

MODELOWANIE DOBOWEJ ZMIENNOŚCI TEMPERATURY GLEBY I POWIETRZA PRZY POMOCY FUNKCJI WIELOMIANOWYCH

Małgorzata Rojek¹, Marian S. Rojek²

¹Institut Budownictwa i Architektury Krajobrazu, Akademia Rolnicza
Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław
e-mail: mrojek@ozi.ar.wroc.pl

²Institut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza
Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

Streszczenie. Standardowe oprogramowanie automatycznych stacji meteorologicznych umożliwia zapisywanie mierzonych parametrów z dużą częstością. Powoduje to jednak archiwizację zbędnego balastu niepotrzebnych danych, z których większa część prawdopodobnie nie będzie wykorzystana. Gromadzenie tych danych niepotrzebnie obciąża pamięć loggera lub innych tego typu urządzeń. W przypadku znalezienia modeli funkcji, które pozwolą odtworzyć – z zadaną dokładnością – zmienność danego elementu w przyjętym cyklu czasowym, do archiwizacji danych wystarczą parametry wybranych funkcji. W pracy przedstawiono wyniki modelowania dobowej zmienności (na podstawie wartości godzinnych) temperatury powietrza i gleby na kilku głębokościach. Wykorzystano dane pomiarowe z lat 2000-2002, uzyskane z rejestracji przy pomocy automatycznej stacji meteorologicznej CR23X firmy Campbell Sci. Ltd., zainstalowanej w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii AR we Wrocławiu. W warunkach ustalonej, stabilnej pogody dobre przybliżenie można uzyskać stosując funkcje wielomianowe wyższych rzędów. Na przykład przy bardzo typowej zmienności temperatury gleby i powietrza wystarczająco dobrze opisuje ich przebieg wielomian 3 rzędu (do archiwizacji danych wystarczą wtedy 4 wartości). Wszystkie obliczenia wykonano za pomocą programu komputerowego *Statistica* (wersja 5).

Słowa kluczowe: funkcje wielomianowe, temperatura gleby i powietrza, zmienność dobową

WSTĘP

Coraz powszechniej wykorzystywane automatyczne stacje meteorologiczne (Automatic Weather Station) umożliwiają o wiele większą – w porównaniu z metodami „klasycznymi” – częstość próbkowania mierzonych parametrów. Standardowe oprogramowanie stacji automatycznych pozwala zapisywać dane

z częstością kilku- lub kilkunastosekundową. Zgromadzenie tak dużej ilości danych pomiarowych umożliwia w zakresie znacznie szerszym, w porównaniu z metodami „klasycznymi”, ich wykorzystanie do modelowania z zastosowaniem najnowszych narzędzi matematycznych [2,8] i analizy szeregów czasowych. Należy jednak zwrócić uwagę, że nie zawsze można ciągi pomiarowe ze stacji automatycznych łączyć z danymi wcześniejszymi ze względu na różnice w dokładności i częstotliwości pomiarów [5,6].

Dotychczasowe standardy archiwizacji danych mogą w pewnych sytuacjach zostać uproszczone. Do odtworzenia dokładnego przebiegu wybranego parametru meteorologicznego w przyjętym cyklu czasowym (np. doba) wystarcza niejednokrotnie znajomość wartości z kilku terminów pomiarowych (lub średnich z krótszego odcinka czasu), zamiast wszystkich rejestrowanych danych. Jeśli uda się znaleźć model funkcji, która pozwala odtworzyć zmienność danego elementu w założonym okresie czasu, do archiwizacji danych wystarczą parametry dobranej funkcji.

Następnym etapem wykorzystania rejestrowanych danych – po znalezieniu modelu funkcji najlepiej opisującej zmienność znalezionej parametru – może być analiza szeregów czasowych. Jedną z grup takich metod opracowania wyników na podstawie składowych deterministycznej i stochastycznej, przydatnych szczególnie do stosowania w badaniach zmian klimatu, omówiono dokładnie w monografii von Storcha i in. [7]. Metodologia oraz algorytmy innych modeli zaproponowane przez Boxa i in. [1] – wydanie angielskie z roku 1976 – zyskały popularność w wielu dziedzinach. Ogólny model opracowany przez tych autorów zawiera parametry autoregresyjne i średniej ruchomej oraz wprowadza operator różnicowania do postaci modelu. Modelowanie techniką ARIMA znajduje zastosowanie w badaniach wielu elementów klimatycznych i hydrologicznych [3,4].

MATERIAŁ I METODY

Celem pracy było znalezienie modelu funkcji najlepiej opisujących dobową zmienność temperatury gleby i powietrza. Do obliczeń wykorzystano godzinne wartości z lat 2000-2002 uzyskane za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej firmy CAMPBELL Sci. Ltd (model CR23X) zainstalowanej na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii AR Wrocław-Swojec. Na podstawie wyników próbkowania co 60 sekund logger zestawia raporty godzinne i dobowe. Wartość dla godziny 1 oznacza średnią z pomiarów wykonywanych co minutę od godziny 0,30 do godziny 1,29.

Oba analizowane parametry meteorologiczne wykazują wyraźną dobową cykliczność. Szczególnie w warunkach ustalonej pogody dobową zmienność temperatury gleby (t_g) i powietrza (t_p) jest przede wszystkim efektem zmian salda promieniowania, strat utajonego ciepła parowania i strumienia ciepła jawnego,

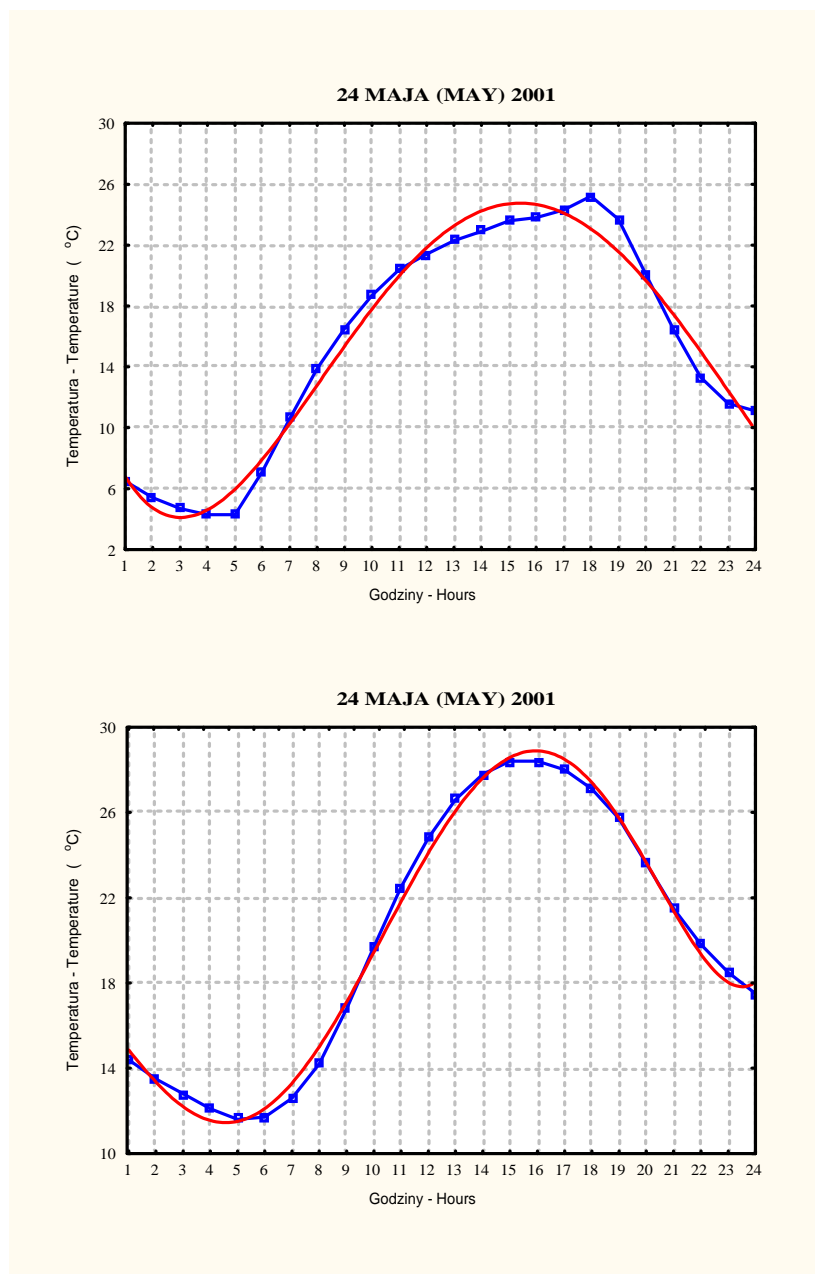
czyli składowych bilansu cieplnego powierzchni czynnej. Od wschodu do zachodu Słońca powierzchnia gleby ogrzewa się pochłaniając promieniowanie krótkofalowe, w nocy następuje ochłodzenie spowodowane wypromieniowaniem długofalowym. Efektem tego jest występowanie – najczęściej – jednego maksimum (wczesne godziny popołudniowe) i jednego minimum (krótco po wschodzie Słońca) w dobowym cyklu zmian temperatury gleby i powietrza.

Taka regularność oraz wyniki wcześniejszych badań autorów podsunęła myśl, aby szczegółowej analizie poddać funkcje wielomianowe; obliczenie przeprowadzono dla kilku modeli tych funkcji, w których zmienną niezależną była godzina pomiaru. Założono, że przyjęty model teoretyczny dobrze oddaje zmienność rzeczywistych wartości rozpatrywanego parametru, jeśli współczynnik determinacji (R^2) osiąga wartości większe od 0,95. Drugim kryterium wyboru była liczba estymowanych parametrów niezbędnych w modelu. Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą programu STATISTICA (wersja 5).

WYNIKI I DYSKUSJA

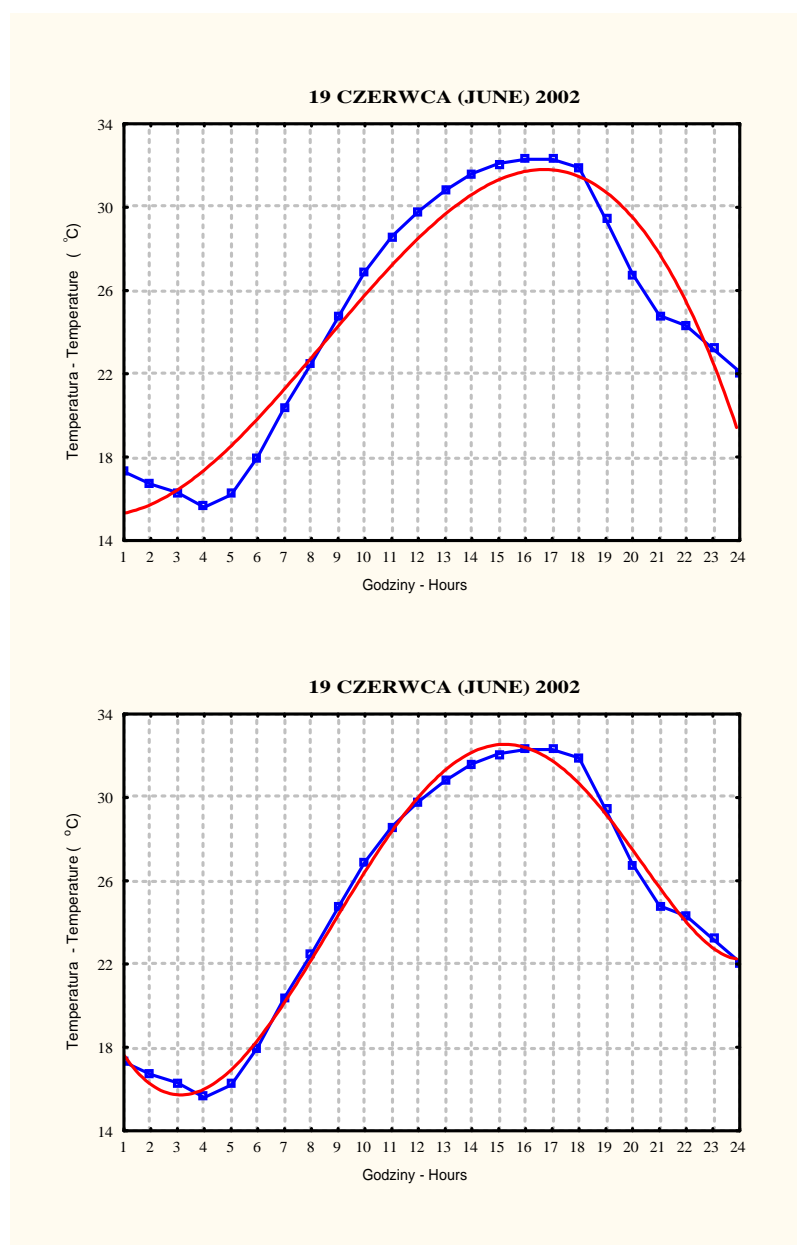
Dla ilustracji uzyskanych wyników wybrano 7 dób w miesiącach letnich lat 2000-2002 i 2 doby w miesiącach zimowych. Dni te wybrano, dlatego że dobową zmienność obu analizowanych elementów meteorologicznych była bardzo duża. We wszystkich przypadkach dane dla temperatury gleby dotyczą głębokości 5 cm. W roku 2000 analizowano przebieg temperatury gleby pod powierzchnią trawiastą, natomiast w latach 2001 i 2002 – temperatury gleby na poletku gleby bez roślin (ugór).

Wszystkie wybrane doby charakteryzują się cyklicznością typową dla warunków ustalonej pogody wyżowej (zmiany okresowe). Przebieg temperatury gleby i powietrza był uwarunkowany głównie dobową zmiennością bilansu radiacyjnego. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wartości godzinne w dniach 24 maja 2001 r. oraz 19 czerwca 2002 r., natomiast wyniki dopasowania wybranych funkcji wielomianowych według przyjętego kryterium (R^2) zamieszczono w tabeli 1. Dobową zmienność temperatury gleby na gł. 5 cm oraz temperatury powietrza w dniu 24 maja 2001 (rys. 1) bardzo dobrze opisują wielomiany 5 rzędu ($R^2 > 0,99$). Dla innej doby charakteryzującej się okresową cyklicznością (19 czerwca 2002, rys. 2) w przypadku wielomianu 3 rzędu przybliżenie przebiegu temperatury jest dobre ($R^2 = 0,931$), natomiast dla wielomianu 5 rzędu spełnia przyjęte kryteria ($R^2 = 0,992$).



Rys. 1. Przebieg godzinnych wartości temperatury powietrza (góra) i temperatury gleby na gł. 5 cm (dół) w dniu 24 maja 2001 mierzonych i obliczonych wielomianami 5 rzędu (linia ciągła)

Fig. 1. The course of hourly values of air temperature (upper) and soil temperature (lower) on 24 May 2001 measured and estimated polynomial of fifth order (continous line)



Rys. 2. Przebieg godzinnych wartości temperatury powietrza w dniu 19 czerwca 2002 mierzonych i obliczonych wielomianami 3 rzędu (linia ciągła, góra) i 5 rzędu (linia ciągła, dół)

Fig. 2. The course of hourly values of air temperature on 19 June 2002 measured and estimated polynomials of third order (continous line, upper) and fifth order (continous line, lower)

Tabela 1. Wartości współczynników determinacji (R^2) dla funkcji wielomianowych 5. rzędu
Table 1. Values of determination coefficients (R^2) for polynomial functions of 5th order

Data – Day	10.06 2000	17.07 2000	19.07 2000	11.02 2001	24.05 2001	15.07 2001	04.01 2002	19.062002	25.08 2002
Temperatura powietrza Air temperature	0,995	0,937	0,983	0,973	0,997	0,938	0,954	0,992	0,986
Temperatura gleby Soil temperature	0,989	0,944	0,988	–	0,994	0,988	–	0,994	0,978

W każdym okresie roku zdarzają się sytuacje, gdy dobowa zmienność obu analizowanych parametrów wyraźnie odbiega od ogólnych prawidłowości (zmiany nieokresowe). W takich sytuacjach przybliżenie przebiegu nawet wielomianami 7 rzędu nie daje zadawalających rezultatów. W sytuacjach, gdy znalezienie funkcji pozwalającej uzyskać założoną wartość współczynnika determinacji nie jest możliwe, zbiór danych powinien być przechowywany w całości. Uzyskane wyniki potwierdzają rezultaty przedstawione przez autorów we wcześniejszych pracach.

WNIOSKI

Podjęta w pracy próba opisanego dobowej zmienności temperatury gleby i powietrza za pomocą wielomianów wyższego rzędu przyniosła zadawalające rezultaty. W warunkach stabilnej pogody, przy braku szybko przemieszczających się frontów atmosferycznych (a takie sytuacje w Polsce przeważają), dobre wyniki można uzyskać stosując nawet wielomiany 3 rzędu. W przypadku wielomianów 5 rzędu współczynniki determinacji wyraźnie przekraczają wartości 0,95. Można to wykorzystać przy archiwizacji danych, znacznie ograniczając liczbę zapisywanych wartości (tylko parametry funkcji, a nie wszystkie wielkości godzinne).

PIŚMIENNICTWO

1. **Box G.E., Jenkins G.M.:** Analiza szeregów czasowych. PWN, Warszawa, 1983.
2. **Licznar P., Rojek M.S.:** Ocena warunków termicznych profilu glebowego przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych. Acta Agrophysica, 3(2), 317-323, 2004.
3. **Pelletier J.D., Turcote D.L.:** Long range persistence in climatological and hydrological time series: analysis, modelling and application to drought hazard assessment. Jour. of Hydr., 203, 198-208, 1997.
4. **Rojek M.:** Pomiary, modele oraz statystyczne metody opracowania elementów meteorologicznych w świetle literatury. W: Mat. III Forum Inż. Ekol. „Modelowanie matematyczne w strategii gospodarowania środowiskiem”, Nałęczów, 159-163, 2000.
5. **Rojek M., Rojek M.S.:** Modelowanie dobowej zmienności temperatury i wilgotności powietrza przy pomocy funkcji wielomianowych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Mel.XLIII, 417, 137-150, 2001.

6. **Rojek M., Rojek M.S., Łomotowski J.:** Porównanie danych meteorologicznych uzyskiwanych przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej. *Annales UMCS Lublin, LV/LVI,37, 299-307, 2000/2001.*
7. **von Storch H., Zwiers F.W.:** *Statistical analysis in climate research.* Cam. Univ. Press, 1999.
8. Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowania danych automatycznych stacji meteorologicznych. Praca zbiorowa pod red. **J. Łomotowskiego i M.S. Rojka.** Wyd. AR we Wrocławiu, Monografie XXV, 428, 2001.

APPLYING POLYNOMIAL FUNCTIONS TO MODELLING 24-HOUR VARIABILITY OF SOIL AND AIR TEMPERATURE

Małgorzata Rojek¹, Marian S. Rojek²

¹Institute of Building and Landscape Architecture, Agricultural University
Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław
e-mail: mrojek@ozi.ar.wroc.pl

²Institute for Land Reclamation and Environmental Development, Agricultural University
Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław
e-mail: rojek@ozi.ar.wroc.pl

Abstract. Standard software of Automatic Weather Stations allows for measured parameters recording with a high frequency. It leads to the registration of superfluous ballast of unnecessary data, gross of which probably will not be used. This data collection unnecessary burdens the memory of the data logger or other similar devices. Parameters of chosen functions are sufficient for the data recording in case of model functions, which allow for reconstruction – with a set up accuracy – variability of a given parameter in accepted time series, are found. Results of daily variability modelling (on the base of hourly values) of air temperature and soil temperature for a few depths were presented at the paper. The results of measurements from the years 2000-2002, obtained from the registration of CR23X Automatic Weather Station of Campbell Sci. Ltd, installed at the AU Agro- and Hydrometeorological Observatory in Wrocław, were used. In case of stabilized weather the good approximation result may be obtained with the use of polynomials functions of higher orders. For example in the case of very typical soil and air temperature variability, their course is described enough good by the polynomial of the 3rd order (4 values are sufficient for the data registration). All the calculations were made with the use of *Statistica* (ver.5) computer program.

Key words: polynomial functions, soil and air temperature, daily variability