



PORÓWNANIE ŚREDNIEJ DOBOWEJ TEMPERATURY POWIETRZA OBLICZONEJ NA PODSTAWIE RÓŻNYCH PROCEDUR POMIAROWYCH

Renata Kuśmierk-Tomaszewska, Jacek Żarski, Stanisław Dudek

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J.J.Śniadeckich w Bydgoszczy

COMPARISON OF AVERAGE DAILY AIR TEMPERATURE CALCULATED BASED ON DIFFERENT MEASUREMENT PROCEDURES

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki porównania wartości średniej dobowej temperatury powietrza obliczonej w oparciu o różne procedury pomiarowe. Dane do badań pochodziły z pomiarów automatyczną stacją meteorologiczną zlokalizowaną w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego w odległości ok. 20 km od Bydgoszczy. Serie danych obejmowały dziesięć lat z okresu 2000-2012 z wyłączeniem roku 2005, 2006 i 2010, z uwagi na niepełne serie pomiarowe spowodowane serwisowaniem sensorów. Automatyczna stacja meteorologiczna zaprogramowana została na próbkowanie w odstępach 5-cio minutowych, następnie dane zapisywane były w pamięci loggera, jako wielkości średnie z godziny. Codzienne wartości temperatury powietrza oraz wartości temperatury maksymalnej i minimalnej były podstawą do obliczenia średniej dobowej temperatury powietrza wybranymi metodami. Celem pracy jest ocena wybranych metod obliczania temperatury średniej dobowej w stosunku do metody, która zgodnie z zaleceniami WMO najlepiej szacuje wartość średnią (obliczana z 24 obserwacji terminowych), oraz określenie pośrednio, czy zmiana metody może wpłynąć na bieżącą ocenę potrzeb wodnych roślin. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że średnie dobowe wartości temperatury powietrza wyznaczone w oparciu o różne formuły matematyczne różnią się od wartości średniej rzeczywistej. Stosowanie danych godzinowych ze stacji automatycznych do szacowania wskaźników zużycia wody powinno być poprzedzone analizą określającą, w jaki sposób różnice te mogą wpływać na ustalanie terminów nawadniania.

Słowa kluczowe: średnia dobowa temperatura powietrza, pomiar automatyczny, metodyka, różnice

Summary

This paper presents the results of a comparison of the average daily air temperature calculated based on different measurement procedures. Data for the research came from measurements of automatic weather station located at the Research Center of the Faculty of Agriculture and Biotechnology, University of Technology and Life Sciences at approximately 20 km from Bydgoszcz. Series included data from of the period 2000-2012 with the exception of 2005, 2006 and 2010, due to incomplete series caused by technical service of measuring sensors. Automatic weather station has been programmed for 5-minute sampling intervals, and then the data were stored in the logger memory, as the average of an hour. Hourly air temperature values and the values of maximum and minimum temperatures were used to calculate the average daily air temperature with selected methods. The aim of this study is the evaluation of selected methods for computing average daily temperature in relation to the method that according to the WMO best estimates the daily average (calculated from 24 observation term). Furthermore indirectly determine whether a change in the method may affect the assessment of the current water needs of plants. The research found that the average daily air temperature values calculated on the basis of various mathematical formulas differ from the value of the 24-hour average. The use of hourly data from automated stations to estimate the rates of water consumption should be preceded by an analysis that indicates how these differences may affect the determination of terms of irrigation.

Key words: average daily air temperature, automatic measurements, methodology, differences

WSTĘP

Ocena celowości stosowania nawodnień pod względem kryterium klimatycznego oparta jest na danych meteorologicznych, na podstawie których obliczana jest ewapotranspiracja [Doorenbos i Pruitt 1977; Allen i in. 1996], a co za tym idzie potrzeby wodne roślin uprawnych. Informacja o zmienności ewapotranspiracji umożliwia także bieżące sterowanie nawadnianiem, a zwłaszcza podjęcie decyzji o terminie jego zastosowania. Wiele modeli do szacowania ewapotranspiracji [Doorenbos i Pruitt 1977; Hargreaves i Samani 1985; Grabarczyk i in. 1990; Grabarczyk i Żarski 1992; Allen 1993] wymaga danych charakteryzujących dobową zmienność warunków termicznych powietrza. Jednakże, wartości średniej temperatury dobowej obciążone są zawsze ryzykiem zmian spowodowanych czynnikami nieklimatycznymi, czego konsekwencją jest utrata przez nie homogeniczności. Może to prowadzić do błędnej interpretacji zmienności czasowej tego czynnika, a przez to do niewłaściwych decyzji w sterowaniu nawadnianiem oraz niedokładnej agroklimatycznej oceny potrzeb stosowania nawodnień. Do czynników nieklimatycznych zrywających jednorodność ciągów pomiarowych zalicza się między innymi relokacje stacji, zmiany przyrządów lub czujników pomiarowych, zmianę wysokości wykonywanych pomiarów, czy

wprowadzenie innych procedur obliczeniowych. Rozwój technologii spowodował zastosowanie w pomiarach meteorologicznych automatycznych stacji pomiarowych, których czułość przyrządów, sposób pomiaru i algorytmy uśredniania wyników, różnią się od przyjętych standardowych procedur. W związku z powyższym, zastosowanie danych meteorologicznych wygenerowanych przy użyciu stacji automatycznych wymagać będzie prawdopodobnie weryfikacji formuł matematycznych szacowania ewapotranspiracji, wyprowadzonych na podstawie wieloletnich standardowych obserwacji klimatologicznych.

Zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Meteorologicznej [WMO 2011], istnieje wiele metod obliczania średniej dobowej temperatury powietrza. Są to między innymi metody, które bazują na dobowych wartościach ekstremalnych temperatury, na obserwacjach 24 godzinnych, czy też obserwacjach prowadzonych w pewnych określonych godzinach w ciągu doby. Najlepszą statystyczną metodą szacowania jest średnia obliczona na podstawie zintegrowanych, ciągłych obserwacji w czasie; im wyższa częstotliwość obserwacji, tym dokładniejsza wartość średnia. Dla celów porównawczych niezbędne jest zachowanie standardowej metodologii przetwarzania danych meteorologicznych, jednakże względy praktyczne na ogół wykluczają obliczenia średniej dobowej z dużej liczby obserwacji równomiernie rozłożonych w ciągu 24 godzin. Wszystkie stacje klimatologiczne prowadzą codzienne obserwacje maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza, dlatego zalecana metodyka pozwala na obliczanie średniej z dobowego maksimum i minimum temperatury. Mimo, że metoda ta nie jest najlepszym przybliżeniem statystycznym, jej konsekwentne stosowanie spełnia normatywny cel porównawczy. Według WMO, krajowe służby hydrologiczno-meteorologiczne powinny obliczać średnie dobowe także za pomocą innych metod, jeśli obliczenia te posłużą lepszemu zrozumieniu warunków klimatycznych kraju.

W przeszłości, metody szacowania średniej dobowej temperatury powietrza zmieniały się w różnych krajach, w zależności od częstotliwości dostępnych obserwacji, czasu obserwacji, a ostatnio również dostępności automatycznych stacji pomiarowych. W klimatologii światowej problem ten poruszał już w XIX wieku Chester Dewey [Conner i Foster, 2010], a w Polsce zagadnieniem tym w ubiegłym stuleciu zajęli się Kowalczyk i Sadowski [1972], Lorenc i Suwalska-Bogucka [1993, 1995] oraz Filipiuk [1998].

Współczesna dyskusja o zmianach klimatu, szacowaniu potrzeb wodnych roślin i bieżących decyzjach o stosowaniu nawodnień wymusza szczegółowe analizy jednorodności serii pomiarów meteorologicznych [Miętus 2000/2001, Venema i in. 2012, Toreti i in. 2010]. Dlatego problem porównywalności metod szacowania średniej dobowej temperatury powietrza jest aktualnie poruszany zarówno przez ośrodki badawcze w kraju [Filipiuk 2000/2001, Przybylak i Vizi 2005, Urban 2010] i za granicą [Zhongwei i in. 2001, Zaiki i in. 2002, Conner i Foster 2010].

Celem pracy jest porównanie wybranych metod obliczania temperatury średniej dobowej w stosunku do metody, która zgodnie z zaleceniami WMO najlepiej szacuje wartość średnią (obliczana z 24 obserwacji terminowych) oraz określenie pośrednio, czy zmiana metody może wpłynąć na bieżącą ocenę potrzeb wodnych roślin.

MATERIAŁ I METODYKA

Badania przeprowadzono wykorzystując wyniki pomiarów pochodzące z automatycznej stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Mochełku (53°13'N, 17°52'E, 98 m n. p. m.), oddalonej od Bydgoszczy około 20 km w kierunku północno-zachodnim. Posterunek pomiarowy zlokalizowany jest na otwartej przestrzeni użytkowanej rolniczo i prowadzi znormalizowane pomiary meteorologiczne od 1949 roku, a od 1999 roku zainstalowano w jego obrębie automatyczną stację meteorologiczną. Serie danych obejmowały dziesięć lat z okresu 2000-2012 z wyłączeniem roku 2005, 2006 i 2010, z uwagi na niepełne serie pomiarowe spowodowane serwisowaniem sensorów. Czujnik temperatury zainstalowany był na standardowej wysokości, obowiązującej dla pomiaru temperatury równej 2 m nad powierzchnią gruntu. 8-kanalowa automatyczna stacja meteorologiczna firmy Eijkelkamp (model 16.99 Eijkelkamp Agrisearch Equipment, thermistor sensor model 16.99.15, Giesbeek, the Netherlands) zaprogramowana została na próbkowanie w odstępach 5-cio minutowych, następnie dane zapisywane były w pamięci loggera, jako wielkości średnie z godziny. Cogodzinne wartości temperatury powietrza oraz wartości temperatury maksymalnej i minimalnej były podstawą do obliczenia średniej dobowej temperatury powietrza wybranymi metodami.

Do badań wybrano 6 metod obliczania średniej dobowej temperatury powietrza, które funkcjonowały w procedurach pomiarów meteorologicznych IMGW i innych zagranicznych instytucjach tego formatu [za Urbanem 2010]:

- M1 = $(t_{00} + t_{01} + t_{02} + \dots + t_{23}) / 24$; tzw. średnia rzeczywista, w czasie UTC,

- M2 = $(T_{\max} + T_{\min}) / 2$; średnia stosowana przez kraje Ameryki Północnej, Australię i niektóre kraje europejskie (np. w Hiszpanii, w Wielkiej Brytanii),

- M3 = $(t_{00} + t_{03} + t_{06} + t_{09} + t_{12} + t_{15} + t_{18} + t_{21}) / 8$; średnia stosowana na stacjach synoptycznych IMGW od 1966 r. do dziś, w czasie UTC,

- M4 = $(t_{00} + t_{06} + t_{12} + t_{18}) / 4$; średnia stosowana na stacjach klimatologicznych IMGW w latach 1971–1995 r., w czasie UTC,

- M5 = $(T_{06} + T_{12} + 2 \cdot T_{20}) / 4$; średnia stosowana w latach 1946–1965 na stacjach synoptycznych i klimatologicznych IMGW oraz w latach 1965–1970 na klimatologicznych IMGW, w czasie UTC.

- $M6 = (T_{max} + T_{min} + T_{06} + T_{18}) / 4$; średnia stosowana na stacjach klimatologicznych IMGW od 1996r. do dziś; T_{max} i T_{min} mierzone od godz. 18.00 dnia „N“ do godz. 18.00 dnia „N + 1“ w czasie UTC,

Porównanie wybranych metod przeprowadzono w odniesieniu do metody M1, która najlepiej charakteryzuje rzeczywiste dobowe warunki termiczne (średnia rzeczywista). Obliczono wybrane wskaźniki statystyki opisowej, tj. średnią arytmetyczną, wielkości ekstremalne, odchylenie standardowe i współczynniki korelacji. Określono wielkości różnicy Δt ($^{\circ}\text{C}$) pomiędzy wartościami dobowej temperatury powietrza obliczanej wybranymi metodami (M2, M3...M6), a średnią rzeczywistą (M1), występujące w największej liczbie przypadków, oraz prawdopodobieństwo wystąpienia różnicy w przedziale $-0,5^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 0,5^{\circ}\text{C}$.

WYNIKI BADAŃ

Średnie wartości temperatury powietrza, które wyznaczono w oparciu o wielkości średniej dobowej obliczone wybranymi metodami (M2 ...M6), w większości przypadków różniły się od tzw. średniej dobowej rzeczywistej (M1) (tab. 1). Tylko w przypadku porównania metod M3 i M4 z metodą M1, średnia różnica wyliczona dla wszystkich miesięcy (z wyjątkiem kwietnia $M4-M1 = -0,1^{\circ}\text{C}$) wyniosła $0,0^{\circ}\text{C}$ (tab. 2). Większe różnice stwierdzono porównując metody M2, M5 i M6 z metodą wzorcową M1. Średnia temperatura obliczona metodą M2 w porównaniu do średniej rzeczywistej była zaniżona w styczniu, kwietniu, maju, czerwcu i grudniu, natomiast zawyżona w marcu, sierpniu, wrześniu i październiku. Metoda M5 zawyżała wielkości średnie dobowej temperatury w okresie od kwietnia do sierpnia oraz w styczniu, średnio nawet do $0,5^{\circ}\text{C}$. Natomiast metoda M6 stosowana współcześnie, zaniżała wielkość średnią dobową temperatury w prawie wszystkich okresach miesięcznych (wyjątek stanowił lipiec, w którym różnica (Δt) M6-M1 wyniosła $0,0^{\circ}\text{C}$) (tab. 2).

Ekstremalne wielkości temperatury i zakres zmienności (odchylenie standardowe) wyznaczone różnymi metodami pomiędzy wielkościami średniej dobowej temperatury powietrza względem średniej rzeczywistej zmieniały się w kolejnych miesiącach (tab. 1). Średni rozstęp ($t_{max} - t_{min}$) ekstremalnych wielkości średniej dobowej temperatury powietrza dla metody M1 wyniósł $20,1^{\circ}\text{C}$. O $0,1^{\circ}\text{C}$ był on większy w metodzie M2 ($20,2^{\circ}\text{C}$), i o tę samą wielkość mniejszy w metodzie M3 ($20,0^{\circ}\text{C}$). Dla metod M4 i M6 średni rozstęp wyniósł $20,3^{\circ}\text{C}$, natomiast w metodzie M5 był największy, równy $20,4^{\circ}\text{C}$.

Zmienność czasowa średniej dobowej temperatury powietrza obliczonej wybranymi metodami była dość zbliżona (tab. 1). W metodzie M1, M4 i M6 odchylenie standardowe w poszczególnych miesiącach zmieniało się w przedziale od $2,7^{\circ}\text{C}$ do $5,3^{\circ}\text{C}$, w metodzie M2 i M5 w zakresie $2,8^{\circ}\text{C} - 5,3^{\circ}\text{C}$, natomiast metodę M5 charakteryzowała największa zmienność w granicach $2,6^{\circ}\text{C} - 5,4^{\circ}\text{C}$.

Tabela 1. Charakterystyki wyznaczone na podstawie ciągów dobowej temperatury powietrza obliczanej wybranymi metodami (M1, M2...M6)**Table 1.** Characteristics based on series of average daily air temperature calculated according to different methods (M1, M2...M6)

Metoda Method	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia dobowa temperatura powietrza (°C) Mean daily air temperature (°C)												
M1	-0,7	-0,5	3,6	9,0	13,9	16,2	18,2	18,5	13,5	8,2	4,2	-0,2
M2	-0,8	-0,5	3,7	8,8	13,6	15,9	18,2	18,5	13,6	8,3	4,2	-0,3
M3	-0,8	-0,5	3,6	9,0	13,9	16,2	18,2	18,5	13,5	8,2	4,2	-0,2
M4	-0,7	-0,5	3,6	8,9	13,9	16,2	18,2	18,5	13,5	8,1	4,2	-0,2
M5	-0,7	-0,5	3,6	9,1	14,3	16,7	18,6	18,7	13,4	8,1	4,2	-0,2
M6	-0,9	-0,6	3,5	8,6	13,7	16,1	18,2	18,3	13,3	8,0	4,1	-0,3
Najwyższa średnia dobowa temperatura powietrza (°C) The highest daily air temperature (°C)												
M1	11,2	10,6	11,8	22,1	24,0	26,7	27,5	25,2	21,8	17,6	11,4	10,2
M2	11,1	10,9	12,5	21,7	23,4	26,9	27,1	25,5	22,6	17,9	11,7	10,1
M3	11,3	10,7	12,0	22,1	24,1	26,5	27,4	25,2	21,7	17,6	11,4	10,2
M4	11,3	10,6	12,2	21,8	24,4	27,1	27,6	25,4	21,9	17,7	11,7	10,5
M5	11,2	10,3	11,6	22,5	24,8	28,3	28,7	26,1	22,2	18,0	11,3	9,8
M6	10,9	10,7	12,7	21,4	23,8	26,6	27,4	25,3	22,4	17,7	11,6	10,0
Najniższa średnia dobowa temperatura powietrza (°C) The lowest daily air temperature (°C)												
M1	-18,4	-17,4	-5,5	-1,1	3,5	8,5	11,4	11,9	7,2	-2,6	-2,7	-15,3
M2	-19,6	-17,1	-5,4	-1,0	2,9	8,5	12,0	11,9	7,6	-2,8	-2,5	-15,2
M3	-18,4	-17,2	-5,6	-1,0	3,5	8,7	11,4	12,0	7,3	-2,8	-2,7	-15,2
M4	-17,9	-17,2	-5,6	-1,0	3,7	9,0	11,3	11,8	7,2	-3,4	-3,3	-15,6
M5	-18,4	-18,2	-5,2	-1,3	4,0	8,5	12,2	11,6	6,7	-2,6	-2,7	-15,1
M6	-18,9	-17,5	-6,1	-1,3	3,3	8,6	11,9	11,7	6,7	-3,3	-2,7	-15,3
Odchylenie standardowe średniej dobowej temperatury powietrza (°C) Standard deviation of daily air temperature (°C)												
M1	4,7	5,3	3,4	4,2	3,6	3,3	3,0	2,7	2,9	3,7	3,0	4,4
M2	4,7	5,3	3,4	4,2	3,7	3,2	2,9	2,8	2,9	3,8	3,0	4,4
M3	4,7	5,4	3,4	4,2	3,6	3,3	2,9	2,6	2,8	3,7	3,0	4,4
M4	4,7	5,3	3,4	4,2	3,6	3,2	2,9	2,7	2,9	3,7	3,0	4,5
M5	4,7	5,3	3,4	4,4	3,8	3,5	3,1	2,8	2,9	3,7	3,0	4,4
M6	4,7	5,3	3,4	4,2	3,6	3,2	2,9	2,7	2,9	3,8	3,0	4,4
Współczynnik korelacji (R) Correlation coefficient (R)												
M2:M1	0,995	0,995	0,990	0,991	0,982	0,976	0,979	0,977	0,986	0,991	0,986	0,995
M3:M1	0,999	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999
M4:M1	0,996	0,997	0,994	0,995	0,991	0,990	0,992	0,989	0,989	0,996	0,993	0,997
M5:M1	0,993	0,995	0,989	0,992	0,981	0,979	0,978	0,979	0,985	0,987	0,984	0,992
M6:M1	0,998	0,998	0,990	0,995	0,991	0,991	0,987	0,986	0,987	0,994	0,995	0,998

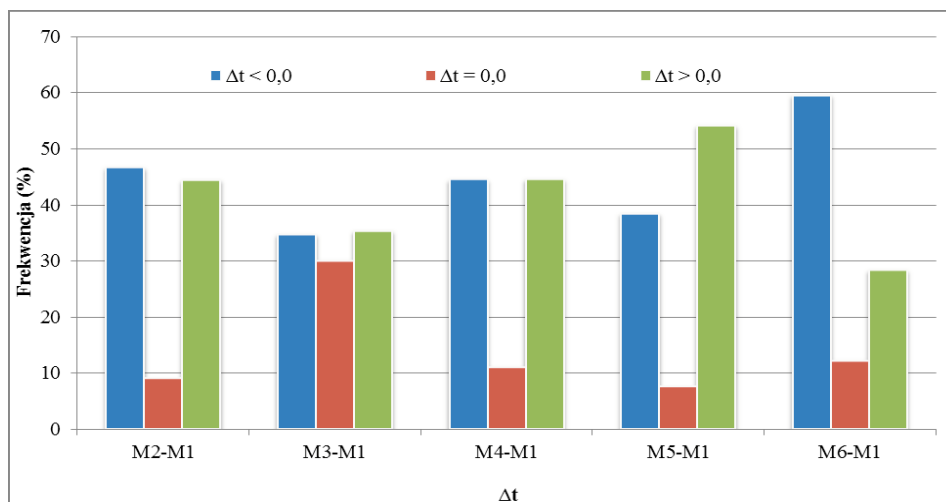
Źródło: Wyniki własne; Source: Authors' study results

Tabela 2. Różnice pomiędzy średnimi dobowymi temperaturami powietrza Δt ($^{\circ}\text{C}$) obliczonymi wybranymi metodami (M2, M3...M6), a średnią rzeczywistą (M1)
Table 2. Differences between average daily air temperature Δt ($^{\circ}\text{C}$) calculated by different methods (M2, M3...M6) and the average real (M1)

Metoda Method	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia różnica Δt ($^{\circ}\text{C}$) Mean difference Δt ($^{\circ}\text{C}$)												
M2-M1	-0,1	0,0	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,1
M3-M1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M4-M1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
M5-M1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0
M6-M1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1
Największa różnica dodatnia Δt ($^{\circ}\text{C}$) The biggest positive difference Δt ($^{\circ}\text{C}$)												
M2-M1	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,9	2,0	1,6	1,7
M3-M1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	0,6	1,1	0,5	0,4	0,6
M4-M1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,7	1,5	1,5	1,2	1,4	1,3	1,0	1,9
M5-M1	1,6	2,1	1,4	2,3	2,3	2,6	2,1	2,0	1,6	1,7	1,3	3,1
M6-M1	1,0	1,0	1,3	0,8	1,4	0,9	2,0	1,5	1,4	1,4	0,9	1,2
Największa różnica ujemna Δt ($^{\circ}\text{C}$) The biggest negative difference Δt ($^{\circ}\text{C}$)												
M2-M1	-1,8	-3,3	-1,2	-2,4	-2,6	-2,6	-2,0	-1,7	-1,6	-1,5	-2,4	-2,2
M3-M1	-2,3	-0,6	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5
M4-M1	-2,3	-1,6	-1,3	-1,4	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-0,9	-1,0	-1,2
M5-M1	-2,3	-1,2	-1,7	-1,5	-1,7	-1,4	-1,3	-2,2	-1,9	-1,6	-1,6	-2,8
M6-M1	-1,4	-1,2	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,3	-1,4	-1,6	-1,6	-1,4	-1,2
Odchylenie standardowe różnic ($^{\circ}\text{C}$) Standard deviation of differences ($^{\circ}\text{C}$)												
M2-M1	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
M3-M1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
M4-M1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
M5-M1	0,8	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6
M6-M1	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3

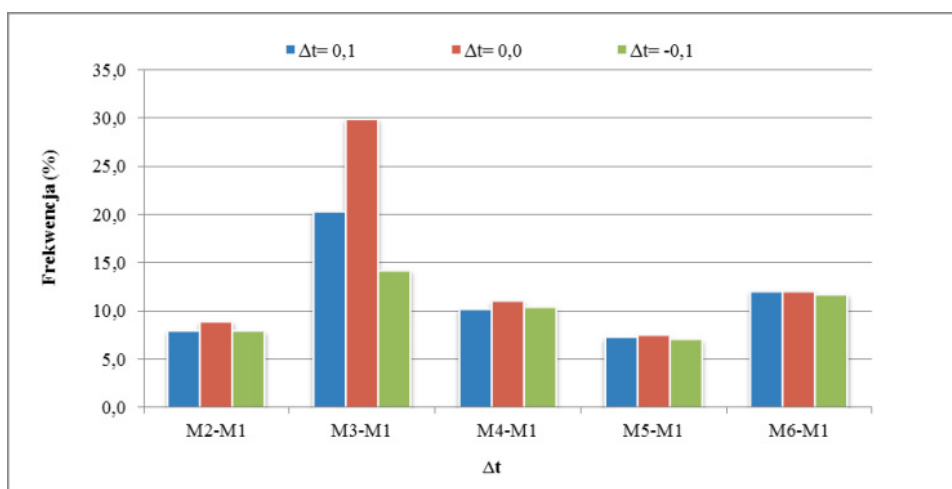
Źródło: Wyniki własne; Source: Authors' study results

Różnice wielkości średniej dobowej temperatury powietrza obliczonej wybranymi metodami (M2...M6), a metodą rzeczywistą (M1) miały charakter dwukierunkowy (rys. 1). Zakres wielkości różnic (Δt) pomiędzy wartościami średniej dobowej temperatury powietrza w odniesieniu do średniej rzeczywistej był największy w przypadku metody M5. Przyjął on w grudniu skrajne wartości z przedziału od $3,1^{\circ}\text{C}$ do $-2,8^{\circ}\text{C}$ (tab. 2). Najmniejsza zmienność różnic pomiędzy porównywanymi metodami charakteryzowała metodę M3 i mieściła się w granicach od $1,1^{\circ}\text{C}$ we wrześniu do $-2,3^{\circ}\text{C}$ w styczniu.



Źródło: Wyniki własne; Source: Authors' study results

Rysunek 1. Frekwencja wystąpienia różnic ze znakiem dodatnim/ujemnym [%]
Figure 1. Frequency of differences with plus/minus sign [%]



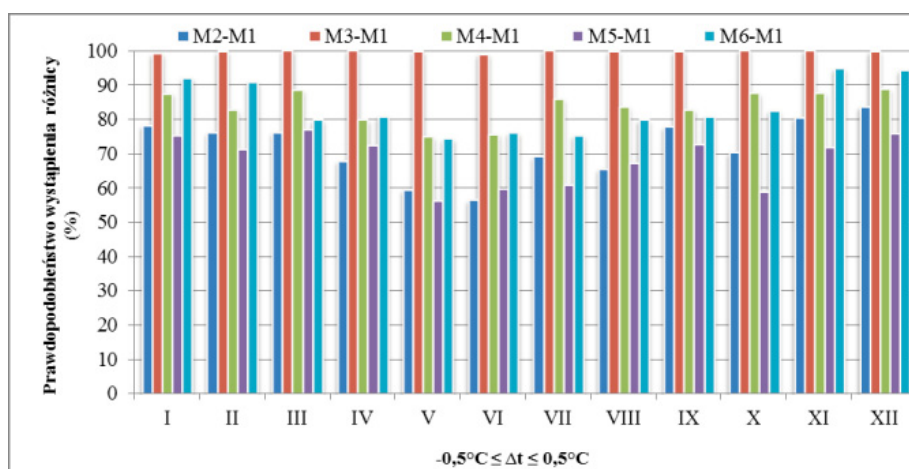
Źródło: Wyniki własne; Source: Authors' study results

Rysunek 2. Najczęściej występujące różnice Δt (°C) pomiędzy wielkościami średniej dobowej temperatury powietrza obliczanej wybranymi metodami (M2, M3...M6), a średnią rzeczywistą (M1)

Figure 2. The most common differences Δt (°C) between the average daily air temperature calculated by different methods (M2, M3 ... M6), and the average real (M1)

Różnice pomiędzy współcześnie stosowaną metodą M6, a metodą rzeczywistą mieściły się w zakresie $2,0^{\circ}\text{C}$ w lipcu i $-1,7^{\circ}\text{C}$ w kwietniu. Najczęściej występujące różnice pomiędzy wybraną metodą, a metodą rzeczywistą mieściły się w przedziale od $-0,1$ do $0,1^{\circ}\text{C}$ (rys. 2). W przypadku Δt M3-M1 stanowiły one łącznie blisko 66% wszystkich badanych przypadków, a dla Δt M6-M1 blisko 40%. Najrzadziej różnice w tym przedziale występowały pomiędzy metodą M5-M1 (ok. 22%) i M2-M1 (blisko 25%). Duże różnice, rzędu kilku stopni Celsjusza, zdarzały się sporadycznie i uwarunkowane były prawdopodobnie specyficznymi warunkami pogodowymi i związaną z nimi stosunkowo wysoką maksymalną lub bardzo niską minimalną dobową temperaturą powietrza.

Obliczono prawdopodobieństwo wystąpienia różnic rzędu $1,0^{\circ}\text{C}$ pomiędzy wybranymi metodami (M2...M6), a metodą średniej rzeczywistej (M1). Przedziały $-0,5^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 0,5^{\circ}\text{C}$ zostały wyliczone w taki sposób, aby środek każdego przedziału stanowiła wartość średniej różnicy pomiędzy daną metodą i metodą wzorcową (M1). Największym prawdopodobieństwem wystąpienia różnicy w założonym przedziale temperatury względem metody rzeczywistej charakteryzowała się metoda M3 (rys. 3).



Źródło: Wyniki własne; Source: Authors' study results

Rysunek 3. Prawdopodobieństwo wystąpienia różnicy $-0,5^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 0,5^{\circ}\text{C}$ pomiędzy wartościami dobowej temperatury powietrza obliczanej wybranymi metodami (M2, M3...M6), a średnią rzeczywistą (M1)

Figure 3. Probability of difference $-0,5^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 0,5^{\circ}\text{C}$ between the average daily air temperature calculated by different methods (M2, M3 ... M6), and the average real (M1)

We wszystkich analizowanych okresach miesięcznych prawdopodobieństwo to wynosiło 100% lub blisko tej wartości. Dość wysokim prawdopodobieństwem wystąpienia różnic z przedziału $-0,5^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 0,5^{\circ}\text{C}$ względem średniej rzeczywistej charakteryzowały się metody M4 i M6. Najmniejsza możliwość wystąpienia jednostopniowej różnicy cechowała metody M2 i M5. Prawdopodobieństwo wystąpienia różnicy z przedziału $-0,5^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 0,5^{\circ}\text{C}$ w metodach M2, M4, M5 i M6 zmieniało się w zależności od pory roku. W miesiącach wiosenno-letnich było nieco mniejsze, aniżeli w miesiącach półrocza chłodnego.

Analiza statystyczna pozwoliła stwierdzić, że pomiędzy badanymi seriami średniej dobowej temperatury powietrza obliczonej wybranymi metodami (M2...M6), a średnią rzeczywistą, (M1) istnieje silna zależność liniowa. Potwierdziły to wysokie współczynniki korelacji wyliczone dla porównywanych serii (tab. 1). Bardzo silna zależność względem średniej rzeczywistej charakteryzowała metodę M3, dość silna - metody M4 i M6, natomiast nieco słabsza - metody M2 i M5.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Rezultaty przeprowadzonych badań pozwalają stwierdzić, że różne metody obliczania średniej dobowej temperatury powietrza, oparte na innych terminach pomiarowych dostarczają wyników mniej lub bardziej zbliżonych do średniej rzeczywistej. Potwierdzają to prace innych autorów. Michalczewski [1987] przeprowadził badania na serii pomiarów temperatury powietrza w latach 1966-1975 dla stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie. Obliczył średnie dobowe różnymi wzorami i przy różnych kombinacjach terminów pomiarowych. Autor przedstawił w postaci procentowego udziału średniej częstości występowania odchyłeń od średniej rzeczywistej podkreślając, że w poszczególnych latach mogą występować daleko idące odstępstwa w procentowym udziale odchyłeń w poszczególnych przedziałach, przy zupełnym braku niektórych odchyłeń i większej liczebności w innych przedziałach. Urban [2010] dokonał porównania wartości średniej dobowej, miesięcznej i rocznej temperatury powietrza dla stacji Wrocław-Starachowice w latach 1998-2007. Autor podkreślił, że różnice i przedział zmienności pomiędzy średnimi dobowymi wartościami temperatury powietrza wyznaczonymi różnymi metodami względem średniej rzeczywistej były dużo większe niż różnice i zmienność między ich średnimi miesięcznymi. Spośród wybranych metod obliczeń średniej dobowej temperatury powietrza metoda oparta na wartościach temperatury z godziny 06 i 08 (UTC) oraz maksymalnej i minimalnej, w niniejszej pracy oznaczona, jako M6, dostarczyła wyniki średniej dobowej temperatury powietrza wyraźnie zaniżone względem metody rzeczywistej M1. Podobne rezultaty otrzymano w niniejszej pracy - różnice pomiędzy wartościami średniej temperatury dobowej (M6), a średnią rzeczywistą (M1) miały charakter ujemny. Natomiast metoda M5 w miesiącach wiosen-

no-letnich (IV- VIII) zawyżała średnie dobowe temperatury powietrza względem metody rzeczywistej (M1). Najdokładniejsza względem rzeczywistej (M1) była metoda M3, co potwierdzają wyniki otrzymane przez Urbana [2010] i metoda M4 [Lorenc i Suwalska-Bogucka 1995], która charakteryzowała się najmniejszymi wartościami odchylenia standardowego różnic spośród pozostałych metod. Metoda M2 bazująca na pomiarze ekstremalnych wartości temperatury powietrza była nieco mniej dokładna niż obecnie stosowana metoda M6. Różnice pomiędzy metodą M2 względem M1 miały charakter dwukierunkowy i charakteryzowały się nieco większą zmiennością aniżeli różnice pomiędzy metodami M6 i M1. Regułę tę potwierdzają wyniki Urbana [2010]. Również Filipiuk [2000/2001] podaje, że w przypadku metody bazującej na temperaturze maksymalnej i minimalnej, ze względu na stosunkowo duży zakres zróżnicowania błędów estymacji, zastosowanie poprawek może tylko ograniczyć wielkość odchylenia od wartości średnich rzeczywistych. Z opracowania Lorenc i Suwalskiej-Boguckiej [1995] wynika, że wzór $t_{sr} = t_{max} + t_{min} / 2$ nie spełniał założonych przez autorki kryteriów, tj. nie wystarczająco przybliżał średnią rzeczywistą i średnią z czterech głównych terminów synoptycznych (00, 06, 12 i 18 UTC).

Conner i Foster [2010] podkreślają, że dane cyfrowe gromadzone obecnie dzięki automatyzacji pomiarów klimatycznych stanowią szansę zrozumienia klimatu przeszłości, wykorzystując aktualne pomiary rzeczywiste. Aby uniknąć nieporozumień i błędnej interpretacji wyników, dane z każdej stacji należy oceniać, biorąc pod uwagę czas obserwacji i formuły, które stosowano w tym miejscu.

Wielkość różnic pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza wyznaczoną wybraną metodą, a średnią rzeczywistą zależy będzie głównie od metody obliczeniowej tej średniej. Większość formuł matematycznych pozwalających szacować dobowe zużycie wody przez rośliny, a tym samym sterować nawodnieniami, została opracowana w oparciu o m.in. średnie wartości temperatury pochodzące z obserwacji i pomiarów klimatologicznych, czyli prowadzone w wybranych terminach w ciągu doby [Żarski i in. 2011]. Zastosowanie w tych formułach średnich rzeczywistych, obliczanych w oparciu o pomiar automatyczny może prowadzić do otrzymania błędnych wyników, prowadzących do zawyżenia lub zaniżenia dobowego zużycia wody. Obecnie stosowana metoda wyznaczania średniej dobowej temperatury powietrza, bazująca na pomiarze temperatury o godzinie 06, 09 UTC, maksymalnej i minimalnej zaniża wartości średnie dobowe w stosunku do średniej rzeczywistej. Oznacza to, że zastosowanie wyników pomiarów temperatury powietrza ze stacji automatycznych może nieco zawyżyć ocenę zużycia wody przez rośliny.

WNIOSKI

1. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza wyliczone w oparciu o różne formuły matematyczne na podstawie terminowych obserwacji meteorologicznych różnią się od średnich dobowych temperatury powietrza wyznaczonych z procedury automatycznej obejmującej 24 godzinne pomiary.

2. Zastosowanie średniej temperatury powietrza obliczonej na podstawie pomiarów automatycznych do szacowania ewapotranspiracji może spowodować różnice w stosunku do wskaźników potrzeb wodnych obliczanych na bazie terminowych pomiarów meteorologicznych

LITERATURA

- Allen R. G. *New approaches to estimating crop evapotranspiration*. Acta Hort. 335, 1993, s. 287-294.
- Allen R. G., Smith M., Pereira L.S., Pruitt W.O. *Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements*. Proceedings of the 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. 449 (1), 1996, s. 17-33.
- Conner G., Foster S. *Daily Mean Temperature Formulas*. Proceedings of the 18th Conference on Applied Climatology, 17-21 January 2010, Atlanta, Georgia, USA, 6.6, s. 1-4.
- Doorenbos J., Pruitt W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Irrig. Drain. Paper 24, Rome 1977, 156 ss.
- Filipiuk E. *Ocena dokładności czterech metod estymacji średniej dobowej temperatury powietrza na przykładzie stacji Lublin-Radawiec i Szczecin-Dąbie (1976–1990)*. [w:] Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego. M. Nowosad (eds.). Wyd. UMCS, Lublin 1998, s. 33–41.
- Filipiuk E. *Ocena dokładności estymacji średniej miesięcznej temperatury powietrza*. Ann. UMCS, Sectio B, vol. LV/LVI, 18, 2000/2001, s. 153–158.
- Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S. *Porównanie ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej różnymi formułami z polowym zużyciem wody*. Zesz. Nauk. Akad. Rol. we Wrocławiu, 191, 1990, s. 25:30.
- Grabarczyk S., Żarski J. *Próba statystycznej weryfikacji niektórych wzorów określających ewapotranspirację potencjalną*. Zesz. Nauk. 180, Rolnictwo (32), 1992, s. 169-175.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A. *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Appl. Eng. Agric. 1, 1985, s. 96-99.
- Kowalczyk S., Sadowski M. *Porównanie średnich dobowych wartości temperatury powietrza liczonych różnymi wzorami*. Wiad. Śl. Hydr. i Met., VIII (XX), 2, 1972, s. 59–61.
- Lorenc H. & Suwalska-Bogucka M. *Dlaczego nie można zrezygnować z nocnych obserwacji temperatury i wilgotności względnej powietrza na posterunkach meteorologicznych?* Gazeta Obserwatora IMGW, IMGW Warszawa, z. 6, 1993, s. 7–9.
- Lorenc H. & Suwalska-Bogucka M. *Metody obliczania średniej dobowej temperatury i wilgotności względnej powietrza*. Mat. Bad. IMGW, Seria: Meteorologia, 24, 1995, s. 5–41.
- Michalczewski J. *Materiały porównawcze rezultatów obliczeń przybliżonej średniej temperatury powietrza, uzyskanych przy zastosowaniu różnych wzorów*. Mat. Bad. IMGW, Seria: Meteorologia, 11, 1987, s. 5-20.
- Miętus M. *Jednorodność wieloletnich serii pomiarowych. Rzeczywistość czy fikcja?* Ann. UMCS, Sectio B, vol. LV/LVI, 29, 2000/2001, s. 239–249.

- Przybylak R., Vizi Z. *Ocena dokładności stosowanych metod obliczania średnich i ekstremalnych dobowych wartości temperatury powietrza w Arktyce Amerykańskiej w XIX wieku*. Prob. Klimat. Pol., 15, 2005, s. 27–39.
- Toreti A., Kuglitsch F., Xoplaki E., Luterbacher J., Wanner H. *A Novel Method for the Homogenization of Daily Temperature Series and Its Relevance for Climate Change Analysis*. J. Climate, 23, 2010, s. 5325–5331.
- Urban G. *Ocena wybranych metod obliczania średniej dobowej, miesięcznej i rocznej wartości temperatury powietrza (na przykładzie Sudetów Zachodnich i ich przedpola)*. Opera Corcontica 47/2010 Suppl. 1, 2010, s. 23–34
- Venema V., Lindau R., Rustemeier E., Kapala A., Simmer C. *Homogenisation on monthly and daily temperature and precipitation data*. 9. Deutsche Klimatagung, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Oktober 9-12. 2012.
- WMO. *Guide to Climatological Practices. Weather, Climate, Water*. World Meteorological Organization - No. 100, Geneva 2011.
- Zhongwei Y., Chi Y., Jones P. *Influence of inhomogeneity on the estimation of mean and extreme temperature trends in Beijing and Shanghai*. Adv. Atmos. Sci., Vol. 18, No. 3, 2001, s. 309-321.
- Zaiki M., Kimura K., Mikami T. *A Statistical estimate of daily mean temperature derived from a limited number of daily observations*. Geophys. Res. Lett., Vol. 29, No. 18, 2002, s. 39-1-39-4.
- Żarski J., Treder W., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R. *Ustalenie terminów nawadniania na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych*. Infr. Ekol. Teren. Wiejsk., Nr 6, 2011, s. 101-108.

Dr inż. Renata Kuśmierk-Tomaszewska
Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski
Dr inż. Stanisław Dudek
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6
tel. 52 3749516
e-mail: rkusmier@utp.edu.pl