

IZABELA PRZETACZEK, TERESA FORTUNA

WPLYW OGRZEWANIA MIKROFALOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE ROZTWORÓW HYDROLIZATÓW SKROBI O RÓŻNYM STOPNIU DEPOLIMERYZACJI

Streszczenie

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu ogrzewania mikrofalowego na właściwości reologiczne roztworów maltodekstryn ziemniaczanych, różniących się stopniem scukrzenia.

Materiał badawczy stanowiły handlowe hydrolizaty skrobi o trzech stopniach depolimeryzacji oraz maltodekstryna laboratoryjna o średnim stopniu scukrzenia. Z badanych maltodekstryn sporządzono roztwory, które analizowano przy użyciu reometru rotacyjnego. Wykreślono krzywe płynięcia w temp. 50 °C oraz krzywe określające zależność lepkości od temperatury w zakresie od 20 do 60 °C. Do opisu krzywych płynięcia zastosowano model Herschela-Bulkley'a, Newtona, a model Arrheniusa wykorzystano do wyznaczenia parametrów krzywych zależności lepkości od temperatury.

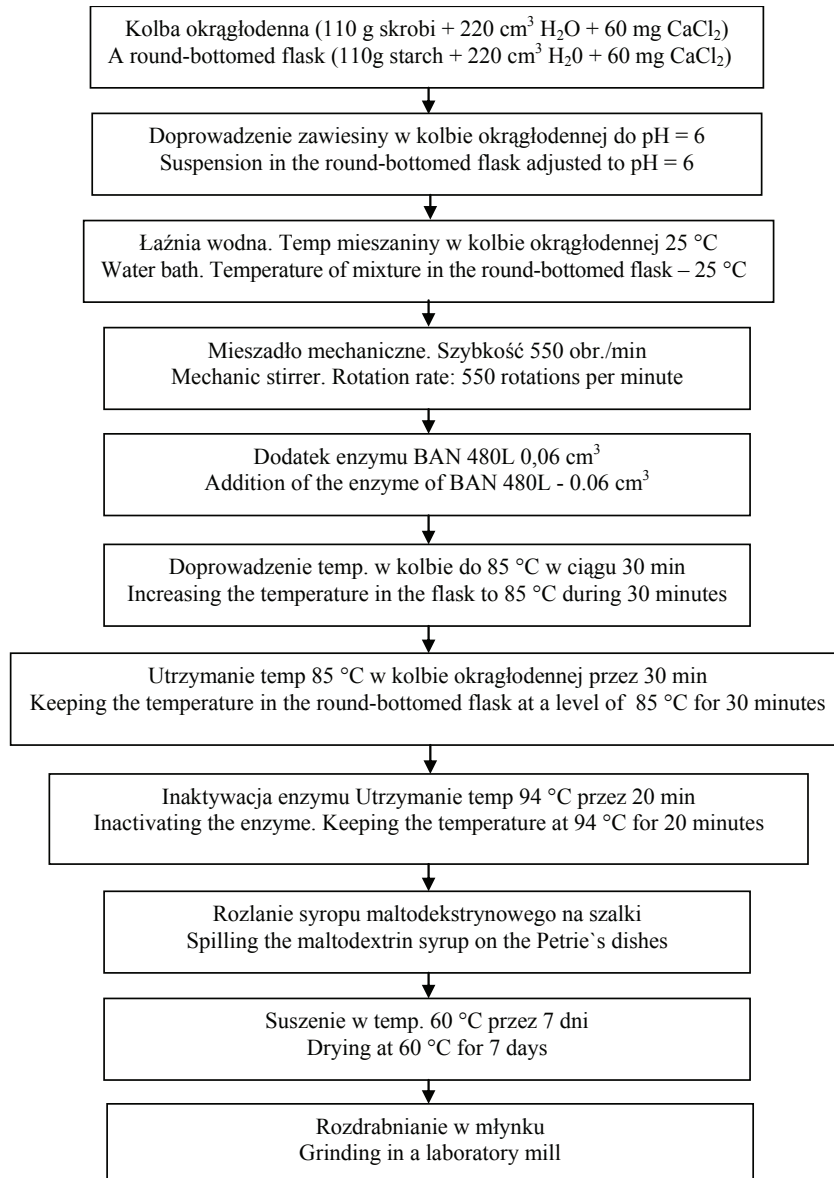
Przeprowadzone analizy dowiodły, że modyfikacja fizyczna maltodekstryn przyczyniła się do zmiany wielkości parametrów reologicznych sporządzonych z nich roztworów. Oddziaływanie polem mikrofalowym o mocy 440 W na hydrolizaty skrobiowe o średnim i wysokim stopniu depolimeryzacji spowodowało obniżenie wartości liczbowych współczynnika lepkości dynamicznej. Natomiast podwyższenie mocy mikrofalowania do 800 W przyczyniło się do wzrostu wielkości tego parametru, za wyjątkiem handlowej maltodekstryny średnio scukrzonej. Z kolei charakterystyka temperaturowa lepkości preparatów sporządzonych ze średnio i wysoko scukrzonych hydrolizatów skrobiowych nie uległa zmianie po ich ogrzewaniu mikrofalowym.

Słowa kluczowe: maltodestryny, właściwości reologiczne, modyfikacja fizyczna maltodekstryn

Wprowadzenie

W produkcji artykułów spożywczych coraz powszechniej wykorzystuje się maltodekstryny. Stanowią one produkt niecałkowitej hydrolizy skrobi [21]. Ze względu na zróżnicowane właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne są one stosowane w różnych gałęziach przemysłu spożywczego [4, 13]. Wykorzystywane są m.in. jako stabilizatory, emulgatory, neutralne wypełniacze, składniki żelotwórcze, materiały tworzące

powłoki, zagęstniki, środki spulchniające i inne. Hydrolizaty te również pełnią rolę substancji pomocniczych w suszeniu rozpyłowym, nośników aromatów, tłuszczów, barwników, związków zapachowych, ułatwiają dawkowanie niektórych sproszkowanych składników żywności [1, 7,10, 11, 18, 20, 22, 25].



Rys. 1. Schemat otrzymania maltodekstryny sposobem laboratoryjnym.

Fig. 1. Production diagram of maltodextrin using a laboratory method.

Poznanie właściwości reologicznych hydrolizatów skrobi jest niezbędne do opracowania właściwych receptur produktów spożywczych, których konsystencja będzie pożądana przez konsumentów, a także umożliwi racjonalne i efektywne wykorzystanie linii technologicznych [5, 9, 12]. Pomimo istotnego wpływu właściwości reologicznych roztworów maltodekstryn na strukturę produktów żywnościowych, nieliczne publikacje poświęcono tej tematyce [9]. Również nieliczne badania dotyczą wpływu pola mikrofalowego na właściwości funkcjonalne roztworów maltodekstryn. Zastosowanie pola mikrofalowego w trakcie przetwarzania żywności znacznie skraca czas procesu, ale może wpływać na zmianę właściwości produktu końcowego [6, 8, 14, 15]. Pomimo tego coraz częściej przy produkcji artykułów spożywczych wykorzystywane są generatory mikrofal, a także powszechnie jest stosowanie kuchenek mikrofalowych w gospodarstwach domowych.

Celem pracy była ocena wpływu ogrzewania mikrofalowego na maltodekstryny o różnym stopniu depolimeryzacji i zmiany właściwości reologicznych badanych roztworów.

Materiał i metody badań

Materiał badawczy stanowiły handlowe ziemniaczane maltodekstryny o niskim, średnim i wysokim stopniu scukrzenia (wyprodukowane przez Przedsiębiorstwo Przemysłu Ziemniaczanego NOWAMYL S.A. w Łobzie) oraz hydrolizat o średnim stopniu depolimeryzacji otrzymany metodą laboratoryjną poprzez enzymatyczną hydrolizę skrobi ziemniaczanej wyprodukowanej przez Przedsiębiorstwo Przemysłu Spożywczego PEPEES S.A. w Łomży. Do hydrolizy skrobi użyto preparatu BAN 480L – α -amylaza o standardowej aktywności 480 KNU/g, otrzymana metodą wglębnej hodowli wyselekcjonowanego szczepu *Bacillus amyloliquefaciens*. Preparat enzymatyczny pochodził z firmy Novozymes (Dania).

Schemat otrzymywania maltodekstryn laboratoryjnych zamieszczono na rys. 1. Zestaw do otrzymania maltodekstryny laboratoryjnej złożony był z kolby okrągłodennej, dwuszyjnej umieszczonej w łaźni wodnej. Do kolby odważano 110 g skrobi (w przeliczeniu na suchą masę), dodawano 220 cm³ wody destylowanej oraz 60 mg chlorku wapnia, a następnie zawiesinę doprowadzano do pH = 6 używając 1 % roztworu kwasu siarkowego(VI) lub wodorotlenku sodu. Kolbę umieszczano w łaźni wodnej o temp. 25 °C, a jej zawartość mieszano przy użyciu mieszadła obrotowego firmy Janke & Kunkel z częstotliwością 550 obr./min. Po uruchomieniu mieszadła dodawano do mieszaniny 0,06 cm³ preparatu enzymatycznego BAN 480 L. W ciągu 30 min doprowadzano temperaturę mieszaniny do 85 °C, stale kontrolując temperaturę łaźni wodnej i zawartość kolby. Temp. 85 °C utrzymywano przez 30 min, a po upływie tego czasu enzym inaktywowano termicznie poprzez doprowadzenie łaźni do wrzenia i utrzymanie tej temperatury przez 20 min (temp. mieszaniny wynosiła 94 °C). Następnie zawar-

tość kolby rozlewano na płytki Petriego i suszono w suszarce z nawiewem powietrza w temp. 60 °C do uzyskania 5 - 7 % wilgotności. Uzyskany preparat rozdrabniano w młynku laboratoryjnym firmy Retsch, model GRINDOMIX GM 200 w ciągu 90 s przy prędkości 10 000 obr./min.

W celu uzyskania odpowiedniej ilości materiału badawczego powtarzano wielokrotnie hydrolizę w identycznych warunkach i oznaczano wartości równoważnika glukozowego przy użyciu metody Schoorla-Regenboga [16]. Otrzymane laboratoryjne hydrolizaty skrobiowe, których wartość DE mieściła się w granicach między 16,50 a 18,50 zostały zmieszane i stanowiły materiał do dalszych badań, jako „laboratoryjna maltodekstryna średnio scukrzona”.

Wszystkie maltodesktryny będące wyjściowym materiałem badawczym w niniejszej pracy poddano modyfikacji w polu mikrofalowym. Naważkę maltodekstryn o masie 20 g (s.s.) rozprowadzano równomiernie na płytkach Petriego, a następnie poddawano działaniu promieniowania mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W oraz częstotliwości 2450 MHz w kuchence mikrofalowej firmy Panasonic NN-K257W przez 5 min. Następnie w celu ochłodzenia, po ogrzewaniu w kuchence mikrofalowej, szalki przenoszono do eksykatora.

Właściwości reologiczne roztworów maltodekstryn badano przy zastosowaniu reometru rotacyjnego Rheolab MC1 (Physica Meßtechnik GmbH, Niemcy), wykorzystując jako system pomiarowy układ współosiowych cylindrów (w przypadku maltodekstryn średnio i wysoko scukrzonych Z2 DIN - średnica cylindra wewnętrznego – 45,00 mm, średnica cylindra zewnętrznego – 48,80 mm, a maltodekstryny niskoscukrzonych Z3 DIN – średnica cylindra wewnętrznego – 25,00 mm, średnica cylindra zewnętrznego – 27,12 mm). Reometr i termostat (Viscotherm2) były sterowane komputerowo poprzez program US 200 ((Physica Meßtechnik GmbH, Niemcy).

W celu wyznaczenia krzywych płynięcia sporządzano 50 % wodne roztwory maltodekstryn handlowych i laboratoryjnych. Tak przygotowane próbki mieszano przez 15 min w temperaturze pokojowej przy użyciu mieszadła mechanicznego z szybkością 300 obr./min. Następnie naczynie z próbką ogrzewano w łaźni wodnej o temp. 95 ± 1 °C przez 15 min, przy ciągłym mieszaniu mieszadłem z prędkością 300 obr./min. Bezpośrednio po przygotowaniu, roztwory maltodekstryn umieszczano w elemencie pomiarowym reometru i termostatowano przez 10 min do temp. pomiaru wynoszącej $50 \pm 0,5$ °C.

Krzywe płynięcia wykreślano według programu:

- wzrastająca prędkość ścinania w zakresie $1-300$ s⁻¹, w ciągu 10 min,
- stała prędkość ścinania 300 s⁻¹, w ciągu 2 min,
- malejąca prędkość ścinania w zakresie $1-300$ s⁻¹, w ciągu 10 min.

Do opisu krzywych płynięcia zastosowano model reologiczny Newtona [3, 23]:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

gdzie:

- τ – napężenie ścinające [Pa],
 η – współczynnik lepkości dynamicznej [Pa·s],
 $\dot{\gamma}$ – prędkość ścinania [s^{-1}].

Do wyznaczenie krzywych określających zależność lepkości od temperatury roztwory maltodekstryń średnio i wysoko scukrzonych przygotowano w taki sam sposób, jak do wykreślenia krzywych płynięcia. Natomiast w celu wykreślenia krzywych zależności lepkości roztworów maltodekstryny o najniższym stopniu depolimeryzacji od temperatury, sporządzono jej 25 % wodny roztwór. Stężenie roztworów hydrolizatu nisko scukrzonego musiało być zmniejszone ze względu na czułość aparatu.

Pomiary wykonywano w zakresie temperatury od 20 do 60 °C przy stałej prędkości ścinania równej 10 s^{-1} . Uzyskane krzywe opisano eksperymentalnie równaniem Arrheniusa [17]:

$$\eta = \eta_{\infty} \exp(E_a/RT)$$

gdzie:

- η – lepkość pozorna [Pa·s],
 η_{∞} – stała materiałowa [Pa·s],
 E_a – energia aktywacji zjawiska płynięcia [kJ/mol],
 R – stała gazowa równania 8,314 [J/(K·mol)]

Obliczenia parametrów zastosowanych modeli wykonano wykorzystując oprogramowanie komputerowe US 200.

Wykaz skrótów użytych w pracy:

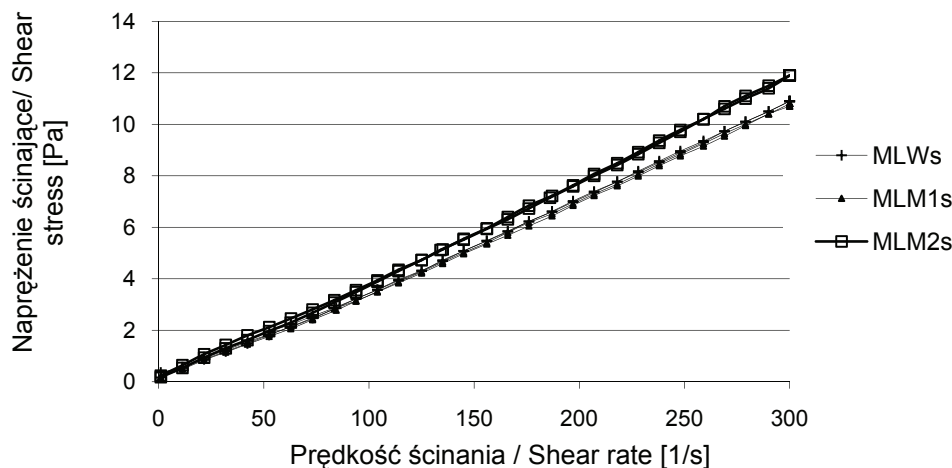
MLWs	maltodekstryna laboratoryjna wyjściowa średnio scukrzona, native, medium saccharified laboratory maltodextrin
MLM1s	maltodekstryna laboratoryjna mikrofalowana w polu o mocy 440 W, laboratory maltodextrin irradiated using 440 W microwaves
MLM2s	maltodekstryna laboratoryjna mikrofalowana w polu o mocy 800 W, laboratory maltodextrin irradiated using 800 W microwaves
MHWn	maltodekstryna handlowa wyjściowa nisko scukrzona, native, commercial low saccharified maltodextrin
MHM1n	maltodekstryna handlowa mikrofalowana w polu o mocy 440 W nisko scukrzona, commercial, low saccharified maltodextrin irradiated using 440 W microwaves
MHM2n	maltodekstryna handlowa modyfikowana w polu o mocy 800 W średnio scukrzona, commercial, medium saccharified maltodextrin irradiated using 800 W microwaves
MHWs	maltodekstryna handlowa wyjściowa średnio scukrzona, native, commercial, medium saccharified maltodextrin
MHM1s	maltodekstryna handlowa mikrofalowana w polu o mocy 440 W średnio scukrzona, commercial, medium saccharified maltodextrin irradiated using 440 W microwaves
MHM2s	maltodekstryna handlowa modyfikowana w polu o mocy 800 W średnio scukrzona, commercial, medium saccharified maltodextrin irradiated using 800 W microwaves

MHWw	maltodekstryna handlowa wyjściowa wysoko scukrzona, native, commercial, highly saccharified maltodextrin
MHM1w	maltodekstryna handlowa mikrofalowana w polu o mocy 440 W wysoko scukrzona, commercial, highly saccharified maltodextrin irradiated using 440 W microwaves
MHM2w	maltodekstryna handlowa mikrofalowana w polu o mocy 800 W wysoko scukrzona commercial, highly saccharified maltodextrin irradiated using 800 W microwaves

Wyniki i dyskusja

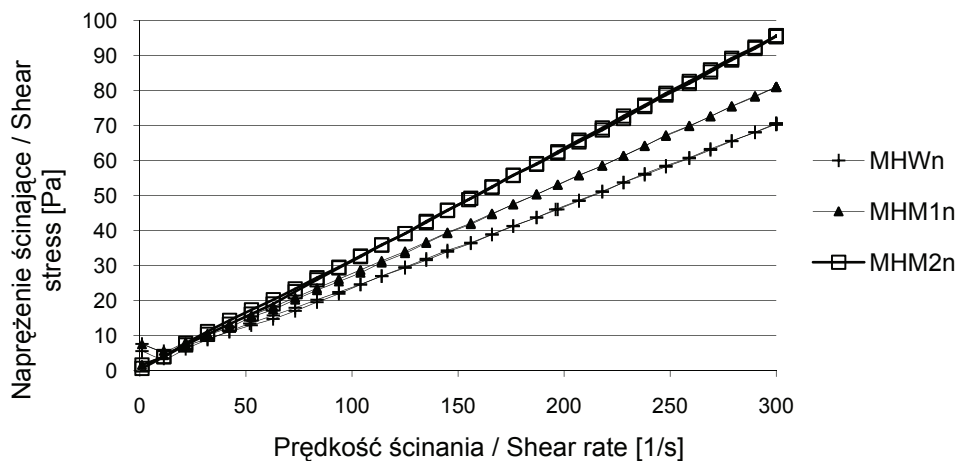
Wyniki pomiarów reologicznych roztworów maltodekstryn przedstawiono w postaci krzywych płynięcia na rys. 2 - 5 oraz krzywych zależności lepkości od temperatury na rys. 6 - 9. Z kolei, w tab. 1. i 2. umieszczono uzyskane wartości liczbowe parametrów modeli zastosowanych do opisu tych krzywych.

Spośród roztworów sporządzonych z wyjściowych maltodekstryn niepoddanych modyfikacji fizycznej, najwyższą wielkość naprężeń ścinających w całym zakresie zastosowanych prędkości ścinania charakteryzowała się handlowa maltodekstryna niskoscukrzona (rys. 3). Pozostałe maltodekstryny handlowe oraz laboratoryjna odznaczały się zbliżonymi wielkościami tego parametru i tylko nieznacznie malały wraz ze wzrostem stopnia depolimeryzacji (rys. 2, 4 i 5). Analizując wyznaczone krzywe płynięcia zaobserwowano nieznaczny wpływ modyfikacji polem mikrofalowym na wzrost wielkości naprężeń ścinających handlowych maltodekstryn nisko i wysoko scukrzonych oraz maltodekstryny laboratoryjnej w stosunku do wyjściowych hydrolizatów (rys. 2, 3 i 5). W przypadku handlowej maltodekstryny średnio scukrzonej wielkości naprężeń ścinających malały wraz ze wzrostem zastosowanej mocy mikrofal (rys. 4).



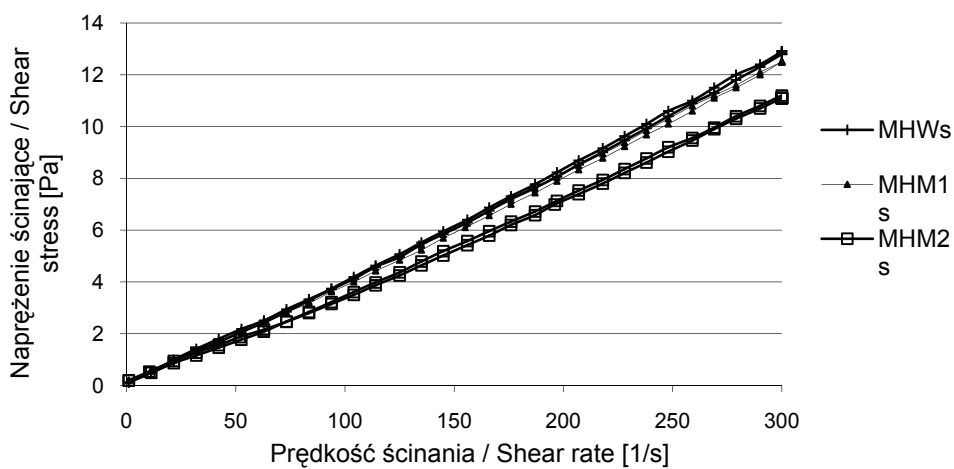
Rys. 2. Krzywe płynięcia 50 % roztworów maltodekstryny laboratoryjnej średnio scukrzonej, wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego.

Fig. 2. Flow curves of 50 % solutions of native, medium saccharified, laboratory maltodextrin irradiated using microwaves.



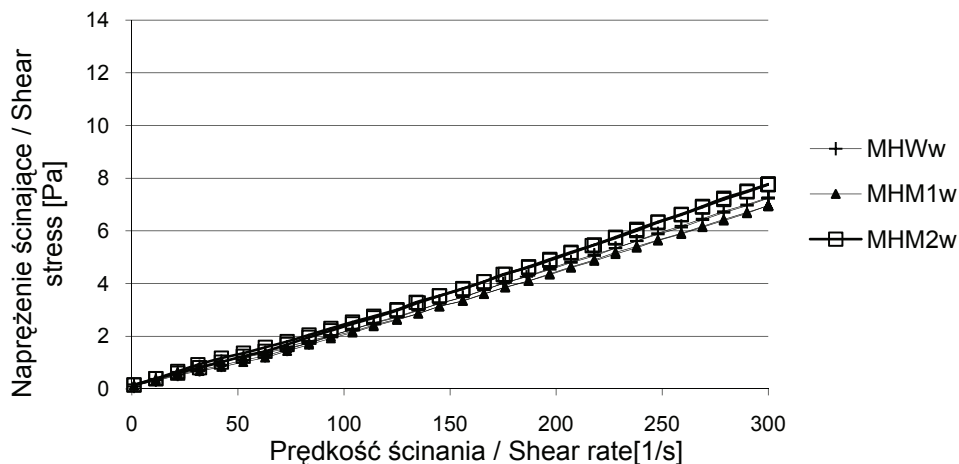
Rys. 3. Krzywe płynięcia 50 % roztworów maltodekstryny handlowej nisko scukrzonej, wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego.

Fig. 3. Flow curves of 50 % solutions of native, commercial, low saccharified maltodextrin irradiated using microwaves.



Rys. 4. Krzywe płynięcia 50 % roztworów maltodekstryny handlowej średnio scukrzonej, wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego.

Fig. 4. Flow curves of 50 % solutions of native, commercial, medium saccharified maltodextrin irradiated using microwaves.



Rys. 5. Krzywe płynięcia 50 % roztworów maltodekstryny handlowej wysoko scukrzonej, wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego.

Fig. 5. Flow curves of 50 % solutions of native, commercial high saccharified maltodextrin irradiated using microwaves.

Do opisu doświadczalnych krzywych płynięcia zastosowano model Newtona. Uzyskane wartości liczbowe parametrów modelu reologicznego opisujących krzywe płynięcia umieszczono w tab. 1. Wysokie wartości liczbowe współczynnika determinacji R^2 świadczą o wysokim dopasowaniu wybranego modelu do danych eksperymentalnych. Wielkości współczynnika determinacji modelu Newtona badanych roztworów wynosiły ponad 0,99 (tab.1).

Analizując wartości liczbowe współczynnika lepkości dynamicznej η modelu Newtona, odnoszących się do roztworów maltodekstryn, nie zaobserwowano stałych zależności między wielkością tego współczynnika i mocą mikrofalowania w przypadku wszystkich maltodekstryn.

Wartość liczbową współczynnika lepkości dynamicznej rosła wraz ze wzrostem mocy napromieniowania mikrofalami handlowej maltodekstryny nisko scukrzonej (tab. 1), ale jednocześnie malała wraz z mocą mikrofalowania handlowej maltodekstryny średnio scukrzonej (tab. 1). Modyfikacja handlowej maltodekstryny wysoko scukrzonej oraz hydrolizatu skrobiowego otrzymanego w laboratorium działaniem pola mikrofalowego o mocy 440 W spowodowała obniżenie wartości liczbowej współczynnika lepkości dynamicznej, a moc 800 W wpłynęła na wzrost wielkości tego parametru (tab. 1).

Lepkość badanych roztworów maltodekstryn zależała od stopnia depolimeryzacji i malała wraz ze wzrostem wartości równoważnika glukozowego (tab. 1). Podobną zależność zaobserwowali Dokic i wsp. [2] oraz Fortuna i wsp. [5]. Odmienne ob-

serwacji dokonali Tur i wsp. [24], którzy stwierdzili, że wraz ze wzrostem równoważnika glukozowego lepkość pozorna hydrolizatów zwiększa się.

Należy również zwrócić uwagę, że handlowa maltodekstryna o najniższym stopniu depolimeryzacji wykazała prawie 10-krotnie większą wartość liczbową współczynnika lepkości dynamicznej (tab. 1). Przyczyną tego najprawdopodobniej może być znacząca zawartość skrobi niespolimeryzowanej, która w trakcie przygotowywania próbek do analiz reologicznych kleikowała, a tym samym powodowała znacznie większą lepkość badanych roztworów.

Przeprowadzone analizy dowiodły, że roztwory maltodekstryn charakteryzowały się przepływem zbliżonym do newtonowskiego. Podobne rezultaty pomiarów reologicznych uzyskali Dokic i wsp. [2], Fortuna i wsp. [5] oraz Rzepka i wsp. [19]. Należy również zaznaczyć, że poddanie badanych maltodekstryn działaniu pola mikrofalowego nie wpłynęło znacząco na zmianę charakteru przepływu w stosunku do wyjściowych hydrolizatów (tab. 1).

Tabela 1

Wartości liczbowe parametrów reologicznych modelu Newtona badanych roztworów maltodekstryn, wyjściowych oraz poddanych działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W. Rheological parameter values of Newton model of native maltodextrin solutions studied and irradiated using 400 W or 800 W microwaves.

Samples	Wartości parametrów modelu Newtona Parameter values of the Newton model	
	η [Pa·s]	R^2
MLWs	0,0362	0,9990
MLM1s	0,0354	0,9991
MLM2s	0,0396	0,9987
MHWn	0,2415	0,9969
MHM1n	0,2808	0,9965
MHM2n	0,3220	0,9993
MHWs	0,0416 d	0,9992
MHM1s	0,0406 d	0,9990
MHM2s	0,0360	0,9985
MHWw	0,0234	0,9981
MHM1w	0,0226	0,9983
MHM2w	0,0256	0,9987

Objaśnienie: / Explanatory note:

Małymi literami a, b, c, d znaczone wartości liczbowe w kolumnach nie różniące się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$ / Small letters a, b, c, and d were used to denote numerical values, which do not differ significantly statistically at $\alpha = 0.05$.

Badane roztwory maltodekstryn opisano, wykreślając krzywe zmian lepkości badanych hydrolizatów od temp. w zakresie 20 - 60 °C przy stałej prędkości ścinania równej 10 s⁻¹. Dane doświadczalne opisano modelem Arrheniusa. Roztwory wszystkich hydrolizatów skrobi z wyjątkiem preparatów sporządzonych na bazie handlowej maltodekstryny niskoscukrzonyj charakteryzowały się wysokim współczynnikiem determinacji ($R^2 > 0,99$) (tab. 2). Świadczy to o wysokim stopniu dopasowania eksperymentalnych danych do wybranego modelu. Na podstawie analizy wykreślonych krzywych wynika że modyfikacja maltodekstryn mikrofalami nie wpłynęła na zmianę lepkości tych roztworów (rys. 6, 8 i 9).

Tabela 2

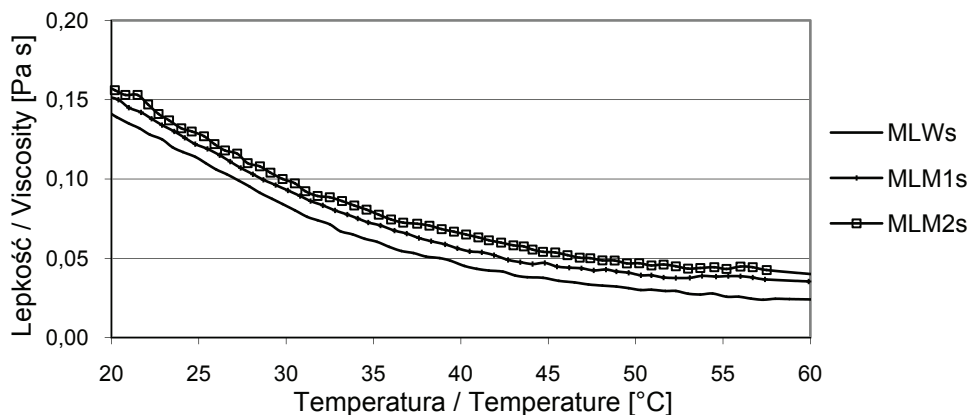
Wartości liczbowe parametrów modelu Arrheniusa badanych roztworów maltodekstryn, wyjściowych oraz poddanych działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W.

Parameter values of Arrhenius model of native maltodextrin solutions irradiated using 400 W or 800 W microwaves.

Samples	Wartości parametrów modelu Arrheniusa Parameter values of Arrhenius model		
	η_{∞} [Pa·s]	E_a [kJ/mol]	R^2
MLWs	$1,55 \cdot 10^{-8}$ a	39,02	0,9958
MLM1s	$2,26 \cdot 10^{-7}$ a	32,55	0,9913
MLM2s	$5,43 \cdot 10^{-5}$	22,24	0,9910
MHWn	$6,59 \cdot 10^{-5}$ b	14,29	0,8986
MHM1n	$6,11 \cdot 10^{-6}$ b	16,82 a	0,9409
MHM2n	$2,51 \cdot 10^{-5}$ b	17,13 a	0,9271
MHWs	$6,02 \cdot 10^{-6}$ c	24,85 b	0,9968
MHM1s	$1,13 \cdot 10^{-5}$	23,25 b	0,9917
MHM2s	$7,38 \cdot 10^{-6}$ c	30,04	0,9948
MHWw	$1,05 \cdot 10^{-7}$ d	32,84	0,9929
MHM1w	$6,49 \cdot 10^{-8}$ d	34,12 c	0,9978
MHM2w	$4,97 \cdot 10^{-8}$ d	34,89 c	0,9972

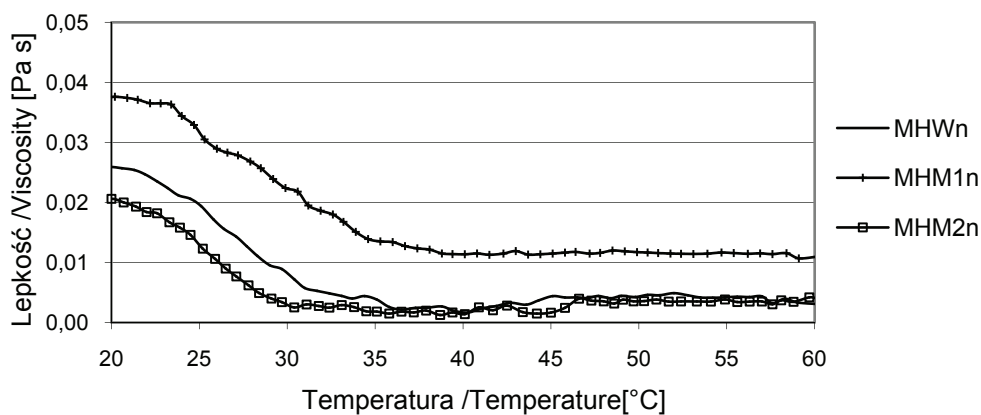
Objaśnienie jak pod tab. 2 / Explanatory note as in Tab. 2.

W zakresie temperatury od 35 do 60 °C wszystkie roztwory badanych hydrolizatów skrobiowych wykazały bardzo niewielkie zmiany lepkości (rys. 6 - 9). Wartości liczbowe parametrów opisujące krzywe zmian lepkości od temperatury zamieszczono w tab. 2. Sens stałej materiałowej (η_{∞}) wciąż jest przedmiotem dyskusji, natomiast energia aktywacji płynięcia (E_a) określa podatność badanej próbki na zmianę temperatury. Próbki bardziej wrażliwe charakteryzuje wyższa wartość liczbowego tego parametru.



Rys. 6. Zależność lepkości 50 % roztworów laboratoryjnej maltodekstryny, średnio scukrzonej wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W, od temperatury.

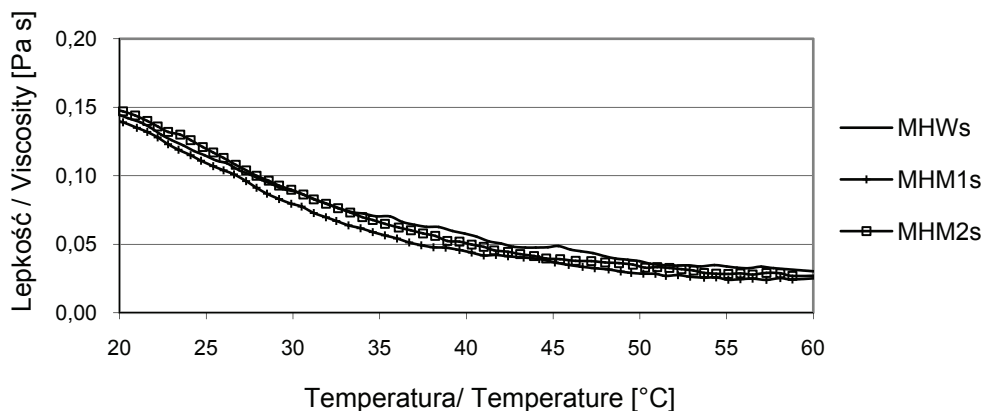
Fig. 6. Viscosity curves of 50% (w/w) solutions of native, medium saccharified laboratory maltodextrin irradiated using 400 or 800 W microwaves.



Rys. 7. Zależność lepkości 25 % roztworów handlowej maltodekstryny niskoscukrzonej wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W od temperatury.

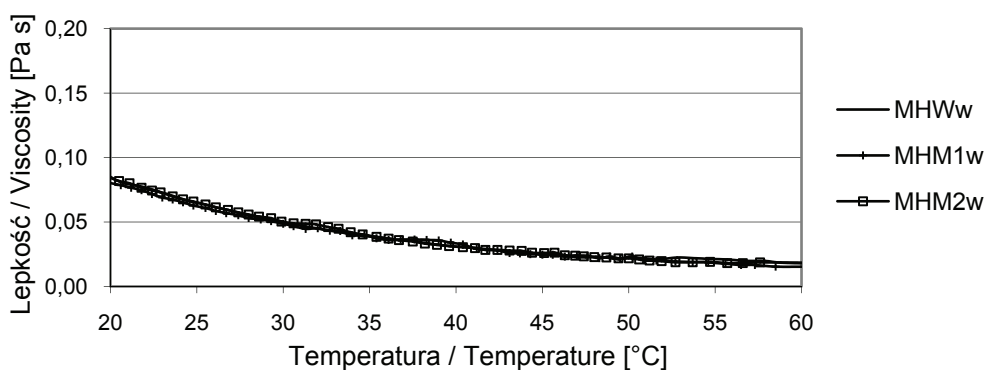
Fig. 7. Viscosity curves of 25% (w/w) solutions of native, commercial, low saccharified maltodextrin irradiated using 400 W or 800 W microwaves.

Najwyższą wartość energii aktywacji płynięcia wśród hydrolizatów skrobi niepoddanych działaniu pola mikrofalowego wykazała maltodekstryna laboratoryjna oraz handlowa maltodekstryna wysoko scukrzona, a najniższą handlowa maltodekstryna nisko scukrzona (tab. 2). Dowodzi to słuszności teorii, że lepkość jest liniowo zależna od stopnia depolimeryzacji i maleje wraz ze wzrostem wartości równoważnika glukozowego [2].



Rys. 8. Zależność lepkości 50 % roztworów handlowej maltodekstryny, średnio scukrzoney wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W, od temperatury.

Fig. 8. Viscosity curves of 50 % (w/w) solutions of native, commercial, medium saccharified maltodextrin irradiated using 440 W or 800 W microwaves.



Rys. 9. Zależność lepkości 50 % roztworów handlowej maltodekstryny, wysoko scukrzoney wyjściowej i poddanej działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W lub 800 W, od temperatury.

Fig. 9. Viscosity curves of 50 % (w/w) solutions of native, commercial, high saccharified maltodextrin irradiated using 400 W or 800 W microwaves.

Modyfikacja laboratoryjnej maltodekstryny średnio scukrzoney polem mikrofalowym wpłynęła na obniżenie wielkości parametru E_a tych roztworów (tab. 2). Handlowy hydrolizat o średnim stopniu scukrzoney poddany działaniu pola mikrofalowego o mocy 440 W nie wykazał istotnych różnic wielkości energii aktywacji w stosunku do wyjściowego hydrolizatu. Natomiast modyfikacja tej maltodekstryny w polu mikrofalowym o mocy 800 W spowodowała podwyższenie wartości liczbowej tego parametru w stosunku do roztworu sporządzonego z handlowej maltodekstryny średnio scukrzoney niemikrofalowanej (tab. 2). Energia aktywacji handlowych maltodekstryn o najniż-

szym i najwyższym stopniu scukrzenia uległa istotnemu podwyższeniu po poddaniu ich modyfikacji w polu mikrofalowym (tab. 2).

Pomiędzy energią aktywacji płynięcia a wartością liczbową stałej materiałowej istnieje ujemna korelacja i im energia aktywacji płynięcia uzyskuje wyższe wartości, tym wartość stałej materiałowej maleje.

Wnioski

1. Roztwory wyjściowych maltodekstryn ziemniaczanych o różnym stopniu depolimeryzacji wykazały charakter cieczy newtonowskich, a ich modyfikacja fizyczna przy wykorzystaniu pola mikrofalowego nie spowodowała zmiany charakteru płynięcia.
2. Tylko w przypadku maltodekstryny handlowej o średnim stopniu depolimeryzacji zaobserwowano wpływ ogrzewania mikrofalowego na zmianę położenia krzywych płynięcia. Wielkości naprężeń ścinających malały wraz ze wzrostem użytej mocy pola mikrofalowego. W przypadku pozostałych maltodekstryn nie stwierdzono wpływu ogrzewania mikrofalowego na zmianę wielkości naprężeń ścinających badanych roztworów.
3. Charakterystyka temperaturowa lepkości roztworów maltodekstryn średnio i wysoko scukrzonych nie zmieniła się po ogrzewaniu mikrofalowym.

Literatura

- [1] Bryjak J.: Enzymatyczna hydroliza skrobi do syropów maltodekstrynowych i skrobiowych. Cz. I. Enzymy. Biotech., 1999, **1** (44), 181-200.
- [2] Dokic P., Jakovljevic J., Dokic-Baucal Lj.: Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions. Coll. and Surf. A: Phys. and Eng. Asp., 1998, **141**, 435-440.
- [3] Ferguson J., Kembłowski Z.: Reologia stosowana płynów. Wyd. Marcus sc, Łódź, XXXII Sesja Nauk. KTiCHŻ PAN „Technologia żywności a oczekiwania konsumentów”, SGGW, Warszawa 1995.
- [4] Fortuna T., Sobolewska J.: Maltodekstryny i ich wykorzystanie w przemyśle spożywczym. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość., 2000, **2** (23), 100-109.
- [5] Fortuna T., Sobolewska-Zielińska J., Juszcak L.: Wybrane właściwości reologiczne roztworów maltodekstryn ziemniaczanych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2002, **489**, 413-422.
- [6] Fortuna T., Przetaczek I., Dyrek K., Bidzińska E., Łabanowska M.: Some physicochemical properties of commercial modified starches irradiated with microwaves. EJPAU, 2008, **11** (4), 20.
- [7] Gibiński M., Korus J.: Maltodekstryny jako skrobiowe zamienniki tłuszczu. Biul. Inst. Hod. i Aklim. Roś., 2006, **239**, 303-318.
- [8] Gralik J.: Wpływ czynników fizycznych na wybrane właściwości fizykochemiczne, biochemiczne, technologiczne i odporność ziarna na owadzie szkodniki magazynowe. Wyd. AR w Poznaniu, 2003.
- [9] Jarosławski L., Zielonka R., Słomińska L.: Zmiany lepkości roztworów maltodekstryn w zależności od stopnia ich scukrzenia. Mat. Konf. Nauk. pt. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego

- przetwarzania. Perspektywy ekologicznej produkcji ziemniaka w Polsce”, Polanica Zdrój, 2002, ss. 137-138.
- [10] Krzyżaniak W., Olesienkiewicz A., Białas W., Słomińska L., Jankowski T., Grajek W.: Charakterystyka chemiczna maltodekstryn o małym równoważniku glukozowym otrzymanych przez hydrolizę skrobi ziemniaczanej za pomocą alfa-amylaz. *Technol. Alim.*, 2003, **2**, 5-15.
- [11] Kuntz L.A.: Making the most of maltodextrins. *Food Prod. Des.*, 1997, **8**, 89-104.
- [12] Lewandowicz G., Prochaska K., Grajek W., Krzyżaniak W., Majchrzak A., Ciapa T.: Właściwości użytkowe maltodekstryn w układach emulsyjnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 2005, **42**, 35-47.
- [13] Maarel van M.J.E.C., Veen van der B., Uitdehaag J.C.M., Leemhuis H., Dijkhuizen L.: Properties and application of starch-converting enzymes of the α -amylase family. *J. Biotechnol.*, 2002, **94**, 137-155.
- [14] Mitrus M.: Zastosowanie mikrofal w technologii żywności. *Post. Nauk Rol.*, 2000, **4**, 99-114.
- [15] Parosa R.: Mikrofałe w przemyśle spożywczym. *Przem. Spoż.*, 2007, **1**, 15-19.
- [16] PN-78/A-74701. Hydrolizaty skrobiowe (krochmalowe). *Metodyka badań*
- [17] Rao M.A.: Rheology of fluid and semisolid foods-principles and applications. G.V.Barbosa-Canovas, Ed., Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland, USA, 1999.
- [18] Roller S.: Starch-Derived Fat Mimetics: Maltodextrin: in *Handbook of Fat Replacers*, ed by Roller S., Jones S., CRC Boca Raton, New York, London, Tokyo, 1996.
- [19] Rzepka E., Stecka K.M., Milewski J., Bachoda E.: Zmiany lepkości hydrolizatów skrobiowych w procesie zacierania. *Prace Instytutu i Laboratoriów Badawczych Przemysłu Spożywczego*, 2000, **55**, 5-21.
- [20] Słomińska L.: Nowości w produkcji enzymów stosowanych w hydrolizie skrobi. *Przem. Spoż.*, 1993, **12**, 341-342.
- [21] Słomińska L.: Enzymatyczne metody transformacji skrobi. *Przem. Spoż.*, 1995, **12**, 472-475, 480.
- [22] Słomińska L.: Węglowodanowe zamienniki tłuszczu. *Przem. Spoż.*, 1999, **53**, 7, 12-15.
- [23] Steffe J.F.: *Rheological methods in food process engineering*. Freeman Press, East Lansing, MI, USA, 1996.
- [24] Tur W., Szczepanik E., Krzyżaniak W., Białas W., Grajek W.: Charakterystyka maltodekstryn otrzymanych ze skrobi ziemniaczanej przy użyciu preparatów amylolytycznych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 2004, **4 (41)**, 79-94.
- [25] Walkowski A., Lewandowicz G.: Właściwości użytkowe krajowych, spożywczych skrobi modyfikowanych. *Przem. Spoż.*, 1993, **5**, 127-129.

EFFECT OF MICROWAVE IRRADIATION ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF STARCH HYDROLYSATE SOLUTIONS SHOWING DIFFERENT DEGREE OF DEPOLYMERIZATION

S u m m a r y

The objective of this study was to assess the impact of microwave irradiation on rheological properties of potato maltodextrin solutions showing different saccharification degree.

The investigation material constituted commercial potato hydrolysates with three degrees of depolymerization and a laboratory maltodextrin of a middle degree of saccharification. The maltodextrins studied were used to make solutions, which were analyzed using a rotational rheometer. Flow curves at 50 °C were plotted as were curves determining the relation between viscosity and temperature in the range from

20 to 60 °C. In order to describe flow curves, Herschel-Bulkley and Newton models were applied, and Arrhenius model was used to determine the parameters of viscosity-temperature curves.

The analyses accomplished proved that the physical modification of maltodextrins contributed to a change in the values of rheological parameters of solutions made thereof. The impact of a 440 W microwave irradiation on the potato hydrolysates with a medium and high degree of depolymerization caused the decrease in numerical values of dynamic viscosity coefficient. The increased microwave irradiation power to 800 W caused this parameter to increase, too, except for a commercial, medium saccharified maltodextrin. On the other hand, the temperature characteristic of viscosity of preparations made of medium and highly saccharified starch hydrolysates did not change after their microwave irradiation.

Key words: maltodextrins, rheological properties, physical modification of maltodextrins 