

WIKTOR BERSKI**ANNA PTASZEK¹****PAWEŁ PTASZEK¹****BOHDAN ACHREMOWICZ**

Katedra Technologii Węglowodanów

¹ Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego

Akademia Rolnicza w Krakowie

Porównanie wybranych właściwości natywnej i częściowo odtłuszczonej skrobi owsa odmiany Akt*

Comparison of some properties of native and partially defatted starch of oat cultivar Akt

Skrobia owsiana w porównaniu ze skrobią innych roślin charakteryzuje się wysoką zawartością lipidów, które w istotny sposób wpływają na jej właściwości. Celem pracy było określenie właściwości skrobi wyodrębnionej z nagiej odmiany owsa Akt. By określić wpływ tłuszczu skrobie poddano procesowi odtłuszczenia, którego warunki tak dobrano by zminimalizować wpływ na właściwości skrobi. W celu określenia zmian właściwości fizykochemicznych, w badanych skrobiach (natywnej i odtłuszczonej) oznaczono: zawartość amylozy, lipidów oraz fosforu; scharakteryzowano rozpuszczalność i zdolność wiązania wody oraz oceniono zdolność kleikowania i rozkład ziarnistości. Wykonano też badanie oscylacyjne oraz jakościowy test pętli histerezy oraz przeprowadzono termodynamiczną charakterystykę kleikowania (DSC). Odtłuszczenie skrobi owsianej doprowadziło do wzrostu pozornej zawartości amylozy i przeciętnej średnicy ziaren, oraz zmniejszenia ilości związków fosforowych i lipidów. Zaobserwowano też wzrost zdolności wiązania wody oraz rozpuszczalności, obniżenie entalpii kleikowania i poszerzenie zakresu temperatur piku przemiany. Ponadto nastąpiło obniżenie temperatury kleikowania wodnej zawiesiny skrobi odtłuszczonej oraz jej lepkości. Kleik sporządzony ze skrobi owsianej odtłuszczonej charakteryzował się niższymi wartościami zespolonego modułu sprężystości niż kleik skrobi natywnej, przy zachowaniu zbliżonego przebiegu odpowiednich krzywych. Zmiany te świadczą o częściowym uszkodzeniu struktury ziarna w trakcie odtłuszczenia.

Słowa kluczowe: odtłuszczenie, skrobia owsiana, właściwości fizyko-chemiczne

Oat starch, compared to the starches of other plants, is characterized by a high content of lipids, which strongly determines its properties. The aim of this work was to evaluate the properties of starch isolated from Polish naked oat cultivar Akt. In order to assess a role of lipids in determining starch

* Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych jako projekt badawczy 3 P06T 00124

properties, the starch was subjected to the fat removal process. Special conditions were set to minimize harmful effects of the process upon a grain structure. Both, the native oat starch and the defatted starch were analyzed for their amylose, lipids and phosphorus content. Moreover, water binding capacity (WBC) and solubility as well as pasting ability and granules size distribution were characterized. In addition, oscillatory and hysteresis loop tests were carried out, and gelatinization parameters were determined using a differential scanning calorimetry (DSC) method. The removal of fat effected in the increase in granules size and apparent amylose content as well as in the decrease in lipids and phosphorus content. Also, the increase both in WBC and solubility, and the decrease in gelation enthalpy and broadening of enthalpy peak were observed. Moreover, the decrease in gelatinization temperature and viscosity parameters was recorded. Starch gel prepared from the defatted starch was characterized by lower values of loss and storage modules, but shapes of curves were similar to those obtained with gel prepared using the native starch. These changes indicate the partial destruction of starch granules structure in the process of fat removal.

Key words: defatting, oat starch, physico-chemical properties

WSTĘP

Wzrastające zapotrzebowanie na skrobię jest przesłanką do poszukiwania nowych źródeł tego surowca (Tomasik i Gładkowski, 2001). Pochodzenie botaniczne skrobi będzie determinować jej właściwości, zarówno fizyczne jak i chemiczne. Skrobia owsiana swoimi właściwościami znacznie odbiega od innych, produkowanych na masową skalę skrobi, takich jak kukurydziana, pszenna czy ziemniaczana. Jej ziarna często występują w skupiskach, natomiast tworzące je pojedyncze ziarna charakteryzują się niewielkimi i mało zróżnicowanymi rozmiarami. Cechą, którą odróżnia ją od innych skrobi jest wysoka zawartość lipidów skrobiowych, które to w znaczny stopniu wpływają na jej właściwości. Inną cechą jest występowanie tzw. frakcji pośredniej, czyli materiału o właściwościach łączących cechy zarówno amylozy jak i amylopektyny (Pałasiński, 1994; Zhou i in., 1998; Tester i in., 2004).

O ile można dotrzeć do licznych zagranicznych publikacji poświęconych skrobi owsianej, to wiedza dotycząca skrobi z polskich odmian owsa jest dość skąpa (Pałasiński i Gibiński, 1991; Gibiński, 1992; Gibiński i in., 1993; Pałasiński, 1994). Chęć wzbogacenia stosunkowo ubogiej wiedzy na temat właściwości skrobi wyizolowanej z polskich odmian owsa skłoniła autorów do podjęcia tych badań.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiła natywna oraz odtłuszczona skrobia owsiana. Skrobia natywna została wyizolowana z nagej odmiany owsa Akt, pochodzącego z stacji doświadczalnej w Strzelcach, z uprawy w 2002 roku. Opierając się o wyniki wcześniejszych badań (Gibiński, 1992) do izolacji skrobi posłużono się metodyką opracowaną przez Patona (1997). By móc określić wpływ lipidów obecnych w ziarnie skrobi na jej właściwości, część uprzednio wyizolowanej skrobi poddano procesowi odtłuszczenia stosując ekstrakcję „na zimno” (Gibiński i in., 1993). Było to podyktowane chęcią spowodowania jak najmniejszych zmian w strukturze ziarna. Tak więc materiałem badawczym stanowiły skrobia owsiana oraz odtłuszczona skrobia owsiana.

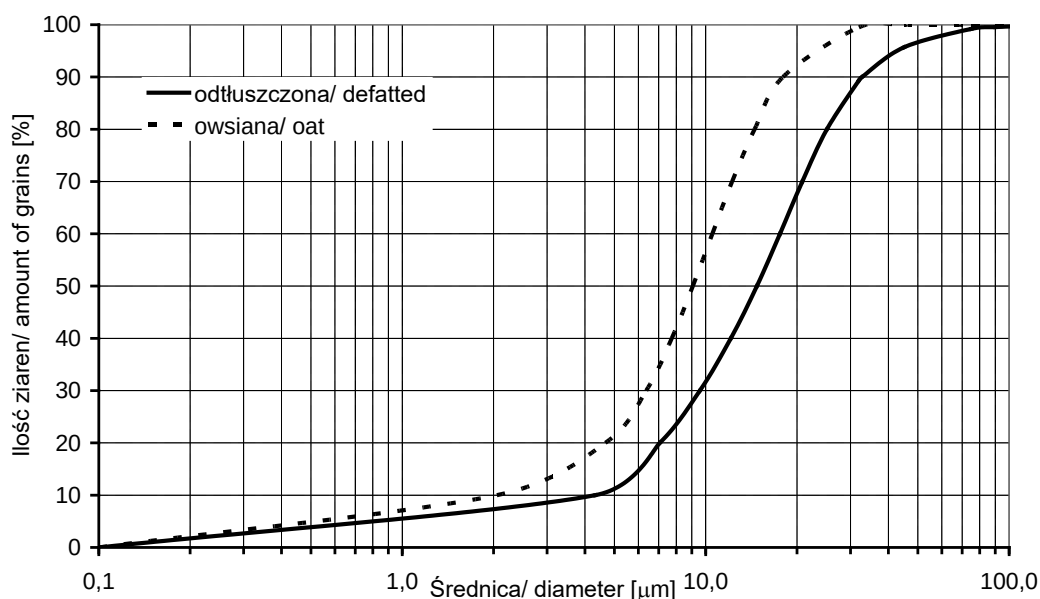
Materiał badawczy został podany następującym analizom:

- rozkład wielkości ziaren przy pomocy laserowego miernika wielkości Analysette 22 firmy Fritsch,
- zawartości amylozy pozornej (Morrison i Laignelet, 1983),
- zawartości lipidów metodą ekstrakcyjno-wagową Soxhlet'a (Richter i in., 1969),
- zawartości fosforu całkowitego wg Marsha (1959),
- zdolności wiązania wody oraz rozpuszczalności w temperaturze 60, 80 i 95°C (Richter i in., 1969),
- termodynamicznej charakterystyki kleikowania skrobi, które oznaczono za pomocą różnicowego kalorymetru skaningowego firmy Shimadzu DSC-60. Próbkę o masie 5 mg umieszczano w naczyniach kalorymetrycznych, następnie dodawano do nich wodę w ilości 10 mg i po zamknięciu pozostawiano na 2 godziny celem nawilżenia. Następnie próbki ogrzewano w kalorymetrze w zakresie temperatur 20°C–115°C z szybkością wzrostu temperatury 10°C/min. Jako próbę odniesienia stosowano puste, identyczne naczynie kalorymetryczne. Z termogramów kleikowania skrobi oznaczono temperaturę (°C) początku reakcji (T_r), temperaturę pikę (T_p), temperaturę zakończenia reakcji (T_k) oraz entalpię przemiany ΔH (J/g) odniesioną do masy skrobi,
- wyznaczeniu charakterystyki kleikowania 8,5% wodnych zawiesin skrobi przy pomocy Rheotestu 2 (Gambuś i Nowotna, 1992),
- jakościowemu testowi pętli histerezy, który wykonano przy użyciu reometru RheoStress RS 1500 firmy Haake, z układem pomiarowym stanowiącym walec w cylindrze (układ współosiowy), natomiast w przypadku kleików skrobi odtłuszczonych zastosowano układ pomiarowy stożek-płytkę (układ stożek-płytkę został zastosowany z uwagi na niewielką ilość materiału badawczego). Badania przeprowadzono na 5% wodnych kleikach skrobiowych w temperaturze 20°C. Zarówno wzrost szybkości (w przedziale 0–600 1/s), jak i jej zmniejszenie do wartości 0 1/s realizowano w czasie 10 min. Dla otrzymanych wyników wykreślono tzw. „pętle histerezy”. Do ramion pętli dopasowano model reologiczny Ostwalda de Waele (Steffe, 1996). Na podstawie znajomości wartości powierzchni zawartej pomiędzy „górnym” a „dolnym” ramieniem pętli histerezy określono strumień energii wymieniony pomiędzy próbką a środowiskiem,
- oscylacyjnym badaniom zespolonego modułu lepkości liniowej, które wykonano za pomocą reometru RheoStress RS 1500 firmy Haake, z układem pomiarowym stanowiącym walec w cylindrze (układ współosiowy), natomiast w przypadku kleików skrobi odtłuszczonych zastosowano układ pomiarowy stożek — płytkę. Badania przeprowadzono na 5% wodnych kleikach skrobiowych po schłodzeniu i relaksacji próbki w temperaturze 20°C. Badania prowadziło w zakresie częstotliwości do 0,01 do 10 Hz.

Ocenę statystyczną wyników (Łomnicki, 2003) wykonano wykorzystując program komputerowy Microsoft Excel 2002 XP. Analiza statystyczna obejmowała analizę wariancji. Jej celem było wykazanie istnienia różnic między średnimi (test Duncana). Obliczenia wykonano przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Rozkład wielkości ziaren skrobi owsianej przedstawiono na rysunku 1. Zarówno skrobia owsiana jak i odtłuszczona są skrobiami drobnoziarnistymi — 10% ich populacji ma średnice odpowiednio do 2 i 4 μm , 50% populacji odpowiednio 9 i 15 μm , 90% ma średnicę odpowiednio poniżej 20 oraz powyżej 30 μm . Podobne wartości dotyczące ziarnistości skrobi polskiego owsa przedstawili inni autorzy (Gibiński i in., 1993; Pałasiński, 1994). Wielkości te są również zbliżone do danych prezentowanych przez innych autorów (Gudmundsson i Eliasson, 1989; Hoover i in., 2003). Jak można zauważyć proces odtłuszczania spowodował wzrost średnicy ziaren skrobi. Jest to prawdopodobnie spowodowane zlepianiem się pojedynczych ziarenek skrobi przez pozostałości rozpuszczalnika, czy też przez wydostającą się z ziarenek amylozę.



Rys. 1. Rozkład wielkości ziaren skrobi owsianej wyjściowej oraz odtłuszczzonej
Fig. 1. Granules size distribution of native and defatted oat starch

W tabeli 1 przedstawiono wyniki chemicznych analiz skrobi owsianej. Zawartość amylozy w znaczący sposób wpływa na właściwości skrobi (Zobel, 1998). Po odtłuszczeniu stwierdzono istotny wzrost zawartości amylozy, co było spowodowane usunięciem lipidów z wnętrza helisy amylozy, dzięki czemu większa jej ilość jest dostępna i może zostać oznaczona kolorymetrycznie (Morrison i in., 1993; Shamekh i in., 1994; Buleon i in., 1998). Badania Morrisona i wsp. (1993) określiły, że około 33% amylozy owsianej występuje w postaci kompleksu amylozowo-lipidowego. Według danych literaturowych zawartość amylozy w skrobi owsianej waha się pomiędzy 19 a 33%

(Hartunian-Sowa i White, 1992; Hoover i Senanayake, 1996; Hoover i in., 2003). Zawartość amylozy w badanych skrobiach zbożowych okazała się być niższa niż wartości podawane w literaturze, co jest prawdopodobnie spowodowane zróżnicowanymi właściwościami materiału pochodzenia roślinnego i/lub zastosowaniem różnych metod oznaczania amylozy.

Tabela 1

Zawartość amylozy pozornej, fosforu całkowitego oraz lipidów w skrobi owsianej
Apparent amylose, total phosphorus and lipids contents in oat starch

	Owsiana — Oat	Odłuszczona — Defatted
Amyloza — amylose (%)	12,6	16,3
Lipidy — lipids (%)	1,36	0,80
Fosfor — phosphorus (mg%P)	95,3	86,6

Lipidy występują w skrobiach zbożowych w ilościach nieprzekraczających zwykle 1%. Skrobia owsiana jest szczególnie zasobna w ten składnik. Obecność lipidów wpływa na właściwości skrobi, gdyż kompleksy lipidowo-amylozowe utrudniają pęcznienie ziaren, opóźniają i utrudniają powstawanie kleiku (Morrison, 1988; Zhou i in., 1998). W badanej skrobi stwierdzono 1,36% lipidów, a po odłuszczeniu wartość ta spadła do 0,80% (tab. 1). Oznaczona zawartość tłuszczu w skrobi owsianej jest zgodna z danymi podawanymi przez licznych autorów (Gibiński i in., 1993; Hoover i Senanayake, 1996; Tester i Karkalas, 1996; Hoover i in., 2003). Zdecydowanie wyższe wartości podali jednak Gudmundsson i Eliasson (1989) 1,8–2,3% oraz Hartunian-Sowa i White (1992) 2,1–2,5%. Zastosowana metoda odłuszczenia „na zimno” spowodowała obniżenie zawartości tłuszczu o około 40%, co jest zbliżone do uzyskanej przez Gibińskiego i wsp. (1993) czy Fortunę i wsp. (1999). W zależności od wyboru metody ilość usuniętego tłuszczu może wynosić nawet ponad 90% jego początkowej ilości (Gambuś i Nowotna, 1992; Gibiński i in., 1993; Fortuna i Pałasiński, 1994; Gambuś i in., 1996).

Zawartość fosforu w skrobi natywnej wynosiła powyżej 95 mg% (tab. 1). Jest ona wyższa niż podawana przez Gibińskiego i wsp. (1993) czy Patona (1977) 60–70 mg%, ale też niższa od wartości oznaczonych przez Hartunian-Sowa i White (1992) 150–190 mg%. Odłuszczenie owsa spowodowało obniżenie zawartości fosforu w skrobi owsianej o około 10%, co jest zgodne z danymi Gibińskiego i wsp. (1993). Ponieważ większość fosforu w skrobiach zbożowych jest związana w postaci fosfolipidów, to zmniejszenie jego ilości może być traktowane jako wskaźnik odłuszczenia (Morrison, 1988). Ilość usuniętego fosforu jest uzależniona od zastosowanej metody, ostrzejsze warunki spowodują większe jego usunięcie (Gambuś i Nowotna, 1992; Gibiński i in., 1993; Fortuna i Pałasiński, 1994; Gambuś i in., 1996; Fortuna i in., 1999).

Odłuszczona skrobia owsiana charakteryzuje się większą zdolnością wiązania wody niż skrobia owsiana natywna (tab. 2) różnica ta maleje wraz ze wzrostem temperatury oznaczania. Niewielkie wartości zdolności wiązania wody osiągane przez skrobie owsiane mają związek z obecnością w nich lipidów, które utrudniają pęcznienie ziaren (Nowotny, 1969). Zdolność wiązania wody przez skrobie owsianą okazała się zgodna z danymi podanymi przez Fortunę i wsp. (1999) oraz Fortunę i Juszczaka (2000). Usunięcie tłuszczu

umożliwiło głębszą penetrację ziaren skrobi przez wodę, co doprowadziło do wzrostu zdolności wiązania wody. Podobne wyniki otrzymali dla skrobi owsianej Shamekh i wsp. (1994) oraz Fortuna i wsp. (1999). Wyraźny wzrost zdolności wiązania wody na skutek odtłuszczenia skrobi zaobserwowali Gambuś i wsp. (1996). Jednakże w badaniach prowadzonych nad odtłuszczonej skrobią pszenżytnią (Gambuś i Nowotna, 1992) stwierdzono, że w wyższym zakresie temperatur odtłuszczone skrobia niektórych odmian pszenżyta charakteryzowała się mniejszą zdolnością wiązania wody niż skrobia nieodtłuszczonej.

Rozpuszczalność skrobi owsianej (tab. 2) była niższa od tej podawanej w literaturze (Pałasiński, 1994; Shamekh i in., 1994; Fortuna i in., 1999). Odtłuszczenie skrobi owsianej spowodowało wzrost jej rozpuszczalności. Zjawisko to zaobserwował również Shamekh i wsp. (1994) oraz Fortuna i wsp. (1999). Także w przypadku skrobi pszenżytniej usunięcie lipidów spowodowało wzrost jej rozpuszczalności w stosunku do skrobi wyjściowej (Gambuś i Nowotna, 1992; Gambuś i in., 1996).

Tabela 2

Zdolność wiązania wody (ZWW) oraz rozpuszczalność skrobi owsianych
Water binding capacity (WBC) and solubility of oat starches

	ZWW (g/g sm)/ WBC (g/g db)			Rozpuszczalność — Solubility (%)		
	60°C	80°C	90°C	60°C	80°C	90°C
Owsiana — oat	3,3	5,5	6,0	0,7	1,1	1,6
Odtłuszczonej — defatted	5,8	6,5	6,8	4,7	5,1	6,3

Wartość entalpii kleikowania wyjściowej skrobi owsianej (tab. 3) była nieznacznie mniejsza od wartości podanych w literaturze (10–13 J/g), natomiast temperatury wystąpienia piku mieściły się w zakresie podawanym przez różnych autorów (Shamekh i in., 1994; Wang i White, 1994; Hoover i in., 2003). Hoover i Senanayake (1996) otrzymali podobne wartości entalpii kleikowania: 8,4 i 5,9 J/g. Wartości entalpii kleikowania dla skrobi owsianej są niższe niż dla skrobi innych zbóż, co może sugerować mniejsze uporządkowanie struktury krystalicznej niż w innych skrobiach zbożowych (Zhou i in., 1998). Gudmundsson i Eliasson (1989) przeprowadzili badania nad kleikowaniem skrobi owsianej przy różnych poziomach zawartości wody (75, 60 i 45%). Temperatury kleikowania skrobi zmieniały się wraz z zawartością wody, przy czym najwyższą entalpie kleikowania odnotowano przy zawartości wody 60%. Jak wynika z tabeli 3 proces odtłuszczenia doprowadził do prawie dwukrotnego zwiększenia różnicy pomiędzy temperaturą początku a zakończenia piku przemiany (ΔT), obniżenia temperatury początku kleikowania oraz do znacznego obniżenia entalpii kleikowania w porównaniu do skrobi natywnej. Zmiany te świadczą o uszkodzeniu struktury ziarna oraz potwierdzają wcześniejsze badania (Shamekh i in., 1994). Badania Forsella i wsp. (1995) na odtłuszczonej skrobi jęczmiennej wykazały zmniejszenie entalpii kleikowania i wzrost temperatury piku przemiany po odtłuszczeniu. Obniżenie entalpii kleikowania na skutek odtłuszczenia jest spowodowane uszkodzeniem struktury ziarna (pęcznieniem) w trakcie tego procesu (Forsell i in., 1995).

Tabela 3

Termodynamiczna charakterystyka kleikowania badanych skrobi
Thermodynamic characteristics of oat starch gelatinization

	Temperatura przejścia — Transition temperature (°C)				ΔH (J/g)
	T_r	T_p	T_k	ΔT	
Owsiana — oat	58,0	62,6 ^a	69,5 ^a	11,5	8,2
Odtłuszczone — defatted	49,6	62,8 ^a	71,0 ^a	21,4	3,3

T_r , T_p i T_k to odpowiednio temperatura rozpoczęcia, piku oraz końca kleikowania

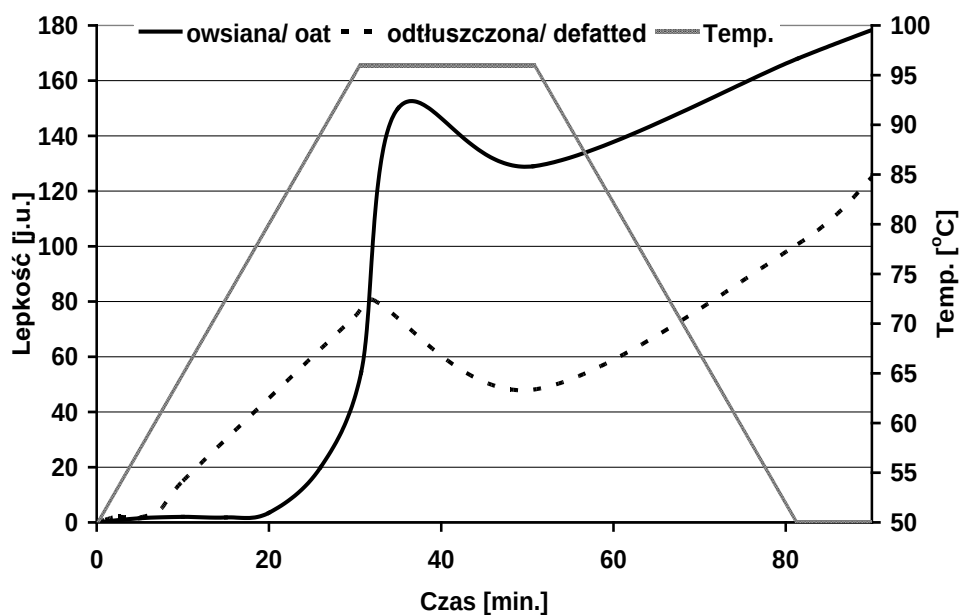
T_r , T_p and T_k indicate the temperature of the onset, midpoint and end of gelatinization, respectively

$\Delta T = T_k - T_r$

ΔH — entalpia kleikowania/ gelatinization enthalpy

Wartości oznaczone tą samą literą w kolumnie nie różnią się istotnie ($P < 0,05$)

Values marked with the same superscript in each column are not significantly different ($P < 0.05$)

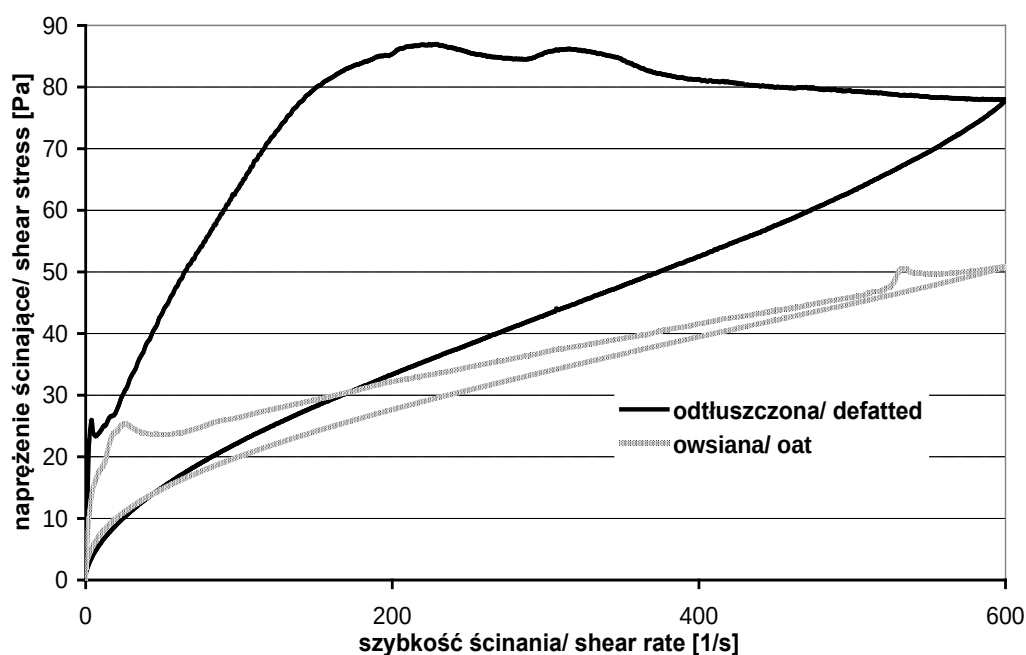


Rys. 2. Charakterystyka kleikowania skrobi owsianych
Fig. 2. Oat starch pasting characteristics

Charakterystyki kleikowania badanych skrobi przedstawiono na rysunku 2. Kleikowanie skrobi owsianej nastąpiło w zakresie temperatur podawanym przez licznych autorów (Gibiński in., 1993; Pałasiński, 1994; Wang i White, 1994; Mua i Jackson, 1995; Hoover i Senanyake, 1996; Hoover i in., 2003). Odtłuszczenie skrobi owsianej spowodowało obniżenie temperatury kleikowania, co potwierdza wcześniejsze badania (Fortuna i in., 1999). Również badania prowadzone na innych rodzajach skrobi zbożowych (Gambuś i Nowotna, 1992; Fortuna i Pałasiński, 1994; Gambuś i in., 1996) wskazują na obniżenie temperatury kleikowania odtłuszczonej skrobi. Odtłuszczenie skrobi owsianej spowodowało również obniżenie wskaźników lepkości w stosunku do skrobi wyjściowej, co

potwierdza wyniki wcześniejszych badań (Gibiński i in., 1993; Fortuna i in., 1999). Usunięcie lipidów powierzchniowych ze skrobi owsianej, a tym samym ułatwienie migracji amylozy do roztworu przyczynia się do obniżenia temperatury kleikowania (Gibiński i in., 1993). Yoo i Jane (2002) w swoich badaniach przeprowadzonych na zwykłych i woskowych skrobiach zbożowych wykazali, że skrobie zawierające lipidy lub fosfolipidy charakteryzują się wyższą temperaturą kleikowania oraz niższą lepkością kleiku, co nie znalazło całkowitego potwierdzenia w wynikach niniejszych badań.

Na rysunku 3 oraz w tabeli 4 przedstawiono przebieg pętli jakościowego testu histerezy oraz parametry odpowiadające jej modelu Ostwalda de Waele. Skrobia natywna i odtłuszczona charakteryzowały się zróżnicowanym zachowaniem reologicznym, co przejawiało się odmiennym kształtem pętli histerezy, jak i różnymi wartościami jej pola powierzchni, czy też osiąganymi wartościami naprężenia ścinającego (τ). Jak można zauważyć (rys. 3) usunięcie lipidów doprowadziło do wzrostu wartości τ , jak i wzrostu wartości pola powierzchni histerezy (tab. 4). Doszło też do zmniejszenia wartości współczynnika konsystencji K, natomiast wykładnik potęgowy n zwiększył swą wartość. W kleiku skrobi owsianej występowały wyraźne lokalne maksima τ przy niskich i wysokich wartościach szybkości ścinania, zaś po odtłuszczeniu skrobi nie zaobserwowano ich, co świadczy o zmianie struktury kleiku.



Rys. 3. Pętla jakościowego testu histerezy oznaczona dla badanych skrobi
Fig. 3. Hysteresis loop of the investigated oat starches

Tabela 4

Parametry reologicznego modelu Ostwald'a de Waele dla badanych skrobi
Parameters of Ostwald de Waele rheological model for the investigated starches

Skrobia Starch		Parametry modelu Model parameters			Strumień energii Energy flux Q_H (W/m ³)
		K (Pa·s ⁿ)	n	R^2	
Owsiana* — oat*	↑	4,605	0,370	0,988	2381
	↓	1,881	0,510	0,998	
Odtłuszczona — defatted	↑	26,170	0,192	0,827	19286
	↓	0,840	0,695	0,996	

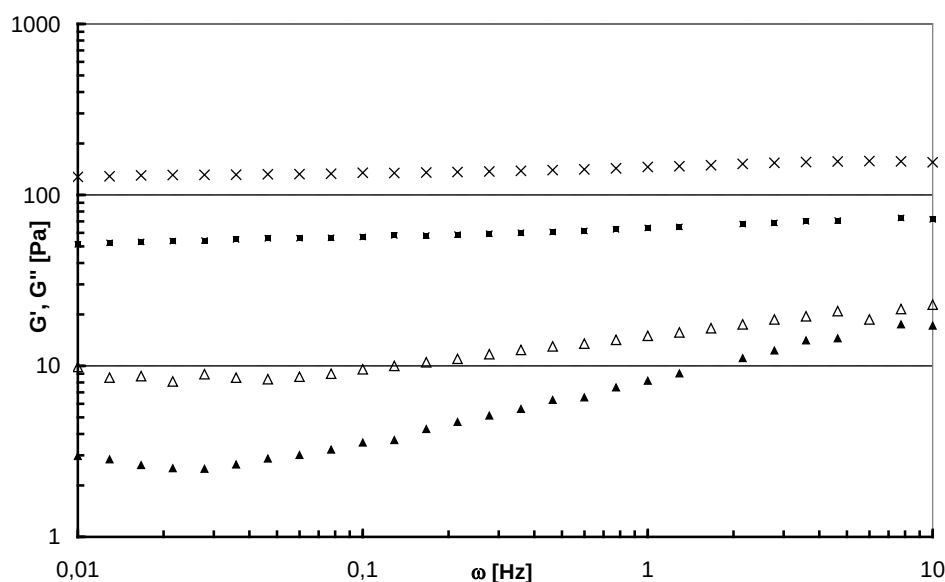
*Parametry równania dla krzywej w „górze” wyliczono dla zakresu szybkości ścinania 50–550 1/s

*Parameters of upper arm of hysteresis loop were calculated for shear rates of 50–550 1/s

↑ Oznacza wzrastającą szybkość ścinania, ↓ Oznacza malejącą szybkość ścinania

↑ Top arm of hysteresis loop, ↓ Bottom arm of hysteresis loop

Na rysunku 4 przedstawiono moduł sprężystości G' i moduł stratności G'' . W przypadku kleiku skrobi owsianej wartości G' ponad dziesięciokrotnie przewyższają wartości G'' . Pozwala to stwierdzić, że kleik znajduje się w tzw. strefie równowagi, co świadczy o powstaniu żelu i sieciowaniu jego struktury. Definicja silnego żelu określa, że część rzeczywista modułu G' musi być niezależna od częstotliwości, a wartość G'' znacznie mniejsza od G' (Kavanagh i Ross-Murphy, 1998).



Rys. 4. Część rzeczywista G' (×) i urojona G'' (Δ) zespolonego modułu sprężystości zmierzona dla kleiku natywnej skrobi owsianej (odpowiednio × i Δ) oraz odtłuszczonej skrobi owsianej (odpowiednio ■ i ▲)

Fig. 4. Storage G' (×) and loss G'' (Δ) moduli for oat starch paste (× and Δ respectively) and for defatted oat starch (■ and ▲ respectively)

Stała wartość G' wskazuje, że występuje niewielka relaksacja i żel zachowuje się jak elastyczne ciało stałe (Harrison i in., 1999). Wartość G' jest niezależna od częstotliwości, natomiast G'' zmienia się. Wartość G'' w funkcji ω ma słabo zauważalne minimum przy częstotliwościach pomiędzy 0,02 a 0,03 Hz. Wartość G'' jest aż do 10-krotnie mniejsza od wartości G' . Można więc powiedzieć, że kleik skrobi owsianej wykazuje charakter lepkosprężysty. Kleik sporządzony ze skrobi owsianej odtłuszczonej charakteryzował się niższymi wartościami G' i G'' zespolonego modułu sprężystości w porównaniu do kleiku skrobi owsianej (rys. 4). Jednakże charakter przebiegu odpowiednich krzywych był zbliżony. Można więc założyć, że tłuszcz obecny wewnątrz helis amylozy przyczynia się do wzmocnienia (usztynienia) struktury sieci przestrzennej żelu. Odtłuszczenie powoduje usunięcie czynnika stabilizującego, jakim są łańcuchy kwasów tłuszczowych, a przez to sztywność żelu maleje. Założenie to zdają się potwierdzać wyniki oznaczania charakterystyki kleikowania.

PODSUMOWANIE

Odtłuszczenie skrobi owsianej doprowadziło do wzrostu wielkości ziaren. Spowodowało też zmniejszenie ilości związków lipidowych (fosfolipidów), czemu towarzyszy wzrost zdolności wiązania wody oraz rozpuszczalności. Obniżeniu uległa entalpia kleikowania, zaś zakres temperatur piku przemiany uległ rozszerzeniu. Ponadto obniżono temperaturę kleikowania wodnej suspensji skrobi odtłuszczonej oraz jej lepkości. Zmiany te świadczą o częściowym zniszczeniu struktury ziarna skrobi. W kleiku sporządzonym ze skrobi odtłuszczonej zaobserwowano wyższą wartość naprężenia ścinającego oraz większe pole powierzchni histerezy. Ponadto charakteryzował się on niższymi wartościami zespolonego modułu sprężystości niż kleik z natywnej skrobi owsianej, przy zachowaniu zbliżonego przebiegu odpowiednich krzywych.

LITERATURA

- Buleon A., Colonna P., Planchot V., Ball S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *Intern. J. Biol. Macromol.* 23: 85 — 112.
- Forsell P., Hamunen A., Autio K., Suorti T., Poutanen K. 1995. Hypochlorite oxidation of barley and potato starch. *Starch/Stärke* 47: 371 — 377.
- Fortuna T., Juszcak L. 2000. Wybrane właściwości skrobi różnego pochodzenia. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, 367: 39 — 50.
- Fortuna T., Juszcak L., Pałasiński M. 1999. Physico-chemical properties of defatted starches. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 49: 177 — 184.
- Fortuna T., Pałasiński M. 1994. Właściwości fosforanów dwuskrobiowych otrzymanych z odtłuszczonych skrobi zbożowych. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, 6: 67 — 75.
- Gambuś H., Gutterch R., Nowotna A., Praznik W. 1996. Physico-chemical properties of defatted triticale starch. *Żywność. Technologia. Jakość*. 2: 158 — 164.
- Gambuś H., Nowotna A. 1992. Physicochemical properties of defatted triticale starch. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 42: 101 — 107.
- Gibiński M. 1992. Funkcjonalne właściwości skrobi owsianej. Porównanie różnych metod wyosabniania skrobi. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie* 274: 33 — 43.
- Gibiński M., Pałasiński M., Tomasik P. 1993. Physicochemical properties of defatted oat starch. *Starch/Stärke*, 45: 354 — 357.

- Gudmundsson M., Eliasson A. C. 1989. Some physico-chemical properties of oat starches extracted from varieties with different oil content. *Acta Agric Scand.* 39: 101 — 111.
- Harrison G., Franks G. V., Tirtaatmadja V., Boger D. V. 1998. Suspensions and polymers — Common links in rheology. *Korea-Australia Rheology Journal* 11: 197 — 218.
- Hartunian-Sowa M., White P. J. 1992. Characterization of starch isolated from oat grain with different amount of lipid. *Cereal Chemistry*, 69: 521 — 527.
- Hoover R., Senanayake S. P. J. N. 1996. Composition and physicochemical properties of oat starches. *Food Research International* 29 (1): 15 — 25.
- Hoover R., Smith C., Zhou Y., Ratnayake R. M. W. S. 2003. Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrate Polymers* 52: 253 — 261.
- Kavanagh G. M., Ross-Murphy S. B. 1998. Rheological characterization of polymer gel. *Prog. Polym. Sci.* 23: 533 — 562.
- Łomnicki A. 2003. Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. PWN, Warszawa.
- Marsh B. B. 1959. The estimation of inorganic phosphate in the presence of adenosine triphosphate. *Biochem. Biophys. Acta* 32: 357.
- Morrison W. R. 1988. Lipids in cereal starches: a review. *J. Cereal Sci.* 8: 1 — 15.
- Morrison W. R., Laignelet B. 1983. An improved calorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *J. Cereal Sci.* 1: 9 — 20.
- Morrison W. R., Law R. V., Snape C. E. 1993. Evidence for inclusion complexes of lipids with V-amylose in maize, rice and oat starches, *J. Cereal Sci.* 18: 107 — 109.
- Mua J. P., Jackson D. S. 1995. Gelatinization and solubility properties of commercial oat starches. *Starch/Stärke* 47: 2 — 7.
- Nowotny F. (red.). 1969. Skrobia. WNT, Warszawa.
- Pałasiński 1994 Właściwości skrobi różnego pochodzenia. *Postępy Nauk Rolniczych* 3: 47 — 59.
- Pałasiński M., Gibiński M. 1991. Untersuchungen über die Stärke aus polnischen Hafersorten. *Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Köthen*, 2 (4): 45 — 52.
- Paton D. 1977. Oat starch I. Extraction, purification and pasting properties. *Starch/Stärke* 29: 149 — 153.
- Richter M., Augustat S., Schierbaum F. 1969. *Ausgewählte Methoden der Stärkchemie*. VEB, Fachbuchverlag, Leipzig.
- Shamekh S., Forssell P., Poutanen K. 1994. Solubility pattern and recrystallization behaviour of oat starch. *Starch/Stärke*, 46: 129 — 133.
- Steffe J. M. 1996. *Rheological methods in food process engineering*. Freeman Press, Lansing MI, USA.
- Tester R. F., Karkalas J. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 73: 271 — 277.
- Tester R. F., Karkalas J., Qi X. 2004. Starch — composition, fine structure and architecture. *J. Cereal Sci.* 39: 151 — 16.
- Tomasik P., Gładkowski J. 2001. Polisacharydy a ekonomia XXI wieku. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 2: 17 — 27.
- Wang L. Z., White P. J. 1994. Functional properties of oat starches and relationships among functional and structural characteristics. *Cereal Chemistry* 71: 451 — 458.
- Yoo S. H., Jane J. 2002. Structural and physical characteristics of waxy and other wheat starches. *Carbohydr. Polym.* 49: 297 — 305.
- Zhou M., Robards K., Glennie-Holmes M., Helliwell S. 1998. Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chem.* 75: 273 — 281.
- Zobel H. F. 1988. Molecules to granules: a comprehensive starch review. *Starch/Stärke* 40 (2): 44 — 50.