

## **Syntetyczne materiały filtracyjne do budowy filtrów samochodowych**

**ZOFIA PODSIADŁA-BULSA, ANDRZEJ MICHALCZEWSKI**

Politechnika Radomska

Obecnie główną tendencją w rozwoju filtrów samochodowych jest wydłużenie ich okresów serwisowych. Dlatego powszechnie stosowane papiery filtracyjne zastępowane są coraz częściej syntetycznymi włókninami. Artykuł zawiera informacje dotyczące nowych syntetycznych włóknin materiałów wielowarstwowych (kompozytowych), materiałów o strukturze gradientowej i elektrycznie naładowanych, wytworzonych na bazie różnych polimerów. Opisane także zostały opracowane w Politechnice Radomskiej włókniny pneumatyczne wytworzone na bazie polipropylenu i poliestru, nadające się do oczyszczania powietrza, paliwa i oleju silnikowego.

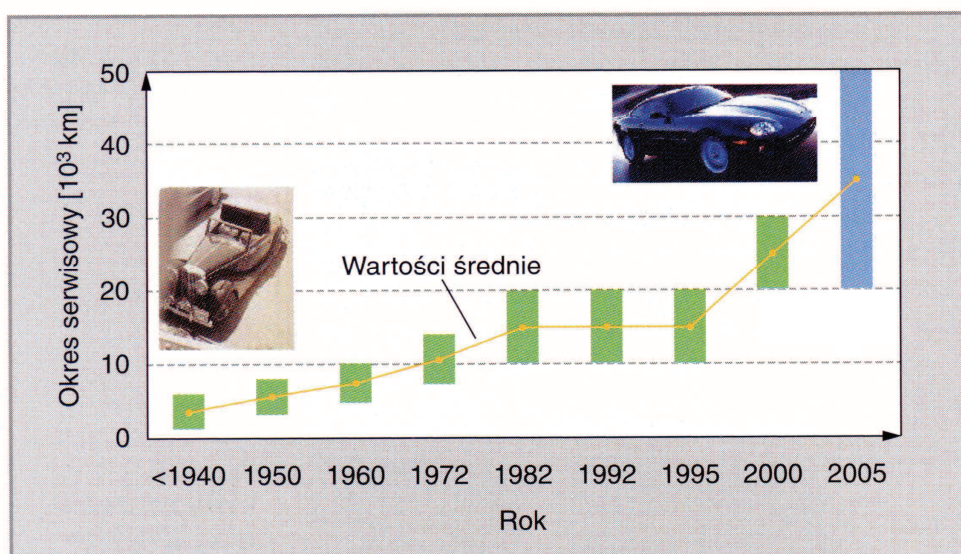
### **1. Wprowadzenie**

Najmniej docenianymi elementami w samochodzie, zapewniającymi długotrwałą i bezawaryjną pracę silnika są filtry silnikowe. Dla przeciętnego użytkownika ich prawidłowe działanie jest właściwie niezauważalne. W dłuższym natomiast okresie czasu skutki złego działania filtra stają się nieodwracalne.

Głównym zadaniem filtrów silnikowych jest odseparowanie zanieczyszczeń z układów: smarowania, zasilania paliwem i powietrzem. Tylko prawidłowo dobrany, właściwie skonstruowany i wykonany filtr może spełnić zadane mu funkcje.

Należy zwrócić uwagę, że niezwykle ważną rolę w budowie filtra stanowi przegroda filtracyjna. To od właściwości filtracyjnych i strukturalnych materiału, z którego jest zbudowana zależy stopień oczyszczania danego płynu silnikowego.

W ostatnich latach obserwujemy ogromny postęp w projektowaniu systemów zasilania w paliwo pojazdów silnikowych. Systemy wtryskowe benzyny i układy Common-Rail w silnikach Diesla wymagają bardzo dobrze oczyszczonego paliwa. Zanieczyszczenia powstałe na etapie dystrybucji paliwa, zawarta w nim woda, związki parafinowe, które mogą się wytrącić z oleju napędowego oraz korozja zbiorników mogą doprowadzić do poważnego uszkodzenia np. systemów wtryskowych. Ponadto powszechnie stosowane oleje syntetyczne wymieniane co 30, a nawet co 50 tys. km oraz fakt, że zużyte filtry stanowią odpady niebezpieczne powodują, że tendencją ogólnościową jest wydłużanie czasookresów wymiany filtrów i stosowanie do ich budowy materiałów umożliwiających bezpieczną dla środowiska naturalnego utylizację (rys. 1).



Rys. 1. Okresy serwisowe filtrów [1].

Fig. 1. Service life of filters [1].

## 2. Syntetyczne włókniny filtracyjne

Przedstawione powyżej rosnące wymagania stawiane nowoczesnym filtrom powodują, że powszechnie stosowany do niedawna na przegrody filtracyjne papier celulozowy wypierany jest przez materiały półsyntetyczne (złożone z włókien celulozowych i syntetycznych) lub w 100% syntetyczne, otrzymane na bazie włóknotwórczych, wielkocząsteczkowych związków polimerowych.

Powszechnie wiadomo, że właściwości filtracyjne materiału zależą od jego struktury, a ta z kolei głównie od grubości włókien ją tworzących; im cieńsze włókna, tym właściwości filtracyjne materiału są lepsze [2].

Oczekuje się, że wprowadzenie nowych polimerów, formowanie z nich coraz cieńszych włókien, także nanowłókien [3], stosowanie włókien naładowanych elektrycznie [4] oraz materiałów wielowarstwowych [5] pozwoli spełnić wymagania stawiane nowoczesnym filtrom do oczyszczania płynów silnikowych.

Rodzaj polimeru stosowanego do wytworzenia włókniny filtracyjnej determinuje między innymi także jej własności, jak:

- elastyczność (podatność na plisowanie),
- odporność na degradację termiczną i chemiczną (czas pracy filtra).

## 2.1. Włókniny pneumatyczne

Najbardziej rozpowszechnioną metodą wytwarzania syntetycznych włókien filtracyjnych jest obecnie technika pneumatyczna. Jest to zintegrowana technologia łącząca proces formowania włókien z procesem wytwarzania runa i polega na rozdmuchiwanym strumieniem gorącego, sprężonego powietrza stopionego polimeru wychodzącego z dyszy wylączarki przez dyszę rozwłókniającą i układaniu powstających włókien na urządzeniu odbiorczym [6].

Właściwości wytworzonej włókniny zależą przede wszystkim od rodzaju zastosowanego polimeru, temperatury i wydatku sprężonego powietrza i polimeru oraz od konstrukcji dyszy rozwłókniającej.

Surowcami stosowanymi w technice pneumatycznej (meltblown) mogą być termoplastyczne polimery, takie jak polipropylen, poliamid, poliester itp.

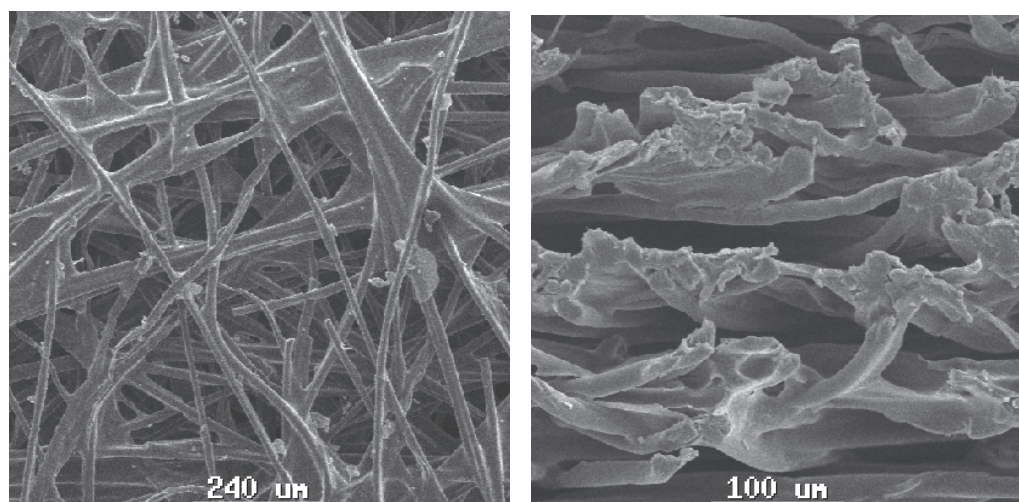
Do niedawna najczęściej stosowanym polimerem był polipropylen, głównie z uwagi na dobre właściwości przetwórcze, niską cenę oraz korzystne w technice meltblown cechy, jak: niska polimolekularność, hydrofobowość i niski ciężar cząsteczkowy [7].

W Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Politechniki Radomskiej podjęto próby opracowania włókien pneumatycznych na bazie polipropylenu (do oczyszczania powietrza zasysanego przez silnik spalinowy, paliwa) oraz poliestru (do oczyszczania oleju silnikowego).

Przeprowadzono próby wytworzenia ww. włókien w oparciu o następujące typy polipropylenu:

- Malen typ S – 702 o wskaźniku szybkości płynięcia (MFR) równym 18g/10 min,
- Borealis typ Borflow HL 604 FB o MFR = 400 g/10 min,
- Borealis typ Borflow HL 512 FB o MFR = 1200 g/10 min,
- Borealis typ Borflow HL 508 FB o MFR = 800 g/10 min.

Przykładowy obraz struktury otrzymanych włókien przedstawia rysunek 2, natomiast rezultaty badań podstawowych parametrów strukturalnych i filtracyjnych wybranych włókien na bazie ww. typów polipropylenu, otrzymanych przy różnych wartościach parametrów technologicznych (różny wydatek polimeru, sprężonego powietrza, zmienna odległość od urządzenia odbiorczego) zawiera tabela 1.



Rys. 2. Syntetyczna włóknina pneumatyczna na bazie polipropylenu:  
a) strona czołowa włókniny, b) przekrój włókniny.

Fig. 2. Synthetic unwoven web on the polypropylene basis:  
a) frontal side of the web, b) cross-section of the web.

Tabela 1. Wartości parametrów włókien otrzymanych na bazie różnych typów polipropylenu.

Table 1. Parameters values of the unwoven webs created on the basis of different polypropylene types.

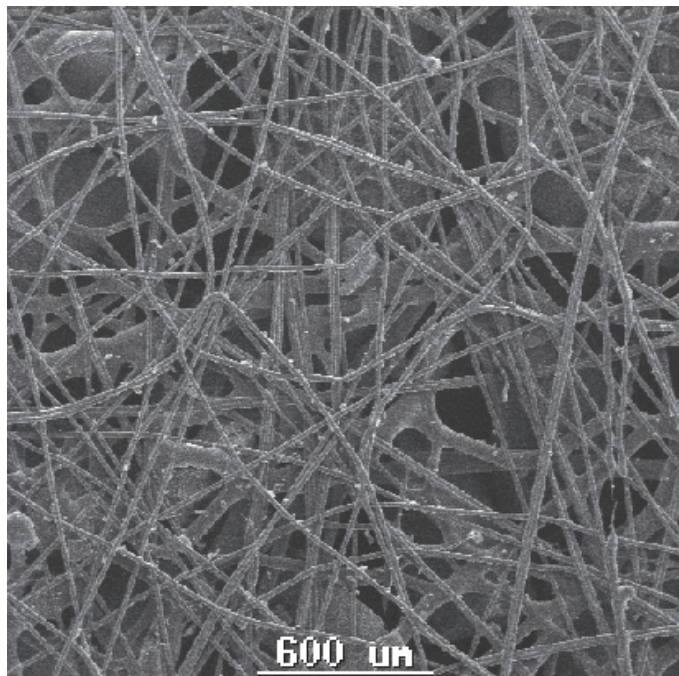
L.p.	Typ polimeru bazowego	Oznaczany parametr w wytworzonej włókninie					
		Grubość [mm]	Gramatura [g/m <sup>2</sup> ]	Przep.pow. dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·s)	Średnica pory max [μm]	Średnica pory przec. [μm]	Porowatość [%]
1.	Malen S-702	0,72	132,5	1230,0	91,0	56,2	88,4
		0,30	56,8	858,0	80,0	52,0	85,8
2.	Borealis TypBorflow HL 512 FB	1,09	205,5	48,0	26,7	21,3	90,3
3.	Borealis typ Borflow HL 604 FB	0,88	194,6	418,0	104,0	70,0	92,5
4.	Borealis typ Borflow HL 508 FB	0,63	77,0	432,0	64,0	58,0	93,4

Jak pokazują rezultaty badań, poprzez odpowiedni dobór rodzaju polipropylenu i parametrów technologicznych procesu meltblown istnieje możliwość wytworzenia materiału filtracyjnego o bardzo szerokim zakresie wartości parametrów filtracyjnych i strukturalnych.

Do opracowania włókniny do oczyszczania oleju silnikowego wytypowano tereftalan polibutylenu (PBF) znany pod nazwą handlową Celanex 2008 firmy Ticona,

który jest termoplastycznym poliestrem o podwyższonej odporności termicznej i chemicznej.

Rysunek 3 przedstawia strukturę włókniny otrzymanej na bazie tego polimeru, zaś w tabeli 2 zawarto wartości jej podstawowych parametrów strukturalnych i filtracyjnych.



Rys. 3. Poliestrowa włóknina pneumatyczna.  
Fig. 3. Polyester unwoven web.

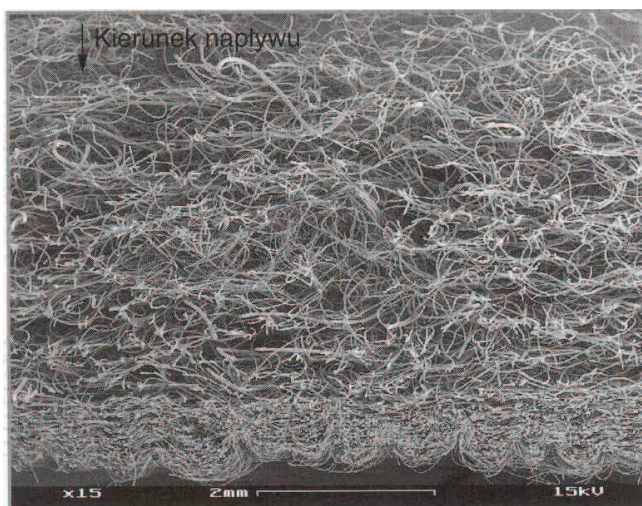
Tabela 2. Strukturalne i filtracyjne wartości parametrów włókniny poliestrowej.  
Table 2. Structural and filter parameters values of the polyester unwoven web.

L.p.	Badany parametr	Jednostka miary	Rodzaj włókniny		
			5	6	7
1.	Gramatura	$\text{g/m}^2$	200	170	173
2.	Grubość	mm	0,82	0,67	0,71
3.	Przepuszczalność powietrza	$\text{dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	560	390	280
4.	Średnica pory maks.	$\mu\text{m}$	92	92	84
5.	Średnica pory przeciętnej	$\mu\text{m}$	73	65	53
6.	Objętość por	%	92	93	90
7.	Absolutna dokładność filtracji	$\mu\text{m}$	54	54	33

Należy wspomnieć, że włókniny wytworzone na bazie PBF odznaczają się znacznie większą odpornością temperaturową niż klasyczne materiały filtracyjne (oparte na włóknach celulozowych). Próba starzeniowa tych materiałów przeprowadzona w podgrzanym do 140°C oleju Mobil 1 pokazuje, że po 360 godzinach jej trwania próbki włókniny poliestrowej nie wykazują żadnych znaczących zmian strukturalnych. Wartości takich parametrów, jak wytrzymałość mechaniczna, przepuszczalność powietrza, rozmiary kapilar pozostają na poziomie próbek wyjściowych, podczas gdy próbki celulozowych papierów filtracyjnych stają się kruche, zmieniają barwę, co może świadczyć o zwęgleniu włókien tworzących strukturę.

Technika pneumatyczna umożliwia także wytworzenie materiału filtracyjnego o zmiennej (gradientowej budowie (rys. 4). Włóknina taka charakteryzuje się strukturą luźniejszą po stronie napływu płynu, a znacznie zacieśnioną po stronie jego wypływu. Umożliwia to stopniowe i selektywne zatrzymywanie zanieczyszczeń w głąb medium filtracyjnego.

Stwierdzono [1], że materiały o strukturze gradientowej osiągają zdolność do zatrzymywania pochłaniania pyłu od 900 do 1100 g/m<sup>2</sup> ( przy takiej samej całkowitej skuteczności oczyszczania), podczas gdy dla papierów celulozowych wynosi ona 220 g/m<sup>2</sup>.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny włókniny o strukturze gradientowej [1].

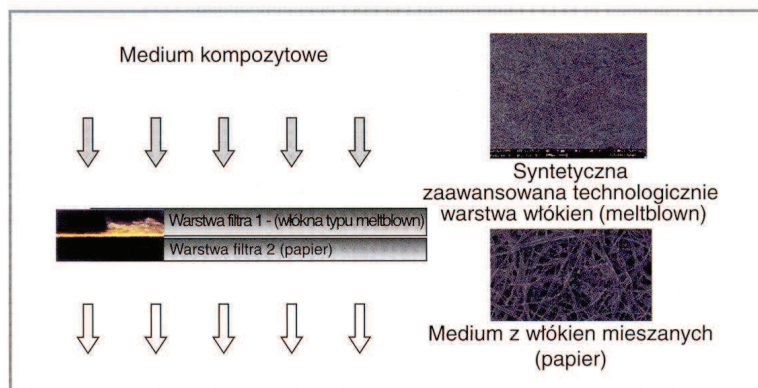
Fig. 4. Cross section of the gradient structure web [1].

## 2.2. Włókniste materiały kompozytowe

Materiałami kompozytowymi nazywamy materiały utworzone z dwóch lub więcej warstw syntetycznych włókien zazwyczaj pneumatycznych, bardzo często wytworzonych z różnych polimerów, bądź z warstwy celulozowej (z klasycznego papieru filtracyjnego) i syntetycznej włókniny.

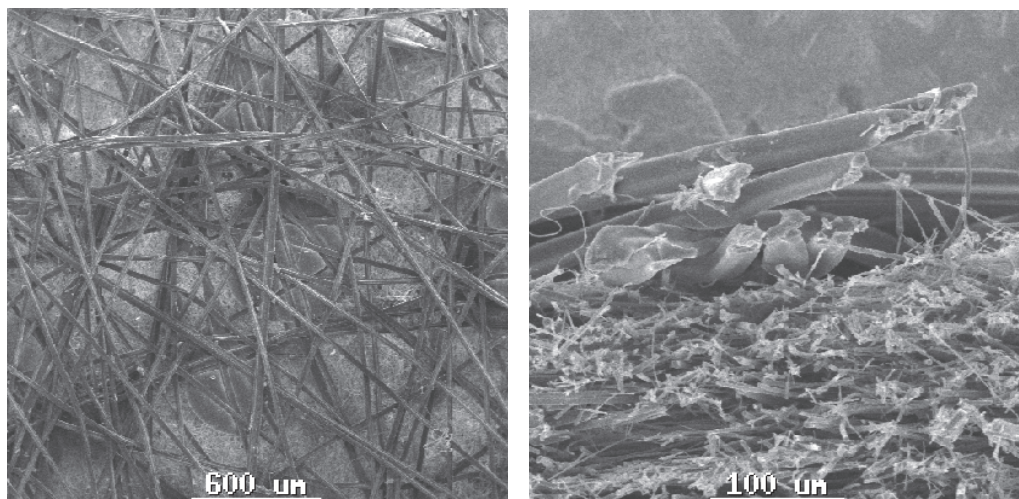
Poszczególne warstwy filtracyjne tworzące taki materiał charakteryzują się odmiennymi właściwościami strukturalnymi i filtracyjnymi. Warstwa po stronie napływu płynu stanowi filtr wstępny i ma strukturę luźniejszą, natomiast warstwy następne posiadają strukturę coraz bardziej zagęszczoną i spełniającą rolę filtrów dokładnego oczyszczania.

Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie budowę materiału kompozytowego złożonego z dwóch warstw [1], zaś na rysunku 6 – mikroskopowy obraz takiej struktury.



Rys. 5. Schemat budowy materiału kompozytowego [1].

Fig. 5. Scheme of the composite medium structure [1].



Rys. 6. Mikrofotografia materiału kompozytowego: a) strona czołowa, b) przekrój poprzeczny włókniny.

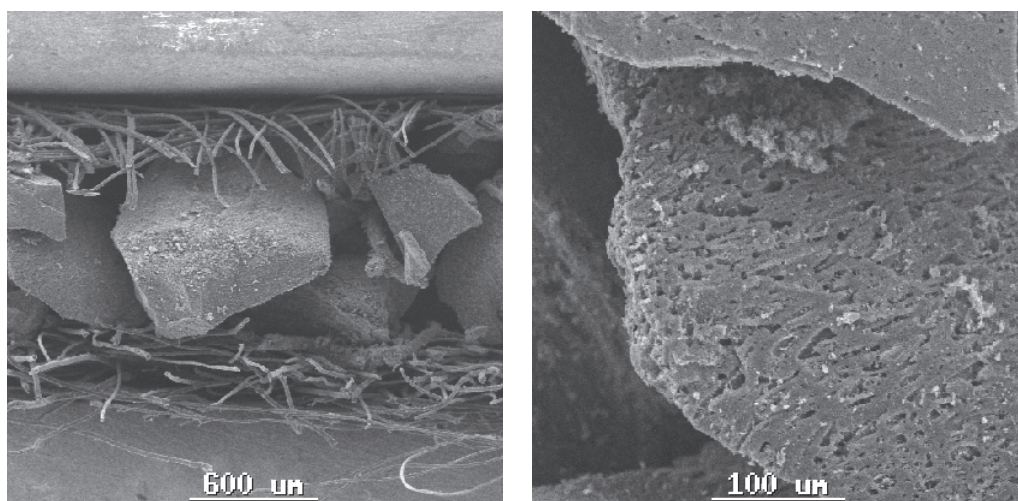
Fig. 6. Synthetic unwoven web on the polypropylene basis: a) frontal side of the web, b) cross-section of the web.

Do budowy filtrów kabinowych stosowane są materiały kompozytowe zwykle 3-warstwowe, w których warstwę środkową stanowi węgiel aktywowany, zaś warstwy zewnętrzne utworzone są z włókniny pneumatycznej; warstwa wierzchnia jest filtrem wstępnym, zaś warstwa przeciwna jest warstwą nośną dla węgla.

Węgiel aktywowany to substancja złożona z bezpostaciowej formy węgla pierwiastkowego (sadza) i z drobnokrystalicznego grafitu. Charakteryzuje się bardzo dobrze rozwiniętą powierzchnią właściwą (500-2500 m<sup>2</sup>/g). Tak duża powierzchnia jest rezultatem procesu aktywacji węgla (proces wygrzewania w wysokiej temperaturze przy ograniczonym dostępie powietrza). W czasie tego procesu powstaje struktura wewnętrzna węgla z licznymi kanałami: makro (> 50 nm), mezo (2-50 nm) i mikroporami (< 2 nm) [8].

Właściwości filtracyjne tak zbudowanego materiału kompozytowego zależą od właściwości filtracyjnych i strukturalnych poszczególnych warstw włóknistych i warstwy węgla aktywowanego.

Strukturę materiału kompozytowego z węglem aktywowanym przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Wielowarstwowy materiał filtracyjny z węglem aktywowanym: a) przekrój materiału, b) struktura węgla aktywowanego.

Fig. 7. Multilayer filter medium with activated carbon: a) cross-section of the medium, b) structure of the activated carbon.

### 2.3. Materiały filtracyjne naładowane elektrycznie

Dalsze prace związane ze zwiększaniem skuteczności oczyszczania powietrza kabinowego i zasysanego do silnika spalinowego doprowadziły do opracowania włóknistych materiałów naładowanych elektrycznie. Zatrzymywanie zanieczyszczeń na włóknach takich materiałów następuje w wyniku przyciągania elektrostatycznego i w wyniku oddziaływań mechanicznych.



Znane są trzy główne rodzaje filtrów z przegrodą naładowaną elektrycznie [9]:

- przegroda filtracyjna otrzymywana jest przez elektryczne naładowanie arkusza materiału filtracyjnego, który następnie jest rozdrabniany na włókna, a te ponownie formowane w matę filtracyjną,
- materiały zbudowane są z włókien pokrytych cząstkami żywicy naładowanej elektrycznie,
- materiały kompozytowe (3-warstwowe), w których warstwa górna jest przedfiltrem, dolna stanowi warstwę nośną podtrzymującą warstwę środkową zbudowaną z mikrowłókien. To właśnie ta warstwa środkowa poddawana jest działaniu pola elektrycznego.

Materiały naładowane elektrycznie charakteryzują się:

- wysoką stabilnością termiczną i chemiczną,
- wysoką wytrzymałością mechaniczną,
- wysoką porowatością,
- dobrymi własnościami hydrofobowymi.

Badania wkładów filtracyjnych z przegrodą filtracyjną naładowaną elektrycznie wykazują [9], że:

- cząstki zanieczyszczeń szczególnie szkodliwe dla człowieka są skutecznie zatrzymywane w czasie całej pracy filtra,
- skutecznie usuwane są wszelkie zapachy z kabiny pasażerskiej samochodu,
- czas pracy wkładów filtracyjnych jest rzędu 15-30 tys. km.

### 3. Podsumowanie

W ostatnich latach rozwój materiałów filtracyjnych stosowanych do budowy filtrów samochodowych ukierunkowany jest na materiały syntetyczne otrzymywane głównie przy zastosowaniu metod meltblown i spunbonded i wytwarzane na bazie polimerów zapewniających im wymaganą odporność na wysoką temperaturę (140°C dla materiału do oczyszczania oleju silnikowego) i wytrzymałość mechaniczną.

Rosnące wymagania dotyczące skuteczności oczyszczania płynów i wydłużanie czasookresów wymiany filtrów powodują, że coraz większe zastosowanie znajdują materiały wielowarstwowe (kompozytowe), ze strukturą zmieniającą się gradientowo i naładowane elektrycznie.

Rezultaty badań włókien otrzymanych w Politechnice Radomskiej metodą meltblown pokazują, że technika ta umożliwia otrzymanie materiałów w bardzo szerokim zakresie parametrów filtracyjnych i strukturalnych, a materiał filtracyjny wytworzony na bazie tereftalanu polibutyleny rokuje duże nadzieje na aplikację do oczyszczania oleju silnikowego.

### Literatura

- [1] DURST M., KLEIN G.-M., MOSER N.: *Filtracja w pojazdach silnikowych*. Verlag Moderne Industrie, Monachium 2005.
- [2] HEE JU YOO: *Pp(Homo) Resins for SB&MB Applications*. III TANDEC Conference, University of Tennessee-Knoxville, USA1993.
- [3] WARD G.: *Nanofibres media at the nanoscale*. Filtration and Separation 2005, Vol. 42, p. 22-24.
- [4] MATSUI M.: *Biodegradable fibres made of poly-lactic acid*. Chemical Fibres International 1996, Vol. 46, p. 318.
- [5] RUBOW K.L., LIU B.Y.H. HU J.: *Method and apparatus for testing*. Automotive Cabin Filters, Proceedings of 6<sup>th</sup> World Filtration Congress, Nagoya 1993, pp. 799-803.
- [6] PODSIADŁA-BULSA Z.: *Osiągnięcia w rozwoju materiałów filtracyjnych do oczyszczania powietrza w kabinach samochodowych*. Journal of KONES Powertrain and Transport 2006, s. 273-283.
- [7] SMORADA R.: *Spunbonded and melt blown nonwovens*. The Basic, Nonwovens Industry, 1996, Vol. 10, p. 48.
- [8] BINZER J.C.: *Filter media with activated carbon*. Materiały firmy Binzer, Germany 2000.
- [9] LOTHACHE R.: *Car interior air supply filters - development and field evaluation*. Materiały firmy Carl Frundberg, Germany 2001.

### Synthetic filter media for car filters production

#### S u m m a r y

Nowadays the main tendency in the development of car filters is the extension of their service life. Therefore the cellulose papers usually used as filter media have been replaced by synthetic unwoven webs. The paper contains information about new filter media made on the basis of different polymers for example: multilayer unwoven webs (composite media, media with a gradient structure and electrically charged). There are also described new polypropylene and polyester media developed in Technical University of Radom that can be used for air, fuel and engine oil cleaning.

Artykuł powstał w ramach realizowanego Projektu Badawczego Zamawianego PW-004/ITE/08/2006