

RYSZARD REZLER, HANNA M. BARANOWSKA

## WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE I ZDOLNOŚĆ WIĄZANIA WODY PRZEZ STABILIZOWANE SKROBIĄ ZIEMNIACZANĄ EMULSJE TYPU TŁUSZCZ W WODZIE

### Streszczenie

Celem pracy było określenie cech decydujących o strukturze i wiązaniu wody w emulsjach typu tłuszcz w wodzie po wprowadzeniu do układu skrobi. Obecność tłuszczów w dyspersji skrobiowo-wodnej ma istotny wpływ na proces kleikowania skrobi, a tym samym na intensywność i dynamikę molekularnych procesów sieciowania w badanych emulsjach. Różnice w strukturze i składzie chemicznym obu rodzajów tłuszczów determinują właściwości reologiczne badanych układów. Prowadzi to do zróżnicowania sztywności i dyssypatywności równowagowych przestrzennych układów skrobiowo-tłuszczowo-wodnych w zależności od rodzaju dodanego tłuszczu. Znajduje to potwierdzenie w badaniach magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR). Obecność tłuszczów w układzie skrobia-woda powoduje obniżenie aktywności wody.

**Słowa kluczowe:** aktywność wody, emulsja, NMR, reologia, skrobia

### Wprowadzenie

Opracowanie nowych receptur wędlin o obniżonej kaloryczności przy równoczesnym zachowaniu pożądanych przez konsumenta cech fizykochemicznych, a szczególnie cech strukturalnych nie jest łatwe [13, 17]. Tłuszcz kształtuje reologiczne właściwości farszów, teksturę gotowego produktu oraz jego smakowitość i soczystość [22]. Ma również istotny wpływ na stabilność emulsji w wędlinach drobno rozdrobnionych [7]. Gdy stopień wymiany tłuszczu przekracza 70 %, a ma to miejsce w typowo niskotłuszczowych wyrobach, faza ciągła produktu przekształca się w emulsję typu tłuszcz w wodzie, tracąc przy tym cechy reologiczne charakterystyczne dla skondensowanych emulsji [6, 18]. Prowadzi to do istotnych zmian w ich teksturze oraz w zdolności wiązania wody [9]. Stąd też wymiana tłuszczu polega na wprowadzeniu do produktu wody w połączeniu z dodatkami strukturotwórczymi w postaci różnych hydrokoloidów, m.in.

skrobi. Z uwagi na zdolność skrobi do tworzenia trwałych struktur w obecności wody i pod wpływem temperatury, jej dodatek ma istotny wpływ na właściwości mechaniczno-reologiczne tych produktów. Niewiele badań poświęcono związkowi między zmianami w strukturze molekularnej układów zawierających skrobię i tłuszcz a wielkościami opisującymi ich właściwości makroskopowe. W przeważającej mierze prace te dotyczą oddziaływań skrobi i tłuszczów pochodzenia roślinnego [4, 12, 21]. Natomiast mało poznane są mechanizmy interakcji skrobi z tłuszczami zwierzęcymi.

Celem podjętych badań była analiza cech decydujących o strukturze i wiązaniu wody w emulsjach typu tłuszcz w wodzie po wprowadzeniu do układu skrobi. Badane układy są modelami fazy ciągłej, która może występować w rozdrobnionych nisko-tłuszczowych produktach mięsnych.

### **Materialy i metody badań**

Przedmiotem badań były emulsje tłuszczowe typu tłuszcz w wodzie, przygotowane w proporcji wagowej 1 : 3 (tłuszcz : woda) z udziałem natywnej skrobi ziemniaczanej (Trzemeszno, Polska) w ilości 0,6 masy tłuszczu. Zastosowano tłuszcz wołowy i wieprzowy (Morliny, Polska). Tłuszcz wprowadzano do układu w postaci ciekłej o temp. 40 °C. Emulsje o masie 100 g poddawano obróbce termicznej w stałej temp. 90 °C, w łaźni wodnej przez 1 h w warunkach stałego mieszania za pomocą mieszadła mechanicznego. Układ kontrolny stanowił 16,6-procentowy żel skrobiowy, co odpowiada stężeniu skrobi w wodzie w badanych emulsjach. Tak przygotowane próby umieszczano w komorach pomiarowych. Po osiągnięciu temperatury 25 °C wykonywano pomiary.

Relaksacyjne makroparametry opisujące sprężystość układu skrobia-tłuszcz-woda były wyznaczane metodą DMA (przy częstotliwości 0,4 Hz), przy użyciu analizatora reologicznego DMWT, COBRABID. Wyznaczano wartości składowych zespolonego modułu sztywności:  $G_1$  i  $G_2$  oraz  $\tan \delta$ . Przy tym,  $G_1$  jest związana z tą częścią potencjalnej energii odkształceń, która jest zachowywana w trakcie periodycznych deformacji,  $G_2$  jest związana z częścią energii ulegającej dyssypacji w postaci ciepła, zaś  $\tan \delta$  (tangens kąta strat) jest miarą tarcia wewnętrznego i określa względną ilość energii rozpraszanej w materiale do energii akumulowanej w ciągu jednego cyklu odkształceń.

Analizę dynamiki molekularnej wody prowadzono przy użyciu impulsowego spektrometru NMR (Ellab, Poznań, Polska), pracującego przy częstotliwości 15 MHz. Do pomiarów  $T_1$  wykorzystano sekwencję odwrócenia i odrostu ( $\pi-\tau-\pi/2$ ) [11], odległości między impulsami zmieniano od 1 do 2800 ms. Pomiary  $T_2$  wykonywano, stosując ciąg impulsów CPMG ( $\pi/2-\tau-\pi$ ) [5, 14]. Odległość pomiędzy echami spinowymi wynosiła 6 ms. Obliczeń czasów relaksacji dokonywano dopasowując zarejestrowane zaniki amplitud ech spinowych do formuły uwzględniającej wieloeksponencjalny zanik [1, 3]. Czasy relaksacji spin-sieć obliczano korzystając z programu CracSpin [19].

Aktywność wody badanych układów wyznaczano przy użyciu miernika MMAW-4, COBRABiD z wymuszonym obiegiem atmosfery w komorze pomiarowej.

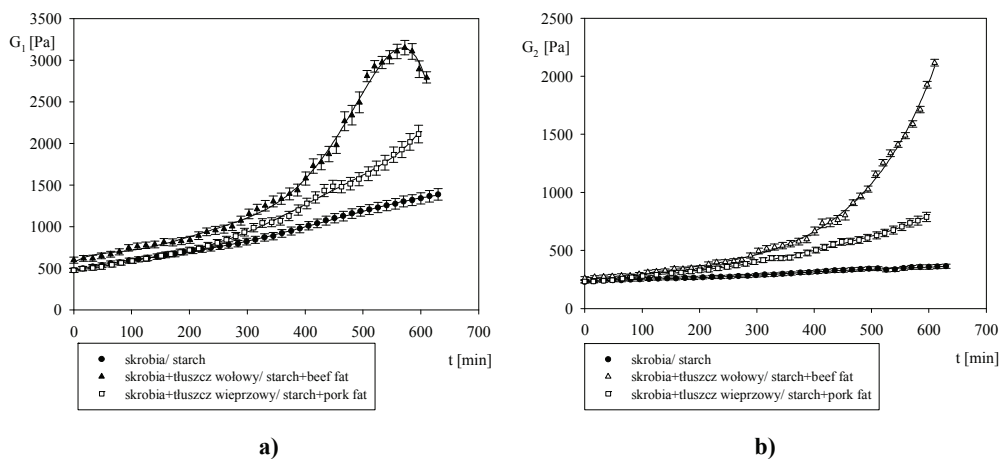
Skład kwasów tłuszczowych określano metodą GLC przy użyciu aparatu firmy Hewlett-Packard 5890 SII wyposażonego w kolumnę kapilarną Supelcowax [15].

Przedstawione wyniki pomiarów są średnimi wartościami z pięciu powtórzeń. Oprócz wartości średnich podano też odchylenia standardowe wyznaczone za pomocą programu Statistica 6.0 PL.

## Wyniki i dyskusja

### Właściwości reologiczne

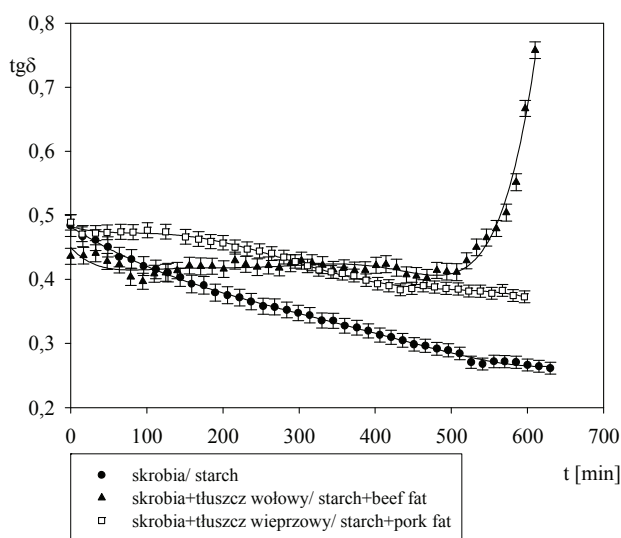
Układy skrobia-woda-tłuszcz tworzą dyspersje. Fazę ciągłą stanowią rozpuszczone granule amylozy, natomiast spęczniałe pozostałości granul wraz z tłuszczem fazę rozproszoną. Właściwości reologiczne emulsji uzależnione są od wielu czynników, m.in. wielkości frakcji w fazie ciągłej i rozproszonej oraz interakcji pomiędzy fazą ciągłą i rozproszoną. Właściwości mechaniczne poszczególnych faz determinują wartości parametrów reologicznych badanych układów. W celu scharakteryzowania molekularnych uwarunkowań tworzenia się stabilizowanych skrobią emulsji typu tłuszcz w wodzie przeanalizowano kinetykę procesów strukturywania samego żelu skrobiowego oraz analogicznego żelu w obecności tłuszczów zwierzęcych: wieprzowego i wołowego. Uzyskane metodą DMA wyniki badań żeli skrobiowych pozbawionych tłuszczu, jak i z jego dodatkiem, w miarę upływu czasu dowiodły zmian wartości składowych zespolonego modułu sztywności  $G_1$  i  $G_2$  (rys. 1a i b).



Rys. 1. Kinetyka zmian dynamicznego modułu sztywności  $G_1$ , (a) i modułu strat  $G_2$  (b) w procesie formowania się badanych układów.

Fig. 1. Kinetics of changes in dynamic modulus of rigidity  $G_1$  (a) and in loss modulus  $G_2$  (b) during formation process of systems investigated.

W zakresie do 300 min wartości modułów sztywności i strat utrzymywały się na zbliżonym poziomie, z niewielką przewagą układów z tłuszczem wołowym. Dopiero powyżej analizowanego zakresu czasu następowało wyraźne zróżnicowanie ich przebiegu. Przejawem tego był monotoniczny wzrost wartości tych modułów. Szczególnie układy zawierające tłuszcz wołowy odznaczały się dużym inkrementem wzrostu parametrów reologicznych świadczących o zróżnicowaniu intensywności procesów molekularnych, określających ich wartości. Podczas gdy monotoniczny wzrost modułów sztywności  $G_1$  miał miejsce we wszystkich analizowanych układach, w przypadku modułu strat  $G_2$  podobną tendencję można było zaobserwować tylko w badanych emulsjach. O ile zróżnicowanie wartości modułów sztywności i strat układów z tłuszczem oraz bez niego następowało dopiero po około 300 min, to w przypadku  $\text{tg } \delta$  (rys. 2) można je było zaobserwować od samego początku. Przy czym w całym badanym przedziale czasu, zmiany wartości  $\text{tg } \delta$  żelu skrobiowego oraz układu z tłuszczem wieprzowym wykazywały tendencję malejącą w przeciwieństwie do układów zawierających tłuszcz wołowy.



Rys. 2. Kinetyka zmian  $\text{tg } \delta$  w procesie formowania się badanych układów.

Fig. 2. Kinetics of changes in  $\text{tg } \delta$  during formation process of systems investigated.

Różne od zera początkowe wartości dynamicznego modułu sztywności  $G_1$  (rys. 1a) dowiodły, że już w procesie ochładzania w badanych układach powstała przestrzenna sieć z różną koncentracją segmentów. Źródłem inicjującym tworzenie sieci przestrzennej w takich układach są połączenia między sąsiadującymi ze sobą w roztworze fragmentami różnych makromolekuł. Mechanizm powstawania tego typu połączeń

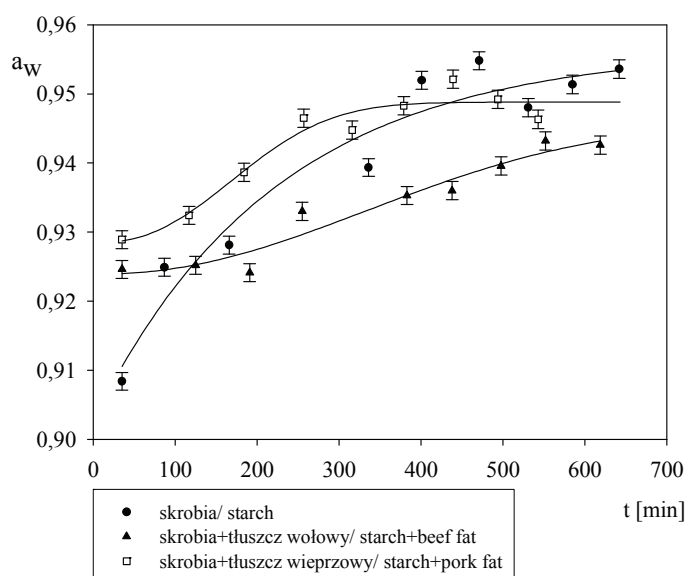
czeń w skrobi polega na spiralizacji wspomnianych fragmentów oraz ich asocjacji do form bihelikalnych asocjatów, charakterystycznych dla skrobi natywnej i zretrogradowanej [8, 20].

Obecność tłuszczów w dyspersji skrobiowo-wodnej miała istotny wpływ na proces kleikowania skrobi, a tym samym na właściwości mechaniczno-reologiczne fazy ciągłej. W momencie kleikowania skrobi i uwalniania się amylozy, tłuszcz wraz z amylozą spowodował otaczanie powierzchni napęczniałych granul nierozpuszczalnymi kompleksami, które uniemożliwiły bądź ograniczyły dalszy wpływ amylozy. W ten sposób część ziarenek skrobi zachowała naturalną strukturę krystaliczną. Częsteczki amylozy w fazie ciągłej połączyły się ze sobą tworząc sieć. W rezultacie po schłodzeniu powstała emulsja zamieniła się w żel, w obrębie którego zdyspergowany był tłuszcz. Utworzone kompleksy tłuszczu z amylozą spowodowały blokowanie centrów asocjacji międzyłańcuchowej. Ograniczyło to rozbudowę węzłów, polegającą na wiązaniu nowych segmentów makromolekuł. W rezultacie średnia gęstość segmentów sieci była niższa w układach z dodanym tłuszczem w porównaniu do żelu skrobiowego. Skutkiem tego reakcja na dynamiczne oddziaływania mechaniczne układów zawierających tłuszcz była charakterystyczna dla ciał odznaczających się właściwościami lepko-plastycznymi, w przeciwieństwie do żeli skrobiowych, które zachowują się jak lepko-sprężyste ciała stałe. Różnice właściwości reologicznych emulsji skrobiowo-tłuszczowych z udziałem obydwu rodzajów tłuszczów wyniknęły z różnic temperatury zestalania się tłuszczu wołowego i wieprzowego. Tłuszcz wołowy krystalizuje w temperaturze wyższej niż wieprzowy, ale poniżej temperatury żelowania skrobi, co związane jest z różną zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych i zróżnicowanie długości ich łańcuchów węglowych (potwierdziły to badania chromatograficzne). Prawdopodobnie przejawem tych właściwości było wyodrębnienie się fazy tłuszczowej poza fazę żelu w emulsjach z tłuszczem wołowym, w przeciwieństwie do emulsji z tłuszczem wieprzowym, w których tłuszcz zestalił się w obrębie istniejącej już sieci żelu skrobiowego. Doprowadziło to do zróżnicowania sztywności i dysypatywności równowagowych przestrzennych układów skrobiowo-tłuszczowo-wodnych w zależności od rodzaju dodanego tłuszczu. Potwierdzeniem był zarówno wzrost modułu strat  $G_2$  (rys. 1b), jak i zmiany wartości tangensa kąta strat  $\tan \delta$  (rys. 2), szczególnie widoczne w układach zawierających tłuszcz wołowy.

#### *Aktywność wody*

Na rys. 3. przedstawiono zmiany wartości aktywności wody  $a_w$  zachodzące w miarę upływu czasu w żelach skrobiowych z udziałem obydwu rodzajów tłuszczów oraz samego żelu skrobiowego. Żel skrobiowy odznaczał się największym inkrementem zmian analizowanego parametru w porównaniu z emulsjami tłuszczowymi. Równocześnie można stwierdzić, że obecność tłuszczu w badanych próbkach obniżała ak-

tywność wody w porównaniu z czystym żelem skrobiowym. W żelach skrobiowych  $a_w = (0,956 \pm 0,002)$ , podczas gdy w emulsjach z tłuszczem wołowym  $a_w = (0,946 \pm 0,002)$  i z tłuszczem wieprzowym  $a_w = (0,948 \pm 0,002)$ . Różnice wartości aktywności  $a_w$  w emulsjach tłuszczowych były stosunkowo niewielkie i mieściły się w granicach błędów pomiarowych systemu. Zróżnicowanie wartości aktywności wody między emulsjami tłuszczowo-skrobiowymi a żelem skrobiowym było związane z zachodzącymi w miarę upływu czasu zmianami w ich strukturze molekularnej.



Rys. 3. Kinetyka zmian  $a_w$  w procesie formowania się badanych układów.

Fig. 3. Kinetics of changes in  $a_w$  during formation process of systems investigated.

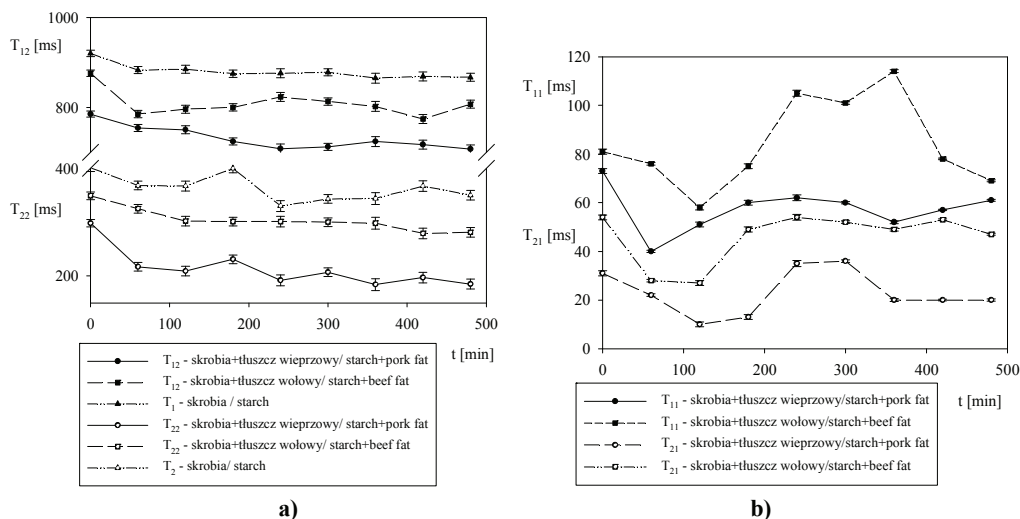
Zgodnie z termodynamiczną teorią roztworów polimerów Flory'ego [10], w układach, w których między łańcuchami mogą powstawać połączenia tworzące sieć przestrzenną, wzrost aktywności wody zachodzący w miarę upływu czasu należy interpretować jako efekt powstawania w układzie dodatkowych połączeń międzycząsteczkowych, prowadzący do wzrostu stopnia usieciowienia układu polimerowego. Dalszy sukcesywny wzrost stopnia usieciowienia może prowadzić do efektu synerzy, polegającej na przeniesieniu wody poza sieć polimerową. Obecność tłuszczu w układzie skrobia-woda prawdopodobnie ogranicza ten efekt, co może wyjaśniać niższe wartości  $a_w$  w emulsjach.

## NMR

Omówione techniki służą do opisu makroskopowych parametrów układów biopolimerowych. Do szczegółowej analizy na poziomie molekularnym wykorzystano technikę magnetycznego rezonansu jądrowego. Czasy relaksacji uzyskane z pomiarów opisują dynamikę molekularną protonów. Żele skrobiowe charakteryzują się jednym czasem relaksacji spin-sieć  $T_1$  i jednym czasem relaksacji spin-spin [2, 16]. Oznacza to, że w układzie następuje szybka wymiana protonów wody w przestrzeni sieci biopolimerowej z molekułami wody hydratującej polimer czy obecnej w węzłach sieci. Badania emulsji tłuszczowych z dodatkiem skrobi ziemniaczanej wykazały dwie składowe czasy relaksacji spin-sieć  $T_1$  i spin-spin  $T_2$ . Oznacza to, że w układzie obecne były dwie frakcje protonów relaksujące z różnymi szybkościami oraz że pomiędzy tymi frakcjami protonów wymiana była dużo wolniejsza niż czas relaksacji. W żelu skrobi ziemniaczanej, stanowiącym układ kontrolny, stwierdzono jeden czas relaksacji  $T_1$  i jeden czas  $T_2$ . Kinetykę zmian wartości czasów relaksacji badanych emulsji przedstawiono na rys. 4. Analiza wartości obu składowych czasów relaksacji wskazuje, że długie składowe ( $T_{12}$  i  $T_{22}$ ) odzwierciedlały procesy relaksacyjne frakcji protonów związanych głównie z żelem biopolimerowym. Krótkie składowe czasy relaksacji ( $T_{11}$  i  $T_{21}$ ) charakteryzowały się znacznie niższymi wartościami. Sugeruje to, że te składowe opisują relaksację frakcji protonów emulsji tłuszczowej. W związku z powyższym osobno analizowano zmiany długich i krótkich składowych czasów relaksacji w badanych układach. Długie składowe obu czasów relaksacji porównano z czasami relaksacji żelu skrobiowego (rys. 4a). Stwierdzono, że próby zawierające oba rodzaje tłuszczu charakteryzowały się niższymi wartościami czasów relaksacji niż próba kontrolna. Podobne rezultaty wykazały pomiary aktywności wody. Oznacza to, że w żelu biopolimerowym obecna była pewna ilość tłuszczu. Równocześnie stwierdzono, że w żelach zawierających tłuszcz wołowy czasy relaksacji były dłuższe niż w tych, które zawierały tłuszcz wieprzowy. Takie same zależności stwierdzono w przypadku krótkich składowych.

Zastosowane w doświadczeniu tłuszcze zwierzęce zawierały w przeważającej ilości kwasy tłuszczowe o długich łańcuchach (C16, C17, C18). Różnica pomiędzy tymi tłuszczami wynika z różnic zawartości nasyconych i nienasyconych kwasów tłuszczowych. Z badań chromatograficznych wynika, że dominujące w obu układach kwasy nasycone (C16, C17, C18) stanowiły sumarycznie 49,3 % w tłuszczu wołowym i 42,2 % w tłuszczu wieprzowym. Dominujące nienasycone kwasy tłuszczowe (C16:1, C18:1, C18:2) stanowiły odpowiednio 45,8 % i 51,3 %. Na podstawie danych doświadczalnych można wnioskować, że większa zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych w układzie spowodowała większe uporządkowanie struktury wody w żelu, ograniczając jej dynamikę. Na podstawie okresowych zmian obu składowych





Rys. 4. Kinetyka zmian wartości czasów relaksacji spin-sieć i spin-spin (a – długich składowych, b – krótkich składowych) w żelach skrobi ziemniaczanej z dodatkiem tłuszczów zwierzęcych oraz kinetyka zmian wartości  $T_1$  i  $T_2$  w żelach skrobiowych.

Fig. 4. Kinetics of changes in values of spin-lattice and spin-spin relaxation times (a – long components; b – short components) in potato starch gels with addition of animal fats as well as kinetics of changes in  $T_1$  and  $T_2$  values in starch gels.

czasów relaksacji wykazano, że w ciągu 480 min od chwili osiągnięcia przez żel skrobiowy temperatury otoczenia następował monotoniczny spadek wartości czasów relaksacji spin-sieć, ale zmiany te ograniczały się do bardzo małego zakresu wartości bezwzględnych (od 920 dla  $t = 0$  do 870 dla  $t = 480$ ). Wartości czasów relaksacji spin-spin zmieniają się w czasie. Pierwsze minimum obserwowano po ok. 90 min od chwili rozpoczęcia pomiarów, a następne po 240 min. Żel skrobiowy z dodatkiem tłuszczu wieprzowego charakteryzował się takimi samymi czasowymi zmianami jak próba kontrolna. Zatem, dodanie tłuszczu wieprzowego nie modyfikuje czasowych zmian dynamiki molekuł wody. Krótsze czasy relaksacji w tym układzie są związane z obecnością tłuszczu w przestrzeni sieci biopolimerowej. Tłuszcz wołowy zawarty w żelu skrobiowym wpłynął na zmianę dynamiki molekularnej wody w czasie, w porównaniu z próbą kontrolną. Stwierdzono, że składowa czasu relaksacji spin-sieć zmieniła się w czasie. Zaobserwowano minima wartości  $T_{12}$  po 60 i 420 min od chwili rozpoczęcia pomiarów. Świadczy to o zmianach wiązania wody w węzłach sieci. Pierwsze minimum można interpretować jako wiązanie wody w trakcie formowania żelu z udziałem tłuszczu. Drugie natomiast ma związek z konkurencyjnością oddziaływań polimer – woda i polimer – tłuszcz. Składowa czasów relaksacji spin-spin monotonicznie malała, jednak bezwzględne zmiany wartości  $T_{22}$  były niewielkie (od 350 dla  $t = 0$  do 300 dla



$t = 480$ ). Analiza czasowych zmian krótkich składowych czasów relaksacji (rys. 4b) wykazuje, że w emulsji typu tłuszcz w wodzie emulgowanej natywną skrobią ziemniaczaną następowały dynamiczne zmiany. W ciągu około 120 min od chwili osiągnięcia przez żel temperatury pomiarów obserwowano pierwsze minimum wartości składowych czasów relaksacji oznaczające zahamowanie ruchów molekularnych. Potem obserwowano wydłużenie składowych  $T_{11}$  i  $T_{21}$  związane ze wzrostem ruchliwości molekuł wody. To maksimum było obserwowane po ok. 300 min w emulsji tłuszczu wieprzowego i po około 360 min w emulsji tłuszczu wołowego.

### Wnioski

1. Obecność tłuszczu w dyspersji skrobiowo-wodnej ma istotny wpływ na proces kleikowania skrobi, a tym samym na właściwości mechaniczno-reologiczne fazy ciągłej emulsji skrobiowo-tłuszczowych.
2. Różnice w strukturze i składzie chemicznym obu rodzajów tłuszczów decydują o ich właściwościach reologicznych. Ma to bezpośredni wpływ na intensywność i dynamikę molekularnych procesów sieciowania w badanych emulsjach w trakcie ich stabilizacji.
3. Różnice w strukturze molekularnej żeli skrobiowych i emulsji skrobiowych decydują o stopniu wiązania wody przez oba te układy. Obecność tłuszczu w układzie skrobia – woda wpływa na obniżenie wartości aktywności wody.
4. Dane uzyskane na podstawie badań techniką NMR w niskich polach wskazują, że w badanych układach wyróżnia się frakcję żelu skrobiowego zawierającego tłuszcz oraz frakcję emulsji typu tłuszcz w wodzie.

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010/2012 jako projekt badawczy N N312 038939.*

### Literatura

- [1] Baranowska H.M., Dolata W., Piotrowska E., Piątek M.: Evaluation of the substitution of fat for pea cellulose on the water binding state in sausage forcemeat. *Acta Agrophysica*, 2003, **2** (2), 293-300.
- [2] Baranowska H.M., Rezler R.: Temperature characterization of starch and starch-protein dispersions. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2002, **4** (33) Supl., 17-23.
- [3] Bertram H.C., Donstrup S., Karlsson A.H., Andersen H.J.: Continuous distribution analysis of  $T_2$  relaxation in meat an approach in the determination of water-holding capacity. *Meat Sci.*, 2002, **60**, 279-285.
- [4] Biresaw G., Kenar J.A., Kurth T.L., Felker F.C., Erhan S.M.: Investigation of the mechanism of lubrication in starch oil composite dry film lubricants. *Lubr. Sci.*, 2007, **19** (1), 41-55.
- [5] Carr H.Y., Purcell E.M.: Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments. *Phys. Rev.*, 1954, **94**, 630-638.

- [6] Derkach S.R., Levachov S.M., Kuhkushkina A.N., Novosyolova N.V., Kharlov A.E., Matveenko V.N.: Rheological properties of concentrated emulsions stabilized by globular protein in the presence of nonionic surfactant. *Colloids Surf., A*, 2007, **298** (3), 225-234.
- [7] Dolata W., Piotrowska E., Baranowska H.M., Chlebowska M., Krzywdzińska-Bartkowiak M.: The effect of the method and form in which wheat fiber is added on the water state in finely comminuted batters. *Properties of Water in Food*. Agr. Univ. Press, Warsaw, 2001, pp. 178-183.
- [8] Eliasson A.-C., Larsson K., Andersson S., Hyde S.T., Nesper R., von Schnering H.-G.: On the structure of native starch - An analogue to the quartz structure. *Starch/Staerke*, 1987, **39** (5), 147-152.
- [9] Fernández-López J., Fernández-Ginés J.M., Aleson-Carbonell L.: Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends Food Sci. Technol.*, 2004, **15** (3-4), 176-185.
- [10] Flory P.J.: *Principles of polymer chemistry*. Ithaca: NY Cornell University Press, 1953.
- [11] Fukushima E., Roader S.B.W.: *Experimental pulse NMR. A nuts and bolts approach*. Addison-Wesley Publishing Company, London 1981.
- [12] Garzon G.A., Gaines C.S., Mohamed A., Palmquist D.E.: Effect of oil content and pH on the physicochemical properties of corn starch-soybean oil composites. *Cereal Chem.*, 2003, **80** (2), 154-158.
- [13] Jiménez Colmenero F.: Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. *Trends Food Sci. Technol.*, 2000, **11**(2), 56-66.
- [14] Meiboom S., Gill D.: Modified spin-echo method for measuring nuclear relaxation times. *Rev. Sci. Instrum.*, 1958, **29**, 688-691.
- [15] Przybylski R., Klensporf-Pawlik D., Anwar F., Rudzińska M.: Lipid components of the North American wild rice (*Zizania palustris*). *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2009, **86**, 553-559.
- [16] Rezler R., Baranowska H.M., Surma S., Poliszko S.: Investigation of starch gels by means of relaxation methods. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2000, **2** (23), 194-203.
- [17] Sampaio Geni R., Castellucci Cláudia M.N., Pinto e Silva M.E.: Effect of fat replacers on the nutritive value and acceptability of beef frankfurters. *J. Food Compos. Anal.*, 2004, **17** (3-4), 469-474.
- [18] Taherian A.R., Fustier P., Ramaswamy H.S.: Steady and dynamic shear rheological properties, and stability of non-flocculated and flocculated beverage cloud emulsions. *Int. J. Food Eng.*, 2008, **11** (1), 24-43.
- [19] Węglarz W.P., Harańczyk H.: Two-dimensional analysis of the nuclear relaxation function in the time domain: The program CracSpin. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2000, **33**, 1909-1920.
- [20] Wu H.C., Sarko A.: The double helical molecular structure of crystalline  $\beta$ -amylose. *Carbohydr. Res.*, 1978, **61**, 7-25.
- [21] Wasserman L.A., Alier I.O., Yuryev V.P.: Interaction of starch polysaccharides and their mixture with water molecules and model lipids ESR study. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2002, **4** (33) Supl., 124-137.
- [22] Wood J.D., Richardson R.I., Nute G.R., Fisher A.V., Campo M.M., Kasapidou E., Sheard, P.R.: Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.*, 2004, **66** (1), 21-32.

#### **RHEOLOGICAL AND WATER BINDING PROPERTIES OF FAT-IN-WATER TYPE EMULSIONS STABILIZED BY POTATO STARCH**

##### S u m m a r y

The objective of the research study was to determine those properties that are crucial for the structure and water-binding in fat-in-water type emulsions after incorporation into a starch system. The presence of fat in starch-water dispersion has a significant impact on the process of starch gelatinization and, consequently, on the intensity and dynamics of molecular cross-linking processes in the emulsions under re-

search. The differences in the structure and chemical composition of the two fat types determine the rheological properties of the systems studied. This causes the stiffness and equilibrium dissipativeness of spatial starch-fat-water systems to diversify depending on the type of fat added. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) investigations confirm this fact. The presence of fats in the starch-water system causes the water activity to decrease.

**Key words:** water activity, emulsions, NMR, rheology, starch ☒