

## MONITOROWANIE STANU SAMOZAGRZEWANIA ZACHODZĄCEGO W TRAKCIE PRZECHOWYWANIA MAS ZIARNIANYCH ZBÓŻ

Waldemar Samociuk

*Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** Podczas przechowywania mas ziarnianych zbóż może nastąpić ich samozagrzewanie. Jest to proces na ogół niebezpieczny i z tego powodu przechowywanie powinno być monitorowane. W pracy zaproponowano monitorowanie procesu za pomocą kart kontrolnych. Na podstawie przebiegu temperatury wyznaczono wskaźnik, który był poddany statystycznej ocenie. Monitorowanie procesu za pomocą kart kontrolnych w sposób przedstawiony w pracy umożliwia wczesne wykrywanie zagrożenia, jakim jest samozagrzewanie mas ziarnianych.

**Słowa kluczowe:** samozagrzewanie, przechowywanie mas ziarnianych, statystyczne sterowanie

### Wstęp

W trakcie magazynowania mas ziarnianych zbóż zachodzą różnego rodzaju procesy, spośród których można wyróżnić proces samozagrzewania tych mas. Samozagrzewanie mas ziarnianych jest na ogół zjawiskiem niekorzystnym. Prowadzi bowiem do częściowego, a niekiedy całkowitego zniszczenia materiału. Intensyfikuje wydzielanie się mikotoksyn, które są niebezpieczne zarówno dla ludzi jak i zwierząt. Zatem, konieczne jest nadzorowanie procesu przechowywania mas ziarnianych zbóż [Kochańska 2006, Kwiatek 2005].

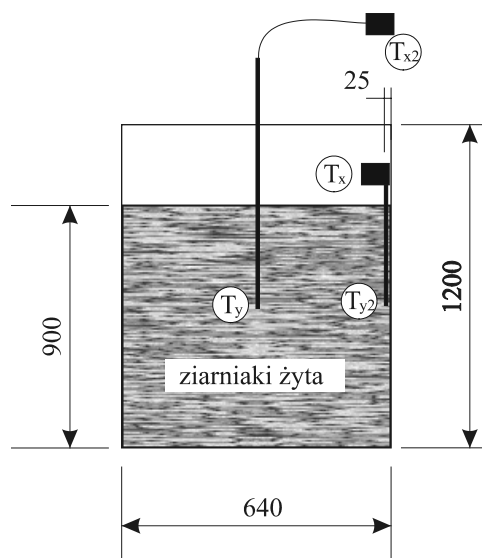
Przyczyną samozagrzewania są wewnętrzne procesy biologiczne, związane głównie z oddychaniem i rozwojem mikroflory oraz oddychaniem samych ziarniaków [Ryniecki 2002].

W trakcie przechowywania ziarno oddycha, zużywając tlen, wytwarzając dwutlenek węgla, wodę i ciepło [Grzesiuk 1994, Ryniecki 2002]. Samozagrzewanie może wystąpić dla ziarna o temperaturze 15°C i początkowej jednorodnej wilgotności 12% [Ryniecki 2002]. Podczas samozagrzewania ziarna w składowanej masie może nastąpić podwyższenie temperatury nawet do kilkudziesięciu stopni [Zawadzki 2006]. Proces ten w skrajnych sytuacjach może doprowadzić do samozapalenia składowanych materiałów bez udziału ciepła z zewnątrz [Kobosko 2003].

W pracy opracowano wskaźnik  $e(t)$ , który został wyznaczony na podstawie przebiegu temperatury materiału, a następnie został on poddany statystycznej ocenie. Do monitorowania procesu przechowywania mas ziarnianych żyta zastosowano karty kontrolne dla wskaźnika  $e(t)$ . Dla zrealizowania tego zadania przeprowadzono eksperyment.

## Metodyka badań

Celem eksperymentu było doprowadzenie masy ziarna żyta do stanu samozagrzewania. W trakcie eksperymentu przechowywano ziarno żyta odmiany „Dańkowskie złote” w trzech specjalnie przygotowanych zbiornikach, w warunkach naturalnych bez przewietrzania (zbiorniki umieszczono w pomieszczeniu zamkniętym). Zbiorniki wykonano z blachy ocynkowanej o grubości 1 mm. Zbiorniki napełniono ziarnem żyta do wysokości  $\sim 0.9$  m. Badania rozpoczęto 2-3 tyg. po zbiorze materiału. Założono, że do monitorowania stanu samozagrzewania zachodzącego w trakcie przechowywania mas ziarnianych zbóż wystarczająca jest znajomość przebiegu temperatury w miejscu, gdzie występuje największe ryzyko samozagrzewania [Ryniecki 2002]. Zrezygnowano z pomiaru wilgotności ze względów ekonomicznych. W trakcie eksperymentu rejestrowano temperaturę masy materiału oraz otoczenia. Jeden z czujników mierzył temperaturę w części centralnej zbiornika, 300 mm pod powierzchnią masy ziarnianej ( $T_y$ ). Drugi czujnik był umieszczony w pobliżu ścianki zbiornika, również 300 mm pod powierzchnią ( $T_{y2}$ ). Temperatura otoczenia także była mierzona w dwóch punktach: 2000 mm nad podłożem ( $T_{x2}$ ) oraz 100 mm nad powierzchnią masy ziarna ( $T_x$ ). Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawia schemat na rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko badawcze

Fig. 1. Test stand

Do rejestracji wyników użyto zdalnego systemu pomiarowego wykonanego w Katedrze Automatykacji Politechniki Lubelskiej [Samociuk 2007]. Układ elektryczny umożliwił rejestrację temperatur z rozdzielczością  $0.6^\circ\text{C}$ . Czas próbkowania wynosił 30 sek. W dniu rozpoczęcia eksperymentu temperatura otoczenia zmieniała się od  $21$  do  $27^\circ\text{C}$ . Aby przy-

spieszyć wystąpienie stanu samozagrzewania powierzchnię masy ziarnianej przykryto folią w celu utrudnienia odparowywania wody. Wielkości charakteryzujące materiał na początku eksperymentu podano w tabeli 1.

Tabela 1. Materiał badawczy  
Table 1. Tested material

Masa	200 kg
Objętość	0,3 m <sup>3</sup>
Temperatura ziarna	23°C
Zawartość wody	14,1%
Temperatura powietrza	24°C

*Źródło: obliczenia własne autora*

Opis stanu charakteryzującego zaobserwowany organoleptycznie proces samozagrzewania:

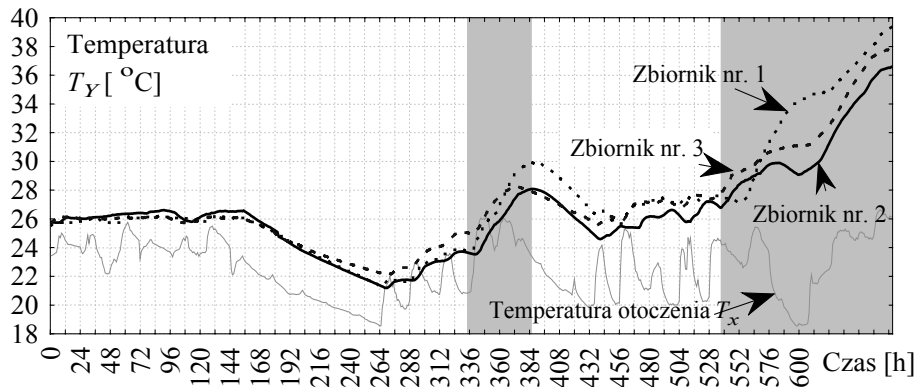
- temperatura wewnątrz masy ziarna wzrosła do wartości 39.9°C (znacznie przewyższała temperaturę otoczenia),
- występował zapach charakterystyczny dla fermentacji,
- pojawiły się owady,
- środkowa część masy ziarna uległa zbryleniu.

## Omówienie wyników badań

Zarejestrowane wyniki zostały wstępnie poddane analizom statystycznym (m.in. Szybka Transformata Furiera FFT) [Cholewa 2002]. Stosownie do stwierdzonych właściwości dynamicznych rejestrowanych wielkości dobrany został czas próbkowania, którego ostateczna wartość wyniosła 10 min. [Iserman 1988]. Na rys. 2 przedstawiono przebiegi temperatury materiału  $T_y(k)$  w trzech zbiornikach oraz temperatury otoczenia  $T_x(k)$ . Kolorem szarym oznaczono przedziały, w których występowało zagrzewanie materiału. Do analiz wyselekcjonowano 24 przedziały [Samociuk 2007].

Istotą proponowanej metody jest wyeksponowanie zróżnicowanych właściwości szeregu czasowego, utworzonego z przebiegu zarejestrowanej temperatury  $T_y(t)$  w stanach bez samozagrzewania i z samozagrzewaniem materiału.

Założono, że zmieniający się podczas przechowywania materiału obserwowany stan spowoduje zmiany chwilowych właściwości szeregu czasowego, opisanego przez przebieg  $T_y(k)$ . Te zmiany potraktowane zostały jako zakłócenia, które należy wykryć. Do wnioskowania o chwilowych zmianach wartości średniej szeregu czasowego, utworzonego z obserwowanej temperatury  $T_y(k)$  materiału (zmierzonej w miejscu, gdzie występowało największe zagrożenie samozagrzewania materiału) wykorzystany został test statystyczny o zmianie wartości średniej (karty kontrolne X/R).



Rys. 2. Przebiegi zarejestrowanych temperatur otoczenia  $T_x(k)$  oraz temperatury  $T_y(k)$  w materiale, zarejestrowane w trzech różnych zbiornikach (kolorem szarym oznaczono występowanie stanu samozagrzewania)

Fig. 2. Trajectories of registered ambient temperatures  $T_x(k)$  and temperature  $T_y(k)$  in the material, recorded in three different tanks (grey colour indicates self-heating state occurrence)

Szereg czasowy został opisany za pomocą liniowego modelu autoregresyjnego o postaci:

$$\hat{T}_y(k) = \varphi_1 T'_y(k-1) + \varphi_2 T'_y(k-2) + a_k \quad (1)$$

gdzie:

$\varphi_1, \varphi_2$  – współczynniki wagowe modelu, określające zależność korelacyjną,

$T'_y(k-1), T'_y(k-2)$  – wartości temperatury  $T_y$  dla próbki  $k-1, k-2$ , po odjęciu pierwszych różnic wstecznych,

$a_k$  – składnik losowy (reszty modelu).

W tabeli 2 zamieszczone zostały parametry modeli w wybranych przedziałach, błąd standardowy, test  $t$  i poziom istotności  $p$  wyznaczonych parametrów oraz błąd resztowy MS wyznaczonych modeli, obliczone za pomocą metody największej wiarygodności.

Ocenę znaczenia statystycznego parametrów modelu przeprowadzono na podstawie wartości statystyki  $t$ , obliczonych na podstawie błędów standardowych parametrów. Błędy standardowe parametrów obliczono z macierzy pochodnych cząstkowych drugiego rzędu, która była aproksymowana przy pomocy różnicowania skończonego.

W wyznaczonych modelach reszty nie zawierały składników systematycznych. Reszty nie zawierają trendów systematycznych oraz w funkcji autokorelacji dla reszt nie występują korelacje [Samociuk 2007].

Tabela 2. Parametry modeli  $\hat{T}_y(k)$  wyznaczone w wybranych przedziałach

Table 2. Model parameters  $\hat{T}_y(k)$  determined in selected intervals

Przedział	$\varphi_1$	$\varphi_2$	Błąd standard. $\varphi_1$	Błąd standard. $\varphi_2$	Test t dla $\varphi_1$	Test t dla $\varphi_2$	Poziom istotności $p$ dla $\varphi_1$	Poziom istotności $p$ dla $\varphi_2$	Błąd resztowy MS
6	0.34	0.26	0.07	0.07	4.62	3.55	0.00	0.00	0.00008
7	0.48	0.19	0.08	0.08	6.33	2.47	0.00	0.01	0.00010
8	0.35	0.21	0.08	0.08	4.31	2.66	0.00	0.01	0.00006
19	0.35	0.39	0.08	0.08	4.42	4.95	0.00	0.00	0.00023
20	0.32	0.63	0.08	0.08	4.09	8.00	0.00	0.00	0.00027

*Źródło: obliczenia własne autora*

Do monitorowania stanu samozagrzewania użyto wskaźnika  $e(t)$  o postaci:

$$e(k) = T'_y(k) - \hat{T}_y(k) \quad (2)$$

gdzie:

$T'_y(k)$  – wartość temperatury  $T_y(k)$  otrzymana z pomiarów po odjęciu pierwszych różnic wstecznych,

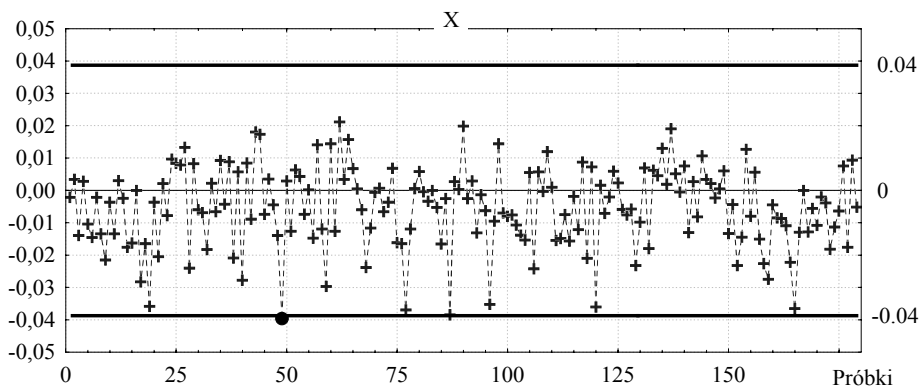
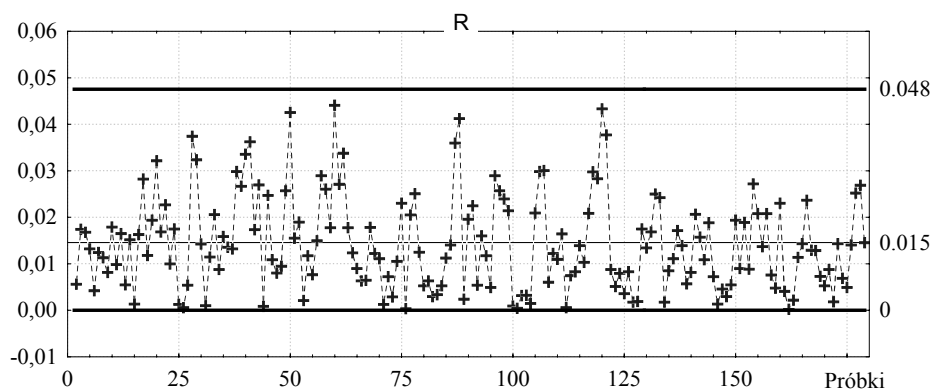
$\hat{T}_y(k)$  – wartość temperatury  $T_y(k)$  obliczona ze stosownego modelu losowego, wzór (1).

Monitorowanie stanu samozagrzewania dokonano za pomocą kart kontrolnych X/R dla szeregu  $e(t)$ . Algorytm prognozowania stanów zagrzewania bazuje na wartości chwilowej średniej i rozproszenia próbek szeregu  $e(k)$  obliczonych z zależności (2).

Położenie granic kontrolnych określa zmienność losową (naturalną) procesu. Jeżeli wartość średnia rozpatrywanej próbki procesu leży poza górną granicą kontrolną i jednocześnie wartość rozstępu w próbce leży w granicach kontrolnych rozstępu, to odrzucana jest hipoteza o równości średnich w analizowanych próbkach. Świadczy to o obecności zakłócenia systematycznego, którym może być samozagrzewanie materiału. Jeżeli natomiast wartość rozstępu leży poza granicami, to istnieje podejrzenie co do wiarygodności wyników pomiarowych i sytuacja taka wymaga analizy tych wyników [Płaska 2000].

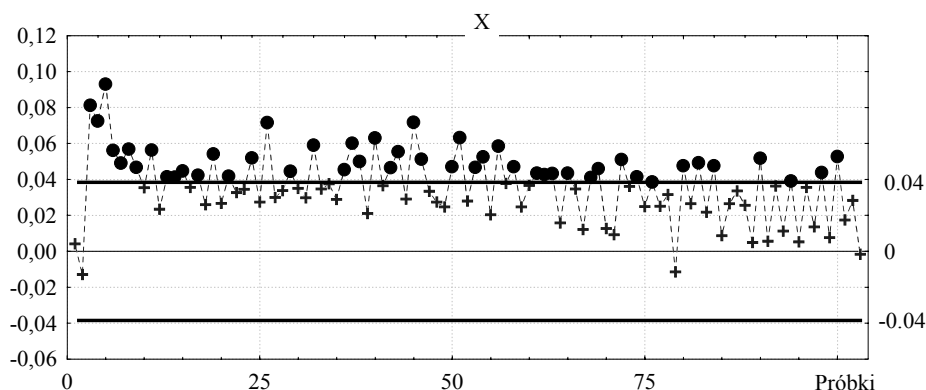
Na podstawie oceny organoleptycznej materiału oraz analizy przebiegu wszystkich rejestrowanych temperatur do obliczeń modelu temperatury  $\hat{T}_y(k)$  przyjęto wyniki eksperymentu z przedziału k:200÷280 (2000 – 2800 min. eksperymentu) dla zbiornika nr 1.

Na rys. 3 zostały przedstawione karty kontrolne X dla stanu bez samozagrzewania, dla przedziału 6. Ocena organoleptyczna przeprowadzona w przedziale 6 nie wykazała procesu samozagrzewania. Karta kontrolna X również nie wykazała w tym przedziale obecności stanu samozagrzewania, ponieważ prawie wszystkie punkty charakteryzujące proces leżą poniżej górnej linii kontrolnej o wartości 0.04. Prognozowane za pomocą kart X stany samozagrzewania są jakościowo zgodne z oceną organoleptyczną.

Rys. 3. Karta X wskaźnika  $e(t)$  dla przedziału 6Fig. 3. Sheet X of index  $e(t)$  for interval 6Rys. 4. Karta R wskaźnika  $e(t)$  dla przedział 6Fig. 4. Sheet R of index  $e(t)$  for interval 6

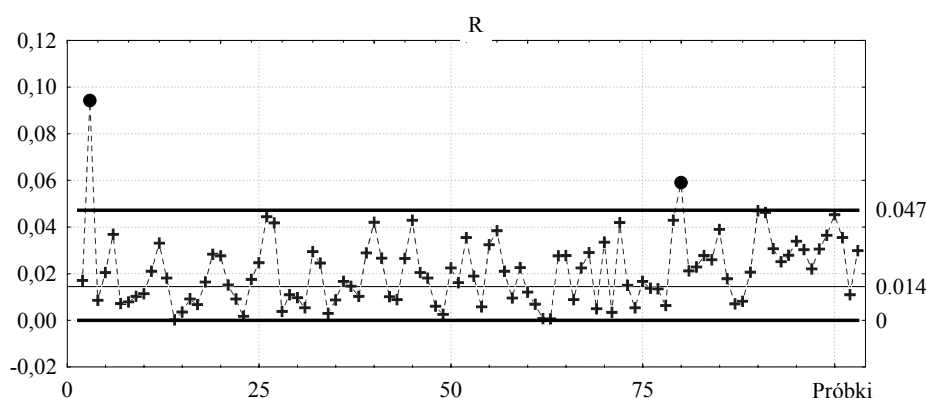
W przedstawionych wnioskach pominięty został alarm widoczny na rys. 3, ponieważ jest to przekroczenie dolnej granicy kontrolnej. Jest to fałszywy alarm spowodowany gwałtownym spadkiem temperatury otoczenia  $T_x(k)$ . Problem ten, traktowany jako pewna wada tej metody, został przewidziany. Specyfika rozpatrywanego procesu nakazuje lekceważyć alarmy związane z przekroczeniem dolnej granicy kontrolnej.

Z kolei na rys. 5 została przedstawiona karta kontrolna X dla stanów z samozagrzewaniem, dla przedziału 20. W przedziale tym karta kontrolna X posiada znaczną ilość punktów przekraczających górną linię kontrolną. Oznacza to, że w tym przedziale występuje intensywny proces samozagrzewania. Wyniki te zostały potwierdzone poprzez ocenę organoleptyczną.



Rys. 5. Karta X wskaźnika  $e(t)$  dla przedziału 20

Fig. 5. Sheet X of index  $e(t)$  for interval 20



Rys. 6. Karta R wskaźnika  $e(t)$  dla przedziału 20

Fig. 6. Sheet R of index  $e(t)$  for interval 20

Na rys. 4 i rys. 6 przedstawione zostały karty rozstępów  $R$  odpowiednio dla przedziałów 6 i 20. Na kartach tych występuje nieznaczna ilość punktów leżących poza granicami kontrolnymi, można zatem przyjąć wyniki z kart X za wiarygodne.

## Wnioski

1. Szeregi czasowe temperatury ziarniaków zbóż można opisać równaniem liniowym autoregresyjnym drugiego rzędu.
2. Możliwe jest monitorowanie stanu samozagrzewania zachodzącego w trakcie przechowywania mas ziarnianych zbóż za pomocą kart kontrolnych X/R dla szeregu  $e(k)$ , będącego różnicą pomiędzy wartościami z pomiarów oraz wartościami wyznaczonymi z modelu.

3. Karty kontrolne mogą być stosowane do sterowania „on line” procesem przechowywania mas ziarnianych zbóż w silosach.

## Bibliografia

- Cholewa W., Korbicz J., Moczulski W., Timofiejczuk A.** 2002. Diagnostyka procesów. Modele. WNT. Warszawa. ISBN 83-204-2734-7.
- Grzesiuk S., Górecki R.** 1994. Fizjologia plonów. Wyd. ART Olsztyn. ISBN 8386497017.
- Iserman R.** 1988. Identifikation dynamischer systeme. Springer. Berlin. ISBN 3-540-18694-8.
- Kobosko A. M. 2003. Przeciwwybuchowe systemy monitorowania w przechowalnictwie rolniczym. PIAiP. Warszawa. ISBN 8391415171.
- Kochańska J.** 2006. Zarządzanie bezpieczeństwem żywności w normalizacji cz.1. Przegląd Zbożowo-Młynarski. Nr 3. s. 22-24.
- Kwiatek K.** 2005. Nowe regulacje prawne Wspólnoty Europejskiej w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa żywności i pasz. Przegląd Zbożowo-Młynarski. Nr 7. s. 23-24.
- Plaska S.** 2000. Wprowadzenie do statystycznego sterowania procesami technologicznymi. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej. Lublin. ISBN 83-88110-57-8.
- Rothkaehl J.** 2004. System identyfikowalności surowców i produktów. Przegląd Zbożowo-Młynarski. Nr 11. s. 25-26.
- Ryniecki A., Szymański P.** 2002. Dobrze przechowywane zboże. Poradnik. Mr INFO. ISBN 83-909784-0-7.
- Samociuk W.** 2007. Prognozowanie stanu zagrzewania zachodzącego w wybranych materiałach sypkich. Rozprawa doktorska. Politechnika Lubelska. Lublin.
- Zawadzki K.** 2006. Działania chroniące przed zagrożeniem wybuchowym w obiektach zbożowo-młynarskich. Przegląd Zbożowo-Młynarski. Nr 6. s. 30-31.

## MONITORING OF THE SELF-HEATING STATE OCCURRING DURING STORAGE OF CROP SEED MASSES

**Abstract.** The process involving self-heating of crop seed masses may occur during their storage. In general, this process is dangerous, and thus stored masses need to be monitored. The paper proposes process monitoring using check sheets. Temperature curve provided grounds to determine the index, which was then put to statistical evaluation. Process monitoring using check sheets as shown in the paper, allows early detection of danger constituted by self-heating of seed masses.

**Key words:** self-heating, storage of seed masses, statistical control

### Adres do korespondencji

Samociuk Waldemar; e-mail: waldeks@ineta.pl  
Katedra Podstaw Techniki  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Doświadczalna 50a  
20-280 Lublin