

Anna JACKIEWICZ, Leon GRADON

e-mail: a.jackiewicz@ichip.pw.edu.pl

Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Sposoby zwiększania sprawności odpylania filtrów włókninowych

Wstęp

Bardzo dobrym narzędziem służącym do separacji różnego rodzaju cząstek o szerokim zakresie rozmiarów z gazu są filtry włókninowe. Używa się ich w układach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, w różnych gałęziach przemysłu, np. elektronicznym, farmaceutycznym, w laboratoriach badawczych, jako środki ochrony osobistej, w pojazdach oraz w urządzeniach codziennego użytku. Zakres ich zastosowań jest ciągle poszerzany, co pociąga za sobą konieczność ich udoskonalania, adaptowania do nowych warunków pracy. Natomiast niezwykle złożona wewnętrzna struktura geometryczna takich filtrów, tj. polidispersyjny rozkład średnic włókien nierównomiernie rozłożonych w przestrzeni, powoduje, iż proces filtracji aerozoli w takich mediach jest trudny do opisu.

Filtry, których działanie opiera się wyłącznie na odpylaniu mechanicznym, są w stanie zatrzymać bardzo małe cząstki tylko wtedy, gdy ich włókna mają odpowiednio małą średnicę i są gęsto upakowane. Takie filtry stawiają jednak znaczny opór przepływającemu strumieniowi aerozolu, przez co zwiększają się koszty ich użytkowania (np. w instalacjach wentylacji i klimatyzacji – energia zużywana na przetłaczanie gazu) lub stawiają większy opór przy oddychaniu (filtry ochrony osobistej).

Głównym celem niniejszej pracy jest przedstawienie różnych sposobów zwiększania sprawności odpylania filtrów włókninowych, przy zachowaniu stosunkowo niskich oporów przepływu. Można to uzyskać stosując zewnętrzne siły elektrostatyczne, tzn. nadać włóknom, bądź cząstkom lub jednocześnie obydwu obiektom stały ładunek elektryczny ewentualnie wpływać na morfologię filtra, stosując cieńsze włókna, mniej upakowane w przestrzeni filtra. Zastosowanie nanowłókien w filtrze, któremu towarzyszy tylko niewielki wzrost oporów przepływu, powoduje znaczny wzrost sprawności filtracji, szczególnie dla cząstek najbardziej penetrujących przez strukturę filtra [1–3].

Metodyka badawcza

Przetestowano trzy rodzaje filtrów włókninowych wykonanych z polipropylenu metodą rozdmuchu stopionego polimeru. Jest to obecnie najbardziej obiecująca technika otrzymywania włókien filtracyjnych, konkurencyjna do metody elektroprzędzenia. Pozwala otrzymywać duże ilości włókien przy stosunkowo niskich kosztach, co znacznie zwiększa możliwości ich wykorzystania, ponadto eliminuje powstawanie dużych ilości szkodliwych oparów, które wytwarzane są przy wspomnianej metodzie elektroprzędzenia [4].

Filtry 1 i El_1 mają prawie identyczne struktury, co jest widoczne na wykresach przedstawiających rozkłady ich średnic włókien (Rys. 1a i 1b) oraz w tab. 1, w której zebrano ich parametry strukturalne (średnią geometryczną średnicę włókna wraz z geometrycznym odchyleniem standardowym, $d_{FG} \pm \sigma_{gdF}$, grubość filtra, L , porowatość, ε , oraz masę powierzchniową, q_s). Jedyłą różnicą jest to, że włókna filtra El_1 zostały naładowane za pomocą wyładowania koronowego.

Natomiast Filtr 2 ma inną strukturę niż dwa pozostałe, tj. ma znacznie grubsze włókna (Rys. 1c), co zaobserwowano analizując zdjęcia próbek tego filtra, mniejszą porowatość oraz większą masę powierzchniową.

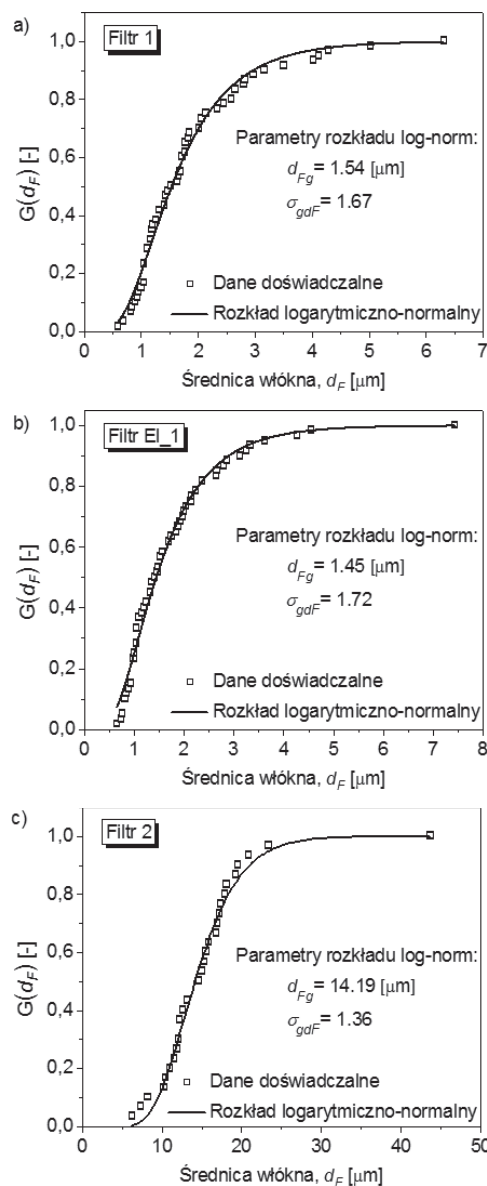
Filtry 1 i El_1 mają znaczną frakcję włókien o średnicach nanometrycznych (mniejszych od 1 μm).

Doświadczalnie wyznaczono główne parametry charakteryzujące działanie filtrów włókninowych – spadki ciśnienia na badanych włókninach filtracyjnych w zależności od prędkości przepływu czystego powietrza z zakresu 0,02–0,3 m/s oraz początkowe sprawności odpylania stałych cząstek aerozolowych o rozmiarach 0,2–10 μm .

Tab. 1. Charakterystyka strukturalna badanych filtrów

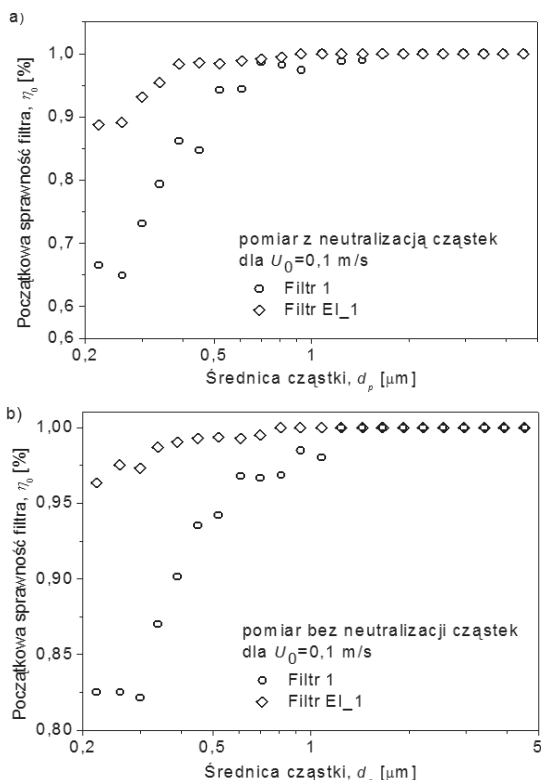
Nr filtra	$d_{FG} [\mu\text{m}] \pm \sigma_{gdF}$	L [mm]	ε [%]	q_s [g/m^2]
1	$1,54 \pm 1,45$	2,05	97,5	39
2	$14,19 \pm 1,36$	1,35	85,0	187
El_1	$1,45 \pm 1,72$	1,94	97,4	41

Badania wykonano wykorzystując zestaw do badania płaskich materiałów filtracyjnych *Palas MFP-2000*. Pomiarzy przeprowadzono dla dwóch prędkości przepływu aerozolu $U_0 = 0,1$ oraz $0,2$ m/s. Tak otrzymane dane doświadczalne sprawności filtracji dla trzech różnych filtrów porównano ze sobą.

Rys. 1. Znormalizowane dystrybuanty rozkładów średnic włókien, $G(d_F)$: a) Filtra 1, b) Filtra El_1 i c) Filtra 2.

Wpływ mechanizmu elektrostatycznego na skuteczność filtracji

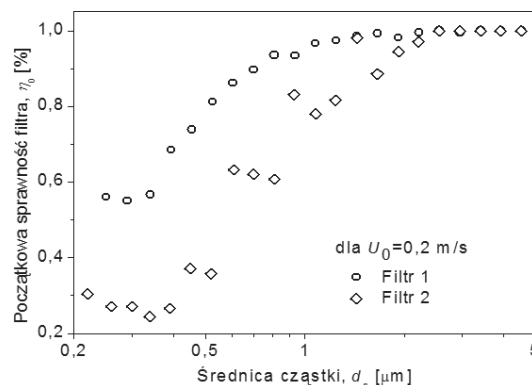
Jedną z metod polepszenia separacji w filtrach włókninowych cząstek, szczególnie tych o średnicach bliskich rozmiarom cząstek najbardziej penetrujących (0,3–0,5 μm), jest wykorzystanie elektrostatycznych oddziaływań pomiędzy cząstką a włóknem. Do sił elektrostatycznych, które mogą służyć intensyfikacji procesu filtracji w filtrach włókninowych należą między innymi: siły kulombowskie, kiedy to cząstka i włókno są naładowane oraz mechanizm sił indukowanych, kiedy naładowane włókno indukuje na powierzchni ziarna ładunek o znaku przeciwnym, dzięki czemu następuje ich wzajemne przyciąganie. W celu pokazania wpływu mechanizmu elektrostatycznego na sprawność separacji cząstek porównano wyniki otrzymane dla dwóch prawie identycznych pod względem struktury filtrów włókninowych – filtra mechanicznego (Filtr 1) i filtra o włóknach naładowanych (Filtr EI_1). Każde ziarno pyłu może być obdarzone ładunkiem elektrycznym, który powstaje podczas generowania aerozolu oraz w trakcie jego przenoszenia przez gaz, a także wskutek tarcia, czy też uderzeń o powierzchnię ciał stałych. W ramach niniejszej pracy przeanalizowano dwa przypadki, tj. neutralizując filtrowane cząstki za pomocą bipolarnie zjonizowanego gazu oraz bez ich neutralizacji, a wyniki przedstawiono na rys. 2. Można zaobserwować znacznie wyższą sprawność filtracji w przypadku filtra elektretowego (z naładowanymi włóknami). Jest ona jeszcze wyższa, gdy cząstki nie są neutralizowane (Rys. 2b), wtedy dodatkowy mechanizm elektrostatyczny redukuje penetrację tych cząstek przez filtr.



Rys. 2. Porównanie doświadczalnych wartości początkowej sprawności Filtra 1 i Filtra EI_1 dla prędkości przepływu aerozolu $U_0 = 0,1$ m/s dla przypadku: a) z neutralizacją cząstek oraz b) bez neutralizacji cząstek

Wpływ różnej morfologii filtra na skuteczność filtracji

Kolejnym, analizowanym w ramach tej pracy, sposobem zwiększenia skuteczności separacji cząstek aerozolowych w włókninowych materiałach filtracyjnych jest modyfikacja ich struktury poprzez stworzenie filtra o cieńszych włóknach i większych porowatościach. Na rys. 3 porównano skuteczności dwóch filtrów o różnych strukturach – Filtr 1 bardziej porowaty, o cienkich włóknach, zawierający znaczną frakcję włókien o rozmiarach manometrycznych oraz Filtr 2 złożony ze znacz-

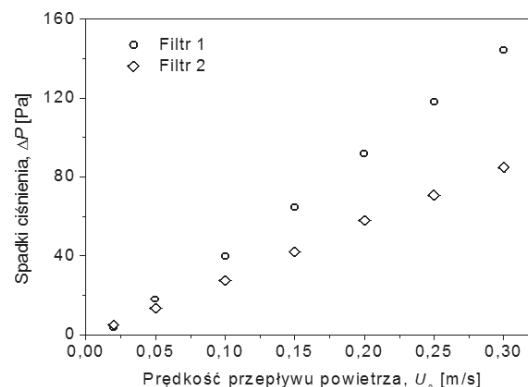


Rys. 3. Porównanie doświadczalnych wartości początkowej sprawności Filtra 1 i Filtra 2 dla prędkości przepływu aerozolu $U_0 = 0,2$ m/s

nie grubszych włókien, o mniejszej porowatości i większej masie powierzchniowej.

Badania przeprowadzono dla prędkości przepływu aerozolu $U_0 = 0,2$ m/s. Widać, iż filtr mający w swej strukturze włókna cieńsze, mniej upakowane, zapewnia wyższą sprawność filtracji, szczególnie w przypadku cząstek najbardziej penetrujących przez strukturę filtra. Ponadto, można zauważyć niewielkie przesunięcie minimum cząstek najtrudniej odpylanych w stronę cząstek mniejszych.

Wyznaczone doświadczalnie spadki ciśnienia dla czystego Filtra 1, złożonego z cieńszych włókien, są wyższe od tych dla Filtra 2, mającego włókna grubsze (Rys. 4).



Rys. 4. Porównanie doświadczalnych wartości początkowych spadków ciśnienia dla Filtra 1 i Filtra 2 dla prędkości przepływu powietrza z zakresu 0,02–0,3 m/s

Wnioski

Stwierdzono, iż zastosowanie dodatkowego mechanizmu wylapywania cząstek aerozolowych przez włókna filtra, tj. mechanizmu elektrostatycznego, znacznie zwiększa skuteczność filtracji.

Zaprojektowanie filtra o cieńszych włóknach, również wpływa korzystnie na sprawność separacji cząstek aerozolowych w filtrach włókninowych, pomimo, iż opory przepływu, jakie stawia taki filtr przepływającemu powietrzu, są wyższe od tych jakie stawia filtr o włóknach grubszych.

Optymalizując strukturę filtra do danego zastosowania należy brać pod uwagę dwa główne parametry, tzn. skuteczność filtracji i opory przepływu. Oba przedstawione zabiegi prowadzące do zwiększenia skuteczności filtracji mają szczególne znaczenie dla cząstek najtrudniejszych do usunięcia z gazu z racji swoich rozmiarów, tzw. cząstek najbardziej penetrujących.

LITERATURA

- [1] W. C. Hinds: Aerosol Technology. John Wiley & Sons, Inc., New York 1999.
- [2] T. Grafe, M. Gogins, M. Barris, J. Schaefer, R. Canepa: In: Filtration 2001 International Conference and Exposition of the INDA, Chicago, Illinois, 3–5 December 2001.
- [3] A. Podgórski, A. Balazy, L. Gradoń: Chem. Eng. Sc. **61**, 6804 (2006).
- [4] T. Jaroszczyk, Z. G. Liu, S. W. Schwartz, C. E. Holm, K. M. Badeau, E. Janikowski: In: FILTECH EUROPA 2005, Wiesbaden, Germany. Vol. II, 234 (2005).