

MODELOWANIE REGRESYJNE PROCESU ZMIANY WILGOTNOŚCI ZIARNA PSZENICY PODCZAS PRZECHOWYWANIA

Katarzyna Szwedziak, Joanna Rut

Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska

Streszczenie: W pracy przedstawiono badania związane z procesem wymiany masy podczas przechowywania ziarna pszenicy. Przeprowadzono analizę uzyskanych wyników za pomocą modeli regresji liniowej, wielorakiej i nieliniowej. W analizie statystycznej wykorzystano modelowanie regresyjne z uwzględnieniem temperatury w masie ziarna. Statystyczna metoda regresji pozwala na określenie stopnia w jakim zmienne są ze sobą powiązane. Uzyskane modele porównano przy pomocy statystyk porównawczych.

Słowa kluczowe: modelowanie statystyczne, regresja, sorbent, sorbat, wilgotność, ziarno pszenicy

Wstęp

Prawidłowe przechowywanie ziarna uwarunkowane jest doskonałą znajomością jego właściwości fizycznych i biologicznych. Większość zachodzących zjawisk i procesów, takich jak wymiana wody, czy wymiana ciepła wpływa znacząco na masę ziarna. Podstawowym celem przechowywania zbóż jest utrzymanie przez jak najdłuższy okres jego przydatności przetwórczej i odżywczej. Cel ten można osiągnąć przez stworzenie warunków ograniczających procesy życiowe ziarna i uniemożliwiających rozwój szkodników i drobnoustrojów [Pabis i in. 1974]. Najczęściej stosowane sposoby przechowywania zbóż to przechowywanie w stanie suchym, czyli przy obniżeniu wilgotności do 10-14%. Przy takiej wilgotności procesy fizjologiczne ziarna są spowolnione, nie rozwijają się pleśnie, bakterie i roztocza. Aby uniemożliwić rozwój owadów w masie ziarna, wilgotność należy obniżyć do 8-10%. Stosuje się wtedy dosuszanie ziarna, co w praktyce jest nieekonomiczne, ale niekiedy konieczne. Następnym sposobem jest przechowywanie zboża w stanie schłodzonym, czyli poprzez obniżenie jego temperatury. Rozwój owadów w przechowywanym ziarnie ulega ograniczeniu już w temperaturze niższej od 17°C. Metodę ochładzania ziarna można stosować jako zapobiegającą rozwojowi szkodników. Kolejnym sposobem jest przechowywanie zboża bez dostępu powietrza, która polega na doprowadzeniu masy ziarna do stanu maksymalnego zahamowania czynności życiowych (anabiozy) poprzez odcięcie tlenu [Pohorecki i in. 1979]. Proces suszenia wymaga zużycia dość dużej ilości kosztownej energii cieplnej, dlatego znajomość zmian wilgotności spowodowanych wykorzystaniem sorbentu naturalnego, jakim jest ziarno tego samego gatunku co ziarno suszone może przyczynić się do właściwego i ekonomicznego prowadzenia suszenia materiałów rolniczych

[Hart 1967]. W literaturze naukowej zaproponowano kilka modeli transportu wody w ziarnach zbóż opierając się na modelu Strumiłły, czy Pabisa [Strumiłło 1975, Pabis i in. 1974] i wykorzystując różnego rodzaju funkcje opisujące przebieg procesu. Na drodze doświadczalnej wykazano, że wykorzystanie funkcji harmonicznej z tłumieniem pozwala na zobrazowanie przebiegu procesu oddawania wody i jej pochłaniania [Szwedziak 2004]. Jednak dotychczas nie opracowano wyczerpująco charakterystyk dynamiki procesu zmiany zawartości wody w mieszaninie ziaren wilgotnych (sorbat) i suchych (sorbent) z uwzględnieniem temperatury w masie ziarna.

Cel badań

Celem badań było znalezienie statystycznych rozwiązań opisujących zmianę zawartości wody z uwzględnieniem temperatury w masie ziarna pszenicy. Wykorzystano w tym celu statystyczną analizę modeli regresji liniowej, wielorakiej i nieliniowej.

Metodyka badań

Przeprowadzono 4 serie badań wymiany wody między ziarnami pszenicy o różnej zawartości wody w 3 powtórzeniach, w mieszaninie ziaren wilgotnych (sorbat) udział 50% i ziaren suchych (sorbent) udział 50% z uwzględnieniem temperatury masie ziarna. Zawartość wody w sorbacie i sorbencie dla poszczególnych serii przedstawia tabela 1. Badanie przebiegu zmian zawartości wody w masie ziarna przeprowadzono w pojemnikach o objętości 0,0085 m³, do których wsypano odpowiednio wymieszany materiał, tak aby wypełniał całą objętość szczelnie zamkniętego pojemnika, który zamknięto. Aby uzyskać optymalne wymieszanie obu frakcji zastosowano metodę przesypu wykorzystując laboratoryjny mieszalnik przesypowy. Proces mieszania prowadzono do momentu uzyskania stanu równowagowego, tj. stanu, po którym dalsze mieszanie nie powoduje zmian jakościowych układu. Zostało udowodnione, że liczba 10 kolejnych przesypów jest wystarczającym czasem mieszania [Boss, Tukiendorf 1989]. Mieszaninę, dla której prawdopodobieństwo znalezienia cząstki danego składnika jest takie samo jak we wszystkich punktach nazywamy mieszaniną randomową [Boss 1987]. Do badań użyto pszenicy zwyczajnej (*Triticum vulgare*), która jest surowcem chlebowym i paszowym, o dużych wymaganiach glebowych i uprawowych. Wymianę wody między ziarnami badano na podstawie zmiany zawartości wody w zmieszonym materiale w czasie przechowywania. Pobierano próbki mieszaniny ziaren po około 50 g i określano w nich zawartość wody metodą suszarkową zgodnie z PN-ISO 712:2002. Próbkę ważono z dokładnością $\pm 0,0001$ g. Zawartość wody oznaczono w kg H₂O•kg s.m.⁻¹. Próbkę pobierano co 8 godzin przez okres 2 tygodni. Próbkę pobierano losowo z całej objętości zbiornika. W czasie prowadzonego eksperymentu badano również temperaturę w masie ziarna, która określana była w tych samych miejscach, z których pobierano próbki. Dokonywano również pomiarów temperatury otoczenia.

Tabela 1. Zawartość wody w sorbencie i sorbacie
Table 1. Water content in sorbent and sorbate

Powtórzenie	Średnie zawartość wody w poszczególnych seriach							
	Seria 1		Seria 2		Seria 3		Seria 4	
	sorbent	sorbant	sorbent	sorbant	sorbent	sorbant	sorbent	sorbant
1	0,16	0,27	0,19	0,24	0,26	0,31	0,21	0,26
2	0,19	0,28	0,20	0,27	0,25	0,31	0,20	0,27
3	0,15	0,29	0,18	0,23	0,23	0,30	0,21	0,29

Źródło: badania własne

Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono statystyczną analizę danych za pomocą modeli regresji liniowej, wielorakiej i nieliniowej dla wszystkich serii. W analizie statystycznej wykorzystano modelowanie regresyjne z uwzględnieniem temperatury (modele A i D) oraz nie uwzględniając temperatury (modele B i C). Uzyskane modele przedstawiono poniżej.

$$\text{Model A: } u = 24,742 + 0,018\tau + 1,925t - 0,000075\tau^2 - 0,003\tau t - 1,036t^2 \quad (1)$$

$$\text{Model B: } u = 25,06 + 0,022\tau - 0,0000933\tau^2 \quad (2)$$

$$\text{Model C: } u = 26,694 - 0,0087\tau \quad (3)$$

$$\text{Model D: } u = 26,627 - 0,0088\tau + 0,104t \quad (4)$$

gdzie:

- u – zawartość wody,
- τ – czas,
- t – różnica temperatur.

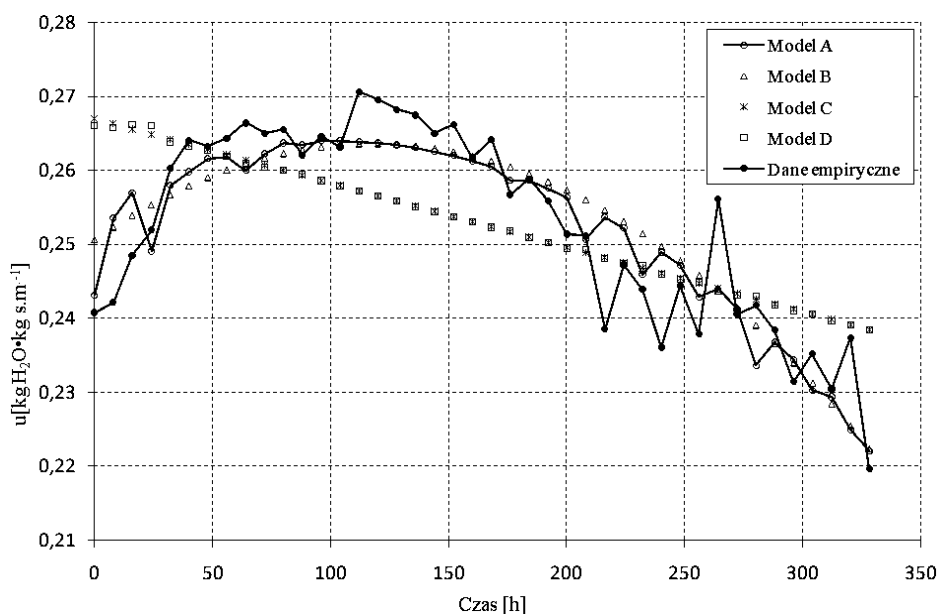
Uzyskane modele porównano przy pomocy statystyk porównawczych. Współczynnik determinacji nie informuje nas o tym, które zmienne są istotne. Przy dodawaniu zmiennych do modelu wartość ta stale rośnie. Okazuje się jednak, że wzrostowi R^2 często towarzyszy brak istotności dodawanych zmiennych niezależnych.

Od tej wady uwolniony jest, często wykorzystywany tzw. poprawiony (skorygowany) współczynnik determinacji R^2 [Stanisz 2007]. Skorygowany współczynnik determinacji nie został jednak wprowadzony ze względu na zastosowanie kryterium Akaike (AIC), które jest dokładniejszym kryterium informacyjnym [Akaike 1973]. Kryterium to wprowadza „karanie” funkcji wiarygodności tak, żeby były preferowane prostsze modele. W przypadku dopasowywania do danych modelu o q parametrach, kryterium to zdefiniowane jest jako $D - \alpha q \phi$, gdzie D jest odchyleniem, a ϕ jest parametrem rozproszenia [Stanisz 2007]. Można pokazać, że $\alpha \approx 2$ prowadzi do minimalnych błędów w predykcji. Jednak w sytuacji, gdy ϕ jest stałe, to wartość $\alpha \approx 4$ jest odpowiedniejsza, odpowiada bowiem w przybliżeniu testowaniu parametru na poziomie 0,05 [Olson 2002]. Wybieramy ten model, dla którego wyrażenie to jest minimalne. Obliczenia statystyk AIC bardziej czasochłonne jednak otrzymujemy zazwyczaj dokładniejsze wyniki [Stanisz 2007]. Uzyskane wyniki przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników dla poszczególnych modeli
Table 2. Comparison of results for individual models

Model	Typ modelu	R ²	AIC
A	nieliniowy z uwzględnieniem temperatury masy ziarna	0,89	78,59
B	nieliniowy bez uwzględnieniem temperatury masy ziarna	0,68	92,61
C	liniowy bez uwzględnieniem temperatury masy ziarna	0,26	151,31
D	wieloraki z uwzględnieniem temperatury masy ziarna	0,42	124,55

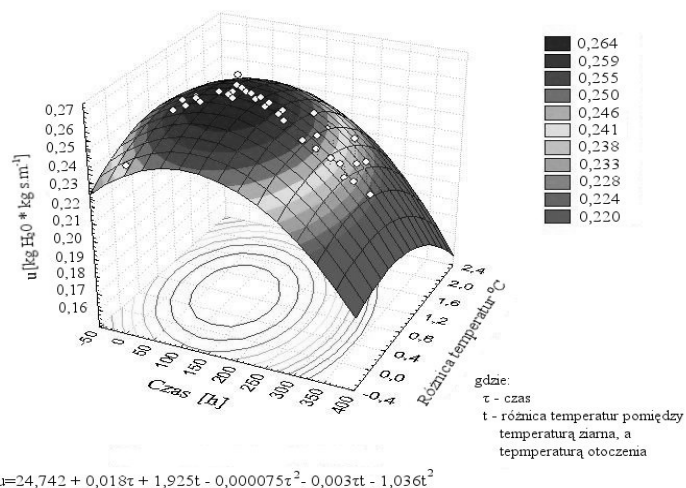
Zestawienie wszystkich modeli zobrazowano graficznie na rysunku 1 wraz z ujętymi danymi empirycznymi.



Rys. 1. Wykres przedstawiający modele A, B, C, D
Fig. 1. Diagram showing the A, B, C, D models

W wyniku analizy różnych postaci modeli liniowych, wielorakich i nieliniowych, najlepiej opisującym modelem przebiegu zmiany zawartości wody jest model A, który uzyskał największy współczynnik $R^2=0,89$ z pośród badanych modeli, przy równoczesnej najmniejszej wartości kryterium Akaike $AIC=78,59$. Model A jest modelem statystycznym wykrywającym systematyczną tendencję w danych, pozostawiając na boku zmienność losową [Aczel 2005].

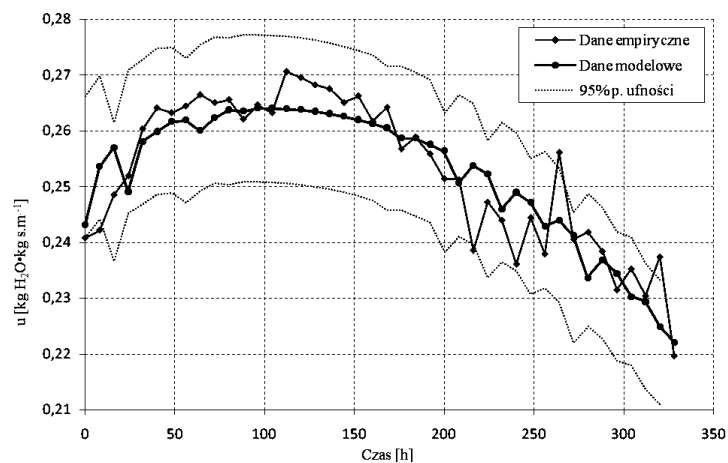
Model A został przedstawiony graficznie na rysunku 2.



Rys. 2. Wykres przedstawiający model nieliniowy zmian zawartości wody z uwzględnieniem różnicy temperaturą w masie ziarna pszenicy i temperaturą zewnętrzną (model A)

Fig. 2. Diagram showing non-linear model of water content changes taking into account the difference between temperature in wheat seed mass and outside temperature (model A)

Natomiast wykres 3 przedstawia przedział ufności dla modelu A. Przedział ufności wynosi 0,95 i oznacza, że rzeczywista wartość wody w badanej populacji znajduje się w wyznaczonym przez nas przedziale ufności z prawdopodobieństwem 95%.



Rys. 3. Wykres obrazujący model A z uwzględnieniem 95% przedziałów ufności.

Fig. 3. Diagram representing model A taking into account 95% confidence intervals

Większość zachodzących zjawisk w otaczającym nas świecie występuje nie w odosobnieniu, a w różnorodnych związkach. Korzystając z metod statystycznych można znaleźć rozwiązania opisujące zmianę zawartości wody w masie ziarna pszenicy. Jak już wspomniano obniżenie wilgoci jest głównym sposobem przygotowania ziarna do magazynowania i dłuższego przechowywania. Wymogi ostatnich lat preferują konieczność zmniejszenia zużycia energii w przemyśle stwarzając możliwości do opracowań nowych metod dosuszania ziarna obniżając nakład energii.

Podsumowanie

Po dokonaniu statystycznej analizy danych za pomocą modeli regresji liniowej, wielorakiej i nieliniowej stwierdzono, że uzyskany model nieliniowy uwzględniający temperaturę w masie ziarna najlepiej opisuje zmiany zawartości wody w ziarnie pszenicy. Wytypowany model jest modelem statystycznym wykrywającym systematyczną tendencję w danych, pozostawiając na boku zmienność losową. Analizowanie danych za pomocą metod statystycznych dostarcza narzędzi, które pozwalają zweryfikować rozpoznane powiązania, jak również pomagają wykryć nierozpoznane dotychczas współzależności.

Bibliografia

- Aczel A.** 2005 Statystyka w zarządzaniu-pełny wykład, PWN Warszawa, ISBN 83-01-14548-X
- Akaike H.** 1973 Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, In Proceedings of the 2nd International Symposium on Information, edited by Petrov B.N., and Czaki F., Budapest. s. 267-281.
- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN Warszawa. ISBN 83-01-07058-7.
- Boss J. i Tukiendorf M.** 1989 Mieszanie systemem funnel-flow układu ziarnistego o różnych średnicach ziaren, Zeszyty Naukowe WSI w Opolu. Nr.151. z. 37. s. 23.
- Kulisiewicz T.** 1975. Magazynowanie ziarna zbóż nasion strączkowych i oleistych. WNT Warszawa. s. 253-283
- Cieślak M.** 2005. Prognozowanie gospodarcze, metody i prognozowanie. PWN Warszawa. ISBN 83-01-14421-1
- Hart J.R.** 1967 Hysteresis effect In mixtures of wheat taken from the same sample but having different moisture contents. Cereal Chemistry. Vol.4. s. 341-350
- Janowicz L.** 2007. Wpływ przechowywania na wilgotność ziarna zbóż. Przegląd Zbożowo- Młynarski. Nr 6. s.18-30.
- Kufel T.** 2004. Ekonometria – rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRETL. PWN Warszawa. ISBN 83-01-14284-7.
- Magiera R.** 2007. Modele i metody statystyki matematycznej cz. II Wnioskowanie statystyczne. GiS Wrocław. ISBN: 83-89020-61-1.
- Olsson C.L.** 1974 Comparative robustness of six tests multivariate analysis of variance. Journal of the American Statistical Association, Vol. 69. No 348. s. 894-908.
- Pabis S. i Pabis J.** 1974 Technologia suszenia i czyszczenia nasion. PWRiL. Warszawa.
- Pohorecki R. i Wroński S.** 1979 Kinetyka i termodynamika procesów inżynierii chemicznej. WNT Warszawa. s. 186- 269.
- Stanisz A.** 2007 Przystępny kurs statystyki, modele liniowe i nieliniowe. Tom 2. StatSoft Polska Kraków. ISBN 978-83-88724-30-5.

- Strumillo Cz.** 1975. Podstawy teorii i techniki suszenia. WNT. Warszawa. s. 59-128.
Szwedziak K. 2006. Wpływ temperatury na jakość ziarna w procesie suszenia z wykorzystaniem sorbentów naturalnych, Inżynieria Rolnicza 11(86). Kraków. s. 471-477.



Praca powstała przy współfinansowaniu ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej oraz ze środków budżetu państwa

REGRESSION MODELLING OF THE PROCESS INVOLVING WHEAT SEED HUMIDITY CHANGE DURING STORAGE

Abstract. The paper presents studies on the mass exchange process during wheat seed storage. Obtained results were analysed using linear, multiple and non-linear regression models. Statistical analysis involved the use of regression modelling taking into account the temperature in seed mass. Statistical regression method allows to determine interrelation degree for the variables. Obtained models were compared using comparative statistics.

Key words: statistical modelling, regression, sorbent, sorbate, humidity, wheat seed

Adres do korespondencji:

Katarzyna Szwedziak; e-mail: kaszwed@po.opole.pl
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej
Politechnika Opolska
ul. St. Mikołajczyka 5
45-271 Opole

