

Tomasz JANKOWSKI

e-mail: tojan@ciop.pl

Pracownia Aerologii, Filtracji i Wentylacji, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

## Charakterystyki dynamiczne procesu penetracji cząstek pyłu i mgły olejowej w układzie włókninowym

### Wstęp

W doborze filtrów powietrza i podczas określania charakterystyk dynamicznych procesu penetracji cząstek pyłu i mgły olejowej w układach włókninowych oprócz podstawowych wskaźników użytkowych czyli sprawności filtracji i oporów przepływu aerozolu cieczy i ciał stałych uwzględnia się wskaźnik jakości filtra (QF).

Klasyczna teoria filtracji wgłębnej aerozoli w układach uwzględnia, że opory przepływu aerozolu przez warstwę filtrującą są proporcjonalne do jej grubości. Jednocześnie sprawność filtracji cząstek aerozolu rośnie wykładniczo wraz z grubością układu. Stąd do jednoczesnej oceny zmian właściwości filtracyjnych układów włóknin wprowadzono wskaźnik QF [1/Pa]. Tak określony wskaźnik jest stosowany do porównywania jakości układów o różnych grubościach w stanie ustalonym filtracji powietrza.

W stanie nieustalonym procesu filtracji aerozoli proponuje się wykorzystać wskaźnik użyteczności filtra (FUF) uwzględniający rzeczywiste koszty inwestycyjne i operacyjne ponoszone przez użytkownika układu filtracji. Do praktycznych zastosowań wskaźnik FUF [ $\text{m}^3$  cząstek/PLN] można przedstawić w postaci wzoru [Podgórski, 2003]:

$$FUF = \left( \frac{C_0 \eta_p}{\Delta p_0 u_{pe}} \right) \int_0^{t_f} E_{calc}(t) dt \left/ \left( t_c + \int_0^{t_f} \frac{\Delta p(t)}{\Delta p_0} dt \right) \right. \quad (1)$$

gdzie:

 $E_{calc}(t)$  – chwilowa całkowita sprawność filtracji, [%] $\Delta p(t)$  – chwilowe opory przepływu aerozolu, [Pa] $\Delta p_0$  – początkowe opory przepływu aerozolu, [Pa] $\eta_p$  – sprawność mechaniczna wentylatora, [%] $u_{pe}$  – jednostkowa cena energii elektrycznej, [PLN·s/kg·m<sup>2</sup>] $C_0$  – wlotowe stężenie aerozolu, [ $\text{m}^3$  cząstek/ $\text{m}^3$  aerozolu] $t_c$  – stała czasowa, [s] $t_f$  – czas trwania filtracji, [s].

Wyznaczenie przebiegu wskaźnika FUF w warunkach rzeczywistych wymaga znajomości danych doświadczalnych chwilowych sprawności filtracji i oporów przepływu aerozolu.

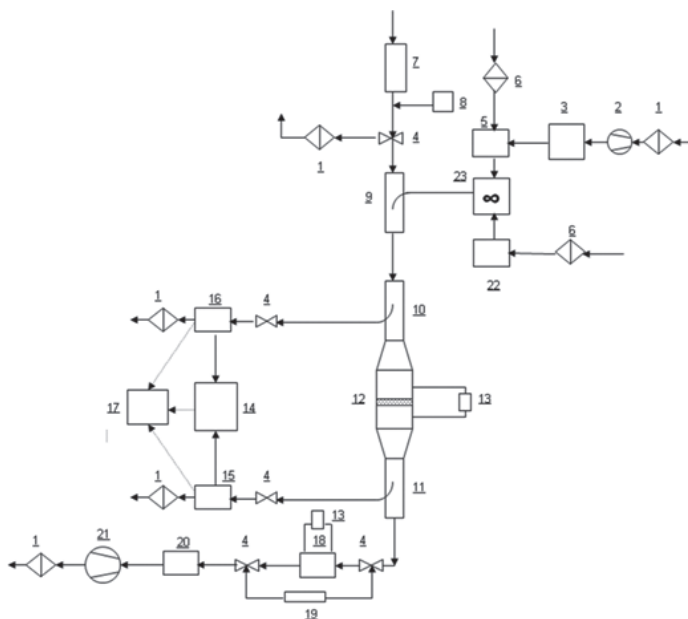
Niniejszą pracę ukierunkowano na scharakteryzowanie zależności przebiegu parametrów filtracji aerozoli cieczy i ciał stałych od parametrów procesowych obróbki mechanicznej i właściwości strukturalnych układów włókninowych oraz określenie relacji pomiędzy sprawnością filtracji a oporami przepływu cząstek pyłów i aerozoli cieczy o danym rozkładzie wymiarowym w celu ustalenia optymalnego czasu użytkowania tych układów.

### Metodyka badań i opis stanowiska

Podstawą do opracowania metodyki badania dynamicznych charakterystyk procesu penetracji cząstek aerozoli w układach włókninowych były metody badań określone w normach [PN-EN 1822:2009; PN-EN 779:2012]. W badaniach sprawności układów w odniesieniu do aerozoli znormalizowane metody zostały rozszerzone o metody badawcze powstawania mgły olejowej i pyłu w wyniku procesu dynamicznego i procesu termicznego oraz relacji pomiędzy zmianami parametrów filtracyjnych układów a ich parametrami strukturalnymi, parametrami procesowymi obróbki i parametrami fizykochemicznymi aerozoli.

Metoda badania sprawności filtracji aerozoli emitowanych podczas obróbki polega na określeniu zmian właściwości filtracyjnych w stanie ustalonym i nieustalonym procesu filtracji przez układy o znanych i ustalonych parametrach strukturalnych.

Schemat stanowiska do badania parametrów filtracyjnych układów włókninowych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Powietrze jest zasysane z otoczenia i przepływa przez nagrzewnicę kanałową – 7 DH-100/03, gdzie następuje ogrzanie powietrza do wymaganej temperatury z użyciem termostatu TK-1 – 8. Aerozol cieczy o określonym stężeniu i rozkładzie wymiarowym jest wytwarzany w generatorze atomizacyjnym AGF 2.0 iP – 3. Za pomocą wbudowanej pompy wygenerowane cząstki aerozolu są podawane ze stałą prędkością do systemu rozcieńczania VKL-10 – 5 ze sprężonym powietrzem – 6, co zapewni obniżenie jego stężenia.

Generator tłokowy RGB-1000 – 22 służy do rozpylania cząstek ciał stałych z określonym stężeniem i rozkładem wymiarowym.

Aerozol cieczy i ciał stałych jest podawany do układu mieszania – 23, który umożliwia wymieszanie aerozoli testowych w żądanych proporcjach w celu symulowania różnych rzeczywistych stężeń zanieczyszczeń powietrza podczas obróbki mechanicznej.

Obserwacje mieszania cząstek aerozoli cieczy i ciał stałych oraz zastosowanie systemu rozcieńczania pozwalają na uzyskanie wyników istotnych statystycznie, poprzez możliwość wyregulowania liczbowego stężenia aerozolu. Ustawiając odpowiednie stężenie aerozolu na wlocie można uniknąć zaniżenia pomiarów stężenia aerozolu przy równoczesnym zawiżeniu wielkości rejestrowanych cząstek. Następnie mieszanina aerozoli jest podawana do stanowiska badawczego z użyciem zespołu dozowania – 9. W zespole dozowania zastosowano sondy o wymiennych głowicach o wlotowych średnicach wewnętrznych w zakresie od 0,5 do 6,0 mm.

Przepływ powietrza jest wymuszany przez wentylator kanałowy VENT-100L – 21 wraz z tłumikiem – 20, który posiada ciągle regulator prędkości obrotowej, dzięki czemu możliwa jest płynna zmiana strumienia objętości powietrza w układzie pomiarowym. Ponadto strumień objętości powietrza w układzie pomiarowym jest regulowany za pomocą zaworów – 4 zintegrowanych z zestawem przepływomierzy – 19 i przepustnicą regulacyjną – 18.

Próbka układu włóknin jest umieszczana w dolnej części uchwytu pomiarowego – 12 stanowiącego centralną część zespołu poboru próbek aerozolu. Układ zostaje dociśnięty, poprzez pierścienie dystansowe, górną ruchomą częścią uchwytu do jego dolnej części.

W zespole poboru próbek aerozolu przed – 10 i za – 11 uchwytem pomiarowym – 12 zastosowano sondy o wymiennych głowicach o wlotowych średnicach wewnętrznych w zakresie od 0,5 do 6,0 mm.

W zespole poboru próbek aerozolu przed – 10 i za – 11 uchwytem – 12 aerozol jest zasysany do kondensacyjnych liczników cząstek (CPC 3022A i 3775) – 15, 16 oraz analizatora ruchliwości elektrycznej cząstek (LDMA) (14). W licznikach jest wykonywany pomiar stężenia cząstek w zależności od ich wymiarów przed i za układem włóknin. Dane są przekazywane do komputera – 17.

## Opis i wyniki badań

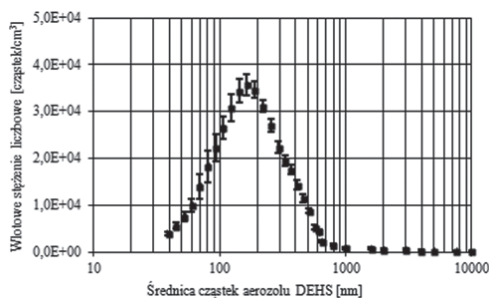
Badania przeprowadzono na etapie początkowym i na etapie zmian oporów przepływu i sprawności filtracji cząstek pyłów i mgły olejowej w określonych warunkach procesowych symulujących emisję podczas obróbki mechanicznej przez układy włókninowe.

Badania jednoczesnej penetracji aerozolu cieczy i pyłu prowadzono w odniesieniu do relacji pomiędzy zmianami parametrów filtracyjnych a parametrami strukturalnymi układów, parametrami procesowymi obróbki oraz parametrami fizykochemicznymi aerozoli.

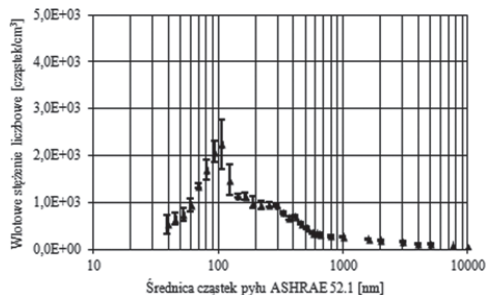
Badane układy filtracji tworzyły kompozycje o gradientowym sposobie ułożenia warstw filtrujących. Parametrem zmiennym zgodnie z kierunkiem przepływu aerozolu cieczy i ciał stałych oprócz grubości struktury były zmienne wartości masy powierzchniowej, gęstości upakowania, porowatości i średnicy włóknin. Do wytworzenia układów filtracji o gradientowym zmiennej strukturze zostały zastosowane włókna z grupy organicznych polimerów syntetycznych (polipropylen PP, poliolefiny PES, politereftalan butylenu PBT i polisiarczek fenylenu PPS) w przedziale średnich średnic od 3 do 50  $\mu\text{m}$ .

Badanie charakterystyk dynamicznych filtracji przez układy włókninowe było wykonywane dwoma aerozolami z fazą rozproszoną cieczą – aerozol estru bis (2-etyloheksylu) kwasu sebacynowego i stałą – pył syntetyczny ASHRAE 52.1.

Rozkłady wielkości cząstek aerozolu cieczy DEHS i pyłu ASHRAE 52.1 podawanych na badane układy włókninowe przedstawiono odpowiednio na rys. 2 i 3.

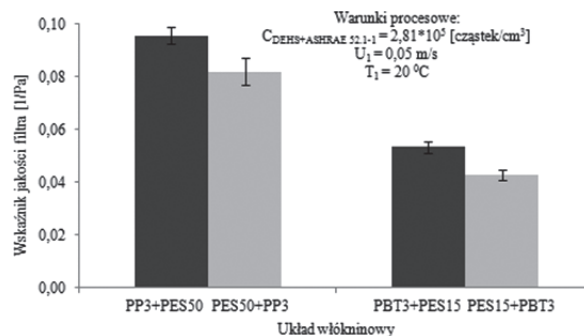


Rys. 2. Rozkład wielkości cząstek aerozolu cieczy DEHS

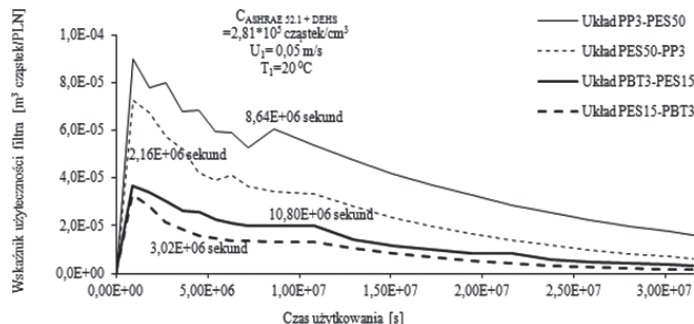


Rys. 3. Rozkład wielkości cząstek pyłu syntetycznego ASHRAE 52.1

Wyniki badania relacji pomiędzy zmianami oporów przepływu i sprawności filtracji aerozoli w stanie ustalonym i dynamicznych zmian w procesie penetracji pyłu i mgły olejowej a parametrami strukturalnymi układów włókninowych, parametrami procesowymi obróbki mechanicznej oraz parametrami fizykochemicznymi aerozoli przedstawiono odpowiednio na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Zestawienie wartości wskaźników jakości filtra QF dla badanych układów



Rys. 5. Porównanie wartości wskaźników użyteczności filtra FUF dla badanych układów

## Analiza wyników i wnioski

Analiza wyników badań wykazała zależność parametrów filtracyjnych i użytkowych od parametrów strukturalnych badanych układów (przed wszystkim grubości i porowatości), parametrów procesowych obróbki mechanicznej i parametrów fizykochemicznych aerozoli testowych (prędkości przepływu, stężenia wlotowego aerozoli, ich wymiarów i czasu użytkowania filtra).

Porównawcze badania parametrów filtracyjnych oraz obliczenia wskaźników QF i FUF pokazały, że układ włóknin składający się z dwóch warstw jest korzystniejszy niż analogiczny materiał składający się z jednej warstwy. Wspomaganie układu filtracji dodatkową warstwą jest szczególnie istotne w fazie końcowej jego użytkowania w systemie wentylacji obróbki mechanicznej.

Najwyższe wartości wskaźników uzyskano dla układów z większą porowatością warstw wspomagających układu – np. dla układu PP3-PES50 wynosiły  $QF = 9,6 \cdot 10^{-2}$  [1/Pa] i  $FUF = 9,0 \cdot 10^{-5}$  [m<sup>3</sup>cząstek/PLN] a dla układów PES50-PP3 odpowiednio  $QF = 5,4 \cdot 10^{-2}$  [1/Pa] i  $FUF = 7,3 \cdot 10^{-5}$  [m<sup>3</sup>cząstek/PLN].

Najdłuższy optymalny czas użytkowania obserwowano dla PBT3-PES15. Zdecydowanie najkrótszym czasem charakteryzuje się układ PES50-PP3.

Przedstawione badania mogą umożliwić określenie zmiennych parametrów strukturalnych układów, procesowych obróbki i fizykochemicznych aerozoli mających dominujące znaczenie podczas tworzenia kompozycji włókninowych o gradientowym sposobie ułożenia warstw i jego weryfikacji w warunkach rzeczywistych na przemysłowych stanowiskach pracy przy obróbce mechanicznej.

## LITERATURA

- Podgórski A., 2003. Optimisation of aerosol filtration in fibrous filters *J. Aerosol Sci.* 34, Supplement 2, 1019-1020. DOI: 10.1016/S0021-8502(03)00161-7.  
 PN-EN 1822-3:2009 *Wysokoskuteczne filtry powietrza (EPA, HEPA i ULPA). Część 3: Badanie płaskiego materiału filtracyjnego.*  
 PN-EN 779:2012 *Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Określanie parametrów filtracyjnych.*

*Praca oparta na wynikach projektu nr I.B.11 realizowanego w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2011–2013 w zakresie prac badawczo-rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: CIOP - PIB.*