

WIKTOR BERSKI

## WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE SKROBI WYZOŁOWANYCH Z POLSKICH ODMIAN I RODÓW OWSA NAGOZIARNISTEGO

### Streszczenie

Skrobia owsiana swoimi właściwościami znacznie odbiega od innych, produkowanych przemysłowo gatunków skrobi. Charakteryzuje się niewielkimi rozmiarami ziarenek oraz wysoką zawartością substancji lipidowych, co w znacznym stopniu determinuje jej właściwości.

Celem podjętych badań było określenie wybranych właściwości fizykochemicznych skrobi wyizolowanych z polskich odmian owsa nagoziarnistego. Określono wielkość ziaren (wykorzystując do tego celu mikroskop optyczny oraz program do analizy obrazu), zawartość amylozy oraz lipidów, zdolność wiązania wody i rozpuszczalność oraz charakterystykę kleikowania 5 % wodnych zawiesin.

Wielkość ziarenek skrobiowych mieściła się w przedziale 1,3 - 13,4  $\mu\text{m}$ , a przeciętna średnica wyniosła 6,4  $\mu\text{m}$ . Średnia zawartość lipidów w badanych skrobiach to 1,26 %, a amylozy 15,66 %. Przebadane skrobie charakteryzowały się małą wodochłonnością i małą rozpuszczalnością oraz nietypowym przebiegiem charakterystyki kleikowania.

**Słowa kluczowe:** skrobia owsiana, mikroskopia, analiza obrazu, rozkład wielkości ziaren

### Wprowadzenie

Zboża są uprawiane we wszystkich strefach klimatycznych, stając się podstawą żywienia ludzkości już od czasów prehistorycznych. Ponadto są paszą dla zwierząt, a także cennych surowcem przemysłowym. Ich wielkie znaczenie powodowane jest gromadzeniem dużych ilości substancji odżywczych w nasionach, zwanych popularnie ziarnami. Skrobia jest głównym materiałem zapasowym gromadzonym w ziarniakach. Jej zawartość waha się w zakresie 45 - 60 %, co jest ilością mniejszą niż w innych zbożach, przez co znaczenia nabierają lipidy i białka. Synteza lipidów zaczyna się w bardzo wczesnym okresie formowania ziarniaka. Z kolei synteza skrobi oraz białek rozpoczyna się niewiele później, ale w przeciwieństwie do tłuszczu trwa przez znacz-

nie dłuższy czas [1]. Spośród różnych rodzajów skrobi znanych człowiekowi skrobia owsiana nie wzbudza wielkiego zainteresowania, co jest spowodowane niewielką skalą jej produkcji. Jednakże odznacza się dość nietypowymi właściwościami, jak: niewielka dwójłomność, duża zawartość tłuszczu, nietypowe zachowanie reologiczne, mała skłonność do retrogradacji, oraz występowanie tzw. frakcji pośredniej, czyli glukanów wykazujących cechy typowe zarówno dla amylozy, jak i amylopektyny [3, 6, 8, 16, 22, 23, 24]. Duży wpływ na właściwości skrobi mają obecne w niej lipidy, tworzące z amylozą kompleksy inkluzyjne [14, 23], które są odpowiedzialne za zmniejszoną zdolność pęcznienia ziarenek oraz obniżoną rozpuszczalność skrobi w wodzie. Powoduje to opóźnione kleikowanie oraz utrudnia tworzenie żelu [24]. Ponadto skrobia owsiana cechuje się niewielkimi rozmiarami pojedynczych ziarenek, które zawierają się w przedziale 2 - 15  $\mu\text{m}$ . Mają one nieregularny kształt, co jest spowodowane rozwojem w tzw. gronach, których rozmiary dochodzą od 20 do 150  $\mu\text{m}$ , a rozwój poszczególnych ziarenek jest ograniczony brakiem miejsca [9, 24].

Wzrost zainteresowania, a tym samym zapotrzebowania na  $\beta$ -glukany doprowadził do uruchomienia produkcji preparatów tych związków. Ziarno owsa jest jednym z podstawowych surowców, z których są one pozyskiwane. Powstająca przy okazji mąka owsiana może zostać wykorzystana jako surowiec do otrzymywania skrobi.

Celem podjętych badań było określenie wybranych właściwości fizykochemicznych skrobi wyizolowanych z ziarniaków nagich form owsa.

### **Material i metody badań**

Do badań użyto skrobie owsiane wyizolowane z owsa nagoziarnistego odmian: Akt, Cacko, Polar oraz rodów: STH 865, STH 1009, STH 1011 oraz STH 1027 pochodzących ze Stacji Hodowli Roślin w Strzelcach, z uprawy w 2006 roku.

Ziarniaki rozdrabniano przy użyciu młynka laboratoryjnego Cyclotec 1093 firmy Foss Tecator. Wyosobnienia skrobi dokonywano metodą opracowaną przez Patona [17]. Otrzymaną skrobię suszono, mielono i przesiewano przez sito o średnicy oczek 0,125 mm.

W przygotowanym materiale oznaczano:

- przeciętną wielkość ziaren oraz rozkład wielkości ziaren za pomocą mikroskopu optycznego zaopatrzonego w kamerę (VEM – Video Enhanced Microscopy). Do badań wykorzystano mikroskop Studar PZO Warszawa zaopatrzony w kamerę firmy GKB model CC 8706S. Obraz z kamery był przekazywany do komputera zaopatrzonego w kartę telewizyjną oraz oprogramowanie umożliwiające przejmowanie obrazu, i przekształcanie go do formatu pliku graficznego, na którym wykonywano dalsze analizy. Pomiaru wielkości ziarenek skrobi dokonywano za pomocą niekomercyjnego oprogramowania do analizy obrazu ImageJ (wersja 3.17). Prze-

- ciętną średnicę ziarenek skrobi ustalano na podstawie pomiarów przynajmniej 100 obiektów [8]. Minimalna liczba obiektów niezbędna do sporządzenia rozkładu wielkości cząsteczek została ustalona na poziomie 500 [21];
- zawartość amylozy pozornej metodą spektrofotometryczną z jodem [13];
  - zawartość lipidów metodą ekstrakcyjno-wagową Soxhleta [18],
  - zdolność wiązania wody oraz rozpuszczalność w temp.: 60, 80, 90 i 95 °C [19],
  - charakterystykę kleikowania wodnych zawiesin skrobiowych – za pomocą reometru rotacyjnego Rheo Stress RS1500 firmy Haake. Zastosowano współosiowy układ pomiarowy cylinder – mieszadło łopatkowe (ST 40). Mieszadło obracało się z szybkością 75 obr./min. Zastosowano następujący profil temperaturowy: próbkę ogrzewano od 25 do 96 °C, po osiągnięciu 96 °C próbka była w tej temp. przetrzymywana przez 10 min, a następnie chłodzono ją do temp. 25 °C, w której przetrzymywano ją przez 5 min. Próbkę ogrzewano i chłodzono z szybkością 1,5 °C na min. Wyznaczano następujące punkty charakterystyki kleikowania: temperaturę kleikowania ( $T_k$ ) [°C], lepkość maksymalną ( $\eta_{max}$ ) [Pa·s], temperaturę przy maksymalnej lepkości ( $T_{max}$ ) [°C], lepkość po 10 min przetrzymywania w temp. 96 °C ( $\eta_{96°C/10}$ ) [Pa·s], lepkość minimalną ( $\eta_{min}$ ) [Pa·s], temperaturę przy minimalnej lepkości ( $T_{min}$ ) [°C], lepkość po ochłodzeniu do temp. 25 °C ( $\eta_{25°C}$ ) [Pa·s] oraz lepkość po 5 min przetrzymywania w temp. 25 °C ( $\eta_{25°C/5}$ ) [Pa·s],
  - termodynamiczną charakterystykę kleikowania za pomocą różnicowego kalorymetru skaningowego firmy Shimadzu DSC-60 [2].

Oznaczenie termodynamicznej charakterystyki kleikowania oraz rozkładu wielkości ziaren wykonano tylko w przypadku skrobi wyizolowanej z owsa odmian Akt i Polar.

Ocenę statystyczną wyników [12] wykonano w programie komputerowym Microsoft Excel 2002 XP. Analiza statystyczna obejmowała obliczenie średniej arytmetycznej oraz analizę wariancji, w której do weryfikacji istotności różnic między wartościami średnimi zastosowano test Tukey'a, przy założonym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Ponadto wyznaczono współczynnik korelacji Pearsona ( $\alpha = 0,01$ ; liczba stopni swobody  $df = 5$ ).

## Wyniki i dyskusja

Określenie rozkładu wielkości cząsteczek, czy też ich przeciętnego rozmiaru, ma duże znaczenie w praktyce przemysłowej, z uwagi na zmianę właściwości przerabianego materiału sypkiego w zależności od rozmiaru cząstek. Obecnie znane są różne metody służące oznaczaniu ziarnistości skrobi, lecz jedynie metoda mikroskopowa pozwala na bezpośrednią obserwację cząstek, dlatego też może być uznana za metodę

odniesienia. Ma to szczególne znaczenie w przypadku takich skrobi, jak owsiana czy ryżowa, których ziarenka rozwijają się w skupieniach (agregatach) zwanych gronami.

Wielkość ziarenek skrobi jest uzależniona od gatunku rośliny, z której je wyodrębniono. Skrobia ziemniaczana produkowana w Polsce charakteryzuje się ziarenkami o dość dużym zróżnicowaniu rozmiarów: 10 - 110  $\mu\text{m}$ . Z kolei skrobia owsiana należy do skrobi drobnoziarnistych, co znajduje potwierdzenie w licznych pracach [3, 8, 9, 16, 17, 23].

Tabela 1

Rozmiary ziarenek skrobiowych oraz zawartość amylozy pozornej i lipidów w badanych skrobiach owsianych.

Sizes of starch granules and contents of apparent amylose and lipids in oat starches analyzed.

Skrobia Starch	Rozmiary ziaren skrobi [ $\mu\text{m}$ ] Sizes of starch granules [ $\mu\text{m}$ ]		Zawartość tłuszczu [%] Lipid content [%]	Zawartość amylozy [%] Amylose content [%]
	Zakres Range	$\bar{x}$		
Akt	1,3 - 11,9	6,2	1,36 <sup>b</sup>	16,62
Cacko	3,3 - 12,0	6,5	1,32 <sup>b</sup>	16,47 <sup>a</sup>
Polar	1,4 - 11,7	5,9	1,77	14,46
STH 865	3,6 - 12,2	7,0	1,06 <sup>a</sup>	15,91
STH 1009	3,3 - 13,4	6,6	1,05 <sup>a</sup>	14,67
STH 1011	2,1 - 10,6	6,3	1,09 <sup>a</sup>	16,42 <sup>a</sup>
STH 1027	2,7 - 12,0	6,3	1,16 <sup>ab</sup>	15,06
$\bar{x}$	2,5 - 12,0	6,4	1,26	15,66

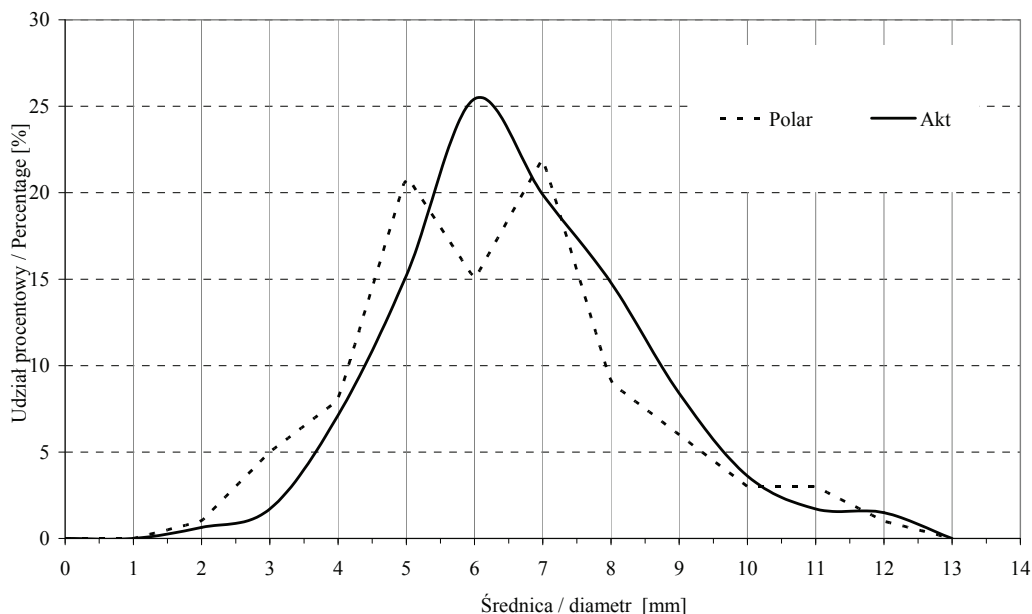
Objaśnienia: / Explanatory notes:

Wartości średnie w kolumnach oznaczone tym samym indeksem literowym nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie  $\alpha = 0,05$ . / Mean values in the columns denoted by the same superscript letter are not statistically significantly different at a level of  $\alpha = 0.05$

Rozmiary ziarenek skrobi wyizolowanych z ziarniaków nagich odmian i rodów owsa przedstawiono w tab. 1. Podane w niej przeciętne wartości średnicy nie odbiegają od danych literaturowych. W pracy Hoovera i wsp. [8] do pomiarów wielkości ziaren skrobi z kanadyjskich odmian owsa użyto również techniki mikroskopowej. Otrzymane przez nich średnie rozmiary (7,0 - 7,8  $\mu\text{m}$ ) nieznacznie przewyższały otrzymane w niniejszej pracy. Z kolei zakres obserwowanych ziarenek był węższy niż w tej pracy. Nieznacznie wyższe wyniki otrzymali Berski i wsp. [2] oraz Gibiński i Berski [4]. Jednak w wymienionych pracach do pomiarów wykorzystano laserowe mierniki wielkości. Z kolei w badaniach Pałasińskiego [16] czy też Gibińskiego i wsp. [5] do pomia-

ru wielkości wykorzystano wagę sedymentacyjną, a wyniki są zbliżone do uzyskanych w tej pracy.

W przypadku skrobi wyosobnionej z owsa odmiany Akt i Polar wykonano dodatkowo rozkłady wielkości ziarenek, które przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Rozkład wielkości ziarenek skrobi owsianych.

Fig. 1. Size distribution of oat starch granules.

Oba rozkłady różnią się – w przypadku skrobi z owsa odmiany Akt jest to rozkład jednomodalny, osiągający maksimum przy średnicy cząstek = 6,1 μm, natomiast w drugim przypadku otrzymano dwa maksima – 5 i 6 μm. Obie skrobie różnią się też średnim wskaźnikiem  $d_{50}$ , czyli rozmiarem ziarenka, poniżej którego znajduje się 50 % populacji ziarenek. Wartość ta wynosiła 6 μm w przypadku skrobi wyodrębnionej z owsa Akt oraz 6,3 μm z owsa Polar. Ta sama wartość oznaczona miernikiem laserowym, jak podają inni autorzy, mieściła się w zakresie 7- 9 μm [2, 4].

Wyniki oznaczania zawartości amylozy w badanych skrobiach przedstawiono w tab. 1. Amyloza jest, obok amylopektyny, podstawowym składnikiem skrobi, a jej udział określa właściwości skrobi [22]. Pewna jej część występuje w postaci kompleksów amylozowo-lipidowych [8, 14]. Przeprowadzone badania skrobi wyizolowanej z polskich odmian owsa wskazują, że charakteryzuje się ona stosunkowo niedużą zawartością amylozy nieprzekraczającą 17 % [2, 4, 10]. W badania Hoovera i wsp. [7, 8] ilość ta jest większa (17 - 20 %). Duże zróżnicowanie zawartości tego komponentu

w badanych skrobiach (tab. 1) mogłoby pozwolić przypuszczać, że jego udział jest cechą odmianową. Jednak porównanie wyników oznaczania zawartości amylozy w dwóch odmianach (Akt i Polar) w pracach innych autorów [2, 4, 10] wskazuje na silne uzależnienie poziomu tego składnika od warunków środowiskowych.

Zawartość lipidów w skrobiach zwykle nie przekracza 1 %. Skrobia owsiana odbiega pod tym względem od innych skrobi, gdyż zawiera ich większe ilości. Obecność kompleksów amylozowo-lipidowych wpływa znacząco na właściwości skrobi. Utrudniają one pęcznienie ziaren, powodują opóźnione kleikowanie [13, 25]. Zawartość lipidów w skrobi owsianej (tab. 1) mieściła się w przedziale 1,05 % (STH 1009) do 1,77 % (Polar). Oznaczona zawartość lipidów jest zgodna z doniesieniami innych autorów [2, 4, 3, 5, 7, 8, 16, 17, 20, 23]. Wyższe wartości (2,1 - 2,5 %) podają Hartunian-Sowa i White [6]. Na przykładzie skrobi wyosobnionej z owsa Akt (1,36 % lipidów) oraz Polar (1,77 %) można zauważyć, jak zmienia się zawartość tego składnika. W pracy Kościelnej i Gibińskiego [10] oraz Berskiego i wsp. [2] zawartość tłuszczu w skrobi z odmiany Akt jest identyczna, natomiast w przypadku skrobi z odmiany Polar oznaczona wartość jest niższa (1,28 %). Natomiast w pracy Gibińskiego i Berskiego [4] podane wartości są wyższe: 1,9 % – Akt oraz 1,8 % – Polar. Zaobserwowane różnice należałoby przypisać głównie czynnikom środowiskowym, choć nie bez znaczenia są pozostałe (metoda izolacji skrobi czy oznaczania lipidów).

Z właściwości skrobi bardzo duże praktyczne znaczenie ma jej zdolność do wiązania wody. W porównaniu z innymi skrobiami, zwłaszcza ziemniaczaną, skrobia owsiana chłonie stosunkowo nieduże ilości wody. Jest to związane z obecnością lipidów, które utrudniają pęcznienie ziarenka [25]. Podwyższenie temperatury prowadzi do zwiększenia ilości wiązanej wody, w przypadku skrobi owsianych wyraźny wzrost jest obserwowany w temp. powyżej 90 °C [22]. Spośród badanych największą zdolnością wiązania wody charakteryzowała się skrobia wyizolowana z owsa odmiany Cacko (za wyjątkiem temp. 60 °C), a najmniejszą (za wyjątkiem temp. 90 °C) Polar (tab. 2). Równocześnie skrobia z ziarniaków owsa odmiany Polar zawierała najwięcej lipidów. Jednak nie zaobserwowano istotnej zależności pomiędzy poziomem lipidów a zdolnością chłonięcia wody w poszczególnych wartościach temperatury. Uzyskane wartości zdolności wiązania wody są wyższe, jakkolwiek zbliżone do tych, jakie otrzymali Berski i wsp. [2] czy Gibiński i Berski [4]. Z kolei w pracy Kościelniak i Gibińskiego [10] wartości tego parametru oznaczone w temp. 95 °C są około dwa razy wyższe, a w pracy Gibińskiego i wsp. [5] oraz Pałasińskiego [16] wartości tego wskaźnika są jeszcze większe. Zaobserwowano zależność między przeciętną średnicą ziarenek a zdolnością wiązania wody przez skrobie w temp. 60 °C. Wskazywałoby to na tendencję, że w niższej temperaturze większe ziarenka będą chłonać więcej wody, co też znajduje potwierdzenie u innych autorów [11, 15] – skrobie drobnoziarniste kleikują później niż te o większych rozmiarach ziarenek. Dodatkowo potwierdza to zależność

między zdolnością chłonięcia wody w temp. 80 °C a minimalną obserwowaną średnicą. Jednak ta zależność może mieć charakter przypadkowy. Nie zaobserwowano też związku między przeciętnym rozmiarem ziarenek a temperaturą kleikowania.

Tabela 2

Zdolność wiązania wody (ZWW) oraz rozpuszczalność w wodzie skrobi owsianych.  
Water binding capacity (WBC) and solubility in water of the oat starches investigated.

Skrobia Starch	ZWW [gH <sub>2</sub> O/g s.m.] WBC [gH <sub>2</sub> O/g d.m.]				Rozpuszczalność [%] Solubility [%]			
	60°C	80°C	90°C	95°C	60°C	80°C	90°C	95°C
AKT	3,85	5,15 <sup>ab</sup>	6,03 <sup>bc</sup>	8,22 <sup>bcd</sup>	1,54 <sup>ab</sup>	2,26 <sup>a</sup>	6,15 <sup>b</sup>	8,00
Cacko	5,49	6,68	8,36	9,80 <sup>e</sup>	3,04	4,99	8,81	10,73
POLAR	2,51	4,95 <sup>a</sup>	5,94 <sup>ab</sup>	6,38 <sup>a</sup>	0,96	1,04	2,07	3,08 <sup>a</sup>
STH 865	5,89	6,42 <sup>c</sup>	6,66 <sup>c</sup>	9,07 <sup>de</sup>	2,06 <sup>c</sup>	3,16	5,99 <sup>b</sup>	6,30
STH 1009	4,69	6,31 <sup>c</sup>	8,34 <sup>e</sup>	8,60 <sup>ede</sup>	1,40 <sup>a</sup>	2,60 <sup>b</sup>	3,26 <sup>a</sup>	4,00 <sup>ab</sup>
STH 1011	4,82	5,67	5,72 <sup>a</sup>	7,23 <sup>ab</sup>	1,70 <sup>b</sup>	2,18 <sup>a</sup>	3,38 <sup>a</sup>	4,50 <sup>b</sup>
STH 1027	4,45	5,26 <sup>b</sup>	6,36 <sup>cd</sup>	7,74 <sup>bc</sup>	1,98 <sup>c</sup>	2,43 <sup>ab</sup>	3,36 <sup>a</sup>	4,32 <sup>b</sup>
$\bar{x}$	4,53	5,78	6,77	8,15	1,81	2,67	4,72	5,85

Objaśnienie, jak pod tab. 1 / Explanatory notes as under Tab. 1

W trakcie ogrzewania wodnych zawiesin skrobi pewna jej część przechodzi do roztworu. Wyniki oznaczania rozpuszczalności skrobi owsianych w wodzie podano w tab. 2. Można zaobserwować znaczne zróżnicowanie w obrębie tego parametru pomiędzy poszczególnymi skrobiami. Największą rozpuszczalnością (w całym zakresie temperatury) charakteryzowała się skrobia z ziarniaków owsa odmiany Cacko, natomiast najmniejszą z odmiany Polar. Rozpuszczalność skrobi wyizolowanej z owsa odmiany Polar była 3 - 4 razy mniejsza niż w przypadku skrobi z odmiany Cacko. Warto przypomnieć, że skrobia z ziarniaków owsa odmiany Polar charakteryzowała się największą zawartością lipidów

W literaturze podawane są zróżnicowane dane dotyczące rozpuszczalności skrobi owsianej. Wartości oznaczone przez Berskiego i wsp. [2] są wyraźnie niższe, z kolei w pracy Gibińskiego i Berskiego [4] są nieznacznie wyższe, a oznaczone w temp. 95 °C przez Gibińskiego i wsp. [5] oraz Kościelną i Gibińskiego [10] są kilkukrotnie wyższe, dochodząc do 32,4 %. Kolejność, w jakiej rosła rozpuszczalność badanych skrobi była identyczna w przypadku temp. 90 °C i 95 °C. Ponadto zaobserwowano zależności pomiędzy rozpuszczalnością w następujących po sobie wartościach temperatury tego oznaczenia (60 a 80 °C, 80 a 90 °C, oraz 90 a 95 °C), co wskazuje, że układ,

w jakim wzrasta rozpuszczalność skrobi w poszczególnych wartościach temperatury jest stały. Pozwala to przypuszczać, że rozpuszczalność jest cechą odmianową. Z drugiej strony porównanie wartości rozpuszczalności skrobi z owsa Akt z kolejnych lat uprawy [2, 4, 10] wskazuje jak wielką rolę odgrywają warunki środowiskowe.

Tabela 3

Termodynamiczna charakterystyka kleikowania badanych skrobi.

Thermodynamic profile oat starch gelatinization.

Skrobia Starch	Tr	Tp	Tk	$\Delta H$
Akt	59,00	63,17	70,20	8,57a
Polar	60,50	65,24	72,54	9,53a
$\bar{X}$	59,75	64,21	71,37	9,05

Objaśnienia: / Explanatory notes:

Tr, Tp i Tk – to odpowiednio temp. rozpoczęcia, temp. piksu oraz temp. końca kleikowania / respectively: temperature of onset, of midpoint, and final temperature of gelatinization;  $\Delta H$  entalpia kleikowania / gelatinization enthalpy.

Pozostałe oznaczenia, jak pod tab. 1. / Other denotations as under Tab. 1

Różnicowy kalorymetr skaningowy (DSC) jest bardzo użyteczną metodą wykorzystywaną w badaniach skrobi. Wartość entalpii kleikowania wyznaczane w próbkach skrobi owsianej są mniejsze niż w przypadku innych skrobi zbożowych. Może to świadczyć o mniejszym stopniu uporządkowania struktury krystalicznej [25]. W tab. 3. przedstawiono zakres temperatury przejścia fazowego skrobi wyizolowanych z owsa odmian Akt oraz Polar, oraz wartości entalpii kleikowania. Początek procesu kleikowania obu skrobi miał miejsce w temp. około 60 °C. Skrobia Polar charakteryzowała się nieznacznie szerszym zakresem temperatury, w jakiej zachodziła przemiana. Entalpia kleikowania nie była różna w przypadku tych dwóch skrobi. Wartości temperatury wystąpienia piksu znajdują się w zakresie podawanym przez innych autorów [20, 24]. Hoover i Senanayake [7] podają niższe wartości entalpii kleikowania (8,4 i 5,9 J/g). Zbliżone wartości entalpii kleikowania skrobi owsianej odmiany Akt podaje Berski i wsp. [2].

Na przebieg charakterystyki kleikowania wpływ może mieć wiele czynników, takich jak zastosowany układ pomiarowy, stężenie zawiesiny skrobiowej, szybkość ogrzewania, czy liczba obrotów układu pomiarowego. Zastosowany układ pomiarowy odbiegał od typowych stosowanych w badaniach procesu kleikowania skrobi owsianej [2, 4, 5, 7, 8, 10]. Profil temperaturowy był wzorowany na „klasycznym” profilu stosowanym w wiskografach Brabendera [4, 5, 10, 19], a zastosowane stężenie zawiesiny (5 %) było nieznacznie mniejsze niż stosowane w innych pracach: 6 % [7, 8, 24] czy



7,5 % [4, 5, 19]. Jednak dokładność zastosowanego przyrządu pomiarowego pozwalała na takie obniżenie stężenia zawiesiny.

Tabela 4

Parametry procesu kleikowania 5 % zawiesin skrobi owsianych.  
Parameters of gelatinization process of 5% oat starch suspensions.

Skrobia Starch	$T_k$ [°C]	$\eta_{max}$ [Pa·s]	$T_{max}$ [°C]	$\eta_{96^\circ C}$ [Pa·s]	$\eta_{96^\circ C/10}$ [Pa·s]	$\eta_{min}$ [Pa·s]	$T_{min}$ [°C]	$\eta_{25^\circ C}$ [Pa·s]	$\eta_{25^\circ C/10}$ [Pa·s]
Akt	94,4 <sup>abc</sup>	0,92 <sup>a</sup>	88,8 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	69,2 <sup>ab</sup>	0,55 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>
Cacko	90,3	1,38 <sup>bc</sup>	96,0	0,15	1,36 <sup>d</sup>	1,31	74,2 <sup>b</sup>	1,60 <sup>d</sup>	1,62 <sup>d</sup>
Polar	94,6 <sup>c</sup>	1,59 <sup>c</sup>	87,5 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	1,00 <sup>bc</sup>	0,68	66,5 <sup>a</sup>	0,87 <sup>abc</sup>	0,91 <sup>abc</sup>
STH 865	94,3 <sup>abc</sup>	1,16 <sup>ab</sup>	87,5 <sup>a</sup>	0,60 <sup>b</sup>	0,89 <sup>b</sup>	0,85 <sup>b</sup>	71,8 <sup>ab</sup>	1,22 <sup>bcd</sup>	1,29 <sup>bcd</sup>
STH 1009	94,4 <sup>bc</sup>	0,9 <sup>1a</sup>	82,4	0,06 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	72,5 <sup>ab</sup>	0,69 <sup>ab</sup>	0,73 <sup>ab</sup>
STH 1011	94,0 <sup>ab</sup>	1,34 <sup>bc</sup>	88,8 <sup>a</sup>	0,60 <sup>b</sup>	1,24 <sup>cd</sup>	1,03 <sup>c</sup>	73,7 <sup>ab</sup>	1,75 <sup>d</sup>	1,87 <sup>d</sup>
STH 1027	93,9 <sup>ab</sup>	1,23 <sup>abc</sup>	87,4 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	1,07 <sup>bcd</sup>	0,93 <sup>bc</sup>	71,5 <sup>ab</sup>	1,43 <sup>cd</sup>	1,52 <sup>cd</sup>
$\bar{X}$	93,7	1,22	88,3	0,23	0,96	0,80	71,4	1,16	1,22

Objaśnienia: / Explanatory notes:

$T_k$  – temp. kleikowania / Pasting temp.;  $\eta_{max}$  – lepkość maksymalna / maximum viscosity;  $T_{max}$  – temp. w maksimum lepkości / temperature at max viscosity;  $\eta_{96^\circ C}$  – lepkość w 96 °C / viscosity at 96 °C;  $\eta_{96^\circ C/10}$  – lepkość po 10 min w 96 °C / viscosity after 10 min at 96 °C;  $\eta_{min}$  – lepkość minimalna / minimum viscosity;  $T_{min}$  – temp. w minimum lepkości / temp. at minimum viscosity;  $\eta_{25^\circ C}$  – lepkość w 25 °C / viscosity at 25 °C;  $\eta_{25^\circ C/5}$  – lepkość po 5 min w 25 °C / viscosity after 5 min at 25 °C.

Pozostałe oznaczenia, jak pod tab. 1. /Other denotations as under Tab. 1

Wszystkie skrobie charakteryzowały się temperaturą kleikowania powyżej 90 °C, najniższą skrobia z ziarniaków owsa odmiany Cacko (90,3 °C), najwyższą z odmiany Polar (94,6 °C) (tab. 4). Skrobia owsiana znana jest ze swojej wysokiej temperatury kleikowania, jednak wartości przedstawione w tej pracy są znacznie wyższe niż uzyskane przez innych autorów badających skrobię pochodzącą z polskich odmian owsa [2, 4, 5, 10, 16]. W badaniach przeprowadzonych na jedenastu polskich odmianach [16] otrzymano wartości z przedziału 87 - 90 °C, zbliżone wartości zamieszczono w pracy Gibińskiego i Berskiego [4] (88 - 90 °C), a Kościelniak i Gibiński [10] podają wartości nieprzekraczające 85 °C. Natomiast wysokie wartości temperatury kleikowania podano w pracy Hoovera i Senannayake [7], Hoovera i wsp. [8] czy też Wanga i wsp. [24].

Zaobserwowano ujemną korelację między temperaturą kleikowania a rozpuszczalnością w temp. 60 °C (oraz mniej istotne ujemne korelacje z rozpuszczalnością oznaczoną w pozostałych wartościach temperatury), co wskazuje na dużą odporność ziarenek skrobiowych na działanie temperatury i niewielkie stopień „wyflukiwania”

substancji rozpuszczalnych. Zdolność skrobi owsianej do kleikowania jest uzależniona od ilości „wyplukanych” składników ziarenka, zawartości lipidów oraz od wielkości wzajemnych oddziaływań pomiędzy łańcuchami w obrębie ziarenka skrobiowego [8, 24].

W miarę wzrostu temperatury ziarenka stopniowo pęcznieją, co objawia się wzrostem lepkości kleiku. Maksimum lepkości wszystkie analizowane skrobie (za wyjątkiem skrobi z ziarniaków owsa odmiany Cacko) osiągnęły po okresie przetrzymania kleików w temp. 96 °C. Należy przypuszczać, że za taki charakter przebiegu procesu kleikowania będą odpowiedzialne oddziaływania pomiędzy łańcuchami skrobiowymi, a nie zawartość lipidów, gdyż skrobia owsa odmiany Cacko charakteryzowała się dość wysoką zawartością lipidów (powyżej średniej – tab. 1). Taki pogląd potwierdzają obserwacje Hoovera i Senanayake [7]. Największą lepkość maksymalną osiągnęła skrobia z owsa odmiany Polar. Można przypuszczać, że duża zawartość lipidów przyczyniła się do zwiększenia wytrzymałości (usztynienia) struktury przestrzennej kleiku [2], a także jest odpowiedzialna za zmniejszoną rozpuszczalność oraz zdolność wiązania wody [2, 5, 25]. Z kolei w pracy Hoovera i wsp. [8] skrobie, które zawierały największe ilości lipidów charakteryzowały się najmniejszą wartością osiągniętej lepkości maksymalnej oraz bardzo wysoką temperaturą kleikowania (powyżej 90 °C). Warto też dodać, że skrobia z owsa odmiany Cacko charakteryzowała się najmniejszą różnicą pomiędzy minimalną a maksymalną zaobserwowaną lepkością oraz niewielką różnicą pomiędzy lepkością maksymalną a lepkością po ochłodzeniu, co uwidoczniło się niemal płaskim przebiegiem krzywej kleikowania. W przypadku trzech skrobi (Akt, Polar oraz STH 1009) wartość lepkości po schłodzeniu do temp. 25 °C była mniejsza od wartości lepkości maksymalnej. Wysoką temperaturę kleikowania oraz opóźnione wystąpienie maksymalnej lepkości można też przypisać zastosowanemu układowi pomiarowemu, który nie poddawał ziarenek skrobi zbyt intensywnemu oddziaływaniu mechanicznemu. Jednak wydaje się to być mało prawdopodobne. Użyty układ nie jest typowym, stosowanym do oznaczania charakterystyki kleikowania skrobi, jednak sprawdził się w tym zastosowaniu. Oznaczane lepkości mieściły się w zakresie pomiarowym, a zastosowana obroty mieszadła zapobiegały sedymentacji skrobi. Należy przypuszczać, że badanego skrobie owsiane, za wyjątkiem tej pochodzącej z ziarniaków owsa odmiany Cacko były wyjątkowo „oporne” na działanie temperatury i sił mechanicznych. Potwierdza to też mała oznaczona rozpuszczalność oraz zdolność wiązania wody.

## Wnioski

1. Skrobia wyizolowana z ziarniaków owsa odmiany Polar charakteryzowała się największą zawartością lipidów, najmniejszą zdolnością wiązania wody oraz rozpuszczalnością w całym zakresie temperatury oraz najwyższą temperaturą kleikowania.

- Dodatkowo przeciętna średnica jej ziarenek była najmniejsza spośród wszystkich badanych skrobi.
2. Skrobia z ziarniaków owsa odmiany Cacko odznaczała się najniższą temperaturą kleikowania, największą rozpuszczalnością oraz zdolnością wiązania wody, a lepkość po osiągnięciu wartości maksymalnej ulegała jedynie niewielkim zmianom.
  3. Wspomniane w poprzednim wniosku właściwości skrobi z owsa odmiany Polar w połączeniu z wyższą entalpią kleikowania, niż w przypadku skrobi z owsa odmiany Akt, pozwalają sądzić o wyższym stopniu uporządkowania struktury krystalicznej.
  4. Na przebieg procesu kleikowania silny wpływ ma oddziaływanie pomiędzy łańcuchami skrobiowymi, natomiast lipidy zawarte w skrobi odgrywają mniejszą rolę.
  5. Skrobie charakteryzowały się niską rozpuszczalnością oznaczoną w niższych temperaturach oraz kleikowały w podwyższonych temperaturach.
  6. Analizowane skrobie charakteryzowały się wysoką, przekraczającą 90 °C temperaturą kleikowania, a w większości przypadków lepkość maksymalna rozwinęła się dopiero w trakcie schładzania kleików.

### Literatura

- [1] Banaś A., Dahlqvist A., Dębski H., Gummesson P.-O., Stymne S.: Accumulation of storage products in oat during kernel development. *Biochemical Society Transactions*, 2000, **28** (6), 705-707.
- [2] Berski W., Ptaszek A., Ptaszek P., Achremowicz B.: Porównanie wybranych właściwości natywnej i częściowo odtłuszczonej skrobi owsa odmiany Akt. *Biul. Inst. Hod. i Aklim. Roślin*, 2006, **239**, 225-235.
- [3] Fortuna T., Juszczak L.: Wybrane właściwości skrobi różnego pochodzenia. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 2000, **367**, 39-50.
- [4] Gibiński M., Berski W.: Właściwości skrobi z wybranych polskich odmian owsa. *Biul. Inst. Hod. i Aklim. Roślin*, 239, 213-223.
- [5] Gibiński M., Pałasiński M., Tomasik P.: Physicochemical properties of defatted oat starch. *Starch/Stärke*, 1993, **45**, 354-357.
- [6] Hartunian-Sowa M., White P. J.: Characterization of starch isolated from oat groats with different amount of lipid. *Cereal Chem.*, 1992, **69**, 521-527.
- [7] Hoover R., Senanayake S.P.: Composition and physicochemical properties of oat starches. *Food Res. Int.*, 1996, **29** (1), 15-26.
- [8] Hoover R., Smith C., Zhou Y., Ratnayake R.M.W.S.: Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrate Polymers*, 2003, **52**, 253-261.
- [9] Jane J., Kasemsuwan T., Leas S., Nobel H., Robyt J.: Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. *Starch/Stärke*, 1994, **46**, 121-129.
- [10] Kościelny A., Gibiński M.: Charakterystyka skrobi owsianych pochodzących z różnych form owsa. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **2** (57), 30-39.
- [11] Leszczyński W.: Skrobia – surowiec przemysłowy, budowa i właściwości. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **500**, 69-97.
- [12] Lomnicki A.: Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. *Wyd. Nauk. PWN*, Warszawa 2003.

- [13] Morrison W.R., Laignelet B.: An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *J. Cereal Sci.*, 1983, **1**, 9-20.
- [14] Morrison W.R., Law R.V., Snape C.E.: Evidence for inclusion complexes of lipids with V-amylose in maize, rice and oat starches, *J Cereal Sci.*, 1993, **18**, 107-109.
- [15] Nowotny F. (pod red.): Skrobia. Wyd. Nauk. WNT, Warszawa 1969.
- [16] Pałasiński M.: Właściwości skrobi różnego pochodzenia. *Post. Nauk Rol.*, 1994, **3**, 47-59.
- [17] Paton D.: Oat starch I. Extraction, purification and pasting properties. *Starch/Stärke*, 1977, **29**, 149-153.
- [18] PN-EN ISO 3947:2001. Skrobie naturalne i zmodyfikowane – oznaczanie całkowitej zawartości tłuszczu.
- [19] Richter M., Augustat S., Schierbaum F.: *Ausgewählte Methoden der Stärkechemie*. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1969.
- [20] Shamekh S., Forssell P., Poutanem K.: Solubility pattern and recrystallization behavior of oat starch. *Starch/Stärke*, 1994, **46**, 129-133.
- [21] Vigneau E., Loisel C., Devaux M.F., Cantoni P.: Number of particles for the determination of size distribution from microscopic images. *Powder Technology*, 2000, **107**, 243-250.
- [22] Wang L.Z., White, P.J.: Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. *Cereal Chem.*, 1994, **71**, 263-268.
- [23] Wang, L.Z., White P. J.: Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid contents. *Cereal Chem.*, 1994, **71**, 443-450.
- [24] Wang L.Z., White P.J.: Functional properties of oat starches and relationships among functional and structural characteristics. *Cereal Chem.*, 1994, **71**, 451-458.
- [25] Zhou M., Robards K., Glennie-Holmes M., Helliwell S.: Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chem.*, 1998, **75**, 273-281.

#### SELECTED PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF STARCHES EXTRACTED FROM POLISH VARIETIES OF NAKED OATS

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

Oat starch differs in its properties from other commercially produced starch types. It is characterized by small sizes of granules and a high content of lipid substances impacting its properties to a substantial extent.

The objective of the research project undertaken was to determine some selected physical-chemical properties of starches extracted from the Polish varieties of naked oats. The determined parameters were: size of granules (determined using 'VEM', i.e. a video enhanced microscopy and an image analysis), contents of amylase and lipids, water binding capacity (WBC) and solubility, and pasting profile of 5% water based suspensions.

The sizes of starch granules ranged from 1.3 to 13.4  $\mu\text{m}$ , and the average diameter was 6.4  $\mu\text{m}$ . The average content of lipids in the starches investigated was 1.23 %, and of amylase: 15.66 %. The starches analyzed were characterized by a low water absorption and solubility, as well as by an atypical profile of pasting.

**Key words:** oat starch, VEM, image analysis, PSD 