ŻYWNOŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość, 2012, 6 (85), 66 – 78

PIOTR ZARZYCKI, ALDONA SOBOTA, ŻANETA CIESIELSKA

WPŁYW CZASU SKŁADOWANIA NA LICZBĘ OPADANIA ORAZ LEPKOŚĆ POZORNĄ KLEIKÓW MĄK PSZENNYCH

S t r e s z c z e n i e

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu czasu składowania na zmiany liczby opadania oraz lepkości pozornej kleików mąk pszennych. Mąkę uzyskano w wyniku laboratoryjnego przemiału pszenicy, uprawianej przy dwu poziomach agrotechniki: podstawowym (A1) oraz zaawansowanym (A2 – zwiększone nawożenia azotowe, zaawansowana ochrona chemiczna). W szczególności badania miały na celu ustalenie zależności pomiędzy liczbą opadania a lepkością pozorną. Pomiary lepkości pozornej zawiesin wykonano stosując lepkościomierz rotacyjny – MettlerRheomat RM 180 o współosiowym układzie cylindrów. Wykazano, że maksymalna oraz końcowa lepkość kleików ulegały zmianie w czasie składowania, a kierunek i intensywność przemian zależały od rodzaju mąki. W czasie składowania wykazano wzrost wartości liczby opadania i zmniejszenie lepkości pozornej kleików mąk pszennych, otrzymanych z przemiału ziarna pochodzącego z podstawowego poziomu agrotechniki (A1). Mąki pozyskane z przemiału ziarna z zaawansowanego poziomu agrotechniki charakteryzowały się bardziej stabilnymi właściwościami reologicznymi w czasie leżakowania. Stwierdzono istotną korelację liniową (Pearsona, $p < 0,05$) pomiędzy lepkością maksymalną oraz końcową kleików pszennych a wartością liczby opadania.

Słowa kluczowe: lepkość pozorna, liczba opadania, mąka pszenna, czas składowania

Wprowadzenie

Jakość pieczywa oraz innych produktów mącznych zależy w głównej mierze od procesu technologicznego oraz właściwości wypiekowych użytej mąki. Spośród metod stosowanych do oceny wartości wypiekowej mąki duże znaczenie ma oznaczanie liczby opadania [7, 19]. Liczba opadania jest wskaźnikiem świadczącym o aktywności amylolitycznej mąki, która decyduje o sile fermentacyjnej ciasta oraz właściwościach miękiszu chleba [13, 18, 19]. Wysoka aktywność amylolityczna sprzyja nadmiernej dekstrynizacji skrobi, prowadząc do wzrostu zawartości cukrów prostych, intensyfikując w ten sposób procesy fermentacyjne. Otrzymane pieczywo charakteryzuje się nieelastycznym i lepkim miękiszem oraz mocno zabarwioną i odstającą skórką [5]. Pie-

Dr inż. P. Zarzycki, dr inż. A. Sobota, mgr Ż. Ciesielska, Katedra Inżynierii i Technologii Zbóż, Wydz. Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Skromna 8, 20-704 Lublin

czywo otrzymane z mąki o niskiej aktywności amylolitycznej ma natomiast małą objętość, bladą skórkę oraz suchy i kruszący się miękisz [13, 19].

Wielu autorów wskazuje na występującą rozbieżność pomiędzy zmierzoną liczbą opadania a rzeczywistą oznaczoną aktywnością amylolityczną [5, 8, 19]. Wg Graybosch i wsp. [8] dokładniejszą ocenę aktywności amylolitycznej mąki, w porównaniu z oznaczaniem liczby opadania, można uzyskać w wyniku pomiaru lepkości pozornej kleików otrzymanych w trakcie stopniowego ogrzewania wodnej zawiesiny mąki. Stopniowe podwyższanie temperatury w czasie pomiarów lepkości stwarza korzystniejsze warunki do aktywności amylaz, wydłużając czas ich działania. W czasie oznaczania liczby opadania inaktywacja enzymów zachodzi już po około 30 s [14, 19]. Wg Best i Mullera [1] wartość liczby opadania podawana w sekundach jest proporcjonalna do lepkości kleiku i odwrotnie proporcjonalna do aktywności amylolitycznej. Zmiany lepkości w czasie ogrzewania zawiesin mogą świadczyć także o innych właściwościach skrobi, takich jak: zdolność pęcznienia, kleikowania, odporność na ścinanie, zdolność do retrogradacji, pozwalając tym samym na pełniejszą ocenę wartości wypiekowej mąki. Istotne znaczenie ma np. określenie różnicy pomiędzy lepkością początkową, maksymalną oraz końcową [9, 16, 22]. Wg Sahlstrøm i wsp. [20] w piekarnictwie pożądana jest m.in. duża lepkość początkowa i końcowa oraz mała różnica pomiędzy lepkością maksymalną i końcową.

Ziarno bezpośrednio po zbiorze ma niską wartość przemiałową i wypiekową. Mąka z takiego ziarna ma zmniejszoną zdolność chłonięcia wody, a otrzymane ciasto jest lepkie i szybko rozpływa się podczas rozrostu [4, 25]. Zachodzące w czasie pożniwnego dojrzewania ziarna procesy wpływają na poprawę jego właściwości technologicznych. Podwyższeniu ulega m.in. jakość glutenu oraz aktywność amylolityczna ziarna [23]. Podobne zależności obserwuje się w czasie składowania mąki. Leżakowanie mąki powoduje nie tylko zmianę barwy, ale w dość istotny sposób wpływa na jakość glutenu, właściwości amylolityczne, wodochłonność mąki oraz szybkość jej uwadniania [3, 23, 25]. Kleiki otrzymane z mąki poddanej procesowi leżakowania wykazują wyższą lepkość w porównaniu z kleikami z mąki „świeżej" [3, 24]. Prowadzone, przez różnych autorów, badania wskazują na istnienie optimum czasu leżakowania. Zbyt długie leżakowanie mąki może wpływać na wzrost kwasowości oraz niekorzystne zmiany smaku i zapachu [4, 25].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu czasu składowania mąk pszennych na zmiany wartości liczby opadania oraz lepkość pozorną kleików otrzymanych z badanych mąk. Określano zmiany lepkości początkowej, maksymalnej, mierzonej w temp. 95 ^{o}C oraz końcowej w czasie składowania.

Materiał i metody badań

Materiał badawczy stanowiły mąki otrzymane w wyniku przemiału laboratoryjnego ziarna 4 odmian pszenicy ozimej: Acteur, Legenda, Nadobna, Rapsodia, uprawianej przy zastosowaniu 2 poziomów agrotechniki, różniących się poziomem nawożenia azotowego (oznaczenia w pracy A1 i A2). W poziomie A2 zwiększono dawkę nawożenia o 40 kg/ha w stosunku do poziomu A1, stosowano także zwiększoną ochronę chemiczną. Pszenica pochodziła z COBORU, Stacja Doświadczalna Oceny Odmian Cicibór, Punkt Doświadczalny Czesławice (zbiory 2010 r.). Otrzymaną mąkę przechowywano w szczelnie zamkniętych opakowaniach w temp. 25 ºC.

Oznaczanie liczby opadania prowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 3093:2010 [15]. Pomiary wykonywano bezpośrednio po przemiale (w dalszej części pracy przyjęto oznaczenie 0) oraz w mąkach leżakowanych przez 2, 4 i 6 tygodni. Oznaczenia każdorazowo wykonywano w trzech powtórzeniach.

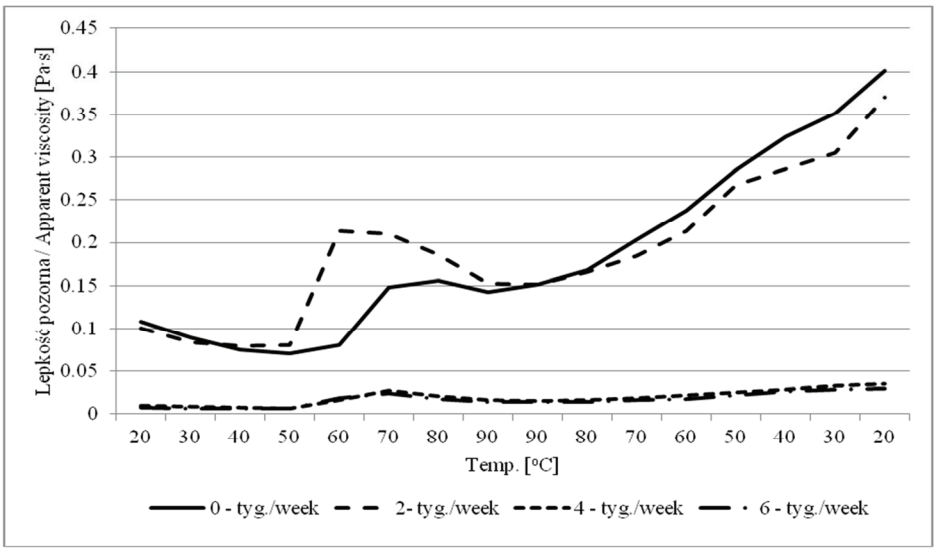
Lepkość pozorną mierzono w czasie ogrzewania zawiesin mąki od temp. 25 do 95 ºC., a następnie chłodzenia od 95 do 25 ºC wg wcześniej opracowanych procedur [27]. Przed etapem chłodzenia próby przetrzymywano w temp. 95 ºC przez 15 min. W czasie ogrzewania i chłodzenia zachowywano stały gradient temp. 1 ºC/min. Pomiary lepkości wykonywano przy każdorazowej zmianie temp. o 10 ºC, w 3 powtórzeniach. Zastosowano zmienny gradient prędkości ścinania w zakresie od 200 do 1200 s^{-1}, ze skokową zmianą wartości co 200 s^{-1}. W przypadku każdego gradientu pomiary wykonywano przez 10 s. W pracy, ze względu na najniższe wartości odchyleń standardowych, przedstawiono wyniki dla stałego gradientu prędkości ścinania 1200 s^{-1}. Oceniano zmiany lepkości zawiesin mąki w czasie 2-, 4- i 6-tygodniowego leżakowania, w odniesieniu do wartości lepkości zawiesin mąki oznaczonych bezpośrednio po przemiale. W badaniach zastosowano 15 % stężenie zawiesin mąki w wodzie destylowanej. Do pomiarów używano reometru rotacyjnego MettlerRheomat RM 180 z oprogramowaniem RSI Orchestrator wersja V6.5.8., stosując jako system pomiarowy współosiowy układ cylindrów (średnice cylindrów: 32,54 i 30,00 mm).

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w programie statystycznym SAS ver. 9.2. Obliczano wartości średnie, odchylenia standardowe oraz istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi (test Duncana, $p \leq 0,05$). Określano także współczynniki korelacji liniowej (Pearsona, $p \leq 0,05$) pomiędzy lepkością pozorną zawiesin mąki a liczbą opadania.

Wyniki i dyskusja

Na rys. 1. przedstawiono charakterystyczne zmiany lepkości pozornej wodnych zawiesin badanych mąk w czasie ogrzewania i chłodzenia. Podobne tendencje zaobserwowano niezależne od czasu składowania, poziomu agrotechniki oraz gradientu

prędkości ścinania stosowanego w czasie pomiaru lepkości pozornej. Przedstawione wyniki są średnią z trzech powtórzeń. W początkowej fazie ogrzewania, temp. od 25 do 55 ºC, nastąpiło nieznaczne zmniejszenie lepkości, spowodowane stopniowym wzrostem temp. zawiesiny. W tym zakresie temperatury skrobia pszenna występuje w postaci nierozpuszczalnych granuli, wykazując ograniczoną zdolność do absorpcji wody i pęcznienia [2]. W temp. powyżej 55 ºC. następował wzrost lepkości związany ze zwiększoną zdolnością skrobi do absorpcji wody i pęcznienia, prowadzącą do zmniejszenia ilości wody niezwiązanej [9]. Wzrost lepkości spowodowany był także rozpoczynającym się procesem kleikowania skrobi. Wg Sahlstrøm i wsp. [20] istotny wpływ na początkową temperaturę kleikowania ma zawartość amylozy. Zróżnicowanie temp. kleikowania analizowanych mąk może zatem pośrednio świadczyć o różnej zawartości amylozy.



Rys. 1. Wpływ czasu składowania [tyg.] mąk na zmiany lepkości pozornej [Pa·s] 15 % kleików mąk pszennych, w zależności od temp. pomiaru – gradient prędkości ścinania 1200 s^{-1}, mąka Acteur A1.

Fig. 1. Effect of storage time [weeks] on apparent viscosity [Pa·s] of 15 % wheat flour gruels depending on temperature viscosity is measured at- shear rate 1200s^{-1}, Acteur A1 flour.

W zakresie temp. 65 - 85 ºC. poszczególne kleiki osiągnęły maksimum lepkości i była to końcowa temp. kleikowania. Osiągana lepkość maksymalna określa zdolności granuli skrobiowych do absorpcji wody i pęcznienia. Zachodzi w tym przypadku dodatnia korelacja pomiędzy tymi zmiennymi [9, 16, 22]. Wg Singh i wsp. [22], Konopki i wsp. [11] oraz Blazek i Copeland [2] skrobie o większej zawartości amylopektyny wykazują większą zdolność pęcznienia i tworzą w trakcie ogrzewania kleiki o wyższej

lepkości maksymalnej. Odmienne wyniki badań publikują natomiast Gupta i wsp. [9]. Autorzy ci wykazali dodatnią korelację pomiędzy maksymalną lepkością kleików skrobi jęczmiennej, pszennej, kukurydzianej i ryżowej a zawartością amylozy. Wg Yoo i Jane [26] powodem wysokiej lepkości maksymalnej kleików skrobi bogatej w amylozę może być mała zawartość kompleksów amylozowo-lipidowych.

Dalsze dostarczanie do układu energii cieplnej, jak również działanie sił ścinających, występujących w czasie pomiaru lepkości, prowadzi do zmniejszenia lepkości. Przypisywane jest to zrywaniu wiązań wodorowych w strukturach amylozy i amylopektyny [6, 9, 16]. Ponowny wzrost lepkości, obserwowany na etapie wychładzania prób, związany jest z postępującym procesem asocjacji składników obecnych w gorącym kleiku [22] oraz retrogradacją skrobi, w wyniku której dochodzi do wytworzenia wiązań wodorowych pomiędzy sąsiednimi cząstkami amylozy i utworzenia struktury krystalicznej [9, 16].

W tab. 1. przedstawiono wyniki pomiaru lepkości początkowej, maksymalnej, po ogrzaniu do 95 ºC. oraz końcowej kleików sporządzonych z poszczególnych mąk, w okresie ich 6-tygodniowego składowania. Wykazano różnice w zachowaniu kleików mąk pochodzących z pszenic uprawianych przy różnym poziomie agrotechniki.

Kleiki sporządzone z mąk otrzymanych z pszenic uprawianych przy poziomie agrotechniki A1 wykazywały zmniejszenie lepkości maksymalnej w czasie składowania. Po 6 tyg. składowania stwierdzono istotnie niższe wartości lepkości maksymalnej kleików ($p \leq 0,05$) w porównaniu z lepkością określoną bezpośrednio po przemiale. Tylko w 2. tyg. składowania, w przypadku tych mąk, nastąpił nieznaczny wzrost lepkości maksymalnej kleików. Wg Hamakera i Griffina [10] oraz Wanga i Flores [25] przyczyn zmniejszenia lepkości maksymalnej kleików mąk pszennych należy upatrywać w następującej w czasie składowania enzymatycznej hydrolizie białek oraz zwiększeniu zawartości białek powierzchniowych w granulach skrobiowych, prowadzącej do wzrostu ich hydrofobowości i zmniejszenia zdolności pęcznienia.

Zmiany lepkości maksymalnej kleików mąk, pochodzących z pszenic uprawianych przy poziomie agrotechniki A2, miały w porównaniu z pszenicami A1 odmienny przebieg. Po 6 tygodniach składowania kleiki mąk pszenic odmiany Acteur A2 oraz Rapsodia A2, wykazywały istotny wzrost lepkości maksymalnej ($p \leq 0,05$), w porównaniu z lepkością mierzoną bezpośrednio po przemiale. W przypadku pozostałych mąk zmiany były znacznie mniej widoczne. Wzrost lepkości maksymalnej kleików wykazał we wcześniejszych badaniach Brandolini i wsp. [3] oraz Teo i wsp. [24]. Wg Teo i wsp. [24] wzrost lepkości maksymalnej kleików w czasie składowania wynika z osłabienia interakcji skrobi z białkami. Badania Brandoliniego i wsp. [3] wskazują także na istotny wpływ temp. składowania mąki na zmiany lepkości kleików, przy czym autorzy ci wykluczyli wpływ zmian zawartości amylozy na lepkość.

T a b e l a 1

Lepkość pozorna 15 % kleików mąk pszennych w zależności od czasu składowania [Pa·s].
Apparent viscosity of 15 % wheat flour gruels depending on storage time [Pa·s].

Lepkość pozorna Apparent viscosity	Czas składowania [tyg.] Storage time [week]	Mąka / Flour							
		Acteur A1	Acteur A2	Legenda A1	Legenda A2	Nadobna A1	Nadobna A2	Rapsodia A1	Rapsodia A2
W temp. 25 °C At 25 °C	0	$0{,}108 \pm 0{,}001^{Gc}$	$0{,}009 \pm 0^{Le}$	$0{,}113 \pm 0^{Cb}$	$0{,}01 \pm 0^{Ie}$	$0{,}109 \pm 0{,}001^{Dc}$	$0{,}01 \pm 0^{Fe}$	$0{,}116 \pm 0{,}001^{Ha}$	$0{,}011 \pm 0^{Fd}$
	2	$0{,}1 \pm 0{,}001^{Hc}$	$0{,}008 \pm 0^{Me}$	$0{,}101 \pm 0{,}001^{Dc}$	$0{,}007 \pm 0^{Ke}$	$0{,}106 \pm 0{,}001^{Eb}$	$0{,}008 \pm 0^{Ie}$	$0{,}125 \pm 0{,}001^{Ga}$	$0{,}01 \pm 0^{Hd}$
	4	$0{,}01 \pm 0^{Nc}$	$0{,}007 \pm 0^{Me}$	$0{,}01 \pm 0^{Ib}$	$0{,}007 \pm 0^{Lf}$	$0{,}01 \pm 0^{Ic}$	$0{,}007 \pm 0^{Jf}$	$0{,}012 \pm 0^{Oa}$	$0{,}009 \pm 0^{Jd}$
	6	$0{,}008 \pm 0^{Ne}$	$0{,}009 \pm 0^{Lb}$	$0{,}008 \pm 0^{Jd}$	$0{,}008 \pm 0^{Jd}$	$0{,}008 \pm 0^{Jd}$	$0{,}008 \pm 0^{Gc}$	$0{,}01 \pm 0^{Oa}$	$0{,}011 \pm 0^{Ga}$
Mmaksymalna Maximum	0	$0{,}156 \pm 0{,}005^{Db}$	$0{,}023 \pm 0^{Ie}$	$0{,}101 \pm 0{,}002^{Dd}$	$0{,}014 \pm 0^{Af}$	$0{,}11 \pm 0{,}001^{Dc}$	$0{,}016 \pm 0^{Bf}$	$0{,}316 \pm 0{,}002^{Da}$	$0{,}016 \pm 0^{Df}$
	2	$0{,}213 \pm 0{,}001^{Cb}$	$0{,}025 \pm 0^{Hd}$	$0{,}138 \pm 0{,}002^{Bc}$	$0{,}011 \pm 0^{Gg}$	$0{,}137 \pm 0{,}001^{Bc}$	$0{,}013 \pm 0^{Ef}$	$0{,}341 \pm 0{,}002^{Ca}$	$0{,}018 \pm 0^{Ae}$
	4	$0{,}027 \pm 0^{Kc}$	$0{,}032 \pm 0^{Fb}$	$0{,}013 \pm 0^{HGe}$	$0{,}01 \pm 0^{Hh}$	$0{,}012 \pm 0^{Hg}$	$0{,}013 \pm 0^{Ef}$	$0{,}043 \pm 0^{La}$	$0{,}014 \pm 0^{Ed}$
	6	$0{,}024 \pm 0^{Lc}$	$0{,}034 \pm 0{,}001^{Eb}$	$0{,}013 \pm 0^{HGf}$	$0{,}013 \pm 0^{Cf}$	$0{,}01 \pm 0^{Ig}$	$0{,}016 \pm 0^{Be}$	$0{,}046 \pm 0^{Ka}$	$0{,}018 \pm 0^{Bd}$
W temp. 95 °C At 95 °C	0	$0{,}142 \pm 0{,}001^{Fb}$	$0{,}016 \pm 0^{Ke}$	$0{,}075 \pm 0{,}001^{Fc}$	$0{,}007 \pm 0^{Kf}$	$0{,}071 \pm 0{,}003^{Gd}$	$0{,}009 \pm 0^{Gf}$	$0{,}276 \pm 0{,}003^{Fa}$	$0{,}009 \pm 0^{If}$
	2	$0{,}152 \pm 0{,}001^{Eb}$	$0{,}018 \pm 0^{Je}$	$0{,}081 \pm 0{,}001^{Ec}$	$0{,}006 \pm 0^{Of}$	$0{,}078 \pm 0{,}003^{Fd}$	$0{,}007 \pm 0^{Jf}$	$0{,}28 \pm 0{,}001^{Ea}$	$0{,}007 \pm 0^{Mf}$
	4	$0{,}016 \pm 0^{Mb}$	$0{,}022 \pm 0^{Ic}$	$0{,}008 \pm 0^{Jd}$	$0{,}006 \pm 0^{Ng}$	$0{,}007 \pm 0^{KJf}$	$0{,}007 \pm 0^{Kf}$	$0{,}028 \pm 0^{Na}$	$0{,}008 \pm 0^{Le}$
	6	$0{,}014 \pm 0^{Mc}$	$0{,}027 \pm 0^{Gb}$	$0{,}007 \pm 0^{Kf}$	$0{,}007 \pm 0^{Mf}$	$0{,}006 \pm 0^{Kg}$	$0{,}008 \pm 0^{He}$	$0{,}031 \pm 0^{Ma}$	$0{,}008 \pm 0^{Kd}$

c.d. Tab. 1.

Końcowa w temp. 25 °C Final at 25 °C	0	0,401 ± 0,003^{Ab}	0,039 ± 0^{Dd}	0,138 ± 0,002^{Bc}	0,013 ± 0^{Bf}	0,136 ± 0^{Cc}	0,016 ± 0^{Bef}	0,735 ± 0,005^{Aa}	0,017 ± 0^{Ce}
	2	0,37 ± 0,003^{Bb}	0,046 ± 0^{Ce}	0,15 ± 0,001^{Ac}	0,012 ± 0^{Fh}	0,141 ± 0^{Ad}	0,014 ± 0^{Dg}	0,605 ± 0,003^{Ba}	0,017 ± 0^{Cf}
	4	0,035 ± 0^{Ic}	0,064 ± 0,001^{Ab}	0,014 ± 0^{Gf}	0,012 ± 0^{Eg}	0,013 ± 0^{Hf}	0,015 ± 0^{Ce}	0,082 ± 0,001^{Ia}	0,018 ± 0^{Bd}
	6	0,03 ± 0^{Jc}	0,061 ± 0,001^{Bb}	0,012 ± 0^{Hg}	0,013 ± 0^{Hf}	0,013 ± 0^{Hfg}	0,016 ± 0^{Ae}	0,078 ± 0,001^{Ja}	0,019 ± 0^{Ad}

Objaśnienia: / Exploratory notes:

Wartość średnia (n = 3) ± odchylenie standardowe / mean value (n = 3) ± standard deviation;

Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami (A-O) oraz średnie w wierszach oznaczone tymi samymi literami (a-h) nie różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) / Mean values in the columns and denoted by the same letters (A-O), as well as those in the lines and denoted with the same letters (a-h) do not differ statistically significantly ($p \leq 0.05$).

Wg Noda i wsp. [12] oraz Ravi i wsp. [17] pomiędzy wartością lepkości maksymalnej gorących kleików mąki pszennej a aktywnością alfa-amylazy istnieje ujemna korelacja. Przedstawione wyniki badań własnych w sposób pośredni potwierdzają ten pogląd. Wykazano bowiem istotną korelację pomiędzy lepkością maksymalną a liczbą opadania (tab. 2 i 3). Nie wydaje się jednak, aby obserwowane w czasie składowania zmiany lepkości maksymalnej kleików spowodowane były w znaczący sposób degradacją skrobi, wynikającą ze zmian aktywności alfa-amylazy. Mąki otrzymane z pszenic uprawianych przy stosowaniu podstawowego poziomu agrotechniki (A1) wykazywały zmniejszenie lepkości maksymalnej w czasie składowania i jednocześnie większe wartości liczby opadania w kolejnych okresach. Mąki z poziomu A2 wykazywały, natomiast zmniejszenie wartości liczby opadania w czasie składowania i jednocześnie nieznaczne zmiany lepkości maksymalnej. Wyjątkiem była mąka Acteur A2, której lepkość maksymalna wzrosła znacznie w czasie składowania.

T a b e l a 2

Liczba opadania.
Falling number.

Mąka Flour	Czas składowania [tygodnie] Storage time [week]			
	0	2	4	6
Acteur A1	260 ± 4^{Bc}	324 ± 15^{Bb}	399 ± 8^{Ba}	399 ± 20^{Ba}
Acteur A2	350 ± 4^{Aa}	316 ± 10^{Bbc}	334 ± 22^{Cab}	300 ± 19^{Cc}
Legenda A1	187 ± 9^{Cc}	248 ± 3^{Ca}	229 ± 5^{Db}	256 ± 14^{Ca}
Legenda A2	195 ± 11^{Ca}	173 ± 9^{Db}	178 ± 6^{EFab}	195 ± 12^{Da}
Nadobna A1	117 ± 8^{Db}	148 ± 7^{Ea}	159 ± 3^{Fa}	159 ± 3^{Da}
Nadobna A2	200 ± 10^{Ca}	193 ± 13^{Da}	190 ± 10^{Ea}	203 ± 10^{Da}
Rapsodia A1	348 ± 6^{Ad}	443 ± 18^{Ac}	633 ± 13^{Ab}	852 ± 90^{Aa}
Rapsodia A2	193 ± 7^{Cab}	178 ± 9^{Db}	191 ± 5^{Eab}	203 ± 12^{Da}

Objaśnienia: / Exploratory notes:
Wartości średnie (n = 3) ± odchylenie standardowe / mean values (n = 3) ± standard deviation;
Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami (A-F) oraz średnie w wierszach oznaczone tymi samymi literami (a-d) nie różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) / Means in the columns and denoted by the same letters (A-F), as well as those in the lines and denoted by the same letters (a-d) do not differ statistically significantly ($p \leq 0,05$).

Właściwa analiza lepkości maksymalnej poszczególnych mąk oraz jej zmian w czasie składowania może być wykorzystana do pełniejszej oceny technologicznej mąki. Wysoka lepkość maksymalna kleików mąk Acteur A2 oraz Rapsodia A1, w porównaniu z pozostałymi mąkami, może świadczyć o zwiększonej zdolności granu-

li skrobiowych tych mąk do pęcznienia, niższym stopniu uszkodzenia a przez to większej odporności skrobi na działanie enzymów. Mąki te (tab. 1) odznaczają się, w porównaniu z pozostałymi mąkami, wyższą liczbą opadania, świadczącą o niższej aktywności amylolitycznej. Kleiki otrzymane z mąki Nadobnej A1, charakteryzującej się niską liczbą opadania w kolejnych czasach leżakowania, wykazywały także niskie wartości lepkości maksymalnej. Świadczyć to może o wysokiej aktywności amylolitycznej, jak też o zwiększonej podatności skrobi na działanie enzymów.

Przeprowadzone badania wykazały zbliżony przebieg zmian lepkości maksymalnej i końcowej kleików mąk pszennych, następujący w czasie składowania (tab. 1). Ponadto analiza zmian lepkości końcowej potwierdza, zaobserwowany w przypadku lepkości maksymalnej, wpływ stosowanego w uprawie pszenicy poziomu agrotechniki na zmiany właściwości reologicznych mąki w trakcie składowania. Istotny wpływ na wartość lepkości końcowej zimnych kleików skrobiowych miała zawartość amylozy i jej zdolność do retrogradacji. Blazek i Copeland [2] wykazały ujemną korelację pomiędzy zawartością amylozy a lepkością zimnych kleików skrobi pszennej, jednocześnie nie stwierdzono występowania takich korelacji w przypadku mąki pszennej. Takie wyniki mogą świadczyć o znacznym wpływie innych czynników na lepkość końcową kleików mącznych. Ravi i wsp. [17] stwierdzili zmniejszenie lepkości końcowej kleików w wyniku wprowadzenia enzymów amylololitycznych do mąk pszennych, świadczyłoby to o możliwym wpływie zmian aktywności enzymatycznej w czasie leżakowania mąk na lepkość końcową. Obserwowane w przypadku mąk z grupy A1 zmniejszenie końcowej lepkości kleików w czasie leżakowania i jednoczesny wzrost liczby opadania nie pozwalają na pełne potwierdzenie takiej zależności (tab. 1). Inną możliwą przyczynę zmniejszenia lepkości końcowej podają Singh i wsp. [22]. Według wspomnianych autorów zmniejszenie lepkości może być spowodowane tworzeniem kompleksów pomiędzy wolnymi kwasami tłuszczowymi a amylozą, prowadzące do ograniczenia zdolności skrobi do retrogradacji. Możliwe zatem, że w przypadku mąk A1 zmniejszenie lepkości końcowej w trakcie składowania wynika z rozkładu lipidów do wolnych kwasów tłuszczowych i tworzeniu kompleksów amylozo-lipidowych. Duża lepkość końcowa niektórych kleików (Rapsodia A1, Acteur A2) może wskazywać na dużą zawartość amylozy nietworzącej kompleksów z lipidami w tych mąkach. Wg Shibanuma i wsp. [21] pozbawiona lipidów amyloza wpływa na poprawę zdolności pęcznienia granuli skrobiowych, a mała zawartość kompleksu amylozowo-lipidowego przyczynia się do wysokiej lepkości końcowej.

W tab. 3. zamieszczono współczynniki korelacji pomiędzy lepkością pozorną kleików mąk pszennych a wartością liczby opadania. Stwierdzono istotną dodatnią korelację liniową Pearsona ($p < 0,05$) pomiędzy lepkością początkową, maksymalną, lepkością mierzoną w temp. 90 ºC oraz końcową a liczbą opadania. Przedstawione wyniki są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Konopkę i wsp. [11] oraz Rothkaehl

[19]. Najwyższe korelacje stwierdzono dopiero po skleikowaniu skrobi. Otrzymane zależności wskazują na możliwość szacowania wartości liczby opadania na podstawie pomiarów lepkości pozornej kleików.

Tabela 3

Współczynniki korelacji pomiędzy lepkością pozorną 15 % kleików mąki pszennej a liczbą opadania.
Coefficients of correlations between apparent viscosity of 15 % wheat flour gruels and falling number.

Lepkość pozorna Apparent viscosity [Pa·s]	Mąka Flour	Czas składowania [tyg.] Storage time [week]			
		0	2	4	6
W temp. 25 °C At 20 °C	A1	0,65 p = 0,35	0,68 p = 0,32	0,91 p = 0,09	0,89 p = 0,11
	A2	-0,47 p = 0,53	-0,21 p = 0,79	-0,04 p = 0,96	0,01 p = 0,99
	A1+A2	-0,02 p = 0,96	0,47 p = 0,24	0,67 p = 0,07	0,49 p = 0,22
Maksymalna Maximum	A1	0,9 p = 0,1	0,94 p = 0,06	0,98 p = 0,015	1 p = 0,004
	A2	0,98 p = 0,02	0,85 p = 0,15	0,99 p = 0,0059	0,99 p = 0,013
	A1+A2	0,42 p = 0,3	0,75 p = 0,03	0,95 p = 0,0003	0,88 p = 0,004
W temp. 95 °C At 95 °C	A1	0,94 p = 0,06	0,94 p = 0,06	0,99 p = 0,008	0,99 p = 0,01
	A2	0,98 p = 0,02	1 p = 0,01	1 p = 0,0008	1 p = 0,002
	A1+A2	0,48 p = 0,23	0,81 p = 0,02	0,94 p = 0,0006	0,81 p = 0,01
Końcowa w temp. 25 °C Final at 25 °C	A1	0,95 p = 0,05	0,95 p = 0,05	0,99 p = 0,009	0,99 p = 0,01
	A2	0,99 p = 0,01	0,99 p = 0,01	1 p = 0,001	1 p = 0,001
	A1+A2	0,53 p = 0,17	0,83 p = 0,01	0,92 p = 0,001	0,84 p = 0,01

Należy zwrócić uwagę na wyższe współczynniki korelacji występujące w badaniu grup jednorodnych, w tym przypadku pod względem zastosowanego poziomu agrotechniki. Korelacje określane łącznie pomiędzy wartościami badanych cech mąk A1 i A2 były znacznie niższe.

Wnioski

1. Właściwości reologiczne kleików mąk pszennych, takie jak: lepkość początkowa, maksymalna i końcowa ulegają istotnym zmianom w czasie składowania. Stosowany w uprawie pszenicy poziom agrotechniki wpływał na właściwości reologiczne otrzymanych kleików mąk pszennych. Kleiki mąk pszennych otrzymane z pszenic uprawianych przy zwiększonym poziomie nawożenia azotowego odznaczały się większą stabilnością lepkości w czasie składowania.
2. Wartości liczby opadania zmieniały się w czasie składowania, przy czym nie zaobserwowano stałego charakteru zmian w badanych mąkach pszennych. Mniejszy zakres zmian liczby opadania wystąpił w przypadku mąk otrzymanych z pszenic uprawianych przy zwiększonym poziomie nawożenia azotowego.
3. Pomiary lepkości pozornej mogą dostarczyć informacji o zmianach jakościowych następujących w mące w czasie leżakowania.
4. Lepkość maksymalna gorących kleików oraz lepkość końcowa zimnych kleików była istotnie dodatnio skorelowana z liczbą opadania. Wysoka korelacja utrzymywała się w czasie całego okresu składowania.

Literatura

[1] Best S., Muller R.: Use of the Hagberg falling number apparatus to determine malt and barley quality. J. Inst. Brew., 1991, **97**, 273-278.

[2] Blazek J., Copeland L.: Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylase content. Carboh. Polym., 2008, **71**, 380-387.

[3] Brandolini A., Hidalgo A., Plizzari L.: Storage-induced changes in einkorn (*Triticum monococcum L.*) and breadwheat (*Triticum aestivum L. ssp. aestivum*) flours. J. Cereal Sci., 2010, **51**, 205-212.

[4] Ceglińska A.: Zmiany jakości mąki pszennej w czasie przechowywania. Przegl. Zboż. Młyn., 2006, **10**, 14-15.

[5] Dojczew D., Sobczyk M., Grodzicki K., Haber T.: Wpływ porostu ziarna na wartość wypiekową mąki pszennej, pszenżytniej i żytniej. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment., 2004, **3 (2)**, 127-136.

[6] Fortuna T., Gałkowska D., Juszczak L.: Porównanie właściwości reologicznych wybranych preparatów skrobi modyfikowanej. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment., 2004, **3 (1)**, 21-32.

[7] Gawrysiak-Witulska M., Ryniecki A.: Wartość technologiczna pszenicy wysuszonej metodą niskotemperaturową. Inżynieria Rolnicza, 2005. **11 (71)**, 137-143.

[8] Graybosch R.A., Gang Guo, Shelton D.R.: Aberrant falling numbers of waxy wheats independent of α-amylase activity. Cereal Chem., 2000, **77 (1)**,1-3.

[9] Gupta M., Bawa A.S., Semwal A.D.: Morphological, thermal, pasting and rheological properties of barley starch and their blends. Int. J. Food Prop., 2009, **12**, 595-596.

[10] Hamaker B.R., Griffin V.K.: Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. Cereal Chem., 1990, **67 (3)**, 261-264.

[11] Konopka I., Fornal Ł., Abramczyk D., Rothkaehl J., Rotkiewicz D.: Statistical evaluation of different technological and rheological test soft Polish wheat varieties for bread volume prediction. Int. J. Food Sci. Technol., 2004, **39**, 11-20.

[12] Noda T., Ichinose Y., Takigawa S., Matsuura-Endo Ch., Abe H., Satio K., Hashimoto N., Yamauchi H.: The casting properties of flour and starch in wheat grain damaged by α-amylase. Food Sci. Technol. Res., 2003, **9 (4)**, 387-391.
[13] Ostasiewicz A., Ceglińska A., Skowronek S.: Jakość pieczywa żytniego z dodatkiem zakwasów. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2009, **63 (2)**, 63-74.
[14] Perten H.: Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. Cereal Chem., 1964, **41 (3)**, 127-140.
[15] PN-EN ISO 3093:2010. Pszenica, żyto i mąki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina. Oznaczanie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
[16] Ragaee S., Abdel-Aal E-S.M.: Casting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. Food Chem., 2006, **95**, 9-18.
[17] Ravi R., Manohar R.S., Rao P.H: Use of Rapid ViscoAnalyser (RVA) for measuring the pasting characteristics of wheat flour as influenced by additives. J. Sci. Food Agric., 1999, **79**, 1571-1576.
[18] Rogozińska I., Sadkiewicz J.: Wybrane parametry jakościowe zbóż wpływające na jakość mąk pszennych oraz wartość wypiekową pieczywa. Część I. Właściwości fizykochemiczne ziarna pszenicy i cechy wypiekowe mąki. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2009, **(2)**, 118-119.
[19] Rothkaehl J.: Ocena amylograficzna a liczba opadania. Biul. Inf. CL TPiPZ , 2000, **3-4**, 29-37.
[20] Sahlstrøm S., Bævre A., Bråthen E.: Impact of starch properties on hearth bread characteristics. I. Starch in wheat flour. J. Cereal Sci., 2003, **37**, 275-284.
[21] Shibanuma Y., Takeda Y., Hizukuri S.: Molecular and casting properties of some wheat starches. Carbohydrate Polymers, 1996, **29**, 258-260.
[22] Singh N., Singh J., Kaur L., Sodhi N.S., Gill B.S.: Morphologica, thermal and rheological properties of starches from different botanical source. Food Chem., 2003, **81**, 219-231.
[23] Sypuła M., Dadrzyńska A.: Wpływ czasu przechowywania ziarna pszenicy na zmianę jego cech jakościowych. Inżynieria Rolnicza, 2008, **99 (1)**, 371-376.
[24] Teo C.H., Karim A. Abd., Cheah P.B., Norziak M.H., Seow C.C: On the role sof protein and starch In the aging oh non-waxy rice flour. Food Chem., 2000, **69**, 229-236.
[25] Wang L., Flores R.A.: The effect of storage on flour quality and banking performance. Food Rev. Int., 1999, **15 (2)**, 215-234.
[26] Yoo S.H., Jane J.: Structural and physical characteristics of waxy and others wheat starches. Carboh. Polym., 2002, **49**, 297-305.
[27] Zarzycki P., Sykut-Domańska E., Wilkowicz I.: Ocena lepkości pozornej wodnych zawiesin całoziarnowej mąki owsianej o zróżnicowanej zawartości błonnika pokarmowego. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2011, **2 (75)**, 38-52.

EFFECT OF STORAGE TIME ON FALLING NUMBER AND APPARENT VISCOSITY OF WHEAT FLOUR GRUELS

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of storage time on changes in the falling number and apparent viscosity of wheat flour gruels. The flour was obtained by milling wheat in a laboratory whereas the wheat used was grown using two different levels of agrotechnology: basic (A1) and advanced (A2 - increased nitrogen fertilizing, advanced chemical protection). In particular, the research conducted aimed at the determination of the correlation between the falling number and apparent viscosity. The rheological properties of water slurries were measured using a spindle-type rotational rheometer with coaxial cylinders i.e. a MettlerRheomat RM 180 model. It was proved that the maximum and

final viscosity changed during storage, and the direction and intensity of the transformation depended on the type of flour. During storage, an increase was confirmed in the falling number and a decrease in apparent viscosity of gruels made of wheat flour types obtained by milling the grain produced using the basic level of agrotechnology (A1). The flour types obtained by milling grain produced using the advanced level of agrotechnology were characterized by a more stable rheological properties during storage. A significant linear correlation (Pearson's correlation, $p < 0.05$) was found between the maximum and final viscosity of wheat gruels and the value of falling number.

Key words: apparent viscosity, falling number, wheat flour, time of storage