

MAREK SIKORA, MAGDALENA KRYSZYJAN

INTERAKCJE SKROBI RÓŻNEGO POCHODZENIA BOTANICZNEGO Z NIESKROBIOWYMI HYDROKOLOIDAMI POLISACHARYDOWYMI

Streszczenie

Celem pracy było uaktualnienie stanu wiedzy z zakresu interakcji skrobi z nieskrobiowymi hydrokolo- idami, który przedstawiono w kwartalniku „Żywność” 2003, 1 (34) Supl. W obecnym opracowaniu uwy- puklono zagadnienia związane z możliwościami analizy oraz wskazana na niektóre aspekty aplikacyjne mieszanych układów skrobi z nieskrobiowymi hydrokolo- idami w przemyśle spożywczym.

Słowa kluczowe: skrobia, hydrokoloidy nieskrobiowe, interakcje, reologia

Wstęp

Liczne badania nad właściwościami hydrokoloidów potwierdziły, że stanowią one ważną grupę dodatków do żywności. Są coraz powszechniej stosowane w przemyśle spożywczym, nie tylko dzięki efektom zagęszczającym i/lub żelującym, lecz również ze względu na zdolność wiązania wody, ograniczanie intensywności parowania, umożliwianie stabilizacji pian i emulsji, oraz na możliwość regulowania właściwości reologicznych. Mogą również wpływać na zmiany szybkości zamrażania i tworzenia kryształów lodu [12, 13, 14, 26].

Synergistyczny efekt różnych hydrokoloidów jest często spotykany w przemyśle spożywczym. W ten sposób można zastąpić niektóre drogie polimery innymi, tańszymi, otrzymując w ten sposób mieszaniny o nowych właściwościach funkcjonalnych, np. stabilniejszej teksturze i właściwościach reologicznych [4, 27, 39].

W celu skuteczniejszego stosowania mieszanin skrobi z hydrokolo- idami w pro- dukcji żywności prowadzi się pomiary reologiczne, pozwalające na zbadanie właści- wości takich mieszanin. Wiadomo, że w skleikowanej skrobi rozpuszczone granule (amyloza) tworzą fazę ciągłą, natomiast napeężniałe pozostałości granul (amylopekty-

na) występują jako „wypełniacze”. Właściwości reologiczne mieszanin skrobi z nieskrobiowymi polisacharydami uzależnione są od wielu czynników, m.in. wielkości frakcji w fazie ciągłej i rozproszonej, sumarycznego stężenia polisacharydów w mieszaninie, botanicznego pochodzenia skrobi, rodzaju zastosowanego hydrokoloidu oraz interakcji pomiędzy zastosowanymi hydrokoloidami, a także od interakcji pomiędzy fazą ciągłą i rozproszoną. Zrozumienie oddziaływań zachodzących w samych skrobiach jest ważne do zinterpretowania właściwości systemów skrobia – polisacharydy nieskrobiowe [21, 40]. Pomiary reologiczne są pomocne w celu scharakteryzowania procesu żelowania mieszaniny skrobia – hydrokoloid o złożonej strukturze, w której zachodzą oddziaływania zarówno fizyczne, jak i interakcje z udziałem energii [4].

Przeprowadzono wiele badań mających na celu wyjaśnienie roli hydrokoloidów w kształtowaniu struktury i tekstury produktów spożywczych oraz ich wpływu na właściwości reologiczne układów skrobia – hydrokoloid [6]. Wykazano w nich znaczący wpływ dodatku niewielkiej ilości hydrokoloidów na właściwości lepkością skrobi oraz podano praktyczne informacje odnośnie stosowania hydrokoloidów w celu kontroli procesu formowania się żeli skrobiowych.

We wcześniejszym artykule przeglądowym [29] przedstawiono stan wiedzy w zakresie badań interakcji skrobi z innymi hydrokoloidami polisacharydowymi. Z uwagi na fakt, że w wyniku interakcji hydrokoloidów polisacharydowych ze skrobią powstają układy, których właściwości są interesujące z punktu widzenia technologii żywności, uwaga wielu badaczy jest skierowana właśnie w tym kierunku. W związku z powyższym wciąż pojawiają się nowe prace z tego zakresu, a wiedza związana z interakcjami hydrokoloidów polisacharydowych poszerza się.

Celem tej pracy jest uaktualnienie stanu wiedzy z zakresu interakcji skrobi z nieskrobiowymi hydrokoloidami, uwypuklenie zagadnień analitycznych z tym związanych oraz wykazanie niektórych możliwości aplikacyjnych mieszanych układów skrobi z nieskrobiowymi hydrokoloidami w przemyśle spożywczym.

Interakcje skrobi ziemniaczanej z hydrokoloidami polisacharydowymi

Wpływ dodatku karboksymetylocelulozy, karagenu, alginianu sodu oraz gumy ksantanowej na kleikowanie skrobi ziemniaczanej w układach o sumarycznym stężeniu hydrokoloidów 4% (3,6% skrobi i 0,4% nieskrobiowego hydrokoloidu) przebadali Shi i BeMiller [27]. Dowiedli oni, że pod wpływem dodatku ujemnie naładowanych hydrokoloidów nieskrobiowych, maksimum lepkości mieszanin zawierających również ujemnie naładowaną skrobię ziemniaczaną obniża się. Jako przyczynę tego zjawiska podano odpychające oddziaływanie pomiędzy ujemnymi fosforowymi grupami skrobi i ujemnie naładowanymi cząsteczkami nieskrobiowych hydrokoloidów.

Wpływem dodatku gumy ksantanowej na właściwości skrobi ziemniaczanej zajmowali się Mandala i Palogou [22]. Roztwory wodne obu polisacharydów przygoto-

wywano osobno w temp. 75 i 90°C, po czym mieszano je ze sobą w ilościach 10, 12 i 15% skrobi oraz 0,1 i 0,3% gumy ksantanowej. Po zmieszaniu próbki badano w temperaturze 25°C. Wykonano pomiary dużych odkształceń oraz 24-godzinne niestructuralne badania oscylacyjne (małych odkształceń). Stwierdzono, że granica płynięcia zależała w głównej mierze od czasu starzenia się żelu oraz od stężenia skrobi, w mniejszym natomiast stopniu od temperatury przygotowania kleików oraz stężenia gumy ksantanowej. Wzrost stężenia skrobi, przy zachowaniu stałego stężenia gumy ksantanowej, spowodował utworzenie struktury w bardzo krótkim czasie, a także wzrost wartości modułu zachowawczego G' mieszanego układu. Zjawisko to objaśniano większą ilością amylozy, która wydostała się z granul skrobiowych w początkowym okresie przechowywania. Cząsteczki amylozy w fazie ciągłej połączyły się ze sobą tworząc sieć. Cały układ, tzn. sieć utworzona przez cząsteczki amylozy oraz znajdujące się między jej strukturami zniszczone granule skrobiowe utworzyły żel. Badania dużych odkształceń posłużyły głównie do sprawdzenia i porównania eksperymentów. Stwierdzono także, że guma ksantanowa przyspieszała tworzenie się żelu, a jej wpływ na reologię układu był pośredni. Otaczając cienkim filmem powodowała ona „wyłączenie” (exclusion) granul skrobiowych, przeszkadzając w dyfuzji makrocząsteczek. Jej wpływ na skrobię opisano jako czasowo niezależny, co miało oznaczać, że ani nie wpływała na umocnienie, ani też nie przeszkadzała w tworzeniu się sieci amylozowej. Wzmocnienie struktur żelowych w czasie 24-godzinnego badania przypisywano innym zjawiskom, takim jak separacja mikrofazowa i wzrost stężenia w każdej wydzielonej fazie, w której interakcje makrocząsteczek tego samego typu są preferowane.

Khanna i Tester [17], za pomocą skaningowej kalorymetrii różnicowej oraz trawienia α -amylazą, zbadali wpływ oczyszczonej mączki konjac na żelowanie i retrogradację skrobi ziemniaczanej oraz kukurydzianej, o różnej zawartości amylozy. Stwierdzili oni, że dodatek do skrobi oczyszczonej mączki konjac rozszerza zakres kleikowania i jednocześnie podwyższa końcową temperaturę kleikowania badanych skrobi. Takie działanie mączki konjac na właściwości skrobi autorzy przypisywali „efektowi sekwestrującemu” (sequestering effect). Polega on na otaczaniu i izolowaniu cząsteczkami hydrokoloidu granul skrobiowych, a tym samym na izolowaniu ich i ograniczaniu dostępu cząsteczek wody do granul, co ma bezpośredni wpływ na proces kleikowania. Autorzy stwierdzili także, że mączka konjac miała istotny wpływ na opóźnienie procesu długoterminowej retrogradacji skrobi. Stwierdzili również, że w wyniku tego opóźnienia otrzymywano większe ilości strawnej skrobi w systemach zawierających mączkę konjac.

Fiedorowicz i wsp. [5] oraz Sikora i Kowalski [36] badali interakcje zachodzące pomiędzy skrobią ziemniaczaną a hydrokoloidami polisacharydowymi (gumą guarową, ksantanową, karaja, carob, arabską oraz karagenem) stosując przy tym różne stężenia hydrokoloidów (0,05 i 0,2%). Na podstawie wykonanych pomiarów reologicznych

zaobserwowano różnice we właściwościach mieszanin pod wpływem dodatku poszczególnych hydrokoloidów do skrobi ziemniaczanej. Stwierdzono m.in., że dodatek gumy ksantanowej oraz karagenu do układu skrobi ziemniaczanej wpłynął na obniżenie, natomiast gumy guarowej - na podwyższenie charakterystyki kleikowania badanych mieszanin, w stosunku do skrobi wyjściowej. Stwierdzono również, że dodatek gumy guarowej spowodował wzrost, a pozostałych hydrokoloidów - zmniejszenie pseudoplastyczności układów.

Baranowska i wsp. [1] oraz Sikora i wsp. [35] badali właściwości skrobi ziemniaczanej z dodatkiem takich hydrokoloidów polisacharydowych, jak: guma guarowa, arabska, ksantanowa, karaja, carob i karagen, za pomocą niskopolowego NMR. Stwierdzono, że na skutek ogrzewania wodnych suspensji skrobi ziemniaczanej do temp. 55°C, czas relaksacji wzrastał, a dynamika cząsteczek wody rosła na skutek braku uporządkowania w roztworze, spowodowanego wzrostem temperatury. Jednakże począwszy od temp. 55°C, czas relaksacji T_1 zmniejszał się na skutek żelowania i immobilizacji cząsteczek wody w strukturach żelu. Po przejściu punktu żelowania, T_1 prawie jednostajnie rósł, aż do zakończenia pomiaru (96°C). Dodatek hydrokoloidów jakościowo i ilościowo zaburzał te prawidłowości, ale ich nie zmieniał. Kleikowanie skrobi z wodnymi roztworami hydrokoloidów w pierwszej kolejności wywoływało zmiany w konformacji polisacharydów, które zachodziły do momentu osiągnięcia punktu żelowania, a następnie tworzyła się sieć żelowa. Przebieg żelowania (kleikowania) uzależniony był od dostępności cząsteczek wody. Dostępność tych cząsteczek zależała z kolei od właściwości poszczególnych hydrokoloidów do ich zatrzymywania, od zmian konformacyjnych i od inhibicji żelowania, będącej wynikiem interakcji pomiędzy hydrokoloidami i granulami skrobiowymi.

Interakcje skrobi kukurydzianej z hydrokoloidami polisacharydowymi

Interakcje skrobi kukurydzianej z hydrokoloidami polisacharydowymi badali Kanna i Tester [17] (wyniki przedstawiono powyżej), Funami i wsp. [7, 8], Krueger i wsp. [20], Jimenez-Avalos i wsp. [15] oraz Sikora i wsp. [32].

Funami i wsp. [7, 8] prowadzili badania wpływu gumy guarowej o różnej masie cząsteczkowej na kleikowanie i retrogradację skrobi kukurydzianej. Stwierdzili, że kleikowanie skrobi kukurydzianej uzależnione jest od masy cząsteczkowej gumy guarowej. Zależność tę sprecyzowali w ten sposób, że guma guarowa o masie cząsteczkowej powyżej 10×10^5 g/mol, powinna reagować z amylozą i tego rodzaju interakcje nie powinny być zależne od masy cząsteczkowej gumy guarowej, powyżej tej krytycznej wartości (10×10^5 g/mol). Interakcje tego typu objaśniali konformacyjnie prostą strukturą łańcucha amylozy, biorącej udział w interakcjach z gumą gurową. Autorzy stwierdzili również, że guma guarowa o dłuższych łańcuchach (M_w powyżej 10×10^5 g/mol) powinna brać udział w interakcjach z amylopektyną i tego rodzaju oddziaływa-

nia powinny być mocniejsze, w miarę wydłużania łańcucha gumy guarowej. Oddziaływanie między gumą guarową i amylozą mogą mieć wpływ, zdaniem autorów artykułu, na wzrost temperatury początku kleikowania skrobi kukurydzianej, natomiast oddziaływanie między gumą i amylopektyną - na wzrost maksimum lepkości podczas kleikowania. Inne interakcje gumy guarowej ze skrobią, takie jak efekt zagęszczania, zwiększający efektywne stężenie systemu, powinny być także traktowane, jako czynniki wpływające na kleikowanie skrobi [7].

W kolejnej pracy z tego zakresu [8] autorzy stwierdzili, że guma guarowa o względnie niskiej masie cząsteczkowej promuje długoterminową retrogradację skrobi kukurydzianej.

Krueger i wsp. [20] badali mieszaniny złożone ze skrobi kukurydzianej (10%), sacharozy (15%) i nieskrobiowych hydrokoloidów (guma guarowa, ksantanowa i/lub alginian sodu, 1%), ogrzewane do temp. 90°C. Zaobserwowali znaczący spadek ilości napęczniałych granulek skrobiowych w układach zawierających gumę guarową, spowodowany wolniejszym tempem ogrzewania, a także zmniejszoną mobilnością cząstek wody. Spadek taki, choć w znacznie mniejszym stopniu, zaobserwowano także w układach zawierających gumę ksantanową, a najmniejszy - w układach z alginianem sodu. Autorzy stwierdzili również, że w systemach wsadowych ogrzewanie nie następuje natychmiastowo w całej masie i nie można uniknąć zjawisk przejściowych, uzależnionych od czasu i temperatury. Stwierdzili także, że układy skrobi z dodatkiem gum roślinnych miały niskie tempo nagrzewania podczas kleikowania, w porównaniu z układami bez dodatku gum. Wg autorów, temperatura kleikowania mierzona za pomocą DSC ulega podwyższeniu wskutek dodatku sacharozy, natomiast zmienia się tylko w niewielkim stopniu pod wpływem dodatku gum roślinnych.

Jimenez-Avalos i wsp. [15] badali lepkosprężyste właściwości gumy arabskiej 25 i 35% (m/v), skrobi kukurydzianej 3 i 5% (m/v) oraz ich mieszanin za pomocą pomiarów oscylacyjnych oraz testu pełzania i powrotu. We wszystkich układach moduł zachowawczy był większy niż stratności, co potwierdza sprężysty charakter badanych próbek. Ponadto badania wpływu odkształcenia na zadane naprężenie pozwoliły stwierdzić, że guma arabska oraz jej mieszanina ze skrobią kukurydzianą zachowują się jak lepkosprężyste ciecze, podczas gdy czysta skrobia kukurydziana, przy stężeniu 5% (m/v), wykazuje właściwości lepkosprężystego ciała stałego.

W pracy Sikory i wsp. [32] zbadano interakcje zachodzące pomiędzy skrobiami zbożowymi (owsianą i kukurydzianą) a hydrokoloidami polisacharydowymi (karagenem, gumą ksantanową oraz gumą guarową). W tym celu przygotowano wodne suspensje gumy ksantanowej i guarowej (0,05 i 0,2%) oraz (0,2 i 0,4%) karagenu z wyżej wymienionymi skrobiami. Całkowite stężenie hydrokoloidów wynosiło 5% (m/v). Wykonano pomiary małych i dużych deformacji oraz charakterystykę kleikowania badanych układów. Zaobserwowano, że dodatek gumy guarowej wpłynął znacząco na

wzrost lepkości badanych skrobi podczas kleikowania. Spowodował on również wzrost modułu zachowawczego (G') dwuskładnikowych żeli w stosunku do kleików, zawierających czyste skrobie. Ponadto dodatek wszystkich badanych hydrokoloidów spowodował zmniejszenie pola powierzchni pętli histerezy, a największym zmniejszeniem tego parametru odznaczyły się układy zawierające gumę guarową. Zauważono, że mieszaniny skrobi kukurydzianej z gumą guarową lub karagenem wykazywały ujemne wartości pola powierzchni histerezy, co według autorów, mogło być spowodowane tworzeniem się struktur indukowanych ścinaniem.

Interakcje skrobi kukurydzianej woskowej z hydrokoloidami polisacharydowymi

Wang i wsp. [40] badali zależność lepkości mieszanin woskowej skrobi kukurydzianej z gumą ksantanową (w stosunku 20 : 80, 40 : 60, 80 : 20 m/m suchej substancji) od stężenia i wzajemnego stosunku polimerów. Polimery rozpuszczano w mieszaninie DMSO (90%) i wody (10%). Stwierdzono, że dodatek gumy ksantanowej do roztworu skrobi kukurydzianej woskowej zmniejszał stężenie skumulowane i zwiększał graniczną liczbę lepkościową (ang. intrinsic viscosity) oraz parametr Hugginsa „b”. Guma ksantanowa okazała się lepszym zagęstnikiem niż skrobia kukurydziana. Stwierdzono również, że skrobia kukurydziana i guma ksantanowa przyciągały się wzajemnie, ale nie wykazywały efektu synergizmu.

Rodríguez-Hernandez i wsp. [25] za pomocą dynamicznego ścinania oscylacyjnego i mikroskopii skaningowej badali wpływ dodatku gumy gellan, o różnym stężeniu (0,005–0,5%) na układ kukurydzianej skrobi woskowej (3%), w temp. 75 oraz 90°C. Wykazano, że pod wpływem dodatku gumy gellan w ilości poniżej 0,02%, w podwyższonej temperaturze, nastąpiło otoczenie napęczniałych i rozerwanych ziarenek skrobiowych przez sieć utworzoną z cząsteczek nieskrobiowego hydrokoloidu. Zarówno pęczniejące cząsteczki skrobi, jak i zagęszczona sieć utworzona przez cząsteczki gumy gellan przyczyniły się do nadania mieszaninie sprężystego charakteru, zwiększając tym samym moduł magazynowania G' . Przy stężeniu gumy gellan powyżej 0,02% nie zaobserwowano wzrostu modułu magazynowania. Właściwości sprężyste zależały również od temperatury przygotowania kleików. W niższej temperaturze kleikowania większy wpływ na właściwości lepko-sprężyste mieszaniny miały napęczniałe cząsteczki skrobi, które wzmocniły sieć utworzoną przez gumę gellan. W temp. 90°C efekt ten był mniejszy, ze względu na mniejszą ilość napęczniałych granulek.

Interakcje skrobi pszennej z hydrokoloidami polisacharydowymi

Funami i wsp. [9] stwierdzili, że dodatek niejonowych polisacharydów (galaktomannanów – guma guarowa, tara i mączka chleba świętojańskiego oraz glukomannanu – guma konjac, w ilości 0,5–1,0% (m/v) do układu skrobi pszennej (13%) powodował obniżenie temperatury kleikowania. Spośród badanych hydrokoloidów guma guarowa

odznaczyła się największym wpływem na obniżenie temperatury podczas kleikowania układu skrobia-hydrokolooid. Przy dodatku galaktomannanów w ilości 1% efekt ten wzrastał w następującej kolejności: guma guarowa > guma tara > mączka chleba świętojańskiego, co było również zgodne ze wzrostem średniej masy cząsteczkowej. Natomiast efektywność wzrostu maksymalnej lepkości, dzięki dodatkowi galaktomannanów do układu, była odwrotnie proporcjonalna do wielkości ich średnich mas cząsteczkowych. Największy wpływ na wzrost lepkości maksymalnej układu miał dodatek mączki chleba świętojańskiego, a najmniejszy gumy guarowej. Autorzy wysuwają hipotezę, że interakcje galaktomannanów z długimi zewnętrznymi łańcuchami amylopektyny podczas ogrzewania, prowadzące do wzrostu maksymalnej lepkości, mogą być spowodowane różnicą w ich strukturalnej kompatybilności. Takie wzajemne oddziaływania powinny ograniczyć ilość wydzielonej amylozy podczas kleikowania przez wzrost lepkości fazy ciągłej, ale nie powinny tworzyć żelu lub uporządkowanej struktury po ochłodzeniu. Galaktomannany powodują efektywne zwiększenie stężenia amylozy w fazie ciągłej, poprzez termiczne zagęszczanie, co prowadzi do przyspieszenia krótkoterminowej retrogracji. Zmniejszają one jednak właściwości żelujące systemu, za co odpowiedzialne jest nie tylko zmniejszenie ilości wypływającej amylozy, ale także uporządkowanie fazowe pomiędzy skrobią i hydrokolooidami. Galaktomannany zapobiegają krystalizacji amylozy i współkrystalizacji amylozy i amylopektyny, co prowadzi do opóźnienia długoterminowej retrogradacji.

Mandala i Bayas [23] badali wpływ dodatku gumy ksantanowej na właściwości skrobi pszennej. Próbkę przygotowywano na dwa różne sposoby. W pierwszym ogrzewano osobno przygotowane wodne roztwory gumy ksantanowej oraz skrobi, a następnie mieszano je ze sobą. W drugim – mieszano skrobię z gumą, dodawano wodę i ogrzewano. Próbkę preparowano w temp. 75 i 90°C oraz w dwóch różnych okresach – 5 i 30 min. Stwierdzono różnice we właściwościach reologicznych badanych układów, na które wpływ miała temperatura i technika sporządzania próbek, jak również rozmiar makrocząsteczek. Dodatek gumy ksantanowej do zawiesiny skrobiowej powodował zwiększenie pęcznienia granул w czasie ogrzewania. Stwierdzono obecność wielu dużych granул, nawet przy względnie niskiej temp. -75°C. Wg autorów amyloza wypływa z granул w czasie ogrzewania, ale w temp. powyżej 80°C jej wypływ wydaje się być zahamowany. Guma ksantanowa koncentruje się wokół napęczniałych granул, powodując zwiększenie sił ścinających i tworzą wraz z amylozą film powlekający powierzchnię napęczniałych granул. Na skutek tego napęczniałe i uszkodzone granule nie mogą podwyższyć stężenia fazy ciągłej. Autorzy twierdzą, że granule są raczej sztywne, a cząsteczki gumy ksantanowej wpływają negatywnie na ich kohezję i całokształt połączenia z matrycą polimerową. Oprócz tego, amyloza nie reaguje z gumą ksantanową w fazie ciągłej, a polimery tworzą wzajemnie wyłączające się fazy.

Interakcje skrobi tapiokowej z hydrokoloidami polisacharydowymi

Chaisawang i Suphantharika [2] zbadali wpływ gumy guarowej oraz ksantanowej na właściwości reologiczne i żelujące natywnej oraz anionowej skrobi tapiokowej za pomocą RVA (ang. Rapid Visco Analyzer – wiskoanalizator do szybkich pomiarów), DSC (ang. Differential Scanning Calorimetry – Różnicowa Kalorymetria Skaningowa), SEM (ang. Scanning Elektron Microscopy – Mikroskopia Elektronowa Skaningowa) oraz pomiarów reologicznych. Wyniki badań przeprowadzone za pomocą RVA wykazały wzrost maksymalnej, minimalnej oraz końcowej lepkości układu skrobia tapiokowa – guma, w porównaniu z kleikiem skrobi bez dodatków. Efekt ten był bardziej widoczny w przypadku zastosowania gumy guarowej aniżeli ksantanowej. W skrobi anionowej guma guarowa powodowała podobne zjawiska, podczas gdy guma ksantanowa (jonowa) – przeciwne. Dodatek gum powodował wzrost temperatury kleikowania obu skrobi. Nastąpił również wzrost siły żelowania skrobi w wysokiej temperaturze, powyżej 80°C. Pomiar dynamiczne wykazały zmniejszenie wartości $\tan \delta$, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosku, że kleiki sporządzone ze skrobi z dodatkiem gum mają charakter bardziej zbliżony do lepkosprężystego ciała stałego aniżeli kleiki skrobi bez dodatków. W pracy stwierdzono także, że guma ksantanowa owija się wokół cząsteczek skrobi natywnej, utrudniając przez to proces pęcznienia jej granul. W układach ze skrobią anionową guma ksantanowa opóźnia proces żelowania. Jest to spowodowane odpychaniem się cząsteczek obu polisacharydów, mających jednakowo ujemnie naładowane cząsteczki. Guma guarowa natomiast nie owija się wokół granul skrobi, pozwalając im swobodnie żelować.

Temsiripong i wsp. [39] zastosowali pomiary reologiczne oraz DSC w celu zbadania efektu dodatku ksyloglukanu na skrobię tapiokową. Stwierdzili, że zżelowana skrobia bez dodatków wykazuje przy niskich szybkościach ścinania przepływ pseudoplastyczny, podczas gdy przy wartościach powyżej 1 s^{-1} , zachowuje się jak płyn dylatancyjny, czego nie obserwuje się w mieszaninie z ksyloglukanem. Pomiar dynamiczne wykazały wzrost modułów magazynowania i stratności podczas przechowywania w temp. 5°C, przy dodatku ksyloglukanu, z drugiej jednak strony nastąpił wzrost retrogradacji. Wyniki te sugerują, że dodatek ksyloglukanu do układu skrobi poprawił stabilność mechaniczną podczas przechowywania, ale przyspieszył ponowne uporządkowanie łańcuchów skrobi, poprzez ograniczenie im ilości wody dostępnej.

Pongsawatmanit i wsp. [24] prowadzili podobne badania właściwości układu skrobia tapiokowa – ksyloglukan, lecz w obecności sacharozy. Stwierdzili, że dodatek sacharozy opóźnił proces żelowania mieszaniny, prowadząc do wzrostu maksymalnej oraz końcowej lepkości układu. Nastąpił również wzrost krótkoterminowej retrogradacji oraz wzmocnienie właściwości elastycznych łańcuchów, tworzących sieć układu skrobia tapiokowa – ksyloglukan.

Interakcje skrobi ryżowej z hydrokoloidami polisacharydowymi

Yoo i wsp. [41] zbadali reologiczne właściwości mieszanin skrobi ryżowej z galaktomannanami. W tym celu sporządzali 5% (m/m) kleiki skrobiowe z dodatkiem gumy guarowej oraz mączki chleba świętojańskiego (MCS), w stężeniach (0,2; 0,4; 0,6 i 0,8%, m/m). Wykonali pomiary dynamiczne oraz ścinające. Na podstawie dokonanych analiz stwierdzono, że badane układy mają pseudoplastyczną naturę oraz granicę płynięcia. Mieszanina skrobi ryżowej z gumą guarową miała wyższy stopień pseudoplastyczności w stosunku do układu skrobienia – MCS. Różnice wynikały ze struktury badanych galaktomannanów. Gumę guarową tworzy szkielet składający się z cząsteczek mannanu z naprzemianległymi łańcuchami galaktozowymi, które skutecznie ograniczają tworzenie się wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych. Dzięki takiemu ułożeniu cząsteczka występuje w formie rozciągniętej, a to ułatwia interakcje z cząsteczkami amylozy, poprzez niekowalencyjne wiązania wodorowe. Natomiast mączka chleba świętojańskiego składa się z cząsteczek mannanu tworzących łańcuch główny oraz z łańcuchów galaktozowych, przyłączonych w mniej uporządkowany sposób niż ma to miejsce w gumie guarowej. Dodatkowo łańcuchy galaktozowe w MCS mają tendencję do łączenia się między sobą poprzez wiązania wodorowe. Utrudnia to interakcje z liniową amylozą z powodu ograniczonej liczby dostępnych grup hydroksylowych. Badania dynamiczne dostarczyły informacji odnośnie modułu magazynowania, stratności oraz lepkości zespolonej. Wszystkie parametry zależały od stężenia galaktomannanów w mieszaninie i wzrastały wraz ze wzrostem stężenia hydrokoloidów w układzie. Na podstawie uzyskanych pomiarów stwierdzono, że uzyskane układy mają właściwości słabych żeli.

Dalsze badania układów skrobienia ryżowa – galaktomannany prowadzili Kim i wsp. [18]. Naukowcy ci zbadali właściwości reologiczne omawianych układów podczas starzenia się. Wykonali pomiary oscylacyjne 5% kleików w temp. 4°C, w ciągu 10 godz. Wartość modułu magazynowania, G' układu skrobienia – MCS wzrosła wraz ze wzrostem stężenia galaktomannanu w mieszaninie. Podobne wyniki uzyskali w układach skrobienia – GG. Zaobserwowano również różnice w module G' oraz $\tan \delta$, przed i po starzeniu się kleiku, bardziej widoczne w mieszaninie skrobienia – MCS. Moduł magazynowania G' kleiku po starzeniu się był znacznie większy niż przed, podczas gdy w wartościach modułu stratności G'' nie zanotowano znaczących różnic. Uzyskane wyniki wykazały, że właściwości sprężyste żeli po starzeniu się były większe niż przed starzeniem, co tłumaczono wzrostem stężenia skrobi w fazie ciągłej.

Song i wsp. [38] badali pęcznienie i kleikowanie skrobi ryżowej (5%) z dodatkiem nieskrobiowych hydrokoloidów, takich jak: guma gellan, guarowa, ksantanowa, arabska i EPS-CB (egzopolisacharyd z bakterii *Sphingomonas chungbukensis*), o stężeniu 0,05–0,2%. Stwierdzili, że ogólnie dodatek hydrokoloidów zmniejszał siłę pęcznienia zawiesin skrobi ryżowej, przy niskich stężeniach hydrokoloidu (0–0,05%), ale

siła pęcznienia mieszanin skrobia ryżowa – hydrokolooid zwiększała się w miarę wzrostu stężenia hydrokolooidu (0,05 - 0,1%) z powodu mniej efektywnego odwirowywania z medium o wzrastającej lepkości. Hydrokoloidy zwiększały lepkość zawiesin skrobi ryżowej, natomiast EPS-CB zmniejszał ten parametr. Zdaniem autorów, dodatek hydrokolooidów o niskim stężeniu nie miał wpływu na retrogradację skrobi ryżowej.

Nowe możliwości zastosowania skrobi z nieskrobiowymi hydrokoloidami polisacharydowymi w przemyśle spożywczym

W pracy Sikory i wsp. [28] zbadano możliwości zastosowania mieszanych układów skrobi ziemniaczanej i kukurydzianej z dodatkiem gumy ksantanowej do zagęszczania sosów kakaowych. Sosy te otrzymały dobre oceny sensoryczne, porównywalne do ocen sosów handlowych. Stwierdzono, że kombinacje skrobi kukurydzianej i ziemniaczanej z gumą ksantanową nadają się do zagęszczania i nadawania tekstury sosom kakaowym. Wszystkie sosy wykazywały właściwości pseudoplastyczne, nienewtonowskie oraz tiksotropowe, uzależnione od rodzaju i ilości zastosowanych zagęstników oraz od ich wzajemnej proporcji.

Możliwości zastosowania m.in. kombinacji skrobi ziemniaczanej i owsianej z gumą ksantanową do zagęszczania sosów słodko-kwaśnych oraz sosów słodko-kwaśnych z dodatkiem warzyw badali Sikora i wsp. [30]. Stwierdzono, że sosy słodko-kwaśne tracą swoje właściwości sensoryczne podczas długotrwałego przechowywania (6 miesięcy). Parametry teksturalne i reologiczne sosów słodko-kwaśnych kształtowały się podczas przechowywania podobnie, jak parametry analizy sensorycznej. Podczas przechowywania nie stwierdzono rozwoju mikroflory w badanych sosach.

Gibiński i wsp. [10] zbadali wpływ różnych kombinacji i stężenia hydrokolooidów na właściwości reologiczne, teksturalne oraz sensoryczne słodko-kwaśnych sosów. W tym celu zastosowano następujące układy: skrobia owsiana – hydrolizat owsa – guma ksantanowa, skrobia owsiana – hydrolizat owsa, hydrolizat owsa – guma ksantanowa oraz skrobia ziemniaczana – guma ksantanowa. Stwierdzono, że spośród mieszanin trójskładnikowy układ zagęszczający skrobia owsiana – hydrolizat owsa – guma ksantanowa wykazał największy wpływ na stabilność sosów podczas przechowywania. Badane układy nie wpłynęły znacząco na właściwości sensoryczne sosów, niemniej jednak zauważono, że układ zagęszczający skrobi owsianej z gumą ksantanową spotkał się z najmniejszą akceptacją konsumentką. Ponadto odnotowano wzrost siły penetracji, adhezyjności oraz twardości sosów podczas pięciomiesięcznego przechowywania. Przeprowadzone badania dowiodły skuteczności stosowania powyższych układów jako zagęstników sosów słodko-kwaśnych.

Kao i Lin [16] badali jakość parówek o zredukowanej zawartości tłuszczu, w których pewną ilość tłuszczu zastąpiono mieszaniną skrobi ziemniaczanej z domieszką gumy konjac. Właściwości reologiczne układu określono przeprowadzając pomiary

dynamiczne. Podczas pomiaru z zastosowaniem przemiatań częstotliwością wykazano, że przy jednakowym stężeniu gumy konjac, zwiększenie poziomu skrobi ziemniaczanej spowodowało zmniejszenie wartości modułu magazynowania oraz modułu stratności mieszanki, prowadząc tym samym do większej elastyczności uzyskanych żeli.

Sikora i wsp. [37] zbadali wpływ układu skrobia – guma ksantanowa na właściwości zagęszczające sosów truskawkowych. W tym celu przygotowano kombinacje różnych skrobi (ziemniaczanej, kukurydzianej oraz owsianej) z gumą ksantanową. W badanych sosach zastosowano różne stężenia hydrokoloidów, a pomiary wykonano bezpośrednio po przygotowaniu produktów oraz po trzech miesiącach przechowywania. Przeprowadzono pomiary tekstury, reologiczne oraz sensoryczne. Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono, że mieszanina skrobi z gumą ksantanową stanowi dobry zagęstnik sosów truskawkowych, utrzymując ich właściwości sensoryczne i teksturalne na stałym poziomie podczas przechowywania. Spośród badanych układów skrobia owsiana z gumą ksantanową wykazały najbardziej stabilne właściwości podczas całego okresu przechowywania, jednak pod względem sensorycznym największą akceptację konsumentów uzyskał sos zawierający skrobię ziemniaczaną z 0,12% domieszką gumy ksantanowej.

Praca Sikory i wsp. [34] traktuje o optymalizacji dodatku skrobi kukurydzianej z gumą ksantanową do zagęszczania sosów kakaowych. W tym celu zbadano sensoryczne, teksturalne i reologiczne właściwości sosów kakaowych, zagęszczanych kombinacjami skrobi kukurydzianej, w ilości 0,3–0,5% (m/m), z gumą ksantanową, w ilości 0,05–0,3% (m/m). W wyniku obliczeń matematycznych stwierdzono, że optymalne ilości skrobi kukurydzianej, potrzebnej do zagęszczania sosów kakaowych, zawarte są w przedziale 0,45–0,49% (m/m), natomiast gumy ksantanowej – w przedziale 0,15–0,17% (m/m).

Gibiński i wsp. [11] badali przydatność skrobi owsianej z gumą ksantanową oraz skrobi owsianej, hydrolizatu owsianego z gumą ksantanową do nadawania tekstury i struktury majonezom. Stwierdzono, że zastosowane kombinacje hydrokoloidów nadawały się do otrzymywania majonezów o odpowiednich cechach sensorycznych, teksturalnych i reologicznych. Ponadto stwierdzono, że dzięki zastosowaniu kombinacji hydrokoloidów polisacharydowych można zredukować zawartość tłuszczu w majonezach o około 23%.

Sikora i wsp. [31] na podstawie przeglądu literatury podali możliwości zastosowania m.in. hydrokoloidów polisacharydowych do otrzymywania sosów spożywczych, majonezów i dressingów sałatkowych. Uwzględniono właściwości fizyczne i chemiczne oraz zastosowanie omawianych produktów. Opisano także szczegółowo systemy zagęszczające, zwłaszcza otrzymane za pomocą kombinacji hydrokoloidów polisacharydowych. Zwrócono baczną uwagę na aspekty mikrobiologiczne sosów i przedysku-

towano czynniki wpływające na aktywność mikrobiologiczną w omawianych sosach. Zwrócono także uwagę na aspekty jakościowe i zdrowotne sosów, opisując możliwości ich kontroli i monitorowania. Podano także trendy badawcze oraz zasugerowano nowe możliwości rozwijania badań w omawianym zakresie.

Zjawiska zachodzące w mieszaninach skrobia – hydrokoloidy nieskrobiowe

Wang i wsp. [40] stwierdzają, że skrobia kukurydziana i guma ksantanowa przyciągają się wzajemnie, ale nie wykazują efektu synergizmu.

Mandala i Palogou [22] dowodzą, że cząsteczki amylozy w fazie ciągłej łączą się ze sobą tworząc sieć. Cały układ, tzn. sieć utworzona przez cząsteczki amylozy oraz znajdujące się między jej strukturami fragmenty granul skrobiowych tworzą żel. Guma ksantanowa przyspiesza tworzenie się żelu, a jej wpływ na reologię układu jest pośredni. Otaczając cienkim filmem powoduje ona „wyłączenie” (exclusion) granul skrobiowych, przeszkadzając w dyfuzji makrocząstek amylozy do fazy ciągłej. Jej wpływ na układ skrobi opisano jako czasowo niezależny, co miało oznaczać, że ani nie wpływała na umocnienie, ani też nie przeszkadzała w tworzeniu się sieci amylozowej. Wzmocnienie struktur żelowych w czasie 24-godzinnego badania przypisywano separacji mikrofazowej i wzrostowi stężenia w każdej wydzielonej fazie, w której interakcje makrocząstek tego samego typu są preferowane.

Mandala i Bayas [23] twierdzą, że na różnice we właściwościach reologicznych mieszanych układów wywiera wpływ temperatura i technika sporządzania próbek, jak również rozmiar makrocząstek. Dodatek gumy ksantanowej do zawiesiny skrobiowej powoduje zwiększenie pęcznienia granul w czasie ogrzewania, nawet przy względnie niskiej temp. -75°C . Wg autorów amyloza wypływa z granul w czasie ogrzewania, ale w temp. powyżej 80°C jej wypływ wydaje się być zahamowany. Guma ksantanowa koncentruje się wokół napęczniałych granul, powodując zwiększenie sił ścinających i tworząc wraz z amylozą film powlekający powierzchnię napęczniałych granul. Na skutek tego napęczniałe i uszkodzone granule nie mogą zwiększyć stężenia fazy ciągłej. Autorzy twierdzą, że granule są raczej sztywne, a cząsteczki gumy ksantanowej wpływają negatywnie na ich kohezję i całokształt połączenia z matrycą polimerową. Oprócz tego, zdaniem autorów, amyloza nie reaguje z gumą ksantanową w fazie ciągłej, a polimery tworzą wzajemnie wyłączające się fazy.

Funami i wsp. [7] objaśniają wzajemne oddziaływanie gumy guarowej na skrobię kukurydzianą konformacyjnie prostą strukturą łańcucha amylozy, biorącej udział w interakcjach z gumą gurową. Autorzy ci twierdzą również, że guma guarowa o dłuższych łańcuchach (M_w powyżej 10×10^5 g/mol) bierze udział w interakcjach z amylopektyną i tego rodzaju oddziaływania są tym mocniejsze, im dłuższy jest łańcuch gumy guarowej. Oddziaływania między gumą guarową i amylozą mogą mieć wpływ, zdaniem autorów artykułu, na wzrost temperatury początku kleikowania skrobi kukury-

dzianej, natomiast oddziaływania między gumą guarową i amylopektyną – na wzrost maksimum lepkości podczas kleikowania. Inne interakcje gumy guarowej ze skrobią, takie jak efekt zagęszczania, zwiększający efektywne stężenie systemu, wpływają także na kleikowanie skrobi. Wg tych samych autorów, guma guarowa o względnie niskiej masie cząsteczkowej promuje długoterminową retrogradację skrobi kukurydzianej [8].

Funami i wsp. [9] twierdzą, że efektywność wzrostu lepkości maksymalnej podczas kleikowania, dzięki dodatkowi galaktomannanów do układu, jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości ich średnich mas cząsteczkowych. Największy wpływ na wzrost lepkości maksymalnej układu ma dodatek mączki chleba świętojańskiego, a najmniejszy gumy guarowej. Wg autorów, interakcje galaktomannanów z długimi zewnętrznymi łańcuchami amylopektyny podczas ogrzewania, prowadzące do wzrostu maksymalnej lepkości, mogą być spowodowane różnicą w ich strukturalnej kompatybilności. Takie wzajemne oddziaływania ograniczają ilość wydzielonej amylozy podczas kleikowania przez wzrost lepkości fazy ciągłej, ale nie prowadzą do tworzenia żelu lub uporządkowanej struktury po ochłodzeniu. Galaktomannany powodują efektywne zwiększenie stężenia amylozy w fazie ciągłej, co prowadzi do przyspieszenia krótkoterminowej retrogradacji. Zmniejszają one jednak właściwości żelujące systemu, co spowodowane jest nie tylko zmniejszeniem ilości wypływającej amylozy, ale także uporządkowaniem fazowym, pomiędzy skrobią i hydrokoloidami. Dodatek galaktomannanów przeciwdziała krystalizacji amylozy i współkrystalizacji amylozy i amylopektyny, co prowadzi do opóźnienia długoterminowej retrogradacji.

Temsiripong i wsp. [39] sugerują, że dodatek ksyloglukanu do układu skrobi poprawia stabilność mechaniczną podczas przechowywania, ale przyspiesza ponowne uporządkowanie łańcuchów skrobi, poprzez ograniczenie im ilości wody dostępnej.

Yoo i wsp. [41] tłumaczą, że mieszanina skrobi ryżowej z gumą guarową (GG) jest bardziej pseudoplastyczna, w stosunku do układu skrobia – mączka chleba świętojańskiego (MCS). Różnice wynikają ze struktury badanych galaktomannanów. Gumę guarową tworzy szkielet składający się z cząsteczek mannanu, z naprzemianległymi łańcuchami galaktozowymi, które skutecznie ograniczają tworzenie się wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych. Dzięki takiemu ułożeniu cząsteczka GG występuje w formie rozciągniętej, a to ułatwia interakcje z cząsteczkami amylozy, poprzez niekwalencyjne wiązania wodorowe. Natomiast MCS składa się z cząsteczek mannanu, tworzących łańcuch główny oraz z łańcuchów galaktozowych, przyłączonych w mniej uporządkowany sposób niż ma to miejsce w cząsteczce GG. Dodatkowo łańcuchy galaktozowe w MCS mają tendencje do łączenia się między sobą poprzez wiązania wodorowe. Utrudnia to interakcje z liniową amylozą z powodu ograniczonej liczby dostępnych grup hydroksylowych.

Właściwości sprężyste mieszanych układów zależą od temperatury przygotowania kleików. W niższej temperaturze kleikowania, większy wpływ na właściwości lepko-sprężyste mieszaniny wywierają napęczniałe granule skrobi, które wzmacniają sieć utworzoną przez gumę gellan. W wyższej temperaturze efekt ten jest mniejszy, ze względu na mniejszą objętość napęczniałych granul [25].

Chaisawang i Suphantharika [2] uważają, że guma ksantanowa owija się wokół granul skrobi, utrudniając przez to proces ich pęcznienia. W układach ze skrobią anionową guma ksantanowa opóźnia proces kleikowania. Jest to spowodowane odpychaniem się obu polisacharydów, zawierających jednakowo ujemnie naładowane cząsteczki. Guma guarowa natomiast nie owija się wokół granul skrobi, pozwalając im swobodnie kleikować.

Zdaniem Songa i wsp. [38], dodatek hydrokolidów, o niewielkim stężeniu nie wywiera wpływu na retrogradację skrobi ryżowej.

Khanna i Tester [17], objaśniając wpływ mączki konjac na właściwości skrobi, przypisali go „efektowi sekwestrującemu” (sequestering effect). Polegać on miał na otaczaniu i izolowaniu granul skrobiowych cząsteczkami hydrokoloidu, a tym samym na izolowaniu ich i ograniczaniu dostępu cząsteczek wody do granul, co miało wywierać bezpośredni wpływ na proces kleikowania. Autorzy stwierdzili także, że mączka konjac wywierała istotny wpływ na opóźnienie procesu długoterminowej retrogradacji skrobi.

Baranowska i wsp. [1] oraz Sikora i wsp. [32] stwierdzili, że kleikowanie skrobi w wodnych roztworach hydrokolidów w pierwszej kolejności wywołuje zmiany w konformacji polisacharydów, które zachodzą do momentu osiągnięcia punktu żelowania, a następnie tworzy się sieć żelowa. Przebieg kleikowania i następującego po nim żelowania uzależniony jest od dostępności cząsteczek wody. Dostępność tych cząsteczek zależy z kolei od właściwości poszczególnych hydrokolidów do ich zatrzymywania, od zmian konformacyjnych i od inhibicji żelowania, będącej wynikiem interakcji, pomiędzy hydrokolidami i granulami skrobiowymi.

Pongsawatmanit i wsp. [24] twierdzą, że dodatek sacharozy opóźnia proces żelowania mieszanych układów skrobi z hydrokoloidem, prowadząc do wzrostu maksymalnej oraz końcowej lepkości układu. Powoduje również wzrost krótkoterminowej retrogradacji oraz wzmocnienie właściwości elastycznych łańcuchów, tworzących sieć układu skrobienia tapiokowa – ksyloglukan.

Badania Kowalskiego i wsp. [19] dotyczące tworzenia się żeli w 5% (m/m) układach skrobi ziemniaczanej, tapiokowej, kukurydzianej i owsianej, z dodatkiem 0,05 i 0,2% (m/m) gum roślinnych, takich jak: arabska, carob, guarowa, karaja, ksantanowa i κ -karagen, wyjaśniają reguły kierujące właściwościami reologicznymi otrzymanych żeli. Stwierdzono, że unikanie separacji fazowej jest podstawową zasadą prowadzącą do otrzymania żeli o dużej lepkości. W tym celu reagentem skrobi anionowej (ziem-

niaczanej) powinien być niejonowy hydrokolid (guma guarowa, mączka chleba świętojańskiego), ewentualnie hydrokolid o niskiej masie cząsteczkowej i/lub wysokiej polidispersyjności (guma karaja). Skrobie niejonowe (tapiokowa, kukurydziana, owsiana) tworzą mocne żele z hydrokoloidami niezależnie od tego, czy są one anionowe, czy neutralne. Stwierdzono również, że zazwyczaj gumy: arabska, ksantanowa i κ -karagen tworzą ze skrobiami słabsze żele. Amyloza i wyjątkowo duża zawartość lipidów w skrobi (np. w skrobi owsianej) wywierają także duży wpływ na właściwości żeli mieszanych. Dodatek gum roślinnych do skrobi powodował redukcję elastyczności takich żeli.

W pracy Sikory i wsp. [33] stwierdzono, że guma ksantanowa dodana do skrobi ziemniaczanej, tapiokowej, kukurydzianej i owsianej, powodowała brak dostępnych cząsteczek wody w środowisku kleikowanych granul skrobiowych, co było przyczyną zakłóceń w kleikowaniu skrobi. Brak kompatybilności termodynamicznej pomiędzy gumą ksantanową a skrobiami dodatkowo komplikował charakterystykę kleikowania, a właściwości żeli mieszanych uzależnione były od ich składu jakościowego i ilościowego.

W innej pracy [32] zauważono, że mieszaniny skrobi kukurydzianej z gumą guarową i/lub karagenem wykazywały ujemne wartości pola powierzchni histerezy, co według autorów mogło być spowodowane tworzeniem się struktur indukowanych ściśnięciem.

Podsumowanie – czynniki wpływające na właściwości mieszanin skrobia – hydrokoloidy nieskrobiowe

Na podstawie badań literaturowych można stwierdzić, że czynnikami decydującymi o właściwościach otrzymanych mieszanin skrobia z nieskrobiowymi hydrokoloidami są: wzajemne proporcje hydrokoloidów w mieszaninie, temperatura przygotowywania próbek, sposób przygotowywania próbek (w tym: kolejność rozpuszczania hydrokoloidów, oddziaływanie mechaniczne np. prędkość obrotów mieszadła oraz czas i sposób kleikowania skrobi), dostępność cząsteczek wody w mieszanym układzie, struktura morfologiczna hydrokoloidów, botaniczne pochodzenie (siła pęcznienia granul skrobiowych), elektrostatyczne oddziaływania granul skrobiowych z cząsteczkami hydrokoloidów, pH środowiska, rodzaj rozpuszczalnika, wpływ dodatku soli oraz cukrów.

Z przedstawionego przeglądu wynika, że główne zjawiska tłumaczące zachowanie się hydrokoloidów w wodnych mieszaninach ze skrobią to brak kompatybilności pomiędzy poszczególnymi hydrokoloidami, zjawiska zachodzące na granicy faz, czyli otaczanie napęczniałych granul skrobiowych przez wielkocząsteczkowe hydrokoloidy i inhibicja dalszego pęcznienia oraz wypływanie amylozy z granul.

Literatura

- [1] Baranowska H. M., Sikora M., Kowalski S., Tomasik P.: Interactions of potato starch with selected polysaccharide hydrocolloids as measured by low-field NMR. *Food Hydrocolloid*, (praca przyjęta do druku, 2006).
- [2] Chaisawang M., Supphantharika M.: Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 2006, **20**, 641-649.
- [3] Eidam D., Kulicke W.-M., Kuhn K., Stute R.: Formation of maize starch gels selectively regulated by the addition of hydrocolloids. *Starch*, 1995, **47**, 378-384.
- [4] Fernandes P.B., Goncalves M.P., Doublier J.L.: Influence of locust bean gum on the rheological properties of kappa-carrageenan system in the vicinity of the gel point. *Carbohydr. Polym.*, 1993, **22**, 99-106.
- [5] Fiedorowicz M., Kapuśniak J., Karolczyk-Kostuch S., Khachatryan G., Kowalski S., Para A., Sikora M., Staroszczyk H., Szymońska J., Tomasik P.: Selected novel materials from polysaccharides. *Polimery*, 2006, **51**, 7-8, 517-523.
- [6] Funami T., Kataoka Y., Omoto T., Goto Y., Asai I., Nishinari K.: Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 2005, **19**, 1-13.
- [7] Funami T., Kataoka Y., Omoto T., Goto Y., Asai I., Nishinari K.: Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. 2a. Functions of guar gums with different molecular weights on the gelatinization behavior of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 2005, **19**, 15-24.
- [8] Funami T., Kataoka Y., Omoto T., Goto Y., Asai I., Nishinari K.: Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. 2b. Functions of guar gums with different molecular weights on the retrogradation behavior of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 2005, **19**, 25-36.
- [9] Funami T., Kataoka Y., Omoto T., Goto Y., Asai I., Nishinari K.: Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 2005, **20**, 1-13.
- [10] Gibiński M., Kowalski S., Sady M., Krawontka J., Tomasik P., Sikora M.: Thickening of sweet and sour sauces with various polysaccharide combinations. *J. Food Eng.*, 2005, **75**, 407-414.
- [11] Gibiński M., S. Kowalski, M. Sady, M. Sikora, *Starch: Recent Achievements In Understanding of Structure and Functionality*. Chapter 16. Application of Hydrocolloids and Oat Hydrolysate in Mayonnaise Production. Nova Science Publishers, Inc., New York, Ed. by V.P.Yuryev, P.Tomasik and E.Bertoft, 2007, pp. 291-304.
- [12] Glicksman M., Sand R.E., Ali R.A., Staub H.W., Pettitt D.J., Sandford P.A.: *Food Hydrocolloids*, vol. 1. Ed. by M. Glicksman, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1982.
- [13] Glicksman M., King A.H.: *Food Hydrocolloids* vol. 2. Ed. by M. Glicksman, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1983.
- [14] Glicksman M., *Food Hydrocolloids*, vol. 3. Ed. by M. Glicksman, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1986.
- [15] Jimenez-Avalos H.A., Ramos-Ramirez E.G., Salazar-Montoya J.A.: Viscoelastic characterization of gum arabic and maize starch mixture using the Maxwell model. *Carbohydr. Polym.*, 2005, **62**, 11-18.
- [16] Kao W.T., Lin K.W.: Quality of reduced-fat frankfurter modified by konjac-starch mixed gels. *J. Food Sci.*, 2006, **71** (4), 326-332.
- [17] Khanna S., Tester R.F.: Influence of purified konjac glucomannan on the gelatinization and retrogradation properties of maize and potato starches. *Food Hydrocolloids*, 2006, **20**, 567-576.
- [18] Kim C., Lee S-P., Yoo B.: Dynamic rheology of rice starch – galactomannan mixtures in the aging process. *Starch/Stärke*, 2006, **58**, 35-43.
- [19] Kowalski S., Sikora M., Tomasik P., Krystyjan M.: Composite starch – polysaccharide hydrocolloid gels. *Polimery* (praca przyjęta do druku, 2007).
- [20] Krüger A., Ferraro C., Zartzy N.E.: Modelling corn starch swelling in batch systems: effect of sucrose and hydrocolloids. *J. Food Eng.*, 2003, **58**, 125-133.

- [21] Lai V.M.-F., Huang A.-L., Lii C.-Y.: Rheological properties and phase transition of red algal polysaccharide–starch composites. *Food Hydrocolloids*, 1999, **13**, 409–418.
- [22] Mandala I.G., Palogou E.D.: Effect of preparation conditions and starch/xanthan concentration on gelation process of potato starch system. *Inter. J. Food Prop.*, 2003, **6 (2)**, 311–328.
- [23] Mandala I.G., Bayas E.: Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, 2004, **18**, 191–201.
- [24] Pongsawatmanit R., Temsiripong T., Suwonsichon T.: Thermal and rheological properties of tapioca starch and xyloglucan mixtures in the presence of sucrose. *Food Res. Inter.*, 2007, **40**, 239–248.
- [25] Rodriguez-Hernandez A.I.: Durand S., Garnier C., Tecante A., Doublier J.L., Rheology-structure properties of waxy maize starch–gellan mixtures. *Food Hydrocolloids*, 2006, **20**, 1223–1230.
- [26] Rutkowski A., Gwiazda S., Dąbrowski K.: Dodatki funkcjonalne do żywności. *Agro & Food Technology*, Katowice 1993.
- [27] Shi X., BeMiller J.N.: Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydr. Polym.*, **50**, 2002, 7–18.
- [28] Sikora M., Juszcak L., Sady M., Krawontka J.: Use of starch/xanthan gum combinations as thickeners of cocoa syrups. *Nahrung/Food*, 2003, **47 (2)**, 106–113.
- [29] Sikora M., Kowalski S., Interakcje skrobi różnego pochodzenia botanicznego z hydrokoloidami polisacharydowymi. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2003, **1 (34)** Supl., 40–55.
- [30] Sikora M., Sady M., Krawontka J., Ptaszek P., Kowalski S.: Starch: From Starch Containing Sources to Isolation of Starches and Their Applications. *Nova Science Publishers, Inc., New York*, Ed. by V.P.Yuryev, P.Tomasik and H.Ruck, 2004, pp. 125–141, 143–156.
- [31] Sikora M., Badrie N., Deisingh A. K., Kowalski S.: Sauces and Dressings: A Review of Properties and Applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, (praca przyjęta do druku, 2006).
- [32] Sikora M., Baranowska H. M., Kowalski S., Tomasik P.: Starch: Progress in basic and applied science. Chapter 23, *Properties of Potato Starch – Plant Gum Gels*. Polish Society of Food Technologists, Malopolska Branch, Eds. P. Tomasik, V.P.Yuriev, E. Bertoft, 2007, pp. 307–317.
- [33] Sikora M., Kowalski S., Krystyan M., Krawontka J., Sady M.: Optimization of corn starch / xanthan gum content for thickening of cocoa syrups. *J. Food Quality*. (praca przyjęta do druku, 2007).
- [34] Sikora M., Kowalski S., Tomasik P., Sady M.: Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch-xanthan gum combinations. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 1144–1151.
- [35] Sikora M., Kowalski S., Tomasik P.: Binary hydrocolloids from starches and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, (praca przyjęta do druku, 2007).
- [36] Sikora M., Kowalski S.: Starch: Recent Achievements in Understanding of Structure and Functionality. Chapter 5. *Polysaccharide – polysaccharide hydrocolloids interactions*. Nova Science Publishers, Inc., New York, Ed. by V.P.Yuryev, P.Tomasik and E.Bertoft, 2007, pp. 107–126.
- [37] Sikora M., Kowalski S., Tomasik P.: Starch: Recent Achievements in Understanding of Structure and Functionality. Chapter 15. *Interactions of Cereal Starches with Selected Polysaccharide Hydrocolloids*. Nova Science Publishers, Inc., New York, Ed. by V.P.Yuryev, P.Tomasik and E.Bertoft, 2007, pp. 277–290.
- [38] Song J.-Y., Kwon J.-Y., Choi J., Kim Y.-C., Shin M.: Pasting properties of non-waxy rice starch – hydrocolloid mixtures. *Starch/Stärke*, 2006, **58**, 223–230.
- [39] Temsiripong T., Pongsawatmanit R., Ikeda S., Nishinari K.: Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch. *Food Hydrocolloids*, 2005, **19**, 1054–1063.
- [40] Wang F., Sun Z., Wang Y.-J.: Study of xanthan gum/waxy corn starch interaction in solution by viscometry. *Food Hydrocolloids*, 2001, **15**, 575–581.
- [41] Yoo D., Kim C., Yoo B.: Steady and dynamic shear rheology of rice starch – galactomannan mixtures. *Starch/Stärke*, 2005, **57**, 310–318.

**INTERACTIONS BETWEEN STARCH FROM DIFFERENT BOTANICAL SOURCES
AND NON-STARCHY HYDROCOLLOIDS****S u m m a r y**

The objective of this paper was to update the state of knowledge of interactions between starch and non-starchy hydrocolloids as presented in the quarterly "Żywność" (Food) 2003, 1 (34) Supl. In this paper, the issues are emphasised, which refer to the potential options offered by the analysis, and some application aspects of blended starch – hydrocolloid systems in food industry are pointed out.

Key words: starch, non-starchy hydrocolloids, interactions, rheology ☒

University of Agriculture, Cracow
Polish Food Technologists' Society – Małopolska Branch
Committee of Food Technology and Chemistry of Polish Academy of Sciences
Russian Academy of Sciences, Institute of Biochemical Physics
Division of Storage and Processing of Farming Stuff of Russian Academy
of Agricultural Sciences
All-Russia Institute of Starch Products
Association of Russian Starch and Glucose Manufactures

**XVI INTERNATIONAL STARCH CONVENTION
CRACOW-MOSCOW****Cracow, June 17-21, 2008****Kontakt:**

mgr Joanna Opalińska-Piskorz
Sekretarz XVI Międzynarodowej Konferencji Skrobiowej
Katedra Chemii, Akademia Rolnicza
31-149 Kraków, ul. Balicka 122
e-mail: joa111@wp.pl