

Dorota KONDEJ¹, Tomasz R. SOSNOWSKI²

e-mail: dokon@ciop.pl

¹ Zakład Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa² Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Oddziaływanie nanocząstek haloizytu na surfaktant płucny

Wstęp

Do produkcji nowoczesnych tworzyw sztucznych stosowane są różne nanomateriały, które mogą stwarzać zagrożenie dla zdrowia pracowników. W procesie wytwarzania nanokompozytów polimerowych, wykorzystuje się w roli napelniaczy m.in. nanocząstki glinokrzemianów, które przyczyniają się do polepszenia właściwości fizycznych, wytrzymałościowych i cieplnych nanokompozytów [1, 2]. Wciąż pozostaje nierozpoznany wpływ tych domieszek na ważne elementy układu oddechowego, w tym – na surfaktant płucny.

Surfaktant płucny pełni ważną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu, m.in. obniża napięcie powierzchniowe w pęcherzykach płucnych, co zapobiega ich zapadaniu się w końcowej fazie wydechu, zwiększa ich stabilność i zapobiega obrzękowi płuc. Bierze on również udział w samooczyszczaniu pęcherzyków płucnych z wdychanych zanieczyszczeń aerozolowych [3–5]. Nanocząstki występujące w środowisku pracy mogą osłabiać aktywność powierzchniową surfaktantu płucnego [6–11] i w efekcie, poprzez zaburzenie jego funkcji fizjologicznych i obronnych, przyczyniać się do rozwoju chorób, w tym chorób zawodowych.

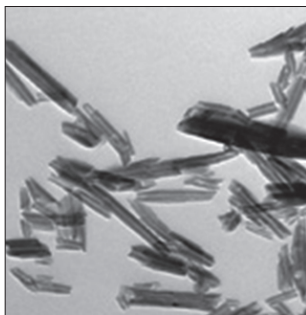
W niniejszej pracy przedstawiono wstępne wyniki badań wpływu wybranych nanocząstek glinokrzemianów stosowanych w produkcji nanokompozytów polimerowych na aktywność powierzchniową surfaktantu płucnego. Do badań wytypowano nanocząstki haloizytu w postaci nanorurek o średnicy kilkudziesięciu nanometrów i długości kilku mikrometrów, które mają szerokie zastosowanie w nanotechnologii [12].

Metodyka badań

Badania przeprowadzono metodą tensjometrii dynamicznej z wykorzystaniem tensjometru z pulsującym pęcherzykiem (PBS, *Electronics Corp.*, USA).

W roli substancji reprezentującej właściwości fizykochemiczne surfaktantu naturalnego wykorzystano preparat SURVANTA (*Abbott*, Francja). W badaniach stosowano 5% obj. roztwór preparatu w soli fizjologicznej, o stężeniu 1,25 mg fosfolipidów/ml.

W badaniach stosowano pył haloizytu $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, którego cząstki miały kształt nanorurek (*Sigma-Aldrich*) (Rys. 1).



Rys. 1. Morfologia nanocząstek haloizytu [*Sigma-Aldrich*]

W tab. 1 zamieszczono podstawowe informacje dotyczące struktury badanych nanocząstek.

Tab. 1. Charakterystyka nanocząstek haloizytu stosowanych w badaniach

Średnica [nm]	Długość [μm]	Porowatość [ml/g]	Powierzchnia właściwa [m ² /g]
30–70	1–3	1,26–1,34	64

Badania wpływu nanocząstek haloizytu na modelowy surfaktant płucny polegały na wytworzeniu pęcherzyka powietrznego w roztworze modelowego surfaktantu, termostatowanym w temperaturze zbliżonej do temperatury ciała człowieka (ok. 37°C). Pęcherzyk powietrzny poddawany był pulsacjom z częstotliwością 15 cykli/min., odpowiadającą częstości oddechowej człowieka. Oscylacje wielkości pęcherzyka przebiegały w zakresie od 0,55 mm (maksymalny promień) do 0,4 mm (minimalny promień pęcherzyka), odpowiadającym stopniowi kompresji mającemu miejsce w pęcherzyku płucnym. Podczas kompresji i ekspansji pęcherzyka powietrznego wyznaczano, zgodnie z równaniem *Younga-Laplace'a*, wartości chwilowego napięcia powierzchniowego $\sigma(r)$

$$\sigma = \frac{r\Delta p}{2} \quad (1)$$

gdzie:

r – promień pęcherzyka,

Δp – różnica ciśnień pomiędzy ciśnieniem atmosferycznym i ciśnieniem wewnątrz pęcherzyka.

W celu oceny aktywności powierzchniowej modelowego surfaktantu płucnego wyznaczono przebiegi histerez napięcia powierzchniowego σ w funkcji zredukowanej powierzchni międzyfazowej w cyklu ekspansja-kompresja

$$\sigma = f\left(\frac{A}{A_{\max}}\right) \quad (2)$$

gdzie: A – wielkość powierzchni pęcherzyka podczas jego pulsacji.

Następnie analizie poddano kryteria ilościowe charakteryzujące stan surfaktantu:

– minimalne napięcie powierzchniowe σ_{\min} podczas pulsacji pęcherzyka

$$\sigma_{\min} = \min\{\sigma(A)\} \quad (3)$$

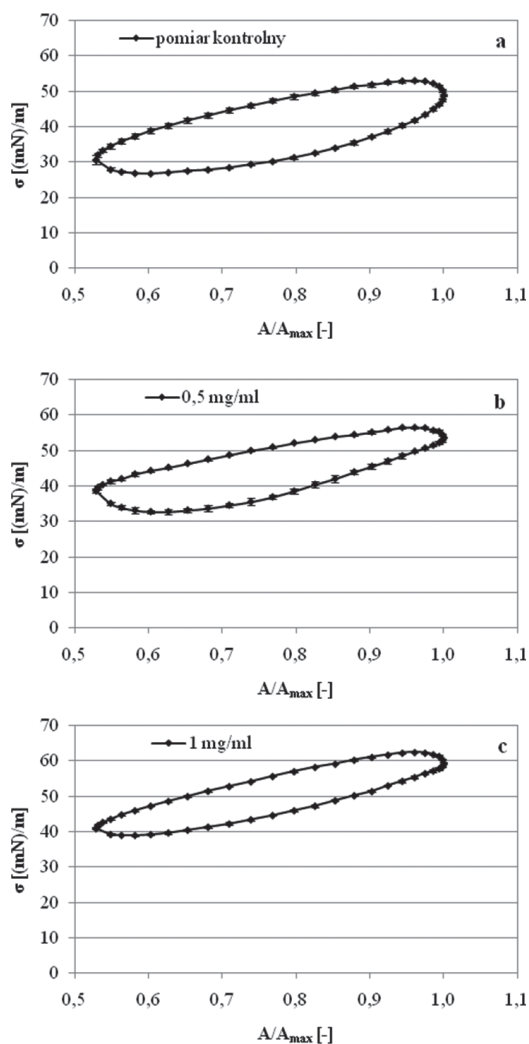
– znormalizowane pole histerezy napięcia powierzchniowego HA_n w cyklu kompresja – ekspansja powierzchni

$$HA_n = \frac{\left[\int_A \sigma dA \right]_{\text{ekspansja}} - \left[\int_A \sigma dA \right]_{\text{kompresja}}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (4)$$

Badaniom poddano roztwór czystego surfaktantu płucnego (pomiar kontrolny) oraz zawiesiny nanocząstek haloizytu w roztworze surfaktantu w zakresie stężeń pyłu haloizytu do 1 mg/ml. Porównanie wartości kryteriów ilościowych uzyskanych dla poszczególnych zawiesin do wartościami odnoszącymi się do pomiaru kontrolnego było podstawą do ilościowej oceny wpływu nanocząstek haloizytu na aktywność powierzchniową modelowego surfaktantu płucnego.

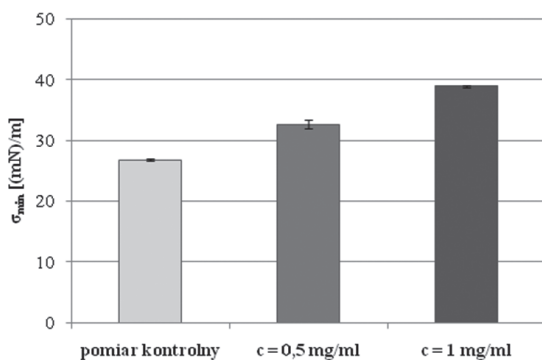
Wyniki i dyskusja

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe histerezy napięcia powierzchniowego wyznaczone dla surfaktantu w warunkach kontrolnych (bez dodatku pyłu) oraz w układzie zawierającym nanocząstki haloizytu o stężeniu 0,5 mg/ml oraz o stężeniu 1 mg/ml. Porównując poszczególne wykresy zaobserwowano zmianę kształtu oraz położenia histerez. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem stężenia nanocząstek haloizytu w roztworze modelowego surfaktantu płucnego następuje wyraźne zmniejszenie pętli histerez oraz przesunięcie ich położenia w kierunku wyższych wartości napięcia powierzchniowego. Powyższe zmiany świadczą o osłabieniu aktywności powierzchniowej modelowego surfaktantu płucnego, spowodowanym obecnością nanocząstek haloizytu.



Rys. 2. Porównanie histerez napięcia powierzchniowego przy oscylacjach powierzchni ciec – gaz w układzie zawierającym modelowy surfaktant: a) pomiar kontrolny (bez pyłu), b) z pyłem $c = 0,5 \text{ mg/ml}$, c) z pyłem $c = 1 \text{ mg/ml}$

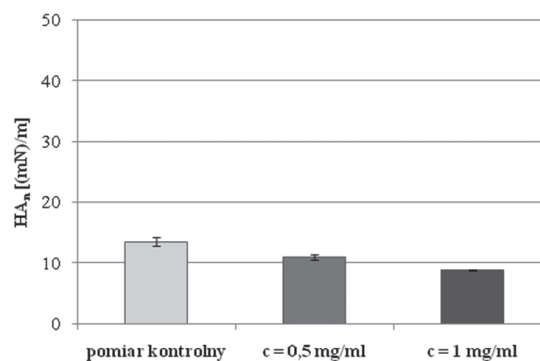
Na rys. 3 porównano wartości minimalnego napięcia powierzchniowego wyznaczonego w badanych układach.



Rys. 3. Porównanie wartości minimalnego napięcia powierzchniowego σ_{\min} w układzie zawierającym modelowy surfaktant: bez pyłu (pomiar kontrolny) oraz z pyłem o stężeniu $c = 0,5 \text{ mg/ml}$ i $c = 1 \text{ mg/ml}$

Minimalna wartość napięcia powierzchniowego dla układu czystego surfaktantu wynosiła ok. 27 (mN)/m. Dodanie nanocząstek haloizytu spowodowało jej wzrost do ok. 33 (mN)/m przy stężeniu 0,5 mg/ml oraz do ok. 39 (mN)/m przy stężeniu 1 mg/ml.

Na rys. 4 zestawiono wartości znormalizowanego pola histerezy odnoszące się do roztworu czystego surfaktantu oraz do zawiesin pyłu haloizytu o stężeniu 0,5 i 1 mg/ml. W pomiarach kontrolnych znormalizowane pole histerezy przyjmowało wartości ok. 14 (mN)/m. Ze wzro-



Rys. 4. Porównanie wartości znormalizowanego pola histerezy HA_n w układzie zawierającym modelowy surfaktant: bez pyłu (pomiar kontrolny) oraz z pyłem o stężeniu $c = 0,5 \text{ mg/ml}$ i $c = 1 \text{ mg/ml}$

stem stężenia nanocząstek haloizytu w roztworze modelowego surfaktantu płucnego zaobserwowano spadek wartości znormalizowanego pola histerezy. Dla układu o stężeniu pyłu 0,5 mg/ml znormalizowane pole histerezy wynosiło ok. 11 (mN)/m, natomiast dla układu o stężeniu pyłu 1 mg/ml przyjmowało wartości ok. 9 (mN)/m.

Uzyskane wyniki świadczą o silnym oddziaływaniu nanorurek haloizytu na surfaktant płucny. Obecność nanocząstek osłabia aktywność powierzchniową surfaktantu płucnego, co potwierdza obserwacje poczynione również w badaniach wpływu m.in. nanocząstek złota [6] oraz nanostrukturalnych składników spalin silników *Diesla* [9, 13].

Wnioski

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu nanocząstek haloizytu, stosowanych w produkcji nanokompozytów polimerowych, na aktywność powierzchniową surfaktantu płucnego. Stwierdzono zależną od stężenia redukcję właściwości powierzchniowo czynnych modelowego surfaktantu płucnego przez nanorurki haloizytu. Osłabienie aktywności powierzchniowej surfaktantu płucnego przez badane nanocząstki może mieć znaczący wpływ w rozwoju chorób zawodowych układu oddechowego. Realizowane obecnie badania wpływu nanocząstek innych glinokrzemianów (m.in. bentonitu), różniących się budową i wymiarami, na surfaktant płucny pozwolą na wytypowanie bezpieczniejszych dla zdrowia nanocząstek, które mogą być stosowane w produkcji tworzyw sztucznych.

LITERATURA

- [1] M. Kacperski: *Komp.*, **3**, 225 (2003).
- [2] M. Malesa: *Elast.*, **8**, nr 3, 12 (2004).
- [3] Y. Y. Zuo, R. A. W. Veldhuizen, A. W. Neumann, N. O. Petersen, F. Possmayer: *BBA-Biomembranes*, **1778**, 1947 (2008).
- [4] E. G. Tzortzaki, E. Vlachaki, N. M. Siafakas: *Pneumon*, **20**, 364 (2007).
- [5] J. Floros, D.S. Phelps, U. Pison, R. Spragg: *Curr. Resp. Med. Rev.*, **1**, 77 (2005).
- [6] M. S. Bakshi, L. Zhao, R. Smith, F. Possmayer, N.O. Petersen: *Biophys. J.* **94**, 855 (2008).
- [7] S. Kanno, A. Furuyama, S. Hirano: *Arch. Toxicol.*, **82**, 841 (2008).
- [8] T. Ku, S. Gill, R. Löbenberg, S. Azarmi, W. Roa, E. J. Prenner: *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **8**, 2971(2008).
- [9] W. E. Wallace, M. J. Keane, D. K. Murray, W. P. Chisholm, A. D. Maynard, T. Ong: *J. Nanopart. Res.* **9**, 23 (2007).
- [10] C. Schleh, J. M. Hohlfeld: *Inhal.Toxicol.*, **21**, 97 (2009).
- [11] R. K. Harishchandra, M. Saleem, H. J. Galla: *J. Roy.Soc. Interf.*, **7**, 15 (2010).
- [12] J. Pagacz, K. Pielichowski: *Czas. Techn.* **1**, 133 (2007).
- [13] T. R. Sosnowski, L. Gradoń, K. Kramek-Romanowska: *Inż. Ap. Chem.* **48**, nr 5, 99 (2009).

Praca oparta na wynikach II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” w latach 2011–2013 dofinansowywanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.