

Jakub GAC, Leon GRADON

e-mail: j.gac@ichip.pw.edu.pl

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

## Badanie nieustalanej filtracji aerozoli ciekłych na filtrach włóknistych

### Wstęp

Filtracja aerozoli ciekłych (mgieł) jest ważnym zagadnieniem praktycznym dla przemysłu chemicznego i pokrewnych [Boundy i in., 2000; Thornburg i Leith, 2000]. Istotność tego problemu wynika z faktu, że liczne substancje ciekłe wykorzystywane w procesach przemysłowych charakteryzują się właściwościami szkodliwymi zarówno dla człowieka jak i dla innych organizmów żywych. Zatem eliminacja kropli tych substancji z gazów odlotowych poprawia bezpieczeństwo i komfort ludzi pracujących przy obsłudze instalacji oraz przyczynia się w istotny sposób do zmniejszenia uciążliwości instalacji dla środowiska. Szczególna rola przypada tu w udziale filtrom włóknistym, które pozwalają usuwać ze strumienia gazu krople o średnicach mikronowych i submikronowych. Krople tej wielkości są praktycznie niemożliwe do usunięcia innymi metodami, np. przy użyciu cyklonów bądź impaktorów [Leith i in., 1996].

Dotychczasowe prace poświęcone tej tematyce koncentrują się przede wszystkim na określeniu parametrów pracy nie przepracowanego, czystego filtra. Wiadomo jednak, że na skutek zatrzymywania w filtrze kropli cieczy zmienia się jego struktura, a co za tym idzie, także sprawność i spadek ciśnienia na filtrze. Nieliczne prace poświęcone tym zagadnieniom zwracają uwagę na wzrost oporów przepływu gazu przez filtr w miarę gromadzenia się w nim coraz większej masy cieczy. Ostatecznie, spadek ciśnienia na filtrze ustala się na nowym, wyższym poziomie, co jest wynikiem równowagi pomiędzy masą kropli osadzających się na włóknach oraz masą kropli opuszczających filtr na drodze ociekania włókien. Również sprawność usuwania kropli zmienia się w trakcie pracy filtra.

Niniejsza praca przedstawia wyniki badań eksperymentalnych procesu filtracji nieustalanej na filtrach włóknistych o różnych parametrach, takich jak średnia średnica włókien, rozkład wartości średnic włókien oraz porowatość. Otrzymane wyniki pokazują, w jaki sposób dynamika wzrostu oporów przepływu gazu oraz zmian sprawności usuwania kropli o różnych średnicach zależy od struktury filtra. Przedstawiono również wyniki badań na filtrach wielowarstwowych, co pozwala sformułować wnioski dotyczące projektowania optymalnych struktur filtracyjnych do filtracji aerozoli ciekłych.

### Metodyka badań

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. Parametry badanych filtrów przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Parametry badanych filtrów koalescencyjnych

Filtr	Średnia średnica włókien [ $\mu\text{m}$ ]	Odchylenie średnicy włókien [ $\mu\text{m}$ ]	Porowatość [-]
1	18,05	6,47	0,821
2	11,00	5,22	0,817
3	29,10	11,11	0,835

Badania wykonano wykorzystując zestaw do testowania płaskich materiałów filtracyjnych PALAS HFP-2000. Pomiary przeprowadzono dla prędkości liniowej przepływu aerozolu równej 0,2 m/s.

Pomiary sprawności i spadku ciśnienia dla filtra przepracowanego przeprowadzono po uprzednim obładowywaniu filtra kroplami. Polegało ono na przepuszczaniu przez filtr aerozolu przy maksymalnej wydajności generatora i prędkości gazu nośnego zredukowanej do 5 cm/s.

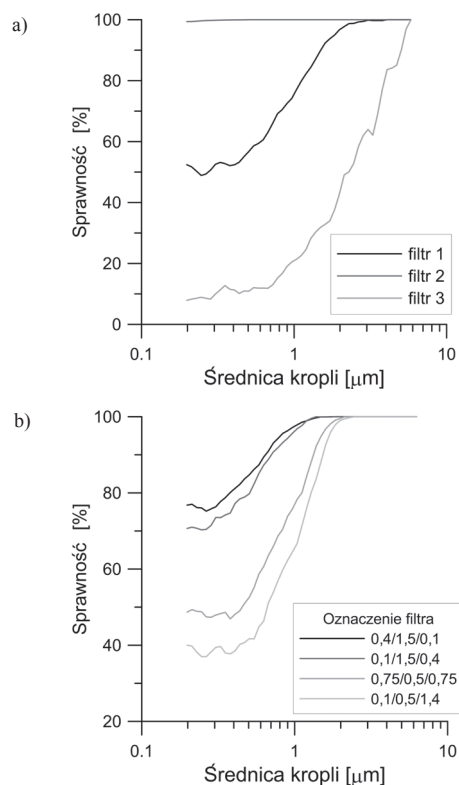
Obładowywanie prowadzono przez sześć godzin na dobę, po czym przez osiemnaście godzin filtr był pozostawiany w zestawie bez kontaktu z aerozolem, a cały cykl obładowywania zajmował pięć lub sześć dób.

### Wyniki badań

Doświadczalne pomiary sprawności cząstkowej oraz spadku ciśnienia były przeprowadzane zarówno dla pojedynczych filtrów jak i dla filtrów wielowarstwowych. Każdy badany filtr wielowarstwowy składał się z trzech warstw, przy czym pierwszą z nich (biorąc pod uwagę kierunek przepływu gazu) stanowił filtr 1, drugą – filtr 2, a trzecią filtr 3. W tak skonstruowanym filtrze główną warstwę filtracyjną stanowi filtr 2, który – jak to zostanie przedstawione poniżej – charakteryzuje się największą sprawnością zatrzymywania kropli. Na pierwszej warstwie, którą stanowi filtr 1, dochodzi do koalescencji kropli zdeponowanych na włóknie. Powstające w ten sposób krople o większej średnicy są następnie skuteczniej usuwane w głównej warstwie filtracyjnej. Dlatego też tę pierwszą warstwę będziemy określać jako warstwę koalescencyjną. Natomiast trzecia warstwa, złożona z włókien o największej średnicy, ma w założeniu umożliwić skuteczne usuwanie kropli poprzez ociekanie włókien.

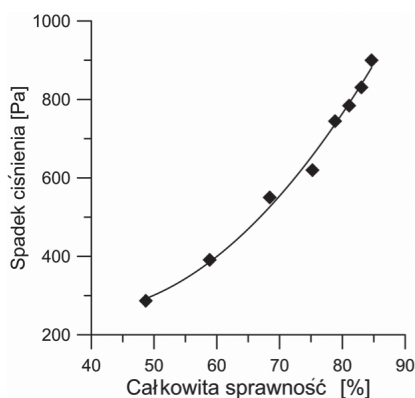
### Początkowe parametry pracy filtrów jedno- i wielowarstwowych

Sprawności początkowe poszczególnych filtrów jednowarstwowych, każdy o grubości 20 mm, przedstawiono na rys. 1a. Z wykresów tych widać, że największa sprawność charakteryzuje filtr 2. Jednak ten filtr charakteryzuje również największa wartość spadku ciśnienia. Najmniejsza sprawność i jednocześnie najmniejsza wartość oporów przepływu gazu występuje dla filtra 3.



Rys. 1. Sprawność początkowa filtrów włókninowych (a) jednowarstwowych (b) wielowarstwowych; symbol a/b/c oznacza, że w skład filtra wchodzi warstwa filtra 1 o grubości a cm, filtra 2 o grubości b cm i filtra 3 o grubości c cm

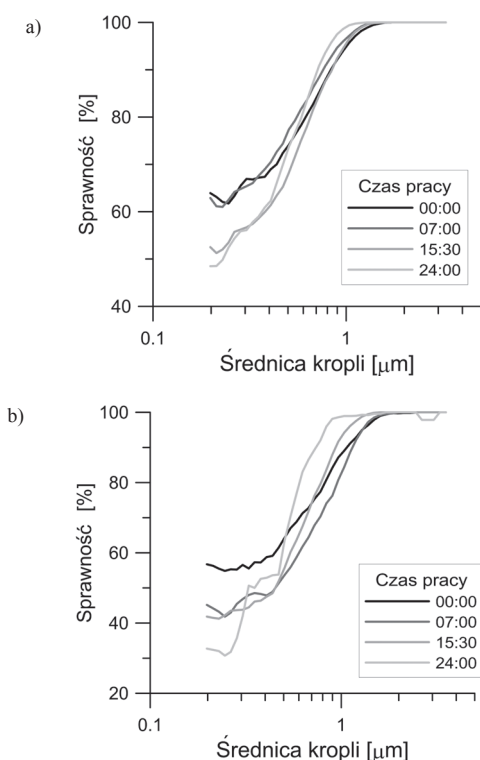
Rys. 1b przedstawia sprawność depozycji kropli dla wybranych filtrów wielowarstwowych. Całkowita grubość wszystkich filtrów była równa i wynosiła 20 mm, natomiast grubości poszczególnych warstw były zmienne. Z wykresów wynika, że największą sprawnością charakteryzowały się filtry o największej grubości warstwy głównej. Z kolei zwiększanie grubości warstwy ociekowej zmniejszało sprawność filtra. Jednocześnie filtry o największej sprawności charakteryzowały się największymi oporami przepływu gazu. Zależność spadku ciśnienia na filtrze od całkowitej sprawności masowej dla poszczególnych filtrów przedstawiono na rys. 2. Jak widać, jest to zależność ściśle rosnąca.



Rys. 2. Zależność spadku ciśnienia od początkowej całkowitej sprawności wielowarstwowego filtra koalescencyjnego. Romby oznaczają wyniki dla filtrów o różnych grubościach poszczególnych warstw

#### Zmiana parametrów pracy filtrów w wyniku przepracowania

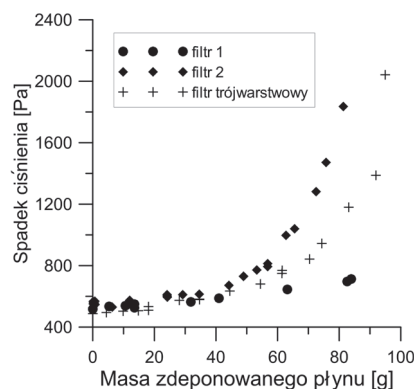
Rys. 3 przedstawia sprawność filtracji kropli na filtrze 2 (grubość 20,0 mm) oraz wielowarstwowym (grubość każdej warstwy wynosiła 6,7 mm) po różnym okresie pracy filtra. Na podstawie tych wykresów możemy stwierdzić, że sprawność usuwania kropli o stosunkowo dużych rozmiarach (powyżej 1  $\mu\text{m}$ ) rośnie w trakcie filtracji, natomiast sprawność usuwania kropli o średnicach poniżej 0,5  $\mu\text{m}$  maleje. Ta różnica w zachowaniu sprawności filtra dla kropli o różnym rozmiarze wynika z różnych mechanizmów depozycji kropli [Charvet *in. in.*, 2010].



Rys. 3. Sprawność (a) filtra 2 oraz (b) filtra wielowarstwowego po różnym okresie pracy

Dla większych kropli dominuje mechanizm bezwładnościowy oraz mechanizm bezpośredniego zaczepienia. Mechanizmowi temu sprzyja spadek porowatości filtra następujący w trakcie jego obładowywania. Natomiast dla mniejszych kropli dominuje mechanizm dyfuzyjny. Dla tego mechanizmu sprawność filtracji jest odwrotnie proporcjonalna do efektywnej średnicy włókna, która rośnie w czasie.

Rys. 4 przedstawia zależność spadku ciśnienia na rozważanym filtrze w zależności od zdeponowanej masy płynu dla dwóch filtrów jednowarstwowych oraz dla filtra trójwarstwowego. Widać wyraźnie, że po początkowej fazie, gdy masa ta jest stosunkowo mała, a spadek ciśnienia praktycznie stały – opory przepływu gazu przez filtr zaczynają rosnąć. Najsilniejszy wzrost obserwujemy w przypadku filtra 2, a najslabszy – dla filtra 1. Natomiast dla wszystkich trzech badanych filtrów wzrost oporów przepływu gazu zaczyna być widoczny dla zbliżonej masy zdeponowanego płynu, równej około 40 g.



Rys. 4. Zależność spadku ciśnienia na filtrze włókninowym od masy zdeponowanego płynu

#### Wnioski

Badania filtracji aerozoli ciekłych na filtrach włókninowych pokazują, że na sprawność filtracji oraz spadek ciśnienia na filtrze istotny wpływ ma struktura filtra, opisana przede wszystkim przez rozkład średnic włókien oraz porowatość. Parametry te można również zmieniać, stosując filtry wielowarstwowe, których warstwy różnią się strukturą.

W przypadku dłuższej pracy filtra, jego parametry zmieniają się na skutek obładowywania włókien filtracyjnych kroplami cieczy. Obserwuje się wzrost sprawności usuwania kropli o większych rozmiarach oraz spadek sprawności usuwania kropli mniejszych, a ponadto, po zatrzymaniu określonej masy płynu, następuje wzrost oporów przepływu gazu. W tym zakresie również widać możliwość optymalizacji filtrów przez zastosowanie struktur wielowarstwowych. Np. nasze badania wykazały, że filtry takie wykazują większy wzrost sprawności usuwania kropli o rozmiarach powyżej 1  $\mu\text{m}$ , niż struktury jednowarstwowe.

Aby sformułować wytyczne do projektowania optymalnych wielowarstwowych struktur filtracyjnych konieczne są dalsze badania zarówno doświadczalne, jak i teoretyczne. Badania te są obecnie w toku.

#### LITERATURA

- Boundy M., Leith D., David H., Michael G., Edward, B.G., 2000. Performance of industrial mist collectors over time. *Appl. Occup. Env. Hyg.* **15**, nr 12, 928–935. DOI: 10.1080/104732200750051166
- Charvet A., Gonthier Y., Gonze E., Bernis A., 2010. Experimental and modelled efficiencies during the filtration of a liquid aerosol with a fibrous medium. *Chem. Eng. Sci.* **65**, 1875–1886. DOI:10.1016/j.ces.2009.11.037
- Leith, D., Raynor, P.C., Boundy, M.G., Cooper, S.J., 1996. Performance of industrial equipment to collect coolant mist. *Am. Ind. Hygiene Assoc. J.* **57**, 1142–1148. DOI:10.1080/15428119691014251
- Thornburg, J., Leith, D., 2000. Size distribution of mist generated during metal machining. *Appl. Occup. Env. Hyg.* **15**, nr 8, 618–628. DOI: 10.1080/10473220050075626.