

## OCENA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNYCH CIASTA PRZY WYKORZYSTANIU KONSYSTOGRAFU I ALWEOGRAFU

*D. Dziki, J. Laskowski*

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego AR, ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: uldar@faunus.ar.lublin.pl

**Streszczenie.** Określono właściwości reologiczne ciasta pszennego przy użyciu alweo-konsystografu firmy Chopin. Stwierdzono silnie i dodatnie zależności pomiędzy stabilnością ciasta podczas miesienia a pracą deformacji i indeksem elastyczności ciasta. Zmiany stabilności ciasta podczas miesienia opisano równaniem regresji uwzględniającym zawartość białka w mące, rozplywalność glutenu oraz wskaźnik twardości ziarna PSI. Wykazano, że wraz ze wzrostem wskaźnika twardości PSI zmniejszała się sprężystość ciasta. Wskaźnik rozciągania ciasta opisano równaniem regresji w funkcji zawartości i rozplywalności glutenu mąki oraz liczby opadania.

**Słowa kluczowe:** pszenica, właściwości reologiczne, konsystograf, alweograf.

### WSTĘP

Właściwości przetwórcze mąki decydują o przeznaczeniu jej do produkcji określonego wyrobu piekarniczego. Do oceny wartości wypiekowej mąki stosowane są metody bezpośrednie i pośrednie. Pierwsze oparte są na próbnym wypieku laboratoryjnym. Metody pośrednie polegają na przeprowadzeniu testów zarówno właściwości fizycznych i chemicznych mąki, jak również właściwości reologicznych ciasta pszennego.

Metody oceny właściwości reologicznych ciasta zyskują coraz szersze zastosowanie zarówno w ocenie kwalifikacyjnej pszenicy jak i wymaganiach stawianych producentom mąki pszennej. Pomiaru te pozwalają między innymi na badanie zachowania się ciasta w czasie wyrabiania, fermentacji i wypieku pieczywa oraz umożliwiają określenie wodochłonności mąki. Uzyskane wskaźniki dobrze korelują

z cechami jakościowymi otrzymanego pieczywa [4,14]. Zaznaczyć należy, że istnieje szereg metod oceny właściwości zarówno glutenu mokrego [6,13] jak i próbek ciasta przy wykorzystaniu ekstensografu, konsystografu i alweografu.

Do metod oceny właściwości reologicznych ciasta, które w ostatnich latach w naszym kraju są coraz powszechniej stosowane, można zaliczyć ocenę alewograficzną i konsystograficzną. Metody te od wielu lat wykorzystywane są we Francji oraz w krajach pozostających z nią w kontaktach handlowych, jak również w innych rejonach świata (m.in. USA, Wielka Brytania, kraje Ameryki Południowej).

Pomimo szeregu opracowań dotyczących oceny właściwości reologicznych ciasta w aspekcie oceny przydatności technologicznej pszenicy niewiele prac dotyczy określenia zależności między właściwościami konsystograficznymi i alweograficznymi oraz cechami ziarna i mąki, które na nie wpływają. Dlatego też w niniejszej pracy zajęto się tą tematyką.

#### MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiło pięć odmian pszenicy zwyczajnej: dwie formy jarej (Banti i Henika) i trzy ozimej (Izolda, Juma oraz Maltanka). Dla ziarna określono wilgotność (według PN-93/A-74012), gęstość usypową (według PN-ISO 7971-2:1998) oraz wskaźnik twardości PSI (zgodnie z AACC 55-30).

Próbki ziarna doprowadzono do wilgotności 16% i po 24 godzinnym leżakowaniu poddawano przemiałowi na mlewniku laboratoryjnym firmy Chopin typ CD 1. Przemiał prowadzono dążąc do uzyskania możliwie stałego wyciągu mąki wynoszącego 68-70%. Dla uzyskanej mąki określono: zawartość białka ogółem (metodą Kjeldahla), popiołowość (zgodnie z PN-ISO 2171:1994), ilość i rozpuszczalność glutenu (według PN-A-74043-3:1994), liczbę opadania (zgodnie z PN-ISO 3093:1996).

Badania reologiczne ciasta przeprowadzono przy wykorzystaniu alweo-konsystografu firmy Chopin. W tym celu wykonano w miesiarce konsystografu próbki ciasta z mąki pszennej z dodatkiem 2,5% roztworu soli w ilości 125 ml na 250 g mąki o wilgotności 15%. Próbkę (o stałej wodochłonności) poddawano miesieniu przez 250 s, rejestrując jego przebieg. Na podstawie otrzymanego wykresu określono maksymalne ciśnienie, dla którego obliczana była wodochłonność mąki odpowiadająca ustalonej konsystencji ciasta.

Po określeniu wodochłonności analogicznie przygotowywano próbki ciasta do dalszych badań z tą różnicą, że urządzenie (alweolink) na podstawie wodochłonności mąki wyliczało ilość potrzebnej wody tak, żeby konsystencja ciasta do

dalszych badań była jednakowa dla wszystkich próbek (600 jB). Mieszenie ciasta o stałej konsystencji prowadzono przez 480 s. Na podstawie uzyskanego wykresu (Rys. 1) określono następujące parametry:

$T_{PrMax}$  – czas miesienia, do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia [s],

$Tol$  – stabilność ciasta (czas, w którym można miesić ciasto bez pogorszenia jego właściwości – obliczony po obniżeniu się ciśnienia maksymalnego o 20%) [s],

$D_{250}$  – osłabienie ciasta (rozmiękczenie) po 250 sekundach miesienia, [ $10^2 \cdot Pa$ ],

$D_{450}$  – osłabienie ciasta po 450 sekundach miesienia, [ $10^2 \cdot Pa$ ].

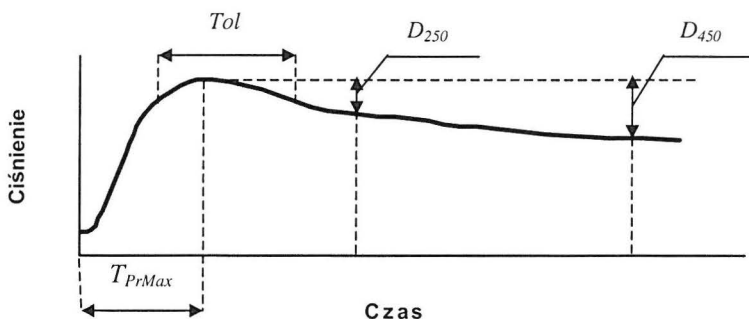


Fig. 1. Przykładowa krzywa konsystograficzna.

Fig. 1. Example consistograph curve.

Do dalszych badań przygotowano próbki ciasta o stałej hydratacji analogicznie jak do badania konsystograficznego. Po wydobyciu ciasta ze szczeliny miesiarki formowano pięć porcji i przenoszono do komory alweografu. Po upływie 28 minut próbki ciasta umieszczano w głowicy wydmuchującej alweografu i poddawano rozdmuchiwaniu. Podczas rozdmuchiwania baloników otrzymano krzywe (alweogramy – Rys. 2) charakteryzowane przez następujące parametry:

$P$  – ciśnienie odpowiadające maksymalnej wytrzymałości ciasta na odkształcenie (sprężystość ciasta), mm H<sub>2</sub>O

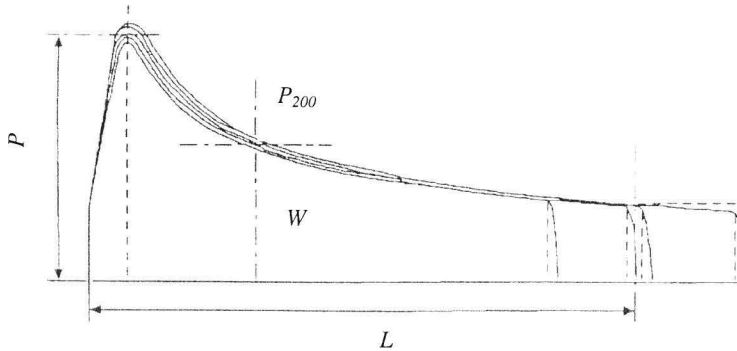
$L$  – rozciągliwość ciasta (długość wykresu), mm,

$P/L$  – iloraz sprężystości ciasta do jego rozciągliwości,

$G$  – wskaźnik rozciągania (rozdęcia) obliczany jako  $G = 2,226 \cdot L^{0,5}$ , mm<sup>0,5</sup>

$W$  – praca odkształcenia (rozciągania) ciasta, równa polu pod krzywą,  $10^{-4} \cdot J \cdot g^{-1}$ ,

$Ie$  – indeks elastyczności ciasta wyrażony jako iloraz  $P_{200}/P_{max}$ , gdzie  $P_{200}$  jest ciśnieniem mierzonym w pęcherzyku po wprowadzeniu pod ciasto 200 ml powietrza, %.



Rys. 2. Przykładowa krzywa alweograficzna.

Fig. 2. Example alveograph curve.

Wyniki badań alweograficznych przedstawione zostały według zasad aktualnie stosowanych w laboratoriach badawczych, zajmujących się oceną właściwości reologicznych ciasta pszennego (między innymi zgodnie z normą AACC 54-30A).

Na podstawie analizy statystycznej wyznaczono współczynniki korelacji Pearsona między określonymi parametrami oraz równania metodą regresji wielokrotnej. Wszystkie analizy wykonano przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## WYNIKI BADAŃ

Wyniki pomiarów właściwości ziarna badanych pszenic przedstawiono w Tabeli 1. Wilgotność próbek zawierała się w zakresie 12,8 do 13,2% i była zgodna z wymaganiami polskiej normy dla ziarna pszenicy (PN-R-74103:1996). Gęstość usypowa kształtowała się od  $755 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  dla odmiany Maltanka do  $802 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  dla odmiany Henika.

Indeks twardości *PSI* jest jednym z wyróżników jakościowych ziarna, świadczących o jego przydatności technologicznej. Najmniejsze wartości wskaźnika *PSI*, a tym samym największą twardość wykazywało ziarno Juma i Maltanki (średnio 10,8%), zdecydowanie mniejszą twardością charakteryzowały się ziarniaki odmiany Banti (średnio 15,7%).

Spośród badanych próbek, największą zawartością białka oraz glutenu mokrego, charakteryzowała się mąka otrzymana z odmiany Juma. Najmniejszą ilość tych składników stwierdzono w próbkach mąki odmian Henika i Maltanka. Rozpływalność glutenu oraz liczba opadania była najniższa dla próbek odmiany Banti, najwyższe wartości tych wskaźników otrzymano dla mąki pszenicy

Maltanka. Zawartość substancji mineralnych w mące otrzymanej z poszczególnych odmian pszenicy kształtowała się na zbliżonym poziomie od 0,65 do 0,70% (Tab. 2).

**Tabela 1.** Wilgotność, gęstość usypowa i wskaźnik twardości *PSI* ziarna pszenicy

**Table 1.** Moisture, test weight and *PSI* hardness index of wheat kernel

Odmiana	Wilgotność [%]	Gęstość usypowa [kg·m <sup>-3</sup> ]	Wskaźnik twardości <i>PSI</i> [%]
Banti	12,8	768	15,7
Henika	13,2	802	11,3
Izolda	13,1	776	13,8
Juma	13,3	785	11,0
Maltanka	12,8	755	10,5

**Tabela 2.** Właściwości mąki uzyskanej z przemiału badanych odmian pszenicy

**Table 2.** Properties of flour obtained from milling of investigated wheat varieties

Odmiana	Zawartość białka [%]	Zawartość glutenu [%]	Rozpływalność glutenu [%]	Liczba opadania [s]	Zawartość popiołu [%]
Banti	12,0	32	6	241	0,66
Henika	10,4	24	8	273	0,70
Izolda	10,9	26	8	228	0,69
Juma	13,2	33	8	258	0,70
Maltanka	10,5	24	9	290	0,65

Wyniki badań uzyskane przy wykorzystaniu konsystografu przedstawiono w Tabeli 3. Największą wodochłonność otrzymano dla mąki pszenicy odmiany Juma (57,3%), również ciasto uzyskane z tej mąki charakteryzowało się najdłuższym czasem do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia oraz największą stabilnością (odpowiednio 108 s i 146 s). Najniższe wartości tych cech otrzymano dla próbek odmiany Izolda (70 s i 86 s). Największym osłabieniem po 250 i 450 sekundach miesienia charakteryzowały się próbki ciasta odmiany Maltanka. Natomiast najmniejszym osłabieniem podczas miesienia wykazywało ciasto uzyskane z pszenicy odmiany Henika.

Stwierdzono bardzo silną zależność liniową między czasem do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia a stabilnością ciasta ( $r > 0,99$ ).

**Tabela 3.** Parametry konsystograficzne wyznaczone dla próbek ciasta pszennego**Table 3.** Consistograph parameters determined for samples of wheat dough

Odmiana	Wodochłonność mąki [%]	Czas do osiągnięcia maksymalnego ciśnienie [s]	Stabilność ciasta [s]	Oslabienie po 250 s mienienia [* 10 <sup>2</sup> Pa]	Oslabienie po 450 s mienienia [* 10 <sup>2</sup> Pa]
Banti	56,6	94	126	880	1269
Henika	53,8	86	118	785	1052
Izolda	52,7	70	86	1002	1232
Juma	57,3	108	146	775	1232
Maltanka	55,7	76	99	1087	1369

Właściwości reologiczne ciasta zależą między innymi od składu chemicznego mąki, jej wodochłonności oraz od oddziaływań fizykochemicznych w czasie powstawania ciasta. Na podstawie analizy statystycznej wyników badań, przeprowadzonej metodą regresji wielokrotnej krokową wsteczną, zmiany stabilności ciasta ( $Tol$ ) opisano równaniem regresji uwzględniającym zawartość białka w mące ( $z_b$ ), rozpywalność glutenu ( $r_g$ ) oraz wskaźnik twardości ziarna ( $PSI$ ):

$$Tol = 9,02 \cdot z_b - 29,13 \cdot r_g - 14,22 \cdot PSI + 416,80; R^2 = 0,998 \quad (1)$$

Badania przeprowadzone przy wykorzystaniu alveografu wykazały, że próbki ciasta otrzymane z poszczególnych odmian pszenicy różnią się znacznie między sobą określonymi właściwościami (Tab. 4).

**Tabela 4.** Parametry alveograficzne wyznaczone dla próbek ciasta pszennego**Table 4.** Alveograph parameters determined for samples of wheat dough

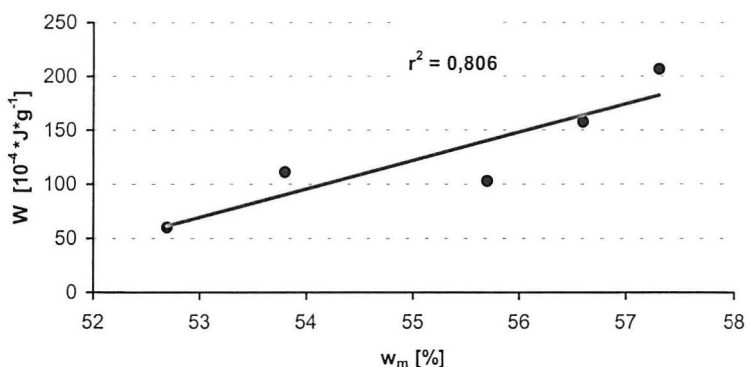
Odmiana	Sprężystość $P$ [mm H <sub>2</sub> O]	Rozciągliwość $L$ [mm]	Wskaźnik rozrzedzenia $G$ [mm <sup>0,5</sup> ]	$P/L$	Indeks elastyczności $IE$	Praca odkształcenia ciasta $W$ [10 <sup>-4</sup> J·g <sup>-1</sup> ]
Banti	51	139	26,2	0,36	42,6	158
Henika	68	51	15,9	1,34	33,3	111
Izolda	45	44	14,7	1,04	22,6	60
Juma	69	104	22,7	0,67	49,8	207
Maltanka	74	42	14,5	1,75	27	103

Największą sprężystością i najmniejszą rozciągliwością charakteryzowało się ciasto odmiany Maltanka (odpowiednio 74 mm H<sub>2</sub>O i 42 mm). Najmniejszą sprężystość uzyskano dla próbek odmiany Izłoda (45 mm H<sub>2</sub>O), zaś największą rozciągliwość wykazywało ciasto odmiany Banti (139 mm). Indeks elastyczności zmieniał się w od 22,6 dla ciasta odmiany Maltanka do 49,8 dla próbek pszenicy Juma.

Przyjmuje się, że najważniejszym parametrem alveograficznym jest praca odkształcenia ciasta  $W$ . Parametr ten bywa również nazywany wartością piekarniczą mąki i określa jej „siłę”. Badane odmiany pszenicy charakteryzowały raczej niskie wartości wskaźnika  $W$ . Najniższą wartość tego parametru uzyskano dla próbek pszenicy Izłoda (zaledwie  $60 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ ), najwyższą zaś dla ciasta Juma ( $207 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Według klasyfikacji francuskiej mąka o wartości parametru  $W$  poniżej  $150 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ , nie powinna być używana do wypieku chleba. Najlepszym surowcem do produkcji chleba jest mąka, dla której wartość pracy odkształcenia ciasta zawiera się w granicach  $180\text{-}250 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$  [5].

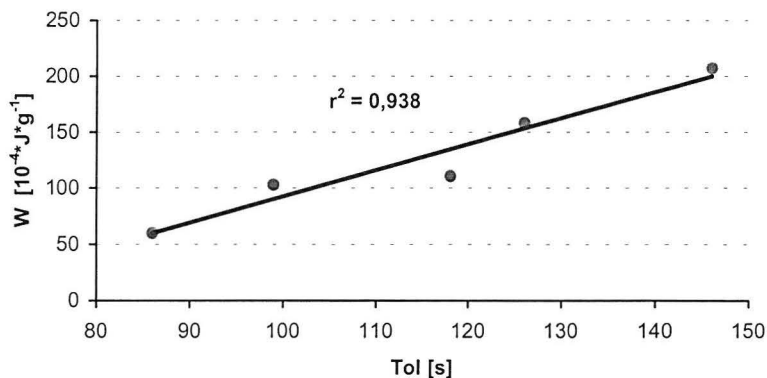
Według powyższej klasyfikacji jedynie mąkę otrzymaną z pszenicy odmiany Juma można zakwalifikować jako chlebową.

Analiza korelacji pomiędzy rozpatrywanymi cechami wykazała, że istnieje silna zależność liniowa pomiędzy wodochłonnością mąki a pracą odkształcenia ciasta  $W$ . Większej wodochłonności mąki odpowiadają wyższe wartości parametru  $W$  (Rys. 3.). Ponadto wykazano, że stabilność ciasta podczas miesienia, silnie i dodatnio koreluje z wartością wypiekową mąki wyrażoną parametrem  $W$  oraz indeksem elastyczności ciasta  $Ie$  (Rys. 4 i 5).



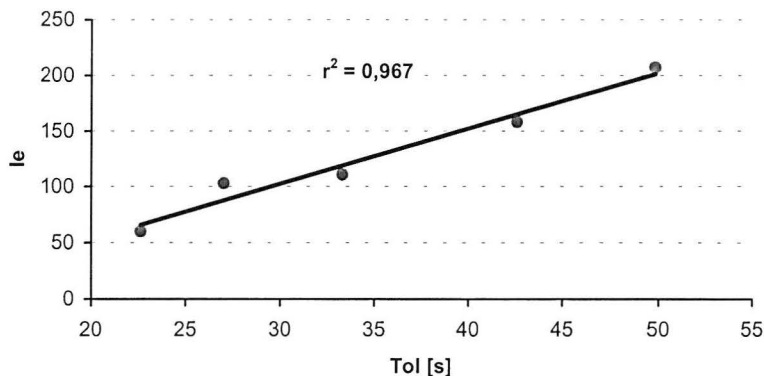
Rys. 3. Zależność między wodochłonnością mąki ( $w_m$ ) a pracą odkształcenia ciasta ( $W$ ).

Fig. 3. Dependency between the water absorption of flour ( $w_m$ ) and the work of dough deformation ( $W$ ).



**Rys. 4.** Zależność między stabilnością ciasta podczas miesienia ( $Tol$ ) a pracą odkształcenia ciasta ( $W$ ) podczas pomiarów alveograficznych.

**Fig. 4.** Dependency between the stability of dough during mixing ( $Tol$ ) and the work of dough deformation ( $W$ ) during alveograf test.



**Rys. 5.** Zależność między stabilnością ciasta podczas miesienia ( $Tol$ ) a indeksem elastyczności ( $Ie$ ).

**Fig. 5.** Dependency between the stability of dough during mixing ( $Tol$ ) and the index of dough elasticity ( $Ie$ ).

Stwierdzono także, że wraz ze wzrostem wskaźnika  $PSI$ , charakteryzującego twardość badanych odmian, zmniejsza się sprężystość ciasta ( $r = -0,888$ ).

Analiza metodą regresji wielokrotnej wykazała, że zmiany wskaźnika rozciągania ciasta ( $G$ ) można opisać równaniem regresji w funkcji zawartości glutenu ( $z_g$ ), jego rozplywalności ( $r_g$ ) oraz liczby opadania mąki ( $l_o$ ):



$$G = 0,862 \cdot z_g - 2,715 \cdot r_g + 0,0673 \cdot l_o - 1,35056; R^2 = 0,999 \quad (2)$$

Wysoka wartość współczynnika determinacji świadczy o bardzo dobrym dopasowaniu modelu do uzyskanych danych empirycznych.

### WNIOSKI

1. Badane odmiany pszenicy różniły się znacznie parametrami konsystograficznymi i alweograficznymi. Największą stabilnością podczas miesienia charakteryzowało się ciasto otrzymane z pszenicy odmiany Juma, najmniejszą zaś z odmiany Izolda; najwyższą pracę deformacji ciasta oraz indeks elastyczności podczas pomiarów alweograficznych uzyskano również dla próbek ciasta z pszenicy odmiany Juma, zaś najniższymi wartościami tych cech charakteryzowały się próbki Izoldy.
2. Analiza zależności między parametrami uzyskanymi z konsystografu i alweografu wykazała, dodatnie i silne zależności liniowe między stabilnością ciasta podczas miesienia a parametrami alweograficznymi takimi, jak praca deformacji ciasta i indeks elastyczności.
3. Zmiany stabilności ciasta podczas miesienia opisano równaniem regresji uwzględniającym zawartość białka w mące, rozplywalność glutenu oraz wskaźnik *PSI* charakteryzujący twardość ziarna.
4. Wraz ze wzrostem twardości ziarna wyrażonej wskaźnikiem *PSI* zwiększała się sprężystość uzyskanych z niego próbek ciasta.
5. Zmiany wskaźnika rozděcia ciasta opisano równaniem regresji wielokrotnej w funkcji zawartości i rozplywalności glutenu mąki oraz liczby opadania. Współczynnik determinacji dla wyznaczonego równania przekroczył wartość  $R^2 > 0,999$ .

### PIŚMIENNCTWO

1. AACC Method 54-30 Alveograph metod for soft and hard wheat flour.
2. AACC Method 55-30 Particle size index for wheat hardness.
3. **Abramczyk D.:** Klasyfikacja jakościowa ziarna pszenicy w oparciu o parametry oceny alweograficznej. Przegląd Zbożowo-Młynarski 4, 8-12, 1997.
4. **Efeifej K.I., Shibli R.:** Rheological properties and baking quality of flour from a landrace and durum wheat cultivars grown in Jordan. Cereal Chem., 70, 486-488, 1993.
5. **Jurga R.:** Jakość pszenicy i mąki we Francji. Przeg. Piek. i Cuk., 6, 10, 2001.

6. **Miś A.:** Ocena właściwości reologicznych glutenu mokrego przy pomocy testu pełzania. *Acta Agrophysica*, 46, 124-144, 2001.
7. PN-93/A-74020 Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności.
8. PN-A-74043-3:1994 Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie glutenu mokrego. Mąka pszenna.
9. PN-ISO 2171:1994 Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczenie popiołu całkowitego.
10. PN-ISO 3093:1996. Zboża. Oznaczanie liczby opadania
11. PN-ISO 7971-2:1998 Ziarno zbóż. Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym, zwanej „masą hektolitra”.
12. PN-R-74103:1996. Ziarno zbóż. Pszenica zwyczajna.
13. **Sadkiewicz K., Sadkiewicz J.:** Urządzenia pomiarowo-badawcze dla przetwórstwa zbożowo-mącznego. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz, 1998.
14. **Yamamoto H., Worthington S.T., Hou G., Ng P.K.W.:** Rheological properties and baking qualities of selected soft wheat grown in the United States. *Cereal Chem.* 73(2), 512-221, 1996.

## EVALUATION OF DOUGH RHEOLOGICAL PROPERTIES BY USE OF CONSISTOGRAPH AND ALVEOGRAPH

*D. Dziki, J. Laskowski*

Department of Machine Operation in Food Industry, Agricultural Academy  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: uldar@faunus.ar.lublin.pl

**Abstract.** The rheological properties of wheat dough were characterized by use of Chopin alveoconsistograph system. The results showed high, positive dependencies between stability of dough during mixing in relation to deformation work (baking strength) and elasticity index. Changes of dough stability during mixing were described by use of the multiple regression equation take into account protein content in flour, gluten quality and PSI hardness index of kernel. The result showed that as PSI hardness index increased the tenacity of dough decreased. Index of dough extensibility was described by the multiple regression equation in function gluten content and quality and falling number.

**Key words:** wheat, rheological properties, consistograph, alveograph.