

Agata PENCONEK, Arkadiusz MOSKAL

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

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

## Przed czym (nie) chroni półmaska przeciwpyłowa?

### Wstęp

Półmaski przeciwpyłowe ze względu na skuteczność filtracji dzieli się na trzy klasy FFP1, FFP2, FFP3. Polska norma PN-EN 149:2004 [1], zharmonizowana z dyrektywą 89/686/EWG jednoznacznie określa nominalne współczynniki ochrony (NPF) dla poszczególnych typów masek (Tab.1).

Tab.1. Zestawienie współczynników NPF<sup>1)</sup> i stopnia penetracji dla poszczególnych typów masek [1]

	FFP1	FFP2	FFP3
NPF	4	12	50
Penetracja <sup>2)</sup> , [%]	20	6	1
Typowe zastosowanie	niskie stężenie drobnych pyłów do 4 × NDS <sup>3)</sup>	niskie stężenie drobnych pyłów do 12 × NDS <sup>3)</sup>	niskie stężenie drobnych pyłów do 50 × NDS <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> NPF – Nominalny współczynnik ochrony.

<sup>2)</sup> Aerosol testowy: NaCl oraz olej parafinowy ( $Q = 95$  l/min).

<sup>3)</sup> NDS – Najwyższe dopuszczalne stężenie.

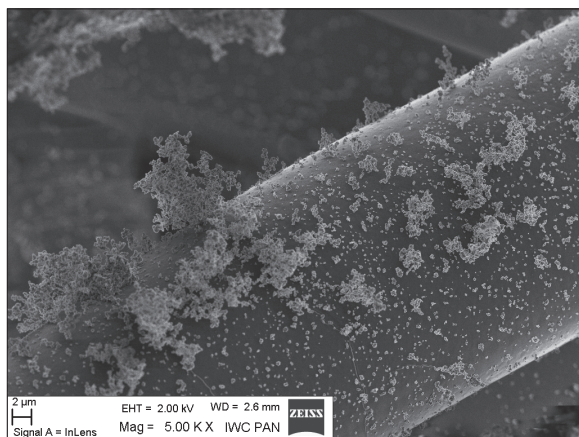
Maski typu FFP1 mają ograniczone zastosowanie, używa się ich głównie przy szlifowaniu, cięciu, wierceniu w betonie, kamieniu, a także w przypadku kontaktu z cząstkami rdzy, metali, bądź alergenami, takimi jak naskórek zwierzęcy czy pyłki.

Zdecydowanie większe spektrum zastosowań przypada na maski typu FFP2 i FFP3. Używane są przy spawaniu stali miękkiej, nierdzewnej, rozpylaniu pestycydów, malowaniu natryskowym, w styczności z pleśniami, grzybami, bakteriami, pyłkami ziaren. Maski typu P2, P3 polecane są również w przypadku kontaktu ze spalinami silników wysokoprężnych [2].

Zasada działania półmaski przeciwpyłowej opiera się na klasycznej teorii filtracji włókninowej. Skuteczność filtracji półmaski wykazuje zatem minimum dla cząstek o średnicy od 100 do 700 nm [3]. Jest to szczególnie istotne w przypadku używania półmasek do ochrony przed spalinami z silników o zapłonie samoczynnym.

Pojazdy wyposażone w silnik *Diesla* stanowią blisko 60% rynku samochodowego Europy. Emitują do atmosfery spaliny, które oprócz części gazowej (jakościowo odpowiadającej składem spalinom z silników o zapłonie iskrowym) zawierają również cząstki stałe DEP (*Diesel Exhaust Particles*).

DEP charakteryzują się skomplikowaną budową. Powstają z pierwotnych cząstek aerozolowych połączonych w agregaty (Rys. 1). Dzięki ogromnej powierzchni zewnętrznej, na węglowym rdzeniu istnieją



Rys. 1. Zdjęcie mikroskopowe SEM agregatów cząstek stałych powstałych ze spalania oleju napędowego

dogodne warunki do adsorpcji licznych związków głównie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), metali ciężkich i wielu innych o udowodnionym działaniu rakotwórczym. W zależności od warunków pracy silnika, stopnia zużycia i rodzaju użytego paliwa DEP osiągają wielkość od 70 do 10000 nm. Ze względu na charakterystykę procesu filtracji włókninowej nie wszystkie cząstki DEP zostaną zatrzymane na filtrze. DEP o średnicy < 1 μm mogą penetrować do obszaru pęcherzykowego płuc [4], skąd poprzez krwioobieg mogą zostać rozprowadzone po całym organizmie.

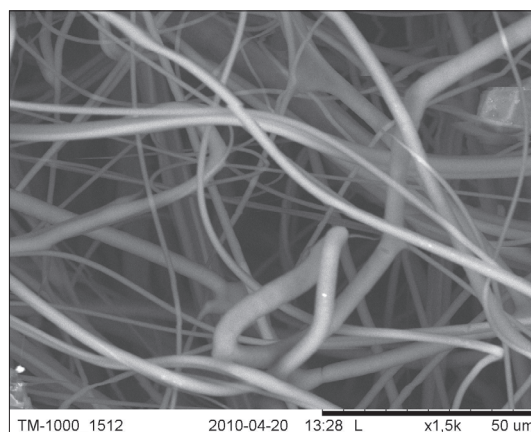
Celem niniejszych badań było sprawdzenie, czy możliwe jest zapewnienie skutecznej ochrony układu oddechowego przed spalinami silników wysokoprężnych przy użyciu półmasek przeciwpyłowych odpowiedniego typu.

### Materiały i metody badań

#### Stosowane typy masek

W badaniach wykorzystano trzy typy półmasek filtrujących firmy 3M: półmaska typu FFP1 model K101, typu FFP2 model K102 oraz typu FFP3 model K113. W celu analizy struktury badanych masek wykonano zdjęcia pod mikroskopem elektronowym (*Hitachi, TM-1000*). Zdjęcie mikroskopowe SEM agregatów cząstek stałych (Rys. 1) wykonano w *Instytucie Wysokich Ciśnień PAN* w Warszawie.

Badane półmaski składają się z czterech warstw (najbliżej twarzy znajduje się warstwa 4., najdalej warstwa 1.). Warstwy 1. i 4. charakteryzują się jednakowym rozkładem średnic włókien i pełnią funkcję podpory mechanicznej, warstwa 3. stanowi właściwy materiał filtrujący. Zdjęcia mikroskopowe SEM warstwy 3. półmaski filtrującej FFP2 K102 przedstawiono na rys. 2.

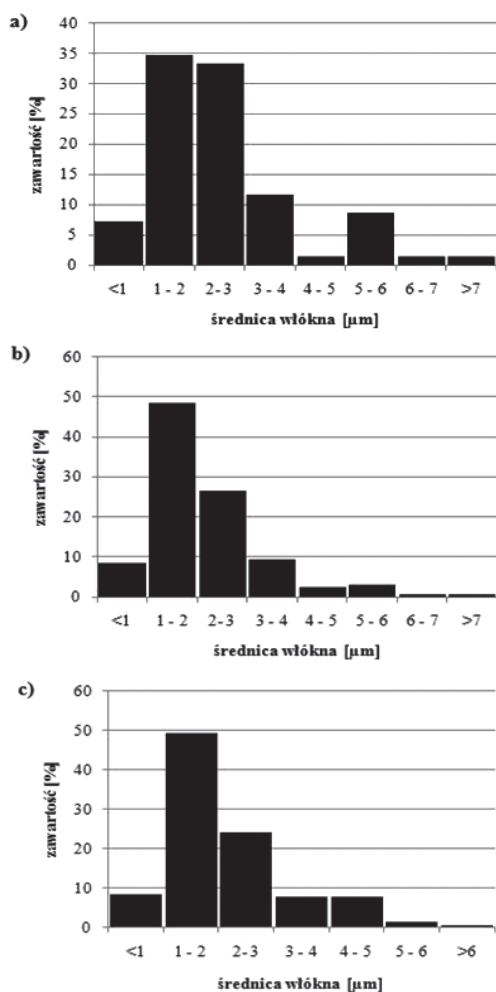


Rys. 2. Zdjęcie mikroskopowe SEM, maska FFP2 K102, warstwa 3.

Średnia wartość średnic włókien dla trzech typów masek w warstwie 1. i 4. wynosi 17,3 μm (±0,8), w 2. warstwie 39,5 μm (±1,0). Na rys. 3 przedstawiono rozkład średnic włókien w warstwie 3 dla poszczególnych typów masek.

**Stanowisko badawcze** wyposażone było w wysokoprężny silnik *Mercedes-Benz* typu 616.912 240D (filtr paliwa 4 MAX 0218-03-0052E i suchy filtr powietrza AR 204 FILTRON 2706012), mikromanometr *TSI DP-Calc model 8710*, pompę SC10A 055S firmy *Venture Industries*. Dokładny opis stanowiska znajduje się we wcześniejszej publikacji autorów [5].

Spaliny z rozgrzanego silnika (720 rpm, bieg jałowy) wprowadzano przez zbiornik buforowy (objętość 200 l) do klatki pomiarowej (0,9 m × 0,9 m × 0,9 m), w której umieszczona była badana maska.



Rys. 3. Rozkład średnic włókien w warstwie 3. w maskach a) FFP1, b) FFP2, c) FFP3

**Badanie stopnia penetracji maski i spadku ciśnienia** zgodnie z normą (PN-EN 149:2004) prowadzono dla stałego przepływu 30 l/min. Stopień penetracji określono na podstawie masy DEP zdeponowanej na badanej masce i filtrze umieszczonym za maską. Czas badania wynosił 40 min. Badania prowadzono na dwóch rodzajach paliwa: oleju napędowym (ON) i biopaliwie.

### Wyniki badań

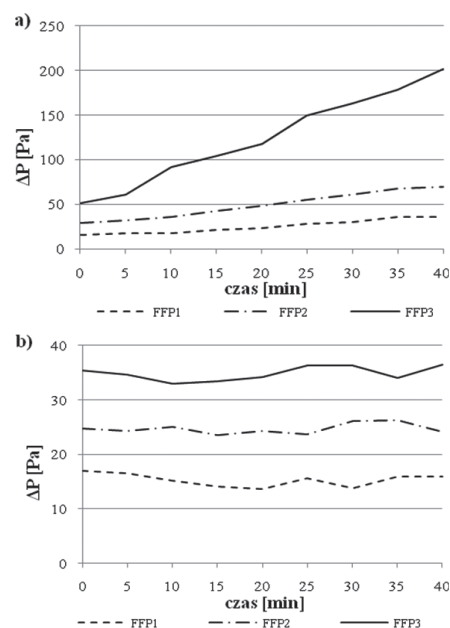
Przebadano pod względem spadku ciśnienia i skuteczności filtracji cząstek stałych zawartych w spalinach silników wysokoprężnych trzy typy półmasek przeciwpyłowych powszechnie dostępnych na rynku. W przypadku filtracji cząstek stałych spalin pochodzących ze spalania oleju napędowego wraz z czasem prowadzenia procesu wzrastały opory przepływu na masce, były one tym większe im maska wykazywała większą skuteczność filtracji (Rys. 4a). Badając biopaliwo nie zauważono podobnej zależności (Rys. 4b).

Porównując stopnie penetracji półmasek po 40 minutach trwania procesu widoczna jest istotna różnica w skuteczności filtracji, zarówno, jeżeli rozważamy różne typy masek, jak i różne rodzaje paliwa. Najwyższą skuteczność filtracji wykazuje maska typu FFP3, co jest zgodne z jej klasyfikacją. Jednocześnie skuteczność filtracji jest wyższa dla DEP powstałych ze spalania oleju napędowego niż biopaliwa.

Tab. 2. Wartość penetracji (%) dla trzech typów masek

	biopaliwo	ON
FFP1	44,48	23,02
FFP2	30,90	21,96
FFP3	18,39	15,74

Otrzymane wyniki można tłumaczyć tym, że DEP powstające podczas pracy silnika na biopaliwie mają znacznie mniejsze rozmiary niż



Rys. 4. Spadek ciśnienia na półmasce filtrującej podczas procesu filtracji spalin: a) oleju napędowego, b) biopaliwa

w przypadku używania oleju napędowego. Różnią się również morfologią, tworzą kuliste agregaty w przeciwieństwie do dendrytycznych struktur DEP powstałych ze spalania ON. Kuliste agregaty o małych średnicach nie powodują zapychania tkaniny filtracyjnej i nie zwiększają spadku ciśnienia na masce w trakcie trwania procesu. Prowadzi to do mniejszej skuteczności filtracji w porównaniu z olejem napędowym.

### Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania pokazują, że półmasksi jednorazowe dostępne na rynku mogą nie zapewnić skutecznej ochrony przed spalinami pochodzącymi z silników wysokoprężnych. Uzyskane wyniki znacząco odbiegają od maksymalnej penetracji dopuszczalnej przez normę PN-EN 149:2004.

W przypadku, gdy cząstki DEP, które penetrują przez półmaskę, mają średnicę większą niż 1 µm mogą zostać usunięte z organizmu przez naturalne procesy oczyszczania dróg oddechowych. Cząstki o mniejszej średnicy przedostają się do pęcherzyków płucnych, skąd rozpraszane są po całym organizmie. Należy jednak zwrócić uwagę, że w normie aerozolem testowym jest NaCl albo olej parafinowy, które różnią się wielkością i kształtem od rozmiarów cząstek DEP. Jednocześnie wyniki zamieszczone w normie otrzymane zostały dla przepływu ustalonego 95 l/min, który nie odzwierciedla rzeczywistego przepływu oddechowego.

Niemniej jednak należy starannie rozważyć używanie półmasek przeciwpyłowych jednorazowych do ochrony przed spalinami z silników wysokoprężnych, ponieważ nie tylko ich skuteczność filtracji jest niewystarczająca, szczególnie w przypadku używania biopaliwa, ale również nie chronią one przed frakcją gazową spalin, która jest równie szkodliwa jak cząstki DEP.

### LITERATURA

- [1] POLSKA NORMA: Sprzęt ochrony układu oddechowego. Półmasksi filtrujące do ochrony przed cząstkami. Wymagania, badanie, znakowanie, PN-EN 149:2004
- [2] Materiały firmy 3M (19.05.2011): [http://solutions.3mpoland.pl/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=pl\\_PL&lmd=1300450103000&assetId=1273675078883&assetType=MMM\\_Image&blobAttribute=ImageFile](http://solutions.3mpoland.pl/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=pl_PL&lmd=1300450103000&assetId=1273675078883&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile).
- [3] A. Balazy, A. Podgórski: J. Colloid Interface Sci. **311**, nr 2, 323 (2007).
- [4] A. Churg, M. Brauer: Am J Respir Crit Care Med. **155**, nr 6, 2109 (1997).
- [5] A. Penconek, A. Moskal: Inż. Ap. Chem **49**, nr 1, 83 (2010).

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy nr NN209023739.*