz wyższe temperatur maksymalnych. Ekstremalne różnice tych ostatnich dochodzą nawet do 60% wartości odniesienia (sierpień: IMGW – Grunwaldzka I). Natomiast biorąc pod uwagę jedynie okres sezonu wegetacyjnego, różnice średnich amplitud temperatur na stanowiskach w porównaniu do stacji meteorologicznej wynoszą 35%. Wśród lokalizacji najmniejsze amplitudy temperatur dobowych zanotowano na stanowiskach: Jerzego i Spadzista.

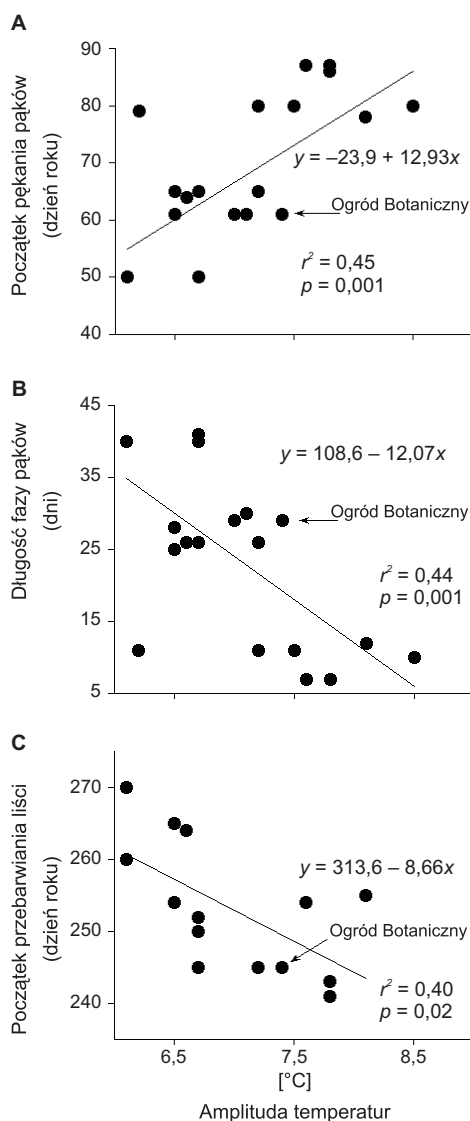
Najwyższe sezonowe wartości amplitud zanotowano na stanowiskach Bema, Dominikańska, Grunwaldzka I i II oraz Ułańska. Cechą tych ostatnich jest istnienie, w promieniu nawet do kilkuset metrów, nieosłoniętych, sztucznych nawierzchni terenu, co sprzyja nadmiernej akumulacji ciepła w ciągu dnia oraz

umożliwia niezakłócony przebieg wychłodzeń radiacyjnych w porze nocnej.

Wahania temperatur na poszczególnych stanowiskach znajdują swoje odzwierciedlenie w różnicach pojavów fenologicznych drzew. Wpływ amplitudy na początek i długość trwania faz fenologicznych przedstawiony jest graficznie na rys. 6A–C. Przedstawiona wielkość obejmuje różnicę między temperaturami maksymalną i minimalną. W warunkach miejskich wartości wymienionych temperatur są ściśle uzależnione od wielkości wolnej powierzchni gleby wokół drzew (rys. 7).

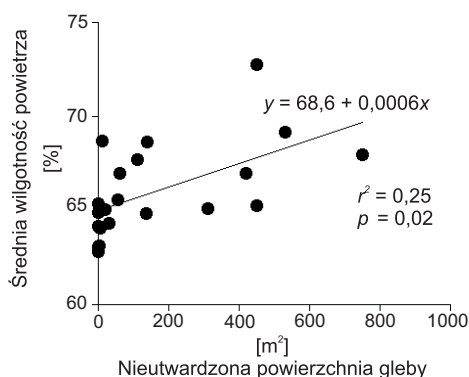
TYPY POGODY

Tabela 8 przedstawia podział okresu obserwacyjnego na typy pogody według WOSIA (1999), na podstawie wartości średnich temperatur dziennych. Wszystkie dane i dyskusja dotyczą okresu od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Odnosząc uzyskane wartości do wyników pomiarów ze stacji Poznań-Ławica, zwraca w nich uwagę mniejsza o 40% liczba dni z temperaturą poniżej 0°C. Na żadnym ze stanowisk nie zanotowano liczby dni identycznej ze stacją. Zbliżone przedziały czasowe dla poszczególnych typów pogody występują jedynie na stanowiskach o położeniu dolinnym (Aleja Wielkopolska, Bema) lub z minimalną bądź ograniczoną dostawą ciepła pochodzenia antropogenicznego (Ogród Botaniczny, Matejki). Największe różnice dotyczą zakresów wyższych od 15°C. Na terenie Poznania w przedziale od 15 do 25°C zanotowano średnio o 10% dni więcej tego zakresu temperatur. Jeszcze większe różnice występują w typie dni gorących, który charakteryzuje się średnimi temperaturami dobowymi $\geq 25^\circ\text{C}$. Przy jednym dniu takiej temperatury odnotowanej na stacji IMGW zanotowano na trzech stanowiskach aż od 10 do 12 dni z ww. typem pogody. Tak



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

duża przewaga 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 włącznie. 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

Tabela 8. Liczba dni przypadająca na typy pogody na 21 stanowiskach z *Aesculus hippocastanum* L. w Poznaniu w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r. Przedziały podano za WOSIEM (1999)

Table 8. Average number of days with different types (see Woś 1999) of weather types at 21 sites in Poznań between March 10 and December 12, 1999

Pogoda Stanowisko	zimna	chłodna	ciepła	bardzo ciepła	gorąca
	Temperatura średnia dobową [°C]				
	$x \leq 0$	$0,1 \geq x < 5,0$	$5,1 \geq x < 15,0$	$15,1 \geq x < 25,0$	$x \geq 25,0$
Aleja Wielkopolska	9	39	105	124	1
Bema	7	36	105	128	2
Dominikańska	5	35	101	127	10
Głogowska I	7	39	101	127	4
Głogowska II	7	35	105	125	6
Grunwaldzka I	7	39	100	122	10
Grunwaldzka II	6	35	100	125	12
Jerzego	6	39	104	127	2
Kościelna	6	37	103	124	8
Kościuszki	3	39	106	127	3
Kosińskiego	6	37	105	128	2
Matejki	8	35	103	129	3
Noskowskiego	7	37	101	127	6
Ogród Botaniczny	8	40	108	121	1
Prusa	4	37	107	124	6
Spadzista	7	41	102	127	1
Staszica	4	40	104	127	3
Święcickiego	7	37	104	127	3
Ułańska	7	37	102	128	4
Wieniawskiego	6	37	105	125	5
Wojskowa	6	37	105	125	5
Średnia	6	37	104	126	5
IMGW Poznań-Ławica	10	38	115	114	1

wartości średnie zarówno dla terenu miasta, jak i odniesienia osiągane są w maju oraz w lipcu i sierpniu. Nie koreluje to jednak z wartościami wilgotności bezwzględnej (tab. 10), której wzrost notowany był do lipca-sierpnia włącznie. Wydaje się, iż taki stan jest skutkiem wzrostu temperatury (tab. 3), która odpowiada za spadek wilgotności wyrażanej w procentach, pomimo istotnego zwiększenia jej bezwzględnej zawartości [gm^{-3}] w powietrzu. Znaczące

różnice występują na poszczególnych stanowiskach w średniej wilgotności względnej dla sezonu wegetacyjnego, w porównaniu z analogicznymi wartościami uzyskanymi na stacji meteorologicznej Poznań-Ławica. Blisko połowa badanych powierzchni cechuje się mniejszymi o 10% średnimi wartościami wilgotności względnej powietrza.

Zróznicowanie warunków wilgotnościowych na wybranych, skrajnych stanowiskach, w porównaniu do wyników

Tabela 9. Średnie miesięczne oraz zakresy średnich dobowych wartości wilgotności 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
Aleja 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)
Głogowska 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)
Głogowska 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 (47-98)	89 (76-100)	95 (83-103)	89 (73-100)	76 (62-95)	70 (41-100)
Kościelna	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)
Kościuszki	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)
Koscińskiego	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)
Święckiego	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)
Ułanska	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)
Wieniawskiego	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)
Średnia	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. Cechą charakterystyczną jest mniejsza wilgotność ogółu stanowisk w porównaniu do danych pochodzących ze stacji, także przy wartościach maksymalnych, występujących w czasie opadów. Zwraca uwagę pogłębianie się deficytu wilgoci na stanowiskach w miarę spadku jej względnej wartości w masie powietrza napływającej na obszar miasta. Ponieważ obniżaniu się wartości względnej wilgotności powietrza w ciepłym półroczu towarzyszy wzrost temperatury, sumarycznie otrzymujemy obraz wzajemnego pogłębiania się różnic obydwu elementów atmosfery. Jedynym wyjątkiem na omawianym wykresie jest stanowisko Ogród Botaniczny, co jest spowodowane otoczeniem o charakterze parkowo-leśnym w skali topoklimatycznej.

Na rysunku 8A przedstawiono dendrogram grupujący stanowiska pod względem podobieństwa wartości względnej wilgotności. Znajdujący się poniżej wykres (rys. 8B) obrazuje sezonowy przebieg tego elementu dla dwóch grup. Zwraca w nich uwagę fakt utrzymywania się przez cały okres wegetacyjny znacznych różnic, przekraczających 10% całkowitej wartości mierzonego elementu.

Rysunek 9A–B obrazuje przebieg wartości wilgotności względnej grupy cechującej się większym kseryzmem na tle występujących temperatur (A) oraz zanotowanych opadów (B). Znamienny jest trend wzajemnego „antagonizmu” obydwu właściwości atmosfery oraz niewielki wpływ na wilgotność względną powietrza opadów o charakterze nawalnym. Zgodnie z przedstawionym na rysunku 9A trendem decydujący wpływ na zmniejszanie wartości wilgotności względnej mają temperatury, szczególnie gdy utrzymują się one powyżej 10°C (tab. 3, 9). Ciepłe i suche masy powietrza odpowiadają za rozmiękanie się war-

tości obydwu elementów meteorologicznych. Brak opadów w okresie letnim pogłębił ten stan, doprowadzając w sierpniu do najniższych zarejestrowanych wartości wilgotności względnej, rzędu 30% (stanowisko Głogowska II, tab. 9). Na omawianym rysunku przedstawione są stanowiska cechujące się ubogimi (w porównaniu do terenów nieurbanizowanych) zasobami wilgoci w środowisku. Uwidacznia się to mniejszymi wartościami wilgotności powietrza w sytuacji odizolowania podłoża wokół stanowisk od wód opadowych, w promieniu nawet do kilkuset metrów. Wpływ opadów na wilgotność względną w śródmieściu uwidacznia się przy jednoczesnym występowaniu niższych zakresów temperatur z dłuższymi okresami opadów na przestrzeni od kilku do kilkunastu dni. Może to świadczyć o istniejącej bezwładności środowiska antropogenicznego w odniesieniu do zmian elementów meteorologicznych, głównie wilgotności. Opóźniona reakcja wzrostu wilgotności powietrza po opadach świadczy o przedziale czasowym, jaki jest potrzebny do nasycenia wilgocią atmosfery na terenach intensywnej zabudowy w centrum miasta, z minimalną powierzchnią biologicznie czynną. Potwierdzają to dane przedstawione na rysunku 7, gdzie zilustrowano zależność wilgotności względnej powietrza od wielkości wolnej powierzchni wokół drzew na stanowiskach. Zależność istotna statystycznie ukazuje wzrost wilgotności wraz ze zwiększaniem areału wolnej powierzchni gleby wokół drzew.

NIEDOSYT WILGOTNOŚCI POWIETRZA

Zdolność ewaporacyjną (siłę ssącą) powietrza można wyliczyć ze wzoru (Kędziora 1999):

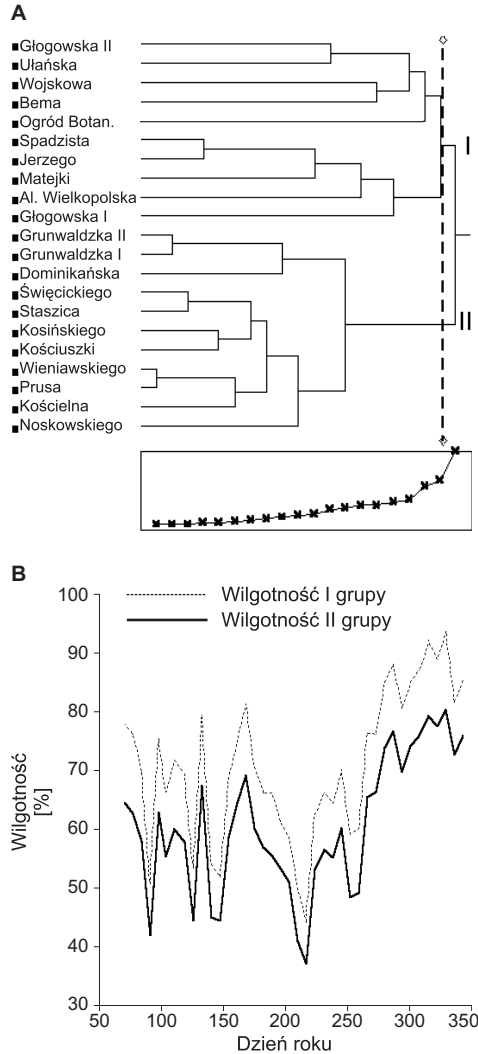
$$E_a = 7,44 (1 + 0,54U_2) d, \quad (3)$$

gdzie: E_a – zdolność ewaporacyjna powietrza [Wm^{-2}], U_2 – średnia dobowa prędkość wiatru na wysokości 2 m nad powierzchnią [$m s^{-1}$], d – niedosyt wilgotności powietrza [hPa].

Na badanych stanowiskach stwierdzono związek pomiędzy wartościami niedosytu wilgotności powietrza a wolną, nieutwardzoną powierzchnią gleby wokół drzew. Im większa wolna powierzchnia, tym mniejszy niedosyt wilgotności ($r^2 = 0,38$, $p = 0,003$).

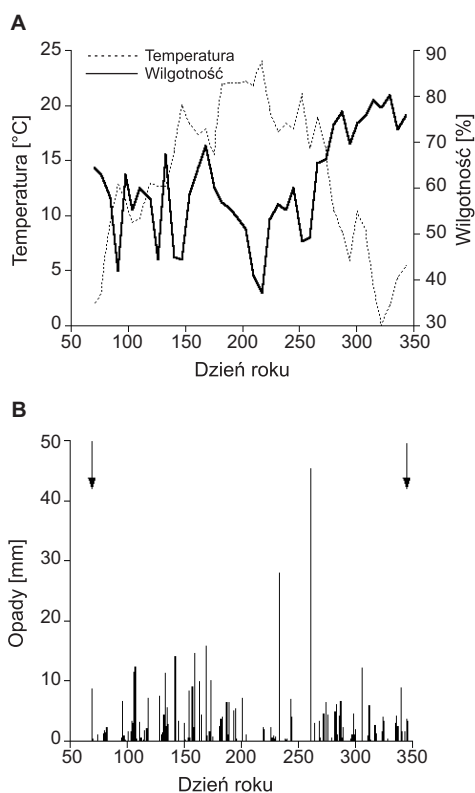
Do istotnych czynników wpływających na drzewa w zurbanizowanych rejonach Poznania należą: zmniejszanie się „wolnej”, nieutwardzonej powierzchni wokół drzew, będącej rezultatem wzrostu udziału nawierzchni sztucznych w obrębie ulic, oraz swobodny przepływ strumieni powietrza (czemu sprzyjają szerokie płaszczyzny jezdni i chodników). W Poznaniu dominują sumarycznie wiatry bardzo słabe ($<2 m s^{-1}$) i słabe ($2-5 m s^{-1}$), które zajmują średnio rocznie ponad 60% spośród wszystkich zanotowanych, a wraz z wiatrami umiarkowanymi ($5-7 m s^{-1}$) stanowią ponad 77% ich frekwencji (GIERMAZIAK 1974; Woś 1994). Ponadto cisze w półroczu letnim wynoszą ponad 11%. Sumarycznie dane te wskazują na to, że czynnik dynamiczny atmosfery w Poznaniu w sezonie wegetacyjnym generalnie nie przyjmuje stałych, wysokich wartości. Tak więc chociaż w sensie liczbowym opisany niedosyt wilgotności nie jest tożsamy ze zdolnością ewaporacyjną powietrza, może być w tym przypadku uznany jako oddający jej tendencję na poszczególnych stanowiskach.

W okresie pomiarowym obserwowano wzrost niedosytu wilgotności w kolejnych miesiącach, do lipca włącznie (tab. 2). W pełni lata zanotowano także największe zróźnicowanie wartości ekstremalnych, minimalnych i maksymalnych na poszczególnych stanowiskach.



Rys. 8. Dendrogram grupujący stanowiska według podobieństwa wilgotności względnej powietrza (A) oraz uśredniony przebieg wilgotności względnej dla dwóch grup (B) wyodrębnionych na dendrogramie A. Pomiarzy wykonano w okresie od 10 marca do 12 grudnia 1999 r.

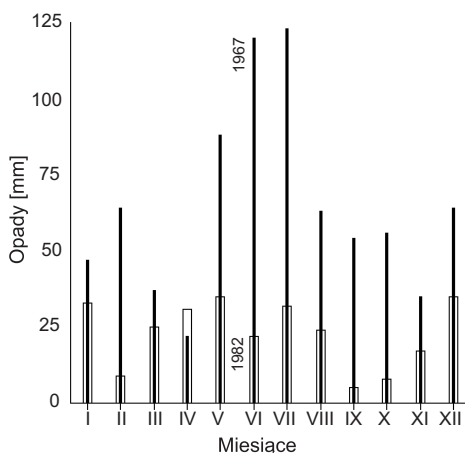
Fig. 8. A – dendrogram of cluster groupings of relative air humidity measured between March 10 and December 12, 1999. B – seasonal changes in air humidity for two clusters shown in dendrogram A



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 Ałma-Aty (KĘDZIORA 2005 – inf. ustna). Analiza niedosytu wilgotności i panujących temperatur pozwala ocenić 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 sąsiednich, 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 są 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.

Tabela 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 (4,5-11,4)	8,1 (5,3-11,4)	9,2 (3,9-14,9)
Głogowska 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)
Głogowska 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 (4,7-7,2)	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)
Kościelna	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)
Kościuszki	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 (3,9-9,1)	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)
Prusa	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)
Staszica	5,2 (3,5-7,7)	6,8 (4,3-9,9)	7,5 (3,8-12,4)	10,7 (7,7-13,6)	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)
Święckiego	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)
Ulańska	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 (7,8-15,6)	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 (5,2-8,1)	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 (8,2-8,2)	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, NIEDŹWIEDŹ 1991; WOŚ 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 WOŚ (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 susząca powietrza. Wartość ta wynosi do 750 mm w okresie wegetacyjnym (IV–X), przy parowaniu rzeczywistym wynoszącym tylko 400 mm (PASZYŃSKI, NIEDŹWIEDŹ 1991). O istniejącym niedosycie wilgotności atmosfery świadczy fakt, że czynnikiem ograniczającym wartości 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 przywoływanych 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, więdnienie, zasychanie i przedwczesne zrzućanie owoców i liści.

Aby dokładniej uzmysłowić wagę niedostatecznej ilości wody, okresowo zaznaczającej 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% (TRĘBALA 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 zróżnicowanie pokrycia terenu wpływa bezpośrednio na charakter powierzchni czynnej. Największe różnice dotyczyć mogą: albedo, pojemności cieplnej i wielkości emisji energii promieniowania w zakresie długofalowym (Woś 1994, 1999). Wydaje się, iż zarejestrowane przez nas elementy meteorologiczne dobrze oddają istotę tych różnic. Dokonywanie pomiarów co godzinę umożliwiło, 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 temperatur maksymalnych i minimalnych +37,4 i -28,7°C (1985). Średnie roczne amplitudy temperatur wynoszą dla regionu Poznania 21°C (PASZYŃSKI, NIEDZWIEDŹ 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. żamowca (*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 łagodniejszym, 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 zimą.

Szerokość geograficzna Poznania 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 wysokości: opadów i temperatur (ŁUKASIEWICZ 1996). Determinują one funkcjonowanie układu roślinna-środowisko.

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 (CAMILLONI, BARROS 1997; BRAZDIL, BUDIKOVA 1999; TUMANO i in. 1999; UNGER i in. 2001). Miejska wyspa ciepła nie jest przy tym zjawiskiem jednorodnym, lecz skła-

da 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 osiągnęły 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 włącznie (tab. 6). Tłumaczyć to można większą ilością 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 czynnego, 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, prowadząc do wzrostu temperatur minimalnych. Na osłabienie promieniowania wskazują 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 zmian temperatur na 21 stanowiskach przedstawiono na rysunku 4.

BUDYKO 1980 (za KORNAŚ 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 przesuując 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. Uzmysławia 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, poczynając od marca. Potwierdza to charakterystyczne dla terenów zurbanizowanych zmniejszanie się wilgotności oraz wzrost temperatury powietrza (KĘDZIORA 1999; LEWIŃSKA 2000; WOŚ 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 ogółu 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 znaczący udział rozwiniętej warstwy krzewów sprawiają, iż opady nawilżają niewspółmiernie większą od poziomej płaszczyznę, tj. powierzchnię liści, pędów, konarów itp. Wielopiętrowość oraz wzajemne osłanianie się roślin wymuszają przy tym turbulencje, co sprzyja dłuższemu utrzymywaniu się wilgotnych strumieni powietrza. Szata roślinna hamuje prędkość wiatru, przez co wilgotność w warstwach przygruntowych powietrza utrzymuje się dłużej. W tym znaczeniu sze-

rokie, nieosłonięte przestrzenie, np. szerokich ulic, sprzyjające tworzeniu się „tuneli aerodynamicznych”, będą 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 długofalowe promieniowanie energii z obiektów kubaturowych zmniejsza tempo wychładzania powietrza.

4) W okresie pomiarowym (od marca do grudnia 1999 r.) zanotowano wyższe średnie dobowe i miesięczne temperatury powietrza (także minimalne i maksymalne) na terenie Poznania w stosunku do odniesienia – stacji IMGW Poznań-Ławica.

5) W centrum miasta zanotowano mniejszą wilgotność powietrza w porównaniu do terenu pozamiejskiego.

6) Po wystąpieniu opadów atmosferycznych wilgotność powietrza na terenie miasta wzrastała wolniej niż obserwowano to na stacji IMGW.

7) Opady o charakterze nawałnym, w stosunku do swego natężenia, miały niewielki wpływ na wilgotność powietrza.

8) Czynnikiem decydującym o wzroście niedosytu wilgotności powietrza były okresy z panującą średnią temperaturą dobową powyżej 10°C.

9) Zmniejszeniu niedosytu wilgotności powietrza sprzyjały dłuższe, kilkudniowe okresy opadów.

10) Zróźnicowanie temperatur: średnich, maksymalnych i minimalnych, średnia wilgotność powietrza [g m^{-3} , %], a także natężenie transpiracji (ŁUKASIEWICZ 2002) są ściśle skorelowane z wielkością wolnej, tj. nieutwardzonej powierzchni gleby wokół drzew.

11) Długość faz fenologicznych: listnienia, jesiennego przebarwienia oraz zamierania i opadania liści były istotnie skorelowane z wysokością opadów pierwszego półrocza (ŁUKASIEWICZ 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 układów 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 roślin lądowych. PWN, Warszawa.
- DĘBSKI K., 1970: Hydrologia. Arkady, Warszawa.
- GIERMAZIAK R., 1974: Z badań nad prędkościami wiatru w Poznaniu. *Badania Fizjograficzne Nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna*, XXVII, 39–60.
- GLASER T., 1963: Wpływ środowiska miejskiego na rozwój i zdrowotność zadrzewień. *Ekologia Polska*, B, 9, 197–205.
- KĘDZIORA A., 1999: Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań.
- KLIMASZEWSKI M., 1981. Geomorfologia. PWN, Warszawa.
- KORNAŚ J., MEDWECKA-KORNAŚ A., 2002: Geografia roślin. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KOTOŃSKA B., 1974: Wilgotność powietrza w Poznaniu. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna*, XXVII, 71–85.
- KRYGOWSKI B., 1975: Warunki geomorfologiczne. [W:] Żurawski M. (red.), Zaplecze wodne Poznania. Wyd. Nauk. UAM, Poznań, 3: 1–9.
- LEWIŃSKA J., 2000: Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków.
- ŁUKASIEWICZ A. 1978: Rozwój drzew i krzewów na terenie miasta Poznania. *Wyd. Mat.-Przyr., Kom. Biol. PTPN*, 49, 132.
- ŁUKASIEWICZ A., 1987: Wpływ surowej zimy 1984/1985 na drzewa i krzewy w Ogrodzie Botanicznym UAM w Poznaniu. *Wiad. Bot.*, 31(4), 5–36.
- ŁUKASIEWICZ A., 1989: Wpływ katastrofalnej suchości 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.
- ŁUKASIEWICZ A., 1995: Dobór drzew i krzewów dla zieleni miejskiej środkowo-zachodniej Polski. *Wyd. Nauk. UAM, Poznań*.

- ŁUKASIEWICZ Sz., 1996: Rzeźba terenu i warunki gruntowo-wodne Ogródu Botanicznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. *Biuletyn Ogródów 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., NIEDŹWIEDŹ 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.
- TREBALA 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.
- WOŚ A., 1994: *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wyd. Naukowe UAM, Poznań.
- WOŚ 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. Dąbrowskiego 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 (*AESCULUS 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.