

# Praca dyplomowa inżynierska

## Zastosowanie modeli matematycznych do opisu danych doświadczalnych filtracji nanocząstek w filtrach włókninowych



**Autor: Adam Mirek**

Nr albumu: 253311

Promotor: dr inż. Anna Jackiewicz

Rok akademicki: 2015/2016

### Wprowadzenie

Filtracja w filtrach włókninowych to jedna z podstawowych i najbardziej dokładnych metod usuwania nanocząstek z gazu. Znajduje ona zastosowanie w układach wentylacyjnych, laboratoriach badawczych oraz w różnych gałęziach przemysłu. Opis matematyczny procesu jest wyjątkowo złożony ze względu na skomplikowaną wewnętrzną strukturę geometryczną filtrów oraz skomplikowane mechanizmy transportu i depozycji cząstek, istnieją jednak modele uwzględniające polidispersyjność oraz pełen rozkład średnic włókien, które zostały przedstawione i doświadczalnie zweryfikowane w tej pracy.

### Cel i zakres pracy

Celem pracy jest krytyczna analiza istniejących modeli matematycznych opisujących filtrację cząstek mikronowych w filtrach włókninowych w przypadku zastosowania ich do opisu filtracji nanocząstek. Zakres pracy obejmuje:

- aspekt teoretyczny: przedstawienie metod opisu matematycznego procesu filtracji aerozoli w filtrach włókninowych - modelu dyspersyjnego oraz modelu przepływu częściowo segregowanego (PSFM),
- aspekt eksperymentalny: schemat stanowiska, charakterystyka filtra i nanocząstek,
- modelowanie matematyczne: zaadaptowanie modelu dyspersyjnego do procesu filtracji nanocząstek w filtrach włókninowych, doświadczalną weryfikację modelu przepływu częściowo segregowanego, próbę opisu danych doświadczalnych za pomocą zmodyfikowanej klasycznej teorii filtracji aerozoli.

### Teoria klasyczna

Klasyczna teoria filtracji wgłębnej aerozoli w filtrach włókninowych zakłada, że penetracja cząstek przez filtr wynosi:

$$P = e^{-\frac{4LE}{\pi d_f} \frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

gdzie  $E$  oznacza sprawność pojedynczego włókna obliczoną jako sumę kolejnych sprawności tego włókna w zależności od mechanizmu depozycji.

### Model dyspersyjny

Podstawą modelu dyspersyjnego filtracji cząstek w filtrach włókninowych jest równanie osiowej dyspersji masy uwzględniające dominującą rolę dyspersji osiowej:

$$U_0 \frac{\partial c}{\partial x} - \varepsilon D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \lambda U_0 c = 0$$

Rozwiązanie modelu dyspersyjnego, określające penetrację cząstek przez filtr włókninowy, przedstawiono w pracy.

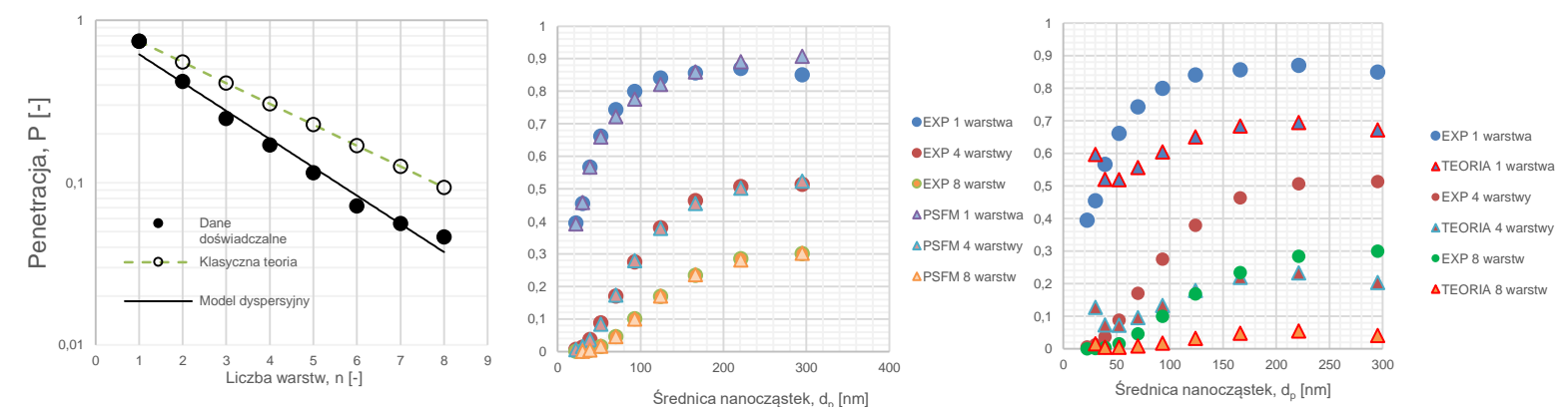
### Model przepływu częściowo segregowanego

Model ten jest liniową kombinacją dwóch granicznych modeli - modelu przepływu idealnie wymieszanego PMFM (określa dolną możliwą wartość penetracji cząstek przez filtr) oraz modelu przepływu całkowicie segregowanego FSFM (górną wartość penetracji) i uwzględnia rozkład średnic włókien filtra. Znając wartości  $P_{PMFM}$  oraz  $P_{FSFM}$ , można określić penetrację cząstek za pomocą modelu przepływu częściowo segregowanego PSFM:

$$P_{PSFM} = sP_{FSFM} + (1-s)P_{PMFM}$$

gdzie  $0 \leq s \leq 1$  jest bezwymiarowym, empirycznym parametrem zwanym stopniem segregacji wyznaczanym w oparciu o dane doświadczalne penetracji  $P_{exp}$ .

### Wyniki badań doświadczalnych



Rys. 1. Przykładowy opis danych doświadczalnych za pomocą: a) modelu dyspersyjnego (średnica cząstki 70 nm), b) modelu PSFM, c) klasycznej teorii filtracji

### Wnioski

Uzyskane w ramach niniejszej pracy wyniki sugerują, że możliwe jest zastosowanie przeanalizowanych modeli matematycznych (dyspersyjnego oraz przepływu częściowo segregowanego) do opisu filtracji nanocząstek w polidispersyjnych filtrach włókninowych. Pokazują one również, że klasyczna teoria, nawet zmodyfikowana, zawodzi w przypadku próby opisu działania rzeczywistych niehomogenicznych filtrów i nie jest w stanie prawidłowo przewidzieć ich sprawności.