

Ewa SZTUK, Leon GRADON

e-mail: l.gradon@ichip.pw.edu.pl

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

Filtracja cieczy – wpływ struktury filtra włókninowego na jego właściwości filtracyjne

Wstęp

Proces filtracji wgłębnej ma na celu usuwanie cząstek stałych z płynu z wykorzystaniem mechanizmów transportowych, takich jak dyfuzja, bezwładność, sedymentacja i bezpośrednie zaczepienie cząstki oraz mechanizmów bezpośrednio odpowiadających za utrzymanie cząstki na włóknie, czyli oddziaływania *van der Waalsa* oraz podwójnej warstwy dielektrycznej [Tien, 2012].

Filtry z wypełnieniem ziarnistym, czy też włókninowym pozwalają teoretycznie na usunięcie cząstek o rozmiarach od 0,2 μm ze skutecznością nawet 99,98%.

Niniejsza praca dotyczy wpływu struktury polipropylenowych filtrów włókninowych, wytwarzanych metodą rozdmuchu stopionego polimeru, na właściwości filtracyjne.

Filtry włókninowe

Z założenia dobrze zaprojektowane filtry włókninowe powinny charakteryzować się efektywnym usuwaniem cząstek o danym rozmiarze z odpowiednio wysoką sprawnością oraz powodować możliwie niskie opory przepływu płynu.

Parametrem, który przemysłowo określa rodzaj filtra jest średnica odcięcia, czyli wielkość cząstek, powyżej której cząstki zatrzymywane są przez filtr zadaną skutecznością.

W zależności od poziomu efektywności separacji cząstek o danym rozmiarze, producenci wyróżniają filtry:

- ekonomiczne (80%),
- nominalne (95%)
- absolutne (99,98 %).

Filtry włókninowe mogą różnić się strukturą materiału filtracyjnego. W zależności od doboru porowatości włókniny, jej grubości, czy średnicy włókien, otrzymywane są filtry o różnych właściwościach filtracyjnych.

Badania doświadczalne

Aparatura

Przeprowadzono badania 4 filtrów różniących się strukturą, pod kątem trzech głównych parametrów filtracyjnych, które decydują o kosztach procesu i jakości oczyszczonej wody:

1. spadku ciśnienia na filtrze ΔP
2. sprawności filtracji, wyrażanej jako różnica liczby cząstek przed filtrem c_{przed} i za filtrem c_{za} , w stosunku do początkowej liczby cząstek c_{przed} :

$$\eta = \frac{c_{\text{przed}} - c_{\text{za}}}{c_{\text{przed}}} \quad (1)$$

3. pyłochłonności, czyli przyrostu masy cząstek zatrzymanych na filtrze.

Zbadano komercyjny filtr włókninowy, zaprojektowany na usuwanie cząstek o rozmiarach nie mniejszych niż 3 μm z absolutną, tj. 99,98% skutecznością. Filtr charakteryzował się budową wielowarstwową, gradientową. Kolejne warstwy tworzące strukturę włókninową, różniły się porowatością i malejącą wraz z kierunkiem przepływu średnicą włókien.

Zbadano także trzy monowarstwowe polipropylenowe filtry włókninowe o średnicy włókien 2, 5, 10 μm i porowatości 90%, o tej samej grubości włókniny, oraz parametrach geometrycznych (kształt rurowy, długość 10") jak filtr komercyjny.

Materiały

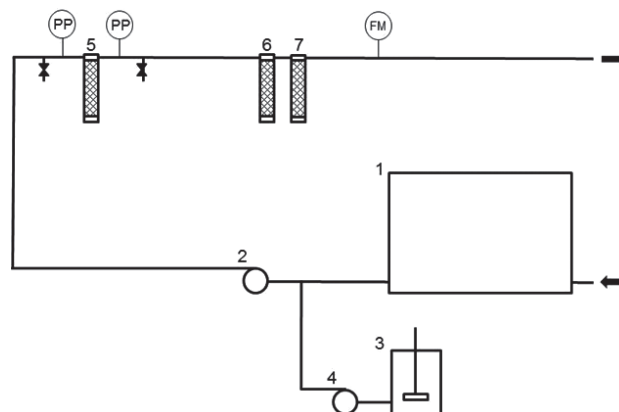
Zawiesina testowa była mieszaniną pyłu testowego *Arizona Test Dust* [ISO 12103-1 A1, 1997] (0÷20 μm) z wodą dejonizowaną.

Zakres badań

Każdy filtr testowano w warunkach stałego przepływu cieczy przez układ $Q = 600 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Stężenie w dozowniku dobierano tak, aby przed filtrem osiągnęło wartość $c = 20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Doświadczenia prowadzono do czasu całkowitego zapchania się filtra, tj. do osiągnięcia 3 bar spadku ciśnienia na filtrze.



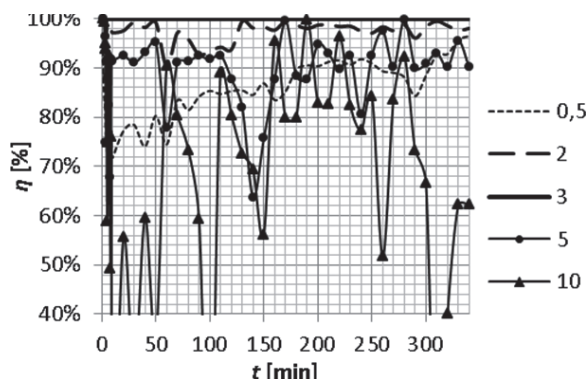
Rys. 1. Schemat instalacji badawczej. 1 – zbiornik wody, 2, 4 – pompa, 3 – mieszalnik z koncentratem zawiesiny, 5 – filtr badany, 6, 7 – filtr doczyszczający, FM – przepływomierz, PP – ciśnieniomierz

Wyniki badań

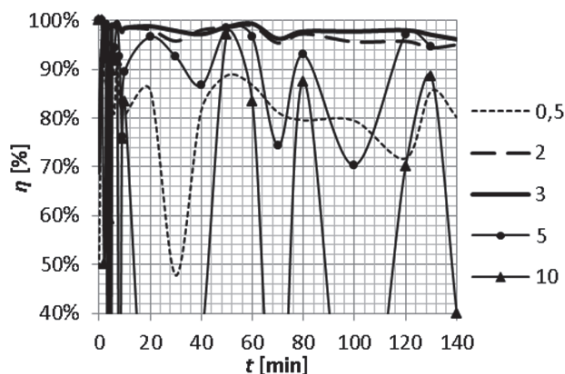
Wyniki badań zamieszczono w tab. 1 oraz na rys. 2–5.

Tab. 1. Wyniki badań filtrów

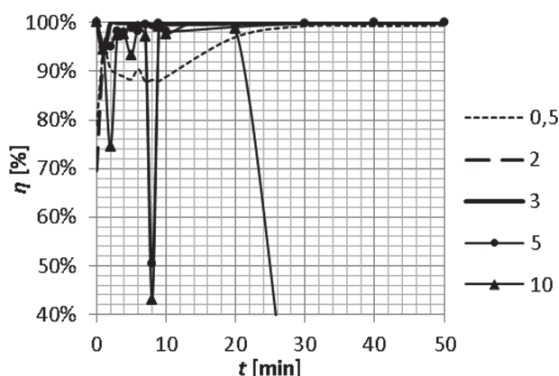
Parametr	Filtr wielowarstwowy	Filtr monowarstwowy $\varepsilon = 90\%$		
		$d_f = 10 \mu\text{m}$	$d_f = 5 \mu\text{m}$	$d_f = 2 \mu\text{m}$
Początkowy spadek ciśnienia [bar]	0,09	0,11	0,31	0,68
Czas do osiągnięcia 3 bar spadku ciśnienia [min]	354	140	57	43
Pyłochłonność [g]	79,1	18,9	6,1	2,0



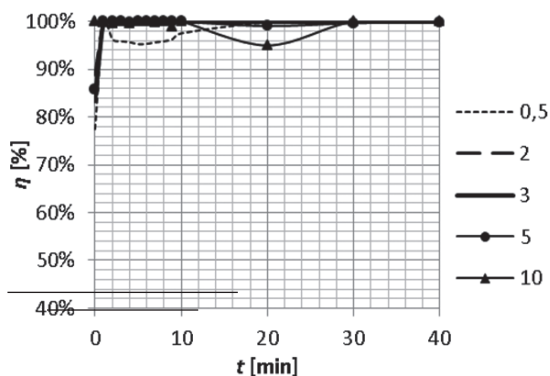
Rys. 2. Wielowarstwowy filtr absolutny, o średnicy odcięcia 3 μm : zależność sprawności filtracji od czasu trwania procesu dla cząstek o rozmiarach od 0,5÷10 μm



Rys. 3. Filtr monowarstwowy o średnicy włókien 10 µm i porowatości 90%: zależność sprawności filtracji od czasu trwania procesu dla cząstek o rozmiarach od 0,5-10 µm



Rys. 4. Filtr monowarstwowy o średnicy włókien 5 µm i porowatości 90%: zależność sprawności filtracji od czasu trwania procesu dla cząstek o rozmiarach od 0,5-10 µm



Rys. 5. Filtr monowarstwowy o średnicy włókien 2 µm i porowatości 90%: zależność sprawności filtracji od czasu trwania procesu dla cząstek o rozmiarach od 0,5-10 µm

Wnioski

Z przedstawionych wyników można wywnioskować, że w przypadku filtracji zanieczyszczeń o szerokim rozkładzie rozmiarów cząstek, naj-

bardziej wydajne są filtry wielowarstwowe, gradientowe. Cząstki stałe o największych rozmiarach mogą być zatrzymywane w początkowych warstwach filtra, nie blokując przepływu cząstkom mniejszym, efektywnie wychwytywanym przez włókna w kolejnych częściach filtra. Z tab. 1 wynika, że żywotność takiej struktury jest największa, a czas pracy kilkakrotnie przewyższa czas pracy pozostałych filtrów.

W przypadku filtrów monowarstwowych, najlepszą jakość filtratu uzyskano dla filtra charakteryzującego się najmniejszą średnicą włókien (Rys. 5).

Wszystkie cząstki usuwane były z pełną skutecznością. Filtr ten jednak charakteryzował się najkrótszym czasem pracy. Na powierzchni filtra bardzo szybko wytworzył się placek filtracyjny. Po rozcięciu filtra nie zaobserwowano wglębnej depozycji cząstek. Wszystkie cząstki zatrzymane zostały w niewielkiej odległości od powierzchni filtracyjnej. Wysoka skuteczność była zatem wynikiem działania mechanizmu sitowego placka.

Okresowe spadki sprawności filtracji, widoczne na rys. 2-4, są wynikiem występowania tzw. zjawiska reemisji cząstek. Jest ono charakterystyczne dla procesu filtracji wglębnej, gdzie mechanizmy odpowiadające za depozycję cząstki na włóknie zależą od wielu czynników, m.in. prędkości przepływu medium, rodzaju i rozmiaru cząstek oraz włókien.

Początkowo filtr jest czysty, więc cząstki deponują się na powierzchni włókien filtracyjnych. Po krótkim czasie, cząstki zawiesiny mogą osadzać się także na już zdeponowanych cząstkach, tworząc aglomeraty i dodatkowe kolektory dla kolejno napływających cząstek. Sprawność filtracji rośnie, co widać na wykresach np. dla cząstek o rozmiarach 0,5 µm. Pod wpływem dużych naprężeń ścinających wywołanych przepływem płynu, bądź zderzeń z cięższymi cząstkami, może dojść do pęknięcia aglomeratu cząstek i przemieszczenia w strukturze. Może się także zdarzyć, że cząstki te nie zostaną zatrzymane w kolejnych warstwach filtra i wydobędą się do filtratu. Konsekwencją tego są okresowe spadki sprawności filtracji cząstek o większych rozmiarach.

Zjawisko to zostało już szeroko omówione dla procesu filtracji aerozoli [Gradoń, 2009]. W przypadku filtracji cieczy potrzebna jest dokładniejsza analiza. Aby zatem spełnić teoretyczne założenie absolutnej filtracji cząstek przewyższających rozmiarem średnicę odcięcia w filtrach włókninowych, należy uwzględnić podczas procesu projektowania filtra możliwość występowania zjawiska reemisji cząstek.

LITERATURA

- ISO 12103-1 A1, 1997. *Ultrafine test dust for filter evaluation - Part 1: Arizona test dust (Particle size distribution by volume, % and chemical makeup)*
- Gradoń L., 2009. Resuspension of particles from surfaces: Technological, environmental and pharmaceutical aspects *Advanced Powder Technology*, **20**, 17-28. DOI: 10.1016/j.ap.2008.10.009
- Tien C., 2012. *Principles of Filtration*. Elsevier, Amsterdam

Badania były finansowane przez grant badawczy: „Nowe nanokompozytowe materiały filtracyjne do adsorpcyjnego oczyszczania wody” – NANOSORP PSPB-209/2010