

Jolanta Gawątek<sup>1</sup>, Piotr Wesółowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

<sup>2</sup> Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Politechnika Poznańska

## WPŁYW STĘŻENIA NA WŁASNOŚCI REOLOGICZNE KONCENTRATÓW ROZPUSZCZALNEJ KAWY ZBOŻOWEJ

### Streszczenie

W pracy przeprowadzono badania własności fizycznych wysoko-stężonych koncentratów kawy rozpuszczalnej. Wyznaczone zależności opisujące gęstość i dynamiczny współczynnik lepkości wykorzystano do opisu minimalnych nakładów energetycznych na realizację procesu wytwarzania koncentratów w mieszalniku z mechanicznym mieszadłem.

**Słowa kluczowe:** koncentraty kawy zbożowej, reologia, gęstość, lepkość.

### Wprowadzenie

Znajomość parametrów reologicznych koncentratów kawy o różnym stężeniu jest niezbędna z punktu widzenia oceny nakładów energetycznych koniecznych do realizacji procesu ich wytwarzania w mieszalniku z mechanicznym mieszadłem.

### Cel i zakres pracy

Celem podjętych badań doświadczalnych, była ocena wpływu stężenia na własności reologiczne koncentratów rozpuszczalnej kawy zbożowej. Badania przeprowadzono dla 16 koncentratów, wytworzonych w mieszalniku z mechanicznym mieszadłem, w zakresie stężeń  $X [\%] \in (2,5 \div 40)$ , zmieniając udział masowy kawy w wodnym roztworze co  $G_s/G [\text{kgS/kg}] = 0,025$ .

### Metodyka i wyniki pomiarów

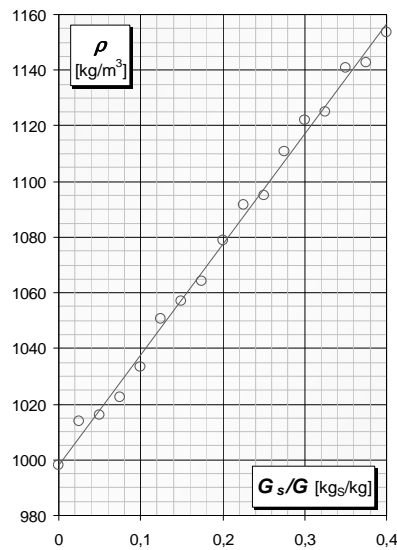
W pierwszym etapie badań przeprowadzono bezpośrednie, aerometryczne pomiary gęstości  $\rho [\text{g/cm}^3]$  wszystkich koncentratów.

Doświadczenia wykonano w Instytucie Technologii i Inżynierii Chemicznej PP, gdzie na uniwersalnym stanowisku do badania procesów mieszania w układach wielofazowych wytwarzano koncentraty kawy.

Uzyskane wyniki, po przeliczeniu na układ SI, przedstawiono na rysunku 1. W wyniku analizy prezentowanych rezultatów otrzymano zależność:

$$\rho = 397 \frac{G_s}{G} + 998 \quad (1)$$

Równanie (1) opisuje uzyskane punkty doświadczalne z rozrzutem mniejszym niż  $\pm 1\%$ .

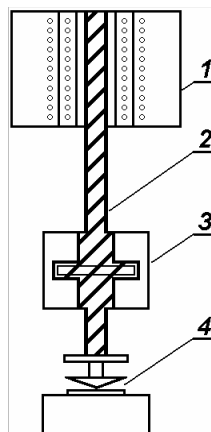


Rys. 1. Wykres zależności gęstości od stężenia koncentratów kawy.

Fig. 1. Diagram of density depending on the concentration of instant grain coffee

W drugim etapie badań wyznaczono przebieg klasycznych krzywych płynięcia wiążąc rejestrowane naprężenia styczne  $\tau$  [dyna/cm<sup>2</sup>] z zadaną szybkością ścinania  $\dot{\gamma}$  [s<sup>-1</sup>] przy określonym stężeniu koncentratu kawy X [%].

Doświadczenia wykonano w Instytucie Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego AR w Poznaniu stosując reometr rotacyjny Brookfield Rheometer RVDV III (rys. 2.) z układem typu stożek- płytki [Pruska-Kędzior i in. 2001]. Badania przeprowadzono w temperaturze  $t = 22$  °C termostatując układ pomiarowy wraz z materiałem badanym z dokładnością  $\pm 0,5$  °C. Reometr sprzężony był z komputerem wyposażonym w program Rheocalc Rh, zbierający i przetwarzający wyniki pomiarów.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego:

1 – układ napędowy; 2 – wał; 3 – łożysko; 4 – układ pomiarowy.

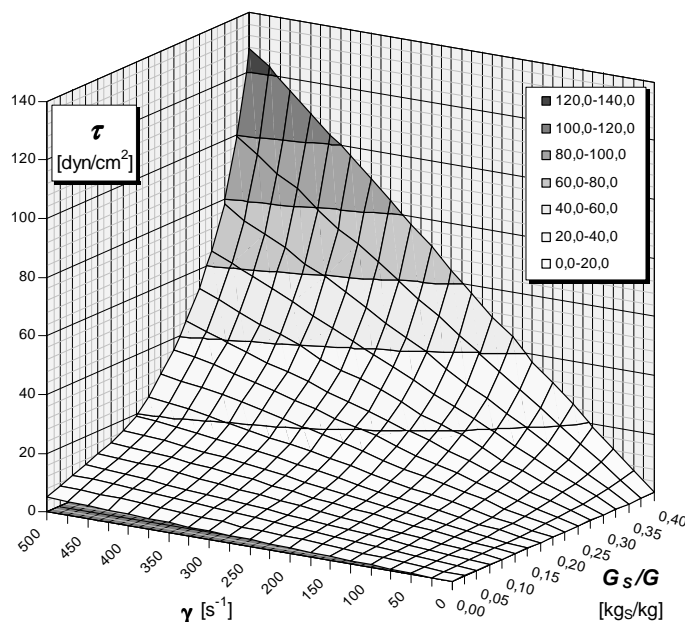
Fig. 2. Scheme of the measuring stand: 1-driving mechanism, 2-shaft, 3-bearing, 4-measuring system

Stosowany reometr, pozwalał dla wszystkich koncentratów ( $G_s/G = \text{const}$ ), przy krokowej zmianie szybkość ścinania w zakresie  $\gamma[\text{s}^{-1}] \in (25 \div 500)$ , rejestrować naprężenia styczne w granicach  $\tau[\text{dyna}/\text{cm}^2] \in (0 \div 140)$ . Uzyskane wyniki doświadczalne zilustrowano (rys. 3.) w postaci zależności:

$$\tau = f\left(\gamma, \frac{G_s}{G}\right) \quad (2)$$

Prezentowane rezultaty eksperymentalne (rys. 3.) pokazują jednoznacznie, że rejestrowane naprężenia styczne  $\tau$  rosną, zarówno ze wzrostem szybkości ścinania  $\gamma$ , jak i ze wzrostem udziału masowego kawy  $G_s/G$  w badanych koncentratkach. Po przeliczeniu rejestrowanych wartości naprężeń stycznych na układ SI, wykreślono rzuty prostokątne prezentowanej powierzchni na obie płaszczyzny pionowe (rys. 4.), uzależniając tym samym mierzone naprężenia styczne od zmienianych w badaniach parametrów operacyjnych:

$$\tau = f\left(\frac{G_s}{G}\right) \text{ dla } \gamma = \text{const} \text{ i } \tau = f(\gamma) \text{ dla } \frac{G_s}{G} = \text{const} \quad (3)$$



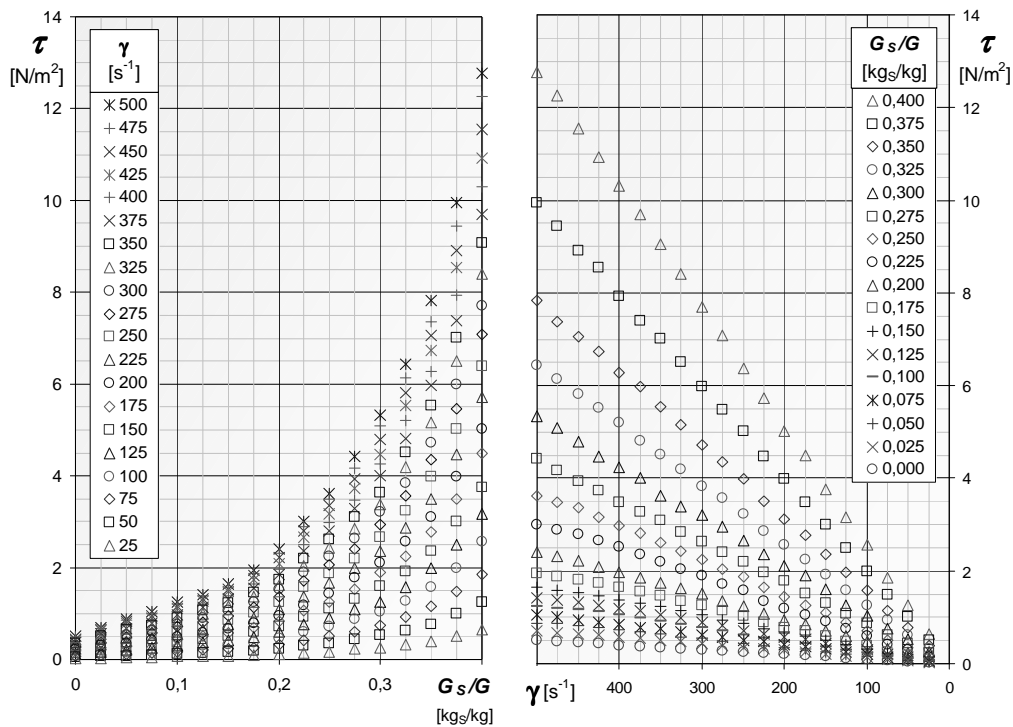
Rys. 3. Wykres zależności naprężeń stycznych od szybkości ścinania przy określonych stężeniach koncentratów kawy zbożowej.

Fig. 3. Diagram of shearing stresses depending on shearing velocity at given concentrations of instant grain coffee

Analiza wyników pozwala dostrzec wykładniczy wpływ stężenia na rejestrowane naprężenia styczne przy określonej szybkości ścinania (rys. 4a.) oraz proporcjonalny wzrost naprężeń stycznych ze wzrostem szybkości ścinania dla wszystkich badanych koncentratów kawy zbożowej (rys. 4b.).

W oparciu o prezentowane wyniki podjęto próbę określenia reologicznego charakteru badanych koncentratów kawy zbożowej. W tym celu dla wszystkich wykreślonych serii pomiarowych (rys. 4b.) wyznaczono parametry reologiczne występujące w równaniu Ostwolda i de Wale'a [Kembłowski 1973]:

$$\tau = K \cdot \gamma^n \quad (4)$$



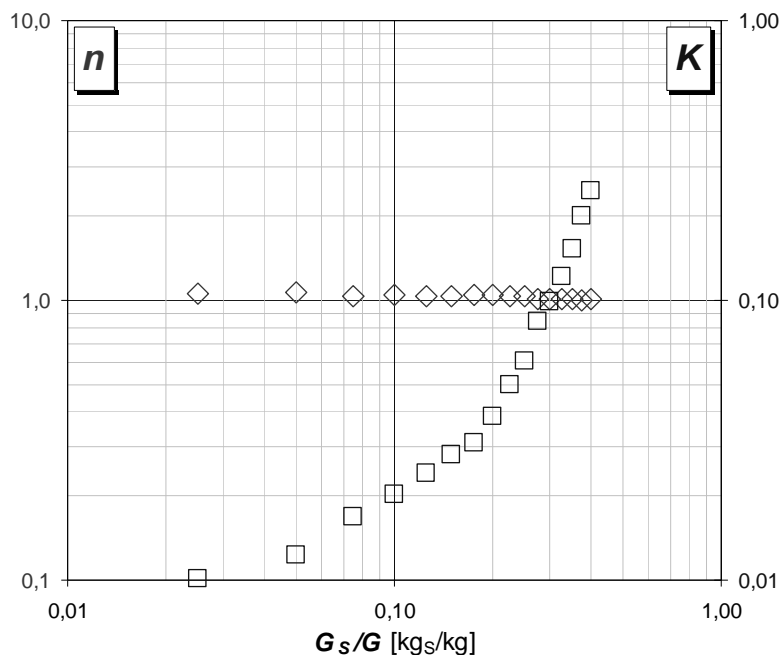
Rys. 4. Wykresy zależności rejestrowanych naprężeń stycznych: a) od stężenia koncentratów; b) od szybkości ścinania.

Fig. 4. Diagrams of recorded shearing stresses depending (a) concentration of instant coffee concentrate, (b) shearing velocity

Uzyskane metodą regresji wartości współczynnika konsystencji  $K$  [Ns<sup>n</sup>/m<sup>2</sup>] i charakterystycznego wskaźnika płynięcia  $n$ , wykreślono w zależności od stężenia badanych koncentratów kawy zbożowej (rys. 5.).

Prezentowane rezultaty (rys. 5.) wskazują na jednoznaczny wzrost występującego w równaniu (4) współczynnika konsystencji  $K$  ze wzrostem stężenia badanych koncentratów. Przede wszystkim jednak omawiane wyniki pokazują, że charakterystyczny wskaźnik płynięcia dla wszystkich badanych koncentratów jest stały i bardzo bliski wartości  $n = 1$ , co pozwala postawić tezę, iż w badanym zakresie stężeń koncentraty kawy zbożowej mają charakter, zgodny z klasycznym równaniem modelowym Newtona [Ferguson, Kembłowski 1995]:

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (5)$$



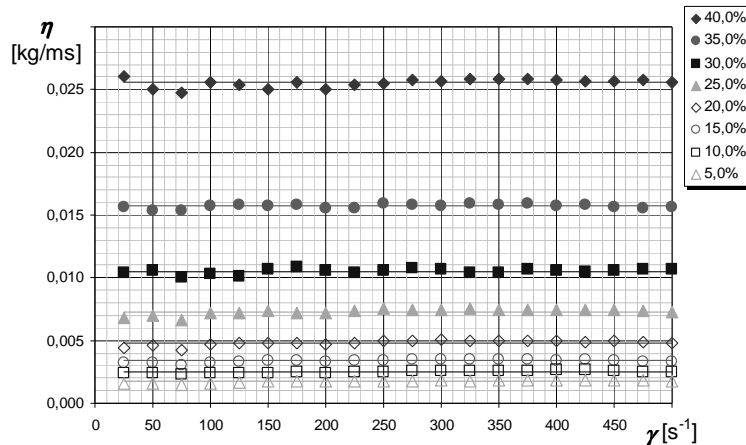
Rys. 5. Porównanie wpływu stężenia badanych koncentratów kawy na współczynnik konsystencji  $K$  [ $\text{Ns}^n/\text{m}^2$ ] i charakterystyczny wskaźnik płynięcia  $n$ , występujące w równaniu (2).

Fig. 5. Comparing the effect of concentration of tested instant grain coffee concentrates on consistence coefficient  $K$  [ $\text{Ns}^n/\text{m}^2$ ] and characteristic melt flow index ( $n$ ), preset in the equation (2)

W celu zweryfikowania tezy o newtonowskim charakterze badanych płynów, dla wszystkich punktów pomiarowych wyliczono, występujący w równaniu (5), dynamiczny współczynnik lepkości  $\eta$ , który dla koncentratów o określonym stężeniu winien być stały w całym zakresie szybkości ścinania.

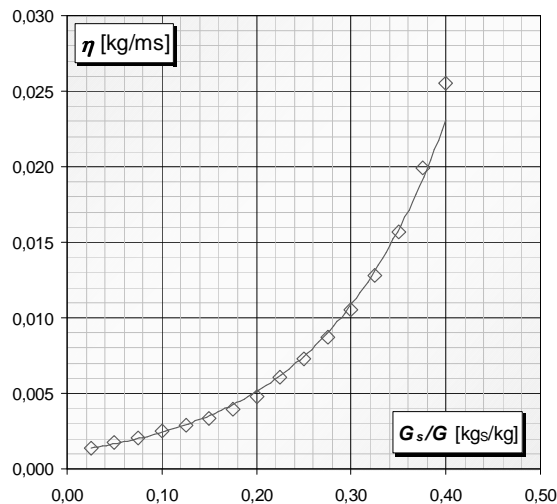
Na rysunku 6 przedstawiono zależność dynamicznych współczynników lepkości wyliczonych w oparciu o równanie (5) dla wybranych koncentratów kawy zbożowej. Uzyskane wyniki potwierdzają stałość tego parametru w całym badanym zakresie zmienności szybkości ścinania dla koncentratów o określonym stężeniu, co jednoznacznie potwierdza ich newtonowski charakter.

Linie ciągłe na rysunku 6 reprezentują średnie wartości dynamicznych współczynników lepkości wyliczone dla poszczególnych koncentratów kawy w celu zilustrowania rozrzutu wykreślonych punktów. Zależność wyliczonych średnich wartości dynamicznych współczynników lepkości od stężenia wszystkich badanych koncentratów kawy zbożowej zilustrowano graficznie (rys. 7.).



Rys. 6. Porównanie zależności dynamicznego współczynnika lepkości od szybkości ścinania dla wybranych koncentratów kawy zbożowej

Fig. 6. Compared relationships between dynamic viscosity coefficient and shearing velocity for selected instant grain coffee concentrates



Rys. 7. Zależność dynamicznego współczynnika lepkości od udziału masowego kawy zbożowej w koncentracie.

Fig. 7. Relationship between dynamic viscosity coefficient and mass share of grain coffee in the concentrate

W wyniku przeprowadzonego rachunku regresyjnego wykreślona zależność (rys. 7.) opisano równaniem:

$$\eta = 1,13 \cdot 10^{-3} \cdot \exp\left(7,54 \frac{G_s}{G}\right) \quad (6)$$

Równanie (6) opisuje korelowane punkty z rozrzutem nie większym niż  $\pm 12\%$ .

W celu weryfikacji wyznaczonej regresyjnie zależności (6) dla wszystkich uzyskanych punktów pomiarowych wykonano klasyczny kwadrat błędów korelując doświadczalne wartości naprężeń stycznych z wyznaczonymi na podstawie obliczeń z równania:

$$\tau = 1,13 \cdot 10^{-3} \cdot \exp\left(7,54 \frac{G_s}{G}\right) \cdot \gamma \quad (7)$$

Równanie (7) opisuje wykreślone na rysunku 3 punkty doświadczalne z rozrzutem nie większym niż  $\pm 20\%$ . Uzyskane wyniki pozwalają rekomendować zależność (6) do wyznaczania dynamicznego współczynnika lepkości wytwarzanych w mieszalniku koncentratów kawy.

### **Wnioski**

Analiza wyników uzyskanych w obu etapach przeprowadzonych badań doświadczalnych pozwoliła stwierdzić, że:

- gęstość badanych koncentratów wzrasta wprost proporcjonalnie ze wzrostem stężenia kawy – równanie (1),
- koncentraty kawy zbożowej w badanym zakresie stężeń wykazują charakter newtonowski – równanie (5),
- dynamiczny współczynnik lepkości gwałtownie (wykładniczo) wzrasta ze wzrostem stężenia kawy – równanie (6).

Otrzymane regresyjnie zależności opisujące gęstość i dynamiczny współczynnik lepkości badanych koncentratów kawy zbożowej wykorzystano do weryfikacji klasycznych charakterystyk mocy stosowanych mieszadeł. Potwierdzono słuszność tezy postawionej w oparciu o obserwacje czynione podczas prowadzenia eksperymentu, iż podczas wytwarzania coraz bardziej stężonych koncentratów kawy zbożowej, w wyniku zmiany obu wspomnianych parametrów fizycznych, mimo wzrostu częstości obrotów mieszadła nie występuje wzrost intensywności mieszania.

### **Bibliografia**

Ferguson J., Kembłowski Z. 1995.: Reologia stosowana płynów. Wyd. Marcus, Łódź,

Kembłowski Z. 1973: Reometria płynów nienewtonowskich. Wyd. WNT, Warszawa,

Pruska-Kędzior A., Lefebvre J., Kędzior Z. 2001.: Zastosowanie metod reologicznych w technologii żywności i biotechnologii,

W: Jankiewicz M., Kędzior Z. (red.): Metody pomiarów i kontroli jakości w przemyśle spożywczym i biotechnologii. Wydział Technologii Żywności AR Poznań, 437-502.

### **EFFECT OF CONCENTRATION ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF INSTANT GRAIN COFFEE CONCENTRATES**

#### **Summary**

Physical properties of the instant grain coffee concentrates of high concentration were studied. The relationship describing the density and dynamic viscosity coefficient were used to determine minimum energy inputs in the process of preparing the concentrates in a mixer with mechanical agitator.

**Key words:** instant grain coffee concentrates, rheological properties, density, viscosity.

Recenzent-Wojciech Weiner