



Tadeusz DZIUBAK

PRZEGRODY FILTRACYJNE FILTRÓW POWIETRZA WLOTOWEGO SILNIKÓW POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Streszczenie

Scharakteryzowano systemy filtracji powietrza wlotowego pojazdów mechanicznych. Przeanalizowano właściwości materiałów filtracyjnych filtrów powietrza wlotowego silników pojazdów mechanicznych. Pokazano dominującą rolę papieru filtracyjnego w procesie produkcji wkładów filtracyjnych. Przedstawiono możliwości poprawy efektywności filtracji powietrza wlotowego do silnika przy wykorzystaniu materiałów z dodatkiem nanowłókien. Pokazano tradycyjne oraz nowoczesne konstrukcje wkładów filtracyjnych oraz przeprowadzono ich analizę porównawczą. Przeanalizowano właściwości filtracyjne wkładu PowerCore.

WSTĘP

Zapewnienie odpowiedniej czystości powietrza wlotowego do silników spalinowych pojazdów mechanicznych było zawsze i pozostaje nadal ważnym problemem eksploatacyjnym

i konstrukcyjnym, szczególnie gdy pojazdy eksploatowane są w warunkach dużego (ponad 1000 mg/m^3) zapylenia powietrza. Dotyczy to głównie pojazdów specjalnych i wojskowych.

Podstawowym składnikiem pyłu drogowego jest krzemionka (SiO_2), której udział w pyłe dochodzi do 60÷95%. Pozostałość stanowią tlenki: Al_2O_3 , F_2O_3 , CaO , MgO oraz składniki organiczne [1, 6, 7]. Cechą charakterystyczną zapyłonego powietrza jest stężenie pyłu, a jego miarą jest masa pyłu (w gramach) zawarta w 1 m^3 powietrza atmosferycznego. Stężenie pyłu w powietrzu jest wielkością zmienną i zależy od wielu czynników. Na wartość stężenia pyłu w powietrzu wokół poruszającego się pojazdu mają wpływ: rodzaj podłoża: asfaltowe, trawiaste, piaszczyste, ruch innych pojazdów, warunki poruszania się pojazdu, warunki meteorologiczne, rodzaj układu jezdnego (kołowy, gąsienicowy), znajdujące się w pobliżu zakłady przemysłowe, rodzaj otaczających gleb oraz wysokość nad powierzchnią ziemi.

Największe zużycie elementów silnika (skojarzenie: tłok – pierścienie tłokowe – cylinder, czop – panewka,) powodują ziarna pyłu o rozmiarach $2 \div 40 \mu\text{m}$, chociaż ziarna pyłu spoza tego zakresu są też przyczyną znacznego zużycia [1, 4, 6, 9]. Dominuje też pogląd, że największe zużycie powodują ziarna pyłu, których średnica równa jest w danej chwili grubości filmu olejowego między współpracującymi powierzchniami.

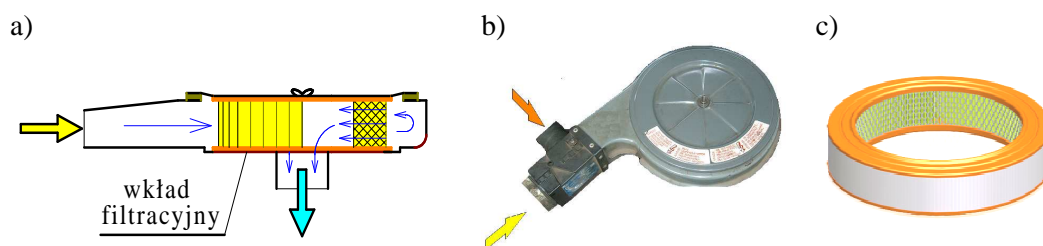
Powszechnie szkodliwym dla eksploatowanych pojazdów mechanicznych jest polidyspersyjny pył drogowy, który charakteryzują następujące parametry: skład chemiczny, twardość, skład granulometryczny, gęstość i kształt ziaren oraz stężenie w powietrzu.

Dla zapewnienia dużej trwałości i niezawodności silnika wyposaża się je w filtry powietrza, od których wymaga się skuteczności (powyżej 99%) i dokładności (powyżej 5 μm) filtracji w całym zakresie prędkości obrotowych silnika i wymaganego przebiegu pojazdu.

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW FILTRACJI POWIETRZA WLOTOWEGO SILNIKÓW POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Zadaniem układu zasilania powietrzem silnika spalinowego jest dostarczenie do cylindrów silnika powietrza w odpowiednich ilościach i o odpowiednich parametrach w taki sposób, aby zapewnić prawidłowy przebieg spalania paliwa. Głównymi elementami układu zasilania powietrzem tłokowego silnika spalinowego pojazdu mechanicznego są filtr powietrza wraz z czerpnią, przewody dolotowe, (ewentualnie sprężarka doładowująca i chłodnica powietrza), kolektor i kanały dolotowe w głowicy.

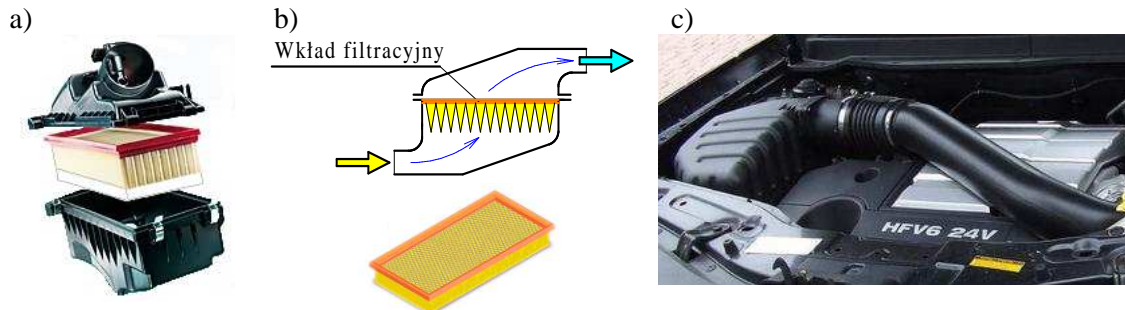
Filtry powietrza silników pojazdów osobowych, ze względu na małe wymiary wynikające z małych wartości zapotrzebowania powietrza przez silnik, a tym samym małej powierzchni papieru filtracyjnego, montowane są w przedziale silnikowym. Kształt filtrów dopasowuje się wtedy do ograniczonej przestrzeni tego przedziału. Zapewnia to jednocześnie łatwy dostęp w czasie prac obsługowych, prosty i łatwy montaż wkładu filtracyjnego oraz innych elementów wymiennych, szczelność jego połączeń z kolektorem dolotowym, minimalną długość przewodów łączących. W samochodach starszych typów filtr powietrza był osadzony bezpośrednio na gaźniku, który był mocowany na kolektorze dolotowym. Ze względu na ograniczenie maską silnika, filtr miał najczęściej spłaszczony kształt, a wkład filtracyjny wykonany był w postaci pierścienia o dużej średnicy (rys. 1). Zamocowanie filtru powietrza na silniku lub blisko niego powoduje, że podlega on dużym drganiom, co niekorzystnie wpływa na skuteczność filtracji i jego trwałość.



Rys. 1. System filtracji powietrza wlotowego do silnika z gaźnikiem w samochodzie osobowym Polonez: a) schemat funkcjonalny filtra, b) widok filtra, c) wkład filtracyjny pierścieniowy z przedfiltrem włókninowym

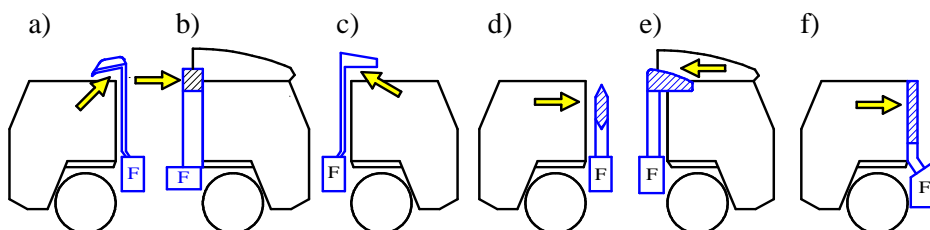
We współcześnie produkowanych modelach samochodów osobowych przestrzeń przeznaczona dla układu zasilania powietrzem uległa znacznej redukcji ze względu na montowanie wielu dodatkowych systemów (np. klimatyzacji), a ponadto system zasilania gaźnikowego został zastąpiony przez system wtryskowy paliwa i dlatego filtry powietrza mogą być montowane do nadwozia w dowolnym miejscu przedziału silnikowego i dopasowane kształtem do ograniczonej przestrzeni tego przedziału. Filtry z wkładami pierścieniowymi zostały wyparte przez filtry powietrza z wkładami panelowymi, które dzięki swej specyficznej konstrukcji cechują się korzystniejszym stosunkiem powierzchni filtracyjnej do objętości obudowy. Obudowa filtra jest dwuczęściową skrzynką, kształtem zbliżoną do prostopadłościanu, wykonaną najczęściej z tworzywa sztucznego. Skrzynka zbudowana jest z dwóch pokryw, dolnej i górnej, po których rozłączeniu możliwe jest umiejscowienie w środku wkładu filtracyjnego panelowego (rys. 2). Każda z pokryw połączona jest z przewodem powietrznym, dolna z przewodem dolotowym napływu powietrza, natomiast górna – wylotowym. Wkład filtracyjny ma wtedy postać panelu

wykonanego z plisowanego papieru filtracyjnego lub włókniny natomiast powietrze do filtra zasysane jest najczęściej spoza otoczenia silnika, czerpnię usytuowaną z przodu pojazdu, często w szczelinie między maską a nadwoziem. Zamocowanie filtra do podwozia lub nadwozia pojazdu jest korzystniejsze z uwagi na znacznie mniejszą częstość drgań od częstości rezonansowej filtra.



Rys. 2. Filtr powietrza współczesnego samochodu osobowego: a) elementy składowe filtra, b) schemat funkcjonalny, c) umiejscowienie filtra powietrza w przedziale silnikowym osobowego [10]

Filtry powietrza we współczesnych samochodach ciężarowych, ze względu na dużą masę i gabaryty wynikające z dużych zapotrzebowań powietrza przez silniki, a tym samym znacznych powierzchni papieru filtracyjnego, umieszcza się je najczęściej z tyłu kabiny kierowcy, ale jak najbliżej silnika. Aby zapewnić łatwy dostęp podczas prac obsługowych filtr powietrza mocuje się je do ramy lub kabiny nisko nad jezdnią (rys. 3). Przy takim zamocowaniu filtr nie jest narażony na oddziaływanie drgań silnika, lecz tylko drgania nadwozia.



Rys. 3. Schematy typowego usytuowania czerpni powietrza w wybranych pojazdach ciężarowych: a) Mercedes-Benz, b) Volvo f10 Intercooler, c) Jelcz C-424, d) Volvo FL8, e) Volvo FH16/520, f) Iveco Euro Cargo 8060

Czerpnię filtra powietrza lokalizuje się najczęściej nad kabiną lub z jej boku i jak najbardziej z przodu pojazdu, w miejscu zapewniającym tym samym zasysanie powietrza o jak najmniejszym stężeniu zapylenia powietrza. Takie zamocowanie zapobiega przedostawaniu się kropeł wody, par oleju, sadzy i gazów spalinowych. Czerpnię i filtr łączy się przewodem mającym duży przekrój poprzeczny i zakola wykonane dużymi promieniami.

W pojazdach osobowych, które eksploatowane są przy małym stężeniu zapylenia powietrza stosowane są filtry jednostopniowe z porowatą przegrodą papierową. Samochody ciężarowe, pojazdy członowe, maszyny robocze, pojazdy specjalne i pojazdy wojskowe, a w tym głównie czołgi, bojowe wozy piechoty ponieważ eksploatowane są najczęściej w warunkach dużego zapylenia wyposażone są w filtry realizujące dwustopniową filtrację powietrza. Pierwszym stopniem filtracji jest wtedy filtr bezwładnościowy (monocyklon z kierownicą łopatkową lub multicyklon), a drugim ustawiona za nim szeregowo przegroda porowata.

3. MATERIAŁY FILTRACYJNE FILTRÓW POWIETRZA WLOTOWEGO SILNIKÓW POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Najliczniejszą grupą filtrów powietrza pojazdów mechanicznych są filtry przegrodowe, które stosowane są, jako jednostopniowe w samochodach osobowych, lub jako ostatni stopień filtrów wielostopniowych, w które wyposażone są samochody ciężarowe, maszyny robocze i pojazdy specjalne, w tym pojazdy wojskowe. Filtry bezwładnościowe stosuje się, jako wstępny stopień filtracji (na wlocie) filtrów wielostopniowych.

Na przegrody filtracyjne stosuje się wiele różnych materiałów porowatych, które ze względu na sposób zatrzymywania zanieczyszczeń i rodzaj materiału filtracyjnego mogą być: powierzchniowe, objętościowe oraz o działaniu złożonym - zanieczyszczenia są zatrzymywane zarówno na powierzchni, jak i wewnątrz materiału. Materiałem porowatym nazywa się ciało stałe, zawierające w swojej objętości dużą liczbę pustych przestrzeni (porów), których charakterystyczny wymiar jest mały w porównaniu z charakterystycznym wymiarem ciała stałego [1].

Najstarszym i podstawowym materiałem filtracyjnym stosowanym do filtracji płynów eksploatacyjnych w pojazdach mechanicznych są siatki metalowe - materiał o działaniu powierzchniowym. Charakterystyki przepływowe i filtracyjne siatek zależą od wymiaru oczka

w (średnica kuli wpisanej w oczko) i prześwitu użytecznego.

Siatkowe materiały filtracyjne charakteryzują się dokładnością filtracji $15 \div 125 \mu\text{m}$. Najczęściej stosuje się układ plisowanych siatek metalowych, nałożonych warstwami i zmniejszającymi się wymiarami oczek w kierunku przepływu. Skuteczność filtracji i opór przepływu zależy wtedy także od liczby siatek. Zwiększenie skuteczności filtracji takiego złoża uzyskuje się poprzez zwilżenie go olejem. Uzyskane w ten sposób złoża filtracyjne działają jak materiał filtracyjny objętościowy, który cechuje [6, 7]: duża trwałość, możliwość pracy przy dużych (do $v_F = 8 \text{ m/s}$) prędkościach filtracji, łatwość regeneracji, duże chłonności pyłu $2 \div 4 \text{ kg/m}^2$, skuteczność około 90%, duża wytrzymałość mechaniczna i termiczna.

Podobne właściwości mają złoża filtracyjne wykonane, jako nieregularna warstwa o grubości $g = 40 \div 60 \text{ mm}$ sprasowanego i zamkniętego w kasetach drutu stalowego lub warstwa włókien sztucznych nawilżona olejem (rys. 4).



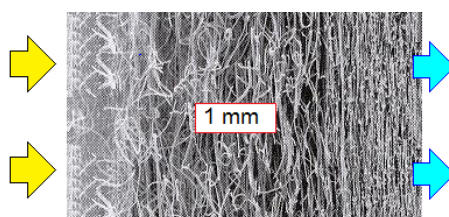
Rys. 4. Kasety filtracyjne: a) filtru powietrza czołgu T-72 (złożę z drutu stalowego), b) samochodu ciężarowo-terenowego Star 266 (złożę z włókien sztucznych)

Tego typu przegrody filtracyjne są stosowane powszechnie, jako drugi stopień filtracji (za baterią cyklonów) filtrów powietrza w takich pojazdach jak: czołgi T-72 i PT-91 oraz w pojazdach specjalnych zbudowanych na podwoziach tych czołgów, a także samochody ciężarowo – terenowe, na przykład Star 266.

Podstawowymi materiałami filtracyjnymi o działaniu objętościowym stosowanym do filtracji powietrza w pojazdach mechanicznych są włókniny, których zaletą jest: duża skuteczność filtracji do $\varphi = 99,9\%$, duża chłonność zanieczyszczeń - do $0,9 \div 1,1 \text{ kg/m}^2$, luźna struktura, grubość złoża $5 \div 30 \text{ mm}$, upakowanie przestrzenne, lekkość, małe opory przepływu, łatwości wykonania [4]. Zwiększanie gęstości upakowania włókniny i

zmniejszanie średnicy włókien powoduje wzrost skuteczności, ale przy gwałtownym spadku chłonności pyłowej. Najkorzystniejsze charakterystyki ze względu na intensywność zatrzymywania pyłu mineralnego uzyskuje się przy grubościach warstwy $5 \div 30$ mm. Włókna syntetyczne mogą generować pole elektrostatyczne podwyższając tym samym efektywność filtracji. Zwiększenie skuteczności filtracji powietrza jak i chłonności pyłowej można uzyskać stosując włókniny wielowarstwowe o różnej grubości i różnej gęstości upakowania poszczególnych warstw.

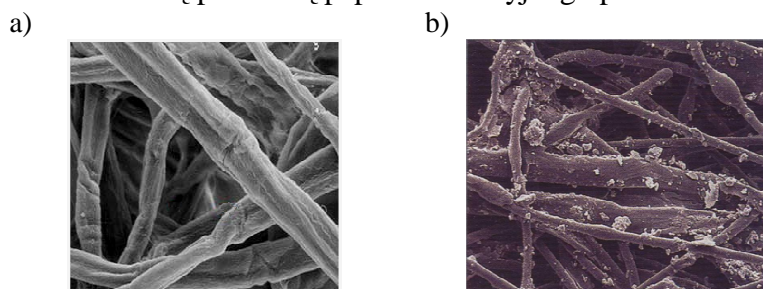
Nowoczesne włókniny filtracyjne mają strukturę charakteryzującą się narastającym upakowaniem włókien w kierunku napływu powietrza (rys. 5). Dzięki temu przy prędkości filtracji $v_F = 0,33$ m/s i skuteczności filtracji powyżej $\varphi = 99,9\%$ takie włókniny osiągają zdolność pochłaniania pyłu $\Delta m = 0,9 \div 1,1$ kg/m² [4].



Rys. 5. Struktura warstwy włókniny filtracyjnej z narastającym upakowaniem [13]

Dominującym materiałem filtracyjnym stosowanym do filtracji płynów eksploatacyjnych pojazdów, a w szczególności do filtracji powietrza wlotowego współczesnych silników pojazdów mechanicznych, są papiery filtracyjne, łączące sposób działania siatek i włókien.

Wyprodukowany papier filtracyjny ma małą wytrzymałość, głównie na rozrywanie. Jest także nieodporny na działanie węglowodorów, paliw, olejów i wody. Aby poprawić właściwości papieru, poddaje się go nasączeniu odpowiednimi żywicami (saturacja), a następnie utwardzeniu. Zabieg ten podwyższa właściwości papieru, a w tym: wytrzymałość mechaniczną, odporność na wilgoć, olej, paliwo, temperaturę, związki chemiczne, a także poprawia plastyczność i modyfikuje barwę oraz zmniejsza higroskopijność. Utwardzanie papieru następuje w procesie wytwarzania wkładów filtracyjnych przez ogrzanie go do określonej temperatury po plisowaniu papieru i nadaniu mu kształtu wkładu filtracyjnego i nasączeniu żywicą. Utwardzanie papieru łączy się z utwardzeniem kleju łączącego papier z pokrywami wkładu. Strukturę porowatą papieru filtracyjnego pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Struktura papieru filtracyjnego: a) czystego [12], b) z zatrzymanymi na włóknach pyłu cząstkami zanieczyszczeń o rozmiarach $1 \div 25$ μm [4]

W czasie utwardzania papier filtracyjny zmienia barwę oraz strukturę, która jest inna z obu stron. Strona sitowa (dolna) papieru ma mniejsze wymiary porów niż strona górna. W filtrze papier powinien być tak ułożony, aby płyn wpływał od strony górnej papieru, a wypływał od strony sitowej.

Papiery filtracyjne charakteryzują się następującymi podstawowymi parametrami są to:

- a) gramatura – $115 \div 240 \text{ g/m}^2$,
- b) grubość złoza – $0,3 \div 0,9 \text{ mm}$,
- c) wymiar porów – $40 \div 95 \text{ }\mu\text{m}$,
- d) średnica włókien – $10 \div 20 \text{ }\mu\text{m}$,
- e) chłonność zanieczyszczeń – do 220 g/m^2 ,
- f) opór przepływu,
- g) przepuszczalność powietrza.

W tabeli 1 pokazano wybrane parametry papieru filtracyjnego firmy J.C.BINZER.

Tab.1. Wybrane parametry papierów filtracyjnego firmy J.C.BINZER [6]

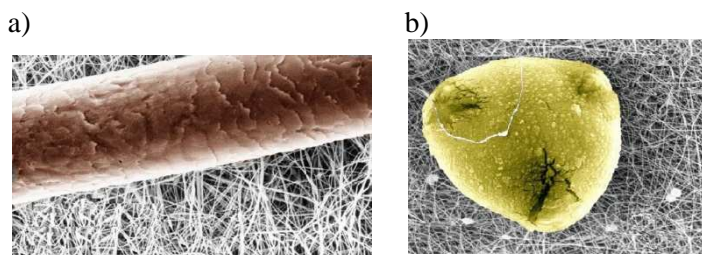
Lp.	Parametry	Jednostki	Oznaczenie papieru			
			796/1 VH86	356 VH86/4	844 VH86/4	879 VH188/51
1	Gramatura	g/m^2	204	125	108	139
2	Grubość - obciążenie 2 N/cm^2	mm	0,9	0,61	0,67	0,8
3	Opór przepływu, przy: $Q = 400 \text{ cm}^3/\text{s}$, $A = 10 \text{ cm}^2$	mbar	6,7	1,5	1,04	0,66
4	Wytrzymałość na rozrywanie	kPa	385	251	212	220
6	Zawartość żywicy	%	18,8	18	17	20
7	Maksymalna wartość średnicy por	μm	51	72	89	103
8	Wartość średnia średnicy por	μm	42	62	76	93

Rozwój technologii produkcji włókien spowodował, że coraz częściej do budowy przegród filtracyjnych stosowane są nanowłókna. Pojęcie to jest bardzo szerokie i odnosi się zazwyczaj do włókien o średnicy mniejszej niż $1 \mu\text{m}$., Chociaż włókna szklane o średnicach poniżej $1 \mu\text{m}$ (1000 nm) wytwarzane są już od pewnego czasu, to pojęcie nanowłókien stosuje się w tej chwili do włókien, które produkowane są technologią „electrospinningu” (elektroprzędzenia) lub meltblown [12]. W technice motoryzacyjnej wykorzystywane są nanowłókna o bardzo małych średnicach, wynoszących około $50 \div 500 \text{ nm}$.

Dla porównania [11, 119, 208]:

- a) grubość włókna celulozowego - $10 \div 20 \mu\text{m}$ ($10\ 000 \div 20\ 000 \text{ nm}$),
- b) grubość włosa ludzkiego - $20 \div 80 \mu\text{m}$ ($20\ 000 \div 80\ 000 \text{ nm}$) – rys. 7,
- c) bakteria - 2000 nm ,
- d) średnica krwinki czerwonej - około 7000 nm ,

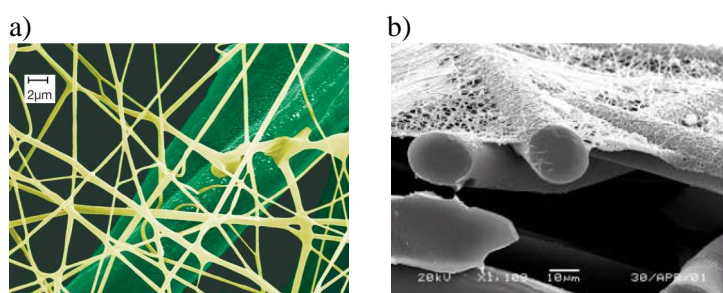
Nanowłókna charakteryzują się znaczną długością oraz niewielkim przekrojem poprzecznym, którego średnica jest około 100 razy mniejsza od długości. Nanowłókna mają właściwości znacznie różniące się od właściwości włókien standardowych - celulozowych. Ze względu na duży stosunek powierzchni do masy, mają dużą powierzchnię właściwą, co daje wysokie właściwości wytrzymałościowe. Inna jest też zwilżalność nanowłókien i reakcja na nie komórek biologicznych.



Rys. 7. Porównanie na tle nanowłókien: a) włosa ludzkiego, b) pyłka roślinnego [15]

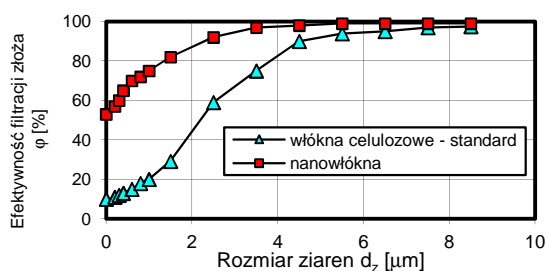
Elektrospinning (opatentowany w 1934 r. w USA) jest procesem otrzymywania włókien ze stopionych polimerów lub ich roztworów z zastosowaniem wysokiego napięcia. Ta nowoczesna technologia, przy wykorzystaniu odpowiedniego polimeru i systemu rozpuszczania, umożliwia w obecnej chwili wytwarzanie włókien o średnicach w zakresie od 3 nm do 1000 nm. Wytwarzane w ten sposób włókna polimerowe zbierane są i formowane w tak zwaną nanosieć, która charakteryzuje się dużą liczbą włókien przypadającą na jednostkę objętości, małymi rozmiarami porów oraz grubością $1 \div 5 \mu\text{m}$, przez co charakteryzuje się małymi oporami przepływu.

Ze względu na ograniczone właściwości mechaniczne cienkiej warstwy nanosieci, nakłada się ją na podłoże (rys. 8) z konwencjonalnych materiałów filtracyjnych, które mają większą wytrzymałość i które umożliwiają użycie urządzeń do ich obróbki. Nanowłókna mogą być układane na jednej lub na dwu stronach podłoża, którym może być: poliester, nylon lub celuloza. Nałożona na podłoże o dużych porach nanosieć zatrzymuje cząstki o małych rozmiarach, które dotychczas przechodziły dużymi porami złoża standardowego.



Rys. 8. Nanosieć naniesiona na złoże z włókien celulozy o średnicach około $10 \mu\text{m}$: a) widok z góry [246], b) przekrój (średnice nanowłókien około 250 nm) [12]

Zastosowanie nanowłókien zdecydowanie podnosi skuteczność filtracji, szczególnie ziaren pyłu poniżej $5 \mu\text{m}$ (rys. 9), bez istotnego wzrostu spadku ciśnienia na przegrodzie filtracyjnej.



Rys. 9. Skuteczność filtracji złoża wykonanego z włókien celulozowych o standardowej grubości oraz z nanowłókien [11]

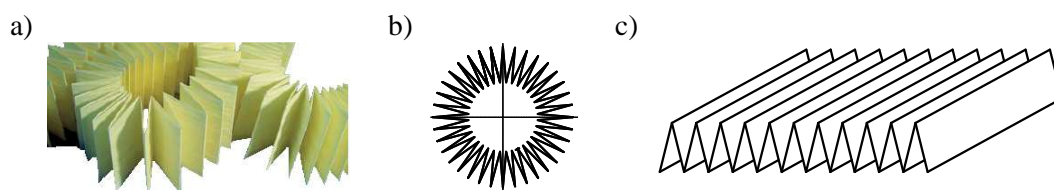
Stosunek średnicy nanowłókien do średnicy włókna celulozy jest w przybliżeniu równy jak 1:130. Powoduje to znaczny wzrost powierzchni filtracyjnej dla złoża z nanowłókien, która dla nanowłókien o średnicy 200 nm wynosi około $20 \text{ m}^2/\text{g}$, natomiast złoża z włókien celulozowych o średnicy $20 \mu\text{m}$ tylko $0,2 \text{ m}^2/\text{g}$.

Metoda pneumatyczna wytwarzania włókien syntetycznych (nanowłókien) znana pod nazwą „meltblown” została zapoczątkowana w latach 50-tych w USA. Włókna uzyskiwane tą metodą są grubości rzędu $5 \mu\text{m}$. Metoda meltblown polega na rozdmuchu stopionego polimeru włóknotwórczego strumieniem gorącego powietrza. Stopiony polimer wytłaczany jest poprzez specjalne dysze i w strumieniu powietrza ulega rozpadowi na cienkie i krótkie włókieńka, które zbierane są na urządzeniu odbiorczym. Lepkie i plastyczne włókna skleją się

się ze sobą, tworząc złoże o odpowiedniej wytrzymałości. Metoda pneumatyczna umożliwia uzyskanie włókniny w szerokim zakresie parametrów takich jak: gęstość upakowania, grubość pojedynczych włókien, grubość włókniny, wielkość porów. Surowcami do otrzymywania włókien opisaną metodą są wysokocząsteczkowe tworzywa termoplastyczne o wysokim stopniu polimeryzacji.

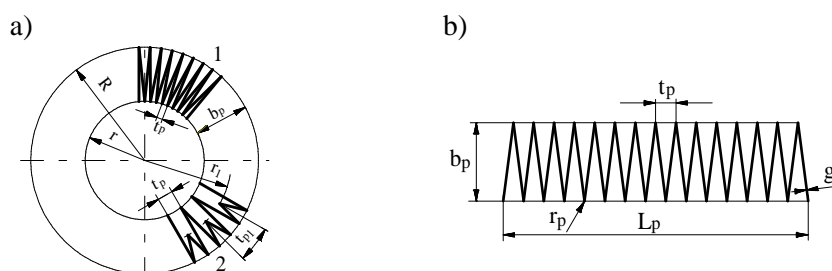
4. KSZTAŁTOWANIE PRZEGRÓD FILTRACYJNYCH

Papier filtracyjny kształtuje się w formie plisowanej taśmy (rys. 10), z której następnie może być w różny sposób zmontowany wkład filtracyjny.



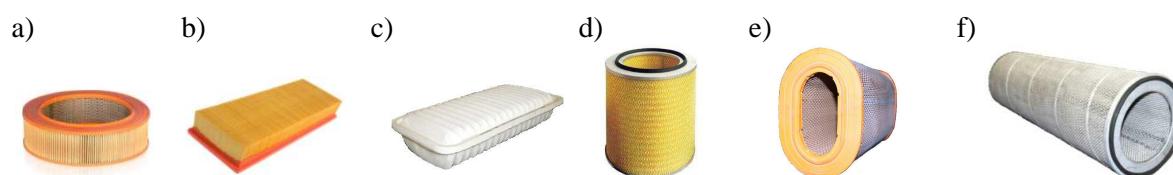
Rys. 10. Kształtowanie papieru filtracyjnego: a) papier po plisowaniu, b) kształtowanie w wieloramienną gwiazdę, c) kształtowanie w panel

Najbardziej rozpowszechnione jest kształtowanie plis w kształcie litery V, lub dla lepszego wykorzystania przestrzeni wkładu w kształcie litery W (rys. 11).



Rys. 11. Kształtowanie plis papieru filtracyjnego: a) wkładu cylindrycznego 1- w kształcie litery V, 2 - w kształcie litery W), b) wkładu panelowego

Najczęściej produkowane są wkłady z plisowanego papieru ukształtowane w formie wieloramiennej gwiazdy przyjmując wtedy postać cylindra, pierścienia, stożka o podstawie koła lub owalu oraz jako prostopadłościennne panele (rys. 12).

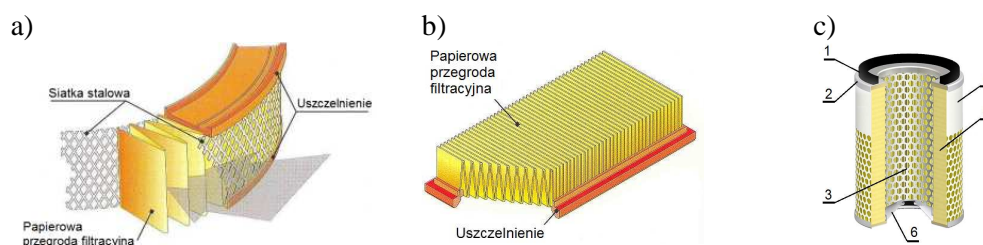


Rys. 12. Rodzaje wkładów filtracyjnych filtrów powietrza: a) pierścieniowy, b) panelowy z papieru filtracyjnego, c) panelowy z włókniny, d) cylindryczny o podstawie koła, e) cylindryczny o podstawie owalu, f) stożkowy

Wkłady filtracyjne z papieru plisowanego powinny być tak skonstruowane, aby przy danych parametrach filtracyjnych papieru, miały maksymalną skuteczność filtracji, minimalny opór przepływu i maksymalną trwałość. Jednocześnie wkład filtracyjny należy tak kształtować, aby miał on maksymalną powierzchnię papieru przy minimalnej objętości

wkładu. Cel ten osiąga się poprzez odpowiedni dobór głównych wymiarów konstrukcyjnych wkładu [99, 268]. Przyjmuje się, że całkowita wysokość cylindrycznego wkładu filtracyjnego H_w nie powinna przekraczać 400 mm, ponieważ przy większej wysokości występują problemy z prawidłowym uszczelnieniem. Drugim ważnym parametrem konstrukcyjnym wkładu jest wysokość plisy b_p , która nie może być zbyt mała, gdyż zmniejsza się wtedy czynna powierzchnia filtracyjna papieru. Nie może być zbyt duża gdyż wtedy zwiększa skłonność do stykania się sąsiednich plis. W praktyce stosuje się plisy o wysokości nieprzekraczającej 36 ± 50 mm [1].

Aby w czasie przepływu powietrza przez papier nie następowało stykanie się sąsiednich plis ustala się między nimi odległość t_p . Wartość t_p ustala się eksperymentalnie, zależnie od grubości, rodzaju papieru, średnicy zewnętrznej wkładu D_p , prędkości przepływu płynu i rodzaju zanieczyszczeń. W praktyce odstęp między plisami przyjmuje się najczęściej $t_p = 2,2$ mm [1]. Wkład filtracyjny cylindryczny składa się z: przegrody filtracyjnej wykonanej z plisowanego papieru filtracyjnego, pokryw (górnej i dolnej), elementów wzmacniających, na których opiera się przegroda filtracyjna, uszczeliek, które zapewniają szczelne osadzenie wkładu w obudowie filtra. na pokrywę górną mocuje się uszczelkę jeśli pokrywa nie jest konstrukcyjnie do tego przystosowana (rys. 13)

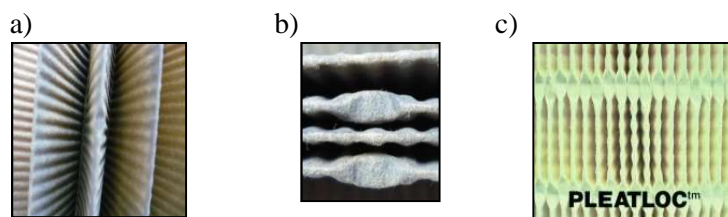


Rys. 13. Główne elementy wkładu filtracyjnego papierowego: a) cylindrycznego, b) panelowego, c) samochodu ciężarowego o konstrukcji tradycyjnej (1 – uszczelka gumowa, 2 – denko górne metalowe, 3 – siatka wzmacniająca metalowa, 4 – osłona, 5 przegroda filtracyjna, 6 – denko dolne metalowe) [18]

Tradycyjne konstrukcje wkładów filtrów powietrza do samochodów ciężarowych i maszyn ciężkich dla zapewnienia dużej sztywności i wytrzymałości oraz odporności na uszkodzenia mechaniczne zawierały solidne metalowe denka, rdzenie wzmacniające i osłony zewnętrzne wykonane z siatki lub blachy perforowanej. Uszczelnienie wkładu w obudowie zapewniały gumowe uszczelki przyklejone do górnego denka (rys. 13).

Ze względu na uciążliwą utylizację po zakończeniu eksploatacji tak skonstruowanych wkładów filtracyjnych, współczesne wkłady filtracyjne dla filtrów samochodów ciężarowych różnią się znacznie wyglądem jak i technologią wykonania. Dotychczas stosowane metalowe denka zostały zastąpione przez denka poliuretanowe. Takie rozwiązanie wykluczyło również konieczność stosowania gumowych uszczeliek, gdyż denka są jednocześnie uszczelnkami. Zamiast rdzeni i osłon wykonanych z blachy perforowanej coraz częściej stosuje się wzmocnienia z tworzyw sztucznych, co ułatwia znacznie proces utylizacji zużytych filtrów po zakończeniu eksploatacji.

Aby zapobiec stykaniu się plis stosuje się ich wzmocnienia w postaci: wytłoczeń powierzchni plis, specjalnych zgrubień grzbietu plisy (rys. 14) oraz cienkich strużek kleju łączących grzbiety plis wkładu (rys. 15).



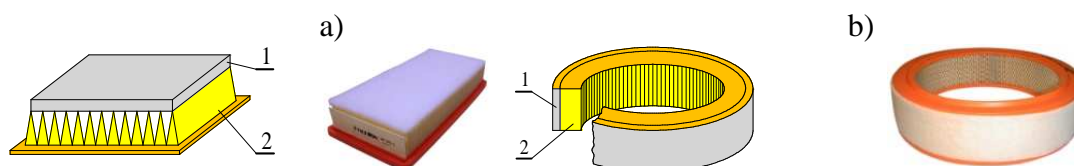
Rys. 14. Sposoby wzmocnienia plis: a) wytłoczenia powierzchni plis (*MICRO-STAR®*), b) specjalne zgrubienia grzbietu plisy wkładu filtra Mahle LX 713, c) wytłoczeniem typu *Pleatloc* [8]



Rys. 15. Przykład wzmocnienia plis struzkami kleju: a) wkłady cylindryczny b) panel

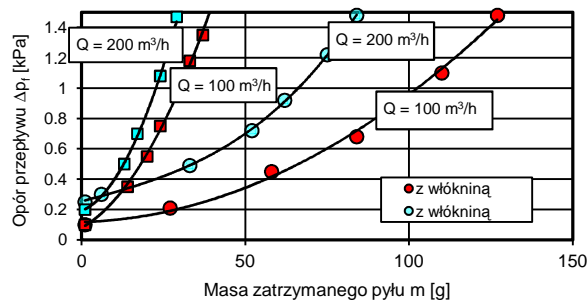
Panelowe wkłady filtracyjne powietrza znalazły szerokie zastosowanie w prawie wszystkich produkowanych współcześnie modelach samochodów osobowych i dostawczych. Technologia ich produkcji jest trudniejsza niż wkładów filtracyjnych cylindrycznych z uwagi na kształt przegrody filtracyjnej oraz konieczność stosowania w wielu przypadkach elementów zwiększających ich sztywność podczas eksploatacji, szczególnie, gdy silnik ma dużą pojemność bądź turbodoładowanie i zapotrzebowanie na powietrze jest stosunkowo duże. Mogą to być specjalnie wykonane struzki klejowe lub siatki wykonane z tworzyw sztucznych.

Jeżeli eksploatacja samochodów osobowych odbywa się w warunkach zwiększonego zapylenia powietrza lub wtedy, gdy wymagane są dłuższe okresy między wymianami wkładów filtracyjnych stosuje się tzw. przedfiltry. Jest to dodatkowa przegroda filtracyjna wykonana z włókniny i naklejana na wierzchołki plis wkładu (rys. 16).



Rys. 16. Wkłady filtracyjne z przedfiltrem włókninowym: a) panelowe, b) pierścieniowe, 1 – przedfiltr włókninowy, 2 – wkład papierowy

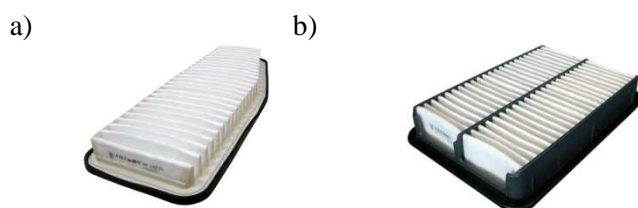
Przedfiltry służą do wstępnej filtracji powietrza wlotowego i zatrzymują zanieczyszczenia o większych rozmiarach sprawiając, że na właściwą przegrodę filtracyjną trafiają ziarna pyłu o mniejszych rozmiarach i masie, w wyniku, czego wydłuża się czas do osiągnięcia dopuszczalnego oporu przepływu powietrza. Z rys. 17 wynika, że filtry z warstwą włókniny wykazują trzykrotnie wyższą chłonność pyłu niż filtry bez włókniny [1].



Rys. 17. Opór przepływu w funkcji zatrzymanego pyłu przez wkład pierścieniowy filtru powietrza [1]

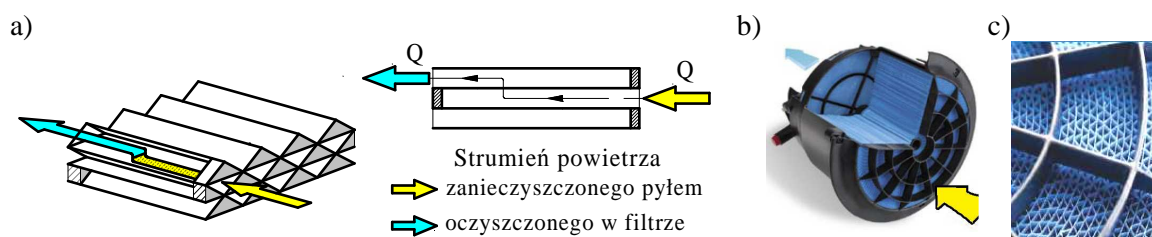
Coraz częściej na wkłady panelowe, zamiast papierów na bazie włókien celulozowych, stosowane są włókniny syntetyczne. Włókniny syntetyczne posiadają bardzo dobre właściwości filtracyjne. Chłonność zanieczyszczeń jest znacznie wyższa przy porównywalnej skuteczności filtrowania, co sprawia, że filtry z włókniną zamiast papieru filtracyjnego mogą mieć znacznie mniejsze rozmiary. Włókniny te mają jednak małą sztywność. Stosuje się, więc zalewanie włókninowej przegrody tworzywem w formie wtryskowej, formującej sztywną ramkę (rys. 18). Dodatkowo stosuje się niekiedy plisowanie włóknin wraz ze specjalnymi siatkami

z tworzyw sztucznych, co zwiększa znacznie sztywność przegrody filtracyjnej i jednocześnie zabezpiecza przed uszkodzeniami w czasie eksploatacji.



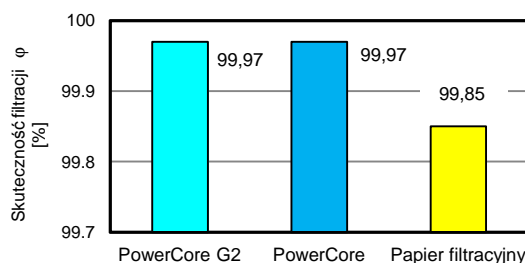
Rys. 18. Wkłady filtracyjne panelowe włókninowe: a) wykonane w formie wtryskowej, b) z plisowanej włókniny

Brak stabilności plis, konieczność ich wzmocnienia, a także konieczność sprostanienia wymaganiom małych rozmiarów z równoczesnym utrzymaniem lub przewyższeniem skuteczności i dokładności filtracji powietrza wlotowego do silników przez filtry produkowane do tej pory, była przyczyną opracowania odmiennej konstrukcji filtrów i nowej technologii wykonania wkładów filtracyjnych. Cechą charakterystyczną nowoczesnych konstrukcji filtrów powietrza jest osiowy przepływ strumienia powietrza, co pozwala uniknąć turbulencji, a umożliwiając aerozolowi przepływ bezpośrednio do wylotu filtra, zminimalizować opory przepływu. Przykładem takiego rozwiązania jest wkład filtracyjny znany pod nazwą PowerCore firmy Donaldson (rys. 19). Wkłady filtracyjne wykonane w technologii PowerCore mają konstrukcję rdzenia powstałego poprzez naprzemienne ułożenie warstw papieru gładkiego i plisowanego. Powstałe w ten sposób kanały są naprzemiennie zaślepione, w taki sposób, że jeżeli dany kanał jest wolny po stronie wlotu to jest zablokowany po stronie wylotu i odwrotnie. Konstrukcja taka wymusza przepływ powietrza przez materiał filtracyjny do przyległych kanałów.

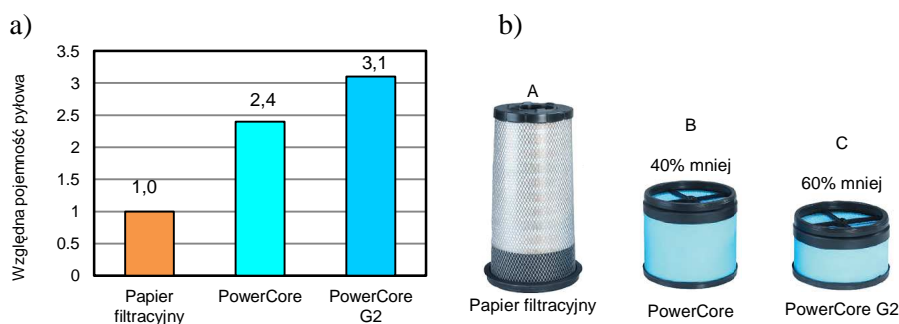


Rys. 19. Wkład filtracyjny „Power Core” [16]: a) zasada działania wkładu filtracyjnego, b) kierunek przepływu powietrza, c) widok wkładu od czola

Technologia filtracji PowerCore łączy model filtra osiowego z technologią nanowłókn, co zaowocowało zmniejszoną objętością i jednocześnie wysoką skutecznością filtracji. Przy tym samym strumieniu przepływającego powietrza, filtry wykonane technologią „Power Core”, są gabarytowo 2-3 razy mniejsze niż filtry z wkładami z plisowanego papieru filtracyjnego wykonanego tradycyjną metodą (rys. 20) i bardziej efektywne ($\varphi_f = 99,99\%$) niż przeciętny konwencjonalny filtr z tradycyjnego papieru filtracyjnego (celulozy) - $\varphi_f = 99,85\%$ (rys. 21) [17].



Rys. 20. Skuteczność filtracji poszczególnych rozwiązań wkładów filtracyjnych PowerCore [16]

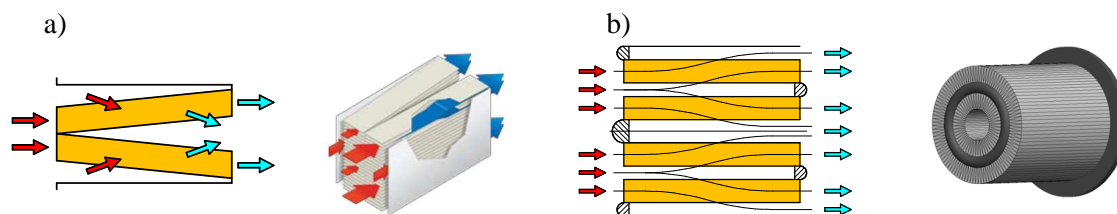


Rys. 21. Porównanie wkładów PowerCore w odniesieniu do tradycyjnego (papier filtracyjny) wkładu filtracyjnego: a) względna pojemność pyłowa, b) zajmowana objętość [17]

Bardziej nowoczesnymi elementami filtracyjnymi są wkłady wykonywane technologią PowerCore G2 wprowadzoną do produkcji w 2008r. Istotą tej technologii jest bardzo precyzyjne kształtowanie geometrii kanałów rdzenia filtracyjnego w zależności od typu silnika, do którego ma być zastosowany. Konstrukcja wkładu typu PowerCore G2 pozwala na zmniejszenie o 60% rozmiarów wkładu oraz blisko trzykrotne zwiększenie pojemności pyłowej wkładów filtracyjnych, w porównaniu z konwencjonalnymi rozwiązaniami stosowanymi do tej pory i przy zachowaniu tej samej stałej powierzchni papieru filtracyjnego oraz stałych rozmiarów wkładu (rys. 21).

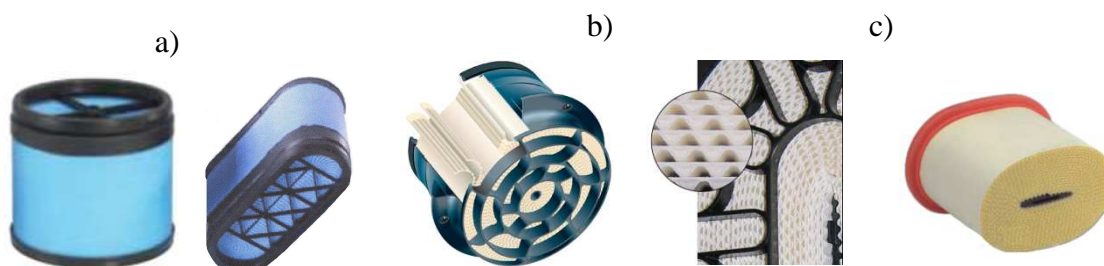
Osiowy przepływ strumienia powietrza, umożliwiający przepływ bezpośrednio do wylotu filtra i pozwalający minimalizować opory przepływu aerozolu zapewnia wkład filtracyjny

Direct Flow produkowany przez Cummins (rys. 22), w którym kanały tworzą tradycyjne plisy naprzemiennie uszczelnione na jego krótszych bokach i ukształtowane w formie paneli. Wkład filtracyjny może być zbudowany w formie trapezu z dwóch, ustawionych pod małym kątem wkładów panelowych (rys. 22a) lub w formie dwóch ustawionych współosiowo cylindrów (rys. 22b). Konstrukcja taka wymusza przepływ powietrza przez plisy od czoła oraz wzdłuż dłuższych boków i wypływ powietrza po przeciwległej stronie.



Rys. 22. Zasada działania panelowego wkładu filtracyjnego Direct Flow [3]: a) schemat przepływu powietrza, b) konstrukcja wkładu

Technologia produkcji wkładów rdzeniowych (PowerCore) została wykorzystana przez Baldwin w filtrze Channel Flow (rys. 23b). Element filtracyjny pozwala zredukować przestrzeń zajmowaną przez filtr do 50% w porównaniu z tradycyjnymi filtrami. Ta sama technologia zastosowana przez Maan+Hummel w filtrze PicoFlex (rys. 23c) spowodowała, że element filtracyjny CompacPlus ma 50% więcej powierzchni medium filtracyjnego niż konwencjonalny filtr powietrza. Aktualnie Mann Hummel oferuje serię filtrów powietrza IQORON, gdzie wkład filtracyjny wykonany jest w postaci plisowanego, naprzemiennie blokowanego materiału filtracyjnego.



Rys. 23. Wkłady filtracyjne wykonane nowoczesnymi technologiami: a) tradycyjna PowerCore (Donaldson) [16], b) Channel Flow (Baldwin) [2], c) CompacPlus (Maan+Hummel) [14]

PODSUMOWANIE

Dominującym materiałem filtracyjnym płynów eksploatacyjnych pojazdów mechanicznych, a w tym szczególnie powietrza wlotowego do silników spalinowych są papiery filtracyjne, które zapewniają wymaganą skuteczność i dokładność. Do filtracji powietrza wlotowego współczesnych silników pojazdów mechanicznych coraz częściej stosowane są włókniny oraz papiery filtracyjne z dodatkiem nanowłókien.

Samochody osobowe wyposaża się w jednostopniowe systemy filtracji powietrza, gdzie elementem filtracyjnym jest przegroda porowata w postaci panelowego wkładu z papieru filtracyjnego. W przypadku samochodów terenowych, które eksploatowane są w warunkach dużego zapylenia powietrza (1 g/m^3 i więcej), konieczne jest zastosowanie wielostopniowych systemów filtracji. Najczęściej stosowane są dwustopniowe systemy filtracji: „monocyklon – przegroda porowata” lub „multicyklon – przegroda porowata”, które charakteryzują się skutecznością filtracji (99,9%) oraz zapewniają długi okres międzyobsługowy filtru

powietrza. Spotyka się także trójstopniowe systemy filtracji powietrza, które oprócz układu „multicyklon – wkład papierowy”, wyposażone są w ustawiony szeregowo za nim „wkład bezpieczeństwa”, spełniający rolę III-go stopnia filtracji.

Konieczność sprostania wymaganiom małych rozmiarów z równoczesnym utrzymaniem lub przewyższeniem skuteczności i dokładności filtracji powietrza wlotowego do silników przez filtry produkowane tradycyjnymi metodami, była przyczyną opracowania nowej technologii wykonania wkładów filtracyjnych (PowerCore - Donaldson, Direct Flow, Channel Flow - Baldwin, CompacPlus Pico Flex - Maan+Hummel) charakteryzujących się osiowym przepływem strumienia powietrza, co pozwala uniknąć turbulencji i zminimalizować opory przepływu.

BAFFLE FILTER OF ENGINE INLET AIR FILTER OF MOTOR VEHICLES

Abstract

Inlet air filtration systems of motor vehicles are characterized. The properties of filter media of engine intake air filters for motor vehicles are analyzed. There is shown the dominant role of filter paper in operating fluids filtration systems. The possibilities of improving the efficiency of the engine intake air filtration by using materials with the addition of nanofibers are presented. There are shown traditional and modern designs of filter cartridges and their comparative analysis was performed. The PowerCore filter cartridge properties are analyzed.

BIBLIOGRAFIA

1. Baczewski K., Hebda M.: *Filtracja płynów eksploatacyjnych*, MCNEMT, Radom 1991/92.
2. *Baldwin's Channel Flow Air Filters*, www.baldwinfilter.com.
3. *Cummins Direct Flow by Fleetguard*, www.cumminsfiltration.com.
4. Durst M., Klein G., Moser N.: *Filtracja w pojazdach silnikowych*, Mann+Hummel GMBH. Ludwigsburg, Niemcy 2005.
5. Dziubak T.: *The problems of the inlet air filtration in the special vehicles combustion engines*, III Międzynarodowy Kongres Silników Spalinowych, Opole 22-24.06.2009. Silniki Spalinowe Nr 2009-SC1.
6. Dziubak T.: *Analiza procesu filtracji powietrza wlotowego do silników pojazdów specjalnych*, Rozprawa habilitacyjna. WAT Warszawa 2008.
7. Dziubak T.: *Problemy filtracji powietrza w silnikach spalinowych pojazdów eksploatowanych w warunkach dużego zapylenia powietrza*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn PAN, Z. 4 (124), 2000.
8. *Engine Protection in All Conditions*, www.donaldson.com.
9. Fitch J.: *Clean Oil Reduces Engine Fuel Consumption*. Practicing Oil Analysis, 11-12, 2002.
10. Fleck S., Heim M., Beck A., Moser N., Durst M.: *Realitätsnahe Prüfung von Motorsaugluftfiltern*, MTZ 05/2009 Jahrgang 70.
11. Grafe T., Gogins M., Barris M., Schaefer J., Canepa R.: *Nanofibers in Filtration Applications in Transportation*. Filtration 2001 International Conference and Exposition, Chicago, Illinois, December 3-5, 2001.

12. Graham K., Ouyang M., Raether T., Grafe T., Mc Donald B., Knauf P.: *Polymeric Nanofibers in Air Filtration Applications*, 5th Annual Technical Conference & Expo of the American Filtration & Separations Society, Galveston, Texas, April 9-12, 2002.
13. Informator techniczny Bosch.: *Sterowanie silników o zapłonie samoczynnym*, WKŁ, Warszawa 2004.
14. MANN+HUMMEL PicoFlex®. The new compact air cleaner for your highest requirements, www.mann-hummel.com.
15. *Nanofiber Nonwovens*, www.engr/edu/mse/Textiles/Nanofiber.
16. *PowerCore™, Innovative Air Filter Technology*, www.donaldson.com.
17. *Power Core G2 and Ultra-Web® Filtration Technology*, www.donaldson.com.
18. WIX Filtron. *Materiały informacyjne*, www.filtron.pl.

Autorzy:

Dr hab. inż. Tadeusz DZIUBAK, prof. nadzw. WAT – Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie