

Marzena Gawrysiak-Witulska, Antoni Ryniecki, Jolanta Wawrzyniak
Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego
Akademia Rolnicza w Poznaniu

ZWIĄZKI KORELACYJNE MIĘDZY WYBRANYMI PARAMETRAMI POWIETRZA I ZIARNA JĘCZMIENIA SUSZONEGO METODĄ NISKOTEMPERATUROWĄ W GRUBEJ NIERUCHOMEJ WARSTWIE

Streszczenie

Celem badań było ustalenie zależności między temperaturą i wilgotnością względną powietrza w wybranych warstwach masy ziarna jęczmienia a wilgotnością jęczmienia w czasie suszenia niskotemperaturowego w sytuacji gdy parametry powietrza suszącego zmieniają się w sposób stochastyczny. Ziarno jęczmienia suszono w warstwie o grubości 1,2 m. Wykazano, że istnieje silna korelacja między zmianami wilgotności względnej powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych a zmianami zawartości wody w suszonym ziarnie.

Słowa kluczowe: suszenie jęczmienia, suszenie niskotemperaturowe, późniejsza konserwacja ziarna

Wykaz oznaczeń

- t – temperatura [°C],
- u – zawartość wody w nasionach [kg/(kg s.m.)],
- φ – wilgotność względna powietrza [%],
- ρ – współczynnik korelacji,
- τ – czas [h].

Wprowadzenie

Ziarno jęczmienia jest wrażliwym materiałem biologicznym, dlatego bezpośrednio po zbiorze musi być odpowiednio zakonserwowane. Nieodpowiednia temperatura i wilgotność zarówno ziarna jak i powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych,

umożliwia występowanie w jego masie niekorzystnych procesów życiowych, powodujących obniżenie jego jakości lub wręcz zepsucie ziarna [Praca zbiorowa 1999].

Począwszy od 2004 roku w Polsce, tak jak i w innych krajach Unii Europejskiej skup interwencyjny zbóż prowadzony jest od 1 listopada każdego roku. W zaistniałej sytuacji producent jest odpowiedzialny za późniejszą konserwację ziarna, która w znacznym stopniu decyduje o jakości produktów spożywczych z niego wytwarzanych. Popularną metodą postępowania ze świeżo zebrany ziarnem w gospodarstwie rolnym jest jego konwekcyjne suszenie w miejscu składowania – suszenie niskotemperaturowe. W suszeniu tym do grubej nieruchomej warstwy ziarna wdmuchiwane jest powietrze o potencjale suszącym zmieniającym się w sposób stochastyczny [Kaleta 1996, Nellist 1998]. Suszenie to między innymi w zależności od warunków atmosferycznych, wilgotności początkowej ziarna oraz grubości suszonej warstwy trwa od kilku do kilkunastu dni. Tak długi czas trwania procesu wiąże się z dużym ryzykiem zepsucia ziarna i powoduje konieczność pełnej jego automatyzacji. Istniejące urządzenia kontrolno – pomiarowe do nadzoru procesu niskotemperaturowego suszenia jęczmienia nie posiadają możliwości automatycznej identyfikacji zakończenia procesu. Powoduje to konieczność pobierania co kilka godzin próby ziarna z warstwy wylotowej dla powietrza suszącego i określania za pomocą miernika jego wilgotności. Taki sposób sprawdzania wilgotności jest uciążliwy i wiąże się z ryzykiem popełnienia błędów.

Dotychczas w literaturze przedmiotu brak jest danych na temat występowania zależności między rozkładem temperatury i wilgotności względnej powietrza wzdłuż drogi przepływu powietrza suszącego, a trudno mierzalną wilgotnością ziarna suszonego metodą niskotemperaturową.

Cel i zakres pracy

Celem badań było ustalenie zależności między temperaturą i wilgotnością względną powietrza w wybranych warstwach masy ziarna jęczmienia a wilgotnością jęczmienia w czasie suszenia w sytuacji gdy parametry powietrza suszącego zmieniają się w sposób stochastyczny. Znalezienie największych współczynników korelacji między badanymi wielkościami fizycznymi ma w konsekwencji umożliwić opracowanie algorytmu automatycznej identyfikacji zakończenia suszenia.

Stanowisko badawcze i materiał

Niskotemperaturowe procesy suszenia ziarna jęczmienia w grubej nieruchomej warstwie prowadzono w specjalnie skonstruowanym i zbudowanym stanowisku badawczym [Gawrysiak-Witulska, Ryniecki 2001]. Materiałem doświadczalnym

było świeżo zebrane z pola ziarno jęczmienia pochodzące ze zbiorów w 2004 w Zakładach Doświadczalnych Złotniki należących do Akademii Rolniczej w Poznaniu. Przed doświadczeniem jęczmień sztucznie nawilżano, aby nadać mu cechy ziarna wilgotnego. W tym celu ziarno zraszano wodą o określonej masie i pozostawiano w pomieszczeniu o temperaturze 8°C na okres 24h. Po tym zabiegu wilgotność ziarna w trzech przeprowadzanych doświadczeniach wynosiła od 18 do 19%. Trzy niskotemperaturowe procesy suszenia ziarna prowadzono w warstwie o łącznej grubości 1,2 m. Suszenie prowadzono do uzyskania przez ziarno w 12 warstwie wilgotności 14% - bezpiecznej z punktu widzenia przechowywania.

Czas trwania doświadczeń wynosił od 98 do 116 godzin. Pozorna liniowa prędkość przepływu powietrza przez suszoną warstwę jęczmienia we wszystkich doświadczeniach była jednakowa i wynosiła 0,14 [m/s]. Wilgotność względna i temperatura powietrza zasysanego przez wentylator zmieniały się w sposób przypadkowy tak, jak w typowym procesie suszenia niskotemperaturowego (do doświadczeń czerpano zewnętrzne powietrze atmosferyczne). Wilgotność względna powietrza atmosferycznego w okresie prowadzenia doświadczeń wahała się w granicach 31–75%, natomiast temperatura powietrza atmosferycznego od 3 do 24°C. Aby wymusić suszenie ziarna zastosowano najprostszy elektroniczny humidostat sterujący podgrzewaczem powietrza, który czuwał, by wilgotność względna powietrza wdmuchiwanego do masy ziarna nie przekraczała wartości 53%. W trakcie trwania procesów suszenia co 10 min rejestrowano temperaturę powietrza suszącego oraz temperaturę jęczmienia w 4, 6, 8, 10 i 12 warstwie ziarna. W tym samym czasie rejestrowano wilgotność względną powietrza na wlocie do komory suszenia oraz w 10 i 12 warstwie. Każdego dnia o godzinie 7, 14 i 21 poszczególne segmenty ważono w celu określenia zmian wilgotności ziarna w warstwach.

Metody

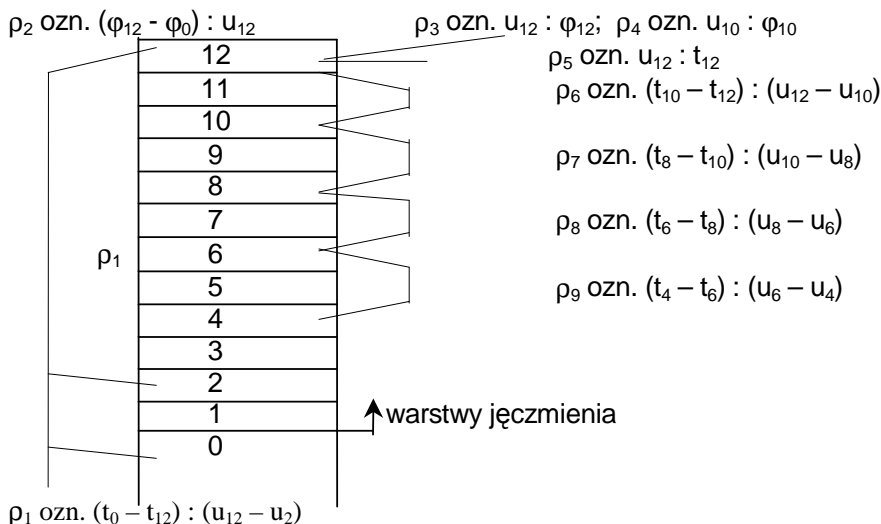
Związki korelacyjne badano pomiędzy następującymi zbiorem zmiennych: (a) temperatura ziarna i powietrza w miejscach pomiarowych, (b) różnica temperatury między warstwami suszonego ziarna, (c) zawartość wody w warstwach ziarna, w których mierzono temperaturę, (d) różnica zawartości wody między warstwami ziarna, (e) wilgotność względna powietrza w miejscach pomiarowych, (e) różnica wilgotności względnej powietrza na wlocie i wylocie z komory suszenia. Współczynniki korelacji wyznaczano korzystając z programu Microsoft Excel (wersja 7.0) jako zależności pomiędzy dwoma zbiorem parametrów p_1 i p_2 skalowanymi niezależnie od jednostek pomiarowych, wyrażające iloraz kowariancji dwóch zbiorów danych i iloczynu odchyłeń standardowych dla tych zbiorów:

$$\rho_{p_1, p_2} = [\text{Cov}(p_1, p_2)] / (\sigma_{p_1} \cdot \sigma_{p_2}) \quad (1)$$

gdzie:

$\text{Cov}(p_1, p_2)$ jest kowariancją dwóch zbiorów parametrów p_1 i p_2 ;

σ_{p_1} , σ_{p_2} są odchyleniami standardowymi dla zbiorów parametrów p_1 i p_2 .

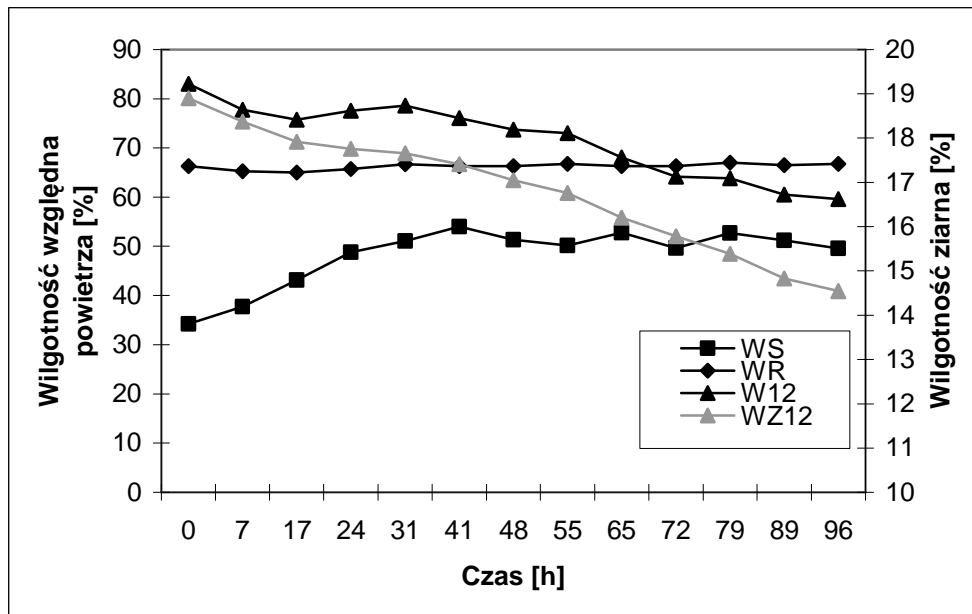


Rys. 1. Schemat warstw jęczmienia z naniesionymi symbolami współczynników korelacji $\rho_1 \div \rho_9$

Fig. 1. Chart of brain layers with correlation coefficients $\rho_1 \div \rho_9$

Wyniki i dyskusja

Na rys. 2 przedstawiono zmiany wilgotności względnej powietrza w górnej warstwie na tle zmian wilgotności powietrza suszącego i wilgotności równowagowej w połączeniu ze zmianami wilgotności ziarna w 12 warstwie w doświadczeniu 1. Po około 55 godzinach suszenia wilgotność względna powietrza w warstwie wylotowej zaczęła zbliżać się do wilgotności równowagowej powietrza. Można sądzić, że w tym momencie front suszenia dotarł do 12 warstwy. Suszenie zostało zakończone, kiedy wilgotność w 12 warstwie spadła do wartości 14,5%. Po przejściu frontu suszenia przez górną warstwę wilgotność względna powietrza w warstwie wylotowej zmalała o około 8% w stosunku do wilgotności równowagowej. W doświadczeniach 2 i 3 charakter zmian wilgotności powietrza w górnej warstwie względem wilgotności równowagowej był podobny. Procesy suszenia zakończono gdy wilgotność powietrza w warstwie wylotowej zmalała odpowiednio o 11 i 6% poniżej wilgotności równowagowej.



Rys. 2. Zmiany wilgotności względnej powietrza w górnej warstwie (W12) na tle zmian wilgotności powietrza suszącego (WS) i wilgotności równowagowej (WR) oraz zmian wilgotności ziarna w 12 warstwie (WZ12)

Fig. 2. Changes of relative humidity of air in the upper layer (W12) in relation to changes of humidity of drying air (WS) equilibrium humidity (WR) and changes of grain humidity in the 12th layer (WZ12)

Tabela 2. Wartości współczynników korelacji oznaczonych na rys. 1

Table 2. Values of correlation coefficients marked on fig. 1

Korelacja	Doświadczenie 1	Doświadczenie 2	Doświadczenie 3	Średnia	Odchylenie standardowe
ρ_1	0,323	0,547	0,795	0,555	0,236
ρ_2	0,955	0,935	0,941	0,944	0,011
ρ_3	0,976	0,963	0,988	0,976	0,012
ρ_4	0,989	0,964	0,985	0,980	0,013
ρ_5	-0,551	-0,027	-0,101	-0,226	0,284
ρ_6	0,893	0,892	0,993	0,926	0,058
ρ_7	0,836	0,881	0,961	0,893	0,063
ρ_8	0,782	0,921	0,969	0,891	0,097
ρ_9	0,920	0,825	0,930	0,892	0,058

Dziewięć najsilniejszych związków korelacyjnych pomiędzy parametrami ziarna i powietrza oznaczono na rys. 1, a wartości liczbowe współczynników korelacji zebrano w tabeli 2. Współczynniki korelacji pozwalają stwierdzić, czy dwa zakresy danych zmieniają się w podobny sposób. Największą wartość współczynnika korelacji zanotowano między zmianami wilgotności względnej powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych a zmianami zawartości wody w górnej warstwie nasion (ρ_3 i ρ_4). Wartość średnia ρ_3 dla trzech doświadczeń wynosiła 0,976 przy niskim odchyleniu standardowym, równym 0,012. Wartość ρ_4 wynosiła 0,98. Obie wielkości, dla których wyznaczono korelacje związane są ze sobą zależnością tworzącą tzw. krzywe desorpcji. Wysokie korelacje wskazują na silną zależność, którą można w przyszłości wykorzystać w celu określania zawartości wody w ziarnie jęczmienia na podstawie pomiaru wilgotności względnej powietrza.

Wnioski

1. Zmniejszenie wilgotności względnej powietrza w warstwie wylotowej o około 6 - 11% poniżej wilgotności równowagowej może być wskaźnikiem informującym o zakończeniu suszenia niskotemperaturowego.
2. Największe wartości współczynników korelacji występowały pomiędzy zmianami wilgotności względnej powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych a zmianami zawartości wody w ziarnie w górnych warstwach. Wskazuje to na możliwość opracowania algorytmu automatycznej identyfikacji frontu suszenia.

Bibliografia

Gawrysiak-Witulska M., Ryniecki A. 2001. Korelacje między wybranymi parametrami powietrza i ziarna pszenicy suszonej metodą niskotemperaturową w grubej nieruchomej warstwie. *Inżynieria Rolnicza*, 10(30), 135 –143.

Kaleta A. 1996. Modelowanie procesu konwekcyjnego suszenia ziarna w silosach – rozprawa habilitacyjna, Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa.

Nellist M. E. 1998. Bulk drying of grain and oilseeds. Research Review No. 38, Silsoe Research Institute, Wielka Brytania.

Praca zbiorowa (red. A. Ryniecki i P. Szamański). 1999. Dobrze przechowywane zboże, MR INFO i Tow. Umiejętn. Roln., Poznań.

Ryniecki A., Nellist M.E. 1991. Optimization of control systems for near-ambient grain drying. *J. Agric. Engng Res.* 48: 1-35.

Publikacja częściowo finansowana przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji, Grant nr 2 P06T 062 28.

**CORELATIONS BETWEEN CHOSEN PARAMETERS OF AIR
AND BARLEY GRAIN, DRIED IN A THICK, MOTIONLESS
LAYER USING LOW-TEMPERATURE METHOD**

Summary

The study aimed at determination of the dependence between temperature and relative humidity of air in chosen layers of barley grain stack and moistness of barley at low-temperature in a situation when the parameters of drying air change in a stochastic way. Barley grain was dried in a layer 1.2 m thick. It was proved that there is a correlation between changes of relative humidity of air in intergrain spaces and changes of water content in dried grain.

Key words: Barley drying, low-temperature drying, after-harvest grain preservation