

**Bonifacy ŁYKOWSKI, Dariusz GOŁASZEWSKI,
Małgorzata KLENIEWSKA**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU
Zakład Meteorologii i Klimatologii
Department of Meteorology and Climatology

Zmienność warunków termicznych i opadowych w przebiegu rocznym w rejonie Warszawy Variability of thermal and precipitation annual courses in Warsaw

Słowa kluczowe: klimat, zmienność elementów klimatycznych
Key words: climate, variability of climate elements

Wprowadzenie

Zmienność elementów meteorologicznych w czasie należy do najważniejszych charakterystyk statystycznych, opisujących warunki klimatyczne danego obszaru. W skali kuli ziemskiej najmniejszym zróżnicowaniem rocznym klimatu charakteryzuje się strefa równikowa, a największym – centralne części wielkich kontynentów średnich i niższych szerokości geograficznych. W skrajnych przypadkach omawiana właściwość klimatu silnie ogranicza lub uniemożliwia rozwój cywilizacyjny.

Na obszarach o normalnym rozwoju cywilizacyjnym warunki klimatyczne i pogodowe wywołują konieczność

ponoszenia przez człowieka większych lub mniejszych kosztów gospodarczego korzystania ze środowiska. Dotyczy to zwłaszcza rolnictwa, ogrodnictwa, transportu, budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego. Pojedynczy przymrozek potrafi zniszczyć lub znacznie zmniejszyć plon upraw w rolnictwie i ogrodnictwie, a katastrofalne opady wywołują wielkie powodzie i zniszczenia środowiska naturalnego oraz dóbr materialnych wytworzonych przez człowieka.

Okresowa zmienność elementów meteorologicznych oraz wiekowe zmiany klimatu w powiązaniu z zanieczyszczeniami atmosfery należą do podstawowych elementów w planowaniu gospodarczym oraz strategii rozwoju cywilizacji na Ziemi. Do oceny tych zjawisk opracowano wiele scenariuszy zmian klimatu na kuli ziemskiej, które ze względu na brak danych pomiaro-

wych stanu fizycznego i zanieczyszczeń atmosfery w dłuższych okresach dają wyniki niewiarygodne, a niekiedy wręcz absurdalne (np. o wzroście temperatury powietrza na Ziemi o 4–5°C w okresie 100 lat). W tej sytuacji bardzo przydatne w planowaniu gospodarczym są badania i charakterystyka zmienności klimatu na podstawie dostępnych danych pomiarowych. Wyniki takich badań są szczególnie potrzebne i brane pod uwagę w planach rozwoju gospodarczego, opracowywanych na okres najbliższych 20 lat.

Warunki klimatyczne, występujące w poszczególnych porach roku, mają różne znaczenie w życiu i działalności człowieka. Dlatego w niniejszym opracowaniu badanie zmienności elementów meteorologicznych przeprowadzono oddzielnie dla każdego miesiąca w roku. Dużo uwagi poświęcono także wartościom skrajnym temperatury i opadów atmosferycznych, gdyż w ostatnich latach badania zmienności elementów meteorologicznych w czasie prowadzono głównie pod kątem oceny zmian klimatycznych, mniej uwagi poświęcając zjawisku występowania ekstremalnych warunków meteorologicznych, których znaczenia w naszej działalności nie wolno nie doceniać. Pojedyncze dni przymrozkowe (natężenie przymrozku dochodzi do –6°C) wywołują duże szkody w rolnictwie i ogrodnictwie, a ekstremalnie wysoka temperatura jest powodem poważnych zakłóceń w komunikacji samochodowej, kolejowej i lotniczej. Groźne następstwa w środowisku są związane także z występowaniem katastrofalnych opadów atmosferycznych i prędkości wiatru.

Materiał i metoda

Materiał pomiarowy pochodzi ze stacji meteorologicznej Ursynów SGGW, prowadzonej przez Zakład Meteorologii i Klimatologii SGGW ($\varphi_N = 52^\circ 09' 38''$, $\lambda_E = 21^\circ 02' 52''$, 102,5 m n.p.m.) z lat 1961–2000. Do 2000 roku tereny w bezpośrednim sąsiedztwie stacji były użytkowane rolniczo. Osiedla mieszkaniowe Ursynowa są położone w odległości 500–700 m od stacji w kierunku SE, S, SSW. Po 1998 roku nastąpiła znaczna rozbudowa miasteczka akademickiego SGGW, w wyniku czego obecnie najbliższe budynki są położone w odległości 50–100 m od stacji. Miasteczko akademickie to zespół bloków 3–4-piętrowych, luźno rozrzuconych na obszarze około 100 ha. Od strony NW, N, NE teren jest nadal otwarty (występuje rzadka zabudowa niska).

Na podstawie map klimatycznych, zamieszczonych w pracy Kozłowskiej-Szczęsnej i innych (1996) można stwierdzić, że stacja Ursynów SGGW jest położona poza zasięgiem oddziaływania śródmieścia Warszawy na temperaturę powietrza i opady atmosferyczne. Natomiast odnotowuje się pewien wzrost temperatury i opadów atmosferycznych w ostatnich latach (od 1998 r.), w związku z budową w bezpośrednim sąsiedztwie stacji Ursynów SGGW osiedli mieszkaniowych i miasteczka akademickiego SGGW (Łykowski 2002, Majewski 2004).

Charakterystykę zmienności elementów klimatycznych opracowano, obliczając podstawowe wskaźniki statystyczne zmienności w poszczególnych miesiącach wielolecia 1961–2000. Symbolami t_{sr} , $t_{sr\ max}$, $t_{sr\ min}$ oznaczono

średnie wieloletnie wartości temperatury, obliczone na podstawie pomiarów dokonanych termometrem zwyczajnym stacyjnym oraz termometrami ekstremalnymi; t_{\max} , t_{\min} to średnie miesięczne wartości temperatury najcieplejszego i najchłodniejszego miesiąca w wieloleciu; $t_{\max \text{ abs}}$, $t_{\min \text{ abs}}$ to wartości ekstremalne absolutne, jakie wystąpiły w opracowywanym okresie (inne oznaczenia w tabelach 1 i 2).

Wyniki

Temperatura powietrza (tab. 1). Najważniejszymi wskaźnikami statystycznymi, charakteryzującymi zmienność temperatury powietrza w przebiegu rocznym są: amplituda, odchylenie standardowe i skośność rozkładu. Wskaźnik zmienności względnej (SDt_{sr}/t_{sr} %) jest przydatny tylko do oceny zmienności w okresie lata (VI, VII, VIII) i zimy (XII, I, II). Należy zwrócić uwagę, że średnia amplituda (a), obliczona z odczytów termometrów ekstremalnych jest największa w miesiącach letnich i wynosi w V–VIII około 10°C , a następnie maleje stopniowo, osiągając w grudniu $4,7^{\circ}\text{C}$. Natomiast amplituda absolutna (A) jest największa zimą, osiągając w lutym $46,1^{\circ}\text{C}$, a najmniejsza latem i wynosi w lipcu $29,9^{\circ}\text{C}$. Ma to bardzo istotne znaczenie w gospodarce, gdyż pojedyncza wartość temperatury minimalnej absolutnej może przynieść znaczne szkody w wyniku zamarznięcia wody w różnych urządzeniach, wymarznienia roślin, niszczenia materiałów budowlanych, budowli itp.

Bardzo znaczne szkody przynosi w chłodnej połowie roku zmienność

temperatury, prowadząca do występowania na przemian temperatury dodatniej i ujemnej. Latem, ekstremalnie wysoka temperatura przyczynia się do uszkodzenia torów kolejowych, linii energetycznych, nawierzchni dróg i innych. Ekstremalne wartości temperatury źle znosi organizm ludzki ze względu na znaczne obciążenia procesów fizjologicznych przemianami metabolicznymi, usiłującymi zachować korzystny dla organizmu bilans cieplny (Podstawy... 1999).

Z punktu widzenia naukowego i praktyki, ciekawymi wskaźnikami statystycznymi, zamieszczonymi w tabeli 1, są wartości wskaźnika skośności rozkładu. Najwyższa skośność ujemna temperatury występuje w październiku (wskaźnik -6) i listopadzie (wskaźnik $-4,9$). Istotność statystyczną (powyżej ± 2) uzyskał także wskaźnik skośności rozkładu w grudniu ($-2,8$). Szczególnie ciekawy rozkład wskaźników zmienności temperatury ma miejsce w październiku. Stosunkowo duża, ujemna wartość wskaźnika skośności wynika tu z pojawiających się układów pogodowych, sprzyjających nocnemu ochłodzeniu (przymrozki), pomimo że temperatura maksymalna absolutna była w tym miesiącu również bardzo wysoka ($26,2^{\circ}\text{C}$).

Interesującym zjawiskiem jest także dodatnia wartość wskaźnika skośności w lipcu ($2,2$). Jest to dobrym odzwierciedleniem ujawniania się w klimacie Polski latem cech kontynentalnych.

Warto zwrócić uwagę, że przymrozki majowe znajdują (choć słabe) odzwierciedlenie w ujemnej wartości wskaźnika skośności.

TABELA 1. Wybrane wskaźniki statystyczne temperatury powietrza, Ursynów SGGW 1961–2000
 TABLE 1. Statistical parameters of air temperature, Ursynów WAU 1961–2000

Miesiąc Month Parametr Parameter	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
t_{sr}	-2,4	-1,4	2,6	8,3	13,7	17,1	18,6	17,9	13,5	8,3	3,3	-0,8	8,2
$t_{\text{sr max}}$	0,2	1,7	6,4	13,2	18,8	22,1	23,6	23,2	18,4	12,5	6,0	1,5	12,3
$t_{\text{sr min}}$	-5,3	-4,3	1,0	3,6	8,4	11,7	13,2	12,8	9,0	4,4	0,9	-3,2	4,4
a	5,5	6,0	7,4	9,6	10,4	10,3	10,5	10,4	9,4	8,0	5,2	4,7	8,1
t_{max}	5,8	9,1	16,1	18,3	23	26	31,4	28,1	22,3	16,8	11,8	5,1	
	1983	1990	1994	2000	1993	1979	1994	1992	1975	2000	1998	1985	
t_{min}	-16,2	-12,8	-5,6	1,2	5,3	9,2	10,5	9,8	6,3	-4,8	-5,4	-12,3	
	1987	1986	1964	1981	1965	1976	1962	1976	1992	1998	1993	1969	
$t_{\text{max abs}}$	12,3	17,3	22,0	28,4	31,4	33,5	35,0	35,2	30,1	26,2	18,1	15,0	
	27.01.1983	25.02.1990	30.03.1968	30.04.1974	31.05.1979	27.06.1961	30.07.1994	01.08.1994	4.09.1967	10.10.1969	01.11.1968	5.12.1961	
	28.01.1983		31.03.1968										
$t_{\text{min abs}}$	-29,2	-28,8	-22,2	-5,0	-2,6	3,1	5,1	4,4	-2,0	-6,6	-15,9	-25,8	
	14.01.1987	01.02.1970	01.03.1986	12.04.1986	01.05.1971	04.06.1963	31.07.1964	30.08.1966	28.09.1977	27.10.1979	18.11.1965	21.12.1969	
				13.04.1986			03.07.1976						
A	41,5	46,1	44,2	33,4	34,0	30,4	29,9	30,8	32,1	32,8	34,0	40,8	
$SD t_{\text{sr}}$	3,3	3,5	2,4	1,6	1,8	1,3	1,8	1,4	1,5	2,2	2,6	2,6	0,9
$(SD t_{\text{sr}} / t_{\text{sr}}) \cdot 100$	133,7	248,6	91,5	19,8	12,9	7,8	9,8	7,6	10,9	26,5	79,4	322,5	11,0
Skośność Skewness	-1,2	-0,9	-1,5	1,7	-0,4	0,8	2,2	1,8	0,1	-6,0	-4,9	-2,8	-1,5

Objaśnienia: t_{sr} , $t_{\text{sr max}}$, $t_{\text{sr min}}$ – temperatura średnia, maksymalna, minimalna [°C]; a – amplituda temperatury [°C]; t_{max} , t_{min} – temperatura miesięczna maksymalna i minimalna [°C]; $t_{\text{max abs}}$, $t_{\text{min abs}}$ – temperatura absolutna miesięczna maksymalna i minimalna [°C]; A – amplituda absolutna temperatury [°C].
 Explanations: t_{sr} , $t_{\text{sr max}}$, $t_{\text{sr min}}$ – mean air temperature, maximum air temperature, minimum air temperature [°C]; a – amplitude of air temperature [°C]; t_{max} , t_{min} – monthly maximum and minimum air temperature [°C]; $t_{\text{max abs}}$, $t_{\text{min abs}}$ – absolute monthly maximum and minimum air temperature [°C]; A – absolute amplitude of air temperature [°C].

TABELA 2. Wybrane wskaźniki statystyczne opadów atmosferycznych, Ursynów SGGW 1961–2000
 TABLE 2. Statistical parameters of precipitation, Ursynów WAU 1961–2000

Miesiąc Month Parametr Parameter	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
P_{sr}	22,7	25,5	28,5	36,1	56,6	69,3	71,7	60,7	46,9	35,7	41,1	33,9	528,7
P_{max}	48,9	61,0	70,1	88,5	200,0	168,9	269,0	176,6	131,4	133,2	81,9	64,7	725,7
	1979	1977	1994	1999	1962	1999	1997	1972	1995	1974	1964	1974	1997
P_{min}	2,9	0,0	2,3	4,2	16,8	12,3	13,6	8,0	13,9	3,0	12,8	3,8	350,2
	1997	1976	1974	1984	1979	1994	1964	1968	1983	2000	1975	1972	1969
Amplituda Amplitude	46	61	67,8	84,3	183,2	156,6	255,4	168,6	117,5	130,2	69,1	60,9	375,5
$SD P_{\text{sr}}$	11,0	15,1	14,8	21,7	31,4	34,2	46,7	36,4	25,5	28,6	18,7	17,5	97,4
$(SD P_{\text{sr}}/P_{\text{sr}}) \cdot 100$	48,5	59,2	52,0	60,1	55,4	49,3	65,1	59,9	54,4	80,2	45,7	51,5	18,4
Skośność Skewness	1,07	1,46	1,75	1,68	6,2	1,32	5,21	3,58	2,37	4,67	1,59	0,00	0,91

Objaśnienia/Explanations:

P – suma opadu/precipitation [mm],

SD – odchylenie standardowe/standard deviation [mm].

Opady atmosferyczne (tab. 2). Bardzo ciekawym zjawiskiem w zmienności opadu atmosferycznego są wyrównane wartości zmienności względnej (SDP_{sr}/P_{sr} %) w przebiegu rocznym z dość wyraźnym odstępstwem od tej reguły wskaźnika zmienności w październiku. Z kolei lipiec wyróżnia się w ten sposób, że wszystkie wskaźniki statystyczne w tym miesiącu osiągają duże lub największe wartości, to jest: amplituda, odchylenie standardowe i wskaźnik skośności. Natomiast w maju występują największe w roku wartości wskaźników skośności oraz największa – po lipcu, amplituda. Warto zwrócić uwagę, że w grudniu wskaźnik skośności ma wartość 0,00, a w styczniu, lutym, marcu i kwietniu osiąga niewielkie wartości dodatnie. Zaskakująco mała wartość tego wskaźnika ma miejsce w czerwcu.

Podsumowanie

Średnia miesięczna temperatura maksymalna i minimalna wykazuje największy zakres zmienności latem (około 10°C), a najmniejszy zimą (około 5°C), natomiast w przypadku temperatury ekstremalnej absolutnej (dobowej), największe wartości amplitudy są w miesiącach zimowych (w lutym 46,1°C), a najniższe latem (w lipcu 29,9°C).

Szczególnie ciekawy rozkład wskaźników statystycznych zmienności temperatury występuje w październiku, gdyż przy dość wysokiej, ujemnej wartości wskaźnika skośności (–6,6) zdarza

się też bardzo wysoka temperatura maksymalna absolutna (26,2°C).

Przymrozki majowe znalazły swoje odzwierciedlenie w ujemnej wartości wskaźnika skośności.

W przypadku opadów atmosferycznych zwracają uwagę zbliżone wartości zmienności względnej we wszystkich miesiącach roku, za wyjątkiem października.

Odchylenie standardowe sum miesięcznych opadu atmosferycznego jest najwyższe w miesiącach letnich, a najniższe w miesiącach zimowych. Jest to układ odwrotny niż w przypadku temperatury powietrza.

Bardzo duże amplitudy sum miesięcznych opadu występują w miesiącach letnich, od maja do sierpnia, a największa amplituda ma miejsce w maju (183,2 mm).

Wyrażna dodatnia skośność rozkładu opadu zaznacza się w miesiącach letnich, natomiast w okresie od grudnia do kwietnia wskaźniki skośności rozkładu nie osiągają istotności statystycznej.

Literatura

- KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA T., BŁAŻEJCZYK K., KRAWCZYK B. 1996: Atlas Warszawy. Z. 4. ISiPZ PAN, Warszawa.
- ŁYKOWSKI B. 2002: Wpływ urbanizacji na opady atmosferyczne w południowej części Warszawy. *Przeł. Nauk. Inż. i Kształt. Środ.* 1(24): 298–304.
- MAJEWSKI G. 2004: Ocena dokładności pomiaru temperatury powietrza na automatycznej stacji meteorologicznej. *Przeł. Nauk. Inż. i Kształt. Środ.* 1(28): 159–166.
- Podstawy klimatologii stosowanej. Działy wybrane, 1999 (red.) B. Łykowski. Wydaw. SGGW, Warszawa.

Summary

Variability of thermal and precipitation annual courses in Warsaw. Mean monthly values of maximum and minimum air temperature have biggest variability in summer (about 10°C) and lowest in winter (about 5°C). Variability of absolute extreme monthly air temperature is biggest in winter (in February 46.1°C) and lowest in summer (in July 29.9°C). In October mean monthly air temperature has negative value of skewness but absolute maximum air temperature at this time is high (26.2°C). Relative variability of precipitation is even in all months of year. Relative variability of precipitation is very similar for all months of the year.

Author's address:

Bonifacy Łykowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Zakład Meteorologii i Klimatologii
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland