

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej
Politechnika Warszawska



Fizykochemiczne metody oceny wpływu aerozolowych zanieczyszczeń powietrza na zdrowie

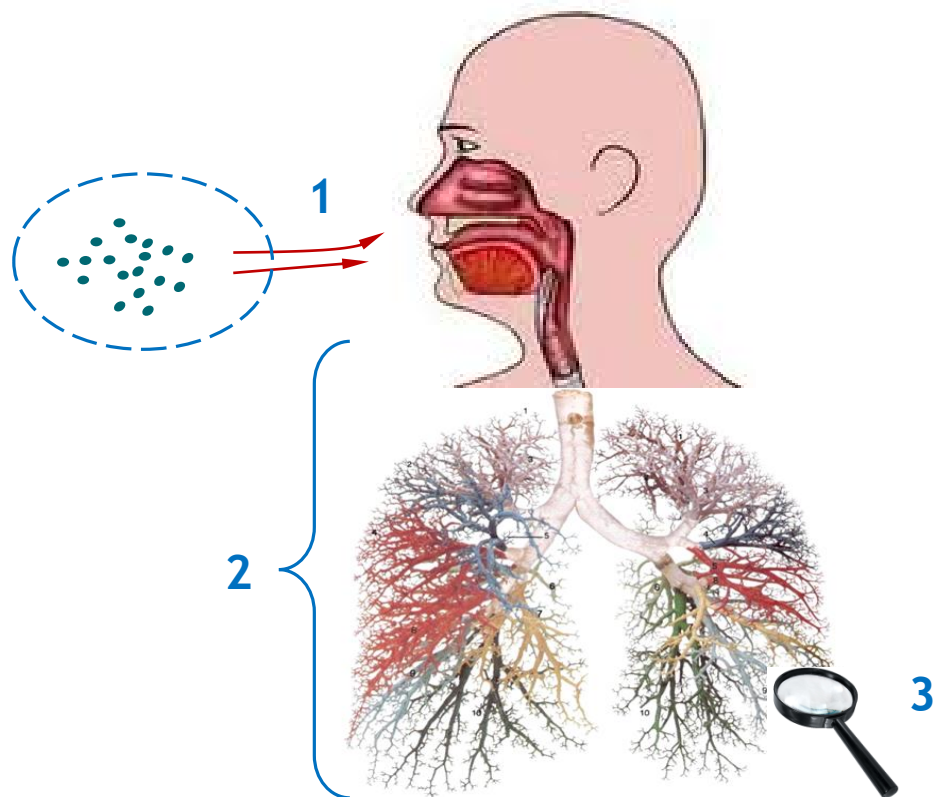
Prof. dr hab. inż. Tomasz Sosnowski

Kierownik Katedry Inżynierii Układów Rozproszonych (KIUR)



Inhalacja aerozolu w obecnych w środowisku

Cząstki (i gazy)
pochodzenia antropogenicznego
oraz naturalnego



Chemical Engineering Science 268 (2023) 118407



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Engineering Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ces



Aerosols and human health – A multiscale problem

Tomasz R. Sosnowski

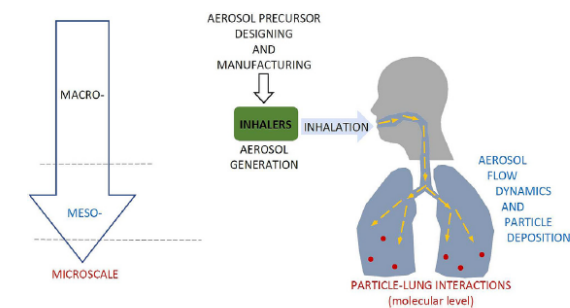
Faculty of Chemical and Process Engineering, Warsaw University of Technology, Waryńskiego 1, 00-645 Warsaw, Poland



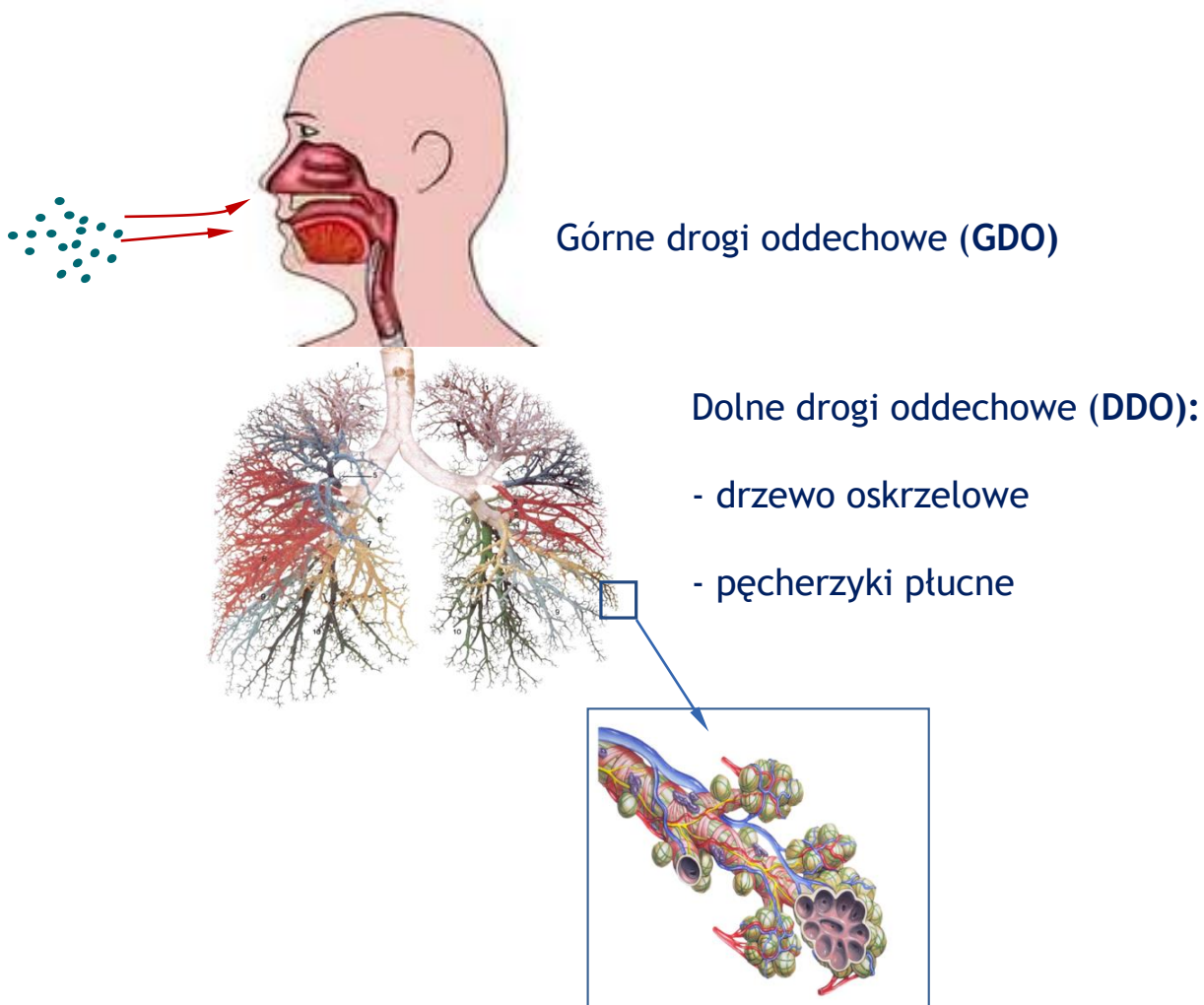
HIGHLIGHTS

- Chemical engineering uses scientific tools required to analyze problems of medicine.
- Quantitative analysis of aerosol dynamics helps in optimizing inhalation therapy.
- Multi-scale approach allows to identify the phenomena of particle-lung interactions.

GRAPHICAL ABSTRACT

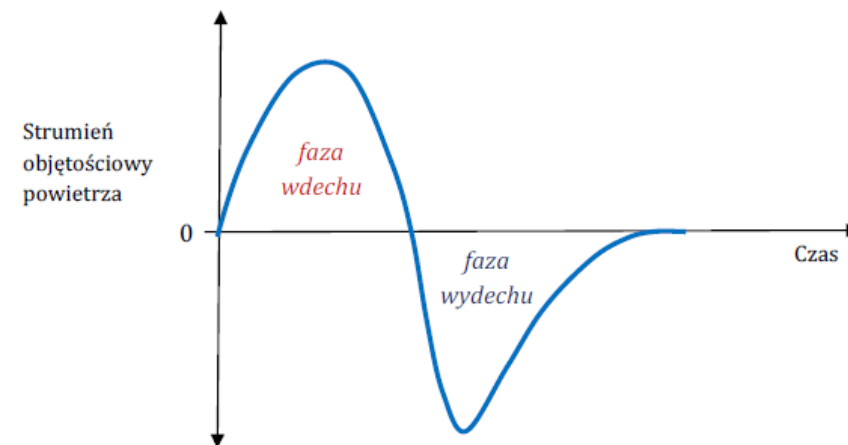


ANATOMIA



FIZJOLOGIA

Cykliczny przepływ gazów (wdech-wydech)



Aktywność fizyczna + stan zdrowia

Naturalne mechanizmy obronne

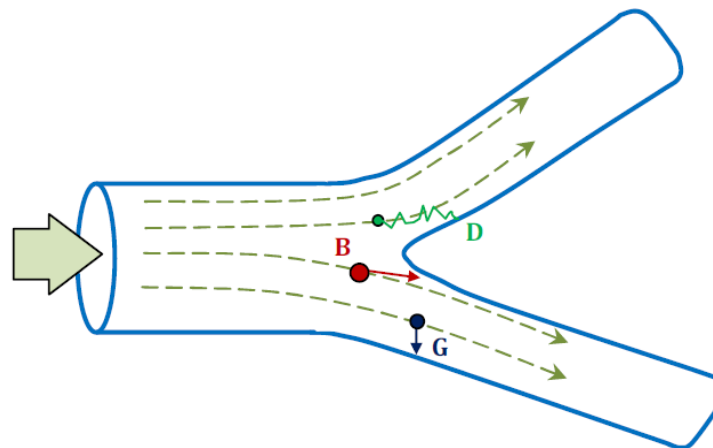
FIZYKOCHEMIA

- osadzanie się cząstek aerozolowych w poszczególnych obszarach układu oddechowego
- efekty dotyczące oddziaływania cząstek z powierzchnią płuc

Efekty bezwładnościowe (B)

Sedymentacja (= opadanie grawitacyjne: G)

Dyfuzja (D)



Przepływ powietrza:

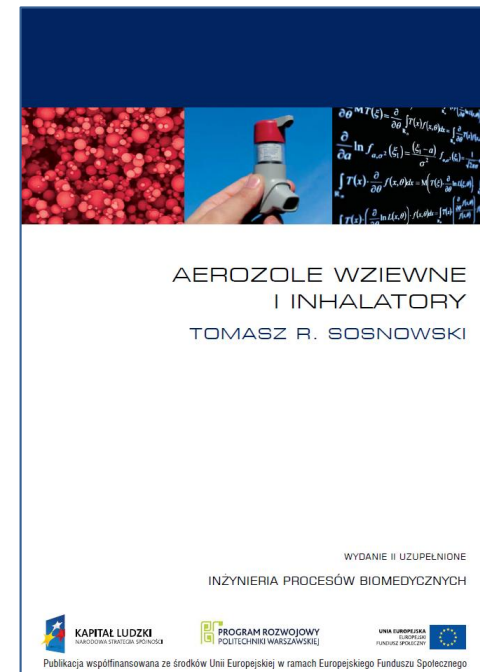
$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{U} + \mathbf{f} \end{array} \right.$$

Ruch cząstek
(śledzenie trajektorii):

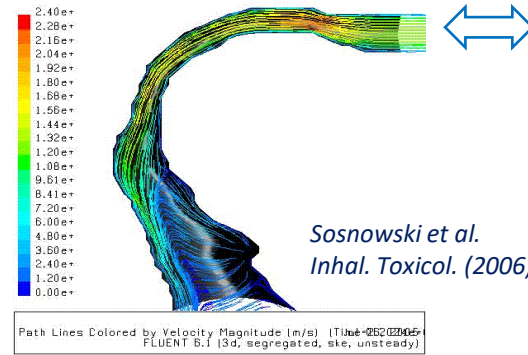
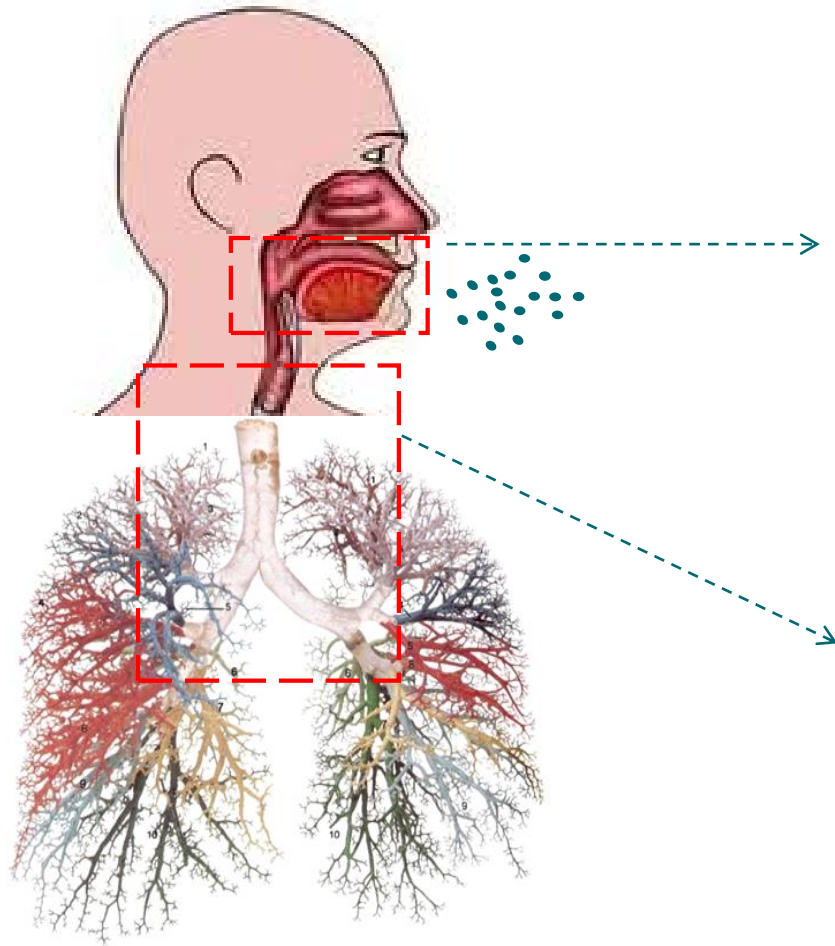
$$m_p \frac{du_p}{dt} = F_R + F_E + F_B$$

↑
↑
↑

Oddziaływanie z gazem
Siły zewnętrzne (np. ciężkości)
Dyfuzja

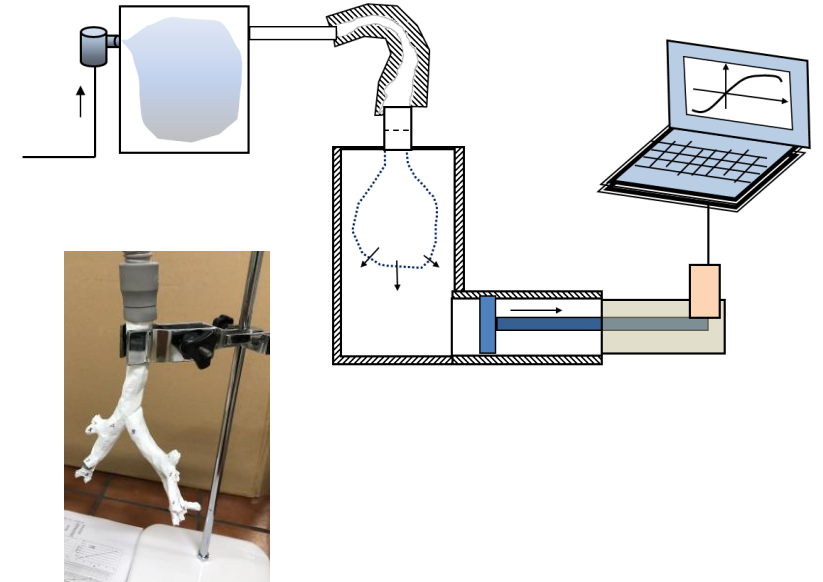


Modelowanie CFD

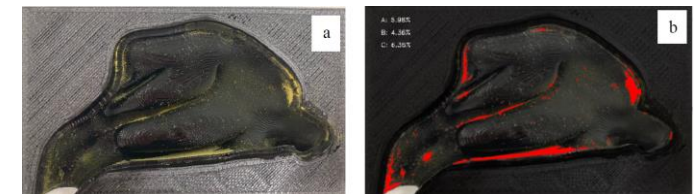


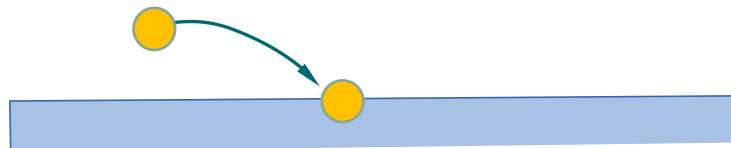
Kadota, ..., Sosnowski, Tozuka
Eur J. Pharm, Biopharm. (2022)

Pomiary fizyczne (in vitro)

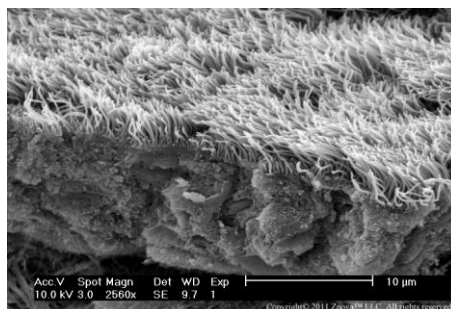


Sosnowski et al. (2024)



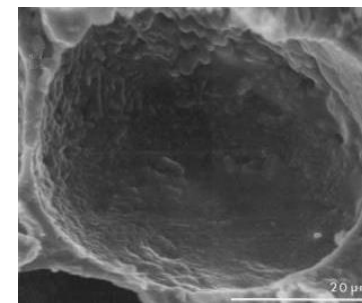
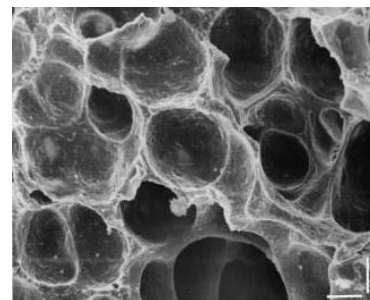


Transport śluzowo-rzęskowy (oskrzela)

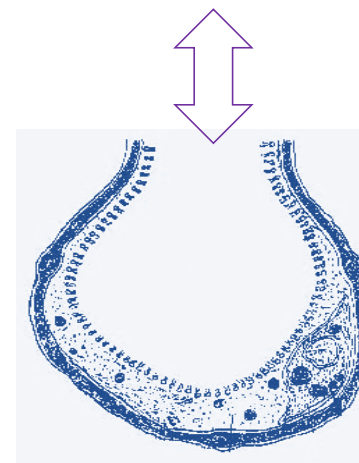
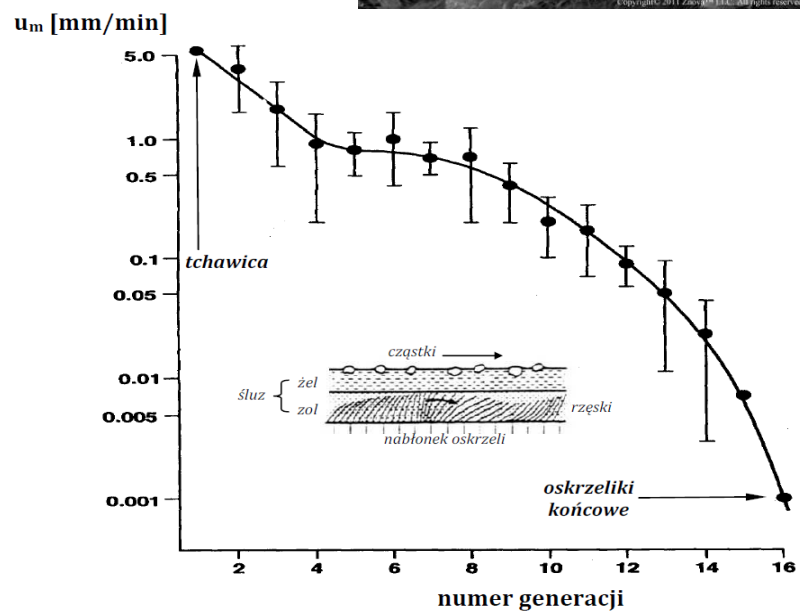


www.sinuses.com

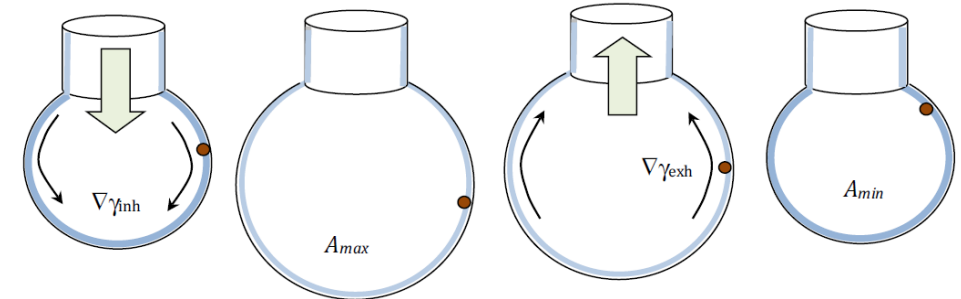
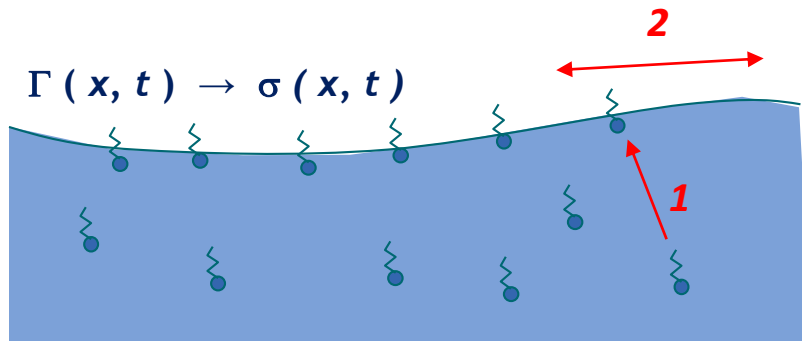
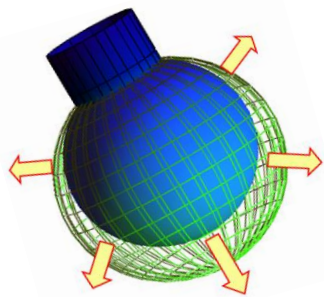
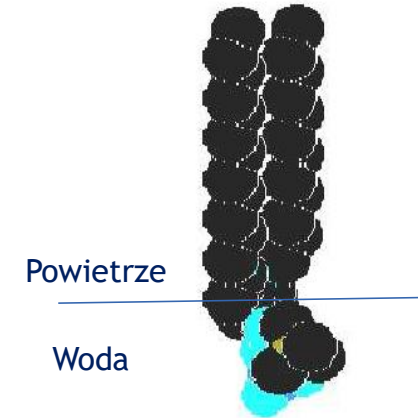
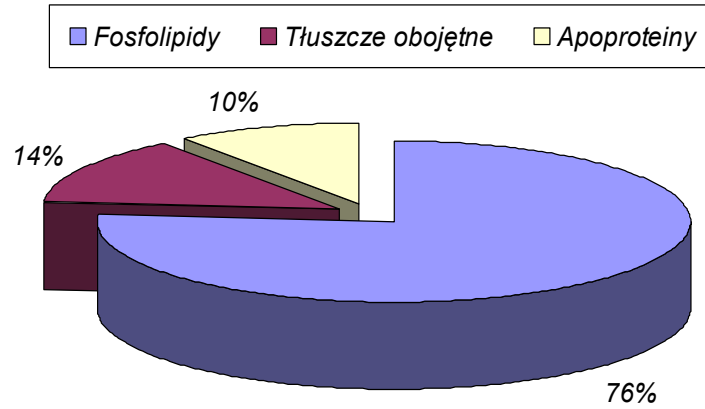
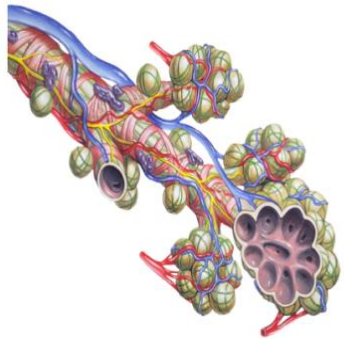
Oczyszczanie pęcherzykowe



LBNL Image Library



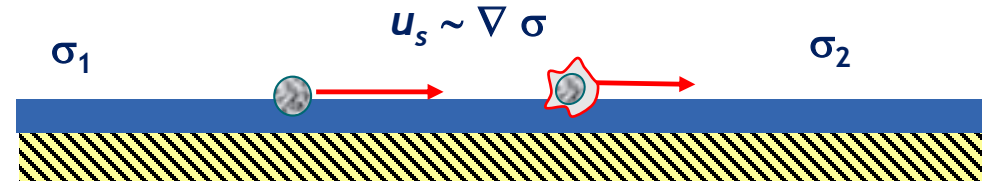
Surfactant = surface active agent



**Układ dynamiczny
(pulsacje pęcherzyków płucnych) !!!**

- Efekty Marangoniego

gdy $\sigma_2 > \sigma_1$:

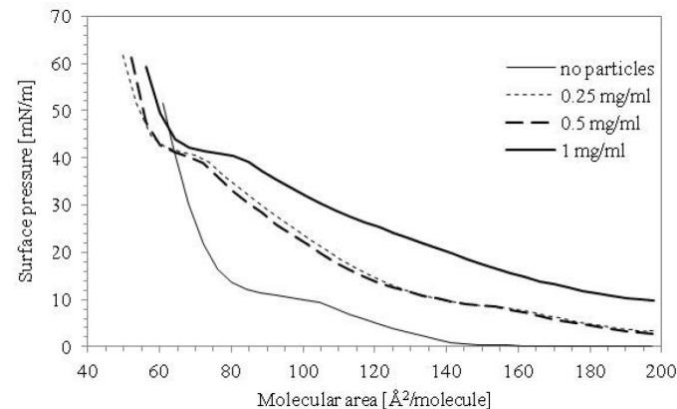
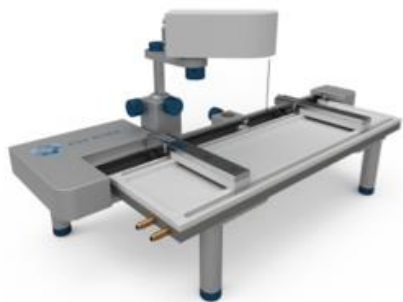
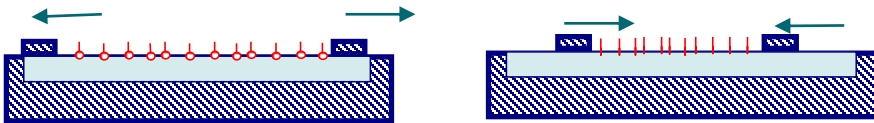


Gradoń, Podgórski – Chem. Eng Sci. (1989)
 Gradoń, Podgórski, Sosnowski – J. Aerosol Med. (1996)
 Sosnowski – monografia hab. (2006)
 Sosnowski – J. Nanosci. Nanotechnol. (2015)

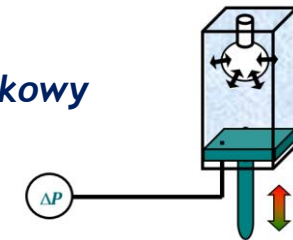
Transport masy w obszarze pęcherzyków płucnych = mechanizm oczyszczania płuc z osadzonych pyłów

BADANIA AKTYWNOŚCI POWIERZCHNIOWEJ SURFAKTANTU PŁUCNEGO

Waga Langmuira-Wilhelmy'ego



Pulsacyjny tensjometr pęcherzykowy



Current Opinion in Colloid & Interface Science 36 (2018) 1–9

Contents lists available at ScienceDirect

Current Opinion in Colloid & Interface Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cocis

Particles on the lung surface - physicochemical and hydrodynamic effects

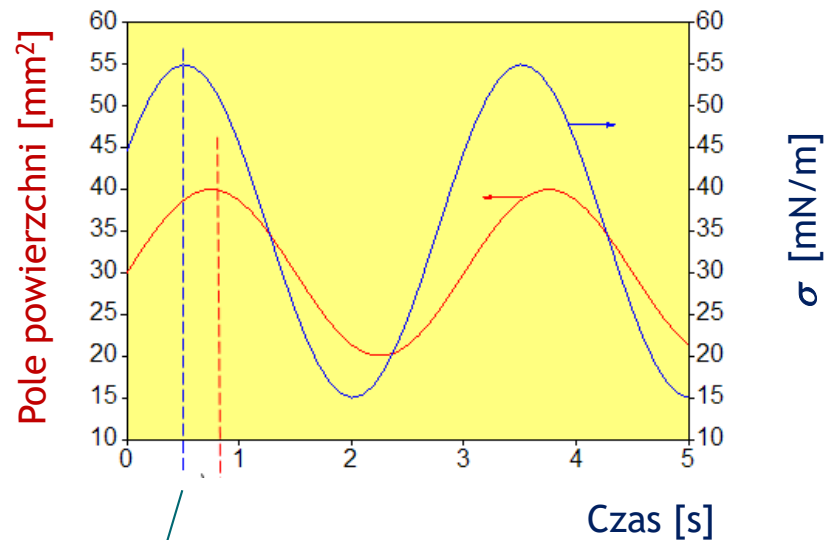
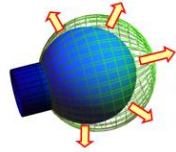
Tomasz R. Sosnowski

Faculty of Chemical and Process Engineering, Warsaw University of Technology, Waryńskiego 1, 00-645 Warszawa, Poland

Periodyczna deformacja powierzchni ciec-z-gaz:

$$\gamma = \frac{A - A_0}{A_0}$$

$$\gamma = \gamma_m \sin(\omega t)$$

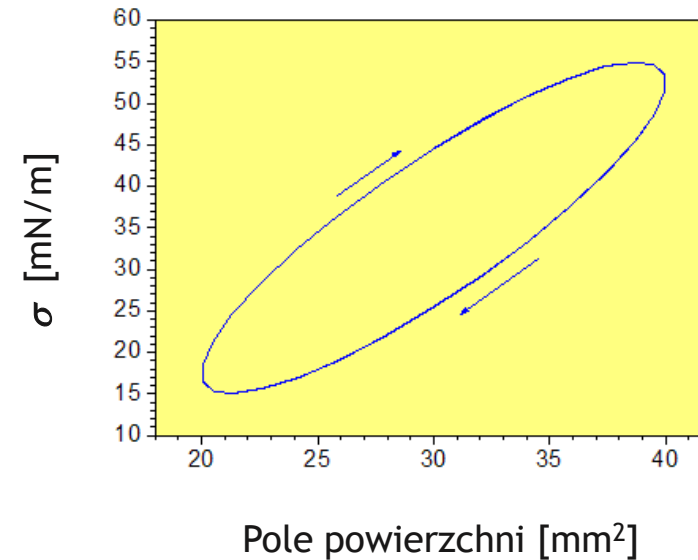


$$\tau = \frac{\varphi}{2\pi\omega}$$

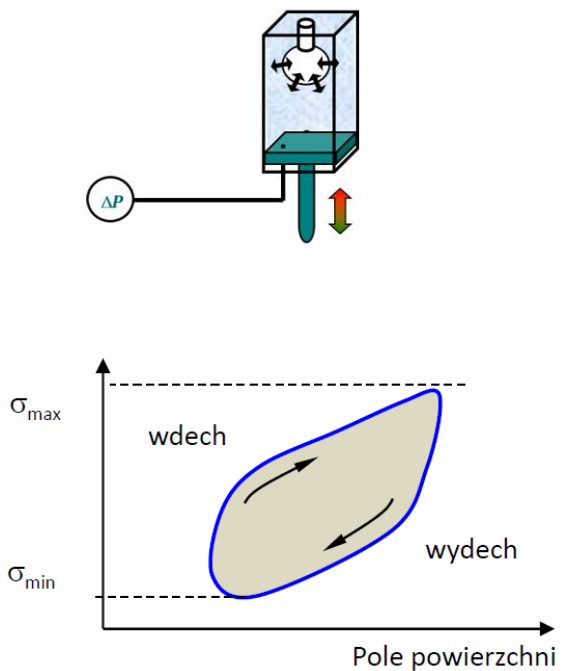
$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = \frac{(\Delta\sigma)_m}{\gamma_m} \cos \varphi \quad \text{Sprężystość powierzchniowa} \\ \mu_d = \varepsilon \operatorname{tg} \varphi \quad \text{Lepkość powierzchniowa} \end{array} \right.$$

Odpowiedź mechaniczna (zmiana σ):

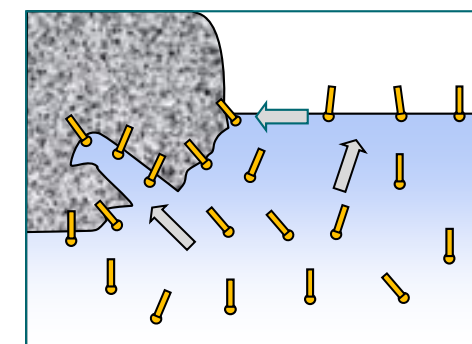
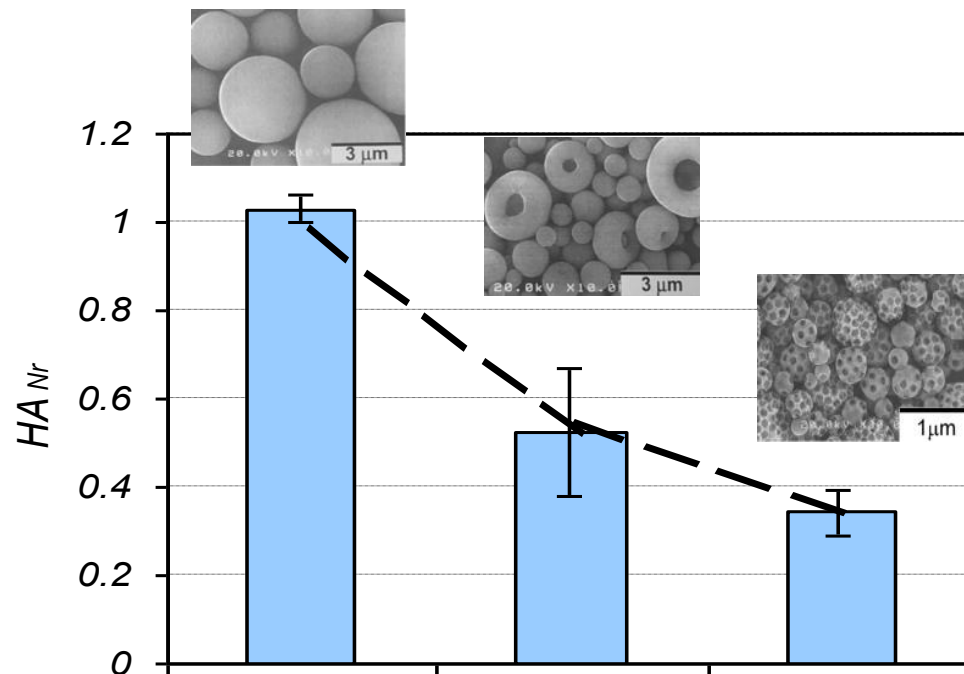
$$\Delta\sigma = (\Delta\sigma)_m \sin(\omega t + \varphi)$$



Histereza $\sigma - A$ ilustruje efekty lepko-sprężyste oscylacyjnie odkształcanej powierzchni ciec-z-gaz zawierającej surfaktant płucny



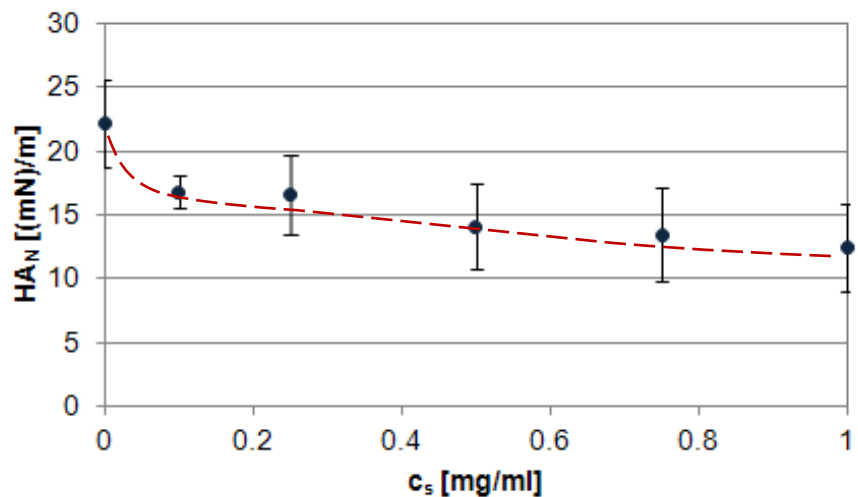
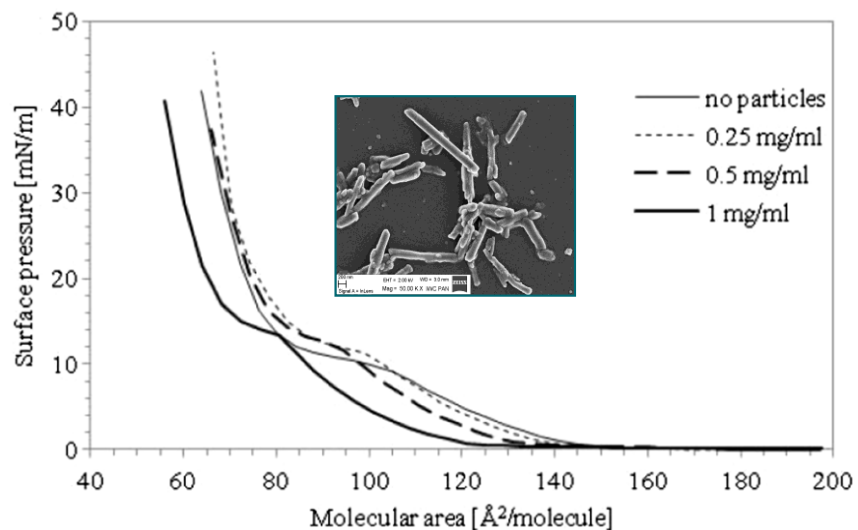
HA_N
znormalizowane
pole histerezy



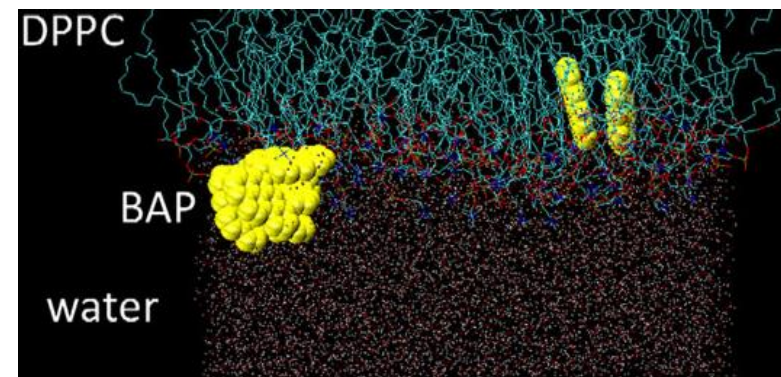
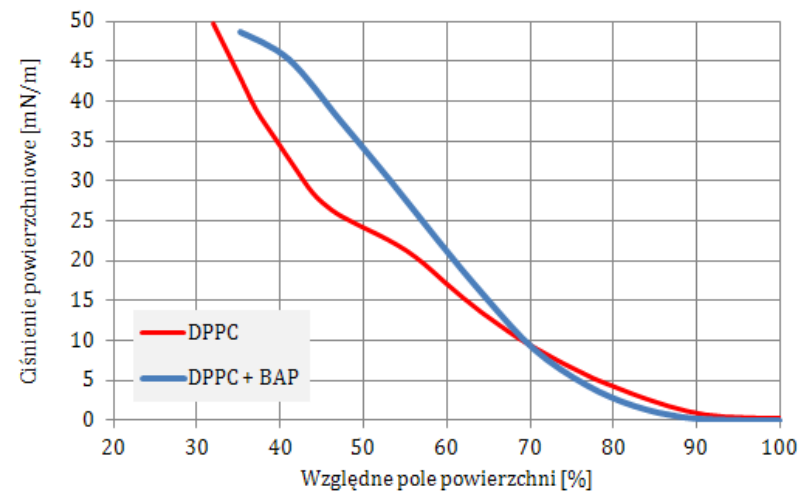
Oslabienie aktywności powierzchniowej surfaktantu po kontakcie z cząstkami (może prowadzić do wolniejszego usuwania depozytów → wpływ na zdrowie)

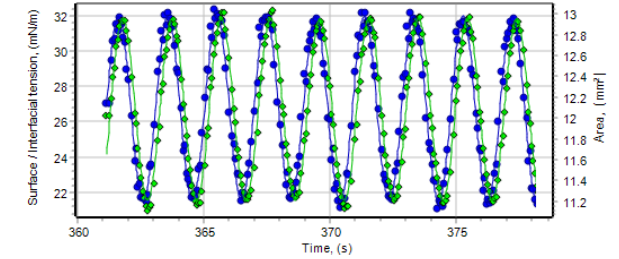
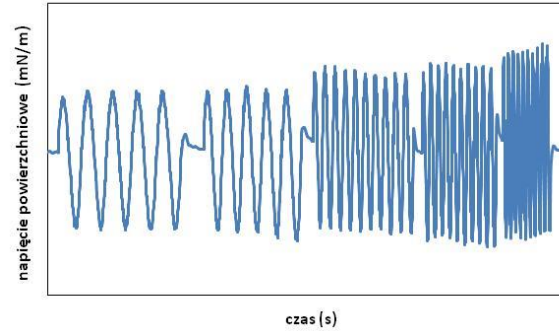
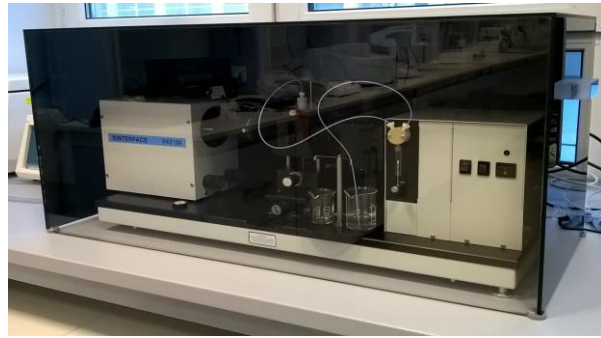
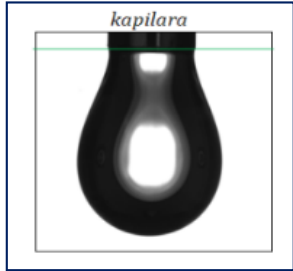
Duże znaczenie mają właściwości powierzchniowe cząstek !

nanorurki haloziytu



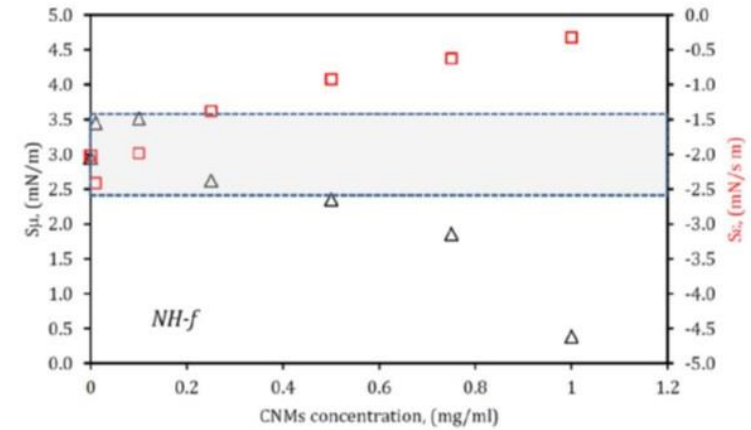
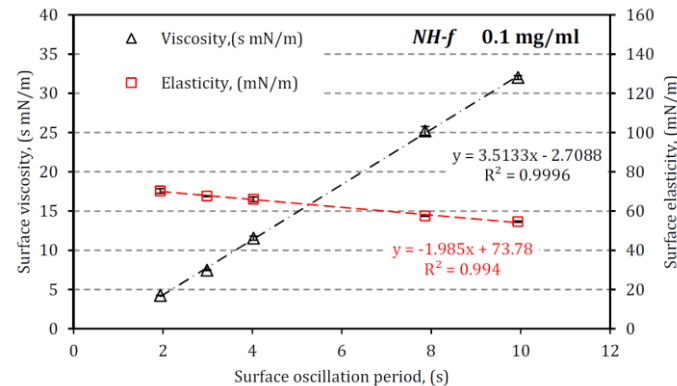
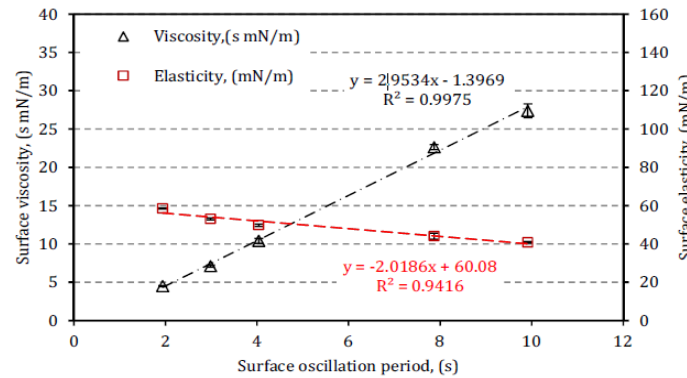
VOC zawarte w spalinach Diesla (benzo-a-piren)





$$\varphi = \arctan \frac{\omega \mu}{\varepsilon}$$

Tensjometr kroplowy PAT-1M (SINTERFACE, Niemcy)



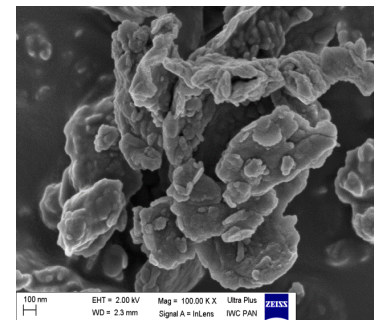
SCIENTIFIC REPORTS
nature research

OPEN Interfacial rheology for the assessment of potential health effects of inhaled carbon nanomaterials at variable breathing conditions

Dorota Kondej & Tomasz R. Sosnowski

Kondej, Sosnowski – Sci. Rep. (2020)

Pył pustyenny (Arizona fine dust)

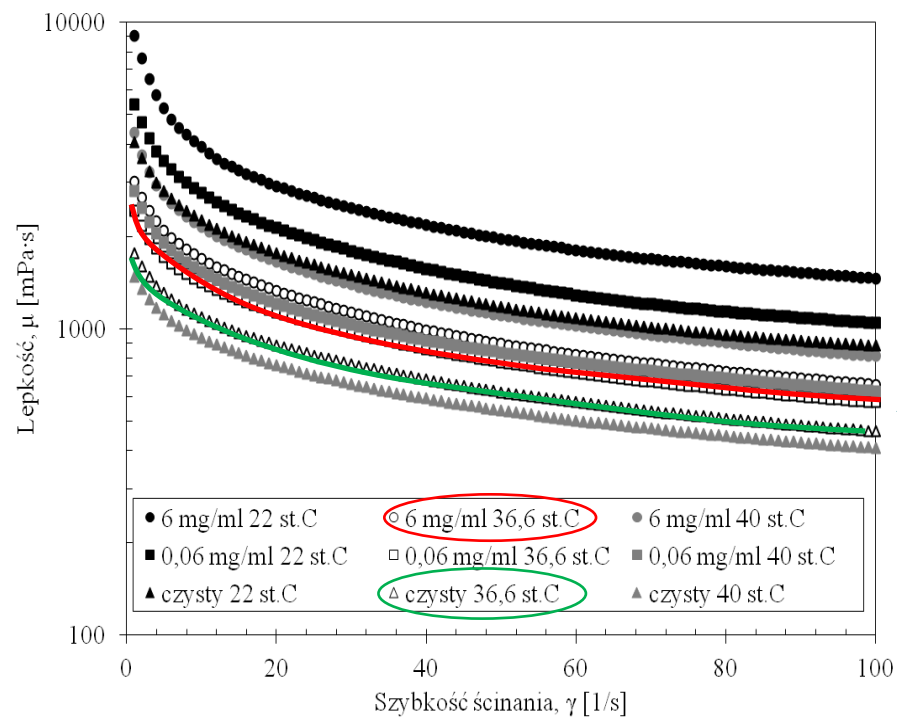
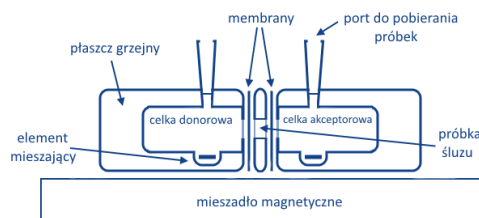


Model śluzu:

mucyna typu II [20 g/l - M1; 200 g/l - M2]

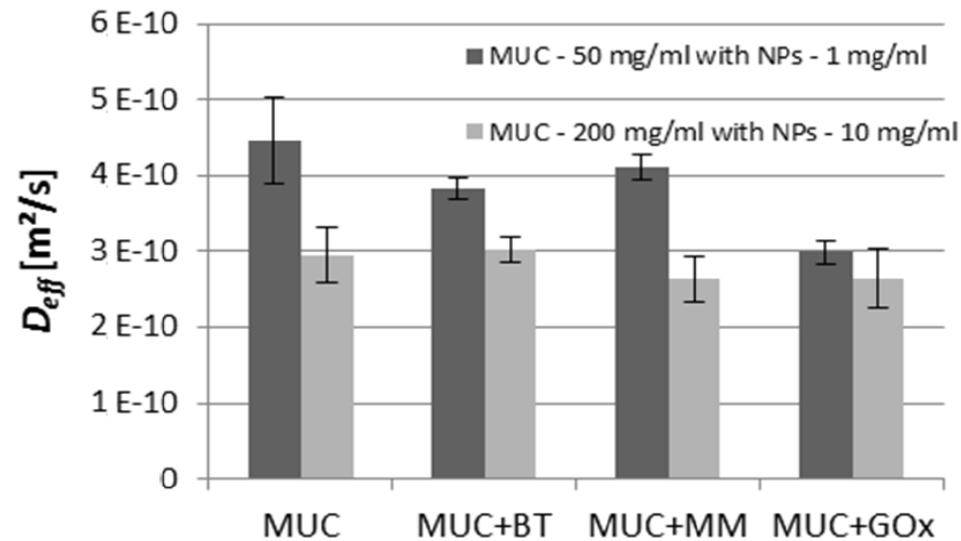
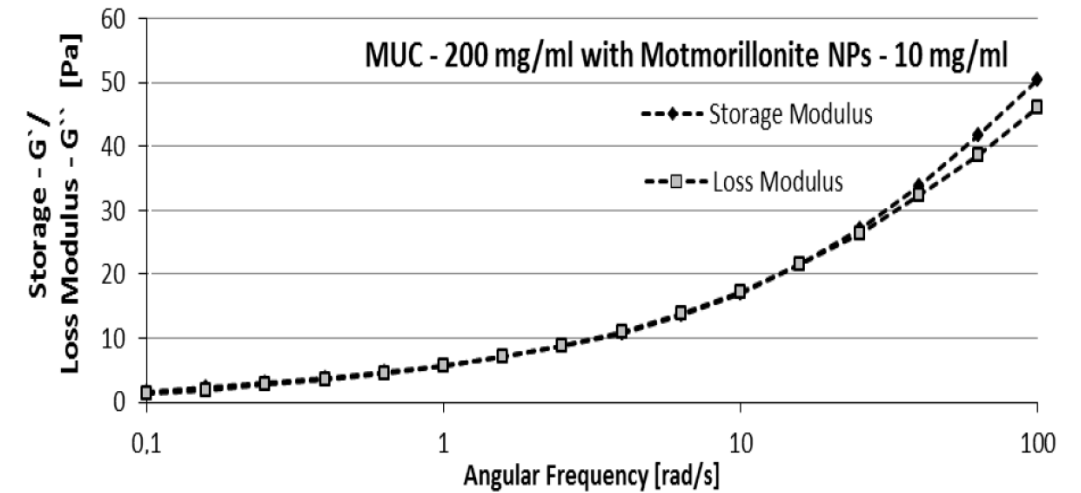
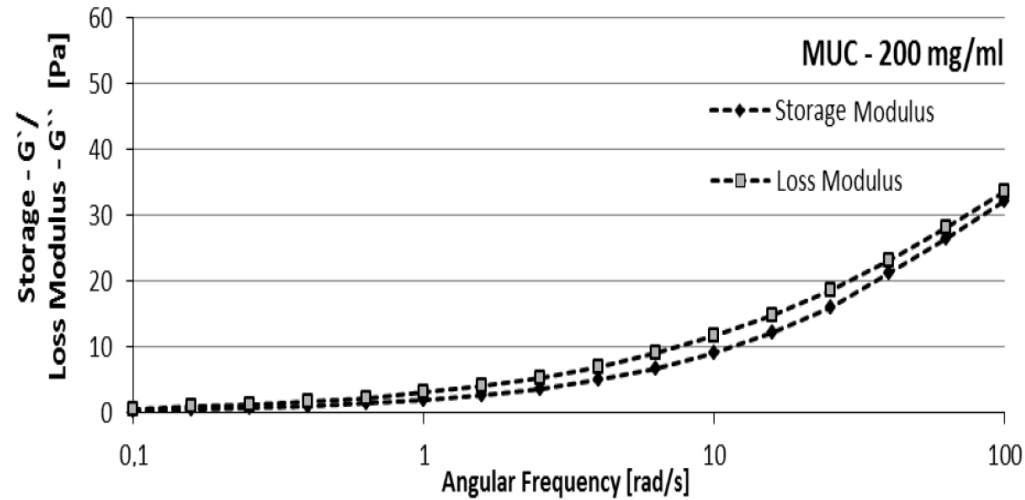
+ azydek sodu (0,01 g/l)

w wodzie dejonizowanej



Penconek et al.
Env. Sci. Pollut. Res.(2019)

↑ Wzrost lepkości śluzu



Spadek szybkości dyfuzji modelowego leku w śluzie zawierającym cząstki pyłu

(na skutek wzrostu lepkości i sprężystości śluzu)

Badania pozwalające na ocenę **właściwości fizykochemicznych płynów naturalnie występujących w płucach** (surfaktantu płucnego, śluzu oskrzelowego) oraz zmian tych właściwości pod wpływem zanieczyszczeń aerozolowych mogą służyć ocenie wpływu wdychanych zanieczyszczeń na zdrowie (tj. na procesy fizjologiczne w układzie oddechowym)

Szczególnie ważne znaczenie należy przypisać **dynamicznemu napięciu powierzchniowemu surfaktantu płucnego** oraz **właściwościom reologicznym śluzu oskrzelowego** jako wskaźników poprawnego przebiegu procesów związanych z mechaniką oddychania oraz wymianą masy w płucach (w tym - usuwaniem zdeponowanych pyłów z powierzchni układu oddechowego)





Dziękuję
za uwagę