

LESŁAW JUSZCZAK <sup>1</sup>  
SŁAWOMIR PIETRZYK <sup>1</sup>  
TERESA FORTUNA <sup>1</sup>  
DOROTA GAŁKOWSKA <sup>1</sup>  
TERESA WITCZAK <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności

<sup>2</sup> Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## Wybrane właściwości fizykochemiczne skrobi ziemniaczanej o różnym stopniu utlenienia\*

### Selected physicochemical properties of potato starch oxidized at different levels

Celem niniejszej pracy była charakterystyka wybranych właściwości fizykochemicznych skrobi ziemniaczanej o różnym stopniu utlenienia. Materiałem badanym była skrobia ziemniaczana utleniona w reakcji z różną ilością chloranu(I) sodu. Otrzymane skrobie na czterech stopniach utlenienia poddano analizie pod względem zawartości grup karboksylowych oraz karbonylowych. Wyznaczono termodynamiczną (DSC) oraz wiskozymetryczną charakterystykę kleikowania. Wyznaczono także krzywe lepkości kleików skrobiowych, które opisano modelem potęgowym. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wraz ze wzrostem ilości zastosowanego czynnika utleniającego wzrastała liczba grup karboksylowych i karbonylowych w skrobi, których zawartość wynosiła odpowiednio 0,03–0,94% oraz 0,02–0,12%. Wraz ze wzrostem stopnia utlenienia malały wartości temperatury początku, piku i końca kleikowania. Malały również wartości temperatury kleikowania wyznaczonej wiskozymetrycznie. Stwierdzono ponadto, że wraz ze wzrostem stopnia utlenienia malała lepkość kleików zarówno w fazie ogrzewania, jak i chłodzenia. Kleiki badanych skrobi wykazywały właściwości cieczy nienewtonowskich rozrzedzanych ścinaniem, a ich lepkość pozorna malała wraz ze wzrostem stopnia utlenienia.

**Słowa kluczowe:** DSC, kleikowanie, skrobia, utlenianie, właściwości reologiczne

The aim of this work was to characterize selected physicochemical properties of potato starch oxidized at four different levels. Starch was oxidized with different amounts of sodium hypochlorite, and the resulted starches were analyzed in respect of carboxyl and carbonyl group content. Thermodynamic (DSC) and viscometric pasting characteristics were determined as well as the viscosity curves, which were described by power law model. It was found that carboxyl and carbonyl group contents were increasing with increasing amount of the oxidizing agent, and they were 0.03–0.94% and

\* Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2013/09/B/NZ9/01781

*Redaktor prowadzący: Anna Linkiewicz*

0.02–0.12%, respectively. Values of onset, peak and end temperatures of starch gelatinization and pasting temperature of starch were decreasing with increasing the oxidation level. It was also found that the viscosity of modified starch pastes, both during heating and cooling stages, was decreasing with increase in oxidation level. The oxidized starches exhibited non-Newtonian, shear-thinning fluid behavior, and their apparent viscosity was decreasing with increasing oxidation level.

**Key words:** DSC, gelatinization, oxidation, rheological properties, starch

## WPROWADZENIE

Skrobia obok celulozy jest jednym z głównych polisacharydów naturalnie występujących w przyrodzie. Magazynowana jest w bulwach, łodygach, liściach i ziarnach wielu roślin, jako ich materiał zapasowy. Stanowi surowiec odnawialny ze względu na fakt, iż jest wytwarzana w procesie fotosyntezy (Parker i Ring, 2001; Emmambux i Taylor, 2013). Skrobia jest jednym z najbardziej funkcjonalnych surowców w przemyśle spożywczym. W stanie naturalnym jej zastosowanie jest jednak ograniczone ze względu na małą stabilność termiczną i reologiczną, podatność na działanie skrajnych wartości pH środowiska oraz mechanicznych sił ścinających. Również takie zjawiska jak retrogradacja kleików oraz synereza żeli skrobiowych są niekorzystne z punktu widzenia jakości produktów żywnościowych. W celu eliminacji niekorzystnych właściwości skrobie poddaje się różnego rodzaju modyfikacjom. Uzyskane w ten sposób preparaty skrobi modyfikowanych charakteryzują się pożądanymi właściwościami fizykochemicznymi, a w szczególności reologicznymi (Tharanathan, 2005). Skrobie modyfikowane znalazły zastosowanie m.in. w przemyśle włókienniczym, papierniczym, budowlanym. Skrobie chemicznie modyfikowane stosowane w przemyśle spożywczym mają status dozwolonych substancji dodatkowych.

Jedną z chemicznych metod modyfikacji skrobi jest utlenianie. Podczas utleniania w skrobi tworzą się grupy karbonylowe i karboksylowe. Ilość tych grup uzależniona jest od rodzaju czynnika utleniającego, warunków reakcji, jak również od pochodzenia botanicznego skrobi. Reakcji utleniania towarzyszy często depolimeryzacja łańcuchów polimerów skrobiowych oraz rozluźnienie wiązań międzycząsteczkowych (Singh i in., 2007; Ashogbon i Akintayo, 2014). Do celów spożywczych dopuszczone zostały tylko skrobie utlenione za pomocą chloranu (I) sodu, oznaczane symbolem E 1404. Od wielu lat skrobie utlenione są podstawowym składnikiem recepturowym budyniów, kremów budyniowych, bitej śmietany, lodów, galaretek oraz mieszanek ciast w proszku. Preparaty skrobi utlenionych mogą być również stosowane w kompozycjach powlekających, posypkach i panierkach. Skrobie te wykazują dobrą adhezję do powlekanego produktu i korzystnie wpływają na cechy teksturalne produktów po procesie prażenia lub oziębiania (Leszczyński, 2006; Walkowski i Lewandowicz 2008; Abbas i in., 2010).

Ze względu na to, iż właściwości skrobi utlenionych zależą nie tylko od rodzaju użytej skrobi, ale także od stopnia jej utlenienia, celem pracy była analiza wpływu poziomu utlenienia skrobi chloranem (I) sodu na zmiany jej właściwości fizykochemicznych.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiła skrobia ziemniaczana wyprodukowana w zakładach PEPEES S.A. Łomża (Polska), którą utleniono na czterech poziomach. Utlenianie skrobi chloranem(I) sodu prowadzono w 40% zawiesinie wodnej skrobi, wg Forsell i in. (1995). Modyfikacje wykonano w temp.  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , mieszając zawiesinę skrobi w środowisku alkalicznym ( $\text{pH} = 10,0$ ) przez 50 min. Po tym czasie mieszaninę reakcyjną neutralizowano 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  do  $\text{pH} = 7,0$ . Ilość użytego  $\text{NaOCl}$  do utleniania była równoważna 10, 20, 40, 60 g  $\text{Cl}/\text{kg}$  skrobi. Następnie skrobie przemywano, suszono w temperaturze pokojowej przez 48 h, rozdrabniano i przesiewano przez sito o średnicy oczek 0,2 mm.

Efektywność procesów utleniania została określona przez oznaczenie w skrobiach modyfikowanych zawartości grup karboksylowych (ISO, 11214) i karbonylowych (Whistler i in., 1964). W celu wyznaczenia właściwości termicznych uzyskanych skrobi modyfikowanych przeprowadzono analizę termodynamicznej charakterystyki kleikowania przy użyciu kalorymetru skaningowego DSC 204F1 (Phoenix Netsch, Niemcy). Mieszaninę skrobia-woda (1:3) zamykano hermetycznie w naczynkach aluminiowych i pozostawiono na 24 h w celu nawilżenia. Następnie próbkę ogrzewano w zakresie temperatur  $20\text{--}100^\circ\text{C}$  przy wzroście temperatury  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ . Jako wzorzec stosowano puste naczynie kalometryczne. Na podstawie otrzymanych termogramów wyznaczono temperatury: początku  $T_0$ , maksimum  $T_P$  i końca  $T_E$  piku kleikowania, zakres temperatur ( $T_E\text{--}T_0$ ) oraz entalpię przemiany  $\Delta H$  (J/g). W celu określenia właściwości reologicznych wyznaczono charakterystykę kleikowania 15% (w/w) zawiesin skrobiowych przy użyciu analizatora lepkości RVA (Perten Instruments, Australia). Próbki, mieszane z szybkością 160 rpm, ogrzewano w zakresie temperatur  $50\text{--}95^\circ\text{C}$ , przetrzymywano w temperaturze  $95^\circ\text{C}$  przez 5 min, chłodzono do temp.  $50^\circ\text{C}$  i przetrzymywano w temperaturze  $50^\circ\text{C}$  przez 5 min. Na podstawie otrzymanych krzywych wyznaczono: temperaturę kleikowania (PT), lepkość maksymalną (PV), lepkość w temperaturze  $95^\circ\text{C}$  (HPV), spadek lepkości  $\text{BD} = \text{PV}\text{--}\text{HPV}$ , lepkość końcową (FV), wzrost lepkości przy chłodzeniu ( $\text{SB} = \text{FV}\text{--}\text{HPV}$ ). Krzywe lepkości 15% (w/w) kleików skrobiowych wyznaczono przy użyciu reometru Mars II (Thermo Haake, Niemcy), w układzie stożek-płytką. Kleiki skrobiowe otrzymane w trakcie oznaczania charakterystyki kleikowania umieszczano między elementami pomiarowymi, termostatowano w temperaturze  $25^\circ\text{C}$ , a następnie poddawano działaniu zmiennej szybkości ścinania w zakresie  $1\text{--}300\text{ s}^{-1}$ . Do opisu otrzymanych krzywych płynięcia zastosowano model potęgowy:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

gdzie:  $\tau$  — naprężenie ścinające (Pa),  $K$  — współczynnik konsystencji ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ),  $n$  — wskaźnik płynięcia,  $\dot{\gamma}$  — szybkość ścinania ( $\text{s}^{-1}$ ).

W celu określenia istotności różnic w wartościach wyznaczonych parametrów zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji i test NIR Fishera na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## WYNIKI I DYSKUSJA

Efektywność procesu utleniania skrobi, której miarą była zawartość grup karboksylowych i karbonylowych, wzrastała wraz z ilością dodanego utleniacza. W tabeli 1 zestawiono wyniki oznaczeń zawartości grup karboksylowych i karbonylowych.

Tabela 1

**Zawartość grup karboksylowych i karbonylowych w skrobiach utlenionych**  
**Carboxyl and carbonyl group contents in oxidized starches**

Poziom utlenienia Oxidation level	Zawartość grup karboksylowych Carboxyl group content (%)	Zawartość grup karbonylowych Carbonyl group content (%)
1	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00
2	0,06 ± 0,00	0,05 ± 0,00
3	0,37 ± 0,00	0,09 ± 0,00
4	0,94 ± 0,01	0,12 ± 0,01

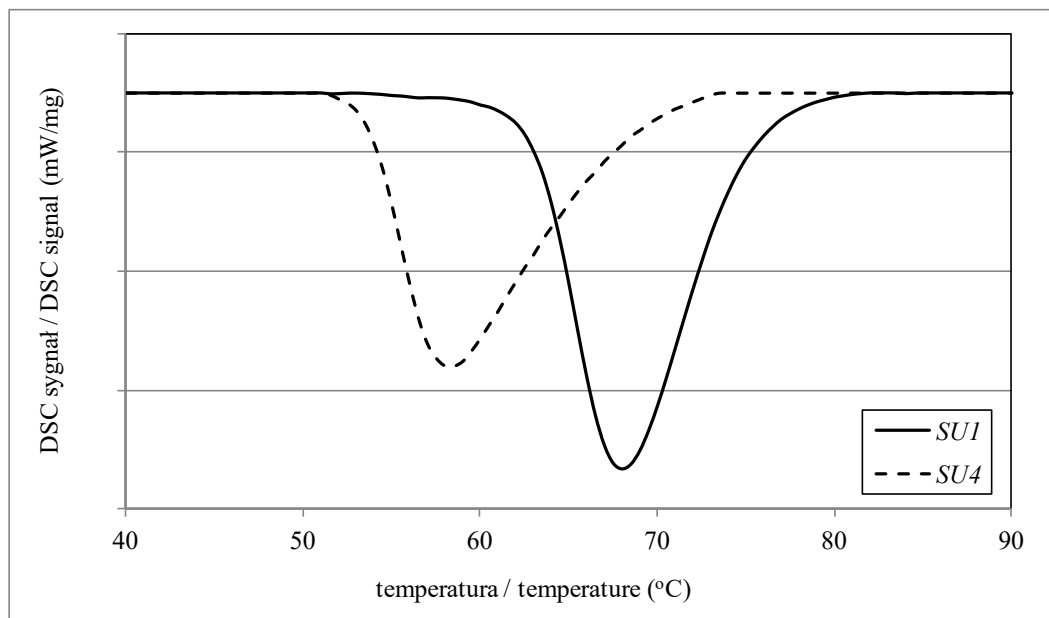
Wartości średnie ± odchylenie standardowe oznaczone takimi samymi literami w poszczególnych kolumnach nie różnią się w sposób statystycznie istotny przy poziomie istotności 0,05

Mean values ± standard deviation signed the same letters in particular columns are not statistically different at significance level of 0.05

Zawartość grup karboksylowych wahała się od 0,03 do 0,94%, natomiast karbonylowych od 0,02 do 0,12%. Stwierdzono istotną korelację liniową pomiędzy ilością dodanej substancji utleniającej a zawartością grup karboksylowych ( $r = 0,9683$ ) oraz karbonylowych ( $r = 0,9915$ ). Otrzymane preparaty skrobi utlenionych, szczególnie utlenionych na wyższym poziomie, charakteryzowały się istotnie większą zawartością grup karboksylowych niż karbonylowych. Wynika to z faktu, iż chloran (I) sodu w środowisku alkalicznym powoduje wytwarzanie większej ilości grup karboksylowych niż karbonylowych (Wang i Wang, 2003). Zawartość grup karboksylowych w otrzymanych skrobiach modyfikowanych była mniejsza od 1,1%, co wskazuje na możliwość ich stosowania w przemyśle spożywczym. Jak wynika z danych literaturowych (Autio i in., 1996; Fortuna i in., 2002) podczas utleniania skrobi następuje również proces depolimeryzacji tym większy im proces utleniania przebiega intensywniej.

Typowe termogramy kleikowania dla skrobi utlenionych na największym i najmniejszym poziomie pokazano na rysunku 1. Obrazem kleikowania skrobi jest endotermiczny pik widoczny w postaci istotnego odchylenia od linii bazowej. Wielkość tego piku, a tym samym entalpia przemiany, oraz odpowiadający mu zakres temperatur są charakterystyczne dla danej skrobi. Wszelkie procesy modyfikacyjne mogą powodować zmiany zakresu temperatur oraz wielkości piku. Parametry termodynamicznej charakterystyki kleikowania zestawiono w tabeli 2. Wraz ze wzrostem stopnia utlenienia malały wartości charakterystycznych temperatur przemiany, przy czym w większym stopniu malały wartości temperatury początkowej ( $T_0$ ) niż końca przemiany ( $T_E$ ), co wpłynęło na wzrost zakresu temperatur kleikowania, który był największy dla skrobi o największym stopniu utlenienia. Nie stwierdzono jednak jednoznacznej tendencji związanej z wpływem procesu utleniania na wartości entalpii kleikowania ( $\Delta H$ ), której wartości dla skrobi o największym i najmniejszym stopniu utlenienia nie różniły się istotnie. Według Wootton i

Bamunuarachchi (1979) wprowadzenie nowych podstawników do skrobi oraz depolimeryzacja związana z procesem utleniania powoduje obniżenie temperatury przemiany i entalpii kleikowania. Natomiast Kuakpetoo i Wang (2006) zaobserwowali, iż depolimeryzacja skrobi dotyczy również amylopektyny, co może mieć wpływ na zmianę stopnia krystaliczności skrobi.



**Rys. 1. Przykładowe krzywe DSC skrobi utlenionych. SU1 — skrobia utleniona na poziomie 1, SU4 — skrobia utleniona na poziomie 4**  
**Fig. 1. Example of DSC curves of oxidized starches. SU1 — starch oxidized on the first level, SU4 — starch oxidized on the fourth level**

Tabela 2

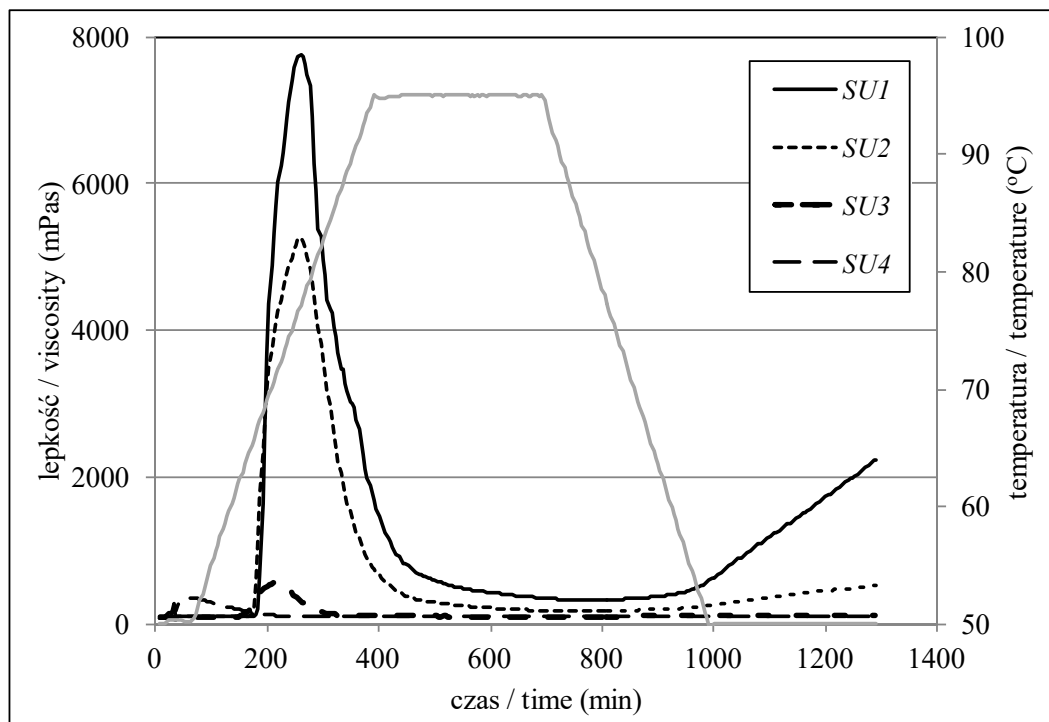
**Termodynamiczna charakterystyka kleikowania skrobi utlenionych**  
**Thermodynamic gelatinization characteristics of oxidized starches**

Poziom utlenienia Oxidation level	$T_O$ (°C)	$T_P$ (°C)	$T_E$ (°C)	$T_E - T_O$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
1	$63,05 \pm 0,07$	$68,00 \pm 0,00^a$	$75,25 \pm 0,07^a$	12,20	$14,63 \pm 0,47^a$
2	$62,55 \pm 0,07$	$67,60 \pm 0,14^a$	$75,15 \pm 0,07^a$	12,60	$16,73 \pm 0,11$
3	$60,35 \pm 0,07$	$65,30 \pm 0,14$	$74,00 \pm 0,14$	13,65	$15,96 \pm 0,08$
4	$53,50 \pm 0,00$	$58,30 \pm 0,28$	$68,55 \pm 0,07$	15,05	$14,01 \pm 0,11^a$

Wartości średnie  $\pm$  odchylenie standardowe oznaczone takimi samymi literami w poszczególnych kolumnach nie różnią się w sposób statystycznie istotny przy poziomie istotności 0,05

Mean values  $\pm$  standard deviation signed the same letters in particular columns are not statistically different at significance level of 0.05

Krzywe charakterystyki kleikowania badanych preparatów skrobiowych pokazano na rysunku 2. Kształt otrzymanych krzywych jest charakterystyczny dla procesu kleikowania skrobi, przy czym kleiki poszczególnych preparatów odznaczały się różnymi wartościami lepkości. Parametry charakterystyki kleikowania odczytane na podstawie uzyskanych krzywych zebrano w tabeli 3.



Rys. 2. Krzywe kleikowania skrobi utlenionych. SU1 do SU4 — skrobia utleniona na poziomie od 1 do 4  
Fig. 2. Pasting curves of oxidized starches. SU1 to SU4 —starches oxidized from the first to the fourth level

Tabela 3

Parametry charakterystyki kleikowania skrobi utlenionych  
Parameters of pasting characteristics of oxidized starches

Poziom utlenienia Oxidation level	$T_K$ (°C)	PV (mPa s)	HPV (mPa s)	BD (mPa s)	FV (mPa s)	SB (mPa s)
1	65,2 ± 0,1	7756 ± 170	326 ± 1	7430 ± 168	2224 ± 76	1898 ± 77
2	64,7 ± 0,0	5200 ± 23	178 ± 2	5022 ± 25	522 ± 4	345 ± 2
3	61,3 ± 0,0	553 ± 1 <sup>a</sup>	100 ± 1	453 ± 1 <sup>a</sup>	117 ± 0 <sup>a</sup>	17 ± 1 <sup>a</sup>
4	50,0 ± 0,0	355 ± 14 <sup>a</sup>	93 ± 0	262 ± 14 <sup>a</sup>	104 ± 0 <sup>a</sup>	11 ± 0 <sup>a</sup>

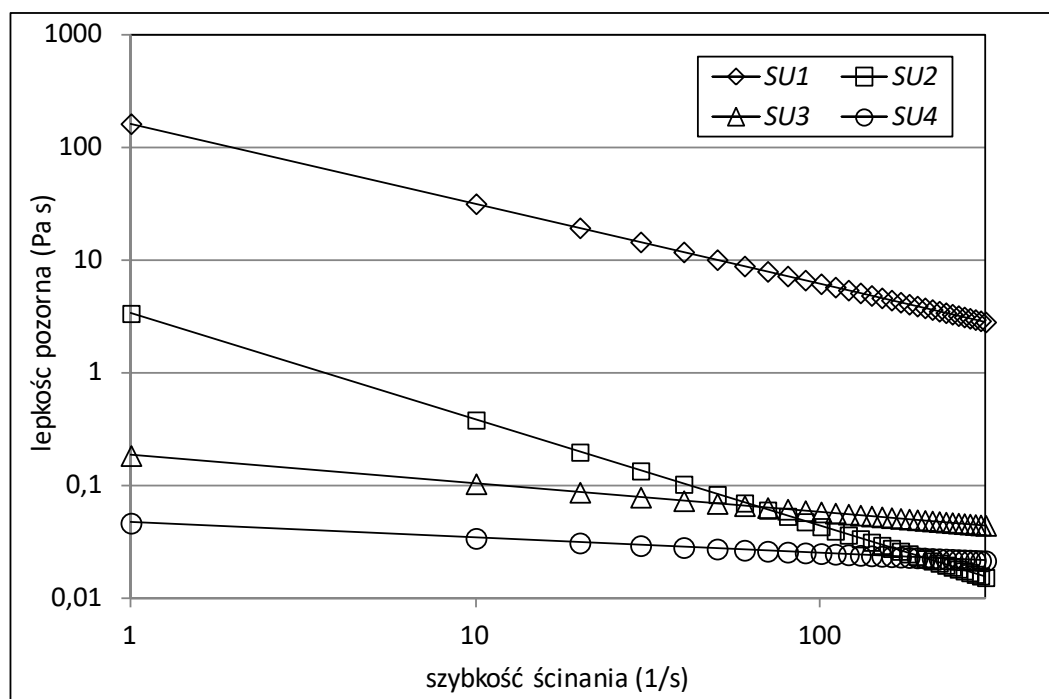
Wartości średnie ± odchylenie standardowe oznaczone takimi samymi literami w poszczególnych kolumnach nie różnią się w sposób statystycznie istotny przy poziomie istotności 0,05

Mean values ± standard deviation signed the same letters in particular columns are not statistically different at significance level of 0.05

Wartości temperatury kleikowania wahały się w przedziale 50,0–65,2°C i malały wraz ze wzrostem poziomu utlenienia. Jest to zgodne z wcześniejszymi obserwacjami dotyczącymi tendencji zmian temperatury początku i końca kleikowania, wyznaczonymi z wykorzystaniem DSC (tab. 2). Wiskozymetryczna temperatura kleikowania związana jest ze zdolnością ziaren skrobiowych do pęcznienia i jest tym niższa im ziarna szybciej chłoną wodę i powiększają swoją średnicę. Równie istotnym czynnikiem wpływającym na kleikowanie skrobi jest jej depolimeryzacja, która ma miejsce w trakcie utleniania. Pomimo iż sama skrobia po procesie utleniania zachowuje swoją strukturę ziarnistą, to zdegradowane polimery skrobiowe wykazują znacznie niższą zdolność chłonięcia i zatrzymywania wody, co skutkuje niższą temperaturą kleikowania. Wartości pozostałych parametrów związanych z charakterystyką kleikowania również malały wraz ze wzrostem stopnia utlenienia, wyrażonego jako zawartość grup karboksylowych i karbonylowych (tab. 1). Największymi wartościami lepkości maksymalnej (PV), lepkości w temperaturze 95°C (HPV) oraz lepkości końcowej (FV) odznaczała się skrobia utleniona w najmniejszym stopniu. W jej przypadku odnotowano również największy spadek lepkości (BD) oraz jej wzrost w trakcie chłodzenia (SB). Istotnie niższe wartości lepkości wykazywała skrobia utleniona na drugim poziomie. Pozostałe dwa preparaty odznaczały się dużo mniejszymi wartościami lepkości, nie różniącymi się statystycznie istotnie, co świadczy o daleko posuniętych zmianach depolimeryzacyjnych struktury polimerów skrobiowych.

Skleikowana skrobia, zwana kleikiem skrobiowym, odznacza się przepływem charakterystycznym dla cieczy nienewtonowskiej, rozrzedzanej ścinaniem, której właściwości reologiczne zależą również od czasu ścinania (Lagarrigue i Alvarez, 2001). Przejawia ponadto zjawisko tiksotropii oraz właściwości lepkosprężyste. Kleik skrobiowy może być rozpatrywany jako układ dwufazowy, w którym fazę rozpraszającą stanowi koloidalny roztwór amylozy rozpuszczonej w wodzie, natomiast fazą rozproszoną są fragmenty ziaren złożone głównie z amylopektyny. Właściwości takiego układu zależą od wielu czynników, np. rodzaju i stężenia skrobi, temperatury pomiaru, sposobu przygotowania kleiku, tj. czasu i temperatury ogrzewania zawiesiny (Lagarrigue i Alvarez, 2001). Kleiki skrobiowe o wyższych stężeniach charakteryzują się również obecnością granicy płynięcia przy niskich prędkościach ścinania, a jej wartości zależą od stężenia skrobi, rozkładu wielkości ziaren i ich zdolności pęcznienia, procedury przygotowywania kleiku (Lagarrigue i Alvarez, 2001). Krzywe lepkości kleików badanych skrobi pokazano na rysunku 3. Największymi wartościami lepkości pozornej w badanym zakresie prędkości ścinania charakteryzował się kleik skrobi o najmniejszym stopniu utlenienia, natomiast najmniejszymi — o największym stopniu utlenienia. Potwierdzają to wartości parametrów modelu potęgowego, którego użyto do opisu krzywych eksperymentalnych. Podobnie jak w przypadku charakterystyki kleikowania, największą wartością współczynnika konsystencji, świadczącego o lepkości początkowej, odznaczał się kleik skrobi o najmniejszym stopniu utlenienia. Próbką ta odznaczała się również najniższą wartością wskaźnika płynięcia, co świadczy o największym spadku lepkości wywołanym działaniem sił ścinających. Znacznie mniejsze wartości współczynników konsystencji stwierdzono dla

próbek utlenionych na trzecim i czwartym poziomie, co potwierdza wcześniejsze obserwacje dotyczące lepkości podczas kleikowania (tab. 3).



Rys. 3. Krzywe lepkości kleików skrobi utlenionych. SU1 do SU4 — skrobia utleniona na poziomie od 1 do 4

Fig. 3. Viscosity curves of oxidized starches. SU1 to SU4 — starches oxidized from the first to the fourth level

Tabela 4

Parametry modelu potęgowego opisującego krzywe lepkości kleików skrobiowych  
Power law parameters describing viscosity curves of starch pastes

Poziom utlenienia Oxidation level	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
1	162,455 ± 1,068	0,29 ± 0,00	0,9866
2	3,369 ± 0,151	0,55 ± 0,00	0,9680
3	0,185 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,75 ± 0,00	0,9644
4	0,047 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,87 ± 0,02	0,9566

Wartości średnie ± odchylenie standardowe oznaczone takimi samymi literami w poszczególnych kolumnach nie różnią się w sposób statystycznie istotny przy poziomie istotności 0,05

Mean values ± standard deviation signed the same letters in particular columns are not statistically different at significance level of 0.05

Próbki te również odznaczały się znacznie większymi wartościami wskaźnika płynięcia. Tak istotny spadek lepkości związany jest tu z daleko posuniętą depolimeryzacją polimerów skrobiowych. Jednym z czynników mających istotny wpływ na charakterystykę reologiczną kleików skrobiowych jest obecności amylozy w fazie ciągłej. Pycia i in. (2012)



stwierdzili istnienie dodatniej korelacji pomiędzy zawartością amylozy w skrobiach a wartościami współczynników konsystencji oraz ujemnej pomiędzy zawartością amylozy a wartościami wskaźnika płynięcia. Ponieważ w stanie ziarnistym modyfikacja polimerów skrobiowych zachodzi w największym stopniu w obszarach amorficznych, depolimeryzacja w trakcie procesu utleniania dotyczy w dużym stopniu amylozy, co w konsekwencji istotnie wpływa na spadek lepkości kleików i ogranicza jej zdolność do żelowania.

#### PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wraz ze wzrostem ilości zastosowanego czynnika utleniającego wzrastała liczba grup karboksylowych i karbonylowych w skrobi, przy czym otrzymane preparaty skrobi utlenionych, szczególnie na wyższym poziomie, charakteryzowały się istotnie większą zawartością grup karboksylowych niż karbonylowych. Wraz ze wzrostem stopnia utlenienia malały wartości temperatury początku, piku i końca kleikowania, natomiast nie wykazano jednoznacznego wpływu utleniania na wartości entalpii kleikowania. Malały również wartości temperatury kleikowania wyznaczonej wiskozymetrycznie. Stwierdzono ponadto, że wraz ze wzrostem stopnia utlenienia kleiki badanych preparatów wykazywały mniejszą lepkość zarówno w fazie ogrzewania, jak i chłodzenia oraz wykazywały właściwości cieczy nienewtonowskich rozrzedzanych ścinaniem, a ich lepkość pozorna malała wraz ze wzrostem stopnia utlenienia.

#### LITERATURA

- Abbas K. A., Khalil S. K., Hussin A. S. M. 2010. Modified starches and their usages in selected food products: a review study. *J. Agri. Sci.* 2, 2: 90 — 100.
- Ashogbon A. O., Akintayo E. T. 2014. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: a review. *Starch/Stärke* 66: 41 — 57.
- Copeland L., Blazek J., Salman H., Tang M.Ch. 2009. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloid*. 23, 6, 1527 — 1534.
- Emmambux M. N., Taylor J. R. N. 2013. Morphology, physical, chemical, and functional properties of starches from cereals, legumes, and tubers cultivated in Africa: a review. *Starch/Stärke* 65: 715 — 729.
- Forsell P., Hamunen A., Autio K., Suorti T., Poutanen K. 1995. Hypochlorite oxidation of barley and potato starch. *Starch/Stärke* 47: 371 — 377.
- ISO 11214: 1996. Modified Starch – Determination of carboxyl group content of oxidized starch.
- Kuakpetoon D., Wang Y. J. 2006. Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content. *Carbohydr. Res.* 341: 1896 — 1915.
- Lagarrigue, S., Alvarez, G. 2001. The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review. *J. Food Engin.* 50: 189 — 202.
- Leszczyński W. 2006. Zastosowanie skrobi modyfikowanych w przemyśle spożywczym cz. II. Skrobie chemicznie modyfikowane. *Przemysł Piekarski i Cukierniczy* 6: 6 — 8.
- Parker S., Ring S. G. 2001. Aspects of the physical chemistry of starch. *J. Cereal Sci.* 34: 1 — 17.
- Pycia K., Juszcak L., Gałkowska D., Witeczak M. 2012. Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. *Starch/Stärke* 64: 105 — 144.
- Singh J., Kaur L., McCarthy O. J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications — a review. *Food Hydrocolloid* 21: 1 — 22.

- Tharanathan R. N. 2005. Starch-value addition by modification. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 45, 371 — 384.
- Walkowski A., Lewandowicz G. 2008. Skrobie modyfikowane właściwości technologiczne i zakres stosowania. *Przem. Spoż.* 5, 12: 49 — 51.
- Whistler R. L., BeMiller E., Paschall E. F. 1967. *Starch: chemistry and technology*. Academic Press, New York, vol. 2: 620 — 625.
- Wootton M., Bamunuarachchi A. 1979. Application of differential scanning calorimetric to starch gelatinization. Commercial native and modified starches. *Starch/Stärke* 31: 201 — 204.