

mgr inż. TOMASZ JANKOWSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Filtracja aerozoli cieczy

## emitowanych podczas obróbki mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych

Obróbka mechaniczna odgrywa dużą rolę w procesach wytwarzania gotowych produktów. W tych procesach chłodziwa olejowe znajdują szerokie zastosowanie do schładzania i zmniejszania tarcia między narzędziem skrawającym i obrabianym przedmiotem, poprawy jakości obrabianych powierzchni i przedłużania żywotności narzędzia skrawającego. W artykule opisano proces filtracji aerozoli cieczy w warunkach użytkowania wielostopniowych układów włókninowych podczas obróbki mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych. Przedstawiono również wyniki badania dynamicznych zmian frakcyjnej sprawności procesu filtracji aerozolu DEHS w wielostopniowych układach włókninowych o różnej grubości oraz o zróżnicowanej strukturze w przekroju poprzecznym.

### Filtration of liquid aerosols emitted at machining operations that use coolant liquids

Machining operation plays a very important role in manufacturing products. In these operations coolant liquids are used to cool the tool and the work piece, reduce the friction between them, improve the quality of the surface of the work piece and increase tool life. This article describes the process of filtration of liquid aerosols in nonwoven fabric composite systems used in machining operations that involve coolant liquids. Also presented are results of dynamic changes in the fractional efficiency of the filtration process of the DEHS aerosol through nonwoven fabric composite systems of different thickness and miscellaneous structural characteristics in cross-section.

### Wstęp

W wielu procesach technologicznych, w szczególności z udziałem wysokich temperatur, stosuje się do chłodzenia różnego rodzaju oleje. W obróbce mechanicznej mogą one ulegać utlenianiu, zanieczyszczeniu cząstkami metali lub produktami spalania; mogą także powstawać szkodliwe substancje, np. rakotwórcza N-nitrozoamina, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, w tym benzo[a]piren. Procesy obróbki z użyciem chłodziw olejowych emitują do środowiska pracy szkodliwe dla człowieka aerozole cieczy, które mogą również uszkadzać sprzęt elektroniczny, stosowany w maszynach.

Dotychczasowe badania zagrożenia pracowników podczas procesów obróbki z użyciem olejów dotyczyły głównie oznaczania stężeń zawartych w nich substancji szkodliwych metodami spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni, bez uwzględnienia wymiarów cząstek aerozoli cieczy [1]. Obecnie wiele badań naukowych na świecie, także w Polsce, jest prowadzonych przede wszystkim w zakresie

oceny i zmniejszania ryzyka związanego z zagrożeniem cząstkami aerozoli w środowisku pracy człowieka z wykorzystaniem metod zliczania cząstek [2, 3]. Nowoczesne techniki pomiarowe umożliwiają wykonywanie pomiarów frakcyjnych stężeń cząstek aerozoli w szerokim zakresie wymiarowym. Zastosowanie tych metod pozwala na wykonywanie badań w celu oceny efektywności procesu filtracji aerozoli cieczy w odniesieniu do frakcji wymiarowych cząstek, poczynając już od wymiarów nanometrycznych.

W ostatnich latach powstają nowe rozwiązania ograniczające ryzyko zawodowe związane z zagrożeniem cząstkami aerozolowymi. Wielostopniowe układy filtracji stanowią znaczącą pozycję wśród materiałów filtracyjnych stosowanych zwykle jako ostatni etap procesu oczyszczania powietrza w systemach wentylacji procesów obróbki mechanicznej [4]. Pozwalają one nie tylko na dogodne regulowanie grubości filtra, ale również na dobór odpowiedniej struktury w jego przekroju w celu uzyskania najbardziej efektywnego oczyszcze-

nia powietrza z polidispersyjnego aerozolu cieczy (np. filtracja powietrza zawierającego mgłę oleju mineralnego). Jednym z najważniejszych zjawisk decydujących o optymalnych właściwościach filtracyjnych takich układów jest oddziaływanie cząstek aerozoli na włókna stanowiące warstwę filtracyjną. Podstawowymi parametrami opisującymi pracę warstwowego układu włóknin są opory przepływu i sprawność frakcyjna określane podczas przebiegu nieustalonej filtracji wgłębnej, charakteryzowanej przez złożone mechanizmy transportu i zatrzymywania cząstek aerozoli [5]. Sposób przemieszczania się i zatrzymywania cząstek aerozoli cieczy w materiałach filtracyjnych jest uzależniony od jednoczesnego działania kilku procesów, między innymi odparowania ich ze strumienia przepływającego powietrza, ponownego skroplenia, kondensacji na włóknach oraz drenażu (zbieranie nadmiaru cieczy z materiału filtracyjnego) [6].

Z uwagi na powszechność stosowania obróbki mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych w różnych branżach przemysłu w Polsce i na świecie oraz różnorodność występowania szkodliwych czynników towarzyszących temu procesowi, w szczególności aerozoli cieczy, w artykule omówione zostały rodzaje zagrożeń wynikających ze stosowania chłodziw olejowych oraz charakterystyka procesu filtracji aerozoli cieczy w materiałach filtracyjnych.

### Zagrożenia aerozolami cieczy emitowanymi w procesach obróbki mechanicznej

Podstawowym zagrożeniem jest mgła olejów mineralnych, emitowana podczas obróbki mechanicznej (w szczególności metali) z użyciem chłodziw olejowych. Duża wydajność obróbki skrawaniem wymaga znacznych obrotów, co w powiązaniu z podwyższeniem temperatury prowadzi do wzmożonego wydzielania mgły olejowej składającej się z fazy ciekłej (krople oleju) i fazy gazowej (pary oleju) [7, 8].

Dla fazy ciekłej aerozolu olejów mineralnych wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń w powietrzu na stanowiskach pracy wynoszą odpowiednio: NDS – 5 mg/m<sup>3</sup>, NDSC – 10 mg/m<sup>3</sup>.

Mgła olejów mineralnych może powstawać w wyniku procesów dynamicznego i termicznego. W procesie dynamicznym następuje rozpylanie strumienia chłodziwa przez wirujące elementy maszyn. Emisja aerozoli cieczy w procesie dynamicznym jest funkcją:

- strumienia objętości chłodziwa olejowego
- prędkości obrotowej obrabianego elementu wirującego.

Proces termiczny przebiega w wyniku odparowania chłodziwa w zetknięciu z gorącymi powierzchniami i dalszej kondensacji w powietrzu. Emisja aerozolu cieczy zależy głównie od ilości ciepła wydzielanego w procesie obróbki.

### Filtracja aerozoli cieczy

W celu ograniczenia ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem spowodowanym rozprzestrzenianiem się aerozoli cieczy (w tym w szczególności mgły olejów mineralnych) emitowanych podczas obróbki mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych, stosuje się systemy wychwytywania, oczyszczania i separacji cząstek aerozoli cieczy o określonym zakresie wymiarowym.

Wychwytywanie aerozoli cieczy powinno się odbywać przede wszystkim bezpośrednio u źródła ich emisji, zanim zdążą przedostać się do otaczającego powietrza. Najwłaściwszym rozwiązaniem jest szczelne obudowanie strefy obróbki maszyny, podczas pracy której są emitowane aerozole cieczy. Całkowite lub częściowo

obudowanie źródeł emisji aerozoli cieczy nie zawsze jest możliwe. W takich przypadkach rozwiązaniem są ogólne systemy oczyszczania i separacji aerozoli cieczy połączone z właściwym organizowaniem przepływu powietrza w pomieszczeniach.

Zgodnie z klasyczną teorią opisującą proces filtracji aerozolu przez włókniny filtracyjne, ruch cząstek aerozoli w materiałach filtracyjnych, w tym wielostopniowych układach filtracji, może występować na skutek dyfuzji molekularnej, bezwładności cząstek, bezpośredniego ich zaczepienia, efektu grawitacyjnego i sił elektrycznych (rys. 1.) [4]. Przedstawiona teoria filtracji aerozoli dotyczy przede wszystkim początkowego etapu procesu, czyli zatrzymywania cząstek aerozoli na włóknach materiałów filtracyjnych, jeszcze nieobladanych.

Na ogół cząstki aerozolu są zatrzymywane w wyniku jednoczesnego działania kilku mechanizmów. Każdy z nich spełnia określoną rolę, która zależy od wielu parametrów, co powoduje, że teoretyczne modele filtracyjne są bardzo złożone, a skutki ich stosowania nie zawsze są zgodne z praktyką i oczekiwaniami. Wyniki uzyskane z równań teoretycznych muszą być konfrontowane z danymi doświadczalnymi w celu ustalenia możliwości stosowania określonego równania do opisu właściwości filtracyjnych, dla danej struktury włókniny filtracyjnej. Istniejące formuły matematyczne zawierają szereg założeń upraszczających. W wielu przypadkach jest wymagane wprowadzenie eksperymentalnych współczynników korygujących badane zależności.

W teorii filtracji do analizy procesu zatrzymywania cząstek z przepływającego strumienia

aerozolu w materiale filtracyjnym najczęściej są wykorzystywane modele izolowanego włókna, w którym materiał traktuje się jako jednorodny układ zbudowany z pojedynczych, oddalonych od siebie włókien ustawionych prostopadle do kierunku przepływu strumienia aerozolu [4]. Stopień zatrzymania cząstek aerozolowych w materiałach filtracyjnych jest charakteryzowany przez skuteczność pojedynczego włókna, która jest zależna od warunków przepływu aerozolu i mechanizmu zatrzymywania.

W przypadku małych cząstek aerozolu, w szczególności cząstek o wymiarach nanometrycznych, w wyniku zderzeń z cząstkami gazu pobierają one tak dużą energię, że następuje widoczna zmiana kierunku ich ruchu. Te stochastyczne ruchy cząstek są zwane ruchami Browna. Mechanizm dyfuzji ma największe znaczenie dla cząstek o średnicy poniżej 0,1 μm. Parametrem, który charakteryzuje efektywność zatrzymywania cząstek dla mechanizmu dyfuzji jest liczba Peceta (Pe), obliczana zgodnie ze wzorem [4]:

$$Pe = \frac{U \cdot d_{wl}}{D}$$

gdzie:

U – prędkość liniowa aerozolu

D – współczynnik dyfuzji cząstek aerozolu

d<sub>wl</sub> – średnia średnica włókien we włókninie.

Sprawność depozycji cząstek na pojedynczym włóknie w wyniku dyfuzji można obliczyć z kolejnych przybliżeń następującej zależności [4]:

$$E_D = 2.9 \cdot Ku^{-\frac{1}{3}} \cdot Pe^{-\frac{2}{3}}$$

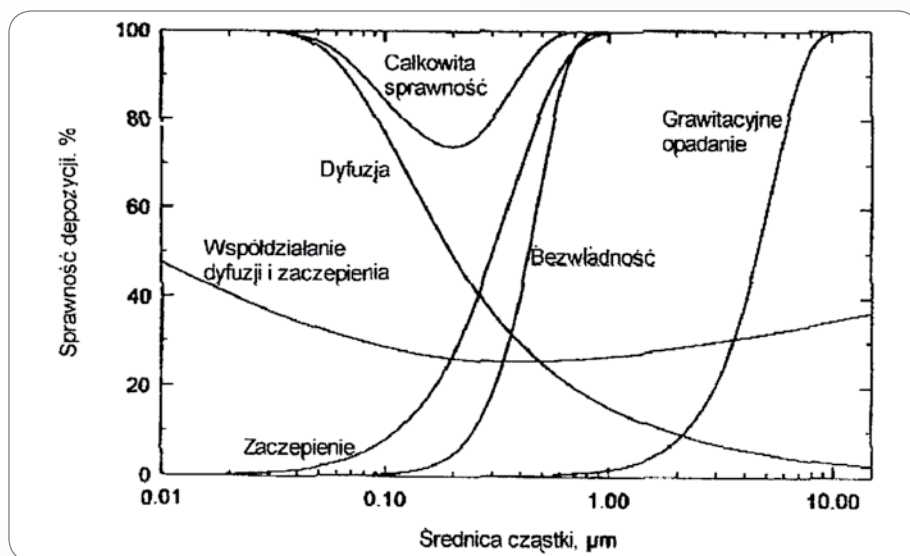
gdzie:

Ku – współczynnik hydrodynamiczny Kuwabary.

Większość rozważań dotyczących procesu filtracji aerozoli opiera się na założeniu laminarnego przepływu aerozoli przez warstwy materiałów filtracyjnych. Stosowane metody formowania runa włókniny sprawiają, że podczas tego procesu powstają wolne przestrzenie między włóknami mające formę kanalików o trudnych do zdefiniowania kształtach geometrycznych. Wraz ze wzrostem grubości włókniny, np. przez wzrost liczby nakładanych na siebie poszczególnych warstw włókniny (wielostopniowe układy filtracji), laminarny przepływ aerozolu przez układ może zmieniać swój charakter na przejściowy, a w skrajnych przypadkach nawet na burzliwy.

Parametrem określającym charakter przepływu cząstek aerozolu względem elementów (włókien) tworzących warstwę filtracyjną jest liczba Reynoldsa (Re), zapisana jako [4]:

$$Re = \frac{U \cdot d_z \cdot \gamma}{\mu \cdot g}$$



Rys. 1. Zależność sprawności pojedynczego włókna od średnicy cząstek aerozoli dla różnych mechanizmów ich depozycji [4]

Fig. 1. The effect of the diameter of aerosol particles on the efficiency of a single fibre for different kinds of deposition mechanisms [4]

gdzie:

- $U$  – prędkość liniowa aerozolu
- $d_z$  – średnica zastępcza włókna
- $\gamma$  – ciężar właściwy powietrza
- $\mu$  – lepkość dynamiczna powietrza
- $g$  – przyspieszenie siły ciężenia.

Na podstawie doświadczeń z materiałami sypkimi stwierdzono, że dla  $Re < 10$  przepływ jest laminarny, a dla  $Re > 100$  panuje ruch burzliwy. W zakresie  $10 < Re < 100$  przepływ ma charakter przejściowy pomiędzy ruchem laminarnym a ruchem burzliwym.

Zgodnie z prawem Darcy'ego [4], opory przepływu aerozolu przez materiały filtracyjne są funkcją liniowej prędkości przepływu aerozolu, lepkości dynamicznej powietrza oraz grubości warstwy filtracyjnej. W zależności od rodzaju obszaru przepływu aerozolu funkcję tę można zapisać w postaci:

- przepływ laminarny

$$\Delta p = \frac{4 \cdot \mu \cdot U \cdot L}{d_{wl}^2} \cdot f(\alpha),$$

- przepływ burzliwy

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot U^2 \cdot L}{2 \cdot d_{wl}^2} \cdot f(\alpha),$$

gdzie:

- $U$  – prędkość liniowa aerozolu
- $\mu$  – lepkość dynamiczna powietrza
- $\rho$  – gęstość powietrza
- $L$  – grubość włókniny filtracyjnej
- $\alpha$  – gęstość upakowania włókniny
- $f(\alpha)$  – funkcja gęstości upakowania charakterystyczna dla określonej struktury materiału filtracyjnego
- $d_{wl}$  – średnia średnica włókien we włókninie.

Filtracja aerozoli cieczy w warunkach użytkowania wielostopniowych układów ma charakter nieustalony. Proces ten powoduje dynamiczne zmiany zarówno właściwości filtracyjnych wielostopniowych układów filtracji, jak i ich struktury w czasie. Jednym z najważniejszych zjawisk zachodzących w takich układach jest oddziaływanie cząstek aerozoli cieczy z włóknami stanowiącymi warstwę filtracyjną. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez Raynora i Leitha, sposób przemieszczania się i zatrzymywania cząstek aerozoli cieczy w materiałach filtracyjnych jest uzależniony od jednoczesnego działania kilku procesów [6]. Krople, przemieszczając się wzdłuż układów filtracyjnych, mogą ulegać odparowaniu ze strumienia przepływającego powietrza. Badania Raynora i Leitha potwierdziły występowanie zjawiska odparowywania cząstek aerozoli cieczy z materiałów filtracyjnych o różnych parametrach strukturalnych [6]. Wilgoć w postaci kropli usunięta ze strumienia powietrza może ulegać akumulacji i przemieszczać się w niżej położone warstwy

układu filtracyjnego wskutek drenażu. Jednocześnie odparowane składniki powietrza mogą ulegać ponownemu skropleniu, a następnie kondensacji na włóknach.

W celu obserwacji sposobu deponowania się cząstek aerozolu cieczy dokonano w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym szeregu obserwacji mikroskopowych włóknin wytworzonych z włókien poliestrowych podczas procesu filtracji aerozolu oleju estru bis (2-etyloheksylu) kwasu sebacynowego (DEHS), w odniesieniu do różnych prędkości przepływu i wlotowych stężeń liczbowych aerozolu. Czas trwania procesu filtracji aerozolu wynosił 120 minut. Na rys. 2.-4. przedstawiono przykładowe fotografie mikroskopowe depozycji kropli aerozolu DEHS na powierzchni włókien poliestrowych. Zjawisko depozycji kropli aerozolu występowało na powierzchni włókien na skutek zwilżania ciała stałego przez ciecz oraz w miejscach krzyżowania się włókien lub pomiędzy dwoma włóknami w wyniku efektu kapilarnego. Analizując fotografie mikroskopowe można stwierdzić, że efekt tworzenia się kropli aerozolu na włóknach zwiększa się wraz ze wzrostem wlotowego stężenia aerozolu DEHS i czasu trwania procesu filtracji.

W ostatnich latach na świecie zauważalny jest rozwój prac badawczych dotyczących procesu zatrzymywania i transportu cząstek aerozoli cieczy w materiałach filtracyjnych [6]. W dalszym ciągu są prowadzone prace nad modelami opisującymi zmiany skuteczności filtracji aerozoli cieczy w materiałach filtracyjnych. Dotychczas opracowane modele są adaptacją klasycznej teorii filtracji [4] do procesu filtracji aerozoli cieczy. Zgodnie z nimi krople otaczające włókna mają kształt zbliżony do cylindrycznego i są rozmieszczone na całej długości włókien. Całkowita sprawność filtracji aerozoli cieczy dla danego materiału filtracyjnego ( $\eta_c$ ) może zostać określona zgodnie z zależnością [6]:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{4 \cdot E \cdot L \cdot \alpha \cdot f}{\pi \cdot d_{wl} \cdot (1 - \alpha) \cdot (1 - S)}\right),$$

gdzie:

- $S$  – współczynnik wilgotności
- $L$  – grubość włókniny filtracyjnej
- $E$  – sprawność depozycji cząstki aerozolu na pojedynczym włóknie
- $\alpha$  – gęstość upakowania włókniny
- $d_{wl}$  – średnia średnica włókien we włókninie.
- Współczynnik „ $f$ ” określa się według wzoru:

$$f = 1 - \frac{d_k}{h},$$

gdzie:

- $h$  – odległość między skrajnymi punktami kropli:



Rys. 2. Depozycja kropli aerozolu DEHS pomiędzy dwoma włóknami w procesie filtracji przy prędkości przepływu 5 cm/s i stężeniu aerozolu  $10^6$  cząstek/cm<sup>3</sup>

Fig. 2. Incidence of deposition of DEHS droplets between two fibres at aerosol velocity of 5 cm/s and inlet concentration of  $10^6$  particles/cm<sup>3</sup>



Rys. 3. Depozycja kropli aerozolu DEHS w miejscu krzyżowania się włókien w procesie filtracji przy prędkości przepływu 20 cm/s i stężeniu aerozolu  $10^6$  cząstek/cm<sup>3</sup>

Fig. 3. Incidence of deposition of DEHS droplets where fibres cross at aerosol velocity of 20 cm/s and inlet concentration of  $10^6$  particles/cm<sup>3</sup>



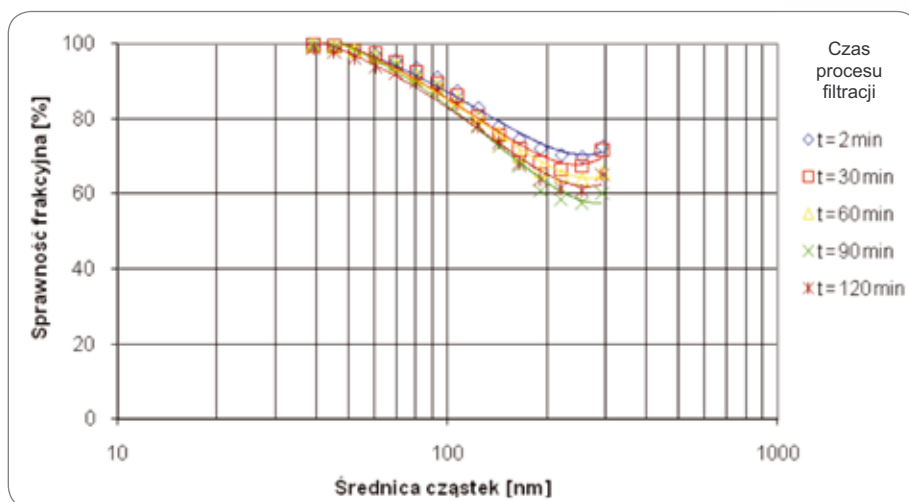
Rys. 4. Depozycja kropli aerozolu DEHS na drodze zwilżania ciała stałego przez ciecz w procesie filtracji przy prędkości przepływu 20 cm/s i stężeniu aerozolu  $10^5$  cząstek/cm<sup>3</sup>

Fig. 4. Incidence of deposition of DEHS droplets which wet fibres, enabling surface tension to aid adhesion at aerosol velocity of 20 cm/s and inlet concentration of  $10^5$  particles/cm<sup>3</sup>

$$h = 5 \cdot \left[ \frac{S(1 - \alpha)}{\alpha} + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot d_{wl},$$

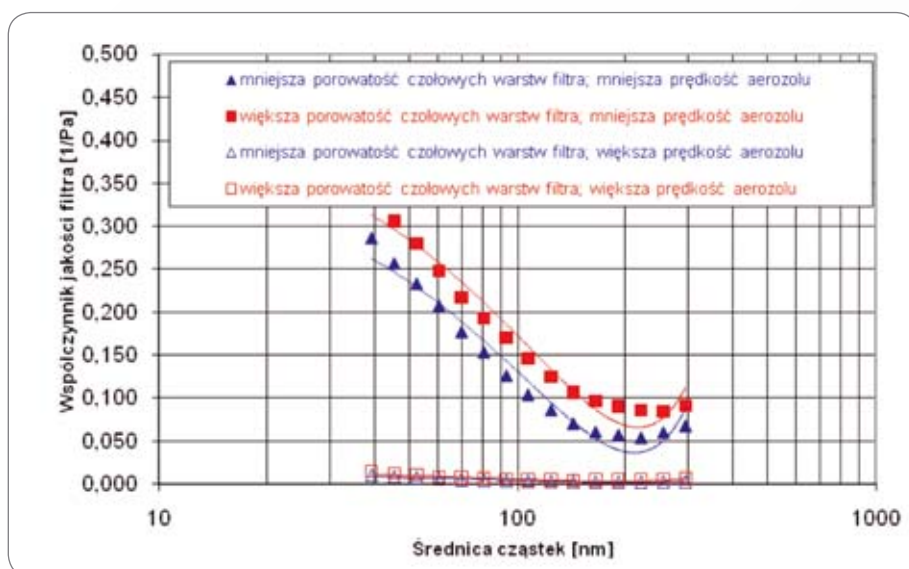
$d_k$  – średnica kropli:

$$d_k = \left[ \frac{3 \cdot S \cdot d_{wl}^2 \cdot h(1 - \alpha)}{2\alpha} \right]^{\frac{1}{3}}.$$



Rys. 5. Przykładowe dynamiczne zmiany sprawności filtracji w funkcji wymiarów cząstek aerozolu cieczy dla dwustopniowego układu filtracji przy prędkości przepływu 5 cm/s i stężeniu aerozolu  $10^5$  cząstek/cm<sup>3</sup>

Fig. 5. An example of dynamic changes of filtration efficiency as a function of the diameter of particles through a two-layer filter nonwoven at aerosol velocity of 5 cm/s and inlet concentration of  $10^5$  particles/cm<sup>3</sup>



Rys. 6. Przykładowe zmiany współczynnika jakości filtra w funkcji wymiarów cząstek aerozolu cieczy przy stężeniu wlotowym aerozolu  $10^5$  cząstek/cm<sup>3</sup>

Fig. 6. An example of the quality factor of filters as a function of the diameter of particles at aerosol concentration of  $10^5$  particles/cm<sup>3</sup>

### Metoda badania

W ramach programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” są prowadzone w CIOP-PIB badania procesu filtracji nieustalonej, pod kątem ochrony pracowników przed szkodliwymi cząstkami aerozoli cieczy przez zastosowanie wielostopniowych układów filtracji [9].

Metoda badawcza polega na badaniu sprawności filtracji przez wybrane wielostopniowe układy filtracji złożone z włóknin wytworzonych z włókien syntetycznych o różnej morfologii, które znajdują zastosowanie

w systemach wychwytywania, oczyszczania i separacji cząstek aerozoli cieczy podczas obróbki mechanicznej z zastosowaniem chłodziw olejowych. Badania wykonano testem aerozolu estru bis (2-etyloheksylu) kwasu sebacynowego (DEHS) z zastosowaniem systemu analizy wymiarowej cząstek SMPS Model 3936 (TSI Inc, USA).

Sprawność filtracji w funkcji wymiarów cząstek aerozoli cieczy w odniesieniu do każdego badanego wielostopniowego układu włókninowego określano na podstawie pomiaru stężenia liczbowego cząstek aerozolu cieczy przed i za badaną próbką w zakresie wymiarowym

od 40 nm do 300 nm. Badania prowadzono dla stanu nieustalonego filtracji podczas ciągłego obładowywania filtrów cząstkami aerozolu cieczy przy dwóch zmiennych parametrach procesowych:

- prędkości przepływu aerozolu DEHS w zakresie od 5 cm/s do 20 cm/s
- stężenia wlotowego aerozolu DEHS wynoszącego  $10^5$  cząstek/cm<sup>3</sup> i  $10^6$  cząstek/cm<sup>3</sup>.

### Wyniki badania sprawności filtracji aerozolu DEHS

Przykładowe zmiany sprawności frakcyjnej w czasie trwania procesu filtracji aerozolu cieczy DEHS przedstawiono na rys. 5.

Z wyników dynamicznych zmian sprawności frakcyjnej cząstek najbardziej penetrujących (MPPS) w czasie trwania procesu filtracji w badanych wielostopniowych układach filtracji wynika, że:

- wartości sprawności frakcyjnych maleją w czasie procesu filtracji aerozolu cieczy
- dynamika zmian sprawności frakcyjnych była większa dla mniejszego stężenia wlotowego aerozolu – dla dwustopniowego układu filtracji i prędkości przepływu aerozolu 10 cm/s spadek sprawności frakcyjnej cząstek MPPS w czasie trwania procesu filtracji aerozolu DEHS wyniósł odpowiednio:
  - 46% przy stężeniu wlotowym aerozolu  $10^5$  cząstek/cm<sup>3</sup>
  - 6% przy stężeniu wlotowym aerozolu  $10^6$  cząstek/cm<sup>3</sup>
- wartości sprawności frakcyjnej cząstek MPPS maleją wraz ze wzrostem prędkości przepływu i stężenia wlotowego aerozolu cieczy

• najniższe wartości sprawności frakcyjnej cząstek MPPS uzyskano dla jednostopniowych układów filtracji, a najwyższe dla dwustopniowych układów filtracji – np. dla większego stężenia wlotowego aerozolu  $10^6$  cząstek/cm<sup>3</sup> i prędkości przepływu aerozolu 10 cm/s sprawności filtracji w funkcji wymiarów cząstek MPPS wynosiły odpowiednio:

- 27% dla cząstek o średnicy 191 nm – jednostopniowy układ filtracji
- 47% dla cząstek o średnicy 124 nm – dwustopniowy układ filtracji.

Dla wybranych wielostopniowych układów filtracji najtrudniejsze do zatrzymania były cząstki z zakresu średnic od 124-255 nm. Cząstki cieczy DEHS z tego zakresu średnic były filtrowane z minimalną sprawnością filtracji.

### Wyniki badania współczynnika jakości wielostopniowych układów filtracji

Z przeprowadzonej oceny współczynnika jakości QF wynika, że zmiana parametrów

strukturalnych włókien i parametrów procesowych filtracji ma istotny wpływ na zmianę efektywności działania wielostopniowych układów, w szczególności w odniesieniu do cząstek o wymiarach mniejszych od wymiarów cząstek MPPS.

Przykładowe zmiany współczynnika jakości QF wielostopniowych układów filtracji złożonych z włókien o wartości mniejszej (81%) i większej (96%) porowatości ogólnej w zależności od wymiarów cząstek aerozolu cieczy i dwóch wartości prędkości przepływu aerozolu (5 cm/s i 20 cm/s) zilustrowano na rys. 6.

W przyjętych warunkach w odniesieniu do wszystkich badanych wielostopniowych układów filtracji:

- wartości współczynnika jakości maleją wraz ze wzrostem prędkości przepływu i stężenia wlotowego aerozolu cieczy DEHS

- dynamika zmian współczynnika jakości w czasie trwania procesu filtracji zwiększała się wraz ze wzrostem prędkości przepływu aerozolu

- nie zaobserwowano zmian w dynamice spadku współczynnika QF wraz ze wzrostem stężenia wlotowego aerozolu cieczy.

## Podsumowanie

W każdym z analizowanych wariantów zarówno procesowych (regulowanych przez prędkość przepływu i stężenie wlotowe aerozolu), jak i konstrukcyjnych wielostopniowych układów filtracji (regulowanych przez grubość i porowatość poszczególnych warstw w kompozycji), korzystniejsze okazało się prowadzenie procesu filtracji cząstek MPPS aerozolu cieczy DEHS w wielostopniowych układach filtracji, w których pierwszy stopień filtracyjny stanowiły materiały włókninowe zawierające większe pory.

Użytkownicy lub osoby odpowiedzialne za prawidłową eksploatację systemów odproszadzania i oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń aerozolami cieczy mogą zatem sami dobrać optymalne rozwiązanie układu filtracji. Korzystając z podanych wartości parametrów filtracyjnych materiałów włókninowych, mogą zastosować wielostopniowy układ filtracji o strukturze dostosowanej do warunków procesowych obróbki mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych. Takie rozwiązanie umożliwi wydłużenie czasu użytkowania układu filtracji.

W aspekcie podejmowania działań zmierzających do ograniczania ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem mgłą olejów mineralnych, emitowaną w procesach obróbki mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych, interesującym zagadnieniem wymagającym dyskusji jest również problem wpływu innych

cząstek obecnych w aerozolah przy obróbce mechanicznej z użyciem chłodziw olejowych (np. pyłów stałych) na przebieg filtracji kropelek olejów. Poznanie zjawisk oddziaływania cząstek aerozoli cieczy i stałych pyłów podczas filtracji pozwoli na pełną analizę stosowalności uzyskanych wyników zmian parametrów filtracyjnych w warunkach rzeczywistych.

## PIŚMIENNICTWO

[1] D. Kijeńska *Oleje mineralne – metody oznaczania*. „Bezpieczeństwo Pracy” 11(352)2000, s. 24-25

[2] B. J. Mullins, G. Kasper (2005) *Filtration of oil mists – Maximising drainage from media*. Proceedings book of the European Aerosol Conference, Ghent, Belgia, pp. 274-275

[3] J. Volckens, M. Boundy, D. Leith (2000) *Mist concentration measurements II: Laboratory fields evaluations*, „Applied Occupational and Environmental Hygiene”, vol. 15(4), pp. 370-379

[4] K. Willeke, P.A. Baron (2001) *Aerosol measurement. Principles, Techniques and Applications*. John Wiley & Sons, Inc

[5] L. Gradoń, T. Ciach (2001) *Deep bed filtration of liquid suspensions in the multilayer fibrous structures*. [online] <http://www.microspun.pl/img/df3cc61c.doc>

[6] P. C. Raynor, D. Leith (2000) *The Influence of Liquid on Fibrous Filter Performance*. „Journal of Aerosol Science”, vol. 31(1), pp. 19-34

[7] E. Gawęda, J. Kurpiewska, K. M. Benczek., D. Kijeńska *Ocena narażenia zawodowego na oleje mineralne*. „Medycyna Pracy” vol. 51(4) 2000, s. 357-364

[8] J. Gromiec, J. Krajewski, D. Barański *Problemy ekspozycji zawodowej na mgłę olejową przy stosowaniu płynów obróbkowych*. „Medycyna Pracy” vol. 32(5)1981, pp. 359-363

[9] *Opracowywanie metodyki badania skuteczności filtracji cząstek aerozoli cieczy w różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych wielostopniowych układów filtracji stosowanych w systemach wentylacji*. Sprawozdanie z realizacji 1. etapu zadania badawczego rozwojowego. Główny wykonawca: T. Jankowski, CIOP-PIB 2008

*Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania realizowanego w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie prac badawczo-rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

## Włodzimierz Mazerant (1970-2009) – in memoriam



Był artystą kompletnym, zwolennikiem minimalizmu w sztuce. Formy proste przekuwał w jakże zaawansowane.

Absolwent prestiżowych studiów na kierunku Edukacji Wizualnej w Akademii Sztuk Pięknych im. W. Strzemińskiego w Łodzi.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym pracował 10 lat.

Nagle i nieoczekiwanie, 12 lipca br., odszedł od nas.

Włodku,  
nie potrafimy wyrazić słowami,  
jak bardzo będzie nam Ciebie brakowało.  
Spoczywaj w pokoju.

Dyrekcja  
Komitet i Zespół redakcyjny  
„Bezpieczeństwa Pracy”  
Dział Wydawnictw  
Przyjaciele, Koleżanki i Koledzy