

JOANNA LE THANH-BLICHARZ, ZBYSZKO LUBIEWSKI, EWA VOELKEL,  
GRAŻYNA LEWANDOWICZ

## OCENA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNYCH HANDLOWYCH SKROBI NATURALNYCH

### Streszczenie

Na podstawie badań pięciu powszechnie stosowanych skrobi naturalnych (ziemniaczanej, kukurydzianej zwykłej, kukurydzianej woskowej, pszennej i tapiokowej), podjęto próbę określenia podstawowych czynników decydujących o prawidłowości pomiaru ich właściwości reologicznych. Badania wykonano z zastosowaniem wiskografu Brabendera, wiskozymetru Brookfielda oraz reometru Haake. Wykazano, że różne metody oceny właściwości reologicznych skrobi mogą być względem siebie uzupełniające. Badanie przebiegu kleikowania skrobi za pomocą wiskografów, mimo że nie pozwala na oznaczenie bezwzględnych wielkości reologicznych, dostarcza istotnych informacji technologicznych, które znajdują odzwierciedlenie w rezultatach uzyskanych innymi metodami. Lepkość kleików skrobiowych, będących płynami nienewtonowskimi, zależy nie tylko od stężenia, temperatury, szybkości ścinania, ale również od sposobu przygotowania kleiku. Porównywanie lepkości kleików skrobiowych, zmierzonych za pomocą różnych aparatów, wymaga precyzyjnego określenia szybkości ścinania, przy której wykonano pomiar. Wyniki badań uzyskane za pomocą aparatów, w których ustawia się wyłącznie szybkość obrotów wrzeczona (np. wiskozymetru Brookfielda), nie są porównywalne z rezultatami otrzymanymi przy użyciu innych aparatów.

**Słowa kluczowe:** skrobia, właściwości reologiczne, standardy pomiarowe

### Wprowadzenie

Skrobia, podobnie jak celuloza i glikogen, jest polisacharydem powstałym w wyniku kondensacji glukozy. Składa się z dwóch frakcji, różniących się budową, zwanych amylozą i amylopektyną. Cząsteczki amylozy stanowią długie, liniowe łańcuchy pierścieni anhydroglukozy powiązanych ze sobą wyłącznie wiązaniami  $\alpha$ -1,4-glikozydowymi. W jednej cząsteczce amylozy znajduje się, w zależności od pochodze-

---

*Dr inż. J. Le Thanh-Blicharz, mgr inż. E. Voelkel, Oddział Koncentratów Spożywczych i Produktów Skrobiowych w Poznaniu, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, 61-361 Poznań, ul. Starołęcka 40, dr hab. inż. G. Lewandowicz, prof. UP, mgr inż. Z. Lubiewski, Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 48, 60-627 Poznań*

nia botanicznego skrobi, od kilkuset do kilku tysięcy takich pierścieni [10]. Liniowe łańcuchy poliglukanowe są zbudowane jak cząsteczka amylozy, jednak znacznie od niej krótsze, połączone ze sobą dodatkowo wiązaniami  $\alpha$ -1,6-glikozydowymi, tworzą silnie rozgałęzioną strukturę amylopektyny. Cała cząsteczka amylopektyny jest bardzo duża, gdyż jest zbudowana z kilku milionów pierścieni anhydroglukozy. Udział frakcji amylozy w skrobi zależy od jej botanicznego pochodzenia i jest główną determinantą jej funkcjonalności, w tym przede wszystkim właściwości reologicznych [6]. W naturalnej skrobi ziemniaczanej wynosi 16 - 24 %, choć w skrobiach wysokoamylozowych może być jej nawet 70 % i więcej, a w tzw. „woskowych” (wysokoamylopektynowych) występują tylko jej ilości śladowe [4].

Pomimo relatywnie prostej struktury cząsteczkowej skrobi, polisacharyd ten, w zależności od pochodzenia botanicznego, bardzo różni się strukturą nadcząsteczkową, a w konsekwencji również przydatnością do różnego typu zastosowań. Ze względu na zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych, jak również ze względów ekonomicznych, światowy rynek został zdominowany przez skrobie kilku gatunków roślin. Pierwsze miejsce zajmuje sprzedaż skrobi kukurydzianej. Mniejsze, choć istotne znaczenie mają również skrobie pszena i ziemniaczana. Pozostałe, wytwarzane na skalę techniczną skrobie (tapiokowa, kukurydziana woskowa czy ryżowa), w łącznej skali produkcji nie przekraczają 5 % [5]. Na szczególną uwagę zasługuje skrobia tzw. kukurydzy woskowej. Jest ona produkowana na niewielką skalę (poniżej 1 % w skali globu), z rośliny wyhodowanej metodą klasycznej selekcji odmian i zawiera wyłącznie amylopektynę. Jest znacznie droższa od skrobi kukurydzianej zwykłej, jednak odznacza się o wiele korzystniejszymi cechami użytkowymi.

Pod względem funkcjonalności skrobi, w produkcji żywności najistotniejsze są jej właściwości reologiczne, dlatego do oceny skrobi modyfikowanych stosuje się szereg metod. Najczęstszym standardem w tej dziedzinie stało się stosowanie wiskografów – aparatów, które co prawda nie pozwalają na wyznaczenie bezwzględnej lepkości, jednak badając przebieg kleikowania dostarczają szeregu informacji o charakterze technologicznym. W Europie (w tym również w polskim przemyśle skrobiowym) stosuje się powszechnie wiskografy Brabendera [7]. Standardem amerykańskim jest stosowanie wiskografów RVA. W przemyśle skrobiowym stosuje się także wiskozymetry Brookfielda i w kartach charakterystyki produktu różnych preparatów skrobiowych podaje się bardzo często parametry lepkości wyznaczone za pomocą tych właśnie aparatów.

Skrobia, po wydobyciu z materiału roślinnego, występuje w postaci nierozpuszczalnych w zimnej wodzie granulek. Do roztworu wodnego przechodzi dopiero w podwyższonej temperaturze (charakterystycznej dla odmiany botanicznej), zwanej temperaturą kleikowania. Utworzony w ten sposób roztwór koloidalny charakteryzuje się niską stabilnością i w technologii żywności nazywany jest popularnie kleikiem. Lepkość tak otrzymanego roztworu zależy nie tylko od stężenia, temperatury i szybko-

ści ścinania, czyli typowych parametrów istotnych dla oznaczania lepkości roztworów polimerów, ale również od sposobu sporządzania kleiku, odmiany botanicznej skrobi, a nawet warunków uprawy i przechowywania roślin [4]. Niestety, bardzo często producenci skrobi charakteryzując jej właściwości reologiczne podają ograniczone dane dotyczące warunków pomiaru. W praktyce, uniemożliwia to rzetelne porównywanie właściwości różnych preparatów skrobiowych.

Celem pracy było określenie podstawowych czynników decydujących o prawidłowości pomiaru właściwości reologicznych pięciu najpopularniejszych skrobi naturalnych.

### **Materiał i metody badań**

Materiał badawczym były naturalne skrobie ziemniaczana (WPPZ, Luboń SA), pszenna (ZPZ, Niechlów), tapiokowa (Bosto Kąty, Kąty Wrocławskie), kukurydziana zwykła (Bosto Kąty, Kąty Wrocławskie) i kukurydziana woskowa (National Starch and Chemicals, USA).

Zawiesiny skrobiowe o różnym stężeniu poddawano badaniom przebiegu kleikowania za pomocą wiskografu Brabendera (Brabender® GmbH & Co. KG, Niemcy) z zastosowaniem następujących parametrów pomiaru:

- puszka pomiarowa – 700 Nm,
- szybkość ogrzewania/chłodzenia – 1,5 °C/min,
- czas termostatowania – 30 min.

Badanie przebiegu kleikowania skrobi polegało na ogrzewaniu zawiesiny skrobiowej od temperatury pokojowej do 92,5 °C, termostatowaniu w tej temperaturze, a następnie na ochłodzeniu do 25 °C. Różny przebieg procesu kleikowania związany jest z różną zdolnością skrobi do przechodzenia do roztworu. Obecność minimum w przebiegu krzywej kleikowania wskazuje na osiągnięcie przez makrocząsteczkę skrobiową maksymalnej solwatacji przez cząsteczki wody. Brak minimum wskazuje na znaczną asocjację pomiędzy makrocząsteczkami skrobi.

Kleiki skrobiowe do badań reometrycznych sporządzano bezpośrednio przed pomiarami z zastosowaniem zarówno procesu pasteryzacji, jak i sterylizacji. W tym celu zawiesinę skrobiową kleikowano w łaźni wodnej z użyciem mieszadła mechanicznego przez 10 min, a tak przygotowane roztwory znakowano jako pasteryzowane. W celu otrzymania roztworów sterylizowanych, kleiki pasteryzowane poddawano dodatkowej obróbce w temperaturze 121 °C w ciągu 15 min w autoklawie Sturdy Industrial Co., Ltd, (Taiwan). Pomiary lepkości prowadzono w temp. 25 °C z użyciem dwóch różnych aparatów: reometru RheoStres1 firmy HAAKE (Niemcy) oraz wiskozymetru Brookfielda Digital Viscometer Model DV II. W badaniach za pomocą reometru HAAKE stosowano rotory: Z20 DIN Ti; oraz DG43 Ti. Pomiar w trybie CS prowadzono przy naprężeniu ścinającym  $\tau = 50$  Pa, w ciągu 10 min.

## Wyniki i dyskusja

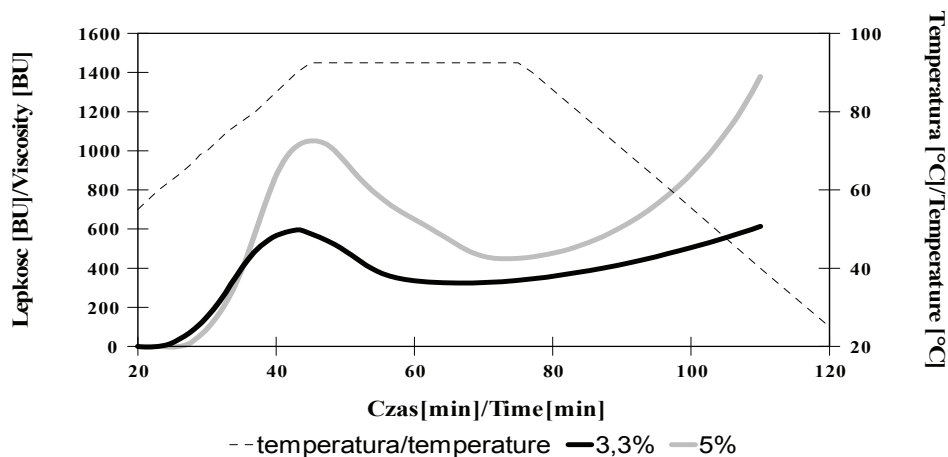
### *Badanie przebiegu kleikowania*

Ze względu na przebieg procesu kleikowania skrobie naturalne dzieli się na trzy typy:

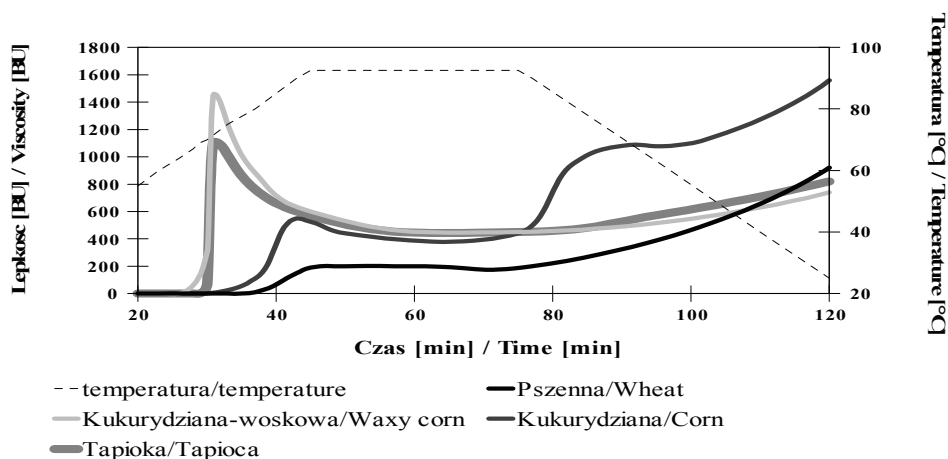
- I – wykazujące gwałtowny wzrost lepkości w pierwszym etapie kleikowania podczas ogrzewania zawiesiny skrobiowej, a następnie równie gwałtowny spadek lepkości w czasie termostatowania i ponowny wzrost lepkości w toku chłodzenia,
- II – wykazujące umiarkowany wzrost lepkości podczas ogrzewania, brak zmian lepkości w czasie termostatowania i ponownie umiarkowany wzrost lepkości w toku chłodzenia,
- III – wykazujące bardzo powolny wzrost lepkości we wszystkich etapach pomiaru.

Trzy spośród badanych skrobi (ziemniaczana, tapiokowa i kukurydziana woskowa) kleikowały wg schematu I, natomiast dwie inne (pszenna i kukurydziana zwykła) wg schematu II (rys. 1 i 2). Pod względem technologicznym, najważniejszym parametrem charakteryzującym zdolność skrobi naturalnej do zagęszczania produktów spożywczych jest lepkość kleiku po ochłodzeniu – największą charakteryzowała się skrobia ziemniaczana. Lepkość ta była tak duża, że niemożliwe było analizowanie przebiegu kleikowania skrobi ziemniaczanej o stężeniu 8 %, tak jak to zrobiono w przypadku skrobi innych gatunków roślin. Należy podkreślić, że charakter krzywej kleikowania zmieniał się również ze zmianą stężenia. Przebieg kleikowania skrobi ziemniaczanej o stężeniu 5 % przebiegał ze znacznie bardziej wyraziście zaznaczonym pikiem lepkości, tzn. zarówno wzrost lepkości podczas wstępnej fazy kleikowania był silniejszy, jak również jej spadek w dalszym etapie był głębszy niż w przypadku zawiesiny o stężeniu 3,3 %.

Drugi z istotnych technologicznie parametrów, czyli temperatura kleikowania była najniższa w przypadku skrobi kleikujących wg schematu I, natomiast istotnie wzrosła podczas kleikowania skrobi zbożowych, czyli pszennej i kukurydzianej zwykłej. Podwyższona temperatura kleikowania skrobi zbożowych związana jest z większą zawartością tłuszczów i białek, które wiążąc amylozę w postaci kompleksu utrudniają jej przejście do roztworu. Na właściwości reologiczne skrobi wpływa silnie nie tylko obecność naturalnie występujących frakcji, ale również obecność dodawanych substancji obcych takich, jak: sole, cukry czy inne hydrokoloidy [8, 9].



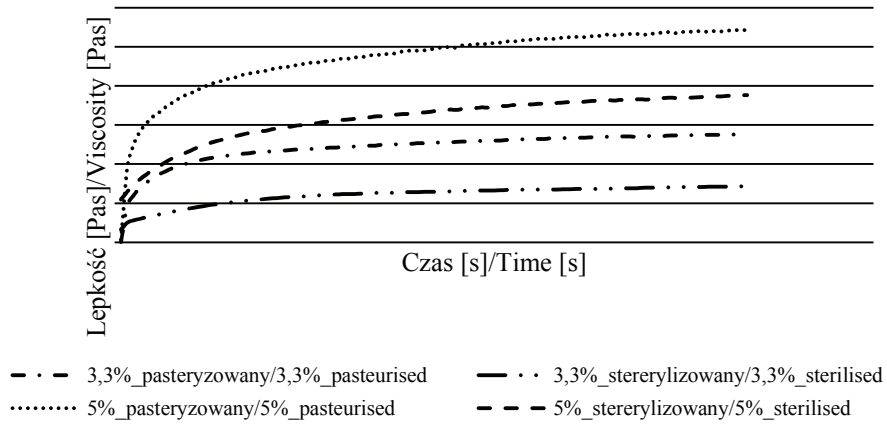
Rys. 1. Przebieg kleikowania zawiesin skrobi ziemniaczanej o różnym stężeniu.  
 Fig. 1. Course of pasting potato starch suspensions showing different concentrations.



Rys. 2. Przebieg kleikowania 8 % zawiesin różnych gatunków skrobi.  
 Fig. 2. Course of pasting 8% suspensions of different starch types showing different concentrations.

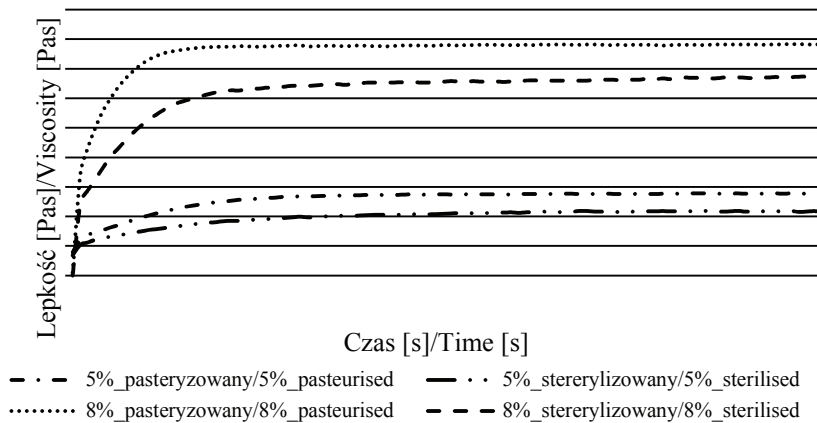
### Pomiar lepkości – wpływ sposobu przygotowania kleików

Skrobie, w odróżnieniu od polimerów syntetycznych, tworzą roztwory, których właściwości reologiczne silnie zależą od sposobów ich przygotowania. We wszystkich przypadkach stwierdzono istotne różnice pomiędzy wielkościami lepkości kleików pasteryzowanych i sterylizowanych. Przy tym skrobie kleikowane wg schematu I (rys. 3 - 5) i II (rys. 6) zachowywały się różnie.



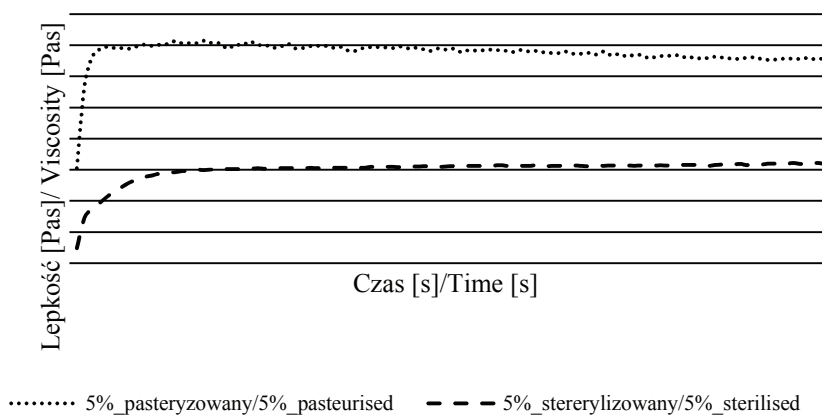
Rys. 3. Lepkość kleików skrobi ziemniaczanej o różnym stężeniu, przyrządzonych w różny sposób, oznaczona za pomocą reometru HAAKE przy stałej szybkości ścinania  $100 \text{ s}^{-1}$ .

Fig. 3. Viscosity of potato starch pastes showing different concentration and prepared in different ways, determined using HAAKE rheometer at a constant shear rate of  $100 \text{ s}^{-1}$ .



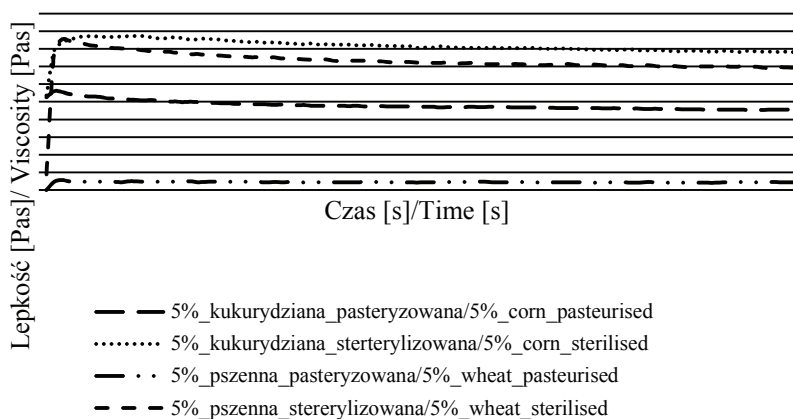
Rys. 4. Lepkość kleików skrobi kukurydzianej woskowej o różnym stężeniu, przyrządzonych w różny sposób, oznaczona za pomocą reometru HAAKE przy stałej szybkości ścinania  $100 \text{ s}^{-1}$ .

Fig. 4. Viscosity of waxy corn starch pastes showing different concentration and prepared in different ways, determined using HAAKE rheometer at a constant shear rate of  $100 \text{ s}^{-1}$ .



Rys. 5. Lepkość kleików skrobi tapiokowej o stężeniu 5 %, przyrządzonych w różny sposób, oznaczona za pomocą reometru HAAKE przy stałej szybkości ścinania  $100 \text{ s}^{-1}$ .

Fig. 5. Viscosity of tapioca starch pastes showing 5% concentration and prepared in different ways, determined using HAAKE rheometer at a constant shear rate of  $100 \text{ s}^{-1}$ .



Rys. 6. Lepkość kleików skrobi kukurydzianej zwykłej oraz pszennej o stężeniu 5 %, przyrządzonych w różny sposób, oznaczona za pomocą reometru HAAKE przy stałej szybkości ścinania  $100 \text{ s}^{-1}$ .

Fig. 6. Viscosity of usual corn and wheat starch pastes showing 5% concentration and prepared in different ways, determined using HAAKE rheometer at a constant shear rate of  $100 \text{ s}^{-1}$ .

Pasteryzowane kleiki skrobi ziemniaczanej, kukurydzianej woskowej i tapiokowej wykazywały większą lepkość niż odpowiednie kleiki sterylizowane (rys. 3 - 5). Odwrotnie w przypadku skrobi kukurydzianej zwykłej i pszennej, to sterylizowane kleiki wykazywały większą lepkość niż pasteryzowane (rys. 6). Te odmienności można wytłumaczyć różnicami podatności na kleikowanie, wykazanymi już za pomocą wi-

skografu. W literaturze przedstawiany jest pogląd, że najpopularniejszy w technologii sposób rozpuszczania skrobi, czyli pasteryzacja, nie zapewnia molekularnego rozproszenia cząsteczek. Można to uzyskać przez dodatkowe podwyższenie temperatury obróbki cieplnej [1]. Z drugiej strony, z procesem sterylizacji łączy się ryzyko rozkładu hydrolytycznego. Skrobie łatwo kleikujące (ziemniaczana, kukurydziana woskowa i tapiokowa) już w procesie pasteryzacji ulegają molekularnemu rozproszeniu i dalsza obróbka hydrotermiczna powoduje ich hydrolizę i zmniejszenie lepkości.

Skrobie trudniej kleikujące (kukurydziana zwykła i pszenna), związane w postaci kompleksów lipidowo-skrobiowych, do molekularnego rozproszenia wymagają wyższej temperatury i stąd w pełni rozwijają swoje zdolności zagęszczające dopiero po procesie sterylizacji.

#### *Pomiar lepkości – wpływ konstrukcji czujnika*

Porównywanie funkcjonalności preparatów skrobiowych wymaga precyzyjnego zachowania identycznych warunków pomiarowych. W przemyśle skrobiowym standardem stało się stosowanie wiskozymetrów Brookfielda – aparatów, w których pomiar polega na wyznaczeniu naprężenia, jakie powstaje podczas obrotu tzw. wrzeciona w ciekłym medium znajdującym się w naczyniu, którego rozmiary (dostatecznie duże) nie decydują o wyniku pomiaru. Konsekwencją tego typu założeń konstrukcyjnych jest brak możliwości precyzyjnego pomiaru szybkości ścinania. Zamiast tego pomiar naprężenia ścinającego odnosi się do szybkości kątowej wrzeciona. Wskutek pozornego podobieństwa jednostek szybkości ścinania i szybkości obrotowej (odp.  $s^{-1}$  i obr/min) użytkownik uważa, że uprawnione jest porównywanie wyników uzyskiwanych na różnych aparatach przy tej samej szybkości obrotowej. Ilustracją skali błędów, jaki można poczynić z racji tak przyjętych założeń są wyniki pomiarów lepkości kleików za pomocą wiskozymetru Brookfielda i reometru HAAKE (tab. 1).

Używając wiskozymetru Brookfielda, w większości przypadków uzyskiwano większe wartości liczbowe niż z reometru Brookfielda. Nie było to jednak regułą i niektóre wyniki otrzymane przy większych prędkościach kątowych wykazywały odwrotną zależność. Brak jednoznacznej zależności pomiędzy wynikami uzyskiwanymi za pomocą aparatów Brookfielda i HAAKE jest oczywisty, jeśli weźmie się pod uwagę, że w reometrze HAAKE zadanie określonej szybkości kątowej wiąże się z zadaniem konkretnej szybkości ścinania, ale po uwzględnieniu rodzaju stosowanego rotora. Natomiast w wiskozymetrze Brookfielda w ogóle niemożliwe jest precyzyjne wyznaczenie szybkości ścinania. Powyższe obserwacje wskazują, że użytkownicy wiskozymetrów Brookfielda, mimo wyrażania wyniku pomiaru w jednostkach bezwzględnych, mogą porównywać wyniki jedynie wówczas, gdy w toku pomiaru nie tylko zastosują tę samą szybkość kątową, ale również będą posługiwać się tym samym wrzecionem.



Tabela 1

Lepkość kleików skrobiowych zmierzonych za pomocą wiskozymetru Brookfielda oraz reometru HAAKE przy zadaniu tej samej szybkości obrotowej.

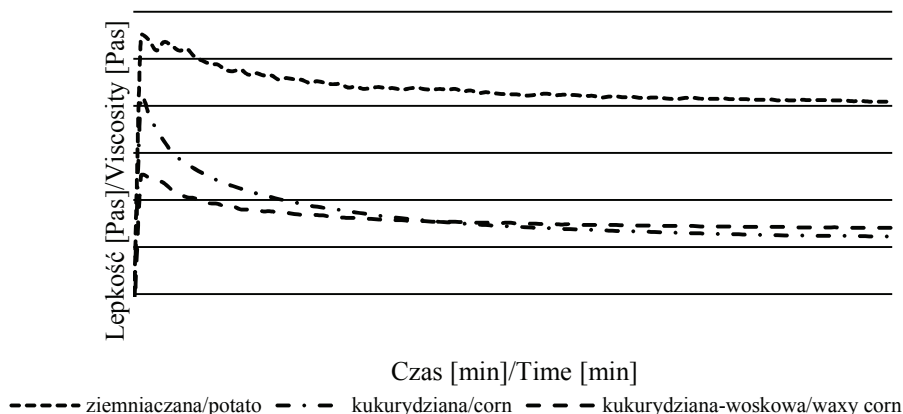
Viscosity of starch pastes measured with Brookfield viscometer and HAAKE rheometer at the same rotational velocity set.

| Lepkość pasteryzowanych lub sterylizowanych kleików skrobi ziemniaczanej o różnych stężeniach [mPa·s]<br>Viscosity of pasteurised or sterilized potato starch pastes of different concentrations [mPa·s]             |                           |       |                          |       |                           |       |                          |       |
|--|---------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Szybkość kątowa [obr./min]<br>Angular velocity [rev/min]   | 3,3 %                     |       |                          |       | 5 %                       |       |                          |       |
|  | pasteryzowany pasteurised |       | sterylizowany sterilized |       | pasteryzowany pasteurised |       | sterylizowany sterilized |       |
|  | Brookfield                | Haake | Brookfield               | Haake | Brookfield                | Haake | Brookfield               | Haake |
| 20   | 1170                      | 666   | 366                      | 175   | 5200                      | 1100  | 900                      | 477   |
| 50   | 1140                      | 606   | 264                      | 245   | 5000                      | 1242  | 650                      | 629   |
| 100  | 980                       | 551   | 220                      | 286   | 3900                      | 1086  | 600                      | 753   |
| Lepkość pasteryzowanych lub sterylizowanych kleików skrobi kukurydzianej woskowej o różnych stężeniach [mPa·s]<br>Viscosity of pasteurised or sterilized waxy corn starch pastes of different concentrations [mPa·s] |                           |       |                          |       |                           |       |                          |       |
| Szybkość kątowa [obr./min]<br>Angular velocity [rev/min]   | 5 %                       |       |                          |       | 8 %                       |       |                          |       |
|  | pasteryzowany pasteurised |       | sterylizowany sterilized |       | pasteryzowany pasteurised |       | sterylizowany sterilized |       |
|  | Brookfield                | Haake | Brookfield               | Haake | Brookfield                | Haake | Brookfield               | Haake |
| 20   | 1500                      | 248   | 1000                     | 205   | 2400                      | 846   | 1820                     | 612   |
| 50   | 930                       | 260   | 640                      | 199   | 1500                      | 950   | 1120                     | 671   |
| 100  | 690                       | 278   | 490                      | 216   | 1280                      | 783   | 770                      | 672   |
| Lepkość kleików skrobi kukurydzianej o różnych stężeniach [mPa·s]<br>Viscosity of pasteurised or sterilized corn starch pastes of different concentrations [mPa·s]   |                           |       |                          |       |                           |       |                          |       |
| Szybkość kątowa [obr./min]<br>Angular velocity [rev/min]   | 5 %                       |       |                          |       | 8 %                       |       |                          |       |
|  | pasteryzowany pasteurised |       | sterylizowany sterilized |       | pasteryzowany pasteurised |       | sterylizowany sterilized |       |
|  | Brookfield                | Haake | Brookfield               | Haake | Brookfield                | Haake | Brookfield               | Haake |
| 20   | 2800                      | 528   | 5800                     | 1035  | 22800                     | 4876  | 20000                    | -     |
| 50   | 1100                      | 358   | 2000                     | 552   | 13000                     | 2611  | 12000                    | -     |
| 100  | 760                       | 228   | 1100                     | 390   | 6600                      | 1517  | 10000                    | -     |

| Lepkość kleików skrobi pszennej o różnych stężeniach [mPa·s]                                   |                              |       |                             |       |                              |       |                             |       |
|--|------------------------------|-------|-----------------------------|-------|------------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| Viscosity of pasteurised or sterilized wheat starch pastes of different concentrations [mPa·s] |                              |       |                             |       |                              |       |                             |       |
| Szybkość<br>kątowna<br>[obr./min]<br>Angular velo-<br>city [rev/min]                           | 5 %                          |       |                             |       | 8 %                          |       |                             |       |
|  | pasteryzowany<br>pasteurised |       | sterylizowany<br>sterilized |       | pasteryzowany<br>pasteurised |       | sterylizowany<br>sterilized |       |
|  | Brookfield                   | Haake | Brookfield                  | Haake | Brookfield                   | Haake | Brookfield                  | Haake |
| 20   | 120                          | 84    | 1200                        | 807   | 8900                         | 4086  | 20000                       | -     |
| 50   | 100                          | 42    | 660                         | 510   | 4600                         | 2222  | 14000                       | -     |
| 100  | 90                           | 22    | 450                         | 346   | 3100                         | 1660  | 11000                       | -     |
| Lepkość kleików skrobi tapiokowej o różnych stężeniach [mPa·s]                                 |                              |       |                             |       |                              |       |                             |       |
| Viscosity of pasteurised or sterilized wheat starch pastes of different concentrations [mPa·s] |                              |       |                             |       |                              |       |                             |       |
| Szybkość<br>kątowna<br>[obr./min]<br>Angular velo-<br>city [rev/min]                           | 5 %                          |       |                             |       | 8 %                          |       |                             |       |
|  | pasteryzowany<br>pasteurised |       | sterylizowany<br>sterilized |       | pasteryzowany<br>pasteurised |       | sterylizowany<br>sterilized |       |
|  | Brookfield                   | Haake | Brookfield                  | Haake | Brookfield                   | Haake | Brookfield                  | Haake |
| 20   | 2400                         | 1186  | 400                         | 342   | 10900                        | 3413  | 2200                        | 1701  |
| 50   | 1900                         | 865   | 300                         | 343   | 7600                         | 3094  | 1700                        | 1453  |
| 100  | 1800                         | 657   | 250                         | 320   | 6100                         | 2165  | 1500                        | 1321  |

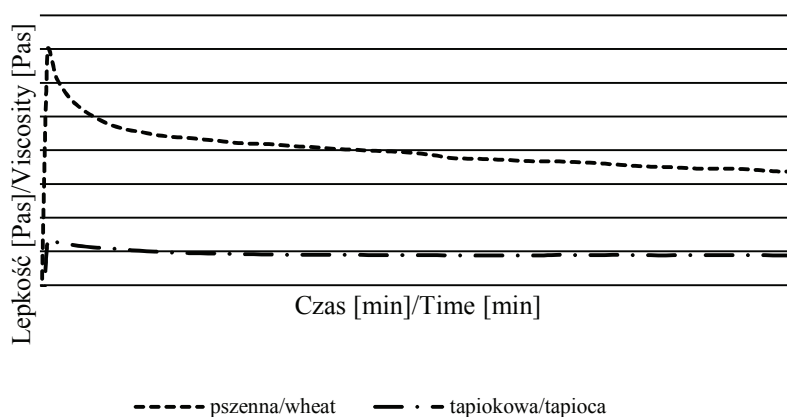
#### *Pomiar lepkości – wpływ trybu pomiarowego*

Dostępność aparatów pracujących w trybie kontrolowanej szybkości ścinania (CR) spowodowała, że pomiary lepkości skrobi dokonywane są głównie w ten sposób. Tymczasem w wielu sytuacjach technologicznych skrobie poddawane są długotrwałym stałym naprężeniom ścinającym i wówczas niezwykle przydatne byłyby dane, jak zmieniają się wówczas ich właściwości [2]. Z badań własnych wynika, że pod wpływem stałego naprężenia ścinającego, w początkowej fazie pomiaru następuje intensywny spadek lepkości wynikający z niszczenia struktury żelowej skrobi (rys. 7 i 8). Spadek ten był większy w przypadku skrobi kleikujących wg schematu II (kukurydziana zwykła i pszena) niż skrobi kleikujących wg schematu I (ziemniaczana, kukurydziana woskowa i tapiokowa). Po początkowym okresie szybkiego spadku, trwającym ok. 2 min, lepkość ustabilizowała się, zwłaszcza skrobi kleikujących wg schematu I. Od 2. do 10. min spadek lepkości kleików skrobi ziemniaczanej wynosił 10 %, tapiokowej 2 %, kukurydzianej woskowej 13 %, pszennej 15 % i kukurydzianej zwykłej aż 34 %.



Rys. 7. Zmiany lepkości w czasie, sterylizowanych kleików skrobi ziemniaczanej, kukurydzianej zwykłej oraz kukurydzianej woskowej o stężeniu 5 %, wywołane przyłożeniem stałego naprężenia ścinającego.

Fig. 7. Viscosity – time profiles of 5 % of sterilized potato, normal and waxy corn starch pastes triggered by a constant shear stress put



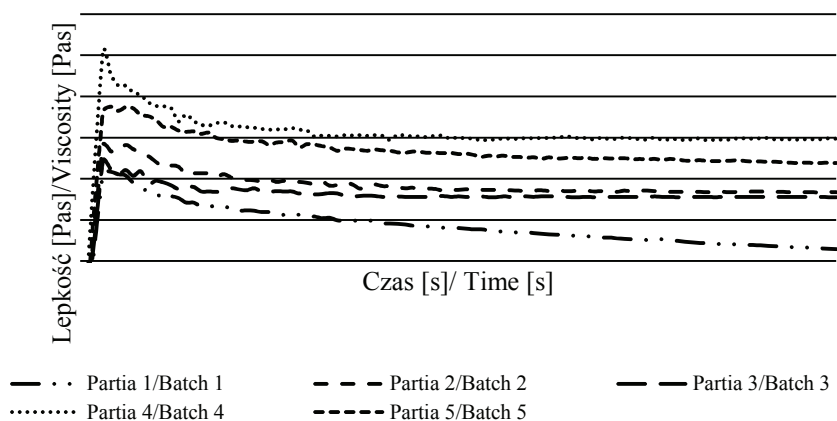
Rys. 8. Zmiany lepkości w czasie, sterylizowanych kleików skrobi pszennej i tapiokowej o stężeniu 5%, wywołane przyłożeniem stałego naprężenia ścinającego.

Fig. 8. Viscosity – time profiles of 5 % of sterilized wheat and tapioca starch pastes triggered by a constant shear stress put

#### *Pomiar lepkości – wpływ partii materiału*

Skrobia jako materiał biologiczny cechuje się znaczną zmiennością, zależącą nie tylko od gatunku rośliny, ale również odmiany, warunków uprawy, stosowanej technologii izolacji, jak również jakości wody technologicznej [4]. Informacje te znajdują potwierdzenie w badaniach własnych (rys. 9). Różnice pomiędzy wielkościami lepkości po 10 min działania stałego naprężenia na kleiki przyrządzane w taki sam sposób,

jednak z różnych próbek skrobi ziemniaczanej (pochodzących od tego samego producenta, lecz wytworzone w różnym czasie), różniły się od 2 % aż do 30 %.



Rys. 9. Zmiany lepkości 5 % sterylizowanych kleików przygotowanych z różnych partii skrobi ziemniaczanej, wywołane przyłożeniem stałego naprężenia ścinającego.

Fig. 9. Viscosity – time profiles of 5 % of sterilized pastes of potato starch prepared from different production batches and triggered by a constant shear stress put.

### Wnioski

1. Celowe jest stosowanie różnych metod oceny właściwości reologicznych skrobi, gdyż mogą się wzajemnie uzupełniać.
2. Badanie przebiegu kleikowania skrobi za pomocą wiskografów, mimo że nie pozwala na oznaczenie bezwzględnych wielkości reologicznych, dostarcza istotnych z punktu widzenia technologicznego informacji, które znajdują potwierdzenie w rezultatach uzyskanych innymi metodami.
3. Lepkość kleików skrobiowych, będących cieczami nienewtonowskimi, zależy nie tylko od stężenia, temperatury, szybkości ścinania, ale również od sposobu przygotowania kleiku.
4. Porównywanie lepkości kleików skrobiowych zmierzonych za pomocą różnych aparatów wymaga precyzyjnego określenia szybkości ścinania. W przypadku wyników otrzymanych za pomocą wiskozymetru Brookfiedla, który pozwala na zadanie wyłącznie określonej szybkości obrotowej, niemożliwe jest ich porównywanie z rezultatami uzyskanymi z innych aparatów.
5. Przydatność wyników uzyskiwanych w trybie CS wskazuje na celowość szerszego rozpowszechnienia tej metody pomiarowej w ocenie preparatów skrobiowych.

*Praca była prezentowana podczas Konferencji Naukowej nt. „Reologia w materii miękkiej”, Poznań, 21 - 22 czerwca 2010 r.*

### Literatura

- [1] Cooreman F.L., van Rensburg H., Delcour J.A.: Pasting profiles and solubility of native and cross-linked corn starch in dimethylsulfoxide-water mixture. *J. Cereal Sci.*, 1995, **22**, 251-257.
- [2] Le Thanh-Blicharz J., Białas W., Lewandowicz G.: Response surface optimization of manufacturing of dietary starch products. *Acta Scient. Polon., Techn. Aliment.*, 2009, **8 (4)**, 51-62.
- [3] Leszczyński W.: Skrobia – surowiec przemysłowy budowa i właściwości. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **500**, 69-98.
- [4] Leszczyński W., Zięba T., Prośba-Białczyk U., Mydlarski M.: Wpływ sposobu uprawy ograniczającego rozwój zarazy ziemniaka na zawartość i właściwości skrobi. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2000, **4 (25) Supl.**, 84-90.
- [5] Lewandowicz G., Balcerek W., Walkowski A.: Produkcja i zastosowanie skrobi modyfikowanych. *Mat. V Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie. Przetwórstwo ziemniaka czynnikiem wzrostu i racjonalizacji jego produkcji”*, Szklarska Poręba, 12-15 maja 2008, ss. 97-105.
- [6] Nakorn K.N., Tongdang T., Sirivongpaisal P.: Crystallinity and rheological properties of pregelatinized rice starches differing in amylose content. *Starch/Stärke*, 2009, **61**, 101-108.
- [7] PN-A-74706:1984. Przetwory skrobiowe, metody badań krochmali.
- [8] Ribotta P.D., Colombo A., Alberto E. Alberto L.E., Anón M.C.: Effects of soy protein on physical and rheological properties of wheat starch. *Starch/Stärke*, 2007, **59**, 614-623.
- [9] Sikora M., Krystyan M.: Interactions of potato (*Solanum tuberosum* L.) starch with selected polysaccharide hydrocolloids – a mini review. *Food*, 2009, Special Issue 1 - Potato III, 72-78.
- [10] Swinkles J.J.M.: Composition and properties of commercial native starches. *Starch/Stärke*, 1985, **37**, 1-5.

### EVALUATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL NATIVE STARCHES

#### S u m m a r y

Based on the research into five commonly used natural starches (potato, usual corn, waxy corn, wheat, and tapioca), an attempt was made to determine the basic factors appearing decisive for the correctness of measuring the rheological properties of the starches. The research was carried out using a Brabender viscograph, a Brookfield viscometer, and a HAAKE rheometer. It was shown that various methods applied to evaluate starch properties could be complementary to each other. The analysis of the course of the pasting process by the Brabender viscograph provides significant technological information, although it does not make possible to determine absolute rheological quantities; the information obtained from this analysis are reflected in the results obtained using other methods. The viscosity of starch pastes, which are non-Newtonian fluids, depends not only on the concentration, temperature, and shear rate, but, also, on the preparation method of starch paste. In order to compare the starch paste viscosity data measured using different apparatuses, it is necessary to precisely determine the share rate at which the measurement is taken. The research results, obtained using the apparatuses in which only the angular velocity of spindle is set (for example Brookfield viscometer) are not comparable with the results obtained from the measurements taken using other devices.

**Key words:** starch, rheological properties, measurement standards 