

## **ZASTOSOWANIE MIXOLABU W OCENIE WARTOŚCI WYPIEKOWEJ ZIARNA I MĄKI**

**Anna Szafrńska**

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego  
Zakład Przetwórstwa Zbóż i Piekarstwa  
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa  
anna.szafranska@ibprs.pl

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono nową metodę oceny właściwości reologicznych ciasta za pomocą aparatu mixolab firmy Chopin Technologies. Wskazano protokoły, według których można wykonywać ocenę jakości ziarna i mąki oraz parametry odczytywane z wykresu odzwierciedlające zmiany cech ciasta zachodzące w trakcie jego przygotowania i następnie wypieku pieczywa. Przytoczono także wyniki aktualnych badań naukowych dotyczących możliwości wykorzystania mixolabu w ocenie jakości ziarna i mąki.

**Słowa kluczowe:** mixolab, ocena reologiczna, pszenica, żyto, wartość wypiekowa

### **UTILIZATION OF MIXOLAB FOR DETERMINATION OF THE BAKING VALUE OF WHEAT AND FLOUR**

#### **Summary**

The article presents the new method of determination the rheological properties of dough tested by mixolab (Chopin Technologies). Mixolab protocols for evaluation of the quality of grain or flour was specified as well as parameters obtained from Mixolab curve reflecting changes in the dough characteristics occurring during its preparation and bread baking. The latest scientific studies concerning the possibilities of mixolab utilization in assessment the quality of grain and flour were also presented.

**Key words:** mixolab, rheological properties, wheat, rye, baking value

### **WPROWADZENIE**

W procesie tworzenia ciasta pszennego oraz w technologii jego wypieku znaczącą rolę odgrywają białko i skrobia. Badanie właściwości tych dwóch składników mąki pozwala na określenie jej wartości wypiekowej, która uzależniona jest od składu chemicznego oraz

właściwości fizykochemicznych jej poszczególnych składników [Gąsiorowski 2004]. Najlepszą metodą oceny wartości wypiekowej mąki jest przeprowadzenie próbnego wypieku laboratoryjnego, na podstawie którego można wnioskować o zachowaniu się ciasta podczas jego sporządzania i dalszej obróbki oraz jakości uzyskanego pieczywa – objętości bochenka, porowatości miękiszu i cechach sensorycznych. Metoda ta, ze względu na pracochłonność i wysokie koszty wykonania, nie zawsze jest przeprowadzana, dlatego też stosowane są metody pośrednie, dzięki którym ocenę jakości mąki można wykonać w krótszym czasie.

Wśród podstawowych wskaźników oceny wartości wypiekowej należy wymienić: ogólną zawartość białka, ilość i jakość glutenu, wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego, liczbę opadania oraz stopień uszkodzenia skrobi. Ocena jakości mąki pszennej coraz częściej rozszerzana jest o określanie właściwości reologicznych ciasta za pomocą farinografu, ekstensografu oraz alweografu, na podstawie których można wnioskować o zmianach jego konsystencji i rozciągliwości. Za pomocą amylografu badane są zmiany lepkości zawiesiny mąki w wodzie w trakcie ogrzewania [Gąsiorowski 2004].

W technologii piekarstwa kompleksowa ocena cech reologicznych wymaga zastosowania do oznaczeń kilku urządzeń, m.in. farinografu, alweografu, ekstensografu. Od 2004 roku w jednostkach naukowych oraz w laboratoriach przemysłu zbożowo-młynarskiego do tego celu stosowany jest mixolab firmy Chopin Technologies, pozwalający na jednoczesną ocenę właściwości białka i skrobi [Dubat 2010]. Przy jego użyciu określa się cechy reologiczne ciasta za pomocą niestosowanych dotychczas umownych parametrów jakościowych, rejestrowanych w postaci wykresu. Przygotowane z mąki ciasto badane jest w warunkach kontrolowanego zwiększania i obniżania temperatury w trakcie oznaczania. Parametry odczytane z wykresu opisują kleikowanie skrobi, jej retrogradację, aktywność enzymatyczną, osłabienie struktury glutenu w trakcie ogrzewania oraz interakcje między wymienionymi parametrami [Dubat i Vitali 2009; Koksel i in. 2009].

Firma Chopin Technologies współpracuje z wieloma jednostkami badawczymi i normalizacyjnymi w celu opracowywania standardów jakościowych oraz metodyki badań prowadzonych z wykorzystaniem mixolabu. W 2009 roku jednostka normalizacyjna AFNOR we Francji opracowała normę NF VO3-765 "Cereals and cereal products – Wheat flour (*T. aestivum*) – Water absorption measurement and rheological characteristics of a dough during mixing with the mixolab", a w 2010 roku Amerykańskie Stowarzyszenie Chemików Zbożowych (American Association of Cereal Chemists) normę AACC Method 54-60.01 "Determination of rheological behavior as a function of mixing and temperature increase in wheat flour and whole wheat meal". W 2011 roku Stowarzyszenie na Rzecz Nauki

i Technologii Zbóż (International Association for Cereal Science and Technology) opracowało normę ICC nr 173: “Whole Meal and Flour from *T. aestivum* – Determination of Rheological Behavior as a Function of Mixing and Temperature Increase”. W 2013 roku Podkomitet Techniczny ISO „Zboża i Strączkowe” ISO/TC 34/SC 4 wprowadził normę ISO 17718: “Whole meal and flour from Wheat (*T. aestivum* L.) – Determination of rheological behaviour as a function of mixing and temperature increase”. W 2015 roku do katalogu Polskich Norm została wdrożona norma PN-EN ISO 17718:2015-01E Śruta całoziarnowa i mąka z ziarna pszenicy (*Triticum aestivum* L.) – Oznaczanie właściwości reologicznych jako funkcji mieszenia i wzrostu temperatury.

Różnice w ww. normach dotyczą formy przedstawienia treści, specyficznej dla każdej jednostki normalizacyjnej, oraz podania przez Podkomitet ISO/ TC 34/SC 4 informacji dotyczącej powtarzalności i odtwarzalności metody wraz z załączeniem wyników badań międzylaboratoryjnych.

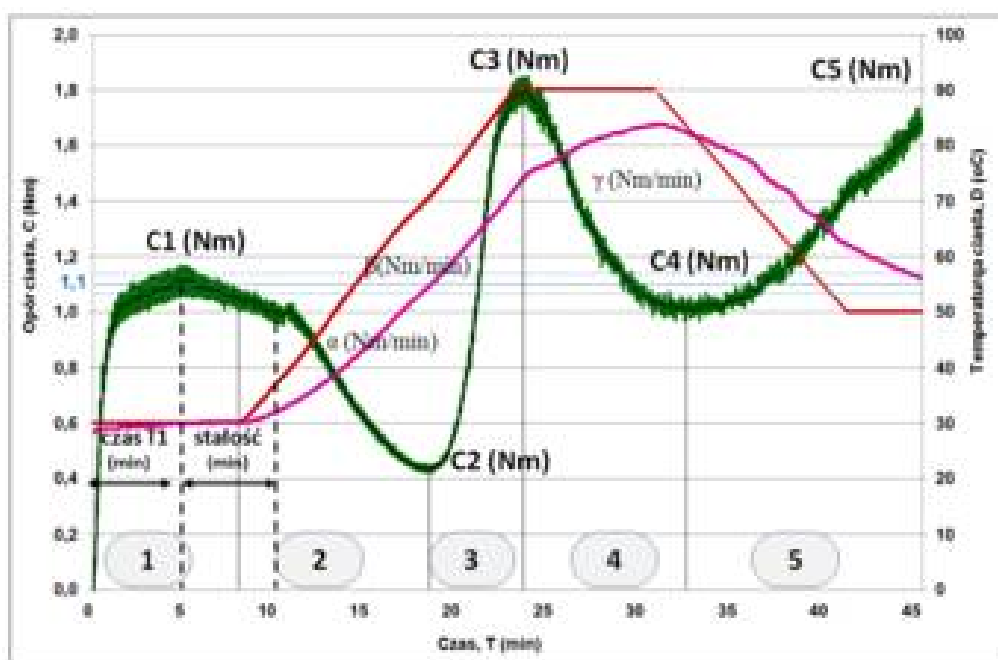
### **Charakterystyka działania aparatu mixolab**

Główną częścią aparatu mixolab jest komora mieszenia z mieszadłami o odpowiednio wyprofilowanym kształcie. W trakcie mieszenia rejestrowane są zmiany oporu ciasta stawianego mieszadłom. Zmiany temperatury ciasta rejestrowane są poprzez umieszczony wewnątrz komory mieszenia czujnik. Aparat ma wbudowany termostat i automatyczną biuretę dozującą ilość wody z termostatu do komory mieszenia. Ogrzewanie lub obniżanie temperatury ciasta następuje poprzez wymianę ciepła między płaszczem grzejnym, ściśle przylegającym do komory mieszenia, a samą komorą mieszalnika [Dubat 2010].

Ocena mąki za pomocą aparatu mixolab zgodnie z instrukcją producenta aparatu może być wykonana zgodnie z trzema tzw. programami oznaczeń: Mixolab Standard, Mixolab Profiler oraz Mixolab Simulator. Oznaczenie w każdym z tych programów przebiega dwuetapowo. W pierwszym etapie wyznaczona zostaje wodochłonność mąki lub śruty (odpowiadająca konsystencji  $1,1 \text{ Nm} \pm 0,05 \text{ Nm}$ ). W drugim etapie badane są zmiany cech ciasta podczas jego tworzenia i dalszego mieszenia.

Typowy wykres uzyskiwany za pomocą aparatu mixolab zgodnie z programem **Mixolab Standard** przedstawiono na rysunku 1. W pierwszej części wykresu określone są parametry mąki uzależnione od właściwości białka, a wykres ma podobny kształt do wykresu z farinografu. W drugiej części określone są parametry mąki, na które mają wpływ właściwości skrobi, a wykres przypomina krzywą uzyskiwaną z amylografu. Zielona linia na wykresie przedstawia opór ciasta stawiany mieszadłom w trakcie oznaczania (w jednostkach

Nm). Zmiany temperatury miesiarki rejestrowane są na wykresie jako linia czerwona, a zmiany temperatury ciasta jako linia różowa. Linie poziome ( $1,1 \pm 0,05$  Nm) wskazują na optymalną konsystencję ciasta, którą musi ono osiągnąć w początkowej fazie wykresu w trakcie wyznaczania wodochłonności mąki. Opór ciasta 1,1 Nm odpowiada konsystencji 500 FU w ocenie farinograficznej [PN-EN ISO 17718:2015].



**Rysunek 1.** Przykładowy wykres uzyskiwany za pomocą aparatu mixolab  
*Typical mixolab curve*

W programie oznaczania Mixolab Standard badane są cechy ciasta podczas jego tworzenia i dalszego mieszania w zmiennych warunkach temperatury w czasie 45 minut. Wykres uzyskany za pomocą aparatu mixolab podzielono na pięć faz (rysunek 1), opisujących cechy ciasta w trakcie oznaczania. W poszczególnych fazach wyznaczane są tzw. punkty charakterystyczne wykresu, oznaczone odpowiednio: C1, C2, C3, C4 i C5, w których określone są: opór ciasta (C, wyrażany w jednostkach Nm), temperatura ciasta (D, w °C) i czas (T, w min), mierzony od momentu rozpoczęcia dodawania wody do uzyskania odpowiedniej konsystencji w danym punkcie charakterystycznym wykresu. Parametry odczytywane w programie Mixolab Standard przedstawiono w tabeli 1 [Dubat 2010].

**Tabela 1.** Parametry odczytywane z wykresu uzyskanego za pomocą aparatu mixolab [Mixolab Applications Handbook 2012]  
*Mixolab parameters [Mixolab Applications Handbook 2012]*

Faza wykresu	Mierzone parametry
Faza 1 stała temperatura: 30°C czas trwania: 8 min	C1 – maksymalny opór ciasta w fazie 1 (Nm) T1 – czas mierzony od momentu dodawania wody do osiągnięcia maksymalnego oporu ciasta w punkcie C1 wykresu (min) D1 – temperatura ciasta w punkcie C1 (°C) Stażność (min) – czas, w którym opór ciasta kształtuje się w zakresie $C1-0,11 \cdot C1$ Elastyczność ciasta (Nm)
Faza 2 wzrost temperatury od 30 do 60°C o 4°C/min	C2 – minimalny opór ciasta w fazie 2 (Nm) T2 – czas do osiągnięcia punktu C2 (min) D2 – temperatura ciasta w punkcie C2 (°C) $\alpha$ – wskaźnik osłabienia struktury białek pod wpływem wzrostu temperatury (Nm/min)
Faza 3 wzrost temperatury od 60 do 90°C o 4°C/min	C3 – maksymalny opór ciasta w fazie 3 (Nm) T3 – czas do osiągnięcia punktu C3 (min) D3 – temperatura ciasta w punkcie C3 (°C) $\beta$ – wskaźnik tempa wzrostu oporu ciasta w wyniku kleikowania skrobi (Nm/min)
Faza 4 stała temperatura: 90°C czas trwania: 7 min	C4 – minimalny opór ciasta w fazie 4 (Nm) T4 – czas do osiągnięcia punktu C4 (min) D4 – temperatura ciasta w punkcie C4 (°C) $\gamma$ – wskaźnik hydrolizy enzymatycznej (Nm/min)
Faza 5 obniżanie temperatury z 90 do 50°C o 4°C/min	C5 – maksymalny opór ciasta w fazie 5 (Nm) T5 – czas do osiągnięcia punktu C5 (min) D5 – temperatura ciasta w punkcie C5 (°C)

W pierwszej fazie, trwającej 8 minut przy stałej temperaturze ciasta (30°C), wyznaczana jest wodochłonność i określone są właściwości ciasta podczas mieszania (czas T1 i stażność). W fazie drugiej, w trakcie jednoczesnego mieszania i wzrostu temperatury o 4°C/min, następuje zmniejszenie oporu ciasta stawianego mieszadłom w wyniku osłabienia struktury ciasta wynikające ze zmian w strukturze glutenu. Parametry uzyskiwane w fazie drugiej dostarczają informacji na temat jakości ciasta i są uzależnione od cech białka. Faza trzecia wykresu rozpoczyna się w momencie, kiedy temperatura osiągnie poziom temperatury początkowej kleikowania skrobi, i trwa do osiągnięcia maksymalnego oporu ciasta w fazie trzeciej. Faza trzecia odzwierciedla zmiany cech ciasta pod wpływem kleikowania skrobi. Wartość maksymalna oporu ciasta w fazie trzeciej (C3) uzależniona jest od właściwości skrobi i aktywności enzymów amylolytycznych zawartych w badanej mące [Dubat 2010].

W fazie czwartej, w której temperatura ciasta jest stała i wynosi 90°C, określana jest stabilność kleiku skrobiowego w wysokiej temperaturze. Im wyższa aktywność enzymów amylolitycznych, tym mniejsza stabilność kleiku skrobiowego, czyli większa różnica oporu ciasta w punktach C3 i C4 wykresu. W trakcie obniżania temperatury do 50°C w fazie piątej następują zmiany w układzie ziarenek skrobi. Za przyczynę twardnienia miększu w trakcie przechowywania pieczywa uważa się głównie krystalizację amylopektyny, a w mniejszym stopniu amylozy. Różnica oporu ciasta w punktach C5 i C4 wykresu określana jest mianem retrogradacji. W fazach trzeciej, czwartej i piątej wykresu badane są właściwości skrobi zawartej w mące [Dubat i Vitali 2009].

W zależności od badanego materiału stosowane są różne protokoły oznaczania, m.in. Chopin+ (ocena mąki pszennej, mąki żytniej i śruty żytniej), Chopin Wheat+ (śruta z pszenicy zwyczajnej), Durum Wheat (śruta z pszenicy durum) a także Rice (ryż), Wheat Gluten (gluten), Wheat Breeder (ziarno pszenicy na etapie hodowli nowych odmian) i Wheat Bug (badanie aktywności enzymów proteolitycznych pszenicy porażonej przez pluskwę pszeniczną). Oprogramowanie aparatu mixolab umożliwia także tworzenie własnych protokołów oznaczeń, np. symulującego specyficzne warunki panujące w trakcie procesu produkcyjnego. Użytkownik sam ustala parametry pracy urządzenia, takie jak: czas trwania oznaczenia, prędkość obrotowa mieszadeł i zmiany temperatury [Mixolab Applications Handbook 2012].

Aparat mixolab pozwala określić łącznie ponad 20 różnych parametrów w jednym teście. W celu ułatwienia interpretacji tak dużej liczby parametrów opracowano program **Mixolab Profiler**, w którym wyniki uzyskiwane w programie Mixolab Standard przekształcane są w sześć umownych wskaźników: wodochłonność, mieszenie, gluten+, lepkość, amyloлиза, retrogradacja. Wartości wskaźników zostają wyznaczone na podstawie parametrów odczytanych w poszczególnych fazach wykresu uzyskanego w programie Mixolab Standard. Każdy wskaźnik jest zbonitowany w skali od 1 do 9, przy czym wartość „1” oznacza najniższy poziom wartości odczytywanej z wykresu uzyskanego za pomocą aparatu mixolab. Wyniki oceny za pomocą wskaźników, tzw. profil mąki, prezentowane są w formie cyfrowej – zapis w postaci sześciu cyfr np. „3-37-855” (każda z cyfr oznacza wartość poszczególnych wskaźników) oraz graficznej – przedstawionej na wykresie [Dubat i Vitali 2009].

Parametry oceny mąki uzyskiwane za pomocą protokołu oznaczania **Mixolab Simulator** są analogiczne do uzyskiwanych za pomocą farinografu, tj. wodochłonność mąki, czas rozwoju ciasta, czas stałości ciasta oraz rozmiękczenie ciasta. Wyniki badań Brun Le i in. [2008] wskazują, że wyniki uzyskiwane dla tych samych badanych mąk za pomocą

farinografu i mixolabu nie różnią się istotnie statystycznie, a więc protokół Simulator może być stosowany zamiennie z oznaczeniem farinograficznym.

### **Możliwości wykorzystania mixolabu w ocenie jakości ziarna i mąki**

Mixolab jest stosunkowo nowym urządzeniem na rynku zbożowo-młynarskim, które w jednym teście umożliwia ocenę wzajemnych oddziaływań białka i skrobi w badanym cieście. W ostatnich latach zaobserwowano wzrost zainteresowania jednostek naukowych możliwościami wykorzystania tego urządzenia. Badania z wykorzystaniem mixolabu prowadzone są w kierunku m.in.: oceny jakości ziarna pszenicy i ziarna innych zbóż, oceny jakości mąki pszennej i żytniej, badania wpływu różnych dodatków do mąki na cechy ciasta, oceny jakości ciasta z mąki przeznaczonej na określone kierunki wykorzystania, opracowania wzorów przeliczeniowych do przewidywania cech pieczywa na podstawie cech ciasta.

Aparat mixolab wykorzystywany jest w wielu krajach do oceny jakości ziarna pszenicy. Instytut Arvalis (Francja) zamieszcza parametry uzyskiwane za pomocą tego aparatu (wodochłonność i stałość), obok tradycyjnie stosowanych wyróżników jakościowych, w corocznie publikowanych materiałach dotyczących oceny jakości zebranego ziarna [Quality of French Wheats 2014 Harvest]. W USA ocenę odmian pszenicy jarej i ozimej, tradycyjnie wykonywaną za pomocą mixografu, farinografu, alweografu i testów wypiekowych, w ostatnich latach rozszerzono o ocenę za pomocą mixolabu [Simsek i in. 2007; Caffè i in. 2009; Caffè-Tremli i in. 2010]. Wstępna ocena wartości technologicznej ziarna z kolejnych lat zbiorów wykonywana przez pracowników ZPZiP IBPRS obejmuje również badanie cech ciasta za pomocą mixolabu [Szafrńska 2012].

Ze względu na małą masę próbki niezbędnej do wykonania badania (ok. 50 g mąki lub śruty), mixolab nadaje się do zastosowania już we wczesnych etapach hodowli nowych odmian pszenicy [Peña i in. 2007]. Jednostki badawcze prowadzące prace w tym zakresie wykorzystują mixolab do identyfikowania różnic między odmianami [Koksel i in. 2009; Švec i Hrušková 2009]. Według Caffè i in. [2009] wyniki oceny za pomocą tego urządzenia uzależnione są w dużym stopniu od odmiany pszenicy i warunków panujących w trakcie wegetacji roślin i zbioru ziarna. Na podstawie wyników oceny cech ciasta uzyskanego z ześrutowanego ziarna można z dużą dokładnością wnioskować o cechach ciasta z mąki otrzymanej z przemiału laboratoryjnego tego ziarna [Stoenescu i in. 2010; Szafrńska 2010]. Pozwala to znacznie skrócić czas oczekiwania na wynik końcowy, co w przypadku prac hodowlanych umożliwia kształtowanie pożądanych cech jakościowych ziarna już we wczesnych etapach hodowli.

Badania Szafrąskiej [2011a, 2012], dotyczące oceny ziarna odmian pszenicy uprawianych w Polsce odmian pszenicy, wykazały zróżnicowanie parametrów określających cechy reologiczne ciasta za pomocą aparatu mixolab. Śruta całoziarnowa uzyskana z ziarna pszenicy odmian zakwalifikowanych do grup elitarnej i jakościowej charakteryzowała się istotnie wyższą wodochłonnością niż śruta całoziarnowa z ziarna odmian pszenicy chlebowej. Wartości oporu ciasta mierzone w punktach charakterystycznych wykresu również były zróżnicowane w ramach poszczególnych grup jakościowych.

Papoušková i in. [2011] wykorzystali mixolab do badania zmian wartości wypiekowej mąki uzyskanej z pszenicy w różnym stopniu porażonej przez grzyby z rodzaju *Fusarium*. Wyższy stopień porażenia ziarna grzybami z rodzaju *Fusarium* negatywnie wpływał na cechy ciasta oceniane za pomocą aparatu mixolab.

Drugim obszarem zainteresowań naukowców jest wykorzystywanie aparatu mixolab do badania zarówno mąki pszennej, jak i żytniej oraz śruty z ziarna, której ocena w urządzeniach tradycyjnie stosowanych do oceny cech reologicznych była z różnych względów utrudniona lub niemożliwa. Wyniki badań Bodroža-Solarov i in. [2009], Sedej i in. [2011] oraz prezentowane w *Mixolab Applications Handbook* [2012] wskazują na możliwość wykorzystania aparatu mixolab także w ocenie cech reologicznych ciasta z mąki z ziarna innych zbóż, np. żyta, kukurydzy, pszenżyta, orkisz czy gryki. Badania prowadzone przez Banu i in. [2010], dotyczące oceny mąki pszennej uzyskanej z poszczególnych pasaży przemiałowych młyna przemysłowego, wskazują na zróżnicowanie cech reologicznych w zakresie wodochłonności, czasu rozwoju, wskaźników  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i oporu ciasta w punktach charakterystycznych wykresu C2, C3 i C5 w zależności od granulacji mąki.

Mąki pszenne badane przez Codina [2008] oraz Stoenescu i in. [2010] oraz mąki żytnie w badaniach Szafrąskiej [2011b] o wyższej zawartości popiołu charakteryzowały się wyższą wodochłonnością oraz niższymi wartościami oporu ciasta w punktach charakterystycznych wykresu C3, C4 i C5 niż mąki o niższej zawartości popiołu. W przypadku mąki żytniej stwierdzono także istotne dodatnie współczynniki korelacji między oporem ciasta w punktach charakterystycznych wykresu opisujących jakość skrobi (C3, C4 i C5) a wskaźnikiem  $\beta$  i liczbą opadania.

Mixolab ze względu na możliwość badania w jednym teście cech białka i skrobi może być wykorzystywany do oceny wpływu różnego rodzaju polepszaczy, enzymów i innych dodatków na cechy reologiczne ciasta. Badania Fuduli i in. [2008] wykazały korzystny wpływ dodatku oksydazy glukozowej na cechy reologiczne ciasta: wydłużenie parametru stałość z 5 do blisko 11 minut i zwiększenie oporu ciasta mierzonego w punktach charakterystycznych



wykresu (C2, C3, C4 i C5). Codina i in. [2009] stwierdzili poprawę cech reologicznych ciasta uzyskanego z mąki o wysokiej aktywności enzymów amylolitycznych przez dodatek kwasu mlekowego w ilości od 0,1 do 0,5%.

Bonet i in. [2006] badali wpływ białka pochodzącego z różnych źródeł (mąki sojowej, mąki łubinowej, albumin jajka, żelatyny, sproszkowanych drożdży piwnych) oraz transglutaminazy na cechy funkcjonalne ciasta pszennego. Wykazano korzystny wpływ mąki łubinowej i żelatyny na wodochłonność mąki pszennej oraz negatywny wpływ albumin jajka. Mąka łubinowa i sproszkowane drożdże piwne istotnie wydłużały czas rozwoju ciasta, ale jednocześnie skracały jego stałość. Wpływ dodatku różnego rodzaju błonnika (m.in. z buraków cukrowych, grochu) oraz oligosacharydów na cechy ciasta pszennego w trakcie mieszenia i kleikowania był przedmiotem badań Angioloni i Collar [2009] oraz Rosell i in. [2010]. Dodatek wyizolowanych białek sojowych do mąki ryżowej korzystnie wpływał na wydłużenie czasu rozwoju i stałości ciasta [Marco i Rosell 2008], a dodatek transglutaminazy do ciasta owsianego powodował zmniejszenie wodochłonności mąki przy jednoczesnym wydłużeniu czasu rozwoju i stałości ciasta [Huang i in. 2010].

Țăin i in. [2008], Banu i in. [2011] oraz Codina i in. [2012] badali wpływ różnych dawek enzymów:  $\alpha$ -amylazy i fitazy grzybowej na cechy ciasta otrzymanego z mąki pszennej o różnej zawartości popiołu wyprodukowanej w młynie przemysłowym. Wykazali, że wraz ze wzrostem aktywności enzymów amylolitycznych zmniejszał się opór ciasta w punktach C3, C4 i C5 wykresu. Według Banu i in. [2009] kształt wykresów uzyskiwanych za pomocą mixolabu jest zróżnicowany w zależności od jakości białka oraz aktywności enzymów amylolitycznych.

Niculita i in. [2008] stwierdzili zmniejszenie parametru stałość oraz oporu ciasta we wszystkich punktach charakterystycznych wykresu wraz ze stopniowym zwiększaniem dodatku enzymów proteolitycznych do badanej mąki pszennej. Dodatek enzymów lipolitycznych w badaniach Paslaru [2008] powodował wydłużenie parametru stałość oraz wzrost oporu ciasta w punktach wykresu C3, C4 i C5, przy jednoczesnym braku zmian wodochłonności i oporu ciasta w punkcie C2. Nechita i in. [2009], dodając sól do mąki pszennej, uzyskali zmniejszenie wodochłonności i obniżenie wartości oporu ciasta mierzonego w punktach charakterystycznych wykresu opisujących jakość skrobi.

Niektóre badania prowadzone były w celu wyznaczenia optymalnych parametrów mąki do produkcji określonego asortymentu pieczywa. Kahraman i in. [2008] oraz Ozturk i in. [2008] na podstawie parametrów uzyskanych za pomocą mixolabu opracowali wymagania dla mąki referencyjnej na typowe wyroby ciastkarskie wypiekane w Turcji. Według

wymienionych autorów mąka przeznaczona do produkcji ciastek powinna charakteryzować się wysoką wartością oporu ciasta w punktach C3, C4 i C5 (odzwierciedlającą niską aktywność enzymów amylolitycznych), niską wartością parametru stałość i dużą różnicą między oporem ciasta mierzonym w punktach wykresu C1 i C2, która świadczy o słabej jakości białka.

Šimurina i in. [2009] w badaniach nad możliwością zastąpienia mąki pszennej mąką gryczaną wykorzystali mixolab do badania cech ciasta na krakersy. Mąka gryczana charakteryzuje się wyższą wodochłonnością niż mąka pszenna, krótszym czasem rozwoju i stałości oraz niższymi wartościami oporu ciasta w punktach: C2, C3, C4 i C5. Zwiększanie udziału mąki gryczanej w badaniach Hadnađev i in. [2008] oraz Torbica i in. [2010] powodowało osłabienie struktury glutenu, obniżenie oporu ciasta pszenno-gryczanego w punkcie C3 i zmniejszenie retrogradacji.

Wyniki uzyskiwane w ocenie cech reologicznych za pomocą mixolabu podawane są w niestosowanych dotąd umownych parametrach jakościowych i wiele prac poświęconych jest określeniu zależności pomiędzy nimi a wynikami tradycyjnie stosowanych wyróżników jakościowych. Garcia-Álvarez i in. [2011] wyniki oceny mąki pszennej określone za pomocą podstawowych wyróżników jakościowych (zawartość białka, wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego, parametry oceny farinograficznej) porównywali z wynikami oceny cech reologicznych uzyskanych za pomocą aparatu mixolab. Dapčević i in. [2009], Zhang i in. [2009], Codina i in. [2010, 2011] oraz Szafrańska [2014] badali zależności między parametrami oceny cech farinograficznych, ekstensograficznych, alweograficznych i amylograficznych a parametrami uzyskanymi w ocenie za pomocą mixolabu. Wynikiem tych badań było uzyskanie wysokich współczynników korelacji między parametrami oceny powszechnie stosowanych wyróżników jakościowych a wynikami oceny za pomocą mixolabu.

Prowadzone są także prace nad wyznaczaniem matematycznych modeli na podstawie wartości odczytywanych z wykresu uzyskanego za pomocą mixolabu w celu przewidywania wartości parametrów określanych w ramach czaso- i pracochłonnych testów wypiekowych [Caffe i in. 2009; Švec i Hruškova 2009; Zhang i in. 2009]. Badania Caffè-Tremel i in. [2010] wskazują na możliwość uzyskania wysokich współczynników korelacji między parametrami oceny za pomocą mixolabu a m.in. objętością chleba. Kahraman i in. [2008] oraz Ozturk i in. [2008] na podstawie wyników oceny oporu ciasta w punktach C2, C3, C4 i C5 opracowali wzory przeliczeniowe pozwalające na wyznaczenie objętości pieczywa.

## **PODSUMOWANIE**

Przedstawione dane literaturowe wskazują na możliwości szerokiego wykorzystania mixolabu w ocenie jakości mąki oraz śruty całoziarnowej, a także w badaniu wpływu różnych dodatków na cechy reologiczne ciasta czy opracowywaniu wymagań jakościowych dla mąki na określone kierunki wykorzystania. Dotychczasowe badania z zastosowaniem mixolabu prowadzone były w większości w zagranicznych ośrodkach naukowych, dlatego wykorzystanie tego urządzenia do oceny mąki i śruty z ziarna zbóż produkowanych w Polsce wymaga dalszych prac, w tym badań porównawczych z wyróżnikami jakościowymi powszechnie stosowanymi w przemyśle zbożowo-młynarskim, np. ilością i jakością glutenu, liczbą opadania.

## **PIŚMIENNICTWO**

1. Angioloni A., Collar C. (2009). Significance of structuring/prebiotic blends on bread dough thermo-mechanical profile. *Eur. Food Res. Technol.*, 229, 603-610
2. Banu I., Stoenescu G., Ionescu V., Vasilean I., Aprodu I. (2009). Rheological behavior of different wheat varieties. *The Annals of the Dunarea de Jos of Galati. Fascile VI – Food Technology, New Series Year III (XXXII)*, 25-30
3. Banu I., Stoenescu G., Ionescu V., Vasilean I., Aprodu I. (2010). Physicochemical and rheological analysis of flour mill streams. *Cereal Chem.*, 87 (2), 112-117
4. Banu I., Stoenescu G., Ionescu V., Aprodu I. (2011). Estimation of the baking quality of wheat flours based on rheological parameters of the Mixolab curve. *Czech J. Food Sci.*, 29 (1), 35-44
5. Bodroža-Solarov M., Mastilović J., Filipčev B., Šimurina O. (2009). *Triticum aestivum* spp. Spelta – the potential for the organic wheat production. *PTEP*, 13 (2), 128-131
6. Bonet A., Blaszczyk W., Rosell C. M. (2006). Formation of homopolymers and heteropolymers between wheat flour and several protein sources by transglutaminase-catalyzed cross-linking. *Cereal Chem.*, 83 (6), 655-662
7. Brun Le J., Geoffroy S., Dubat A., Sinnaeve G. (2008). Measurement of water absorption rate in flours and rheological characteristics of dough during kneading. *Tecnica Molitoria International*, 59 (9/A), 94-107
8. Caffè M., Glover K., Krishnan P. (2009). Combined protein and starch rheological measurements for evaluation of bread-making potential in hard red spring wheat breeding lines. *Cereal Foods World*, 54, A37

9. Caffè-Treml M., Glover K. D., Krishnan P. G., Hareland G. (2010). Variability and relationships among mixolab, mixograph, and baking parameters based on multi-environment Spring Wheat Trials. *Cereal Chem.*, 87 (6), 574-580
10. Codina G. G. (2008). Influence of flour quality with different extraction ration on the rheological properties of uniaxial extension induced by the mixolab. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 14, 119-122
11. Codina G. G., Leahu A., Mironeasa S. (2009). The influence of acid addition over 650 flour with a higher alpha-amylase activity. *Annals of the Suceava University – Food Eng*, VIII (2), 6
12. Codina G. G., Mironeasa S., Bordei D., Leahu A. (2010). Mixolab versus alveograph and falling number. *Czech J. Food Sci.*, 28 (3), 185-191
13. Codina G. G., Mironeasa S., Mironeasa C., Popa C.N., Tamba-Berehoiu R. (2011). Wheat flour dough Alveograph characteristics predicted by Mixolab regression models. *J. Sci. Food Agric*, 92, 638-644
14. Codina G. G., Mironeasa S., Mironeasa C., Popa C. N., Tamba-Berehoiu R. (2012). Wheat flour dough alveograph characteristics predicted by mixolab regression models. *J. Sci. Food Agric*, 92 (3), 638-644
15. Dapčević T., Hadnađev M., Pojić M. (2009). Evaluation of the possibility to replace conventional rheological wheat flour quality control instruments with the new measurement tool–Mixolab. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74 (3), 169-174
16. Dubat A., Vitali F. (2009). Mixolab System: the comprehensive tool for research and quality control of wheat and flour. *Tecnica Molitoria*, 60 (10), 1096-1103
17. Dubat A. (2010). A new AACC International Approved Method to Measure Rheological Properties of a Dough Sample. *Cereal Foods World*, 55 (3), 150-153
18. Fuduli G. I., Codina G., Niculina I., Paslaru V. (2008). Glucose oxidase influence on bread's quality. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 14, 277-279
19. Garcia-Álvarez J., Salazar J., Rosell C. M. (2011). Ultrasonic study of wheat flour properties. *Ultrasonics*, 51 (2), 223-228
20. Gašiorowski H. (red.) (2004). *Pszenica – chemia i technologia*. Poznań: PWRiL
21. Hadnađev M., Torbica A., Dokić P., Sakač M. (2008). Influence of partial wheat flour substitution by buckwheat flour on dough rheological characteristics measured using Mixolab. *Food Processing, Quality and Safety*, 35 (3), 129-134

22. Huang W., Li L., Wang F., Wan J., Tilley M., Ren C., Wu S. (2010). Effects of transglutaminase on the rheological and Mixolab thermomechanical characteristics of oat dough. *Food Chem.*, 121, 934-939
23. Kahraman K., Sakryan O., Ozturk S., Koksel H., Summu G., Dubat A. (2008). Utilization of Mixolab® to predict the suitability of flours in terms of cake quality. *Eur. Food Res. Technol.*, 227, 565-570
24. Koksel H., Kahraman K., Sanal T., Ozay D. S., Dubat A. (2009). Potential utilization of Mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes. *Cereal Chem.*, 86 (5), 522-526
25. Marco C., Rosell C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *Eur. Food Res. Technol.*, 227, 1205-1213
26. Mixolab Applications Handbook. Rheological and enzyme analyses (2012). Chopin Applications Laboratory, France
27. Nechita V., Niculita I., Arghire C., Izella I.G. (2009). Strong flour improvement using Malt. *J. Agroaliment. Process Technol.*, 15 (2), 242-244
28. Niculita I., Codina G., Fuduli G., Paslaru V., Leahu A. (2008). Proteases in bread. It's influence on bread's quality. *J. Agroaliment. Process Technol.*, 14, 280-282
29. Ozturk S., Kahraman K., Tiftik B., Koksel H. (2008). Predicting the cookie quality of flours by using Mixolab®. *Eur. Food Res. Technol.*, 227, 1549-1554
30. Papoušková L., Capouchová I., Kostelanská M., Škeřiková A., Prokinová E., Hajšlová J., Salava J., Faměra O. (2011). Changes in baking quality of winter wheat in different intensity of *Fusarium spp.* contamination detected by means of new rheological system Mixolab. *Czech J. Food Sci.*, 29 (4), 420-429
31. Paslaru V., Niculita I., Leahu A. (2008). Lipases influence on bread's quality. *J. Agroaliment. Process Technol.*, 14, 309-311
32. Peña R.J., Posadas-Romano G., Espinosa-Garcia B.M., Dubat A. (2007). Evaluation of gluten and starch quality parameters with the Chopin – Mixolab and other traditional flour and dough testing instruments. *Conferencia Internacional Cereales y Productos de Cereales Calidad e Inocuidad 1; Rosario (Argentina)*, 23-26
33. PN-EN ISO 17718:2015-01E Śruta całozbiornowa i mąka z ziarna pszenicy (*Triticum aestivum L.*) – Oznaczanie właściwości reologicznych jako funkcji miesienia i wzrostu temperatury
34. Quality of French Wheats 2014 Harvest, FranceAgriMer reports (2014). Arvalis - Institut du vegetal

35. Rosell C. M., Santos E., Collar C. (2010). Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab<sup>®</sup>. *Eur. Food Res. Technol.*, 231, 535-544
36. Sedej I., Sakač M., Mandić A., Mišan A., Tumbas V., Hadnađev M. (2011). Assessment of antioxidant activity and rheological properties of wheat and buckwheat milling fractions. *J. Cereal Sci.*, 54, 347-353
37. Simsek S., Whitney K., Mergoum M., Hareland G., Tulbek M.C. (2007). Flour, dough, and baking quality attributes of hard red spring wheat cultivars grown in North Dakota. *Cereals Foods World*, 52, A65
38. Stoenescu G., Ioenescu V., Vasilean I., Aprodu I., Banu I. (2010). Prediction of industrial flour using the Mixolab device. *Bulletin UASVM Agriculture*, 67(2), 429-434
39. Szafrńska A. (2010). Prognozowanie jakości mąki pszennej na podstawie parametrów oceny jakości śruty za pomocą aparatu mixolab. *Pr. Inst. Lab. Bad. Przem. Spoż.*, LXIII, 107-116
40. Szafrńska A. (2011a). Ocena jakości wybranych odmian pszenicy za pomocą aparatu mixolab. *Post. Nauki Technol. Przem. Rol.-Spoż.*, LXVI, 4, 5-16
41. Szafrńska A. (2011b). Ocena wartości wypiekowej mąki żytniej. *Post. Nauki Technol. Przem. Rol.-Spoż.*, LXVI, 3, 74-89
42. Szafrńska A. (2012). Ocena wartości technologicznej wybranych odmian pszenicy ze zbiorów z lat 2009-2011. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 571, 115-126
43. Szafrńska A. (2014). Comparison of alpha-amylase activity of wheat flour estimated by traditional and modern techniques, *Acta Agrophysica*, 21 (4), 493-505
44. Šimurina O., Sedej I., Sakač M., Handađev M., Filipčev B., Pestorić M., Pribiš V. (2009). Buckwheat in the wholegrain cracker production. *PTEP*, 13 (2), 153-156
45. Švec I., Hruškova M. (2009). Modelling of wheat, flour and bread quality parameters. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 40 (2), 58-66
46. Țăin A. E., Zincă G. M., Banu I. (2008). Studies about obtaining safe and healthy bakery products using the beneficial properties of enzymes. *Chem. Bull. "Politehnica" Univ. (Timisoara)*, 53 (67), 1-2, 110-114
47. Torbica A., Hadnađev M., Dapčević T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24, 626-632

48. Zhang Yan, Wang Yab-Fei, Chen Xin-Min, Wang De-Sen, Humieres G. D., Feng Jian-Jun, He Zhong-Hu (2009). Relationships of mixolab parameters with farinograph, extensograph parameters, and bread-making quality. *Acta Agronomica Sinica*, 35 (9), 1738-1743