

Dr inż. Joanna RUT
Katedra Inżynierii i Bezpieczeństwa Pracy
Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
Politechnika Opolska

BADANIE TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI W ZŁOŻU JEDNORODNEJ MIESZANINY ZIARNISTEJ®

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wyznaczania rozkładu temperatury i wilgotności w złożu jednorodnej mieszanki ziarnistej, w różnych udziałach procentowych. Dokonano oceny analizy wyróżników jakościowych ziarna. Badania wykonano na ziarnie pszenicy. Do uzyskania jednorodnej mieszanki ziarnistej wykorzystano metodę mieszania materiałów w przesypie przy użyciu laboratoryjnego mieszalnika przesypowego.

Słowa kluczowe: materiały ziarniste, mieszanie materiałów ziarnistych, pszenica, wilgotność, temperatura, wyróżniki jakościowe.

WSTĘP

Ziarno zbóż stanowi jedną z liczniejszych grup materiałów ziarnistych. W większości przypadków podlega ono przetworzeniu w różnych procesach technologicznych [11]. Takim procesem jest między innymi mieszanie materiałów ziarnistych, który jest procesem dość złożonym w ocenie. Podczas mieszania materiałów ziarnistych składniki są rozpraszane w mieszalniku przez chaotyczny, przypadkowy ruch ziaren, a celem tego zabiegu jest wytworzenie jednorodnej pod względem składu mieszanki. Efekt mieszania materiałów ziarnistych decyduje o jakości otrzymywanych produktów, a często stosowaną metodą prowadzenia tego procesu jest mieszanie materiałów w przesypie [1,2,24].

Roślinne materiały ziarniste powszechnie wykorzystywane są w rolnictwie, w przemyśle spożywczym, przetwórczym, młynarskim oraz w przemyśle paszowym. Takimi materiałami są ziarna wszystkich gatunków zbóż (włącznie z gryką), które stanowią materiał biologiczny bardzo wrażliwy zarówno na działanie termiczne (skurcz, pęknięcie, spadek zdolności kiełkowania, ubytek zawartości białka), jak i długie przechowywanie w stanie dużej wilgotności (ubytek masy suchej substancji, rozwój pleśni i mikroorganizmów, spadek zdolności kiełkowania) [13]. Poza tym zachodzi w nich proces oddychania, proces pochłaniania wilgoci oraz są wrażliwe na zgniatanie, ścinanie i tarcie. Złożoność układów biologicznych wymaga stosowania, coraz to nowych aksjomatów niezbędnych do ich opisu [3,4,5].

Na przestrzeni kilkudziesięciu lat badaniami procesowymi materiałów ziarnistych w różnych aspektach, zajmowało się wielu badaczy. Między innymi Goździewska [6], Górniak [7] oraz Ścibisz [23] zajmowali się badaniem wilgotności i jej wpływem na ziarna zbóż. Słodczyk [21], Ledwoń i in. [12] badali możliwość wykorzystania przesuszonego ziarna jako naturalnego sorbentu, Kusińska [9] badała wpływ zmian zawartości wody w ziarnie, Sypuła i in. [22] zajmowali się czasem przechowywania ziarna, Molenda i in. [15] oraz Horabik [8] zajmowali się właściwościami fizycznymi roślinnych materiałów ziarnistych. Marks i in. [14] zajmowali się wpływem wilgotności na energochłonność

procesu rozdrabniania ziarna zbóż. To tylko przykłady pozycji naukowych dotyczących badań nad ziarnami zbóż. Pozycji literaturowych wraz z analizą uzyskanych wyników jest jeszcze więcej, ale struktura tych prac jest podobna do wyżej cytowanych.

Pomimo olbrzymiej ilości prowadzonych eksperymentów i wielu naukowych publikacji dotyczących badań ziaren zbóż, występuje duża luka w literaturze w zakresie oceny problematyki mieszania materiałów ziarnistych biologicznie czynnych różniących się wilgotnością w mieszalniku przesypowym oraz suszenia tak otrzymanej mieszanki powietrzem atmosferycznym podczas przechowywania. Z przeprowadzonego przeglądu literatury dotyczącego roślinnych materiałów ziarnistych widać, że badanie właściwości ziaren zbóż było i ciągle jest nurtujące. Należy podkreślić, że zainteresowanie roślinnymi materiałami ziarnistymi jest zasadne ponieważ stanowią one cenny produkt który zapewnia człowiekowi życie i przetrwanie.

Celem artykułu jest przedstawienie uzyskanych wyników badań dotyczących wyznaczenia rozkładu temperatury i wilgotności w złożu jednorodnej mieszanki ziarnistej, w różnych udziałach procentowych oraz sprawdzenia stanu jakości zmieszanych materiałów ziarnistych po określonym upływie czasu przechowywania.

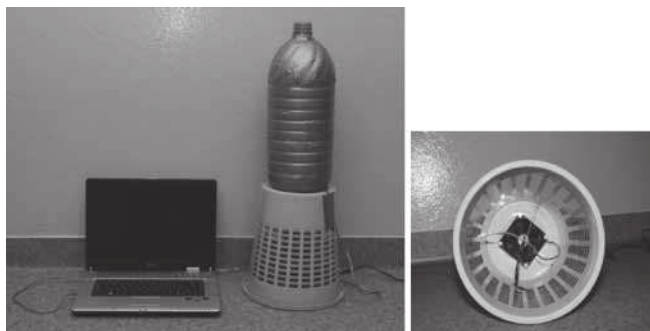
METODYKA BADAŃ

Podstawowym etapem przygotowań do badania temperatury i wilgotności w złożu jednorodnej mieszanki ziarnistej, było przygotowanie odpowiedniej mieszanki składającej się z pszenicy zwyczajnej *Triticum vulgare*, różniącej się wilgotnością. Składnikiem kluczowym – traserem – było ziarno wilgotne, które umieszczano każdorazowo w górnej części mieszalnika zasilającego, a składnikiem pozostałym było ziarno suche. Wilgotność względna złoża ziarna mokrego pszenicy wynosiła 16,1% ($\pm 0,5$), a wilgotność złoża ziarna suchego pszenicy 11,4% ($\pm 0,5$) [17].

W warunkach przemysłowych proces nawilżania ziarna prowadzony jest najczęściej w urządzeniach, w których ziarna są mieszane z odmierzoną dawką wody. W procesie nawilżania najczęściej stosuje się minimalny poziom dowilżenia, tj. wilgotność końcową surowców ustala się maksymalnie do 18% [19]. Nawilżanie w warunkach laboratoryjnych wiązało się z oczekiwaniem na wyrównanie rozkładu

wilgotności w całej próbce. W zależności od warunków prowadzonych badań czas leżakowania wynosił od 3 do 4 dni. Czas leżakowania zapewnił ustabilizowanie średniej wilgotności mierzonej. Wilgotność powietrza w pomieszczeniu laboratoryjnym podczas prowadzonych badań wynosiła od 37% do 44% [18].

Układ ziarnisty w różnych udziałach procentowych tj. 50/50, 60/40, 70/30, poddawano mieszaniu w laboratoryjnym mieszalniku przesypowym. Mieszalnik składał się z trzech identycznych zbiorników umieszczonych jeden nad drugim (wysokość części cylindrycznej – 500 mm, średnica wewnętrzna – 300 mm, wysokość części stożkowej – 90 mm, średnica otworu wysypowego – 30 mm). Przed przystąpieniem do mieszania wybranych materiałów ziarnistych zasypywano górny zbiornik mieszalnika ziarnem w kombinacji ziarno suche – wilgotne w udziale procentowym 50/50, 60/40, 70/30. Opiswane udziały przyjęto z uwzględnieniem aspektu reprezentatywności badanej próby, czasochłonności oraz aspektu ekonomicznego. Po napełnieniu zasilającego górnego zbiornika mieszalnika, rozpoczynano proces mieszania w drodze kolejnych przesypów tj. kroków mieszania, opróżniając zbiorniki na drodze wysypu grawitacyjnego (zbiorniki zamieniano kolejno miejscami). W prowadzonych badaniach dla pewności uzyskanych wyników wykonano dziesięć kroków mieszania (z uwagi na okresowość procesu czas mieszania wyrażony został poprzez liczbę kolejnych przesypów, czyli tzw. kroków mieszania). W ostatnim etapie każdego kroku mieszania materiał zasypywano do zbiorników – minisilosów przewietrzanych powietrzem atmosferycznym (rys. 1), które zostały stworzone na potrzeby prowadzonych badań [17,18].



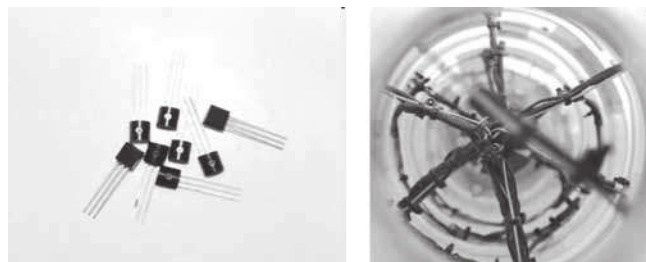
Rys. 1. Przykładowe zdjęcia minisilosu przewietrzanego powietrzem atmosferycznym wraz z czujnikami temperatury (fot. J. Rut).

Fig. 1. Examples pictures of minisilo ventilated air together with sensors temperature (fot. J. Rut).

Uzyskany zmieszany materiał ziarnisty poddano dalszym badaniom. Badano temperaturę oraz jej rozkład w złożu ziarna, wilgotność złożu ziarna oraz wyróżniki jakościowe ziarna. Proces przechowywania zmieszanych układów ziarnistych różniących się wilgotnością w różnych udziałach procentowych prowadzono w minisilosach w warunkach laboratoryjnych przez 72 godziny (zgodnie z [10, 23]). Badanie wyróżników jakościowych ziarna zostało przeprowadzone za pomocą specjalistycznych urządzeń do tego celu przeznaczonych, we współpracy z elewateorem *Opole-Port*.

Minisilosy wyposażono w 30 cyfrowych czujników temperatury firmy Dallas Semiconductor – DS18B20 o zakresie

pomiaru (-55-125) °C, (rys. 2). Przed przystąpieniem do badań wszystkie czujniki temperatury sprawdzono oraz wycechowano. Minisilosy wyposażono również w miernik wilgotności złoża ziarna Rotronic HygroPalm – produkcji szwajcarskiej wraz z sondą pomiarową HygroClip SP05. Sondę pomiarową umieszczono pionowo w środku minisilosu. Przez cały czas trwania badań, badano wilgotność pomieszczenia laboratoryjnego wilgotnościomierzem powietrza – Termohigrometrem TA 120. Odczyty dokonywane były przez pierwsze 4 godziny w 15 minutowych interwałach, następnie przez 4 godziny w 30 minutowych interwałach, kolejno przez 6 godzin w 60 minutowych interwałach, przez następne 8 godzin w 120 minutowych interwałach oraz przez kolejnych 50 godzin w 240 minutowych interwałach.



a)

b)

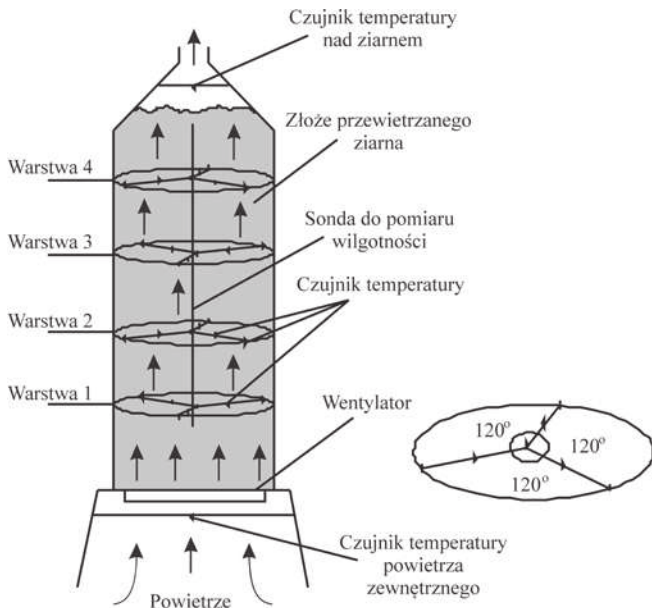
Rys. 2. Przykładowe zdjęcie cyfrowych czujników temperatury: a) czujniki przed montażem, b) czujniki zamontowane w minisilosie (fot. J. Rut).

Fig. 2. Examples picture of digital temperature sensors: a) sensors prior to installation, b) sensors installed in minisilo (fot. J. Rut).

Czujniki temperatury umieszczono w czterech poziomych warstwach. W każdej warstwie badano temperaturę na obrzeżach, w centrum oraz w tzw. warstwie wewnętrznej – tj. w połowie pomiędzy centrum a obrzeżem, dodatkowo czujniki pozwalały na pomiar temperatury zewnętrznej oraz temperatury nad warstwą ziarna, w sumie stosowano 30 punktów pomiarowych. Odczyty dokonywane były za pomocą aplikacji komputerowej DIGITEMP, działającej pod kontrolą systemu operacyjnego Linux - kernel 2.6.24.1. Dwuwymiarowy schemat minisilosu przedstawiono na rysunku 3.

Przeprowadzono 3 serie badań wymiany wilgotności w złożu ziarna pszenicy w mieszaninie ziaren suchych i ziaren wilgotnych w udziałach procentowych 50/50, 60/40, 70/30. Jak wspomniano, wilgotność ziarna mokrego pszenicy wynosiła 16,1% ($\pm 0,5$), a wilgotność ziarna suchego pszenicy wynosiła 11,4% ($\pm 0,5$). Badany zakres wilgotności ziaren zbóż przedstawiono w tabeli 1.

Badanie przebiegu zmian wilgotności w złożu ziarna przeprowadzono w minisilosach o objętości 0,0075 m³, do których wsypywano odpowiednio wymieszany materiał. Podczas przewietrzania złoża ziarna pszenicy badano również strumień przepływu powietrza przez złoże badanego ziarna. Dla ziarna pszenicy strumień przepływu powietrza wynosił 4,863 m³/h. Odpowiadało to względnym wartościom strumienia powietrza w odniesieniu do jednostki masy złoża ziarna pszenicy 0,86 m³/(h*kg). Stosunek średnich strumieni powietrza dobrano taki, jaki ma miejsce w dużych elewatorach zbożowych w odniesieniu do jednostkowej ilości ziarna.



Rys. 3. Dwuwymiarowy schemat – model minisilosu z przewietrzaniem wraz z oznaczeniem punktów pomiaru.

Fig. 3. Two-dimensional scheme – model minisilo of ventilation and temperature sensors.

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1. Wilgotność złoża ziarna suchego i wilgotnego pszenicy

Table 1. Humidity of layer dry and wet grains wheat

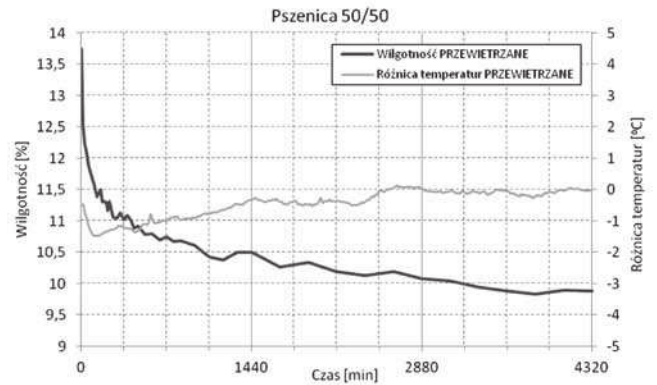
Pszenica		
serie	Wilgotność ziarna suchego [%]	Wilgotność ziarna mokrego [%]
1	11,7	15,8
2	11,1	16,1
3	11,4	16,4

Źródło: Badania własne

ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań zestawiono w formie wykresów obrazujących uzyskane uśrednione wyniki rozkładu wilgotności wraz ze zmianą temperatury w złożu ziaren pszenicy w różnych udziałach procentowych tj. 50/50, 60/40, 70/30 (rys. 4 do rys. 6).

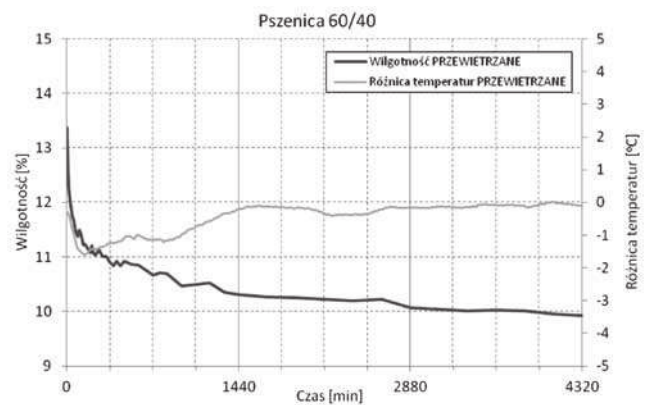
Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że rozkład temperatury przez 72 godziny magazynowania dla przewietrzanego złoża ziaren pszenicy był w dużej mierze uzależniony od temperatury zewnętrznej. Nie zaobserwowano nagłego podwyższenia temperatury w złożu ziarna co świadczy o dobrym przepływie powietrza między ziarnami, a ponadto o tym, że nie występowało zjawisko samozagrzewania się ziarna. Zauważono, że w początkowej fazie przepływu powietrza przez złoże miał miejsce znaczny spadek temperatury, który uwidocznił się kształtem przypominającym lej (rys. 4, 5, 6). Świadczy to o gwałtownym ochłodzeniu



Rys. 4. Wilgotność i różnica temperatur przewietrzanej pszenicy w udziale procentowym 50/50.

Fig. 4. Humidity and temperature difference of ventilated wheat in various percentage proportions of in 50/50.

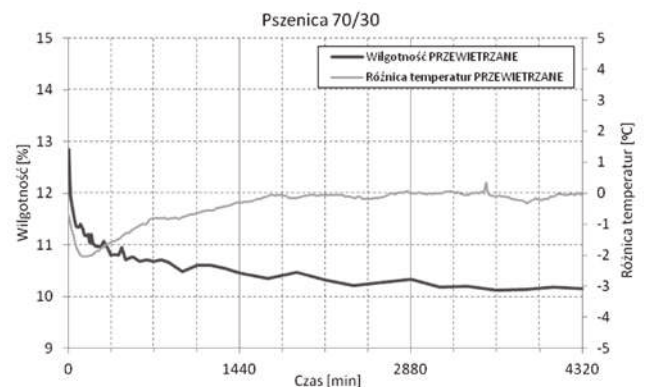
Źródło: Badania własne



Rys. 5. Wilgotność i różnica temperatur przewietrzanej pszenicy w udziale procentowym 60/40.

Fig. 5. Humidity and temperature difference of ventilated wheat in various percentage proportions of in 60/40.

Źródło: Badania własne



Rys. 6. Wilgotność i różnica temperatur przewietrzanej pszenicy w udziale procentowym 70/30.

Fig. 6. Humidity and temperature difference of ventilated wheat in various percentage proportions of in 70/30.

Źródło: Badania własne

przewietrzanego ziarna przez przepływające powietrze w początkowej fazie przewietrzania ziarna. Zaobserwowano również, że temperatura w złożu przewietrzanego ziarna pszenicy stabilizowała się w czasie krótszym niż 24 godziny, a przez następny okres rozkład temperatury w złożu ziarna pozostawał stabilny.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić również, że rozkład wilgotności dla przewietrzanego złoża ziarna pszenicy przez 72 godziny magazynowania ma cały czas tendencję spadkową. W pierwszych 6 godzinach zaobserwowano gwałtowny spadek wilgotności w złożu ziaren pszenicy. Spowodowane to było wymianą wilgoci między ziarnami wilgotnymi, a ziarnami suchymi i przepływającym powietrzem. Następnie po upływie 6 godzin zaobserwowano dalszy spadek wilgotności w złożu ziaren pszenicy, ale był on bardzo wolny. Stwierdzono, że bardzo wolny spadek wilgotności to stabilizacja zawartości wilgotności w złożu ziaren zbóż. Po zmieszaniu ziaren zbóż i jego magazynowaniu z przewietrzaniem, obniżono wilgotność pszenicy do poziomu około 10,0% (rys. 4, 5, 6).

BADANIE WYRÓŻNIKÓW JAKOŚCIOWYCH ZIARNA

Po upływie 72 godzin przewietrzane ziarno pszenicy poddano dalszym badaniom analizującym wyróżniki jakościowe ziarna, takie jak wilgotność, białko, gluten, sedymentacja, liczba opadania, gęstość, zanieczyszczenia, ilość ziaren uszkodzonych, ziaren porośniętych, obecność szkodników. W zależności od rodzaju badanego ziarna przyporządkowywane są im odpowiednie wyróżniki jakościowe [20]. Badania przeprowadzono na specjalistycznych urządzeniach [16] w elewatorze *Opole-Port* w Opolu, zgodnie z Polskimi Normami między innymi takimi jak:

- liczbę opadania określono wg normy PN-ISO 3093:1996/Az1:2000

Tabela 2. Zestawienie uśrednionych wyników wyróżników jakościowych ziarna pszenicy.

Table 2. Summary of the averaged results of wheat grain quality parameters.

Ziarno pszenicy			
parametry	przewietrzane		
	50/50	60/40	70/30
wilgotność [%]	10,5	10,1	10,3
białko [%]	12,8	12,5	12,7
gluten [%]	29,7	30,2	30,5
sedymentacja [ml]	36,5	36,6	36,2
liczba opadania [s]	276	259	263
gęstość [kg/hl]	78,7	78,4	78,6
zanieczyszczenia [%]	1,0	1,2	1,2
ziarna uszkodzone [%]	0,03	0,01	0,02
ziarna porośnięte [%]	brak	brak	brak
obecność szkodników [%]	brak	brak	brak

Źródło: Badania własne

- sedymentację i białko określono wg normy PN-ISO 5529:1998
- zawartość zanieczyszczeń, szkodników i zaśmieci wg normy PN-69/R-74016
- wilgotność oznaczono wg normy PN-90/A-74009
- zawartość glutenu mokrego oznaczano wg normy PN-93/A-74042.01
- ziarna porośnięte oznaczono wg normy PN-70/R-74013.

Uśrednione wyniki badań – wyróżników jakościowych dla ziarna pszenicy przedstawiono w tabeli 2.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyróżników jakościowych ziarna i uzyskanych wyników stwierdzono, że ziarno spełniało surowe normy stawiane ziarnu konsumpcyjnemu, tzn. ziarno nie straciło swojej wartości, ani nie uległo pogorszeniu jego parametry jakościowe.

WNIOSKI

1. Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników rozkładu temperatury w przewietrzanym złożu ziaren pszenicy stwierdzono, że rozkład temperatury w złożu ziaren był zbliżony do rozkładu temperatury zewnętrznej.
2. Rozkład wilgotności przewietrzanego złoża ziaren pszenicy miał tendencję spadkową.
3. Na podstawie uzyskanych wyników w procesie badania ziarna pod kątem jakościowym (wyróżniki jakościowe), stwierdzono że badane ziarno pszenicy nie uległo pogorszeniu jakościowemu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BOSS J. 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych, PWN Warszawa, 8.
- [2] BOSS J., TUKIENDORF M. 1997. *Mixing of granular materials using the method of funnel-flow*. Powder Handling & Processing 9, No. 4 October/December, 341-343.
- [3] FRĄCZEK J., KACZOROWSKI J., ŚLIPEK Z., HORABIK J., MOLENDĄ M. 2003. *Standaryzacja metod pomiaru właściwości fizyczno-mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych*. Acta Agrophysica, Rozprawy i monografie 92, 68-103.
- [4] FRĄCZEK J., ŚLIPEK Z. 2006. *Modele roślinnych struktur ziarnistych*. Inżynieria Rolnicza 12, 145-154.
- [5] FRĄCZEK J., WRÓBEL M. 2003. *Metoda określenia powierzchni styku między nasionami*. Acta Agrophysica 2(3), 519-529.
- [6] GOŹDZIEWSKA M., PIEKARSKI D., ANDREJKO D. 2007. *Wpływ wilgotności na wybrane właściwości mechaniczne ziarna pszenicy*. Inżynieria Rolnicza, 5(93), 179-187.
- [7] GÓRNIĄK W., MAJDAK H. 2005. *Wpływ wilgotności ziarna pszenicy na jego gęstość w stanie zsypanym*. Przegląd Zbożowo-Młynarski nr 12, Wydawnictwo Sigma-Not Warszawa.

- [8] **HORABIK J. 2001.** *Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania.* Acta Agrophysica 54, 36-82.
- [9] **KUSIŃSKA E. 2005.** *Wpływ zmian zawartości wody na twardość ziarna pszenicy podczas przechowywania w silosie w warunkach modelowych.* Inżynieria Rolnicza 7(67), 85-91.
- [10] **KUSIŃSKA E. 1998.** *Zjawiska towarzyszące migracji wilgoci w silosie zbożowym.* Zesz. Problemy Postępów Nauk Rolniczych z. 454, 521-528.
- [11] **LASKOWSKI J., SKONECKI S. 2001.** *Pomiar współczynnika tarcia wewnętrznego pszenicy o różnej wilgotności i stopniu rozdrobnienia.* Acta Agrophysica, 46, 95-104.
- [12] **LEDWOŃ K., CHMIEL L. 1989.** *Ziarno o niskiej wilgotności jako naturalny sorbent w procesie suszenia zbóż.* Zeszyty Naukowe WSI w Opolu, z. 37, nr 151, 87-94.
- [13] **LISOWSKI A. 2006.** *Suszenie ziarna kukurydzy cz. I. i cz. II.* Wiadomości Rolnicze listopad/grudzień, 21.
- [14] **MARKS N., SOBOL Z., BARAN D. 2006.** *Wpływ wilgotności na energochłonność procesu rozdrabniania ziarna zbóż.* Inżynieria Rolnicza 3(78), 281-288.
- [15] **MOLENDĄ M., HORABIK J. 2003.** *Właściwości fizyczne sypkich surowców spożywczych istotne w procesach magazynowania i przewietrzania.* Operacje Mechaniczne Inżynierii Procesowej, Łódź-Stok, 78-93.
- [16] **RUT J. 2009.** *Badanie parametrów ziarna w magazynach zbożowych.* Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, z. 94 nr 330.
- [17] **RUT J. 2011.** *Efekty suszenia materiałów ziarnistych w mieszalniku przesypowym.* Rozprawa doktorska, Politechnika Opolska, Opole.
- [18] **RUT J. 2012.** *Wpływ wilgotności materiału ziarnistego na przebieg procesu mieszania.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, Warszawa nr 2, 37-40.
- [19] **RYDZAK L. 2005.** *Możliwość regulacji wilgotności końcowej ziarna pszenicy po procesie nawilżania próżniowego.* Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa nr 7/2005 Lublin, 155-161.
- [20] **RYNIECKI A., SZYMAŃSKI P. 2004.** *Dobrze przechowywane zboże.* Wydanie II. MR INFO Towarzystwo Umiejętności Rolniczych, Poznań 2004.
- [21] **SŁODCZYK E. 1998.** *Możliwość wykorzystania pszenicy i kukurydzy jako naturalnego sorbentu.* Inżynieria Rolnicza 2(3), 63-70.
- [22] **SYPUŁA M., DADRZYŃSKA A. 2008.** *Wpływ czasu przechowywania ziarna pszenicy na zmianę jego cech jakościowych.* Inżynieria Rolnicza 1(99), 371-376.
- [23] **ŚCIBISZ M. 2008.** *Rozkład wilgotności w mieszaninie materiałów organicznych.* Annales UMCS, Agricultura Vol 63 nr 2, Warszawa, 8-14.
- [24] **TUKIENDORF M. 2003.** *Wpływ zmiany skali urządzenia mieszającego na wyniki procesu mieszania materiałów ziarnistych podczas wysypu ze zbiornika.* XI Ogólnopolska Konferencja: Postęp w Inżynierii Żywności, Frombork, 9-12.

RESEARCH TEMPERATURE AND HUMIDITY IN THE LAYER HOMOGENEOUS GRAIN MIXTURE

SUMMARY

The article presents a research of temperature and humidity distribution in the layer homogeneous mixture granular, in various percentage proportions and analysis of grain quality parameters. Research were made on wheat grain. To obtain a homogeneous mixture of granular materials used the method of mixing using laboratory flow agitator.

Key words: granular materials, mixing of granular materials, wheat, humidity, temperature, quality differentiators.