

Dorota KONDEJ¹, Tomasz R. SOSNOWSKI²

e-mail: dokon@ciop.pl

¹Zakład Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa²Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Badania fizykochemicznego oddziaływania pyłów powstających przy obróbce metali z fosfolipidem surfaktantu płucnego (DPPC)

Wstęp

Surfaktant płucny (SP) jest ważnym elementem układu oddechowego człowieka. SP występuje w dolnych drogach oddechowych, głównie na poziomie pęcherzyków płucnych, i składa się z lipidów (do 90% wagowo) oraz specyficznych białek, tzw. apoprotein. Surfaktant tworzy pierwszą strukturę, z jaką stykają się substancje dostające się do płuc wraz z wdychanym powietrzem. SP spełnia funkcję obronną, która polega m.in. na umożliwianiu przemieszczania się zdeponowanych cząstek (np. pyłów występujących w środowisku pracy) do wyższych pieter drzewa oskrzelowego. Proces ten przebiega dzięki efektom *Marangoni* – przepływowi warstwy cieczy, napędzanym przez gradienty napięcia powierzchniowego powstające w układzie SP o specyficznej, dynamicznej aktywności powierzchniowej. Analiza teoretyczna i doświadczalna tego interesującego procesu przenoszenia była przedmiotem szeregu prac m.in. [1–4]. Efektywność transportu spada w przypadku, gdy surfaktant traci swoje pierwotne właściwości fizykochemiczne, co może mieć miejsce w niektórych stanach chorobowych oraz w sytuacjach uszkodzenia surfaktantu np. na skutek oddychania zanieczyszczonym powietrzem.

Doniesienia literaturowe dostarczają dowodów na negatywny wpływ szeregu czynników występujących w środowisku pracy na funkcje układu oddechowego m.in. [5, 6]. W pracach opublikowanych w ostatnich latach m.in. [7, 8] wskazuje się także na potencjalną rolę zaburzenia własności surfaktantu w toksycznym oddziaływaniu czynników wziewnych na płuca.

W niniejszej pracy skoncentrowano się na badaniu efektów fizykochemicznych wynikających z oddziaływania wybranych pyłów powstających w procesach obróbki metali na dipalmitylofosfatydylocholine (DPPC), będącą podstawowym fosfolipidowym składnikiem SP. Celem badań jest określenie możliwości uszkodzenia funkcji surfaktantu płucnego w wyniku kontaktu z pyłem zawartym w powietrzu na stanowisku pracy. Badania wykonane w zaprezentowanym tu nowym układzie pomiarowym stanowią rozszerzenie wcześniejszych prac wskazujących na negatywne oddziaływanie pyłów metali i ich związków na modelowy, kompletny surfaktant płucny (*Survanta*) [9].

Metodyka badań

Badania polegały na pomiarze dynamicznego ciśnienia powierzchniowego w wadze *Langmuira-Wilhelmy'ego* (KSV, Finlandia) w układzie woda-powietrze-DPPC, do którego wprowadzano określone dawki pyłu zebranego na stanowisku obróbki metali szlifarką tarczową. Ciśnienie powierzchniowe definiuje się jako:

$$\pi = \sigma_w - \sigma, \quad (1)$$

gdzie σ oznacza chwilową (dynamiczną) wartość napięcia powierzchniowego, zaś σ_w – wartość napięcia powierzchniowego wody w temperaturze pomiaru (tutaj: 37°C – temperatura ciała ludzkiego). DPPC (*Sigma-Aldrich*, czystość 99%) wprowadzano na powierzchnię wody z roztworu chloroformowego o stężeniu 1 mg/ml i pozostawiano do odparowania przez 10 min. W przypadku badań oddziaływania DPPC z cząstkami pyłu, przed pomiarem pył w odpowiedniej ilości był dodawany do fazy ciekłej. Dawki pyłu wyliczono korzystając z danych literaturowych dotyczących stężeń pyłów występujących w powietrzu na stanowiskach pracy oraz sprawności ich depozycji w płucach przy

złożeniu standardowych parametrów oddechowych (głębokość i tempo oddechu) i czasu ekspozycji. Sposób pozyskania pyłów i metodę pomiaru ich granulacji opisano m.in. w pracy [10]. W cytowanej pracy podano również ich skład pierwiastkowy. W tab. 1 zamieszczono dane dotyczące rozkładu granulometrycznego pyłu oraz jego stężeń w fazie wodnej w warunkach eksperymentu, dla dwóch stężeń pyłu występujących w powietrzu.

W wyniku pomiarów wyznaczono zależności $\pi(A)$, gdzie A oznacza pole powierzchni międzyfazowej, oraz zależności $\kappa(\pi)$, gdzie κ oznacza współczynnik ściśliwości powierzchni ciec – gaz zawierającej DPPC. Przeprowadzone badania umożliwiają ocenę, czy kontakt pyłów z fosfolipidem SP może zaburzać jego dynamiczne właściwości powierzchniowo czynne.

Tab. 1. Charakterystyka pyłu i stężenia stosowane w pomiarach

Zakres wymiarowy cząstek [μm]	Udział masowy [-]	Średnia sprawność depozycji płucnej [%]	Stężenie pyłu w wodzie [mg/ml] dla stężeń w powietrzu 4 mg/m ³	Stężenie pyłu w wodzie [mg/ml] dla stężeń w powietrzu 40 mg/m ³
< 1	0,18	40	0,31	3,1
1-2,5	0,23	30		
2,5-10	0,59	20		

Wyniki i dyskusja

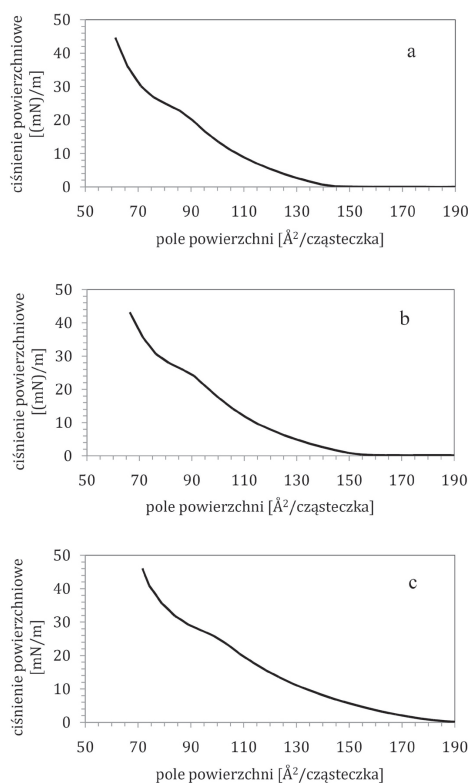
Na rys.1 porównano izotermy kompresji DPPC w warunkach bez lub z domieszką cząstek pyłu.

Na podstawie porównania przebiegu izoterm kompresji (Rys. 1) trudno jest jednoznacznie potwierdzić efekt oddziaływania cząstek pyłu na DPPC. Ze wzrostem dawki pyłu wyraźnie zaobserwować można jedynie wcześniejszy (tj. występujący przy wyższej wartości pola powierzchni) wzrost ciśnienia powierzchniowego powyżej zera. Dalszą analizę ułatwiają zależności ściśliwości powierzchni od ciśnienia powierzchniowego, które zamieszczono na rys. 2. Ściśliwość obliczono ze wzoru:

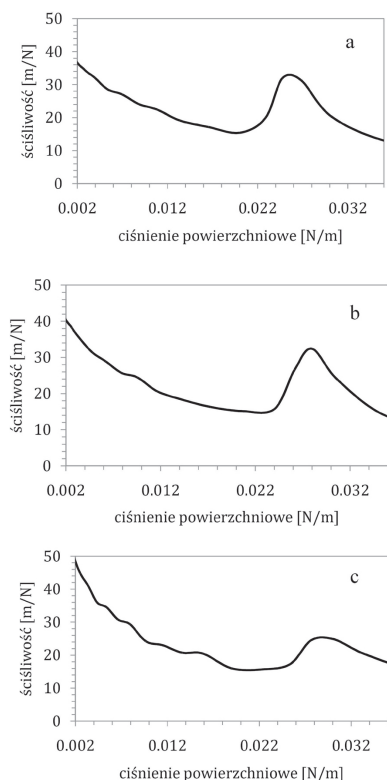
$$\kappa = -\frac{1}{A} \frac{dA}{d\pi}. \quad (2)$$

Sens wyznaczenia ściśliwości wynika z faktu, że powierzchnia zawierająca SP jest w warunkach rzeczywistych stale poddawana periodycznym odkształceniom (cykl oddechowy). Stąd celowe jest jak najpełniejsze określenie zachowań powierzchni podczas wymuszeń mechanicznych.

Z wykresów zamieszczonych na rys. 2 wynika, że po dodaniu pyłów występuje przesunięcie maksymalnej wartości ściśliwości. Ze wzrostem stężenia pyłu obserwuje się spadek maksimum κ występującego w zakresie ciśnienia powierzchniowych 26–28 (mN)/m, którego wartość spada z ok. 35 do ok. 26 m/N. Świadczy to o wzmocnieniu odpowiedzi układu na odkształcenie mechaniczne w tym zakresie π . Z kolei dla niskich wartości ciśnienia, ściśliwość powierzchni zawierającej czysty fosfolipid jest niższa (ok. 38 m/N przy ciśnieniu 0,002 N/m) niż w przypadku, gdy układ zawiera domieszkę pyłów (przy tym samym π , ściśliwość wynosi odpowiednio ok. 41 i ok. 49 m/N dla stężeń pyłu 0,31 i 3,1 mg/ml).



Rys. 1. Izoterm DPPC (37°C) przy szybkości kompresji powierzchni: 2,5 cm²/s: a) bez pyłu, b) z pyłem $c = 0,31$ mg/ml, c) z pyłem $c = 3,1$ mg/ml



Rys. 2. Krzywe zależności ścisłości od ciśnienia powierzchniowego dla DPPC (37°C) przy szybkości kompresji powierzchni: 2,5 cm²/s: a) bez pyłu, b) z pyłem $c = 0,31$ mg/ml, c) z pyłem $c = 3,1$ mg/ml

Z przedstawionych wyników można wnioskować, że obecność pyłów pochodzących z obróbki metali (szlifierka tarczowa) wpływa na właściwości powierzchni zawierającej DPPC, lecz nie można tego uznać za wpływ znaczący. Odnosząc uzyskane dane do wcześniejszych wyników, otrzymanych po ekspozycji kompletnego surfaktantu płucnego na ten sam rodzaj pyłu [9], należy przyjąć, że efekt częściowej degradacji dynamicznych właściwości powierzchniowo czynnych SP w znacznie większym stopniu pochodzi od oddziaływania cząstek pyłu ze składnikami innymi niż fosfolipidy. Zaobserwowane w niniejszych badaniach stosunkowo słabe zaburzenie właściwości powierzchniowych DPPC nie może bowiem tłumaczyć ewidentnego spadku aktywności kompletnego surfaktantu, jaki został stwierdzony w pomiarach oscylacyjnych symulujących cykl oddechowcy [9].

Wnioski

W pracy zbadano doświadczalnie wpływ pyłów nano- i mikrometrowych powstających w procesie mechanicznej obróbki metali (na przykładzie szlifierki tarczowej) na dynamiczne właściwości powierzchniowo czynne głównego fosfolipidowego składnika surfaktantu płucnego. Stwierdzono, że obecność pyłu w stężeniach odpowiadających wysokim (4 mg/m³) oraz bardzo wysokim (40 mg/m³) zawartościom w powietrzu, w stosunkowo niewielkim stopniu zmienia aktywność powierzchniową DPPC. Można więc wnioskować, że utrata aktywności wieloskładnikowego surfaktantu płucnego obserwowana wcześniej w pomiarach oscylacyjnych [9] jest skutkiem oddziaływania pyłów na inne składniki surfaktantu (np. białka, nienasycone związki tłuszczowe) niż masowo dominujące w nim fosfolipidy. Wskazuje to również na fakt, że pyły zawierające metale oddziałują na SP według innego mechanizmu niż np. nanostrukturalne cząstki węglowe [11]. Można to tłumaczyć odmiennymi właściwościami powierzchniowymi cząstek tych pyłów oraz różnym stopniem rozwinięcia ich powierzchni.

Uzyskane wyniki pokazują sposób zastosowania badań fizykochemicznych do wyjaśnienia przebiegu zjawisk w układzie oddechowym człowieka, wpływających na efektywność procesów wymiany masy w tym narządzie.

LITERATURA

- [1] L. Gradoń, A. Podgórski: Chem. Eng. Sci. **44**, 741 (1989).
- [2] A. Podgórski, L. Gradoń: Ann. Occup. Hyg. **37**, 347 (1993).
- [3] T.R. Sosnowski: Inż. Chem. Proc. **22**, 251 (2001).
- [4] T.R. Sosnowski: Chem. Process Eng. **29**, 305 (2008).
- [5] P. Gehr, J. Heyder (Eds.): Particle – lung interactions. Marcel Dekker Inc., New York 2000.
- [6] J. Marijnissen, L. Gradoń (Eds.): Nanoparticles in Medicine and Environment. Springer, Dordrecht 2009.
- [7] W.E. Wallace, M.J. Keane, D.K. Murray, W.P. Chisholm, A.D. Maynard, T. Ong: J. Nanopart. Res. **9**, 23 (2007).
- [8] M.S. Bakshi, L. Zhao, R. Smith, F. Possmayer, N.O. Petersen: Biophys. J. **94**, 855 (2008).
- [9] D. Kondej, T.R. Sosnowski: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 5, 53 (2009).
- [10] D. Kondej, T.R. Sosnowski: Int. J. Occup. Safety. Ergon. **16**, nr 1, 41 (2010).
- [11] T.R. Sosnowski, L. Gradoń, K. Kramek-Romanowska: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 5, 99 (2009).

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach zadania badawczego realizowanego w zakresie działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego.