

ANNA JACKIEWICZ
ALBERT PODGÓRSKI

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Filtracja aerozoli w strukturalnie niehomogenicznych filtrach włókninowych.

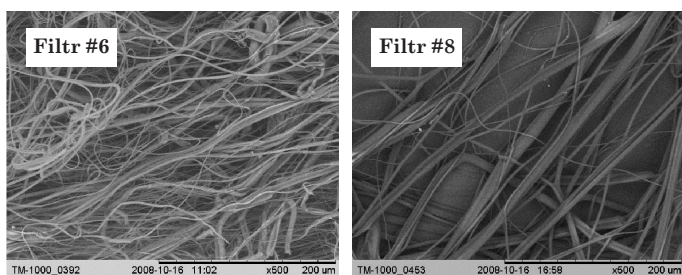
Część II. Doświadczalna weryfikacja modeli

Wprowadzenie i metodyka doświadczalna

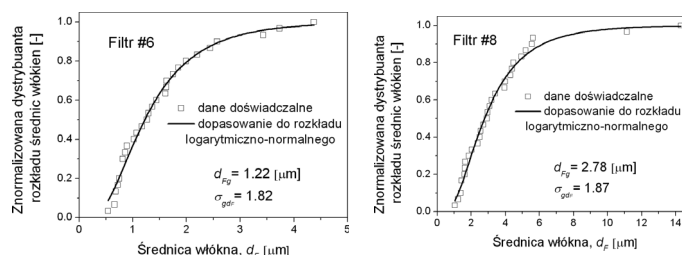
Klasykzna teoria filtracji aerozoli w filtrach włókninowych odnosi się do wyidealizowanego przypadku filtrów monodispersyjnych złożonych z włókien o jednakowych średnicach, równomiernie rozłożonych w przestrzeni – zakłada, że wszystkie włókna w filtrze mają jednakową sprawność. Jednakże rzeczywiste filtry włókninowe są zwykle mniej lub bardziej polidispersyjne, co czyni trudnym obliczanie ich skuteczności. Powszechnie stosowaną, choć nie mającą teoretycznego uzasadnienia metodą, jest użycie w klasycznych równaniach dla włókien monodispersyjnych średniej średnicy włókna (np. średniej arytmetycznej bądź geometrycznej) lub średnicy równoważnej wyznaczanej ze spadków ciśnienia. Takie proste podejście jest jednak niewystarczające do dokładnego opisu eksperymentalnie wyznaczonych penetracji cząstek aerozolowych przez polidispersyjny filtr włókninowy. Dlatego też sformułowano nowy model uwzględniający rzeczywisty rozkład średnic włókien – model przepływu częściowo segregowanego, PSFM. W ramach niniejszej pracy przedstawiono doświadczalną weryfikację tegoż modelu, wykorzystując do badań osiem polipropylenowych filtrów włókninowych wykonanych techniką *melt-blown*. Penetrację frakcyjną submikronowych i mikronowych cząstek aerozolowych przez badane filtry wyznaczono doświadczalnie wykorzystując modularny system do testowania płaskich materiałów filtracyjnych (*Palas MFP-2000*). Pomiary wykonano dla czterech prędkości przepływu powietrza przez filtry: $U_0 = 0,08; 0,12; 0,15$ i $0,2$ m/s.

Dyskusja wyników i wnioski

Analiza zdjęć wszystkich badanych filtrów wykonanych za pomocą mikroskopu elektronowego (Rys. 1), wskazuje iż, rozkłady ich średnic włókien mogą być precyzyjnie opisane za pomocą rozkładu logarymiczno-normalnego, (Rys. 2).



Rys. 1. Zdjęcia mikroskopowe SEM filtrów #6 i #8



Rys. 2. Znormalizowane dystrybuanty rozkładów średnic włókien filtra #6 i filtra #8

Parametry rozkładu logarymiczno-normalnego (d_{Fg} – średnia geometryczna średnica włókna, σ_{gdF} – geometryczne odchylenie standardowe) są zebrane w tabelcy 1 obok innych parametrów strukturalnych badanych filtrów (d_{Fa} – średnia arytmetyczna średnica włókna, α – gęstość upakowania filtra, L – grubość filtra).

Początkową penetrację P , polidispersyjnych cząstek aerozolowych przez osiem testowanych filtrów wyznaczoną eksperymentalnie, porównano z wynikami obliczeń teoretycznych, wykorzystując model przepływu częściowo segregowanego, PSFM, [1] dla filtrów o strukturze polidispersyjnej oraz klasyczną teorię filtracji dla filtrów monodispersyjnych w oparciu o średnią arytmetyczną średnicę włókna.

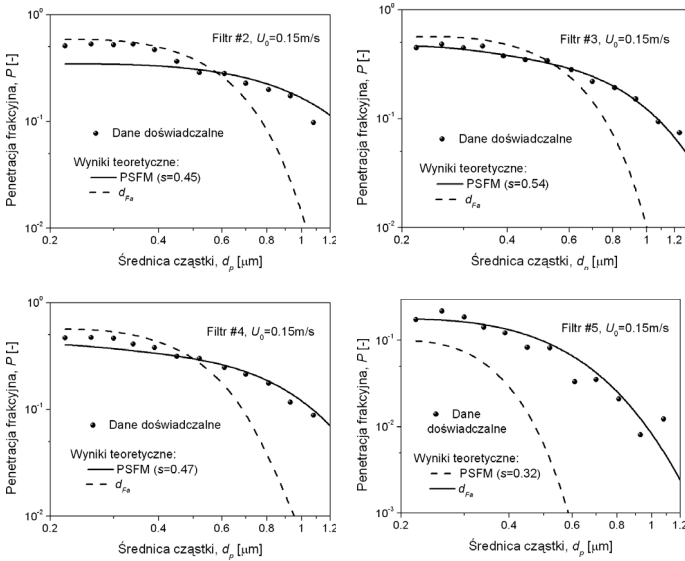
Dla wszystkich badanych filtrów możliwe było uzyskanie bardzo dobrej zgodności danych eksperymentalnych z wynikami obliczeń według modelu PSFM, podczas gdy penetracja wyznaczona na podstawie średniej arytmetycznej średnicy włókna znacząco od nich odbiega. Zauważono, że penetracja obliczona na podstawie średniej arytmetycznej średnicy włókna może być zarówno wyższa jak i niższa od penetracji wyznaczonej eksperymentalnie dla cząstek mniejszych od około $0,6$ μm. Natomiast dla cząstek większych, we wszystkich badanych przypadkach penetracja wyznaczona na podstawie doświadczeń okazała się wyższa (Rys. 3 i 4).

Parametr s , obecny w modelu PSFM, zwany stopniem segregacji, wyznaczono na podstawie poniższego równania, które zostało wyprowadzone przy użyciu metody najmniejszych kwadratów zastosowanej do względnych residuów:

$$s = \frac{\sum_i \frac{(P_{FSFM_i} - P_{PMFM_i})(P_{exp_i} - P_{PMFM_i})}{P_{exp_i}^2}}{\sum_i \left(\frac{P_{FSFM_i} - P_{PMFM_i}}{P_{exp_i}} \right)^2} \quad (1)$$

Tablica 1
Strukturalna charakterystyka badanych filtrów

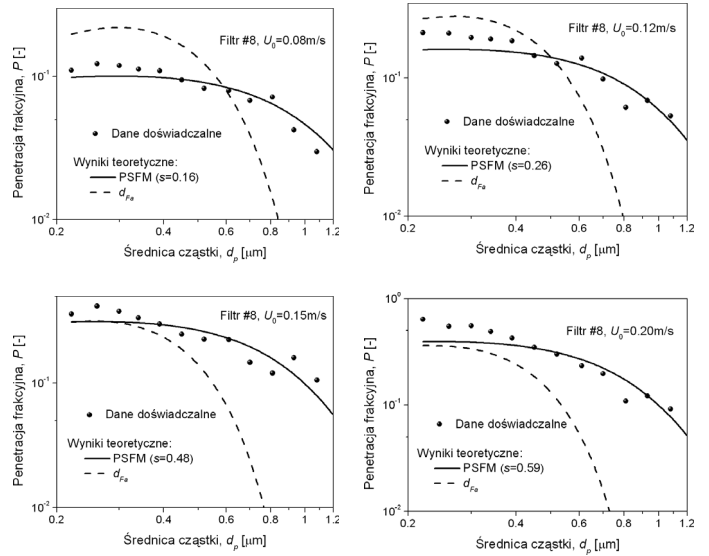
Filtr	d_{Fa} [μm]	α [-]	L [mm]	d_{Fz} [μm]	σ_{gdF} [-]
1	2,55	0,016	3,5	1,98	1,58
2	2,91	0,024	2,0	1,91	2,04
3	3,15	0,030	1,9	2,61	1,68
4	2,33	0,024	1,3	1,90	1,81
5	2,06	0,019	5,6	1,46	1,80
6	1,53	0,027	5,1	1,22	1,82
7	1,72	0,023	6,4	1,47	1,82
8	3,63	0,039	3,7	2,78	1,87



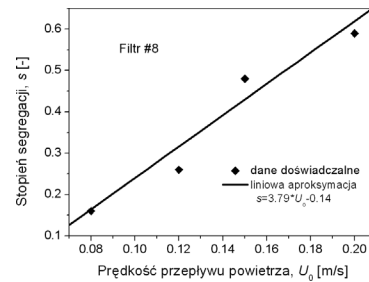
Rys. 3. Porównanie penetracji wyznaczonych doświadczalnie z obliczonymi teoretycznie dla czterech przykładowych filtrów dla prędkości 0,15 m/s (linia przerywana – klasyczna teoria filtracji dla średniej arytmetycznej średnicy włókna; linia ciągła – model PSFM)

w którym P_{FSFM} jest penetracją dla modelu przepływu całkowicie segregowanego, P_{PMFM} oznacza penetrację dla modelu przepływu idealnie wymieszanego [1], P_{exp} jest penetracją wyznaczoną eksperymentalnie, natomiast i oznacza indeks sumowania po wszystkich danych eksperymentalnych dla poszczególnych filtrów przy ustalonej prędkości przepływu powietrza i średnicy cząstki. Przykładowo, dla prędkości $U_0 = 0,15$ m/s stopień segregacji s , wyznaczony dla ośmiu filtrów mieści się w szerokim zakresie 0,081–0,54. W tych warunkach najniższą wartość parametru s zaobserwowano w przypadku filtrów #6 i #7, które były najgrubsze i miały najcieńsze włókna, podczas gdy filtry #3 i #4, należące do filtrów najcieńszych z tej grupy oraz zawierających najgrubsze włókna, miały dużo wyższy stopień segregacji.

Dotychczas uzyskane wyniki dla czterech prędkości przepływu powietrza sugerują, iż stopień segregacji rośnie ze



Rys. 4. Porównanie penetracji wyznaczonych doświadczalnie z obliczonymi teoretycznie dla filtra #8 dla czterech różnych prędkości przepływu powietrza (linia przerywana – klasyczna teoria filtracji dla średniej arytmetycznej średnicy włókna; linia ciągła – model PSFM)



Rys. 5. Wpływ prędkości przepływu powietrza przez filtr na stopień segregacji dla filtra #8

wzrostem prędkości przepływu. Zależność tę, w rozważanym zakresie, można w przybliżeniu aproksymować w sposób liniowy (Rys. 5). Zasadność tej konkluzji należałoby jednak sprawdzić przeprowadzając doświadczenia dla większej liczby badanych prędkości przepływu powietrza, co pozwoliłoby na ostateczne potwierdzenie bądź odrzucenie postawionej tezy.

LITERATURA

1. A. Podgórski, A. Jackiewicz: Inż. Ap. Chem. 48, nr 6, 90, (2009).

Praca wykonana w ramach grantu MEiN nr T09C 014 30. Udział A. Jackiewicz jest współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, projekt „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej”.