

KAROLINA PYCIA**LESŁAW JUSZCZAK**

Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności

Wydział Technologii Żywności

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Charakterystyka reologiczna modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi

Rheological characterization of model emulsions o/w stabilized with potato maltodextrins

Emulsje typu o/w są zdyspergowanymi układami złożonymi z fazy olejowej rozproszonej w fazie wodnej. Układy dyspersyjne mają tendencję do ulegania termodynamicznej destabilizacji. Aby przeciwdziałać temu niekorzystnemu zjawisku stosuje się w tego typu układach jako fazę rozproszoną roztwory hydrokolidów takich jak maltodekstryny. Substancje te nie tylko wpływają na stabilność układów, ale także na ich właściwości reologiczne. Celem pracy była analiza wybranych właściwości reologicznych modelowych emulsji typu o/w, w których fazę rozproszoną stanowiły roztwory maltodekstryn ziemniaczanych o trzech stopniach scukrzenia oraz w różnych stężeniach. Emulsje z dodatkiem roztworu maltodekstryny zostały przygotowane na drodze homogenizacji. Analizy reologiczne obejmowały pomiar właściwości lepkościowych emulsji oraz wyznaczenie krzywych lepkości przy użyciu reometru oscylacyjnego. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ stopnia scukrzenia maltodekstryn oraz ich stężenia na lepkość pozorną i właściwości lepkościowe modelowych emulsji typu o/w na bazie maltodekstryn ziemniaczanych. Lepkość pozorną badanych emulsji malała w miarę wzrostu stopnia scukrzenia maltodekstryn zastosowanych do stabilizacji układu. Przy czym w obszarze tego samego stopnia scukrzenia maltodekstryn wartość lepkości pozornej układu wzrastała w miarę zwiększania stężenia hydrolizatu w roztworze tworzącym fazę wodną układu. Analizowane układy emulsyjne w zależności od stopnia scukrzenia maltodekstryny zastosowanej do ich stabilizacji, zachowywały się jak ciała sprężystolepkie z dominacją cech sprężystych w przypadku zastosowania maltodekstryny o DE 6, lub jak układy lepkościowe z dominującym udziałem cech lepkich w przypadku gdy zastosowano maltodekstryny o stopniu scukrzenia 11 lub 16.

Słowa kluczowe: emulsja typu o/w, maltodekstryna, właściwości reologiczne

O/W emulsions are dispersed systems composed of an oil phase in an aqueous phase. Dispersions of this type are thermodynamically instable. Therefore, in order to counteract this instability, solutions

of hydrocolloids such as maltodextrins are used as a dispersed phase. These substances affect not only the stability of systems, but also their rheological properties. The aim of this study was to analyze selected rheological properties of model emulsions o/w based on solutions of potato maltodextrins with three degrees of saccharification and at different concentrations. The emulsions with maltodextrin solutions were prepared using homogenization. Rheological analysis included measurement of viscoelastic properties of the emulsions and determination of viscosity curves by use of an oscillatory rheometer. A significant effect of the degree of maltodextrin saccharification and maltodextrin concentration on the apparent viscosity and viscoelastic properties of model o/w emulsions based on potato maltodextrins was found. Apparent viscosity of the emulsions was decreasing with increasing degree of maltodextrins saccharification. However, within the same degree of maltodextrin saccharification, the value of apparent viscosity increased with increasing concentration of the hydrolyzate in the aqueous phase of system. The analyzed emulsions behaved like viscoelastic body with dominance of the elastic or viscous characteristics for maltodextrin with DE 6, and maltodextrin with DE 11 or 16, respectively.

Key words: emulsion of o/w type, maltodextrin, rheological properties

WPROWADZENIE

Maltodekstryny są produktami enzymatycznej hydrolizy skrobi. Uniwersalnym parametrem charakteryzującym maltodekstryny jest równoważnik glukozowy DE (dextrose equivalent), który odpowiada udziałowi cukrów redukujących w przeliczeniu na czystą glukozę, w suchej masie produktu. Przyjęto, że mianem maltodekstryny określa się jedynie te hydrolizaty, których wartość DE nie przekracza 20 (Wang i Wang, 2000; Tur i in., 2004). Maltodekstryny ze względu na interesujące właściwości funkcjonalne oraz reologiczne chętnie stosowane są przez producentów jako składniki żywności. Wykorzystuje się je jako czynniki stabilizujące, wypełniające, regulujące wilgotność, polepszające smakowość (Wang i Wang, 2000; Przetaczek-Rożnowska i Fortuna, 2010). Ponadto hydrolizaty te mają szczególne znaczenie jako komponenty w układach emulsyjnych, gdyż mogą być stosowane jako zamienniki tłuszczu (Lewandowicz i in., 2005). Emulsje typu o/w są zdyspergowanymi układami złożonymi z fazy olejowej rozproszonej w fazie wodnej. Tego typu układy dyspersyjne mają tendencję do ulegania termodynamicznej destabilizacji na skutek zachodzenia takich procesów jak flokulacja oraz koalescencja. Z tego powodu stosuje się polisacharydy jako czynniki regulujące problem stabilności emulsji głównie poprzez oddziaływanie na właściwości reologiczne tego typu układów (Udomrati i in., 2013). Maltodekstryny tworzące fazę ciągłą w emulsji spożywczej nie tylko wpływają na stabilność takich układów, ale także na ich właściwości reologiczne (Dokic-Baucal i in., 2004). Dodatkowo maltodekstryny mogą tworzyć słabe żele na skutek interakcji pomiędzy skręconymi w postaci helis, fragmentami łańcuchów amylozy i/lub łańcuchami amylopektyny. Tego typu tendencja jest szczególnie silna w przypadku hydrolizatów o niskim stopniu scukrzenia, w których występują długie fragmenty łańcuchów skrobi (Dokic-Baucal i in., 1998; 2004). Dlatego zdolność do tworzenia żeli wykorzystywana jest w badaniach nad stabilnością reologiczną emulsji z ich udziałem. Pomimo faktu, że właściwości reologiczne emulsji spożywczych są uzależnione od wielu czynników takich jak sposób ich przygotowania oraz interakcje pomiędzy składnikami (Dokic-Baucal i in., 2004), w modelowych układach emulsyjnych decydujący

wpływ mają właściwości maltodekstryn jako czynnika zwiększającego lepkość fazy ciągłej układu. Maltodekstryny ze względu na fakt, że nie są substancjami powierzchniowo-czynnymi pełnią rolę stabilizatora emulsji głównie poprzez zwiększanie lepkości fazy wodnej (Klinkesorn i in., 2004). Czynnikiem mającym decydujący wpływ na właściwości emulsji są stopień scukrzenia maltodekstryny oraz jej stężenie w fazie rozpraszającej. Według Udomrati i in. (2013) zwiększanie stężenia hydrokolidów w fazie wodnej emulsji wpływa korzystnie na hamowanie flokulacji fazy olejowej głównie poprzez zmniejszenie interakcji pomiędzy zdyspergowanymi kuleczkami oleju. Jak podają Klinkesorn i in. (2004) właściwości reologiczne emulsji na bazie maltodekstryn są funkcją ich pochodzenia botanicznego, stężenia w układzie oraz długości łańcuchów polisacharydowych pośrednio wyrażanych poprzez wartość stopnia scukrzenia DE.

Maltodekstryny jako produkty enzymatycznej degradacji skrobi są często stosowane w przemyśle spożywczym głównie ze względu na właściwości stabilizujące, wypełniające oraz zagęszczające. Jednak zastosowanie tego typu hydrolizatów jest determinowane ich właściwościami fizykochemicznymi takimi jak stopień scukrzenia. Stąd, celem pracy była ocena wpływu stopnia scukrzenia oraz stężenia roztworów laboratoryjnych maltodekstryn ziemniaczanych na wybrane właściwości reologiczne modelowych emulsji typu o/w. Właściwości reologiczne badanych układów dyspersyjnych opisano za pomocą krzywych lepkości oraz parametrów modelu potęgowego zastosowanego do opisu wyznaczonych zależności. Na podstawie zależności lepkości pozornej od zastosowanej szybkości ścinania (krzywe lepkości) można stwierdzić czy lepkość zależy od szybkości ścinania lub czy jest stała, co pozwala na określenie charakteru cieczy. Porównanie krzywych lepkości emulsji stabilizowanych różnymi roztworami analizowanej maltodekstryny posłużyło ocenie wpływu stopnia scukrzenia maltodekstryny oraz stężenia jej roztworu na właściwości reologiczne układu dyspersyjnego.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiałem badawczym były modelowe emulsje typu o/w składające się z fazy olejowej oraz fazy wodnej. Fazę rozproszoną emulsji tworzył olej słonecznikowy a fazę rozpraszającą stanowiły wodne roztwory maltodekstryn ziemniaczanych w trzech różnych stopniach scukrzenia odpowiednio o DE 6, 11 lub 16 oraz o różnych stężeniach w zakresie od 30–70%. W przypadku maltodekstryn o stopniu scukrzenia DE 6 oraz DE 11 i 16 stosowano roztwory o stężeniach odpowiednio w zakresie 30–50% oraz 50–70%. Maltodekstryny zastosowane jako stabilizator modelowych emulsji zostały otrzymane metodą laboratoryjną polegającą na enzymatycznej hydrolizie naturalnej skrobi ziemniaczanej Superior Standard (WPPZ, Luboń) pod wpływem enzymu α -amylazy bakteryjnej (BAN 480L, Novozymes, Dania). Przygotowanie modelowych emulsji typu o/w polegało na zmieszaniu wodnego roztworu maltodekstryn ziemniaczanych o różnych stężeniach w zależności od stopnia scukrzenia. Stosunek ilościowy fazy olejowej do fazy wodnej w badanych emulsjach wynosił 1:4. Do homogenizacji układu zastosowano homogenizator Ultra-Turrax T 25 IKA-WERKE Labortechnik, Niemcy. Emulsje homogenizowano w czasie 2 min, przy obrotach głowicy homogenizatora rzędu 9500 rpm.

Następnie tak przygotowaną, jednorodną emulsję наносono na element pomiarowy reometru. Badania właściwości reologicznych wykonano przy użyciu reometru oscylacyjnego Mars II (Thermo-Haake, Niemcy). Spektra mechaniczne modelowych emulsji wyznaczono w temperaturze $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ w układzie pomiarowym stożek-płytką (średnica stożka 35 mm, kąt 2° , rozmiar szczeliny 0,105 mm). Pomiaru w zakresie liniowej lepkości wyznaczono przy stałej amplitudzie odkształcenia wynoszącej 0,01 oraz prędkości kątowej w zakresie od 1 do 100 rad/s. Krzywe lepkości wyznaczono przy użyciu reometru oscylacyjnego Mars II w układzie pomiarowym stożek-płytką o parametrach podanych powyżej. Próbkę emulsji po umieszczeniu pomiędzy elementami układu pomiarowego poddano działaniu zmiennej szybkości ścinania w zakresie $1\text{--}150\text{ s}^{-1}$ (Pycia i in., 2012). Do opisu otrzymanych krzywych lepkości zastosowano model potęgowej:

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

gdzie: η — lepkość pozorna [Pa];

K — współczynnik konsystencji [$\text{Pa}\cdot\text{sn}$];

$\dot{\gamma}$ — szybkość ścinania [s^{-1}], n — wskaźnik płynięcia.

Obliczenia dla parametrów wykonano w trzech powtórzeniach.

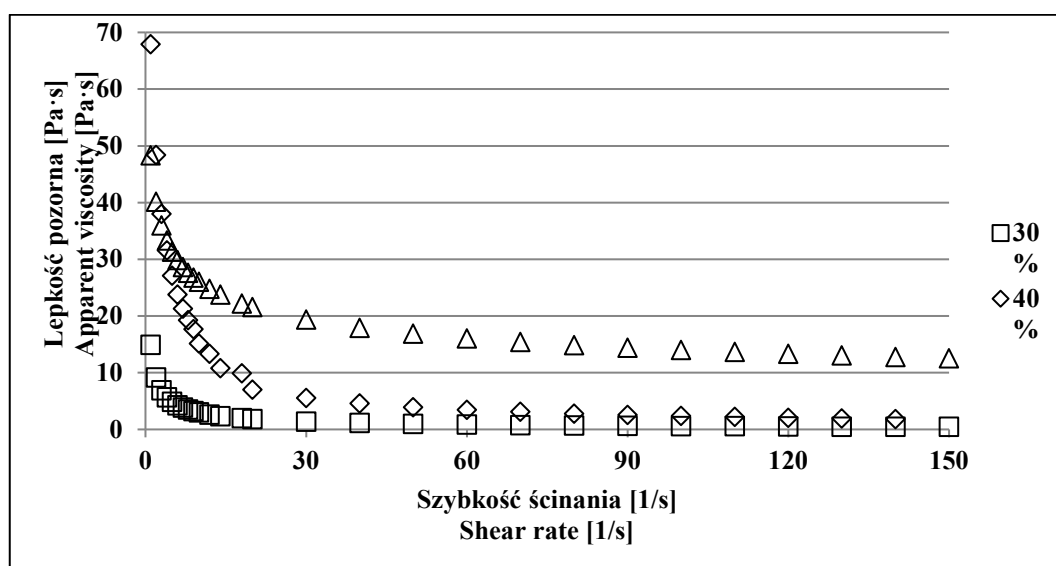
Estymację parametrów modelu potęgowej opisującego krzywe lepkości wyznaczono oddzielnie dla każdego powtórzenia i każdej kombinacji stężenie — stopień scukrzenia (DE). Obliczenia wykonano z wykorzystaniem programu RheoWin v.3.5 (Thermo-Haake, Niemcy).

W celu określenia istotnych różnic pomiędzy wartościami parametrów modelu potęgowej zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji oraz test statystyczny Duncana przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Opisana analiza statystyczna została przeprowadzona z użyciem programu Statistica 9.0 (USA).

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowanie maltodekstryń ziemniaczanych o różnym stopniu scukrzenia wpłynęło istotnie na właściwości reologiczne modelowych emulsji typu o/w. Na rysunkach 1, 2 oraz 3 przedstawiono krzywe lepkości modelowych układów dyspersyjnych na bazie roztworów laboratoryjnej maltodekstryny ziemniaczanej. Krzywe lepkości badanych emulsji będące zależnością lepkości pozornej od szybkości ścinania wskazują, że wszystkie badane emulsje wykazały cechy cieczy nienewtonowskich, rozrzedzanych ścinaniem (rys. 1, 2, 3). Spadek lepkości pozornej układów emulsyjnych w miarę wzrostu zastosowanej szybkości ścinania potwierdza rozrzedzany ścinaniem charakter przepływu.

W przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryny ziemniaczanej o stopniu scukrzenia DE 6 zaobserwowano wzrost lepkości pozornej układu zdyspergowanego w miarę wzrostu stężenia hydrokoloidu w wodnym roztworze tworzącym fazę ciągłą układu (rys. 1). Tego typu zależność wynika z lepkości roztworu maltodekstryny, która w obrębie tego samego stopnia scukrzenia wzrasta w miarę wzrostu stężenia w roztworze (Wang i Wang, 2000). Przynajmniej jedna obserwacja znajduje potwierdzenie w wartościach współczynnika konsystencji emulsji.



Rys. 1. Krzywe lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanej o DE 6 w różnych stężeniach

Fig. 1. The viscosity curves of the model emulsion o/w stabilized with potato maltodextrin of DE 6 at various concentrations

W tabeli 1 przedstawiono parametry modelu potęgowego opisującego krzywe lepkości modelowych układów emulsyjnych z dodatkiem maltodekstryn ziemniaczanych o różnym stopniu scukrzenia oraz w różnych stężeniach. Wysokie wartości współczynnika dopasowania R^2 wskazują, że zastosowany model dobrze opisuje przepływ badanych emulsji w zastosowanym zakresie szybkości ścinania. Wartość wskaźnika płynięcia (n) (tab. 1) wszystkich analizowanych układów emulsyjnych były mniejsze od jedności co wskazuje na przepływ nienewtonowski rozrzedzany ścinaniem. Wartość omawianego parametru wzrastała w miarę wzrostu stopnia scukrzenia maltodekstryn stosowanych do stabilizacji układu. Wartość współczynnika konsystencji (K) będącego miarą początkowej lepkości układu w przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryn o DE 6 wzrastała w miarę wzrostu stężenia hydrokoloidu w układzie w zakresie od 14,92 do 581,16 $P \cdot s^n$, przy czym najwyższą wartość wykazała przy stężeniu maltodekstryny na poziomie 50%. Niemniej jednak pomiędzy wartości współczynników konsystencji emulsji stabilizowanych roztworami maltodekstryn o DE 6 i stężeniu 30%, DE 11 i stężeniu 60% oraz DE 16 oraz stężeniu 70% nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic (tab. 1). Wynika z tego, że maltodekstryny o niższym stopniu scukrzenia przy niskim stężeniu wykazują wysoką lepkość porównywalną z lepkością maltodekstryn o wyższym stopniu scukrzenia oraz dwukrotnie wyższym stężeniu w emulsji.

Średnia wartość parametrów modelu potęgowego zastosowanego do opisu krzywych lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanych o różnym scukrzeniu DE oraz stężeniu

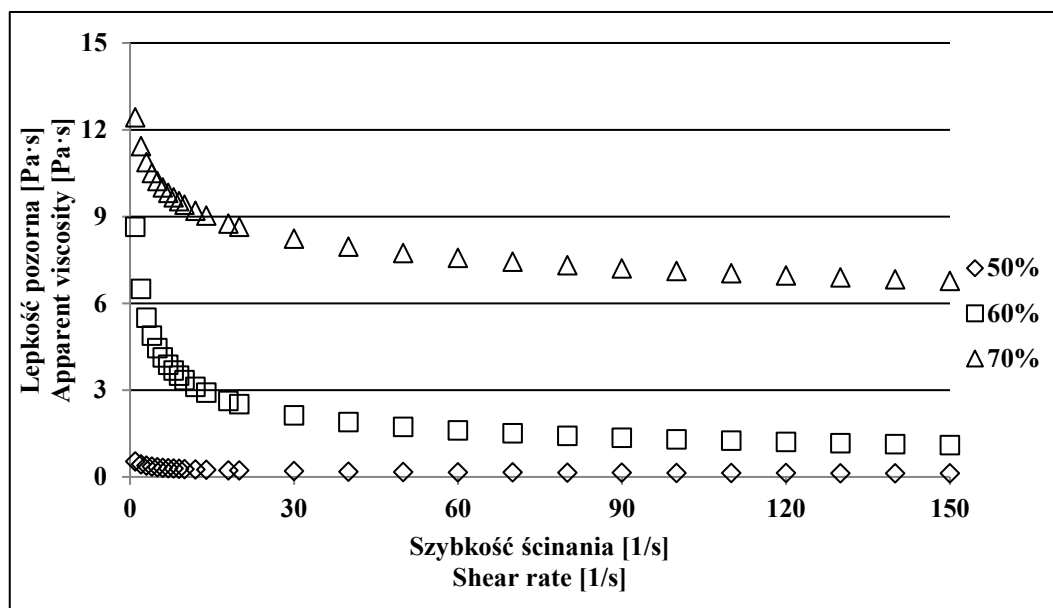
The average value of the power model parameters used to describe a viscosity curve model o/w emulsion stabilized with potato maltodextrin solution at different saccharification DE and concentration

Stężenie roztworu maltodekstryny w emulsji Maltodextrin solution concentration in the emulsion	K [Pa·s ⁿ]	n	R ²
DE 6			
30%	14,92±1,06 ^{bc}	0,30±0,01 ^c	0,96
40%	97,52±2,34 ^d	0,21±0,01 ^b	0,99
50%	581,16±12,69 ^c	0,17±0,02 ^a	0,94
DE 11			
50%	0,61±0,04 ^a	0,77±0,03 ^c	0,97
60%	15,24±0,80 ^{bc}	0,53±0,04 ^d	0,97
70%	19,11±0,62 ^c	0,87±0,02 ^f	0,95
DE 16			
50%	0,44±0,06 ^a	0,75±0,03 ^h	0,96
60%	10,26±0,18 ^b	0,55±0,01 ^e	0,95
70%	12,50±0,57 ^{bc}	0,88±0,02 ⁱ	0,96

± Odchylenie standardowe — Standard deviation

Wartości opatrzone tymi samymi w literami w kolumnach nie różniły się istotnie w odniesieniu do każdego ze stężeń oddzielnie przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$

Values marked with the same letters were not significantly different from each other within columns but for each of the concentrations separately, at a significance level $\alpha = 0.05$

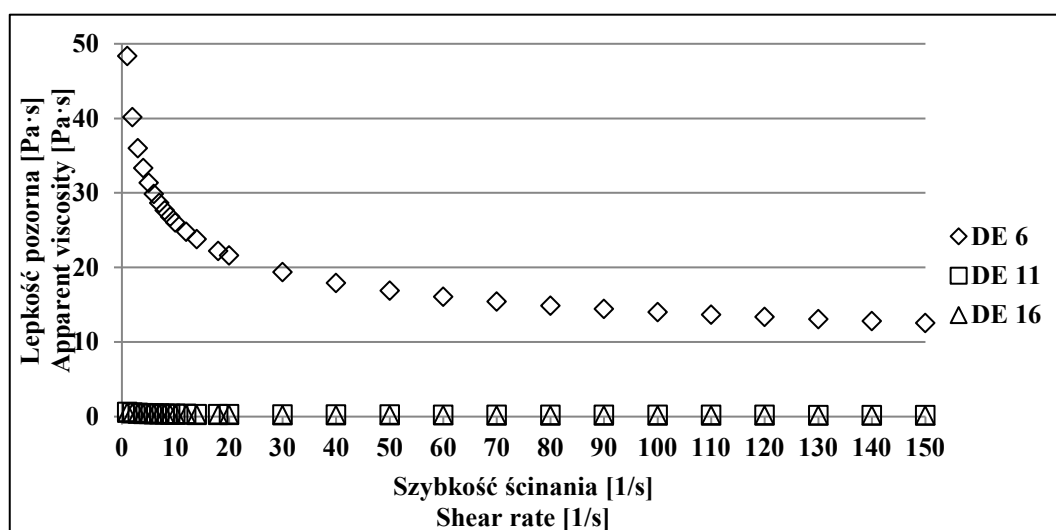


Rys. 2. Krzywe lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanej o DE 16 w różnych stężeniach

Fig. 2. The viscosity curves of the model emulsion stabilized with potato maltodextrin with a DE of 16 at various concentrations

W przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryn ziemniaczanych o stopniu scukrzenia DE 16 w zakresie 50–70% (rys. 2) stwierdzono wzrost lepkości układu dyspersyjnego w miarę wzrostu stężenia hydrokoloidu. Przy czym wyraźny wzrost lepkości pozornej przy wysokich wartościach ścinania nastąpił dopiero przy stężeniu maltodekstryny rzędu 70%. Prawdopodobnie wynika to z dużego nagromadzenia krótkołańcuchowych jednostek glukozowych utrudniających przepływ przy tym stężeniu. Jednak na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej nie stwierdzono różnic pomiędzy wartościami współczynników konsystencji emulsji stabilizowanych roztworami maltodekstryn o stężeniach 60–70% i stopniu scukrzenia DE 11 oraz 16.

Na rysunku 3 przedstawiono krzywe lepkości modelowych emulsji, w których fazę ciągłą stanowiły roztwory laboratoryjnych maltodekstryn ziemniaczanych o równoważniku glukozowych DE 6, 11 oraz 16 przy stężeniu 50%. Na podstawie przebiegu krzywych płynięcia zaobserwowano spadek lepkości pozornej układu w miarę wzrostu stopnia scukrzenia maltodekstryny zastosowanej jako czynnik zagęszczający fazę ciągłą emulsji. Jest to związane z lepkością maltodekstryn, która jak podają Dokic i inni (1998) maleje w miarę wzrostu stopnia scukrzenia hydrolizatu.



Rys. 3. Krzywe lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanej o różnych wartościach stopnia scukrzenia przy stężeniu 50%

Fig. 3. The viscosity curves of the model emulsion o/w stabilized with potato maltodextrin of varying saccharification at a concentration of 50%

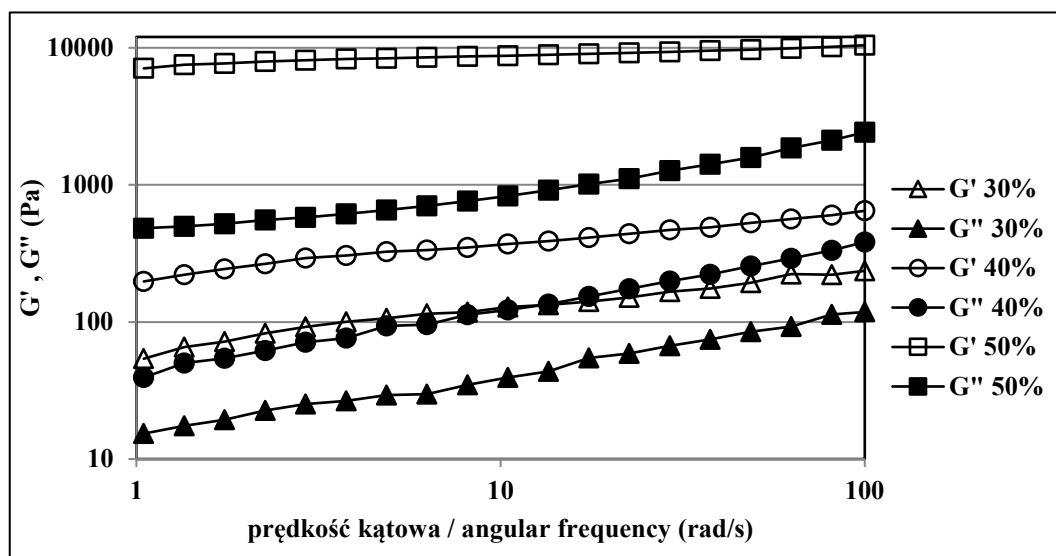
Właściwość, ta związana jest ze spadkiem zawartości procentowej frakcji wysoko-cząsteczkowych w miarę postępu hydrolizy enzymatycznej skrobi. Potwierdza to wartość współczynnika konsystencji modelowych emulsji typu o/w, która zmniejszała się w miarę wzrostu wartości równoważnika glukozowego DE maltodekstryn stosowanych jako stabilizator. Dokonując analizy porównawczej wartości współczynników konsystencji emulsji na bazie roztworów maltodekstryn o stężeniu 50% oraz stopniu scukrzenia

odpowiednio DE 6, 11 lub 16 należy zauważyć, że wartość omawianego parametru malała w miarę wzrostu stopnia scukrzenia hydrolizatu (tab. 1). Przy czym emulsje o omawianym stężeniu maltodekstryny, o stopniu scukrzenia DE 11 oraz 16 miały zbliżone wartości współczynników K, nie różniące się istotnie statystycznie. Wynika stąd, że stopień scukrzenia maltodekstryn wyrażony w postaci równoważnika glukozowego (DE) wpływała istotnie na właściwości reologiczne układów emulsyjnych.

Wpływ stopnia scukrzenia maltodekstryn i ich stężenia na stabilność oraz właściwości reologiczne badał również Udomrati i in. (2013). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzili oni, że emulsje typu o/w na bazie roztworów maltodekstryny tapiokowej charakteryzują się niższymi wartościami współczynnika konsystencji przy niskich wartościach równoważnika glukozowego (DE) hydrolizatów. Analogicznie wartość współczynnika konsystencji wzrasta w miarę wzrostu stężenia roztworu maltodekstryny w układzie. Zdaniem cytowanych autorów tego typu zależność wynika z obecności w hydrolizatach o niskim stopniu scukrzenia długołańcuchowych frakcji cząsteczek glukozy wpływających na powstawanie oporu podczas przepływu. Dokic-Baucal i in. (2004) zauważyli, że właściwości reologiczne emulsji na bazie handlowych preparatów maltodekstryn silnie determinowane są ich lepkością. Lepkość oraz związana z nią wartość naprężenia ścinającego wzrastały w miarę obniżania wartości DE maltodekstryn lub zwiększania ich procentowego udziału w roztworze tworzącym fazę ciągłą. W zakresie zastosowania tych samych stężeń hydrokoloidów w fazie ciągłej układu stwierdzono istotnie statystyczny spadek wartości współczynnika konsystencji w miarę wzrostu wartości równoważnika glukozowego maltodekstryn (tab. 1). Podobnie w przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryn o stężeniu 50 % zaobserwowano spadek wartości współczynnika konsystencji wraz ze wzrostem wartości równoważnika glukozowego opisującego stopień scukrzenia hydrolizatu. Prawdopodobnie jest to związane z właściwościami reologicznymi roztworu maltodekstryn jako czynnika budującego fazę ciągłą układu dyspersyjnego. Maltodekstryny ze względu na brak istotnych właściwości powierzchniowo czynnych pełnią w emulsjach typu o/w jedynie rolę czynnika zwiększającego lepkości fazy ciągłej układu przez co wpływają na jego lepkości oraz właściwości lepkosprężyste. Jak podaje Dokic-Baucal (1998) lepkości roztworów maltodekstryn maleje w miarę wzrostu stopnia scukrzenia DE hydrolizatów. Jest to związane z wyższym procentowym udziałem frakcji wysokocząsteczkowych w przypadku hydrolizatów o niskim stopniu scukrzenia.

Właściwości sprężyste materiału są funkcją występowania struktur zdolnych do częściowego magazynowania dostarczonej energii, która po usunięciu zadanego naprężenia jest odzyskiwana. Jednak w praktyce część dostarczonej energii jest również rozpraszana i po usunięciu naprężenia jest tracona. Stąd rzeczywiste materiały wykazują właściwości lepkosprężyste. Wielkościami charakteryzującymi udział cech sprężystych i lepkich są: moduł zachowawczy (G') reprezentujący tą część energii, która jest magazynowana oraz moduł stratności (G'') odpowiadający tej części energii, która jest zużytkowana na przepływ lepki (Singh i in., 2001). Na rysunku 4 przedstawiono spektra mechaniczne badanych emulsji z dodatkiem maltodekstryn ziemniaczanych jako stabilizatorów. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ

stężenia maltodekstryny na właściwości lepko-sprężyste modelowych emulsji typu o/w na ich bazie. W przypadku emulsji na bazie laboratoryjnej maltodekstryny ziemniaczanej o stopniu scukrzenia DE 6 zaobserwowano wyraźny wpływ stężenia zastosowanego hydrokoloidu na wartość modułów sprężystego oraz lepkiego (rys. 4) przy czym niezależnie od zastosowanego stężenia hydrokoloidu stwierdzono przewagę cech sprężystych nad cechami lepkiem o czym świadczą wartości parametru G' oraz G'' . Niemniej jednak najwyższe wartości modułu sprężystego oraz lepkiego wykazała emulsja z dodatkiem roztworu maltodekstryny o stężeniu 50 %. Jednocześnie wartość modułu sprężystości G' nie zależała od zastosowanej częstotliwości oscylacji.

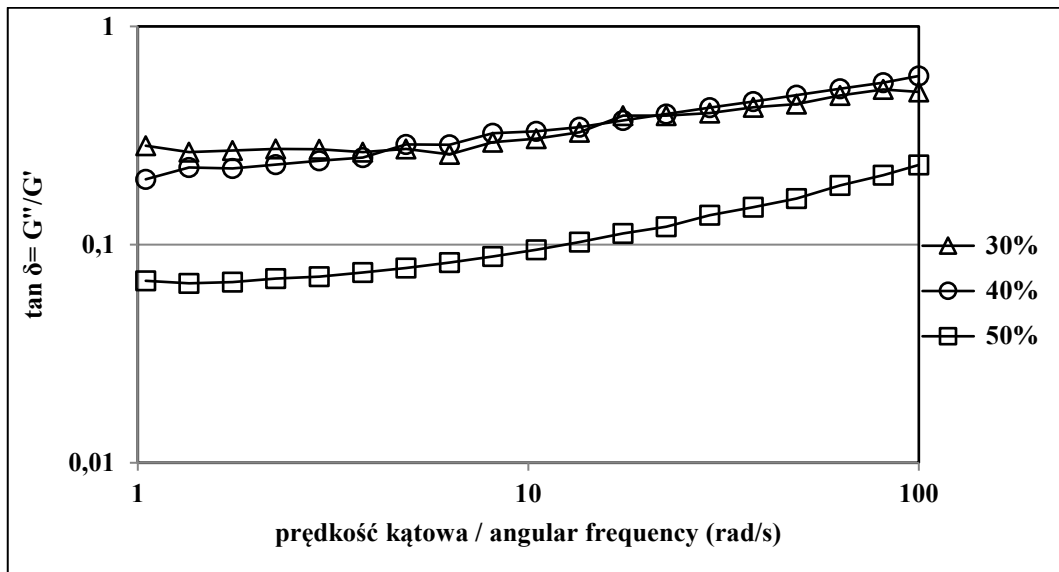


Rys. 4. Mechaniczne spektra modelowych emulsji stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi o DE 6 w różnych stężeniach

Fig. 4. Mechanical spectra of model emulsion stabilized with potato maltodextrins DE 6 at various concentrations

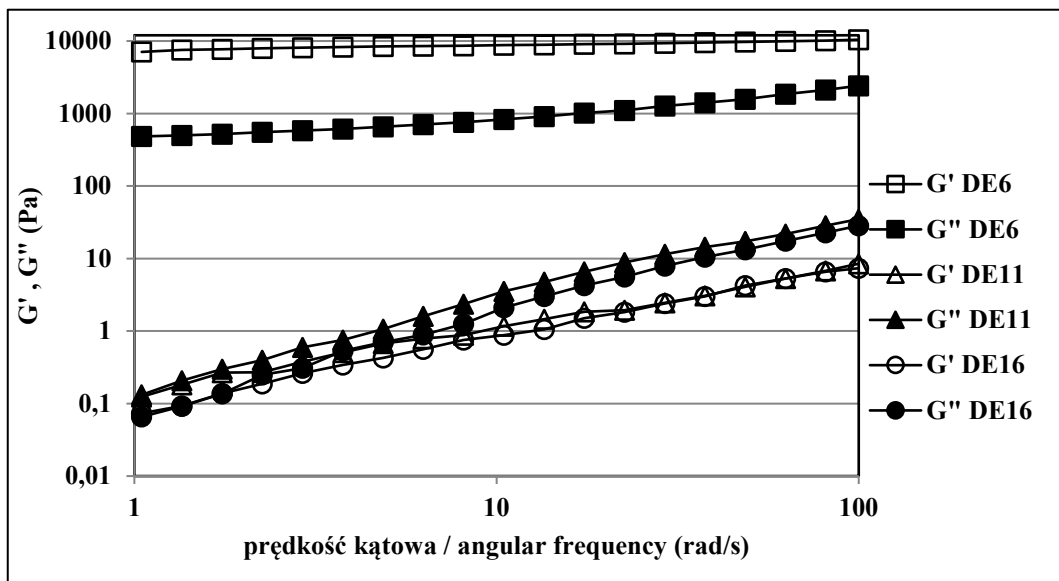
Stosunek energii utraconej do zmagazynowanej w każdym cyklu jest opisany jako $\tan \delta$, który informuje o fizycznym zachowaniu się układu (Singh i in., 2001). Na rysunku 5 przedstawiono wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego emulsji na bazie maltodekstryny o DE 6. Istotna zależność wartości modułów od prędkości kątowej oraz wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego ($\tan \delta = G''/G'$) wskazują, że badana emulsja stabilizowana maltodekstryną o DE 6 oraz stężeniu 50% miała charakter mocnego żelu (rys. 5). Jednocześnie emulsje z dodatkiem roztworu maltodekstryny o stężeniu 30 % oraz 40 % zachowywały się jak słabe żele.

W przypadku emulsji na bazie maltodekstryny ziemniaczanej o różnym stopniu scukrzenia odpowiednio DE 6, 11 oraz 16 przy stężeniu rzędu 50 % stwierdzono wzrost wartości modułów zachowawczego oraz stratności w miarę spadku wartości DE świadczącego o stopniu scukrzenia hydrolizatu (rys. 6).



Rys. 5. Wartości kąta przesunięcia fazowego δ w zależności od prędkości kątowej dla emulsji stabilizowanych maltodekstrynami o DE 6

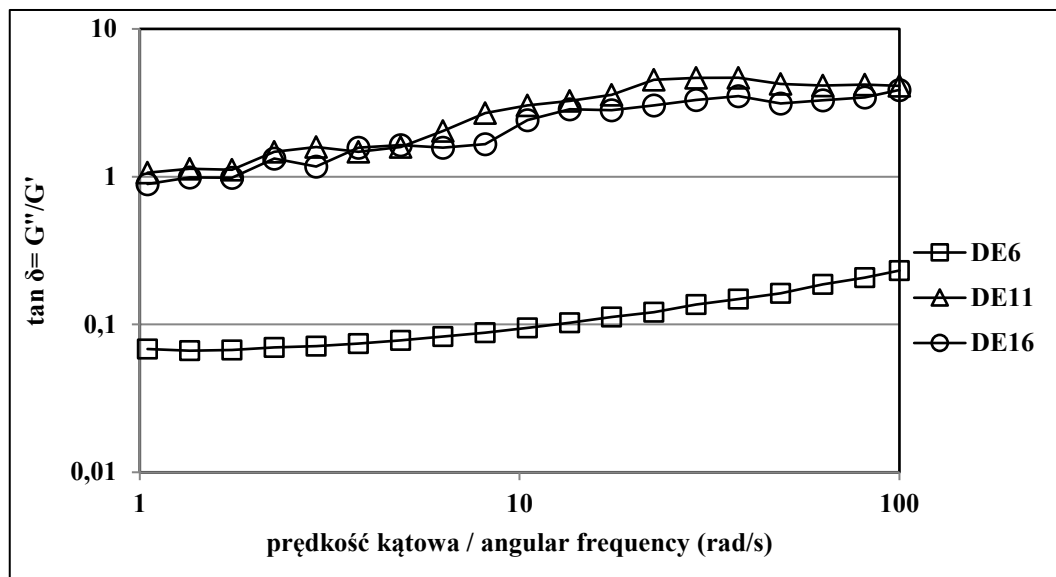
Fig.5. $\tan \delta$ dependence on angular frequency of emulsion stabilized with maltodextrins with DE 6



Rys. 6. Mechaniczne spektra modelowych emulsji stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi o różnym stopniu scukrzenia przy stężeniu 50%

Fig. 6. Mechanical spectra of model emulsion stabilized with potato maltodextrins at various degree of saccharification and 50% concentration

Niemniej jednak przy tym samym stężeniu hydrokoloidu emulsja na bazie maltodekstryny o DE 6 charakteryzowała się najwyższymi wartościami modułów G' oraz G'' z wyraźną przewagą cech sprężystych. Jak wynika z wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego omawiana emulsja z dodatkiem maltodekstryny o wartości DE 6 wykazała właściwości charakterystyczne dla mocnego żelu (rys. 7). Emulsje z dodatkiem hydrolizatu o DE 11 oraz 16 charakteryzowały się właściwościami typowymi dla dyspersji ($\tan \delta > 1$).



Rys. 7. Wartości kąta przesunięcia fazowego δ w zależności od prędkości kątowej dla emulsji stabilizowanej maltodekstrynami o różnym DE i stężeniu 50%

Fig. 7. $\tan \delta$ dependence on angular frequency of emulsion stabilized with maltodextrins with various DE and 50% concentration

WNIOSKI

1. Stopień scukrzenia oraz stężenie laboratoryjnych maltodekstryn ziemniaczanych wpłynęły na właściwości reologiczne sporządzonych na ich bazie emulsji typu o/w.
2. Lepkość pozorna układów wzrastała w miarę spadku stopnia scukrzenia maltodekstryn zastosowanych jak składnik fazy wodnej.
3. W obrębie tego samego stopnia scukrzenia zwiększanie stężenia maltodekstryny w fazie wodnej emulsji skutkowało wzrostem jej lepkości pozornej.
4. Emulsje z dodatkiem maltodekstryn o DE 6, 11, 16 w stężeniu 50 % charakteryzowały się właściwościami sprężystolepkimi.
5. Emulsja na bazie maltodekstryny o stopniu scukrzenia DE 6 wykazała cechy charakterystyczne dla mocnego żelu.

LITERATURA

- Dokic P., Jakovljevic J., Dokic-Baucal L. 1998. Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions. *Colloid. Surface A* 141: 435 — 440.
- Dokic-Baucal L., Dokic P., Jakovljevic J. 2004. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. *Food Hydrocolloid.* 18: 233 — 239.
- Klinkesorn U., Sophanodora P., Chinachoti P., McClements D. J. 2004. Stability and rheology of corn oil-in-water emulsion containing maltodextrin. *Food Res. Int.*, 37: 851 — 859.
- Lewandowicz G., Prochaska K., Grajek W., Krzyżaniak W., Majchrzak A., Ciapa T. 2005. Właściwości użytkowe maltodekstryn w układach emulsyjnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1 (42): 35 — 47.
- Przetaczek-Rożnowska I., Fortuna T. 2010. Wpływ ogrzewania mikrofalowego na zmianę wybranych właściwości maltodekstryn ziemniaczanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (69): 111 — 131.
- Pycia K., Juszcak L., Gałkowska D., Witczak M. 2012. Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. *Starch/Stärke* 64: 105 — 114.
- Singh J., Singh N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indiana potato cultivars. *Food Chem.* 75: 67 — 77.
- Tur W., Szczepanik E., Krzyżaniak W., Białas W., Grajek W. 2004. Charakterystyka maltodekstryn otrzymanych ze skrobi ziemniaczanej przy użyciu preparatów amylolitycznych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4 (41): 79 — 94.
- Udomrati S., Ikeda S., Gohtani S. 2013. Rheological properties and stability of oil in-water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase. *J. Food Engin.* 116: 170 — 175.
- Wang Y. J., Wang L. 2000. Structures and properties of commercial maltodextrins from corn, potato and rice starches. *Starch/Stärke* 52: 296 — 304.