

REOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA  
UKŁADÓW TRÓJSKŁADNIKOWYCH:  
RESZTKOWA MAKA OWSIANA – SACHAROZA – WODA \*

*Wiktor Berski, Halina Gambuś*

Katedra Technologii Węglowodanów, Uniwersytet Rolniczy  
ul. Balicka 122, 30-149 Kraków  
e-mail: wberski@ar.krakow.pl

**Streszczenie.** Celem badań było oznaczenie reologicznych właściwości wodnych układów: resztkowa mąka owsiana (RMO) – sacharoza, o różnych wzajemnych proporcjach. Analizy wykonano w wiskografie Micro Visco-Amylo-Graph firmy Brabender (Duisburg, Niemcy). Wykazano, że wzrastające stężenie RMO w wodnej zawieszynie wpłynęło na obniżenie temperatury kleikowania oraz wzrost lepkości otrzymanych kleików, a przebieg zmian miał charakter liniowy. Ponadto każdorazowy udział cukru w zawieszinach RMO, niezależnie od stężenia tej mąki, przyspieszał początek kleikowania, powodował wzrost maksymalnej lepkości badanych układów oraz wzrost ich lepkości po ochłodzeniu.

**Słowa kluczowe:** resztkowa mąka owsiana (RMO), sacharoza, układy trójskładnikowe: RMO – sacharoza – woda, właściwości reologiczne

#### WSTĘP

Wzrastające zainteresowanie zdrowym stylem życia powoduje, że ludzie zaczynają sięgać po różnego rodzaju produkty, których spożycie może przyczynić się do poprawy ich zdrowia czy samopoczucia. Jednym z takich składników diety są  $\beta$ -glukany, czyli grupa związków chemicznych o wysoce prozdrowotnych właściwościach. Przypisuje się im działanie stymulujące układ odpornościowy, zdolność usuwania wolnych rodników, ze względu na ich właściwości przeciwutleniające. Ponadto  $\beta$ -glukany zmniejszają ryzyko zachorowania na otyłość, hiperglikemię, hiperinsulinemię, choroby wieńcowe i nadciśnienie, a także mogą ograniczać

---

\*Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki (NN 312331640).

wchłanianie cholesterolu w przewodzie pokarmowym (Gibiński 2008). Związki te nie ulegają rozkładowi w układzie pokarmowym, ale tworzą warstwę ochronną w żołądku i jelicie cienkim, co umożliwia enzymom wolniejszą hydrolizę skrobi, a tym samym mniejszą i powolniejszą absorpcję glukozy. Ziarno owsa, szczególnie zasobne w  $\beta$ -glukany, jest naturalnym surowcem do pozyskiwania ich w formie koncentratu. W trakcie produkcji preparatu zawierającego  $\beta$ -glukany o nazwie handlowej BETAVEN w firmie Microstructure, powstaje duża ilość tzw. resztkowej mąki owsianej (RMO), która zawiera wszystkie składniki ziarna owsa, przy czym zawartość  $\beta$ -glukanów jest wyraźnie mniejsza (Gambuś i in. 2011a, b). Z badań własnych wynika, że RMO odznacza się większą zawartością białka ogółem, o korzystnym składzie aminokwasowym, włókna pokarmowego, popiołu całkowitego oraz tłuszczu surowego, w porównaniu z mąką pszenną typu 650 i żytnią typu 720 (Gibiński i in. 2010, Gambuś in. 2011a, b). RMO jest więc bardzo atrakcyjnym produktem, którego szersze wykorzystanie mogłoby przyczynić się do zwiększenia opłacalności produkcji preparatu błonnikowego. Dlatego też podjęto badania mające na celu określenie przydatności resztkowej mąki owsianej do produkcji pieczywa, ekstrudatów, czy też zastosowania jej jako zagęstnika do produkcji wyrobów deserowych (Gibiński i in. 2010, Gambuś in. 2011 a,b, Berski i in. 2012, Gumul i in. 2012). W przypadku stosowania RMO jako zagęstnika, szczególnie ważne są takie cechy jej kleików jak: lepkość maksymalna i lepkość po ochłodzeniu, bowiem one decydują o jej ewentualnej przydatności. Do produkcji wyrobów deserowych stosuje się dodatek cukru, głównie sacharozy, której obecność nie pozostaje bez wpływu na cechy reologiczne (Gałkowska i in. 2013, Zhang i in. 2013).

Celem podjętych badań było określenie reologicznych właściwości wodnych układów: RMO – sacharoza, o różnych wzajemnych proporcjach, w aspekcie ich przydatności do sporządzania zagęstników.

#### MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiła resztkowa mąka owsiana (RMO) dostarczona przez firmę Microstructure S.A. (Warszawa), producenta preparatu błonnikowego o nazwie handlowej „BETAVEN” oraz sacharoza wyprodukowana przez przedsiębiorstwo Pfeifer & Langen SA (Polska). Skład chemiczny RMO przedstawia się następująco (w % s.s.): skrobia 71,1; białko 12,0; tłuszcz 9,0; włókno pokarmowe ogółem 6,3, w tym frakcja rozpuszczalna zawierająca głównie  $\beta$ -glukany 3,0; popiół całkowity 1,6 (Gambuś in. 2011 a i b).

Charakterystykę kleikowania wodnych zawiesin RMO oraz RMO z dodatkiem sacharozy oznaczano według metody Richtera i in. (1968) w wiskografie Micro Visco-Amylo-Graph firmy Brabender (Duisburg, Niemcy). Naważkę mąki

owsianej (5 g, 7 g, 10 g) w przeliczeniu na suchą masę zmieszano z sacharozą (0 g, 4 g, 5 g, 6 g, 7 g, 10 g), a następnie dopełniano wodą destylowaną do łącznej masy 100 g. Pomiary rozpoczynano, gdy próbka osiągnęła temperaturę 50°C, po czym ogrzewano ją z szybkością 4,5°C·min<sup>-1</sup> do temperatury 96°C. W tej temperaturze przetrzymywano próbkę przez 10 min, a następnie schładzano z szybkością 4,5°C/min do temperatury 25°C, w której przetrzymywano ją przez 15 min. Szybkość obrotu mieszadła wynosiła 150 obrotów na minutę.

Wszystkie pomiary wykonano w co najmniej dwóch powtórzeniach. Analizę statystyczną wykonano posługując się licencjonowanym programem STATISTICA (StatSoft, USA). Wykonano jednoczynnikową analizę, a do określenia różnic między średnimi wykorzystano test Duncana ( $\alpha = 0,05$ ). Przebieg zmian poszczególnych parametrów charakterystyki kleikowania dla poszczególnych stężeń RMO opisano równaniem liniowej regresji  $y = a \cdot \text{sacharoza} (\%) + b$ .

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Rosnąca świadomość konsumentów, którzy zaczynają poszukiwać żywności łączącej w sobie wysoką wartość odżywczą z właściwościami prozdrowotnymi pozwala sądzić, iż coraz większą uwagę będą oni zwracać na przetwory owsiane (Gibiński 2008). Wymagać to będzie wprowadzenia do sprzedaży coraz szerszej gamy wyrobów produkowanych w oparciu o ten surowiec. Poza oczywistymi możliwościami wykorzystania przetworów owsianych do produkcji wypieków (Różyło 2007, Czubaszek 2008, Kawka 2010, Kawka i Górecka 2010, Lange 2010, Czubaszek i in. 2011, Gambuś i in. 2011 a i b), mogą one też być użyte do wytwarzania mlecznych wyrobów fermentowanych czy deserów na bazie mąki lub skrobi owsianych (Bekers i in. 2001, Mårtensson i in. 2001, Berski i in. 2012).

O jakości i przydatności przetworów owsianych jako zagęstników decyduje ich zdolność do tworzenia lepkich roztworów. Lepkość ta zależy głównie od właściwości skrobi oraz, innych składników m.in.:  $\beta$ -glukanów, pentozanów czy rozpuszczalnego w wodzie białka (Zhou i in. 1999 a, b, c).

W tabeli 1 zestawiono dane dotyczące kleikowania wodnych zawiesin RMO o 5, 7 i 10% stężeniu, zawierających odpowiednio 0, 4, 5, 6, 7 i 10% dodatek sacharozy.

Jak wynika z danych zawartych w tabeli, wprowadzenie sacharozy do układu RMO – woda wpłynęło na zmiany charakterystyki kleikowania zawiesin RMO. Zwiększenie ilości RMO w układzie woda – RMO wpłynęło na istotny spadek temperatury kleikowania oraz wzrost lepkości badanych zawiesin. Temperatura kleikowania próbek sporządzonych bez sacharozy zmniejszyła się od 87,9°C (5% zawiesiny RMO) poprzez 82,6°C (7% zawiesiny RMO) do 67,7°C (10% zawiesiny RMO).

**Tabela 1.** Charakterystyka kleikowania 5-10% wodnych zawiesin resztek mąki owsianej (RMO) przy różnych poziomach dodatku sacharozy  
**Table 1.** Pasting characteristics of 5-10% water based suspensions of residual oat flour (ROF) at various levels of sucrose addition

RMO ROF (%)	Sacharoza Sucrose (%)	A* (°C)	B (j.B)	BT (°C)	C (j.B)	D (j.B)	E (j.B)	F (j.B)	BD (j.B)	ED (j.B)
5	0	87,9 <sup>ce*</sup>	28,0 <sup>a</sup>	94,8 <sup>a</sup>	27,5 <sup>a</sup>	22,5 <sup>a</sup>	57,0 <sup>a</sup>	53,0 <sup>a</sup>	5,5 <sup>b</sup>	34,5 <sup>a</sup>
	4	87,7 <sup>bc</sup>	33,5 <sup>b</sup>	95,4 <sup>a</sup>	31,0 <sup>ab</sup>	29,5 <sup>b</sup>	69,0 <sup>b</sup>	63,5 <sup>b</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	39,5 <sup>ab</sup>
	5	86,4 <sup>abc</sup>	38,0 <sup>bcd</sup>	94,9 <sup>a</sup>	35,0 <sup>b</sup>	34,0 <sup>c</sup>	78,0 <sup>c</sup>	72,0 <sup>c</sup>	3,0 <sup>ab</sup>	43,0 <sup>b</sup>
7	6	86,1 <sup>ab</sup>	39,0 <sup>cd</sup>	95,8 <sup>a</sup>	34,0 <sup>b</sup>	35,0 <sup>cd</sup>	79,0 <sup>c</sup>	70,0 <sup>c</sup>	3,5 <sup>ab</sup>	43,5 <sup>b</sup>
	7	86,0 <sup>a</sup>	36,0 <sup>bc</sup>	95,2 <sup>a</sup>	34,5 <sup>b</sup>	33,5 <sup>c</sup>	79,0 <sup>c</sup>	72,5 <sup>c</sup>	2,0 <sup>a</sup>	44,5 <sup>b</sup>
	10	85,5 <sup>a</sup>	42,0 <sup>d</sup>	96,3 <sup>a</sup>	39,5 <sup>c</sup>	38,0 <sup>d</sup>	89,0 <sup>d</sup>	81,5 <sup>d</sup>	4,5 <sup>ab</sup>	51,5 <sup>c</sup>
10	0	82,6 <sup>c</sup>	74,5 <sup>a</sup>	94,0 <sup>bc</sup>	73,5 <sup>a</sup>	47,5 <sup>a</sup>	134,5 <sup>a</sup>	117,0 <sup>a</sup>	26,5 <sup>a</sup>	86,5 <sup>a</sup>
	4	80,5 <sup>bc</sup>	89,5 <sup>b</sup>	94,4 <sup>c</sup>	86,5 <sup>b</sup>	61,5 <sup>b</sup>	170,0 <sup>b</sup>	138,5 <sup>b</sup>	27,5 <sup>a</sup>	107,5 <sup>b</sup>
	5	79,4 <sup>ab</sup>	92,0 <sup>bc</sup>	93,2 <sup>bc</sup>	89,0 <sup>b</sup>	62,0 <sup>b</sup>	170,0 <sup>b</sup>	140,5 <sup>b</sup>	29,5 <sup>a</sup>	107,5 <sup>b</sup>
10	6	79,6 <sup>ab</sup>	90,5 <sup>b</sup>	93,8 <sup>bc</sup>	89,5 <sup>b</sup>	63,5 <sup>b</sup>	185,0 <sup>c</sup>	147,5 <sup>bc</sup>	26,5 <sup>a</sup>	121,0 <sup>c</sup>
	7	77,1 <sup>a</sup>	96,0 <sup>c</sup>	93,0 <sup>b</sup>	96,0 <sup>d</sup>	69,5 <sup>c</sup>	188,5 <sup>c</sup>	153,0 <sup>c</sup>	26,0 <sup>a</sup>	117,5 <sup>bc</sup>
	10	78,2 <sup>ab</sup>	105,0 <sup>d</sup>	91,5 <sup>a</sup>	104,5 <sup>c</sup>	76,0 <sup>d</sup>	218,0 <sup>d</sup>	170,5 <sup>d</sup>	29,0 <sup>a</sup>	141,5 <sup>d</sup>
10	0	66,7 <sup>c</sup>	224,5 <sup>a</sup>	91,6 <sup>a</sup>	201,5 <sup>a</sup>	135,0 <sup>a</sup>	330,5 <sup>a</sup>	277,0 <sup>a</sup>	89,5 <sup>a</sup>	195,5 <sup>a</sup>
	4	63,7 <sup>ab</sup>	243,5 <sup>ab</sup>	92,5 <sup>ab</sup>	218,5 <sup>ab</sup>	153,5 <sup>b</sup>	369,0 <sup>b</sup>	316,5 <sup>b</sup>	89,0 <sup>a</sup>	214,0 <sup>b</sup>
	5	65,7 <sup>bc</sup>	248,0 <sup>b</sup>	93,3 <sup>b</sup>	218,5 <sup>ab</sup>	156,5 <sup>b</sup>	366,5 <sup>b</sup>	316,0 <sup>b</sup>	91,0 <sup>a</sup>	209,5 <sup>b</sup>
10	6	64,6 <sup>ab</sup>	277,5 <sup>cd</sup>	92,4 <sup>ab</sup>	246,0 <sup>bc</sup>	164,5 <sup>bc</sup>	388,5 <sup>c</sup>	333,0 <sup>bc</sup>	112,5 <sup>b</sup>	222,5 <sup>c</sup>
	7	63,1 <sup>a</sup>	272,0 <sup>c</sup>	92,1 <sup>ab</sup>	245,5 <sup>bc</sup>	164,5 <sup>bc</sup>	395,0 <sup>c</sup>	345,0 <sup>cd</sup>	107,0 <sup>b</sup>	228,5 <sup>c</sup>
	10	63,7 <sup>ab</sup>	296,5 <sup>d</sup>	92,4 <sup>ab</sup>	268,0 <sup>c</sup>	177,0 <sup>c</sup>	450,5 <sup>d</sup>	365,5 <sup>d</sup>	119,5 <sup>b</sup>	272,5 <sup>d</sup>

Objaśnienia/Explanatory notes:

\*A – temperatura kleikowania, B – lepkość maksymalna, BT – temperatura w maksimum lepkości, C – lepkość w w temperaturze 96°C, D – lepkość po 10 minutach w temperaturze 96°C, E – lepkość po 15 minutach w temperaturze 25°C, F – lepkość po 15 minutach w temperaturze 25°C, BD – spadek lepkości kleiku podczas przetwarzania w temperaturze 96°C, ED – wzrost lepkości kleiku po ochłodzeniu do temperatury 25°C / A – pasting temperature, B – maximum viscosity, BT – temperature at maximum viscosity, C – viscosity at 96°C, D – viscosity after 10 min at 96°C, E – viscosity at 25°C, F – viscosity after 15 min at 25°C, BD – breakdown, ED – set back.

\*\*Średnie w kolumnach, w obrębie jednego stężenia RMO, oznaczone tymi samym literami (a-d) nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha = 0,05$ /Means in column, within separate ROF concentration, denoted with the same letter (a-d) are not statistically different ( $\alpha = 0.05$ ).

Podobnie zachowywały się próbki, w których znajdowała się sacharoza. W miarę wzrostu zawartości sacharozy w układzie wodnym o 5, 7 i 10% stężeniu RMO zaobserwowano spadek temperatury kleikowania odpowiednio z 87,9°C do 85,5°C; z 82,6°C do 78,2°C i z 66,7°C do 63,7°C. Spadek temperatury kleikowania wraz ze wzrostem stężenia w układzie zarówno RMO jak i sacharozy, można wytłumaczyć wcześniejszym odnotowaniem wzrostu lepkości przez układ pomiarowy, na skutek większego oporu stawianego przez napęczniałe składniki mąki.

Lepkość maksymalna (B) badanych wodnych zawiesin w miarę wzrostu stężenia RMO wzrosła odpowiednio od 28,0 (przy 5% stężeniu) poprzez 74,5 (przy 7% stężeniu) aż do 224,5 j.B. (przy 10% stężeniu). Podobne zjawisko zostało zaobserwowane w badaniach przeprowadzonych przez Zhou i in. (1999 a i b).

Wybór ośrodka, w jakim dochodzi do kleikowania skrobi, wywiera duży wpływ na lepkość otrzymanego kleiku (Abu-Jdayil i in. 2004). Dlatego też wprowadzenie do układu woda – RMO – sacharoza coraz większej ilości sacharozy (od 4% do 10%) spowodowało wzrost wartości wszystkich oznaczanych wskaźników lepkości (tab. 1). Zmiany te były szczególnie widoczne w przypadku kleików zawierających 7 i 10% RMO.

W przypadku 5% wodnych zawiesin RMO bez udziału sacharozy, lepkość B wynosiła 28,0 j.B., a przy 10% wzrosła do 42,0 j.B. Wartość B została osiągnięta w zakresie temperatur 94,9-96,3°C (temperatura w maksimum lepkości – BT). Lepkość B 7% i 10% kleików RMO również wzrastała wraz ze zwiększającym się udziałem sacharozy od 0-10%, odpowiednio: od 74,5 do 105,0 j.B., oraz od 224,5 do 296,5 j.B. Lepkość maksymalna 7% i 10% zawiesin RMO różniących się zawartością sacharozy została osiągnięta w przedziale temperatur odpowiednio: 91,5-94,4°C oraz 91,6-93,3 °C.

Po osiągnięciu lepkości B, lepkość kleików RMO poddanych działaniu wysokiej temperatury (96°C) oraz sił ścinających zmniejszyła się do wartości C. W przypadku 5% i 7% kleików RMO, niezależnie od udziału sacharozy, spadek lepkości kleików podczas ogrzewania ich do temperatury 96°C (B - C) nie przekroczył 5 j.B., natomiast w przypadku 10% kleików wynosił 23,0-31,5 j.B.

Kolejnym oznaczanym parametrem była lepkość kleiku po przetrzymaniu go w wysokiej temperaturze (96°C) przez 10 minut przy ciągłym mieszaniu (D). Wartość parametru D zwiększała się ze wzrostem zawartości sacharozy w układzie RMO – woda – sacharoza, od 22,5 do 38,0 j.B w przypadku 5% kleików RMO oraz od 47,5 do 76,0 j.B. (w 7% kleikach RMO) i 135,0 – 177,0 j.B. w 10% kleikach RMO.

Wzrost ilości sacharozy w kleikach zawierających 5, 7 i 10% RMO powodował wzrost lepkości kleiku temperaturze 96°C (C) i po przetrzymaniu go w tej temperaturze w czasie 10 minut (D) oraz lepkości po ochłodzeniu do temperatury 25°C (E) i po przetrzymaniu w tej temperaturze przez okres 15 minut (F).

Obserwowany spadek lepkości (BD) w trakcie przetrzymania kleików w temperaturze maksymalnej, czyli tzw. break down (BD - różnica w wartości lepkości pomiędzy punktami B i D), odzwierciedlał odporność napęczniałych ziarenek skrobiowych na działanie czynników ekstremalnych, czyli wysokiej temperatury oraz sił ścinających (mieszanie). W przypadku 5 i 7% wodnych kleików RMO bez udziału sacharozy, wartość BD kształtowała się odpowiednio na poziomie 5,5 i 26,5 j.B., a zróżnicowany udział sacharozy nie spowodował istotnych różnic pomiędzy układami. Jednak w przypadku 10% wodnych zawiesin RMO różnice pomiędzy wartościami BD zawiesin z różnym udziałem sacharozy okazały się istotne. Można nawet wyróżnić dwie grupy, a mianowicie zawierające odpowiednio: 0-5% oraz 6-10% sacharozy w układzie RMO – sacharoza – woda, pomiędzy którymi występuje istotna różnica w wartościach spadku lepkości (BD). Wyliczono, że stosunek wartości BD do B (wyrażony w procentach) w przypadku 5 i 7% kleików RMO wyraźnie spada ze zwiększającym się stężeniem sacharozy, odpowiednio od 19,6 do 5,6 (w zakresie 0-7% sacharozy) oraz od 35,6 do 27,6 (0-10% sacharozy). Sugeruje to wzrost odporności ziarenek skrobiowych na działanie czynników mechanicznych i wysokiej temperatury w obecności wzrastających stężeń sacharozy. Przy 10% stężeniu RMO w układzie wpływ ten nie jest już tak widoczny.

W dalszej kolejności wszystkie kleiki chłodzono. Na tym etapie obserwowano wzrost lepkości powodowany tworzeniem się wiązań wodorowych. Wzrost ten był silnie uzależniony od zawartości sacharozy w układzie, co potwierdzają badania Chantaro i Pongsawatmanit (2010).

Kolejny empiryczny wskaźnik, czyli wzrost lepkości w trakcie schładzania kleików (set back, ED – wzrost lepkości obserwowany podczas schładzania kleików, od temperatury maksymalnej 96°C (D) do temperatury 25°C (E)), zwiększał się istotnie wraz z ilością sacharozy we wszystkich badanych kleikach. Według niektórych badaczy (Mazurs i in. 1957) można ten wskaźnik interpretować jako podatność skrobi na retrogradację. Potwierdziły to badania Seow i in. (1996), dotyczące wpływu obecności w kleikach skrobiowych sacharozy na skłonność skrobi do retrogradacji. W badaniach własnych odnotowano wzrost wartości tego wskaźnika wraz z rosnącą ilością sacharozy w analizowanych kleikach.

Wzrost lepkości, obserwowany po wprowadzeniu sacharozy do układu RMO – woda, można przypisać wzrostowi sztywności napęczniałych granул skrobiowych (Matser i Steeneken 1997) oraz mniejszą dostępnością wody zawartej w układzie, potrzebnej do kleikowania skrobi, która stanowi główny składnik mąki, bowiem rywalizują o nią pozostałe hydrokoloidy zawarte w mące tj.  $\beta$ -glukany, pentozany i białka (Zhou i in. 2000). Według Matser i Steeneken (1997), którzy badali wpływ laktozy na kleikowanie skrobi, wzrastające stężenie tego cukru

doprowadziło do wzrostu zarówno temperatury, jak i entalpii kleikowania, czyli energii niezbędnej do skleikowania skrobi, oznaczonej w różnicowym kalorymetrze skaningowym (DSC).

W badaniach Zhou i in. (2000) określano wpływ białek i  $\beta$ -glukanów na zdolność mąki owsianej do kleikowania, stosując odpowiednie enzymy (proteinaza (EC 3.4.21.14),  $\beta$ -glukanaza (1,3)-, (1,4)- $\beta$ -D-glukanaza, EC 3.2.1.73) rozkładające wyżej wymienione składniki. Autorzy ci wykazali, że  $\beta$ -glukany wywierają znacznie większy wpływ na całkowitą lepkość kleików niż białka. Inne badania (Colleoni-Sirghie i in. 2004, Zhang i in. 1997), dotyczące wpływu zawartości  $\beta$ -glukanów na charakterystykę kleikowania mąki owsianej, potwierdziły ich wpływ na lepkość kleików tej mąki.

Ważnym składnikiem mąki owsianej są związki tłuszczowe (lipidy), których zawartość jest 5 – 7 razy większa niż w mąkach chlebowych (Gibiński i in. 2010, Gambuś in. 2011 a, b). Wyjaśnienie znaczenia wpływu lipidów zawartych w mące owsianej na proces kleikowania było przedmiotem badań Zhou i in. (1999 c). Zarówno ilość lipidów, jak i ich skład, wywierały znaczny wpływ na zdolność kleikowania mąki owsianej, jednakże nie był on aż tak istotny, jak wpływ pozostałych składników zawartych w tej mące. Wspomniani autorzy wykazali, że maksimum lepkości oraz czas potrzebny do jego osiągnięcia były ujemnie skorelowane z zawartością lipidów w mące (Zhou i in. 1999 c).

Eksperymenty Abu-Jdayil i in. (2004), w których zastosowano układ: skrobia pszenna – odtłuszczone mleko – cukry, miały odpowiedzieć na pytanie dotyczące wpływu stężenia skrobi, rodzaju zastosowanego cukru oraz temperatury ogrzewania na właściwości reologiczne powstałych mieszanin. Wykazano w nich, że niezależnie od obecności mleka w takiej zawieszynie, dodatek cukrów prowadził do wzrostu jej lepkości; w najmniejszym stopniu po dodaniu glukozy, w następnej kolejności po dodaniu sacharozy, a w największym stopniu po dodaniu fruktozy. Efekt był jednak wyraźniejszy przy większych stężeniach skrobi. Wyniki badań własnych nie potwierdzają tych obserwacji, bowiem ze zwiększającym się stężeniem mąki (a tym samym skrobi) w układzie RMO – woda – sacharoza, zmiany lepkości kleików były mniejsze ze zwiększającym się stężeniem sacharozy. Podsumowując, w niniejszej pracy obserwowano proporcjonalny wzrost lepkości maksymalnej i po ochłodzeniu, wraz ze zwiększającym się stężeniem sacharozy w układzie RMO – sacharoza – woda, niezależnie od stężenia RMO.

Przebieg zmian poszczególnych parametrów zawartych w tabeli 1 opisano równaniem liniowej regresji  $y = a \cdot \text{sacharoza (\%)} + b$ . Obliczone współczynniki regresji liniowej  $a$  i  $b$  oraz współczynnik dopasowania  $R^2$  zamieszczono w tabeli 2, a jakość tego dopasowania oszacowano testem  $F$  (Łomnicki 2003).

**Tabela 2.** Wartości współczynników liniowej regresji oraz współczynnika dopasowania  $R^2$  wyliczone dla poszczególnych krzywych opisujących zmiany wyznaczników lepkości w funkcji stężenia sacharozy

**Table 2.** Values of linear regression coefficients and determination coefficient  $R^2$  calculated for the selected viscosity parameters in the function of sucrose concentration

Współczynnik Coefficient	RMO ROF %	A <sup>#</sup> (°C)	B (j.B)	C (j.B)	D (j.B)	E (j.B)	F (j.B)
A	5	-0,234	1,361	1,172	1,551	3,211	2,828
	7	-0,500	2,946	3,078	2,834	8,208	5,304
	10	-0,308	7,542	6,958	4,211	11,618	9,000
B	5	87,998	28,822	27,334	23,810	58,042	53,666
	7	82,210	75,539	73,416	48,217	133,892	116,211
	10	66,193	220,108	195,892	136,042	321,374	277,500
$R^2$	5	0,70*	0,86**	0,93**	0,90**	0,96**	0,95**
	7	0,77*	0,97**	0,99**	0,98**	0,99**	0,99**
	10	0,55	0,91**	0,90**	0,99**	0,93**	0,98**

Objaśnienia/Explanatory notes:

A, B, C, D, E, F – Oznaczenia jak w tabeli 1 – Descriptions as in Table 1,

Statystycznie istotne przy poziomie istotności: \* $\alpha = 0,05$ , \*\* $\alpha = 0,01$  – Statistically significant at importance level: \* $\alpha = 0.05$ , \*\* $\alpha = 0.01$ .

Należy podkreślić, że trafność dopasowania ( $R^2$ ) była większa w miarę zwiększania się zawartości RMO w zawiesinie, jednak najwyższe wartości były osiągnięte w przypadku 7% wodnych zawiesin RMO.

## WNIOSKI

1. Zwiększające się stężenie resztkowej mąki owsianej (RMO) w układzie RMO – woda - sacharoza wpłynęło na właściwości reologiczne otrzymanych kleików, powodując obniżenie temperatury kleikowania oraz wzrost wszystkich badanych wskaźników lepkości tych kleików. W analizowanym zakresie stężeń sacharozy zmiany analizowanych parametrów lepkości miały charakter liniowy.

2. Zwiększający się udział sacharozy w zawiesinach RMO przyspieszał początek kleikowania; im większe stężenie cukru zastosowano przy danym stężeniu RMO, tym kleikowanie występowało w niższej temperaturze.

3. Wraz ze zwiększającym się stężeniem sacharozy w układzie woda – RMO, niezależnie od stężenia resztkowej mąki owsianej, obserwowano proporcjonalny wzrost lepkości maksymalnej i lepkości po ochłodzeniu.

4. Kleiki otrzymane z zawiesin o największym stężeniu, zarówno mąki RMO jak i sacharozy, charakteryzowały się najwyższymi wartościami wszystkich badanych wskaźników lepkości.

#### PIŚMIENNICTWO

- Abu-Jdayil B., Mohamed H. A., Eassa A., 2004. Rheology of wheat starch – milk – sugar systems: effect of starch concentration, sugar type and concentration, and milk fat content. *Journal of Food Engineering*, 64(2), 207-212. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.09.034.
- Bekers M., Marauska M., Laukevics J., Grube M., Vigants A., Karklina D., Viesturs U., 2001. Oats and fat-free milk based functional food product. *Food Biotechnology*, 15(1), 1-12. doi:10.1081/FBT-100103890
- Berski W., Gambuś H., Nowotna A., 2012. Próba wykorzystania mąki owsianej resztkowej do otrzymania deseru typu budyniowego. *Materiały Piątej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej z cyklu „Owies – Hodowla, Uprawa i Wykorzystanie”*, Kraków, 13-14.
- Chantaro P., Pongsawatmanit R., 2010. Influence of sucrose on thermal and pasting properties of tapioca starch and xanthan gum mixtures. *Journal of Food Engineering*, 98, 44-50.
- Colleoni-Sirghie M., Jannink J.-L., White P.J., 2004. Pasting and thermal properties of flours from oat lines with high and typical amounts of  $\beta$ -glucan. *Cereal Chemistry*, 81, 686-692.
- Czubaszek A., 2008., Charakterystyka technologiczna mieszanek mąki pszennej z produktami przemiału owsa. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, 564, Rozprawy CCLIII.
- Czubaszek A., Karolini-Skaradzińska Z., Fajarczuk M., 2011. Wpływ produktów z owsa na właściwości wypiekowe mieszanek żytnio-owsianych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 5(78), 150-162.
- Gałkowska D., Długosz M., Juszcak L., 2013. Effect of high methoxy pectin and sucrose on pasting, rheological, and textural properties of modified starch systems. *Starch – Stärke*, 65, 499-508.
- Gambuś H., Gibiński M., Pastuszka D., Mickowska B., Ziobro R., Witkowicz R., 2011b. The application of residual oats flour in bread production in order to improve its quality and biological value of protein. *Acta Scientiarum Polonorum*, 10, 317-325.
- Gambuś H., Zięć G., Gibiński M., Pastuszka D., Nowakowski K., 2011a. Wykorzystanie resztkowej mąki owsianej do wypieku chleba. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 566, 49-60.
- Gibiński M., 2008. B-glukany owsa jako składnik żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 57, 15-29.
- Gibiński M., Gambuś H., Nowakowski K., Mickowska B., Pastuszka D., Augustyn G., Sabat R., 2010. Wykorzystanie mąki owsianej – produktu ubocznego przy produkcji koncentratu z owsa – w piekarstwie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 70, 56-75.
- Gumul D., Gambuś H., Berski W., Ziobro R., 2012. Wpływ udziału resztkowej mąki owsianej na jakość i zawartość polifenoli w ekstraktach z kaszki kukurydzianej. *Materiały Piątej Ogólno-*

- polskiej Konferencji Naukowej z cyklu „Owies – Hodowla, Uprawa i Wykorzystanie”, Kraków, 22-23.
- Kawka A., 2010. Współczesne trendy w produkcji piekarskiej – wykorzystanie owsa i jęczmienia jako zbóż niechlebowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3(70), 25-43.
- Kawka A., Górecka D., 2010. Porównanie składu chemicznego pieczywa pszenno-owsianego i pszenno-jęczmiennego z udziałem zakwasów fermentowanych starterem LV2. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość*, 3(70), 44-55.
- Lange E., 2010. Produkty owsiane jako żywność funkcjonalna. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3 (70), 7-24.
- Łomnicki A., 2003. Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. PWN, Warszawa.
- Mårtensson O., Andersson C., Andersson K., Öste R., Holst O., 2001. Formulation of an oat-based fermented product and its comparison with yoghurt. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1314-1321.
- Matser A.M., Steeneken P.A.M., 1997. Rheological properties of highly cross-linked waxy maize starch in aqueous suspensions of skim milk components. Effects of the concentration of starch and skim milk components. *Carbohydrate Polymers*, 32, 297-305.
- Mazurs E., Schoch T., Kite F., 1957. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of various starches. *Cereal Chemistry*, 34, 141-153.
- Richter M., Augustat S., Schierbaum, F., 1968. *Ausgewählte Methoden der Stärkechemie*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. Leipzig, DDR.
- Różyło R., 2007. Zmiany cech tekstury miększu chleba pszennego pod wpływem dodatku produktów z owsa. *Acta Agrophysica*, 10, 667-676.
- Seow C.C., Teo C.H., Nair C.K.V., 1996. A DSC study of the effects of sugars on thermal properties of rice starch gels before and after aging. *Journal of Thermal Analysis*, 47, 1201-1212.
- Zhang D., Doehlert D.C., Moore W.R., 1997. Factors affecting viscosity of slurries of oat groat flours. *Cereal Chemistry*, 74, 722-726.
- Zhang X., Tong Q., Zhu W., Ren F., 2013. Pasting, rheological properties and gelatinization kinetics of tapioca starch with sucrose or glucose. *Journal of Food Engineering*, 114, 255-261.
- Zhou M., Glennie-Holmes M., Robards K., Helliwell S., 1999a. Effects of processing and short-term storage on the pasting characteristics of slurries made from raw and rolled oats. *Food Australia*, 51(6), 251-258.
- Zhou M., Glennie-Holmes M., Roberts GL., Robards K., Helliwell S., 1999 b. The effect of growing sites on grain quality of oats and pasting properties of oatmeals. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 1409-1416.
- Zhou M., Robards K., Glennie-Holmes M., Helliwell S., 1999 c. Effects of oat lipids on groat meal pasting properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 585-592.
- Zhou M., Robards K., Glennie-Holmes M., Helliwell S., 2000. Effects of enzyme treatment and processing on pasting and thermal properties of oats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1486-1494.

RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RESIDUAL  
OAT FLOUR – SUCROSE – WATER TERNARY SYSTEMS

*Wiktor Berski, Halina Gambuś*

Department of Carbohydrate Technology, University of Agriculture in Krakow  
ul. Balicka 122, 30-149 Kraków  
e-mail: wberski@ar.krakow.pl

**Abstract.** The aim of the research was to determine the rheological properties of water based ROF (Residual oat flour)–sucrose systems, with various mutual proportions. Analyses were done by means of Micro Visco–Amylo–Graph (Brabender, Duisburg, Germany). It was demonstrated that increasing concentration of ROF in water based systems decreased the pasting temperature, and increased the viscosity of the resulting pastes, and the course of these changes was of a linear nature. Moreover, every increase of the share of sucrose in ROF suspensions, irrespective of flour concentration, accelerated the beginning of pasting, and caused an increase in viscosity, both the maximum and at cooling stage of the investigated systems.

**Keywords:** Residual oat flour (ROF), sucrose, ROF–sucrose–water ternary systems, rheological properties