

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 17.01.2012 r.
Zaakceptowano 28.03.2012 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ANALIZA WARUNKÓW TERMICZNYCH NA STACJI URSYNÓW-SGGW W WARSZAWIE W LATACH 1970–2009

Grzegorz MAJEWSKI^{ABCDE}, Monika ODOROWSKA^{BCDF},
Katarzyna ROZBICKA^{DE}

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Meteorologii i Klimatologii

Streszczenie

W pracy przedstawiono zmienność warunków termicznych w południowej części Warszawy w latach 1970–2009. Podstawowy materiał do analizy stanowiły średnie dobowe, maksymalne i minimalne wartości temperatury powietrza ze stacji meteorologicznej Ursynów–SGGW (λ_E 21°02', φ_N 52°09').

W pracy przedstawiono zmiany temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej oraz pokazano ich trendy. Istotnym wskaźnikiem uwzględnionym w opracowaniu, charakteryzującym warunki termiczne są także dni charakterystyczne. W opracowaniu dokonano klasyfikacji termicznej dla miesięcy i lat wg LORENC [1994; 1996]. W końcowym etapie pracy porównano zmiany w rejestrowanych wartościach temperatury powietrza na stacji Ursynów–SGGW w okresie 1960–2008, zachodzących w miarę wzrostu zabudowy terenów wokół stacji, w odniesieniu do rejestrowanych wartości temperatury powietrza na stacji Okęcie (λ_E 20°59' φ_N 52°09').

Średnia roczna temperatura powietrza w badanym okresie wyniosła 8,6°C, średnia maksymalna 12,6°C, a minimalna 4,7°C. Najchłodniejszy był 1980 r. (6,9°C), natomiast najcieplejszy okazał się 2008 r. (10,1°C). We wszystkich badanych przedziałach czasowych, z wyjątkiem grudnia, średnia i maksymalna temperatura powietrza odznaczała się tendencją rosnącą. W przypadku minimalnej temperatury powietrza zbadane tendencje układają się jednokierunkowo, wskazując na wzrost wartości temperatury. Liczba dni przymrozkowych, mroźnych, bardzo mroźnych i chłodnych maleje, natomiast liczba dni upalnych i gorących rośnie. Według klasyfikacji LORENC [1994; 1996] w badanym wieloleciu 13 lat było w normie. Przeprowadzone porównanie zmian temperatury powietrza na stacji Ursynów–SGGW, zachodzących w miarę wzrostu zabudowy terenu wokół stacji wykazało, że w miarę zwiększania obszaru zabudowanego od 1960 do 2008 r. następował stopniowy wzrost temperatury powietrza na stacji w Ursynowie, w porównaniu ze stacją na Okęciu.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, trend czasowy, Warszawa, zmiany klimatu

Adres do korespondencji: dr inż. G. Majewski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Meteorologii i Klimatologii, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa; tel. +48 22 593-53-25, e-mail: Grzegorz_Majewski@sggw.pl

WSTĘP

Temperatura powietrza jest oceniana jako najważniejsza charakterystyka fizycznego stanu klimatycznego systemu i najbardziej znacząca dla praktycznej działalności człowieka. Rozkład jej w przestrzeni i czasie oraz wszelkie zmiany stanowią istotną cechę każdego klimatu; nie tylko kierunek zmian (ocieplenie, ochłodzenie), lecz także ich intensywność nie pozostają bez wpływu na zachowanie innych elementów. W badaniach nad zmianami klimatu, istotne dla określania tła zmienności temperatury powietrza są jej wartości ekstremalne (maksymalna i minimalna) [TREPIŃSKA 2005].

Ocieplenie klimatu w Polsce jest wyraźne. Na szczególną uwagę zasługuje ostatnie 20-lecie XX w. oraz początek XXI w., w którym nastąpiło wyraźne zwiększenie tempa ocieplenia [KOŻUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001; ŻMUDZKA 2009]. Wyjaśnienie przyczyny postępującego ocieplenia wyraźnie dzieli opinie naukowców; IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) przyjmuje 90-procentowe prawdopodobieństwo, że przyczyną wzrostu temperatury na Ziemi jest emisja dwutlenku węgla wskutek spalania kopalni. Niektórzy badacze dowodzą jednak, że ocieplenie ma naturalne przyczyny, związane np. z aktywnością Słońca [ŁYKOWSKI 2007; MADEYSKA, MARKS 2008]. Nie wiadomo jednak, jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka – czynników antropogenicznych.

Celem niniejszego opracowania jest analiza zmian warunków termicznych w Warszawie na podstawie danych meteorologicznych pochodzących ze stacji Ursynów-SGGW, zlokalizowanej w południowej części Warszawy. Teren badań, na którym znajduje się stacja pomiarowa do 1975 r. był użytkowany rolniczo. W latach 1975–2002 wybudowano w otoczeniu stacji zespół osiedli mieszkaniowych o łącznej powierzchni 1 tys. ha. Budowę zwartych osiedli mieszkaniowych, położonych najbliżej stacji zakończono w 1980 r. W latach 2001–2008 nastąpiła znaczna rozbudowa miasteczka akademickiego SGGW (wybudowano 11 obiektów 2–5-kondygnacyjnych). Otoczenie stacji stanowi luźna zabudowa niska i średnia, położona na południowy wschód, południe, południowy zachód i zachód od stacji meteorologicznej Ursynów-SGGW. Na północny zachód, północ i północny wschód występuje rzadka zabudowa niska, a najbardziej zwarta zabudowa znajduje się w odległości 1,5–3 km od stacji. Jedynie masy powietrza napływające ze wschodu nie napotykają na swojej drodze większych osiedli mieszkaniowych [ROZBICKI i in. 2005].

Wieloletnie dane meteorologiczne uzyskane ze stacji Ursynów-SGGW stanowią oryginalny materiał pomiarowy, umożliwiający analizę zmian klimatu lokalnego analizowanego obszaru.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Pracę oparto na wynikach pomiarów i obserwacji meteorologicznych prowadzonych na stacji meteorologicznej Ursynów-SGGW (λ_E 21°02', φ_N 52°09'), należącej do Zakładu Meteorologii i Klimatologii SGGW. Materiał badawczy stanowiły: średnie dobowe, maksymalne i minimalne wartości temperatury powietrza z okresu 1970–2009. Pomiarzy na stacji Ursynów-SGGW są wykonywane zgodnie z instrukcją dla sieci stacji państwowych IMGW.

W pracy przedstawiono zmiany temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej oraz zbadano ich trendy. Do określenia kierunku i tempa zmian temperatury powietrza wykorzystano trend liniowy, a istotność trendu oceniono, obliczając statystykę F.

Ważnym wskaźnikiem charakteryzującym warunki termiczne uwzględnionym w opracowaniu są dni charakterystyczne. Zastosowano podział wg następującej skali: dni przymrozkowe $T_{\min} < 0^\circ\text{C}$, gdy $T_{\text{sr}} > 0^\circ\text{C}$; dni upalne $T_{\max} > 30^\circ\text{C}$; dni gorące $T_{\max} > 25^\circ\text{C}$; dni chłodne $T_{\min} < 0^\circ\text{C}$; dni mroźne $T_{\max} < 0^\circ\text{C}$; dni bardzo mroźne $T_{\min} < -10^\circ\text{C}$, gdzie T_{\max} – maksymalna temperatura powietrza; T_{\min} – minimalna temperatura powietrza; T_{sr} – średnia dobowa temperatura powietrza. W celu określenia długookresowej tendencji zmian liczby dni charakterystycznych obliczono współczynniki trendu dla całego 40-letniego okresu.

W opracowaniu dokonano klasyfikacji termicznej dla miesięcy i lat, stosując metodę LORENC [1994; 1996]. W klasyfikacji tej ocena termiczna jest dokonywana na podstawie relacji pomiędzy średnią temperaturą danego miesiąca lub roku a analogiczną średnią wartością dla okresu normowego powiększoną lub pomniejszoną o wielokrotność odchylenia standardowego [USCKA-KOWALKOWSKA, KEJNA 2009].

W końcowym etapie pracy przeprowadzono porównanie zmian w rejestrowanych wartościach temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW w okresie 1960–2008, zachodzących w miarę wzrostu zabudowy terenów wokół stacji, w odniesieniu do rejestrowanych wartości temperatury powietrza na stacji Okęcie (λ_E 20°59', φ_N 52°09', wysokość n.p.m. 106 m). Odległość między stacjami wynosi 6 km. Stacja meteorologiczna Warszawa-Okęcie jest tu stacją odniesienia, gdyż z mocy obowiązujących zarządzeń w otoczeniu tej stacji lotniskowej nie zachodziły istotne zmiany zabudowy.

WYNIKI BADAŃ

Średnia roczna temperatura powietrza w badanym okresie wyniosła 8,6°C, średnia maksymalna 12,6°C, a minimalna 4,7°C. Najchłodniejszy był 1980 r. (6,9°C), natomiast najcieplejszy okazał się 2008 r. (10,1°C) (tab. 1–3).

Różnica pomiędzy średnią miesięczną wieloletnią temperaturą powietrza maksymalną i minimalną w odniesieniu do półrocza letniego, wyniosła od 9,4°C

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza (°C) na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 1.** Mean air temperature (°C) at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Miesiąc Month	Najniższa dobowa Daily minimum	Najwyższa dobowa Daily maximum	Średnia miesięczna Monthly mean			
			średnia mean	odchylenie standardowe standard deviation	najwyższa maximum	najniższa minimum
I	-24,4 (14.1987)	11,0 (10.2007)	-1,8	3,5	3,8	-12,0
II	-20,3 (01.1970)	11,6 (26.1989)	-0,8	3,4	5,1	-9,3
III	-14,8 (04.1971)	14,3 (26.1981)	3,0	2,2	7,3	-2,1
IV	-1,8 (08.2003)	20,5 (29.2000)	8,6	1,6	12,8	5,8
V	0,6 (02.1970)	25,7 (29.2005)	14,3	1,6	17,8	10,7
VI	7,3 (02.1977)	27,1 (31.1998)	17,2	1,3	20,4	14,7
VII	10,6 (19.1989)	28,0 (17.2007)	19,1	1,9	23,8	15,6
VIII	9,9 (28.1981)	28,7 (29.1992)	18,5	1,4	22,5	15,8
IX	3,6 (28.1977)	22,8 (11.2005)	13,6	1,6	16,6	10,8
X	-4,0 (19.1993)	18,9 (2.1984)	8,5	1,7	11,6	4,5
XI	-13,9 (22.1998)	14,0 (7.2002)	3,3	2,3	6,5	-2,6
XII	-19,6 (31.1978)	10,6 (22.2000)	0,0	2,5	4,9	-6,0
I–XII	-24,4 (14.01.1987)	28,7 (29.08.1992)	8,6	0,9	10,1 (2008)	6,9 (1980)

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 2. Maksymalna temperatura powietrza (°C) na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 2.** Maximum air temperature (°C) at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Miesiąc Month	Maksimum absolutne (rok) Absolute maximum (year)	Średnia miesięczna Monthly mean		
		średnia mean	najwyższa maximum	najniższa minimum
I	13,5 (17.1993)	0,7	6,2	-7,6
II	17,3 (25.1990)	2,1	9,1	-5,0
III	22,0 (21.1974)	6,8	11,6	1,9
IV	28,4 (30.1977)	13,3	18,3	9,5
V	32,3 (30.2005)	19,4	23,4	15,3
VI	34,3 (22.2000)	21,8	26,0	11,4
VII	36,3 (21.1998)	24,1	29,5	19,8
VIII	36,2 (29.1992)	23,7	28,0	20,4
IX	29,7 (06.2008)	18,3	22,6	15,0
X	25,0 (01.1996)	12,5	16,8	9,0
XI	17,3 (01.2008)	5,9	8,9	0,4
XII	14,7 (19.1989)	2,2	7,9	-3,4
I–XII	36,3 (21.1998)	12,6	14,0 (1990)	10,7 (1980)

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 3. Minimalna temperatura powietrza (°C) na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 3.** Minimum air temperature (°C) at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Miesiąc Month	Minimum absolutne (rok) Absolute minimum (year)	Średnia miesięczna Monthly mean		
		średnia mean	najwyższa maximum	najniższa minimum
I	-29,2 (14.1987)	-4,4	1,4	-16,2
II	-28,8 (10.1970)	-3,2	5,4	-12,7
III	-22,2 (01.1986)	-0,7	2,9	-5,6
IV	-5,0 (12.1986)	3,9	6,7	1,2
V	-2,6 (01.1971)	8,7	11,7	5,6
VI	1,5 (02.1975)	12,1	14,5	8,2
VII	5,0 (06.1976)	14,0	16,9	11,4
VIII	2,4 (27.1973)	13,5	15,8	9,8
IX	-2,0 (28.1977)	9,3	10,9	6,8
X	-8,3 (26.1988)	4,9	7,3	1,2
XI	-18,2 (22.1998)	0,8	4,1	-5,4
XII	-21,4 (31.1978)	-2,5	2,2	-9,2
I-XII	-29,2 (14.1987)	4,7	6,4 (1994)	2,5 (1976)

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

(kwiecień) do 10,7°C (maj), w półroczu chłodnym wartości te mieściły się w przedziale od 4,7°C (grudzień) do 7,6°C (październik), dla całego wielolecia – 7,9°C. W 1987 r. wystąpiła największa amplituda powietrza pomiędzy najniższą (-24,4°C), a najwyższą (26,2°C) średnią temperaturą powietrza. Najmniejszą amplitudą średnich wartości temperatury powietrza charakteryzowały się lata 1990 (29,9°C) i 2008 (32,4°C).

Różnica pomiędzy absolutną maksymalną temperaturą powietrza, wynoszącą 36,3°C (w lipcu 1998 r.), i absolutną minimalną temperaturą powietrza -29,2°C (w styczniu 1987 r.) wyniosła 65,5°C. Najwyższa średnia maksymalna temperatura powietrza wystąpiła w lipcu 2006 r. (29,5°C), a najniższą średnią minimalną w styczniu 1987 r. (-16,2°C). Najwyższa średnia temperatura powietrza wystąpiła w sierpniu 1992 r. (28,7°C), a najniższa średnia w styczniu 1987 r. (-24,4°C).

We wszystkich badanych przedziałach czasowych (z wyjątkiem grudnia) wartość średniej temperatury powietrza odznaczała się w analizowanym wieloleciu tendencją rosnącą (tab. 4). W dziewięciu przypadkach (kwiecień, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik, półrocze letnie i zimowe, rok) równania trendów liniowych były istotne. Większym przyrostem odznaczała się wartość średniej temperatury powietrza w półroczu letnim (wartość przyrostu na 10 lat wyniosła 0,57°C), niż w półroczu zimowym (wartość przyrostu na 10 lat wyniosła 0,45°C). Spośród miesięcy największy przyrost średniej wartości temperatury powietrza dotyczy kwietnia (wartość przyrostu na 10 lat wyniosła 0,86°C).

Tabela 4. Równania trendu średniej temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 4.** Equations of the trend of mean air temperature at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Miesiąc Month	Równanie trendu Trend equation	R^2	Przyrost temperatury °C/10 lat Temperature increase by 10 years	Istotność F Significance F
I	$Y = 0,080x - 3,453$	0,071	0,80	0,09641
II	$Y = 0,071x - 2,296$	0,062	0,71	0,12116
III	$Y = 0,030x + 2,356$	0,026	0,30	0,31784
IV	$Y = 0,086x + 6,772$	0,401**	0,86	1,12E-05
V	$Y = 0,039x + 13,500$	0,079	0,39	0,07751
VI	$Y = 0,044x + 16,280$	0,161*	0,44	0,01018
VII	$Y = 0,080x + 17,470$	0,240**	0,80	0,00134
VIII	$Y = 0,058x + 17,340$	0,231**	0,58	0,00166
IX	$Y = 0,044x + 12,710$	0,110*	0,44	0,03601
X	$Y = 0,046x + 7,521$	0,103*	0,46	0,04296
XI	$Y = 0,033x + 2,646$	0,030	0,33	0,28265
XII	$Y = -0,000x + 0,032$	3E-0,6	-0,00	0,99101
I–XII	$Y = 0,050x + 7,577$	0,403**	0,50	1,05E-05
IV–IX	$Y = 0,057x + 14,000$	0,486**	0,57	5,66E-07
X–III	$Y = 0,045x + 1,132$	0,166**	0,45	0,00886

Objaśnienia: R^2 – współczynnik determinacji, * – istotność statystyczna na poziomie 5%, ** – istotność statystyczna na poziomie 1%, F – empiryczna wartość testu istotności Fishera-Snedecora.

Explanations: R^2 – determination coefficient, * – statistical significant at $p < 5\%$, ** – statistical significant at $p < 1\%$, F – Fisher-Snedecore statistic.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

We wszystkich badanych przedziałach czasowych, z wyjątkiem grudnia, wartość średniej maksymalnej temperatury powietrza odznaczała się w analizowanym wieloletniu tendencją rosnącą (tab. 5). W pięciu przypadkach równanie trendu było istotne: kwiecień, lipiec, rok półrocze letnie i zimowe. Większym przyrostem odznaczała się wartość maksymalnej temperatury powietrza w półroczu letnim (wartość przyrostu na 10 lat wynosi 0,47°C), niż w półroczu zimowym (wartość przyrostu na 10 lat wynosi 0,36°C). Spośród miesięcy największy przyrost średniej maksymalnej temperatury powietrza dotyczy kwietnia (wartość przyrostu na 10 lat wynosi 0,93°C), a najmniejszy listopada (wartość przyrostu na 10 lat wynosi 0,13°C).

W przypadku minimalnej temperatury powietrza zbadane tendencje układają się jednokierunkowo, wskazując na jej wzrost (tab. 6). W dziesięciu przypadkach równanie trendu było istotne: luty, kwiecień, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik, rok, półrocze letnie i zimowe. Spośród miesięcy największy przyrost średniej minimalnej temperatury powietrza dotyczy lutego (wartość przyrostu na 10 lat wynosi 1,28°C), występuje on z istotnością na poziomie 1%, a najmniejszy dotyczy grudnia (wartość przyrostu na 10 lat wynosi 0,003°C). W tym przypadku

Tabela 5. Równanie trendu średniej maksymalnej temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 5.** Equations of the trend of mean maximum air temperature at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Miesiąc Month	Równanie trendu Trend equation	R^2	Przyrost temperatury °C/10 lat Temperature increase by 10 years	Istotność F Significance F
I	$Y = 0,072x - 0,796$	0,068	0,72	0,10315
II	$Y = 0,073x + 0,597$	0,071	0,73	0,09649
III	$Y = 0,027x + 6,214$	0,015	0,27	0,44632
IV	$Y = 0,093x + 11,39$	0,319**	0,93	0,00014
V	$Y = 0,045x + 18,45$	0,078	0,45	0,07950
VI	$Y = 0,024x + 21,24$	0,016	0,24	0,43407
VII	$Y = 0,068x + 22,66$	0,127*	0,68	0,02393
VIII	$Y = 0,038x + 22,92$	0,075	0,38	0,08666
IX	$Y = 0,024x + 17,78$	0,020	0,24	0,38123
X	$Y = 0,041x + 11,67$	0,063	0,41	0,11588
XI	$Y = 0,013x + 5,672$	0,005	0,13	0,64873
XII	$Y = -0,010x + 2,454$	0,002	-0,10	0,74872
I–XII	$Y = 0,041x + 11,71$	0,276**	0,41	0,00049
IV–IX	$Y = 0,047x + 19,10$	0,298**	0,47	0,00027
X–III	$Y = 0,036x + 4,298$	0,123*	0,36	0,02621

Objaśnienia, jak pod tab. 4. Explanations as in tab. 4.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

również większym przyrostem odznaczają się wartości średniej minimalnej temperatury powietrza w półroczu letnim (przyrost na 10 lat wynosi 0,59°C), niż w półroczu zimowym (przyrost na 10 lat wynosi 0,46°C). Największy przyrost dotyczy kwietnia (przyrost na 10 lat 0,91°C).

Znaczną zmienność warunków termicznych w analizowanym okresie (1970–2009) w Warszawie potwierdzają także liczby dni charakterystycznych. W ciągu roku w Warszawie średnio występuje 38,6 dni przymrozkowych, 5 dni upalnych ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$), 37,1 dni gorących ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), 96,5 dni chłodnych ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$), 33,0 dni mroźnych ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$), 13,5 dni bardzo mroźnych ($T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$). W przypadku dni mroźnych, bardzo mroźnych i przymrozkowych obserwuje się ich tendencję spadkową (wartości współczynnika determinacji R^2 są nieistotne, nie przekraczają wartości 0,069). Istotna wartość współczynnika R^2 występuje w odniesieniu do dni chłodnych, których liczba w ciągu roku również charakteryzuje się tendencją spadkową. W przypadku dni gorących i upalnych tendencja jest wzrostowa, a współczynnik determinacji przyjmuje wartości powyżej 0,100. Równania trendu dla poszczególnych dni charakterystycznych przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 6. Równania trendu średniej minimalnej temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 6.** Equations of the trend of mean minimum air temperature at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Miesiąc Month	Równanie trendu Trend equation	R^2	Przyrost temperatury °C/10 lat Temperature increase by 10 years	Istotność F Significance F
I	$Y = 0,102x - 6,476$	0,091	1,02	0,05720
II	$Y = 0,128x - 5,868$	0,136*	1,28	0,01912
III	$Y = 0,036x - 1,465$	0,045	0,36	0,18882
IV	$Y = 0,054x + 2,730$	0,236**	0,54	0,00148
V	$Y = 0,031x + 8,099$	0,060	0,31	0,12567
VI	$Y = 0,055x + 10,94$	0,263**	0,55	0,00072
VII	$Y = 0,088x + 12,16$	0,478**	0,88	7,57E-07
VIII	$Y = 0,071x + 12,00$	0,425**	0,71	5,03E-06
IX	$Y = 0,044x + 8,405$	0,225**	0,44	0,00197
X	$Y = 0,045x + 3,958$	0,126*	0,45	0,02460
XI	$Y = 0,024x + 0,353$	0,016	0,24	0,43116
XII	$Y = 0,003x - 2,564$	0,000	0,03	0,92662
I–XII	$Y = 0,054x + 3,569$	0,426**	0,54	4,92E-06
IV–IX	$Y = 0,059x + 9,064$	0,485**	0,59	6E-7
X–III	$Y = 0,046x - 1,903$	0,153*	0,46	0,01242

Objaśnienia, jak pod tab. 4. Explanations as in tab. 4.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 7. Równania trendu dni charakterystycznych na stacji Ursynów-SGGW (1970–2009)**Table 7.** Equations of the trend for characteristic days at Ursynów-SGGW station (1970–2009)

Klasyfikacja termiczna Thermal classification	Równanie trendu Trend equation	R^2	Przyrost dni/10 lat The increment of days per 10 years
$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ gdy $T_{\text{sr}} > 0^{\circ}\text{C}$	$Y = -0,219x + 43,04$	0,069	-2,2
$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	$Y = 0,131x + 2,326$	0,109*	1,3
$T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	$Y = 0,393x + 29,03$	0,131*	3,9
$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	$Y = -0,560x + 108,00$	0,152*	-5,6
$T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	$Y = -0,257x + 38,25$	0,044	-2,6
$T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	$Y = -0,244x + 18,08$	0,061	-2,4

Objaśnienia, jak pod tab. 4. Explanations as in tab. 4.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Średnią miesięczną liczbę dni charakterystycznych pod względem termicznym przedstawiono w tabeli 8. W rocznym przebiegu dni bardzo mroźne występują w miesiącach: listopad, grudzień, styczeń, luty i marzec. Najwyższa średnia liczba

Tabela 8. Średnia miesięczna liczba dni charakterystycznych pod względem termicznym na stacji Ursynów-SGGW w okresie 1970–2009**Table 8.** Mean monthly number of thermally characteristic days at Ursynów-SGGW station in the period 1970–2009

Klasyfikacja termiczna Thermal classification	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$, gdy $T_{\text{sr}} > 0^{\circ}\text{C}$	4,8	5,6	9,2	4,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	3,5	4,7	6,3
$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ at $T_{\text{sr}} > 0^{\circ}\text{C}$												
$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,8	2,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
$T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	0,0	0,0	0,0	0,5	3,8	7,4	11,7	11,7	2,1	0,0	0,1	0,0
$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	21,8	20,1	15,9	4,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	3,9	10,7	19,2
$T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	11,7	8,7	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	8,1
$T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	5,4	4,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,7

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

dni z $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ występuje w styczniu (5,4 dni). Dni mroźne występują w tych samych miesiącach co dni bardzo mroźne i ich najwyższa średnia wartość również przypada na styczeń (11,7 dni). Dni przymrozkowe występują w styczniu, lutym, marcu, kwietniu, maju, wrześniu, październiku, listopadzie i grudniu, a największa ich średnia liczba przypada na marzec (9,2 dni). Pozostałe dwa rodzaje dni są charakterystyczne dla półrocza ciepłego. Dni upalne występują w okresie od kwietnia do sierpnia, z maksimum w lipcu (2,2 dni), a dni gorące od kwietnia do listopada bez października z maksimum w lipcu i sierpniu (11,7 dni).

W analizowanym wieloleciu najwięcej dni upalnych było w 2006 r. (19 dni), w latach 1970, 1977, 1978, 1980, 2008 nie wystąpił ani jeden taki dzień. W 2002 r. notowano najwięcej dni gorących (68 dni), w 1980 r. dni chłodnych (127 dni), 1996 r. dni mroźnych (68 dni), a w 1985 r. dni bardzo mroźnych (39 dni).

Na podstawie kryteriów zaproponowanych przez LORENC [1994; 1996] można stwierdzić, że w analizowanym wieloleciu 13 lat (1971, 1974, 1981, 1982, 1984, 1988, 1991, 1993, 1995, 1997, 2001, 2003, 2009) było w normie (tab. 9). Najbardziej odbiegającymi od normy były lata: 1970, 1978, 1980, 1987 (bardzo chłodne) oraz lata 2000 i 2008 (bardzo ciepłe). W przebiegu rocznym miesiące anomalnie i ekstremalnie ciepłe nie wystąpiły we wszystkich porach roku a jedynie w półroczu ciepłym: kwiecień 2000, maj 2002, czerwiec 1979, lipiec 1994 i 2006, sierpień 1992. Natomiast miesiące anomalnie i ekstremalnie chłodne (mroźne) wystąpiły w: styczniu 1987, lutym 1985 i 1986, marcu 1987, maju 1980, wrześniu 1996, październiku 1993, listopadzie 1973, 1993 i 1998, grudniu 1995, 1996 i 2002.

W analizowanym wieloleciu najczęściej występowały miesiące mieszczące się w normie termicznej – 187 miesięcy, z czego największa ich liczba wystąpiła w lutym, marcu i sierpniu (tab. 9). Mniej liczne były miesiące lekko ciepłe (74), a najwięcej było ich w listopadzie.









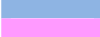


Tabela 9. Klasyfikacja termiczna poszczególnych miesięcy z okresu 1970–2009 na stacji Ursynów-SGGW wg kryteriów LORENC [1994; 1996]

Table 9. Thermal classification of particular months according to LORENC [1994; 1996] in the years of 1970–2009 at Ursynów-SGGW station

Rok Year	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1970	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Blue	Blue	Cyan	Blue	Cyan	Yellow	Green	Pink
1971	Cyan	Green	Blue	Cyan	Orange	Cyan	Blue	Yellow	Pink	Green	Green	Orange	Green
1972	Pink	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Cyan	Blue	Blue	Green	Green	Cyan
1973	Green	Yellow	Green	Cyan	Green	Green	Cyan	Cyan	Green	Blue	Blue	Green	Blue
1974	Orange	Green	Yellow	Cyan	Yellow	Pink	Pink	Green	Green	Blue	Green	Yellow	Green
1975	Orange	Green	Yellow	Cyan	Yellow	Green	Green	Yellow	Orange	Green	Cyan	Green	Yellow
1976	Green	Cyan	Pink	Green	Blue	Blue	Green	Pink	Green	Cyan	Yellow	Green	Blue
1977	Green	Blue	Orange	Blue	Cyan	Green	Pink	Pink	Pink	Green	Yellow	Green	Cyan
1978	Green	Blue	Green	Blue	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Yellow	Pink	Pink
1979	Blue	Cyan	Green	Blue	Yellow	Red	Pink	Blue	Yellow	Blue	Green	Green	Cyan
1980	Blue	Green	Blue	Cyan	Blue	Blue	Blue	Cyan	Green	Green	Cyan	Green	Pink
1981	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Cyan	Green
1982	Cyan	Green	Green	Pink	Green	Green	Cyan	Yellow	Orange	Green	Yellow	Yellow	Green
1983	Orange	Green	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green	Orange	Orange
1984	Yellow	Green	Cyan	Green	Green	Pink	Blue	Green	Green	Orange	Green	Green	Green
1985	Pink	Blue	Green	Green	Yellow	Blue	Cyan	Green	Green	Green	Cyan	Yellow	Blue
1986	Green	Blue	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Blue	Green	Orange	Green	Cyan
1987	Blue	Green	Blue	Cyan	Blue	Cyan	Green	Pink	Green	Green	Green	Green	Pink
1988	Yellow	Green	Green	Cyan	Yellow	Green	Orange	Green	Green	Green	Blue	Green	Green
1989	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Cyan	Green	Green	Green	Orange	Cyan	Green	Orange
1990	Orange	Green	Orange	Yellow	Green	Yellow	Cyan	Green	Blue	Green	Yellow	Green	Orange
1991	Yellow	Cyan	Yellow	Green	Pink	Green	Green	Green	Orange	Green	Yellow	Green	Green
1992	Green	Yellow	Green	Green	Orange	Orange	Orange	Red	Blue	Blue	Green	Green	Yellow
1993	Yellow	Green	Orange	Orange	Orange	Cyan	Cyan	Cyan	Blue	Blue	Yellow	Green	Green
1994	Orange	Green	Orange	Orange	Pink	Blue	Red	Green	Yellow	Cyan	Green	Orange	Yellow
1995	Green	Orange	Green	Green	Cyan	Green	Yellow	Green	Green	Orange	Blue	Blue	Green
1996	Blue	Blue	Pink	Green	Orange	Green	Blue	Yellow	Blue	Yellow	Orange	Blue	Blue
1997	Cyan	Yellow	Green	Pink	Green	Green	Green	Yellow	Green	Cyan	Green	Green	Green
1998	Yellow	Orange	Green	Orange	Yellow	Orange	Green	Green	Green	Blue	Cyan	Yellow	Yellow
1999	Green	Green	Yellow	Orange	Cyan	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Cyan	Yellow	Orange
2000	Yellow	Orange	Green	Red	Yellow	Blue	Green	Green	Cyan	Orange	Orange	Yellow	Orange
2001	Yellow	Green	Orange	Yellow	Red	Yellow	Orange	Orange	Green	Orange	Pink	Green	Green
2002	Green	Orange	Orange	Yellow	Red	Yellow	Orange	Orange	Green	Cyan	Yellow	Blue	Orange
2003	Green	Blue	Green	Cyan	Orange	Orange	Green	Yellow	Yellow	Blue	Green	Green	Green
2004	Cyan	Green	Yellow	Green	Cyan	Green	Green	Yellow	Orange	Yellow	Orange	Yellow	Yellow
2005	Yellow	Green	Cyan	Yellow	Green	Green	Orange	Green	Orange	Green	Green	Green	Yellow
2006	Pink	Green	Cyan	Green	Green	Orange	Red	Green	Orange	Orange	Orange	Orange	Yellow
2007	Orange	Green	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Green	Green	Green	Cyan	Green	Green	Orange

cd. tab. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2008													
2009													

	ekstremalnie ciepły extremely warm	$T > T_{sr} + 2,5\delta$
	anomalnie ciepły anomalously warm	$T_{sr} + 2,0\delta < T \leq T_{sr} + 2,5\delta$
	bardzo ciepły very warm	$T_{sr} + 1,5\delta < T \leq T_{sr} + 2,0\delta$
	ciepły warm	$T_{sr} + 1,0\delta < T \leq T_{sr} + 1,5\delta$
	lekko ciepły slightly warm	$T_{sr} + 0,5\delta < T \leq T_{sr} + 1,0\delta$
	normalny normal	$T_{sr} - 0,5\delta \leq T \leq T_{sr} + 0,5\delta$
	lekko chłodny slightly cold	$T_{sr} - 1,0\delta \leq T < T_{sr} - 0,5\delta$
	chłodny cold	$T_{sr} - 1,5\delta \leq T < T_{sr} - 1,0\delta$
	bardzo chłodny very cold	$T_{sr} - 2,0\delta \leq T < T_{sr} - 1,5\delta$
	anomalnie chłodny anomalously cold	$T_{sr} - 2,5\delta \leq T < T_{sr} - 2,0\delta$
	ekstremalnie chłodny extremely cold	$T < T_{sr} - 2,5\delta$

Objaśnienia: T – średnia temperatura, T_{sr} – średnia wieloletnia temperatura powietrza, δ – odchylenie standardowe.

Explanations: T – average air temperature, T_{sr} – long-term average air temperature, δ – standard deviation.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

W tabeli 10. przedstawiono średnie miesięczne i roczne wartości różnic temperatury powietrza między stacjami Ursynów-SGGW a Warszawa Okęcie (1960–2008) dla wydzielonych okresów. Porównanie zmian temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW, zachodzących w miarę wzrostu zabudowy terenu wokół stacji wskazuje, że w miarę zwiększania obszaru zabudowanego od 1960 do 2008 r. następował stopniowo wzrost temperatury powietrza na stacji w Ursynowie w porównaniu ze stacją Okęcie (usytuowanej przy międzynarodowym porcie lotniczym).

Tabela 10. Średnie miesięczne i roczne wartości różnic temperatury powietrza między stacjami Ursynów-SGGW a Warszawa Okęcie (1960–2008)

Table 10. Monthly and yearly mean air temperature differences between the stations Ursynów-SGGW and Warsaw Okęcie (1960–2008)

Okres Period	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
1960–1970	0,1	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1971–1980	0,0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2
1981–1990	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4
1991–2000	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	1,0	0,0	0,5	-0,5	1,0	0,4	0,6
2001–2008	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,1	0,6	0,5

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

W latach 1960–1970 różnice temperatury powietrza między stacjami Ursynów-SGGW i Okęcie były znikome; nie występują zarówno w wartościach średnich rocznych, jak i w większości miesięcy (teren wokół stacji Ursynów-SGGW w tych latach był użytkowany rolniczo).

Średnie miesięczne wartości różnic temperatury, obliczone dla dekad 1971–1980, 1981–1990 i 1991–2000 (okresów rozbudowy dzielnicy Ursynów), w porównaniu z okresem 1960–1970, wykazują tendencję rosnącą, chociaż w kilku miesiącach występują ich fluktuacje. Podobną zależność uzyskano dla okresu 2001–2008 w którym nastąpiła znaczna rozbudowa kampusu SGGW. Wyniki badań wskazują, że w kolejnych trzech 10-letniach temperatura powietrza na stacji Ursynów-SGGW wzrastała, w stosunku do stacji Okęcie, o $0,2^{\circ}\text{C}$ na 10 lat.

PODSUMOWANIE

W analizowanym okresie 1970–2009 średnia roczna temperatura powietrza wyniosła $8,6^{\circ}\text{C}$, średnia maksymalna $12,6^{\circ}\text{C}$, a minimalna $4,7^{\circ}\text{C}$. Najchłodniejszy był 1980 r. ($6,9^{\circ}\text{C}$), natomiast najcieplejszy 2008 r. ($10,1^{\circ}\text{C}$).

Średnia i maksymalna temperatura powietrza we wszystkich przedziałach czasowych z wyjątkiem grudnia, odznaczała się tendencją rosnącą. Większy przyrost średniej, maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza zaobserwowano w półroczu letnim (wartość przyrostu na 10 lat dla średniej wynosi $0,57^{\circ}\text{C}$, dla maksymalnej $0,47^{\circ}\text{C}$, a dla minimalnej $0,59^{\circ}\text{C}$), niż w półroczu zimowym (wartość przyrostu na 10 lat dla średniej wynosi $0,45^{\circ}\text{C}$, dla maksymalnej $0,36^{\circ}\text{C}$ i dla minimalnej $0,46^{\circ}\text{C}$).

W analizowanym wieloleciu zauważa się trzykrotnie większy przyrost dni gorących (3,9 dni na 10 lat) niż dni upalnych (1,3 dnia na 10 lat). Natomiast maleje liczba dni mroźnych, bardzo mroźnych i przymrozkowych (trend nie jest istotny statystycznie).

Na podstawie normy termicznej można stwierdzić, że w analizowanym wieloleciu, 13 lat (1971, 1974, 1981, 1982, 1984, 1988, 1991, 1993, 1995, 1997, 2001, 2003, 2009) było w normie. Najbardziej odbiegającymi od normy były lata: 1970, 1978, 1980, 1987 (bardzo chłodne) oraz lata 2000 i 2008 (bardzo ciepłe).

W przebiegu rocznym miesiące anomalnie i ekstremalnie ciepłe nie wystąpiły we wszystkich porach roku, a jedynie w półroczu ciepłym: IV 2000, V 2002, VI 1979, VII 1994 i 2006, VIII 1992. Miesiące anomalnie i ekstremalnie chłodne (mroźne) wystąpiły w: I 1987, II 1985 i 1986, III 1987, V 1980, IX 1996, X 1993, XI 1973 1993 i 1998, XII 1995 1996 i 2002.

W analizowanym wieloleciu najwięcej było miesięcy (187) mieszczących się w normie termicznej. Najczęściej były to miesiące: luty, marzec i sierpień. Znacznie mniej występowało miesięcy tzw. lekko ciepłych (74).

Przeprowadzone porównanie zmian temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW, zachodzących w miarę wzrostu zabudowy terenu wokół stacji wykazały, że w miarę zwiększania obszaru zabudowanego od 1960 do 2008 r. następował stopniowy wzrost temperatury powietrza na stacji Ursynów-SGGW, w porównaniu ze stacją na Okęciu. Średnie wartości różnic stwierdzone dla stacji Ursynów i Okęcie (ok. 0,6°C) mieszczą się w przedziale 0,4–1°C różnic, wynikających z trendów wieloletnich zmian temperatury powietrza.

LITERATURA

- KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofizyczny*. T. 46. Z. 1–2 s. 81–90.
- LORENC H. 1994. Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901–1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. *Wiadomości IMGW*. Nr 38 s. 43–59.
- LORENC H., SUWALSKA-BOGUĆKA M. 1996. Thermal tendencies of winters in Poland as the indicator of climate variability. *Zeszyty Naukowe UJ. Z.* 102 s. 365–374.
- ŁYKOWSKI B. 2007. O naturalnych i antropogenicznych zmianach klimatu. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. Z. 1 (35) s. 85–91.
- MADEYSKA T., MARKS L. 2008. *Zmiany klimatu. Jakie były, jakie są i co nam przyniosą*. Warszawa. PAN, Wyd. VII ss. 16.
- ROZBICKI T., ŁYKOWSKI B., GOŁASZEWSKI D. 2005. Wpływ budowy dzielnicy mieszkaniowej Ursynów na klimat lokalny. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 5 z. spec. (14) s. 261–273.
- TREPIŃSKA J. 2005. Termiczne skrajności w „umiarkowanym” klimacie Polski. W: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*. Polskie Towarzystwo Geofizyczne. Warszawa. IMGW s. 55–63.
- USCKA-KOWALKOWSKA J., KEJNA M. 2009. Zmienność warunków termiczno-opadowych w Konieczynie (Pojezierze Chełmskie) w okresie 1994–2007. *Acta Agrophysica*. Vol. 14(1) s. 203–219.
- ŻMUDZKA E. 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica*. Vol. 3(2) s. 555–568.

Grzegorz MAJEWSKI, Monika ODOROWSKA, Katarzyna ROZBICKA

AN ANALYSIS OF THE THERMAL CONDITIONS AT URSYNÓW-SGGW STATION IN WARSAW FOR THE YEARS 1970–2009

Key words: *air temperature, climate changes, temporal trend, Warsaw*

S u m m a r y

This paper presents the variability of thermal conditions in southern districts of Warsaw for the period 1970–2009. The basic material for analyses was daily mean, maximum and minimum air temperatures recorded at Ursynów-SGGW station (λ_E 21°02', φ_N 52°09').

The paper describes changes of the mean, maximum and minimum temperatures and their trends. An important parameter, which was included in analyses when describing thermal conditions, is the so-called characteristic days. Thermal classification of months and years was performed according to the methodology of LORENC [1994; 1996]. Final part of the paper contains the changes in temperature

values at Ursynów station for the period 1960–2008 that occurred along with the urban development, compared with temperature values recorded at Okęcie station ($\lambda_E 20^{\circ}59'$ $\varphi_N 52^{\circ}09'$), which is representative for city suburbs.

The mean annual temperature for the analysed period was 8.6°C. The coldest year was 1980 (6.9°C) while the warmest was 2008 (10.1°C). For all the analysed time intervals, the mean and maximum temperature showed an increasing trend, except for December. Minimum air temperatures showed a directional trend of increasing temperature values. The number of frosty, chilly, very chilly, and cold days was decreasing while the number of very warm and hot days was increasing. According to the classification by LORENC [1994; 1996], 13 years of the analysed period were normal with respect to temperature. The comparison of temperatures recorded at Ursynów station with those at Okęcie station, for the period of increased urban development near Ursynów station in the years 1960–2008, proved the gradual increase of temperatures at Ursynów station.