

Waldemar Samociuk¹, Dariusz Wołos²

DOBÓR CZASU PRÓBKOWANIA DLA SZEREGU CZASOWEGO TEMPERATURY REJESTROWANEJ PODCZAS MAGAZYNOWANIA ZIARNA ŻYTA

Streszczenie. W pracy przedstawiono procedurę wyznaczania czasu próbkowania dla szeregów czasowych opartą na warunku Shanona. Zaprezentowany przykład dotyczy przechowywania ziarna żyta. Proces magazynowania materiałów sypkich organicznych jest monitorowany w celu prognozowania stanu samozagrzewania, które na ogół jest niebezpieczne. Systemy stosowane do monitorowania procesu są oparte na technice cyfrowej, w której pomiar jest realizowany w odstępach czasowych (czas próbkowania).

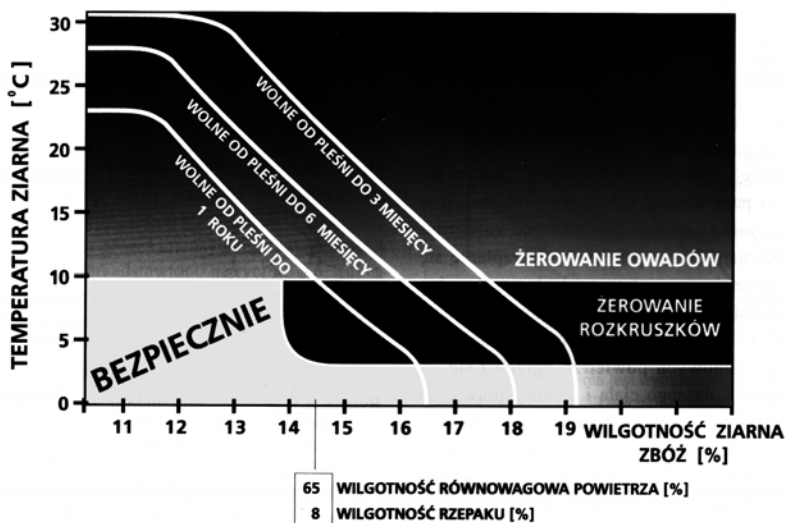
Słowa kluczowe: Monitorowanie procesu, Czas próbkowania, Magazynowanie, Analiza częstotliwościowa.

WPROWADZENIE

Podczas eksploatacji maszyn spożywczych występują różnorodne procesy, do których można zaliczyć samoczynne zagrzewanie (samozagrzewanie) materiałów sypkich organicznych. Proces przechowywania materiałów sypkich pochodzenia organicznego, do których należą także masy ziarna żyta został scharakteryzowany w licznych opracowaniach, np. [6, 7, 16]. Proces ten posiada szereg wielkości go opisujących, do których należą m. in.: temperatura materiału i otoczenia, wilgotność materiału i otoczenia, poziom rozwoju życia biologicznego, wydzielanie się CO₂, itp. W trakcie przechowywania tego rodzaju materiału występuje istotne ryzyko jego samozagrzewania. W literaturze wymienia się temperaturę i wilgotność jako główne czynniki mające wpływ na występowanie tego procesu [16]. Wzrost temperatury i wilgotności sprzyja rozwojowi życia biologicznego oraz następuje wzrost intensywności oddychania ziarniaków. Zagrożenia wynikające z zaistnienia samozagrzewania materiału wymuszają konieczność monitorowania procesu magazynowania oraz diagnozowania występowania stanu samozagrzewania. Ze względu na specyfikę stosowanych urządzeń, niemal całkowicie zdominowanych przez systemy mikroprocesorowe, pojawia się konieczność doboru czasu próbkowania. W pracy zostało omówione zagadnienie doboru czasu próbkowania oraz zaprezentowano przykład dla procesu magazynowania ziaren żyta.

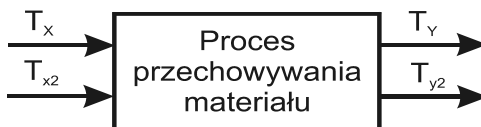
¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

² Politechnika Lubelska.



Rys. 1. Warunki bezpiecznego przechowywania ziarna [16]
 Fig. 1. Conditions of safe storage of grains

W pracy [17] dla potrzeb prognozowania stanów, w których występuje samozagrzewanie materiałów magazynowanych wybrano dwa sygnały wejściowe (T_x , T_{x2}) opisane przez wartości temperatur otoczenia oraz dwa sygnały wyjściowe (T_y , T_{y2}) – temperatury materiału. Temperatura materiału T_y mierzona była w takim miejscu, gdzie występuje największe ryzyko pojawienia się stanu samozagrzewania [17]. Schemat analizowanego procesu przedstawiono na rys. 1. Przebiegi temperatur materiału i otoczenia mają charakter sygnałów stochastycznych (losowych), dlatego do analizy tych sygnałów wykorzystano metody opracowane dla tego rodzaju sygnałów.



Rys. 2. Schemat blokowy procesu analizowanego w pracy [17]
 Fig. 2. Block scheme of process

W danych zapisanych w szeregu czasowym można wyodrębnić składnik systematyczny oraz losowy szum. Zakłócenia (szum) utrudniają identyfikację modelu, dlatego analizy szeregów czasowych wymagają odfiltrowania szumu w celu uwidocznienia składnika systematycznego. Jeśli szereg czasowy zawiera istotny składnik losowy, to pierwszym etapem w procesie identyfikacji jest

wygładzanie. Metody wygładzania zostały opisane m. in. przez G. E. P. Boxa i G. M. Jenkinsa [3], P. F. Vellemana i D. C. Hoaglina [20], S. Płaskę [15].

W trakcie analizy szeregów czasowych bardzo ważnym zagadnieniem jest częstość (czas) próbkowania. W trakcie rejestracji pomiarów należy zadbać o to, by nie utracić ważnych informacji o sygnale, zatem częstość próbkowania powinna być odpowiednio wysoka. Zbyt częste próbkowanie może jednak doprowadzić do błędnych wyników oraz utrudnić wnioskowanie. Zaleca się zatem, by próbkowanie spełniało warunek Shanona [9]

DOBÓR CZASU PRÓBKOWANIA

W celu wykrycia postępujących w czasie zmian należy pobierać próbki ze ściśle określoną, stałą częstotliwością. Dobrana częstotliwość powinna odzwierciedlać potencjalne możliwości zmian [2, 12] oraz być uzależniona od cech toru pomiarowego [19].

Jeżeli wartości $z(t)$ można przedstawić jako sumę przebiegów sinusoidalnych o częstotliwościach $f \in \langle 0, f_s \rangle$ to częstotliwość f_s nazywamy częstotliwością Shanona i warunek na okres próbkowania jest następujący [5, 9]:

$$\Delta \leq \frac{0.5}{f_s}$$

gdzie: Δ – okres próbkowania.

Jeżeli warunek ten nie będzie spełniony to możemy oczekiwać utraty części informacji. Zastosowanie podczas identyfikacji parametrycznej zbyt krótkiego czasu próbkowania może prowadzić do problemów numerycznych i błędnej oceny wyznaczonego modelu [9]. Dla procesów inercyjnych zalecany jest następujący dobór okresu próbkowania [8, 10, 13, 14]:

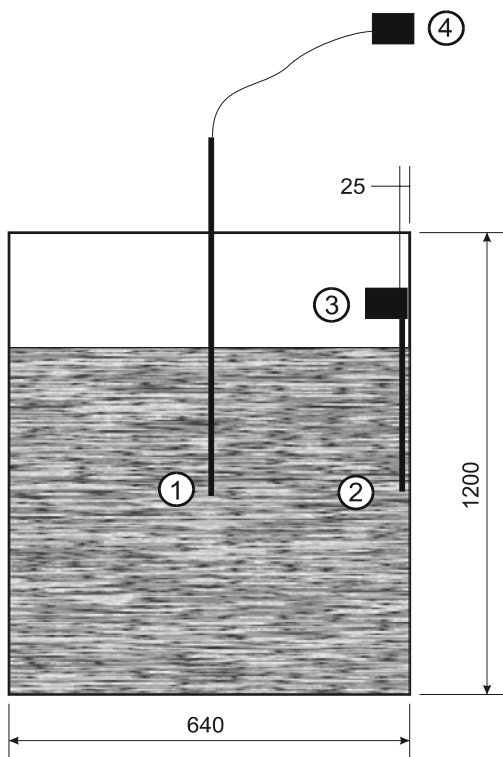
$$\Delta \approx 0.2 \div 0.5T$$

gdzie: T – stała czasowa procesu.

Natomiast dla procesów o wyraźnie różniących się stałych czasowych, oscylacyjnych lub nieminimalno-fazowych dobór można wykonać wg wzoru:

$$\Delta \approx 0.2 \div 0.5T_{95}$$

gdzie: T_{95} – oznacza wartość czasu, po którym zmienność odpowiedzi skokowej jest mniejsza o 5% od całego przyrostu [1, 8, 18].



Rys. 3. Stanowisko badawcze, 1 – T_y , 2 – T_{y2} , 3 – T_x , 4 – T_{x2}
Fig. 3. Research station, 1 – T_y , 2 – T_{y2} , 3 – T_x , 4 – T_{x2}

W trakcie eksperymentu przechowywano ziarno żyta odmiany „Dańkowskie złote” (38.6% udziału w rynku [11]) w specjalnie przygotowanych zbiornikach, w warunkach naturalnych bez przewietrzania. Badania rozpoczęto 2-3 tygodnie po zbiorze materiału. Wielkości charakteryzujące materiał podano w tablicy 1. W trakcie eksperymentu rejestrowano temperaturę w czterech punktach pomiarowych (rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawia schemat na rys. 3). Zbiornik napełniono ziarnem żyta do wysokości ~ 0.9 m.

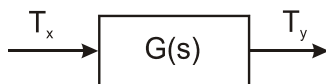
Tablica 1. Warunki początkowe eksperymentu
Table 1. Initial values of experiment

Masa	200 kg
Objętość	0.3 m ³
Temperatura początkowa ziarna	23°C
Zawartość wody	14.1%
Temperatura początkowa powietrza	24°C

Podczas przechowywania ziarna żyta rejestrowane były w sposób ciągły temperatury w następujących miejscach: 1 – w środku masy ziarna zboża (T_y), 2 – w pobliżu ścianki (T_{y2}), nad powierzchnią (T_x) oraz na wysokości dwóch metrów od dna zbiornika (T_{x2}). Czujnik temperatury T_y był umieszczony na głębokości ~ 300 mm od powierzchni ziarna zboża. Do rejestracji temperatur użyto czujników bezprzewodowych, współpracujących z systemem zbierania danych, wykonanym w Katedrze Automatyki Politechniki Lubelskiej. Czas obserwacji wyniósł 49 dni. Czas próbkowania wynosił 30 sekund.

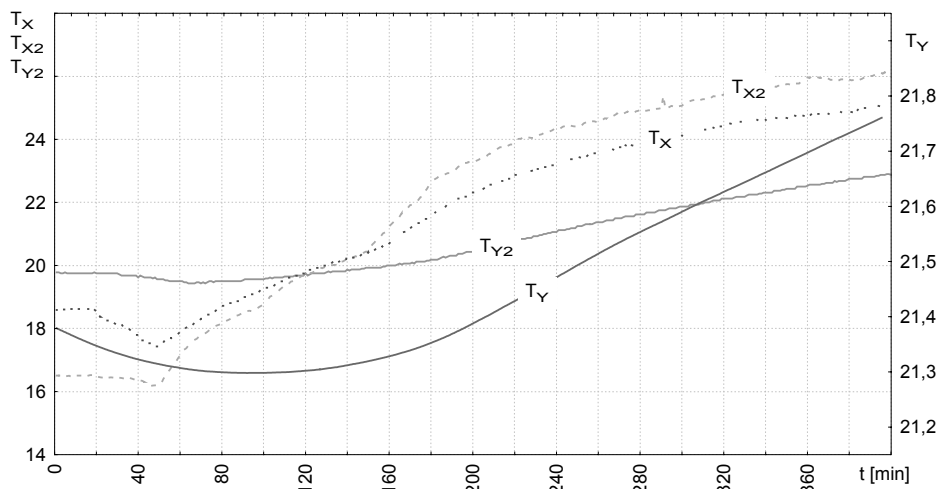
WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE PROCESU

Obiektem sterowania jest zbiornik wypełniony materiałem sypkim (ziarno żyta), wielkością wejściową jest temperatura otoczenia natomiast wielkością wyjściową temperatura materiału w środku zbiornika. Na rys. 4 przedstawiono uproszczony schemat blokowy procesu ($G(s)$ – transmitancja operatorowa obiektu). Identyfikację i aproksymację obiektu można przeprowadzić na podstawie odpowiedzi układu na wymuszenie. Najczęściej do tego celu stosuje się wymuszenie skokowe. Niestety w trakcie badań nie było możliwe przeprowadzenie tego typu eksperymentu. Przeprowadzono zatem identyfikację i aproksymację na podstawie wymuszenia impulsowego [17]. Przebieg czasowy temperatury otoczenia potraktowano jako szereg impulsów. Metoda ta została przedstawiona w licznych publikacjach, m.in. [4], [15]. Analizując przebiegi temperatur można przyjąć, że opóźnienie transportowe wynosi około 30-40 minut (rys. 5).



Rys. 4. Schemat blokowy procesu

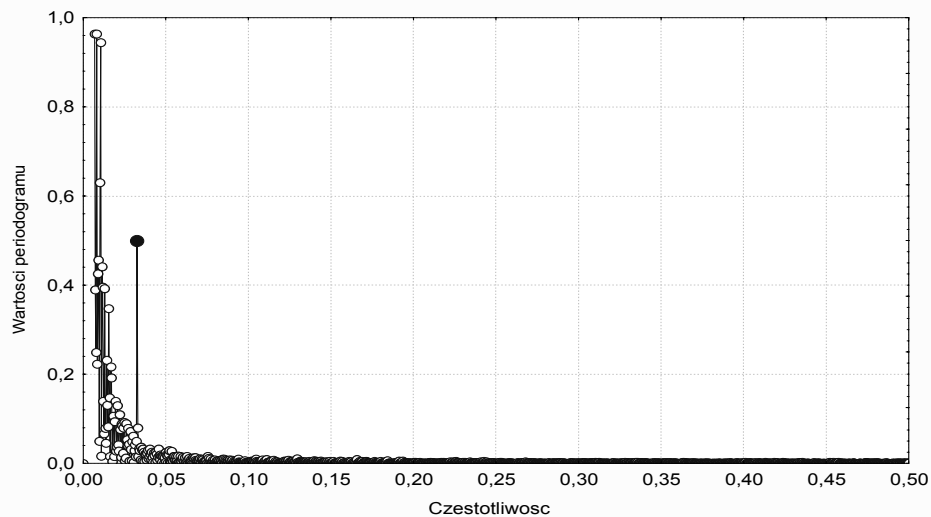
Fig. 4. Block scheme of process



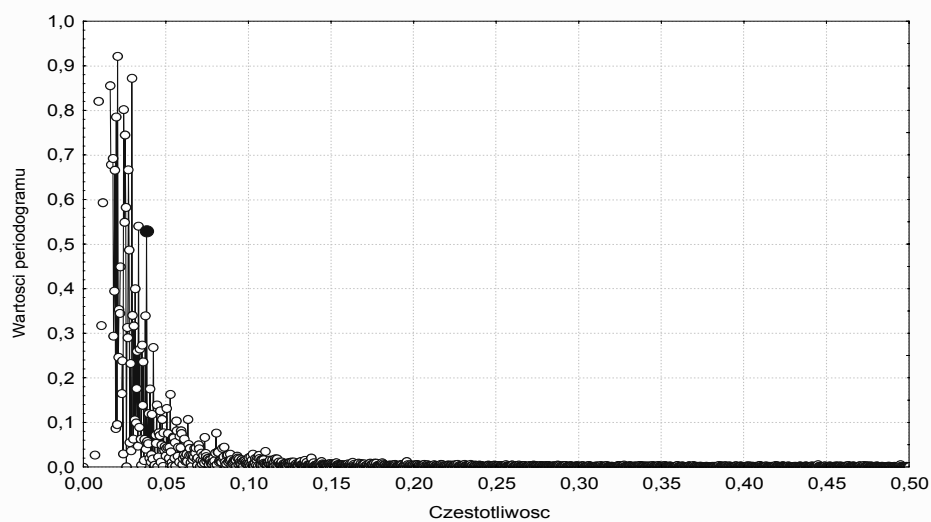
Rys. 5. Przebiegi temperatur w wybranym przedziale czasowym
Fig. 5. Times series of temperature in chosen period of time

WYZNACZANIE WARUNKU SHANONA DLA ANALIZOWANYCH SYGNAŁÓW

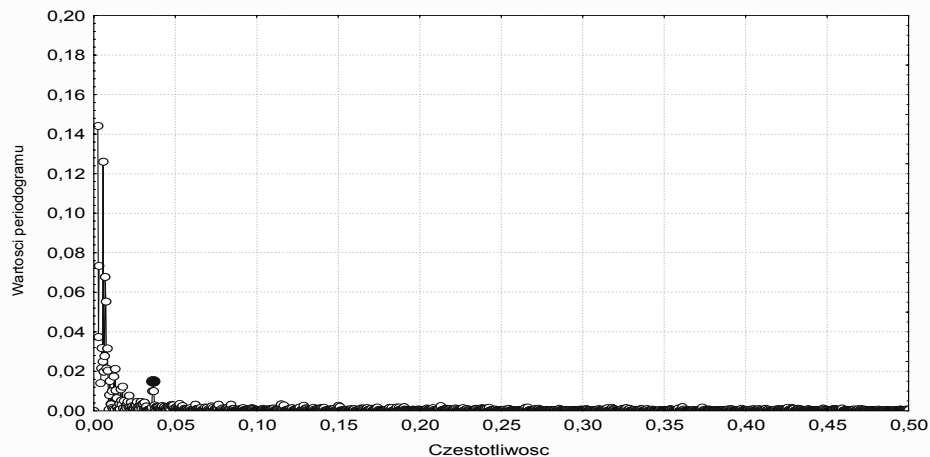
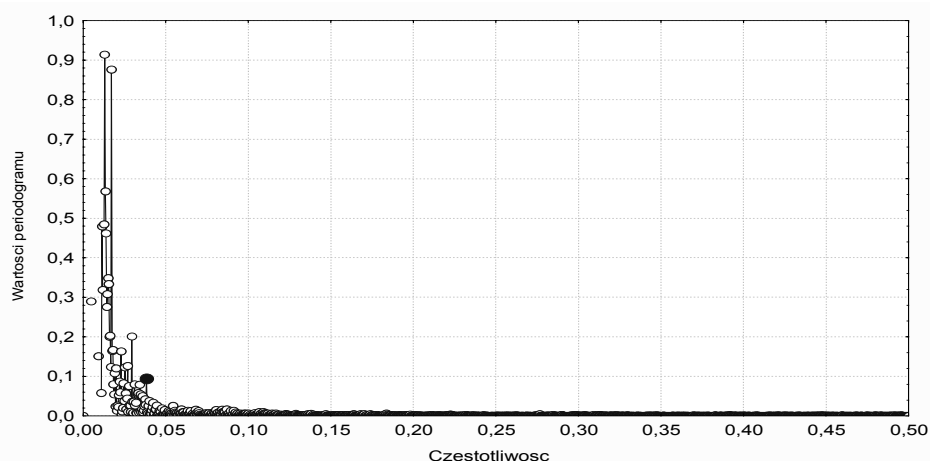
Na rys. 6 przedstawiono periodogram dla sygnału T_{Y2} . Częstotliwość $f_s = 0,033$, czyli minimalny okres próbkowania wynosi $\Delta = 15.3$ [min]. Dla temperatury T_{X2} częstotliwość $f_s = 0.036$ (rys. 7), więc minimalny okres próbkowania powinien wynosić $\Delta = 13$ [min]. Na podstawie periodogramu dla temperatury T_Y (rys. 8) można przyjąć, że $f_s = 0.036$, więc $\Delta = 18.3$ [min], natomiast dla temperatury T_X częstotliwość $f_s = 0.038$ (rys. 9) co daje $\Delta = 13$ [min]. Zatem do analiz przyjęto czas próbkowania 10 minut.



Rys. 6. Periodogram dla temperatury T_{y2}
Fig. 6. Periodogram of temperature T_{y2}



Rys. 7. Periodogram dla temperatury T_{x2}
Fig. 7. Periodogram of temperature T_{x2}

**Rys. 8.** Periodogram dla temperatury T_y **Fig. 8.** Periodogram of temperature T_y **Rys. 9.** Periodogram dla temperatury T_x **Fig. 9.** Periodogram of temperature T_x

WNIOSKI

Na podstawie prezentowanych wyników stwierdzono, że czas próbkowania szeregu czasowego temperatury ziarna żyta powinien wynosić poniżej 13 minut. Do analiz przyjęto czas próbkowania 10 minut.

Wyniki numerycznych metod obliczeniowych uzależnione są od właściwego doboru czasu próbkowania, ważne jest aby czas ten nie był ani zbyt długi ani za krótki. Warunek Shanona jest obecnie najpopularniejszym sposobem doboru czasu próbkowania.

BIBLIOGRAFIA

1. Astrom K.J. Introduction to stochastic control theory, Academic Press, New York 1971.
2. Bandat J.S., Piersol A.G., Metody analizy i pomiarów sygnałów losowych, PWN, Warszawa 1976.
3. Box G.E.P., Jenkins G. M., Time series analysis: Forecasting and control, Holden-Day, San Francisco 1976.
4. Box G.E.P., Jankins G.M., Analiza szeregów czasowych, PWN, Warszawa 1983.
5. Chlewa W., Korbicz J., Moczulski W., Timofiejczuk A., Diagnostyka procesów. Modele, WNT, Warszawa 2002
6. Górniak W., Przechowywanie i konserwacja ziarna zbóż, Przegląd Zbożowo-Młynarski, 1/2010.
7. Grzesiuk S., Górecki R., Fizjologia plonów, Wyd. ART Olsztyn, Olsztyn 1994.
8. Iserman R., Identifikation dynamischer systeme, Springer, Berlin 1988.
9. Janiszowski K., Identyfikacja modeli parametrycznych, EXIT, Warszawa 2002.
10. Ljung L., System identification – theory for the user, Prentice – Hall, Englewood, 1987.
11. Marciniak K., Uwarunkowania wykorzystania bazy odmianowej dla krajowej produkcji zbóż, Przegląd Zbożowo-Młynarski, 5/2005.
12. Michalski J., Dobór kroku próbkowania w pomiarach stykowych chropowości powierzchni, Przegląd Mechaniczny. Suplement, 9/2005.
13. Niderliński A., Systemy komputerowe automatyki przemysłowej, WNT, Warszawa 1985.
14. Norton J.P., An introduction to identification, Academic Press, New York, 1980
15. Płaska S., Wprowadzenie do statystycznego sterowania procesami technologicznymi, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2000.
16. Ryniecki A., Szymański P., Dobrze przechowywane zboże, Poradnik, Mr INFO, 2002.
17. Samociuk W., Prognozowanie stanu zagrzewania zachodzącego w wybranych materiałach sypkich, Rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, Lublin 2007.
18. Spriet J.A., Vansteenkiste G.C. Computer aided modelling and simulation, Academic Press, New York 1983.
19. Szabatin J., Podstawy teorii sygnałów, WKiŁ, Warszawa 2000.
20. Velleman P.F., Hoaglin D.C., Applications, basics, and computing of exploratory data analysis, CA: Duxbury Press, Belmont 1981.

ESTIMATION OF TESTING TIME FOR TIME SERIES OF TEMPERATURE RECORDING DURING STORAGE OF RYE'S GRAIN

Summary. In this paper the procedure of calculation of testing time for time series based on Shanon condition is presented. The presented example concerns storage of the rye's grain. The process of storage of organic materials in bulk is monitored for the forecasting of the heating state that is usually dangerous. The systems applied to the monitoring of the process are based on digital techniques, where the measurement is realised in time intervals (testing time).

Key words: monitoring of process, testing time, storage, frequency analysis.