

Urszula M. MICHALCZUK, Agata PENCONEK, Arkadiusz MOSKAL

e-mail: agata.penconek@pw.edu.pl

Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

## Właściwości reologiczne wybranych płynów ustrojowych. Cz. II. Wpływ pyłu pustynnego

### Wstęp

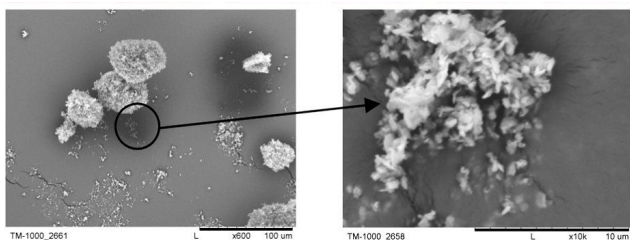
W pracy Cz. I. *Modele płynów ustrojowych* [Michalczuk i in., 2017] przedstawiono modele i scharakteryzowano podstawowe właściwości reologiczne sztucznego śluzu, osocza, śliny i płynu mózgowo-rdzeniowego (PMR). W tej części pracy skupiono uwagę na cząstkach naturalnych obecnych w środowisku – pyłe pustynnym i efektowi, jaki pył pustynny wywołuje na płyny ustrojowe.

### Badania doświadczalne

W badaniach wykorzystano modele czterech płynów biologicznych: śluzu nosowego/oskrzelowego, śliny, osocza i płynu mózgowo-rdzeniowego (PMR) szczegółowo omówione w pierwszej części pracy [Michalczuk i in., 2017] oraz cząstki środowiskowe – pył pustynny.

#### Pył pustynny

Do badań użyto pył *Arizona Dust Nominal 0÷3 micron* (Powder Technology Inc., USA). *Arizona Dust* jest produktem pochodzenia naturalnego wykorzystywanym do testowania filtrów. Według karty charakterystyki rozmiar cząstek pyłu w wodzie powinien mieścić się w zakresie  $778 \text{ nm} \div 18 \mu\text{m}$ ,  $d_{10} = 0,857 \mu\text{m}$ ,  $d_{50} = 1,203 \mu\text{m}$ , a  $d_{90} = 2,166 \mu\text{m}$ . Średnia średnica cząstki pyłu w powietrzu (wg pomiarów własnych wykonanych spektrometrem *Portable Aerosol Spectrometer, Model 1.109*, (Grimm, Niemcy) wynosi  $1,968 \mu\text{m}$ , a zakres wielkości mieści się w granicach  $0,25 \div 32 \mu\text{m}$ . Na rys. 1. przedstawiono zdjęcie cząstek pyłu wykonane metodą SEM (*Hitachi*, Japonia).



Rys. 1. Pył pustynny. Zdjęcie po prawej stronie pokazuje powiększony obiekt z lewego zdjęcia. Przed wykonaniem zdjęcia cząstki napyłono warstwą złota.

Cząstki pyłu składają się z następujących związków:  $\text{SiO}_2$  (68 – 78% mas.),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10÷15% mas.),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2÷5% mas.),  $\text{CaO}$  (2÷5% mas.),  $\text{KCl}$  (2÷5% mas.),  $\text{Na}_2\text{O}$  (2÷4% mas.),  $\text{MgO}$  (1÷2% mas.),  $\text{TiO}_2$  (0,5÷1% mas.) (wg danych producenta).

#### Metodyka pomiaru

Właściwości reologiczne śluzu, śliny, osocza i PMR badano przy użyciu reometru oscylacyjnego *MCR102* (Anton Paar, Austria) w układzie płytka-płytko, wyposażonego w układ *Peltiera*, w trzech temperaturach (22, 36,6 i 40°C) oraz dla dwóch stężeń cząstek 0,06 i 6 mg/ml. Wielkość szczeliny wynosiła 1 mm.

#### Obliczeniowa lepkość zawiesiny

Lepkość układu o małym objętościowym ułamku fazy rozproszonej, którą stanowią kuliste cząstki dla płynów newtonowskich, może (w ograniczonym zakresie) być opisana prawem *Einsteina*:

$$\mu_z = \mu(1+2,5\varphi) \quad (1)$$

gdzie:

$\varphi$  – udział objętościowy fazy rozproszonej

$\mu$  – lepkość układu,

$\mu_z$  – lepkość zawiesiny.

Dla najwyższego badanego stężenia pyłu pustynnego ułamek objętościowy fazy rozproszonej wynosi ok. 0,012, dlatego posłużono się zależnością (1) do wyznaczenia teoretycznej lepkości zawiesin o najwyższym badanym stężeniu cząstek.

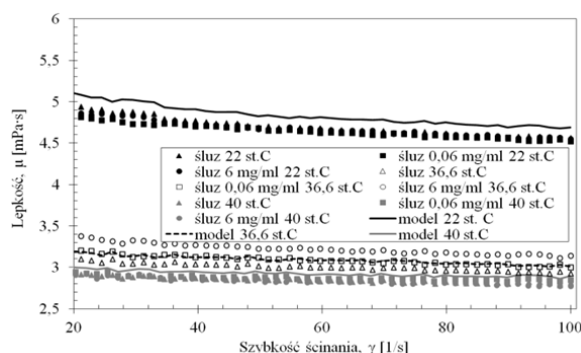
### Wyniki i dyskusja

Wyniki pomiarów i obliczeń (w postaci linii) zamieszczono na wykresach zależności lepkości w funkcji szybkości ścinania (Rys. 2, 4, 6 i 8) dla trzech badanych temperatur.

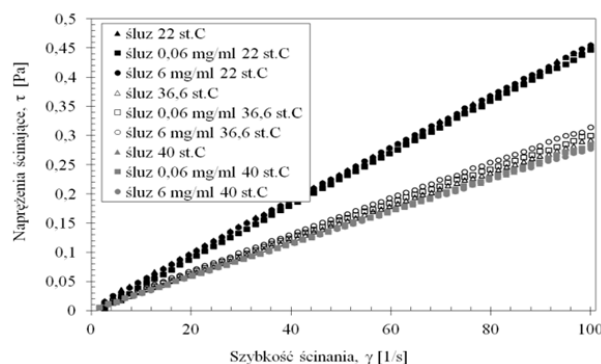
**Lepkość śluzu** o zawartości 2% mucyn rosła się wraz ze wzrostem stężenia pyłu pustynnego, tylko w temperaturze próbki 36,6°C. W temperaturach 22 i 40°C nie obserwowano żadnego wpływu (Rys. 2). Zmianie nie ulegał też kształt krzywych płynięcia (Rys. 3).

**Lepkość sztucznej śliny** rosła wraz ze wzrostem stężenia pyłu pustynnego w próbce. Zwiększenie temperatury próbki (obniżenie lepkości) nie wpływało na ten efekt (Rys. 4). Dodatek pyłu nie wywoływał zmian w kształcie krzywych płynięcia (Rys. 5).

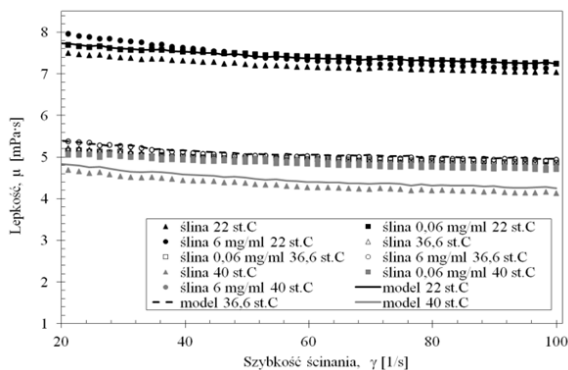
**Płyn mózgowo-rdzeniowy.** W tym przypadku jedynie duże stężenie pyłu pustynnego (6 mg/ml) powodowało wzrost lepkości PMR, a efekt ten był dobrze widoczny przy małych szybkościach ścinania. Wraz ze wzrostem szybkości ścinania wpływ obecności cząstek na lepkość PMR zanikał, podobnie jak zanikał wraz ze wzrostem temperatury próbki (Rys. 6).



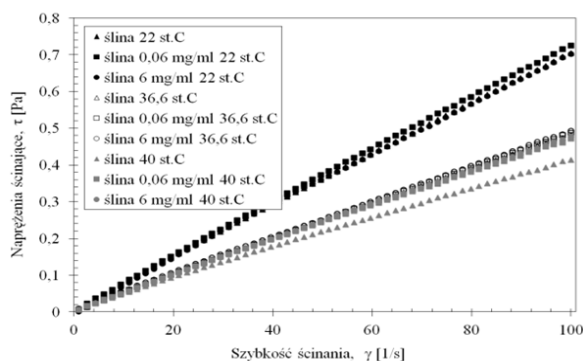
Rys. 2. Zależność lepkości w funkcji naprężeń ścinających dla śluzu 2%



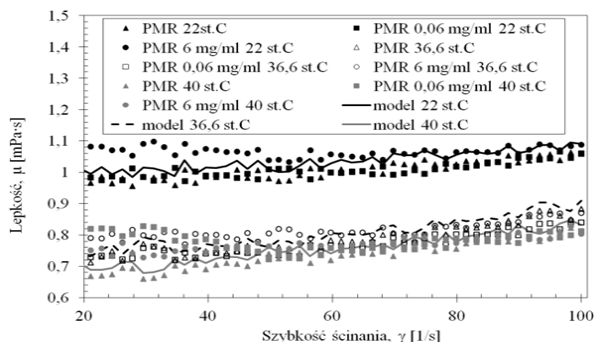
Rys. 3. Krzywa płynięcia dla śluzu o różnym stężeniu cząstek pyłu



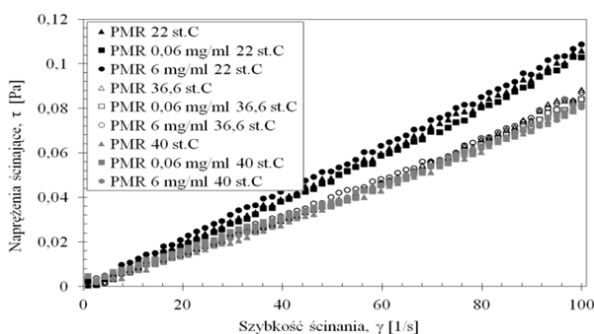
Rys. 4. Zależność lepkości w funkcji naprężeń ścinających dla śliny



Rys. 5. Krzywa płynięcia dla śliny o różnym stężeniu cząstek pyłu

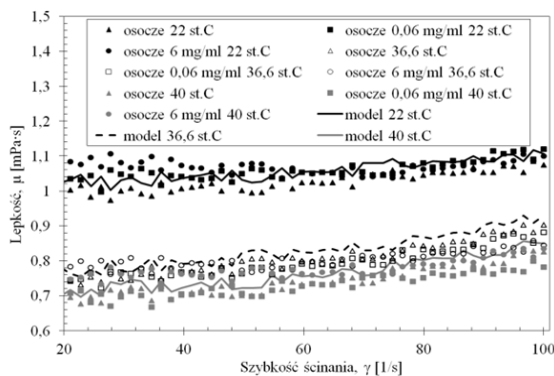


Rys. 6. Zależność lepkości w funkcji naprężeń ścinających dla PMR

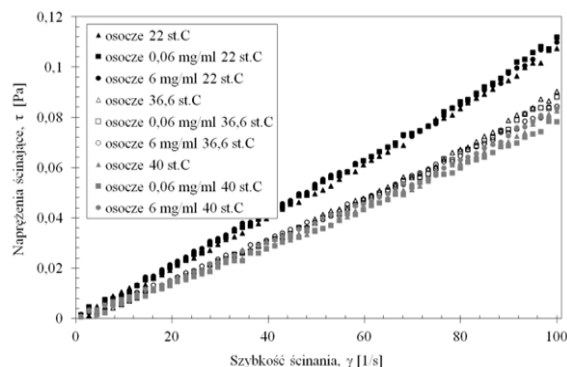


Rys. 7. Krzywa płynięcia dla PMR o różnym stężeniu cząstek pyłu

**Osocze.** Podobny efekt, jaki zaobserwowano dla PMR, zauważyć można dla osocza. Lepkość osocza wzrastała wraz ze wzrostem stężenia pyłu pustynnego dla małych szybkości ścinania (Rys. 8). Wraz ze wzrostem szybkości ścinania efekt zanikał, podobnie jak zanikał wraz ze wzrostem temperatury. W obu przypadkach (PMR i osocze) nie zaobserwowano zmiany prostoliniowego przebiegu krzywej płynięcia (Rys. 7 i 9).



Rys. 8. Zależność lepkości w funkcji naprężeń ścinających dla osocza



Rys. 9. Krzywa płynięcia dla osocza o różnym stężeniu cząstek pyłu

## Wnioski

W przypadku PMR i osocza wyniki uzyskane na podstawie modelu (1) są zgodne z wynikami eksperymentalnymi dla wysokich prędkości ścinania. Dla pozostałych badanych płynów (śluz i ślina) oraz dla niskich wartości szybkości ścinania dla PMR i osocza wyniki uzyskane na podstawie modelu różnią się od wyników eksperymentalnych. Może wynikać z jego ograniczonego zastosowania albo z dodatkowych efektów jakie pojawiają się w przypadku płynów w składzie, których znajdują się mucyny i dochodzi do interakcji cząstka-mucyna oraz efektów, które uwidaczniają się dla mniej lepkich płynów, jak PMR i osocze przy niskich szybkościach ścinania. Aby jednak określić przyczynę tego zjawiska potrzebne są dalsze pogłębione badania ze szczególnym uwzględnieniem efektów lepkością w płynach takich jak ślina i śluz.

W żadnym z badanych przypadków nie zaobserwowano opisywanej w literaturze zmiany charakteru płynu z newtonowskiego na nienewtonowski w wyniku wytworzenia zawiesiny, co może wynikać ze zbyt małego udziału fazy rozproszonej w fazie ciągłej.

Również dalszych pogłębionych badań wymagać będzie zaobserwowana inertywność śluzu na obecność pyłu pustynnego w 22°C i 40°C szczególnie w świetle doniesień literaturowych o zwiększonej przepuszczalności śluzu dla cząstek leków w wyniku dodatku do niego cząstek środowiskowych [McGill i Smyth, 2010].

## LITERATURA

- McGill S.L., Smyth D.C. (2010). Disruption of the mucus barrier by topically applied exogenous particles. *Mol. Pharm.* 7(6), 2280-2288. DOI: 10.1021/mp100242r
- Michalczyk U., Penconek A., Moskal A., (2017). Właściwości reologiczne wybranych płynów ustrojowych. Cz. I. Modele płynów biologicznych. *Inż. Ap. Chem.*, 56(3), 94-95

*Badania sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach grantu nr 2015/19/B/ST8/00599.*

*Autorzy pragną podziękować Pani inż. Marcie Wojtczuk oraz Pani inż. Agnieszce Sienkiewicz za wykonanie części badań eksperymentalnych prezentowanych w artykule..*