



Właściwości eksploatacyjne filtrów powietrza wlotowego silników samochodów sportowych

TADEUSZ DZIUBAK, YURIY YENDZHEYOVSKYY

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, tadeusz.dziubak@wat.edu.pl

Streszczenie. Przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne oraz właściwości eksploatacyjne filtrów powietrza wlotowego pojazdów mechanicznych oraz samochodów sportowych. Przeprowadzono analizę wpływu zastosowania w samochodzie osobowym filtra powietrza samochodu sportowego. Pokazano wpływ tej zamiany na wzrost mocy i momentu obrotowego w silnikach spalinowych kilku samochodów. Opracowano warunki i metodykę badań filtrów powietrza samochodów sportowych. Zaprezentowano stanowisko badawcze z licznikiem cząstek. Przedstawiono wyniki badań charakterystyk skuteczności i dokładności filtracji oraz oporu przepływu dwóch sportowych filtrów powietrza. Każdy filtr badano przy innej prędkości filtracji. Określono współczynnik chłonności pyłu filtra sportowego. Obliczono udział ziaren pyłu w powietrzu oczyszczonym za filtrem.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, filtr powietrza, filtr sportowy, skuteczność i dokładność filtracji, opór przepływu, współczynnik chłonności pyłu, rozmiar ziaren

DOI: 10.5604/01.3001.0010.1894

1. Wstęp

Od współczesnych silników spalinowych stosowanych w pojazdach mechanicznych wymagana jest ich długa żywotność oraz duże przebiegi międzynaaprawcze. Jednym z czynników wpływających na zużywanie współpracujących elementów jest czystość powietrza zasysanego do cylindrów silnika. Wszystkie ziarna pyłu o rozmiarze powyżej 1 μm powodują przyspieszone zużycie i to one powinny być usunięte przez filtry powietrza [1, 2]. O skuteczności i dokładności filtracji powietrza wlotowego do silników decyduje zastosowany materiał filtracyjny. Obecnie

dominującym materiałem filtracyjnym płynów eksploatacyjnych są papiery filtracyjne, które charakteryzują się dużą dokładnością i skutecznością filtracji, mają jednak małą chłonność pyłową. Podczas eksploatacji pojazdu następuje przyrost oporów przepływu filtra wskutek zatrzymywania się cząstek pyłu na wkładzie filtracyjnym. Zależnie od stężenia pyłu w powietrzu i masy przepływającego powietrza, filtry osiągają swoją chłonność po różnych przebiegach pojazdu. Nadmierny wzrost oporu przepływu filtra powietrza powoduje spadek masowego natężenia przepływu powietrza doprowadzonego do wnętrza cylindrów silnika spalinowego, co jest przyczyną pogorszenia parametrów jego pracy: spadku mocy, wzrostu jednostkowego zużycia paliwa. Z tego względu wkłady filtracyjne należy wymienić po osiągnięciu określonego oporu przepływu, zwanego oporem dopuszczalnym.

Od kilku lat popularne stało się wykorzystywanie przez użytkowników samochodów osobowych filtrów powietrza stosowanych w samochodach sportowych, zwanych „filtrami sportowymi”, zamiast standardowych (fabrycznych) filtrów powietrza wlotowego. Z danych podawanych przez producentów „filtrów sportowych” wynika, że mają one małe opory przepływu oraz długie okresy żywotności (około 1 600 000 km przebiegu pojazdu) przy odpowiednim ich obsłudze [19, 20]. Z danych literaturowych wynika, że zamontowanie w samochodzie tego typu filtra zamiast filtra fabrycznego pozwala uzyskać wzrost mocy oraz momentu obrotowego silnika. Producenci „filtrów sportowych” nie podają najważniejszych dla trwałości silnika spalinowego parametrów: skuteczności oraz dokładności filtracji powietrza. Brakuje też danych informujących o zużyciu paliwa przez silnik, w którym dokonano zamiany filtra fabrycznego na filtr sportowy. Z tego względu niezbędne jest przeprowadzenie badań rozpoznawczych filtrów sportowych w zakresie skuteczności i dokładności filtracji oraz oporów przepływu.

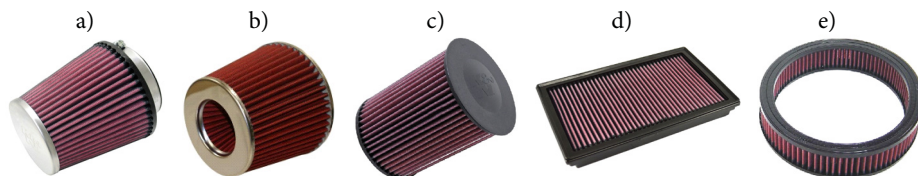
Celem pracy jest analiza wpływu (na parametry użytkowe silnika spalinowego) zastosowania w samochodzie osobowym filtra powietrza samochodu sportowego wraz z eksperymentalną oceną jego właściwości filtracyjnych: skuteczności i dokładności filtracji oraz oporów przepływu.

2. Rozwiązania konstrukcyjne filtrów sportowych

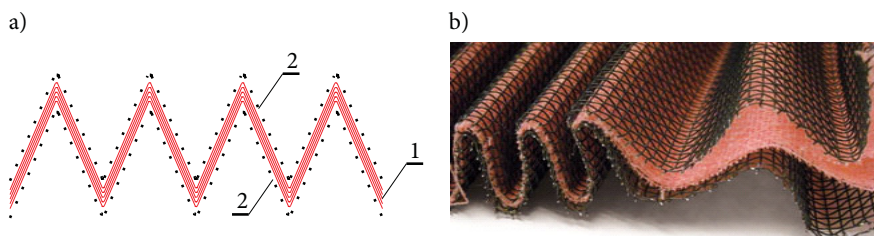
Stosowane w samochodach sportowych filtry powietrza, w odróżnieniu od standardowych filtrów powietrza używanych w silnikach w samochodach osobowych, są nazywane „filtrami sportowymi”. Są to filtry kształtowe (stożkowe lub cylindryczne) oraz wkłady filtracyjne (panelowe lub pierścieniowe) pasujące do seryjnej obudowy filtra fabrycznego (rys. 1).

Przegroda filtracyjna filtrów sportowych składa się z kilku warstw materiału bawełnianego umieszczonego między dwiema powłokami metalowej siatki (rys. 2). Warstwa filtracyjna nasączona jest specjalnym olejem zwiększającym skuteczność

i dokładność filtracji. Materiał filtracyjny wraz z dwiema ochronnymi siatkami kształtowany jest w plisy (rys. 2), a ich końcówki mocowane są szczelnie do dolnej i górnej podstawy filtru.



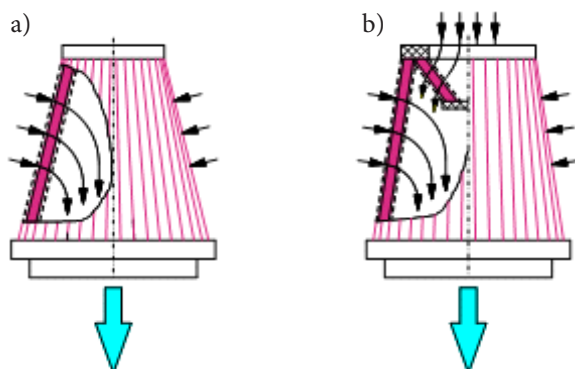
Rys. 1. Filtry stosowane w samochodach sportowych: a) filtr stożkowy; b) filtr stożkowy ze stożkiem wewnętrznym; c) filtr cylindryczny (zamknięty w puszcze stanowiącej przegrodę termoizolacyjną); d) wkład filtracyjny panelowy; e) pierścieniowy wkład filtracyjny [19, 22]



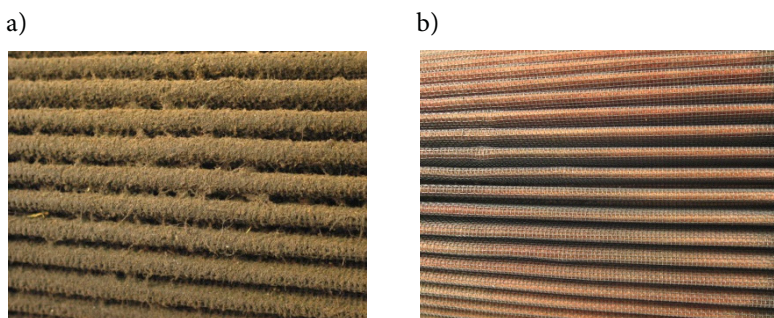
Rys. 2. Złoże filtracyjne filtru sportowego po plisowaniu: a) elementy złoża (1 — włóknina, 2 — siatka ochronna); b) widok złoża

Górną podstawę filtru stożkowego (cylindrycznego) stanowi pokrywa o kształcie koła wykonana z metalowej blachy lub tworzywa sztucznego. Dolna podstawa ma kształt pierścienia połączonego z króćcem wylotowym, przy pomocy którego filtr montowany jest do przewodu dolotowego powietrza. Filtry stożkowe sportowe z kontrstożkiem (rys. 3b) mają bardziej ekonomicznie wykorzystaną przestrzeń, a tym samym zwiększoną powierzchnię filtracyjną. Brak obudowy i napływ powietrza bezpośrednio z otoczenia powoduje bardziej korzystne ukształtowanie strumienia powietrza, co sprawia, że opory przepływu filtrów sportowych są znacznie mniejsze niż standardowych filtrów powietrza. Przepływ powietrza przez filtr sportowy stożkowy oraz stożkowy z kontrstożkiem przedstawiono na rysunku 3.

Większość „sportowych filtrów” powietrza wymaga obsługiwanego zwykle co 80 000 km. Serwisowanie filtrów sportowych polega na spryskaniu specjalnym płynem przegrody filtracyjnej z obu stron w celu rozpuszczenia zanieczyszczeń. Następnie należy myć przegrodę strumieniem chłodnej wody od strony wylotowej. Po wyschnięciu filtr należy nasączyć specjalnym olejem (rys. 4) [21, 23]. Tak stosowana technologia obsługiwanego filtrów sportowych zapewnia ich wielokrotne użytkowanie oraz długie okresy eksploatacji, do 1 600 000 km przebiegu pojazdu [19, 20].



Rys. 3. Przepływ powietrza przez filtr sportowy: a) stożkowy; b) stożkowy ze stożkiem wewnętrznym (kontrstożkiem) [7]



Rys. 4. Wygląd przegrody filtracyjnej filtra sportowego: a) po przebiegu; b) po czyszczeniu i nasączeniu olejkami [23]

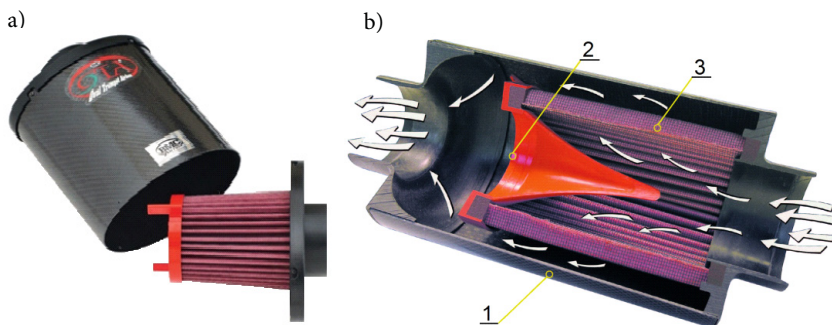
Miejsce osadzenia filtra w komorze silnika ma bardzo istotny wpływ na jego poprawne działanie. Bardzo ważnym aspektem jest to, aby filtr był montowany z dala od bloku silnika, wokół którego panuje wysoka temperatura podczas pracy. Najkorzystniej jest, jeżeli filtr jest odizolowany osłoną termoizolacyjną. Ma to zapobiec zasysaniu powietrza o podwyższonej temperaturze, która pochodzi od pracującego silnika. Gorące powietrze ma mniejszą gęstość, więc w stałej objętości znajduje się jego mniejsza masa. Z tego powodu istnieje bardzo dużo różnych rozwiązań konstrukcyjnych bariery termoizolacyjnej. Wybrane rozwiązania układu dolotowego z filtrem sportowym osłoniętego częściowo przegrodą termoizolacyjną przedstawiono na rysunku 5.

Całkowite osłonięcie filtra sportowego od gorącego powietrza zapewnia cylindryczna puszką o owalnym przekroju poprzecznym wykonana z włókna węglowego (rys. 6). Owalny kształt obudowy pozwala na łatwy montaż w otoczeniu silnika. Powietrze z otoczenia napływa bezpośrednio do filtra od jego strony wewnętrznej, gdzie trafia na specjalną stożkową kierownicę — deflektor. Po „przejściu” przez materiał

filtracyjny oczyszczone powietrze wpływa do przestrzeni obudowy, skąd kierowane jest do wylotu filtra. W niektórych rozwiązaniach przed otworem wylotowym oczyszczonego powietrza znajduje się specjalna lemniskata zmniejszająca opory przepływu.



Rys. 5. Rozwiązania konstrukcyjne bariery termoisolacyjnej dla filtrów stożkowych w układzie dolotowym silnika [22]

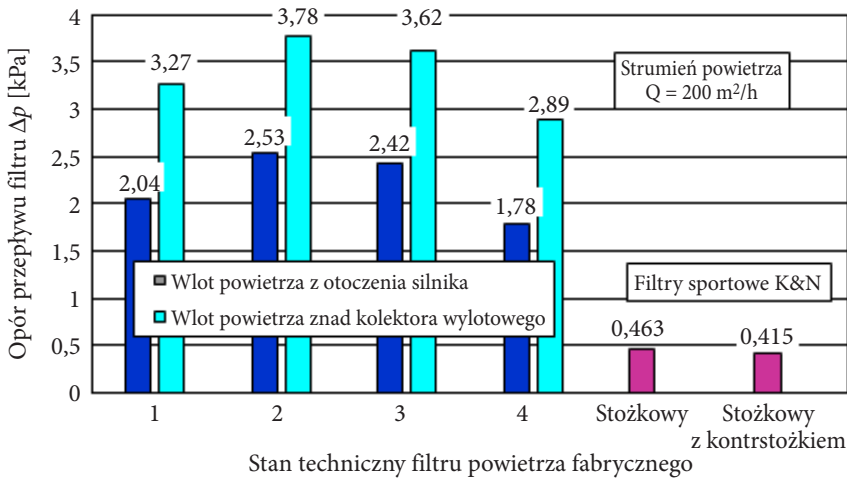


Rys. 6. Bariera termoisolacyjna filtra stożkowego BMC Air Filter w układzie dolotowym silnika: a) szczelna puszka i wkład; b) przepływ powietrza przez filtr: 1 — osłona termoisolacyjna, 2 — deflektor, 3 — materiał filtracyjny [17]

2. Analiza wpływu zastosowania w samochodzie osobowym filtra powietrza samochodu sportowego

Filtry powietrza stosowane w samochodach sportowych charakteryzują się znacznie mniejszymi oporami przepływu w porównaniu do standardowych filtrów używanych w samochodach osobowych. Stąd wynika przeświadczenie użytkowników samochodów osobowych, że zamontowanie „filtra sportowego” w układzie zasilania powietrzem silnika w miejsce filtra fabrycznego zwiększy moc silnika oraz maksymalny moment obrotowy, a tym samym poprawi dynamikę pojazdu.

Na rysunku 7 przedstawiono (wyniki badań własnych) wartości oporów przepływu dla nominalnego strumienia powietrza $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ różnych stanów technicznych filtra fabrycznego silnika FSO 1500 samochodu Polonez i filtrów sportowych zamocowanych w miejsce filtra fabrycznego.

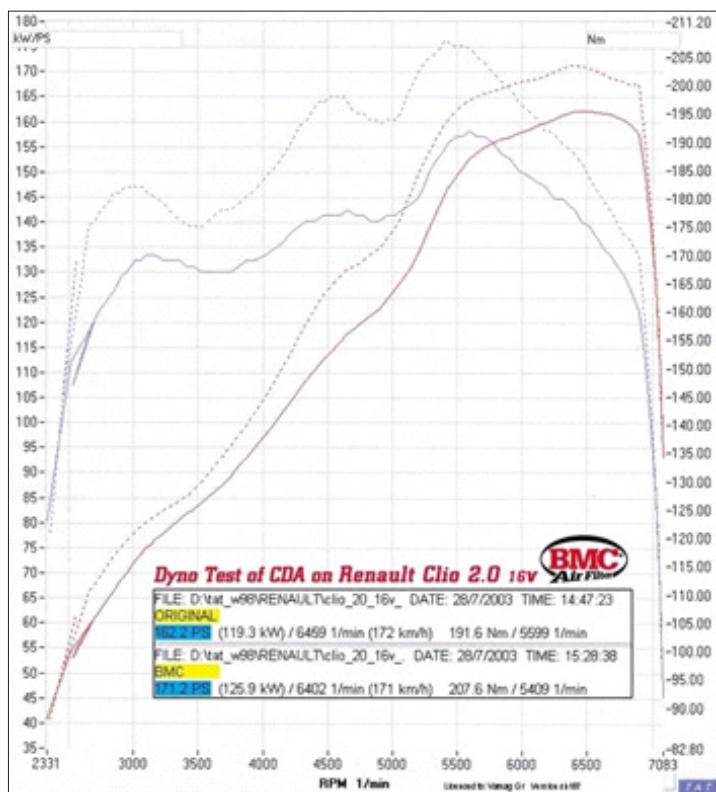


Rys. 7. Wartości oporów przepływu różnych stanów technicznych filtra fabrycznego silnika FSO 1500 samochodu Polonez (1 — filtr z czystym wkładem, 2 — filtr z wkładem zanieczyszczonym, 3 — filtr bez wkładu, 4 — filtr z wkładem panelowym K&N) oraz filtrów sportowych

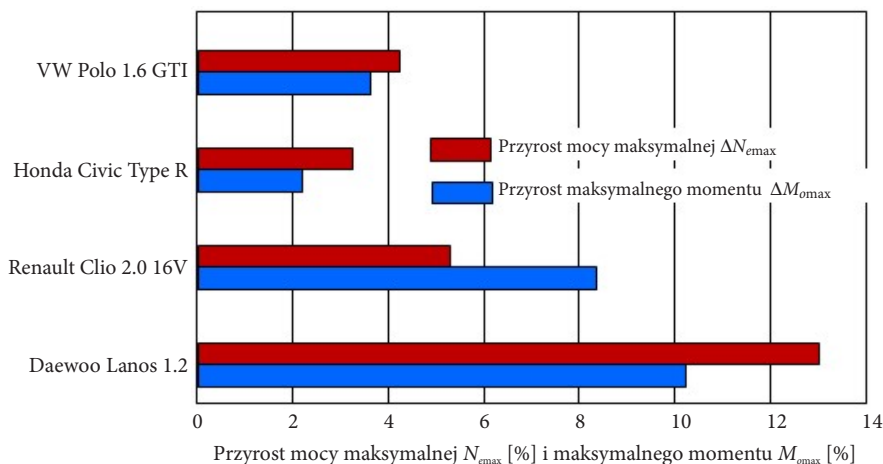
Opór przepływu filtrów sportowych jest kilkakrotnie mniejszy od oporu filtra powietrza fabrycznego z czystym wkładem filtracyjnym. Zamontowanie w miejsce filtra fabrycznego „filtra sportowego” o mniejszym oporze może skutkować zwiększeniem mocy silnika.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono dostępne wyniki badań eksperymentalnych wykonanych na hamowni podwozowej czterech silników samochodów osobowych z fabrycznym filtrem powietrza, a następnie z zamontowanym w jego miejsce filtrem powietrza samochodu sportowego [16]. Na rysunku 8 przedstawiono przykładową charakterystykę zmian mocy i momentu obrotowego silnika samochodu Renault Clio 2.0 16V w zależności od prędkości obrotowej z filtrem fabrycznym i po zamianie na filtr sportowy [16]. Na podstawie takich charakterystyk określono procentowe zmiany mocy maksymalnej N_e i momentu obrotowego M_o badanych silników (rys. 9).

Z danych przedstawionych na rysunku 9 wynika, że w każdym z czterech samochodów o różnej mocy nominalnej i pojemności skokowej silników zaobserwowano przyrost mocy $N_{e_{max}}$, jak również przyrost momentu obrotowego $M_{o_{max}}$ po zamontowaniu sportowego filtra powietrza firmy BMC CDA w miejsce filtra fabrycznego. Największy przyrost mocy $N_{e_{max}} = 6,4$ kW (13%) oraz momentu obrotowego $M_{o_{max}} = 8,1$ Nm (10,2%) zaobserwowano dla samochodu Daewoo Lanos z silnikiem o ZI, wolnossącym, o pojemności skokowej $1,2$ dm³ (rys. 9). Najmniejszy natomiast przyrost mocy maksymalnej $\Delta N_{e_{max}} = 4,49$ kW (3,23%), a także momentu obrotowego $M_{o_{max}} = 4,2$ Nm (2,18%) zarejestrowano dla samochodu Honda Civic Type R z silnikiem 1.6 o ZI (rys. 9). Przyrost mocy i momentu obrotowego badanych silników został spowodowany zwiększeniem masy powietrza doprowadzonego



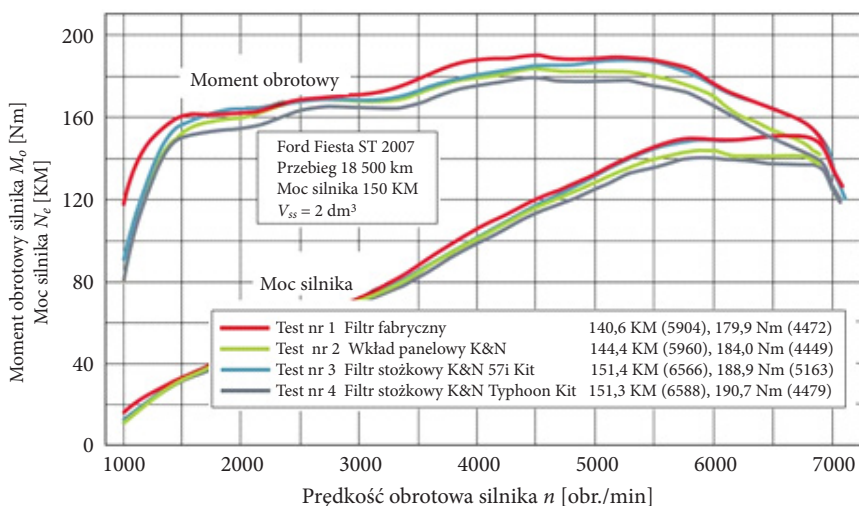
Rys. 8. Zmiana mocy i momentu obrotowego w zależności od prędkości obrotowej silnika samochodu Renault Clio 2.0 16V przy zastosowaniu filtra fabrycznego oraz filtra sportowego [16]



Rys. 9. Procentowe przyrosty mocy maksymalnej N_{emax} oraz maksymalnego momentu obrotowego M_{emax} silników samochodów, w których filtr fabryczny zamieniono na sportowy filtr powietrza [16]

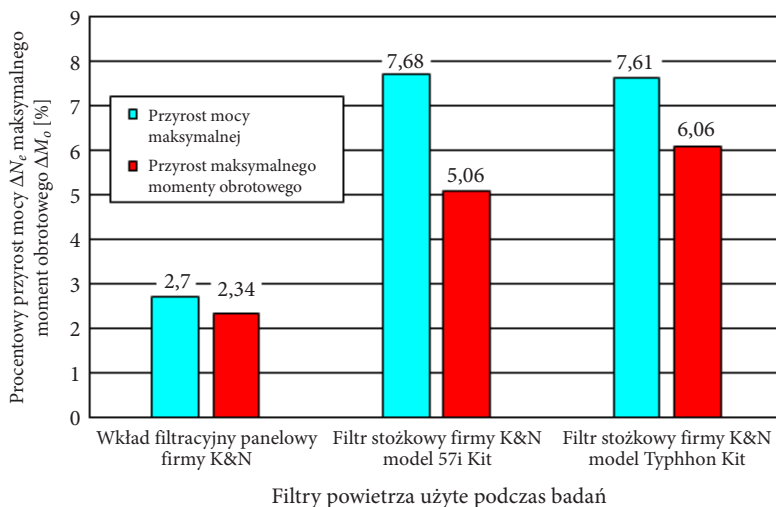
do komory spalania w wyniku mniejszych oporów przepływu, jakimi cechują się filtry sportowe. Zwiększenie masy powietrza doprowadzonego do cylindra silnika umożliwia zwiększenie ilości dostarczanego paliwa w celu utrzymania mieszanki palnej o składzie stechiometrycznym, a to powoduje przyrost mocy.

Efekt montowania filtrów sportowych, produkowanych przez firmę K&N, w miejscu fabrycznego filtra powietrza w silniku samochodu Ford Fiesta ST przedstawiono na rysunku 10 [24]. W ramach przeprowadzonych badań eksperymentalnych wykonano cztery testy silników, podczas których określono zależność mocy N_e i momentu obrotowego M_o od prędkości obrotowej. W pierwszym teście badano pojazd z silnikiem wyposażonym w oryginalny filtr fabryczny. Podczas drugiego testu filtr fabryczny został zastąpiony wkładem filtracyjnym firmy K&N. W czasie testu trzeciego w miejsce fabrycznego filtra powietrza zastosowany został filtr stożkowy firmy K&N model 57i Kit, będący filtrem sportowym stożkowym z barierą termoizolacyjną.



Rys. 10. Zmiana mocy i momentu obrotowego w zależności od prędkości obrotowej silnika samochodu Ford Fiesta ST przy zastosowaniu filtra fabrycznego oraz trzech filtrów sportowych [24]

W czasie czwartego testu filtr fabryczny został zastąpiony filtrem tej samej firmy K&N, lecz modelem Typhoon Kit. Jest to filtr sportowy, umieszczony w obudowie o kształcie puszki wykonanej z włókna węglowego, która stanowi przegrodę termoizolacyjną. W celu zamontowania filtrów stożkowych układ dolotowy został zmodyfikowany poprzez wstawienie w miejsce filtra fabrycznego specjalnego odcinka przejściowego przewodu rurki, pozwalającego zamontować badane filtry. Procentowy przyrost mocy maksymalnej ΔN_e oraz maksymalnego momentu obrotowego ΔM_o w wyniku zastosowania filtrów sportowych przedstawiono na rysunku 11.



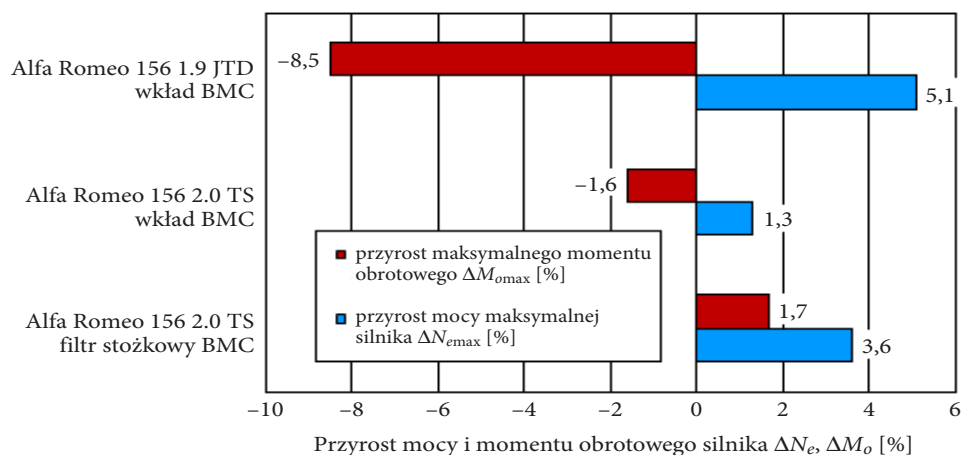
Rys. 11. Procentowy przyrost maksymalnej mocy silnika $\Delta N_{e\max}$ oraz maksymalnego momentu obrotowego silnika $\Delta M_{o\max}$ dla poszczególnych filtrów zastosowanych podczas badań w samochodzie Ford Fiesta ST [24]

Najmniejsze efekty w postaci wzrostu mocy i maksymalnego momentu obrotowego silnika spowodował sportowy wkład panelowy, odpowiednio: $\Delta N_{e\max} = 2,79$ kW (2,7%), $M_{o\max} = 4,2$ Nm (2,34%) (rys. 11). Natomiast filtry stożkowe: model Typhoon Kit umieszczony w puszcze z włókna węglowego oraz 57i Kit z przegrodą termoizolacyjną, zastosowane w miejsce filtru fabrycznego, powodują porównywalne, ale 2-3-krotnie większe przyrosty maksymalnej mocy i maksymalnego momentu silnika niż zastosowanie wkładu panelowego K&N (rys. 11).

Wkład panelowy K&N umieszczony jest w obudowie, do której powietrze doprowadzane jest przewodem, natomiast filtry stożkowe pobierają powietrze bezpośrednio z otoczenia. Tym samym ich opory przepływu są mniejsze niż filtru z wkładem panelowym. W wyniku tego uzyskuje się zwiększenie ilości powietrza dostarczonego do komory spalania oraz paliwa, czyli zwiększenie masy mieszanki paliwowo-powietrznej.

Wyniki badań samochodów na hamowni podwoziowej, w czasie których wkład fabryczny samochodu Alfa Romeo 156, ale w dwóch różnych silnikach (2.0 TS o ZI Sportwagon oraz 1.9 JTD o ZS Sportwagon), zastąpiono najpierw wkładem sportowym BMC, a później filtrem sportowym stożkowym BMC, przedstawiono na rysunku 12 [18]. Badania wykazały wzrost mocy, ale jednocześnie nastąpił spadek maksymalnego momentu obrotowego.

W przypadku silnika 1.9 JTD (o ZS) wzrost mocy jest znaczny i wynosi 5,1% mocy maksymalnej $N_{e\max}$. W przypadku silnika 2.0 TS (o ZI) wzrost mocy jest mniejszy i wynosi tylko 1,3% dla wkładu sportowego BMC oraz 3,6% dla wkładu sportowego stożkowego BMC. W obydwu tych silnikach po zamontowaniu wkładu



Rys. 12. Procentowy przyrost maksymalnej mocy silnika $\Delta N_{e_{max}}$ oraz maksymalnego momentu obrotowego silnika $\Delta M_{o_{max}}$ dla poszczególnych filtrów zastosowanych podczas badań w samochodzie Alfa Romeo 156 [18]

BMC nastąpił spadek momentu obrotowego. W przypadku silnika Alfa Romeo 156 1.9 JTD jest to aż 8,5% momentu maksymalnego. Zjawisko takie można wytłumaczyć wzajemną relacją między mocą, momentem obrotowym i prędkością obrotową silnika. Wielkości te związane są ze sobą znaną zależnością:

$$N_e = \frac{M_o \cdot n}{9550} \text{ [kW]}, \quad (1)$$

gdzie: N_e — moc silnika [kW];
 M_o — moment obrotowy silnika [N·m];
 n — prędkość obrotowa silnika [obr./min].

Zamiana filtra fabrycznego samochodu na filtr sportowy o mniejszym oporze zmienia warunki pracy silnika. Oprócz zmian wartości mocy i momentu obrotowego silnika następuje przesunięcie ich wartości maksymalnych w inny zakres prędkości obrotowych, stąd nie zawsze wzrost mocy silnika idzie w parze ze wzrostem momentu obrotowego.

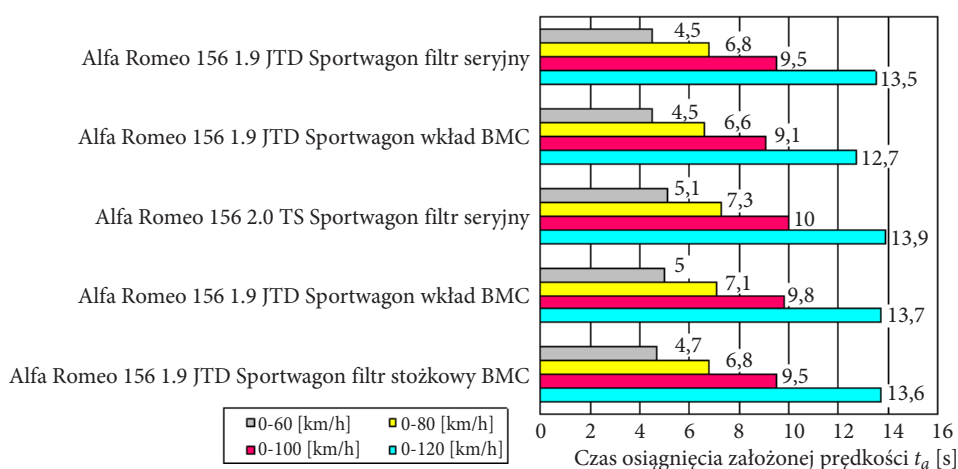
Natomiast po zamontowaniu bezpośrednio na kolektor dolotowy w silniku 2.0 TS (o ZI) filtra stożkowego BMC nastąpił przyrost momentu obrotowego 1,7%. Układ dolotowy współcześnie produkowanych silników jest skonstruowany tak, aby zapewnić osiągnięcie maksymalnej mocy. Średnice i długości przewodów dolotowych oraz wylotowych, a także filtr powietrza silnika są tak dobierane, aby uzyskać doładowanie dynamiczne silnika przy wykorzystaniu zjawisk falowych [11, 12]. Efekt falowy w układzie dolotowym jest wywołany stale występującymi

zaburzeniami ciśnienia powstającymi podczas cyklicznego otwierania i zamykania zaworów dolotowych, które tworzą fałę stojącą w rurze dolotowej. Jej częstotliwość zależy od prędkości obrotowej silnika i rośnie wraz z nią.

Doładowanie dynamiczne silnika polega na wywołaniu rezonansu pomiędzy wymuszającymi wahaniami ciśnienia a częstotliwością drgań własnych słupa gazów zawartych w przewodach dolotowych. Charakterystyczną cechą tego sposobu doładowania jest to, że zjawisko rezonansu zachodzi w wąskim zakresie prędkości obrotowej, najczęściej w zakresie prędkości odpowiadającej maksymalnemu momentowi obrotowemu n_M . Ingerencja w tak precyzyjnie dobrany układ dolotowy poprzez zmianę jego parametrów, polegająca na zmianie filtra powietrza (obniżenie oporu przepływu), długości i średnicy przewodu dolotowego (zmiana wartości prędkości przepływu) w przypadku montowania filtra sportowego, może doprowadzić do zaniku efektu doładowania rezonansowego, a w konsekwencji do przesunięcia maksymalnego momentu obrotowego silnika w zakres innych prędkości obrotowych lub obniżenie jego wartości.

W efekcie zastąpienia filtra powietrza fabrycznego filtrem sportowym uzyskany wzrost mocy silnika i momentu obrotowego może spowodować wzrost przyspieszenia pojazdu. Wyniki takich badań dla samochodów Alfa Romeo 156 2.0 TS Sportwagon oraz Alfa Romeo 1.9 JTD Sportwagon pokazano na rysunku 13 [18].

Po zamianie filtra fabrycznego na stożkowy filtr sportowy BMC zarejestrowano dla obydwu samochodów skrócenie czasu t_a (zwiększenie przyspieszenia) osiągnięcia założonej prędkości jazdy samochodu. Dla samochodu Alfa Romeo z silnikiem 1.9 JTD Sportwagon czas osiągnięcia prędkości od $v = 0$ do $v = 120$ km/h został zmniejszony z $t_a = 13,5$ s do $t_a = 12,7$ s, czyli o 6% (rys. 13). Dla samochodu Alfa



Rys. 13. Wartości czasu t_a do osiągnięcia założonej prędkości jazdy samochodu Alfa Romeo z silnikiem 1.9 JTD oraz 2.0 TS [18]

Romeo 156 2.0 TS Sportwagon zastosowanie filtra sportowego spowodowało skrócenie czasu t_a tylko o 1,5%. Uzyskane przyspieszenia samochodu są więc nieznaczne i mogą być niewyczuwalne przez kierowcę.

Z przedstawionej analizy wynika, że zastąpienie filtra fabrycznego cechującymi się znacznie mniejszymi oporami przepływu „filtrami sportowymi” powoduje w większości przypadków wzrost mocy N_{emax} i maksymalnego momentu obrotowego M_{omax} silnika. W dostępnej literaturze brakuje jednak wiarygodnych danych o podstawowych właściwościach filtracyjnych (skuteczności i dokładności filtracji) filtrów sportowych. Luźna struktura bawełnianej warstwy filtracyjnej filtrów sportowych powoduje uzyskanie mniejszych oporów przepływu, ale też sugeruje, że skuteczność i dokładność filtracji filtrów sportowych może znacznie odbiegać od skuteczności i dokładności filtracji papierów filtracyjnych, których wartości kształtują się na poziomie odpowiednio: $\varphi = 99,5 \div 99,9\%$, $d_{z\text{max}} = 2,5 \mu\text{m}$. Z tego względu niezbędne jest przeprowadzenie badań rozpoznawczych filtrów sportowych w zakresie skuteczności i dokładności filtracji oraz oporów przepływu.

3. Cel i przedmiot badań

Celem badań było określenie właściwości filtracyjnych „sportowego filtra powietrza” poprzez wyznaczenie jego następujących charakterystyk:

- skuteczności filtracji $\varphi_f = f(k_m)$,
- dokładności filtracji $d_{z\text{max}} = f(k_m)$,
- oporu przepływu $\Delta p_f = f(k_m)$,

gdzie: k_m — współczynnik chłonności określający całkowitą masę pyłu zatrzymaną na 1 m² powierzchni czynnej materiału filtracyjnego wyrażony zależnością:

$$k_{mi} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ZF_i}}{A_{cz}} [g / m^2], \quad (2)$$

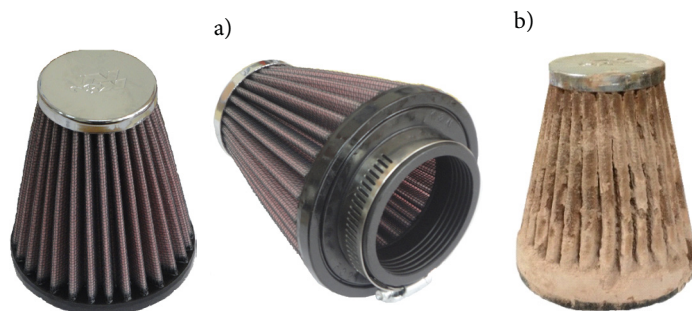
gdzie: A_{cz} — czynna powierzchnia filtracyjna filtra [m²].

Charakterystyki określono dla dwóch różnych prędkości filtracji:

- $v_{F1} = 0,16 \text{ m/s}$ — prędkość dwukrotnie wyższa od prędkości filtracji typowej dla papierów filtracyjnych,
- $v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$ — prędkość czterokrotnie wyższa od prędkości filtracji typowej dla papierów filtracyjnych,

gdzie: v_F — prędkość filtracji definiowana jako iloraz strumienia powietrza przepływającego przez filtr Q_F i pole powierzchni czynnej materiału filtracyjnego A_F .

Przedmiotem badań były dwa jednakowe egzemplarze sportowych filtrów powietrza firmy K&N o kształcie ściętego stożka (rys. 14).



Rys. 14. Filtr sportowy firmy K&N: a) przed badaniami; b) po badaniach skuteczności pyłem testowym

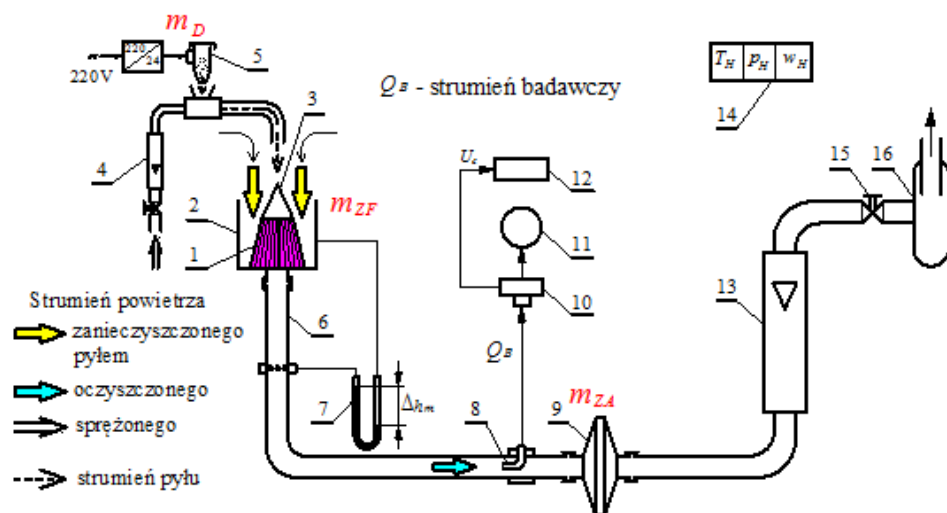
Materiałem filtracyjnym filtru sportowego jest włóknina naturalno-syntetyczna, ułożona warstwowo i wzmocniona siatką metalową od strony napływu i wypływu powietrza. Tak wykonany materiał filtracyjny w postaci taśmy jest ukształtowany w 34 plisy o wysokości $h_p = 8,5$ mm. Końce plis umocowane są w masie z tworzywa sztucznego, z którego wykonana jest górna i dolna podstawa filtru.

4. Metodyka i warunki badań

Badania przeprowadzono na stanowisku (rys. 15), które przystosowano do wykonywania podstawowych charakterystyk filtracyjnych „filtrów sportowych” o zakresie strumienia powietrza do $Q = 300$ m³/h i stężeniu pyłu w powietrzu do 2 g/m³. Zasadniczym elementem stanowiska jest badany filtr sportowy ustawiony pionowo w komorze pyłowej, która zamocowana jest sztywno do podstawy stanowiska. W odległości $6d_w$ w przewodzie pomiarowym za badanym filtrem (gdzie d_w — średnica wewnętrzna przewodu wylotowego z filtru) podłączony jest manometr cieczowy typu U-rurka przeznaczony do pomiaru spadku ciśnienia statycznego Δh za badanym filtrem, a tym samym określania oporu przepływu filtru Δp_f .

Ważnym wyposażeniem stanowiska jest urządzenie dozujące pył, którego podstawowymi elementami są: ruchomy pojemnik pyłu umocowany czterema napiętymi sprężynami do obudowy dozownika oraz elektromagnes powodujący jego drgania. Pył testowy znajdujący się w specjalnym pojemniku dozownika wskutek drgań wymuszonych elektromagnesem zasilanym z autotransformatora wysypuje się grawitacyjnie przez otwór (mający regulowany zmienny przekrój) w dnie pojemnika pyłu. Intensywność drgań jest regulowana wartością prądu wyjściowego autotransformatora. Pył ten następnie wpada do przewodu, którym pneumatycznie

(sprężonym powietrzem) podawany jest do komory pyłowej, gdzie następuje jego zmieszanie z powietrzem wlotowym do filtru. Tak przygotowany aerozol zasysany jest przez badany filtr.



Rys. 15. Schemat funkcjonalny stanowiska do badań filtrów sportowych: 1 — filtr sportowy, 2 — komora pyłowa, 3 — stożek zsypany, 4 — rotametr, 5 — dozownik pyłu, 6 — przewód pomiarowy, 7 — manometr typu U-rurka, 8 — sonda pomiarowa, 9 — filtr absolutny, 10 — sensor, 11 — pompa próżniowa, 12 — mikroprocesor, 13 — rotametr, 14 — zestaw do pomiaru ciśnienia, wilgotności oraz temperatury powietrza otoczenia, 15 — zawór regulacji wartości strumienia przepływającego powietrza, 16 — wentylator ssawny [15]

Określenie liczby i rozmiarów ziaren pyłu w powietrzu za filtrem przepuszczonych przez badany filtr umożliwia licznik cząstek Pamas-2132. W odpowiedniej odległości za badanym filtrem umieszczona jest centralnie w osi przewodu pomiarowego końcówka sondy pomiarowej licznika cząstek, której otwór wlotowy skierowany jest w stronę napływu strumienia powietrza Q_F . Z chwilą włączenia pompy próżniowej końcówką sondy pomiarowej następuje zasysanie aerozolu w postaci strumienia badanego Q_B , który kierowany jest do sensora, gdzie następuje jego analiza w zakresie liczby N i rozmiarów ziaren pyłu d_z . Sygnał napięciowy U_c przekazywany jest do mikroprocesora licznika cząstek. Na wejściu do sensora strumień Q_B łączy się ze strumieniem ekranującym będącym strumieniem czystego powietrza. W sensorze następuje analiza przepływającego strumienia przy wykorzystaniu zjawiska rozpraszania wiązki promieniowania laserowego (długość fali 680 nm). Zarejestrowane przez mikroprocesor wyniki pomiarów mogą być wydrukowane w postaci tabelarycznej za pomocą drukarki stanowiącej integralną całość z mikroprocesorem lub wyświetlone na ekranie komputera.

W czasie trwania cyklu pomiarowego zaprogramowano trzy zliczenia ziaren pyłu, z których określano średnią we wszystkich przedziałach pomiarowych.

W ostatnim przedziale pomiarowym znajduje się najczęściej jedno ziarno pyłu mające największy rozmiar $d_z = d_{zmax}$. Z tych względów ziarno pyłu o największym rozmiarze $d_z = d_{zmax}$ znajdujące się w powietrzu za filtrem powietrza samochodu sportowego przyjęto jako kryterium oceny dokładności powietrza w filtrze.

Podczas badań zaprogramowano cykl pomiarowy, w którym zliczanie ziaren pyłu z zakresu $0,7 \div 11,9 \mu\text{m}$ podzielono na 28 jednakowych przedziałów pomiarowych ograniczonych średnicami ($d_{zmin} \div d_{zmax}$), ze skokiem co $\Delta d_{zi} = 0,4 \mu\text{m}$. Zakres $11,9 \div 62 \mu\text{m}$ podzielono na cztery przedziały pomiarowe: jeden przedział ze skokiem $\Delta d_z = 6 \mu\text{m}$, drugi ze skokiem $\Delta d_z = 7,1 \mu\text{m}$, trzeci ze skokiem $\Delta d_z = 17,1 \mu\text{m}$ i czwarty przedział ze skokiem $\Delta d_z = 20 \mu\text{m}$.

Badania prowadzono w cyklach pomiarowych ($i_p = \text{I, II, III, ..., k}$) wynikających z czasu τ_p równomiernego dozowania pyłu do filtru. W trakcie trwania cyklu pomiarowego, w chwili $\tau_{pcz} = \frac{1}{2}\tau_p$, uruchamiano w liczniku cząstek procedurę pomiaru liczby i rozmiarów ziaren pyłu w powietrzu za filtrem.

Przed przystąpieniem do badań obliczono wartość strumienia powietrza przepływającego przez filtr Q_F dla założonej wartości prędkości filtracji v_{Fi} z poniższej zależności:

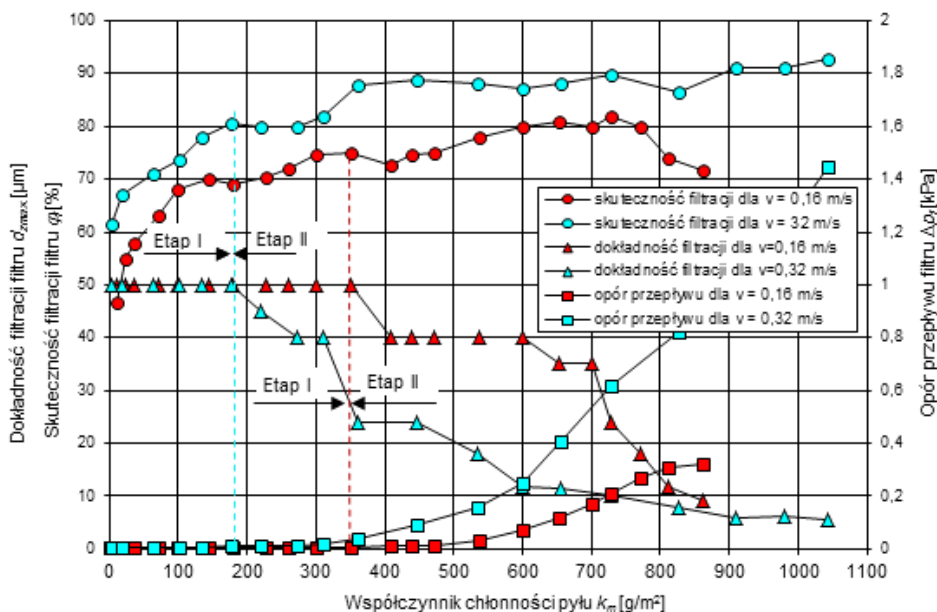
$$Q_{Fi} = v_{Fi} \cdot A_{cz} \cdot 3600 \text{ [m}^3/\text{h}], \quad (3)$$

Dla prędkości filtracji $v_{F1} = 0,16 \text{ m/s}$ strumień powietrza przepływającego przez filtr ma wartość $Q_{F1} = 26 \text{ m}^3/\text{h}$, a dla prędkości filtracji $v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$ jest to wartość $Q_{F2} = 52 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zgodnie z normą PN-ISO 5011 utrzymywano wartość stężenia pyłu w powietrzu wlotowym do filtru na poziomie $s = 1,0 \text{ g/m}^3$. Stosowano, zgodnie z normą PN-S-34040, pył testowy PTC-D, będący krajowym zamiennikiem pyłu AC fine.

5. Analiza wyników badań

Wyniki badań i obliczeń skuteczności filtracji φ_f , oporu przepływu Δp_f i dokładności filtracji d_{zmax} (rozmiar maksymalnych ziaren pyłu) badanych filtrów sportowych przedstawiono na rysunku 16. Wraz ze wzrostem masy pyłu zatrzymanego w warstwie filtracyjnej (wzrostem współczynnika k_m) następuje dość szybki wzrost zarówno oporu Δp_f , jak i skuteczności filtracji φ_f , będący wynikiem zapełniania przestrzeni między włóknami — porów. Skuteczność φ_f i dokładność filtracji d_{zmax} oraz opór przepływu Δp_f obu filtrów przyjmują coraz większe wartości, co jest zgodne z informacjami literaturowymi [3, 4, 6, 9, 10, 13, 14]. Pracę badanych filtrów sportowych, których charakterystyki pokazano na rysunku 16, można umownie podzielić na dwa etapy.



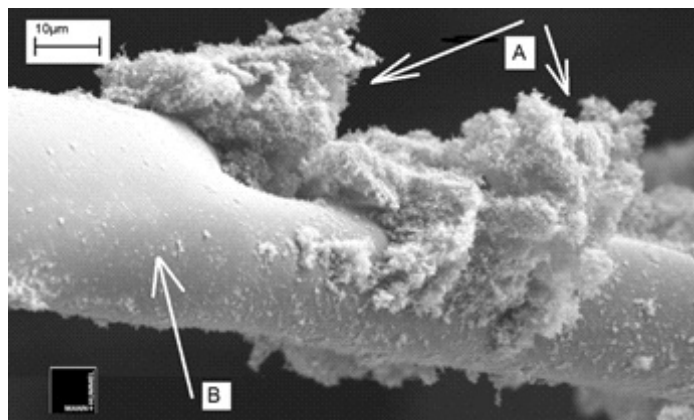
Rys. 16. Charakterystyka skuteczności φ_f i dokładności filtracji d_{zmax} oraz oporu przepływu Δp_f w zależności od współczynnika chłonności pyłu k_m badanych filtrów sportowych

Pierwszy etap pracy filtrów (I) charakteryzuje się niską skutecznością filtracji oraz małymi oporami przepływu i małą dokładnością. Według autorów prac [10, 13, 14] w tym czasie na elementach struktury porowatej osadzają się cząstki zanieczyszczeń, tworząc warstwę, która spełnia funkcję struktury porowatej dla następnych cząstek. Obok osadzania ziaren pyłu na elementach struktury, następuje również osadzanie zanieczyszczeń na wcześniej zatrzymanych ziarnach. Przyjęto, że pierwszy (I) etap pracy filtrów trwa od rozpoczęcia badań do chwili wzrostu dokładności filtracji — wyraźnego spadku maksymalnych rozmiarów ziaren pyłu d_{zmax} w powietrzu za filtrem. Dla filtru nr 1 (badanego przy $v_{F1} = 0,16$ m/s) okres ten trwa do chwili osiągnięcia współczynnika chłonności pyłu $k_{m1} = 350$ g/m². W tym czasie rozmiary ziaren d_{zmax} utrzymują się na poziomie $d_{zmax1} = 50$ μ m, skuteczność filtracji wzrasta z $\varphi_{f1} = 46,6\%$ do $\varphi_{f1} = 75\%$, a opór przepływu zmienia się nieznacznie z $\Delta p_{f1} = 0,005$ kPa do $\Delta p_{f1} = 0,0085$ kPa.

Dla filtru nr 2 (badanego przy prędkości filtracji $v_{F2} = 0,32$ m/s) pierwszy etap trwa krócej i kończy się z chwilą osiągnięcia współczynnika chłonności $k_{m2} = 178$ g/m². W tym czasie skuteczność filtracji zmienia się z $\varphi_{f2} = 61,4\%$ do $\varphi_{f2} = 80,5\%$, a rozmiary maksymalnych ziaren d_{zmax2} utrzymują się (podobnie jak filtru nr 1) na poziomie $d_{zmax2} = 50$ μ m. Wartość oporu przepływu zmienia się nieznacznie, podobnie jak dla filtru badanego przy $v_{F1} = 0,16$ m/s.

W drugim etapie pracy (II) filtrów intensywność wzrostu skuteczności jest mniejsza niż w pierwszym etapie pracy filtrów. Wraz ze wzrostem masy pyłu zatrzymanego

w warstwie filtracyjnej oraz zapełniania przestrzeni między włóknami tworzą się rozrastające się często do znacznych rozmiarów aglomeraty (rys. 17), które zapełniają przestrzenie między włóknami. Zmniejszają się odległości między powierzchniami elementów warstwy filtracyjnej obłożonych pyłem (zmniejsza się porowatość przegrody), co powoduje wzrost prędkości przepływu, a stąd w konsekwencji następuje systematyczny wzrost zarówno oporu Δp_f , jak i skuteczności filtracji φ_f .



Rys. 17. Powstawanie aglomeratów pyłu na powierzchni włókna tworzącego strukturę złoza filtracyjnego: A — aglomeraty, B — włókno [14]

Filtr badany przy $v_{F1} = 0,16$ m/s osiąga maksymalną wartość skuteczności $\varphi_{fmax1} = 82\%$ dla współczynnika chłonności $k_{m1} = 728$ g/m², po czym następuje jej spadek. Dla $k_{m1max} = 862$ g/m² filtr uzyskuje skuteczność $\varphi_{f1} = 71,6\%$ i opór przepływu $\Delta p_{f1} = 0,32$ kPa. Badania tego filtra zakończono ze względu na gwałtowny spadek jego skuteczności filtracji i nieznaczny przyrost oporu przepływu. Ponadto wystąpiło osypywanie się cząstek pyłu zatrzymanych wcześniej na powierzchni filtra sportowego, po zakończeniu cyklu pomiarowego.

Zjawisko spadku skuteczności może być spowodowane tym, że siły odrywające (spowodowane wytworzonym podciśnieniem) przekraczają siły przyczepności ziaren do podłoża. Następuje zjawisko lawinowego odrywania aglomeratów pyłu i zasysanie go wraz z powietrzem do cylindrów silnika. W wyniku tego filtr traci częściowo właściwości filtracyjne.

Podczas trwania II etapu skuteczność filtra badanego przy $v_{F2} = 0,32$ m/s osiąga znacznie wyższe wartości niż filtra badanego przy $v_{F1} = 0,16$ m/s. Filtr badany przy prędkości $v_{F2} = 0,32$ m/s charakteryzuje się ciągłym narastaniem skuteczności i dokładności filtracji, a maksymalną wartość $\varphi_{fmax2} = 92,7\%$ osiąga przy znacznie większej wartości współczynnika chłonności pyłu ($k_{m2} = 1043$ g/m²), uzyskując jednocześnie większy opór przepływu $\Delta p_{f2} = 1,45$ kPa. Dla porównania współczesne

papiery filtracyjne uzyskują znacznie większe wartości skuteczności ($\varphi_f = 99,5\%$) i dokładności filtracji ($d_{zmax} = 2 \div 5 \mu\text{m}$), jednak przy wyższych oporach przepływu $\Delta p_f = 3 \div 6 \text{ kPa}$ i przy znacznie mniejszych wartościach współczynnika chłonności pyłu $k_m = 200 \div 240 \text{ g/m}^2$ [4, 5, 8, 14].

Z chwilą rozpoczęcia II etapu rozmiary maksymalnych ziaren d_{zmax} (dokładność filtracji) przyjmują coraz mniejsze wartości i pod koniec II etapu pracy osiągają wartość $d_{zmax1} = 9,1 \mu\text{m}$ dla filtru badanego przy $v_{F1} = 0,16 \text{ m/s}$ i $d_{zmax2} = 5,5 \mu\text{m}$ dla filtru badanego przy $v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$. Dla tych samych wartości współczynnika chłonności pyłu k_m rozmiary d_{zmax} przyjmują mniejsze wartości dla filtru nr 2 ($v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$). Na przykład dla filtru nr 1 rozmiary maksymalnych ziaren pyłu przy $k_{m1} = 534 \text{ g/m}^2$ mają wartość $d_{zmax1} = 40 \mu\text{m}$, a przy $k_{m1} = 729 \text{ g/m}^2$ $d_{zmax1} = 23,9 \mu\text{m}$. Odpowiednio dla filtru nr 2 rozmiary maksymalnych ziaren pyłu d_{zmax2} mają wartość $d_{zmax2} = 17,9 \mu\text{m}$ i $d_{zmax2} = 10,3 \mu\text{m}$.

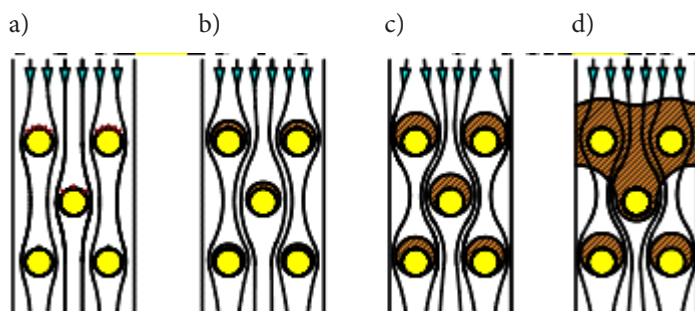
Charakter i wartość zmian skuteczności φ_f i dokładności d_{zmax} filtracji oraz oporu przepływu Δp_f są dla każdego typu filtru inne i zależą od struktury warstwy filtracyjnej, stężenia zapylenia powietrza, rozmiaru ziaren pyłu, prędkości przepływu powietrza przez filtr. W przypadku badanych filtrów zmiany skuteczności φ_f i dokładności d_{zmax} filtracji oraz oporu przepływu wyraźnie zależą od prędkości przepływu powietrza przez filtr — prędkości filtracji v_F . Dla filtru badanego przy $v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$ wartości skuteczności filtracji i oporu przepływu są znacznie wyższe niż filtru badanego przy $v_{F1} = 0,16 \text{ m/s}$.

Wyjaśnienie tego zjawiska nie jest proste ze względu na to, że zatrzymywanie cząstek w przegrodzie porowatej jest procesem bardzo złożonym, zależnym od wielu sił i zjawisk. Cząstki zanieczyszczeń oraz elementy ośrodka porowatego mają nieregularne kształty i nieregularną mikrostrukturę powierzchni. Ziarna pyłu osadzają się równomiernie na powierzchni włókien. Zmniejsza się porowatość przegrody i istnieje możliwość odrywania się już osadzonych ziaren pod działaniem strumienia przepływającego płynu. Z tego względu proces filtracji aerozolu ma charakter stochastyczny, trudny do opisanie ilościowego oraz jakościowego i dlatego badania eksperymentalne przegród filtracyjnych są najbardziej wiarygodną metodą badawczą [4, 9, 10, 13, 14].

Przy małych prędkościach filtracji ziarna pyłu nie przemieszczają się w głąb przegrody, lecz osadzają się równomiernie na powierzchni włókien znajdujących się bliżej strony wlotowej przegrody. Wraz z napływem kolejnych ziaren pyłu następuje osadzanie się zanieczyszczeń na wcześniej zatrzymanych ziarnach. Tworzące się aglomeraty o znacznych rozmiarach zapełniają wolne przestrzenie między włóknami, blokując tym samym napływ ziaren w głąb materiału filtracyjnego (rys. 17). Dlatego przestrzeń filtracyjna położona głębiej nie jest wykorzystana, co skutkuje mniejszą wartością współczynnika chłonności pyłu k_m .

Tworzenie się kolejnych warstw pyłu na powierzchni włókien powoduje zmianę warunków przepływu aerozolu. Zmniejszają się odległości między powierzchniami

włókien obłożonych pyłem (zmniejsza się porowatość przegrody), co powoduje wzrost prędkości przepływu, a w konsekwencji rosną opory przepływu hydrodynamicznego w warstwie filtracyjnej oraz zdolności filtracyjnej warstwy: wzrasta skuteczność i dokładność filtracji.



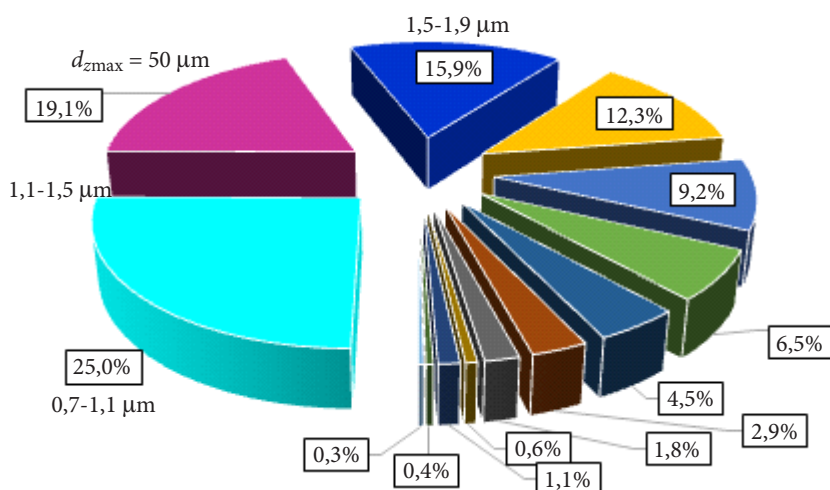
Rys. 18. Kolejne etapy zmiany struktury materiału filtracyjnego w czasie eksploatacji — przepływ aerozolu z małą prędkością filtracji: a) rozpoczęcie eksploatacji filtra nowego; b i c) okres eksploatacji; d) osiągnięcie oporu dopuszczalnego — wymiana wkładu

Przy dużych prędkościach filtracji ziarna pyłu, mając większą energię kinetyczną, przemieszczają się w głąb przegrody i osadzają się na powierzchni włókien całej przegrody. Wraz z napływem kolejnych ziaren pyłu następuje osadzanie się zanieczyszczeń na wcześniej zatrzymanych ziarnach. Następuje równomierne wypełnianie przestrzeni między wszystkimi włóknami warstwy filtracyjnej. Tym samym zostaje wykorzystana cała przestrzeń filtracyjna, a zatrzymana masa pyłu jest większa, co nie tylko przekłada się bezpośrednio na większy współczynnik chłonności pyłu k_m , który przyjmuje coraz większe wartości, lecz także opory przepływu znacznie wzrastają. Zmniejszająca się porowatość przegrody jest przyczyną wzrostu oporu przepływu filtra przy utrzymującej się na wysokim poziomie skuteczności i dokładności filtracji. Opór przepływu Δp_f może wzrosnąć do wartości kilkakrotnie przewyższającej jego opór początkowy. W zaistniałej sytuacji siły odrywające (spowodowane wytworzonym podciśnieniem) mogą przekroczyć siły przyczepności ziaren do podłoża i nastąpić może zjawisko lawinowego odrywania aglomeratów pyłu i zasysanie go wraz z powietrzem do cylindrów silnika.

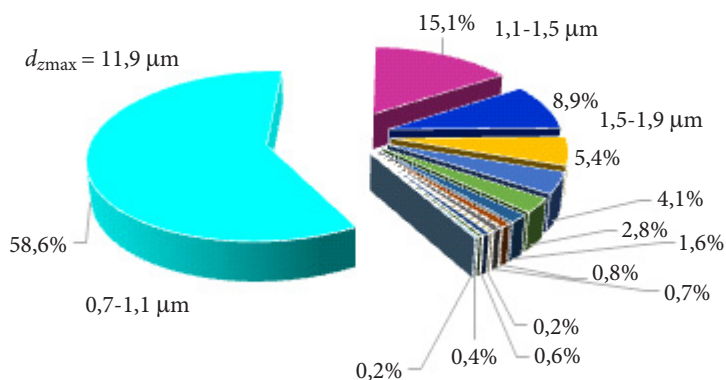
Liczbę ziaren pyłu znajdujących się w powietrzu za badanym filtrem (przepuszczanych przez materiał filtracyjny) zarejestrowano licznikiem cząstek firmy *Pamas 2132* w ustalonych przedziałach pomiarowych. Wyniki pomiarów dla charakterystycznych punktów pracy filtra badanego z prędkością $v_{F2} = 0,32$ m/s przedstawiono na rysunkach 19-21. Wraz z upływem czasu pracy filtra sportowego (wzrostu współczynnika chłonności pyłu) procentowy udział ziaren pyłu o rozmiarach $d_{zmax} = 0,7 \div 1,1$ μm przyjmuje coraz większe wartości. Dla pierwszego pomiaru ich udział wynosi $U_{z2(I)} = 6,2\%$, dla pomiaru nr VI $U_{z2(VI)} = 25,0\%$, dla pomiaru nr XIII

ma wartość $U_{z2(XIII)} = 58,6\%$. Dla pomiaru ostatniego (nr XIX), przy którym filtr osiąga maksymalną skuteczność, udział $U_{z2(XIX)} = 72,0\%$. Dla pozostałych przedziałów wymiarowych, czyli powyżej $1,1 \mu\text{m}$, obserwuje się zjawisko odwrotne — procentowy udział ziaren pyłu wraz z upływem czasu pracy filtru maleje. Znaczący to, że ziarna pyłu większych rozmiarów zatrzymywane są przez złożę z coraz większą skutecznością, stąd ich liczba w całkowitej masie pyłu z filtrem maleje.

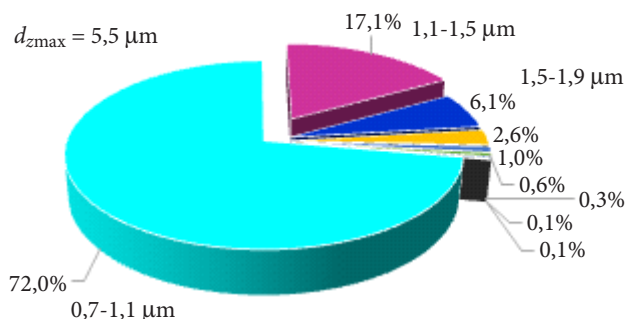
Z przedstawionych badań wynika, że znaczna część pracy filtrów sportowych charakteryzują się tym, że w powietrzu za filtrem znajdują się ziarna pyłu o dużych rozmiarach $d_{z\text{max}} = 10, 50 \mu\text{m}$, a więc ziarna, które powodują intensywne zużycie silnika. Ziarna pyłu o największych rozmiarach ($d_{z\text{max}} = 50 \mu\text{m}$) znajdują się w powietrzu



Rys. 19. Skład granulometryczny ziaren pyłu w powietrzu za filtrem sportowym badanym przy $v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$ po osiągnięciu współczynnika chłonności pyłu $k_{m2} = 178 \text{ g/m}^2$ (pomiar nr VI)



Rys. 20. Skład granulometryczny ziaren pyłu w powietrzu za filtrem sportowym badanym przy $v_{F2} = 0,32 \text{ m/s}$ po osiągnięciu współczynnika chłonności pyłu $k_{m2} = 600 \text{ g/m}^2$ (pomiar nr XIII)



Rys. 21. Skład granulometryczny ziaren pyłu w powietrzu za filtrem sportowym badanym przy $v_{F2} = 0,32$ m/s po osiągnięciu współczynnika chłonności pyłu $k_{m2} = 1043$ g/m² i skuteczności filtracji maksymalnej $\varphi_{fmax} = 92,7\%$ (pomiar nr XIX)

za filtrem w I etapie jego pracy. Dla filtru samochodu sportowego badanego przy prędkości filtracji $v_{F2} = 0,32$ m/s pierwszy okres pracy jest dwukrotnie krótszy, a dokładność filtracji d_{zmax} oraz skuteczność filtracji φ_{fmax} jest wyższa niż dla filtru badanego przy $v_F = 0,16$ m/s. Współczynnik chłonności dla filtru badanego z większą prędkością jest również większy i wynosi $k_{m2} = 1044$ g/m² (dla $v_{F2} = 0,32$ m/s) oraz $k_{m1} = 728$ g/m² (dla $v_{F1} = 0,16$ m/s).

6. Podsumowanie

Filtry powietrza stosowane w samochodach sportowych — „filtry sportowe” — charakteryzują się znacznie mniejszymi oporami przepływu ($0,4 \div 0,5$ kPa) niż filtry standardowe (fabryczne) samochodów osobowych ($1,8 \div 2,0$ kPa), co wynika z ich konstrukcji i stosowanego materiału filtracyjnego. Wkład filtracyjny filtru standardowego wykonany jest z papieru filtracyjnego o dużej gęstości upakowania charakteryzującego się dużą skutecznością ($\varphi_f = 99,5 \div 99,9\%$) i dokładnością filtracji $d_{zmax} = 2 \div 5$ μm. Materiał filtracyjny filtrów stożkowych ma bardzo luźną strukturę, czego wynikiem są małe opory przepływu, ale też uzyskiwane w czasie badań niskie wartości skuteczności $\varphi_f = 82 \div 92\%$ i dokładności filtracji, zależne od prędkości filtracji. W początkowym okresie pracy w powietrzu za badanymi filtrami znajdowały się ziarna pyłu o rozmiarach $d_{zmax} = 50$ μm, a w zasadniczym etapie filtru o rozmiarach $d_{zmax} = 5,5 \div 23,9$ μm. Niska skuteczność filtracji w początkowym okresie pracy filtru (na przykład po wymianie zanieczyszczonego wkładu filtracyjnego na nowy) oraz znajdujące się w powietrzu wlotowym do silnika ziarna pyłu znacznych rozmiarów ($d_{zmax} = 50$ μm) mogą mieć duży wpływ na przyspieszone zużycie silnika, głównie skojarzenia T-P-C.

Stosowanie do filtracji powietrza wlotowego silnika samochodu osobowego filtru sportowego zakłóca zjawisko doładowania dynamicznego silnika z wykorzystaniem

zjawisk falowych i dlatego w niektórych silnikach zauważa się spadek mocy, zamiast oczekiwanego wzrostu.

Badane filtry sportowe charakteryzują się dużą chłonnością pyłu, czego dowodem jest uzyskana wartość współczynnika chłonności pyłu $k_{\max} = 860 \div 1044 \text{ g/m}^2$, czterokrotnie większa niż papieru filtracyjnego. Jest to na pewno duża zaleta tych filtrów, jednak osiągnięte niskie skuteczności i dokładności filtracji nie predestynują filtrów sportowych do stosowania w układach dolotowych silników samochodów osobowych.

Źródło finansowania: Praca Badawcza Statutowa PBS 935/WAT/2016.

Artykuł wpłynął do redakcji 25.04.2017 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 6.07.2017 r.

LITERATURA

- [1] BACZEWSKI K., HEBDA M., *Filtracja płynów eksploatacyjnych*, MCNEM, Radom, 1991/1992.
- [2] DZIUBAK T., *Zanieczyszczenia płynów eksploatacyjnych i ich wpływ na zużycie elementów silnika spalinowego pojazdu mechanicznego*, Archiwum Motoryzacji, tom 72, nr 2, 2016.
- [3] DZIUBAK T., SZWEDKOWICZ S., *Właściwości eksploatacyjne włókninowych przegród filtracyjnych powietrza wlotowego silników spalinowych pracujących w układach jedno- i dwustopniowych*, Eksploatacja i Niezawodność, vol. 17, no. 4, 2015.
- [4] DZIUBAK T., SZWEDKOWICZ S., *Badania eksperymentalne papieru filtracyjnego pracującego w systemie „cyklon — przegroda porowata”*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 62, nr 1, 2013.
- [5] DZIUBAK T., *Filtracja powietrza wlotowego do silników spalinowych pojazdów mechanicznych*, WAT, Warszawa, 2012.
- [6] DZIUBAK T., *Problemy filtracji powietrza wlotowego do silników spalinowych pojazdów mechanicznych*, Logistyka, nr 06, 2010.
- [7] DZIUBAK T., *Analiza właściwości filtracyjnych filtrów powietrza silników samochodów sportowych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 58, nr 2, 2009.
- [8] DZIUBAK T., *Problemy filtracji powietrza zasysanego do spalinowych silników pojazdów mechanicznych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 55, nr 3, 2006.
- [9] GERALD LIU Z., THUROW E.M., PARDUE B.A., WOSIKOWSKI T.J., *Effect of Nano-Filtered Intake Air on Diesel Particulate Matter Emissions*, Fleetguard/Nelson and Cummins Company, 2004.
- [10] JAROSZCZYK T., FALLON S.F., PARDUE B.A., *Analysis of Engine Air Cleaner Efficiency For Different Size Dust Distributions*, Fluid/Particle Separation Journal, vol. 14, no. 2.
- [11] MYSŁOWSKI J., *Doładowanie silników*, WKŁ, Warszawa, 2011.
- [12] MYSŁOWSKI J., *Doładowanie bezsprężarkowe silników z zapłonem samoczynnym*, WN T, Warszawa, 1995.
- [13] ROWLANDS M., SCHNIEDERS I., HEINZ B., *Route to High Performance Filter Media*, Hollingsworth & Vose Company, 2015.
- [14] TRAUTMANN P., DURST M., PELZ A., MOSER N., *High Performance Nanofibre Coated Filter Media for Engine Intake Air Filtration*, AFS 2005 Conference and Expo, April 10-13, 2005.
- [15] YENDZHEYOVSKYY Y., *Analiza właściwości eksploatacyjnych filtrów powietrza wlotowego silników samochodów sportowych*, praca inżynierska, WAT, Warszawa, 2017.

- [16] <http://renaultsport-clio.blogspot.com/2006/09/bmc-cda-carbon-fibre-intake-air-filter.html>. Data dostępu 4.03.2017.
- [17] <http://www.bmcairfilters.com/eng/air-intake-systems/cda-carbon-dynamic-airbox/4/c2>. Data dostępu 4.03.2017.
- [18] <http://www.alfaclub.pl/test-filtrow-powietrza.html>. Data dostępu 24.03.2017.
- [19] <http://www.knfilters.com/> Data dostępu 21.03.2017.
- [20] <http://www.bmcairfilters.com/>. Data dostępu 21.03.2017.
- [21] <http://www.iparts.pl/producenti/filtr-powietrza,kn-filters,305-100260.html>. Data dostępu 12.02.2017.
- [22] https://www.google.pl/search?q=filtry+sportowe+k%26n&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjcxPr8u6PTAhVGJlAKHU7YB7cQ_AUICCGB&biw=1280&bih=894. Data dostępu 12.02.2017.
- [23] http://www.motobracia.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=379:jak-wyczyci-filtr-powietrza-kan-&catid=43:warsztat&Itemid=90. Data dostępu 4.07.2017.
- [24] <https://www.drive2.ru/b/230072/>. Data dostępu 4.07.2017.

T. DZIUBAK, Y. YENDZHEYOVSKYY

Operating properties of air inlet filters in a sports car engine

Abstract. There are presented design solutions and operation properties of air inlet filters of motor vehicles and sports cars. An analysis of the impact of the use of a sports car air filter in a passenger car was performed. The effect of this change on the increase in power and torque in several car engines was shown. The conditions and methodology of sports car air filter studies have been developed. A research stand with a particle counter was presented. The test results on the characteristics of efficiency and accuracy filtration and flow resistance of two sports air filters were presented. Each filter was tested at a different filtration rate. The dust absorption coefficient of the sport filter was determined. The dust particle fraction in the air purified behind the filter was calculated.

Keywords: engine, air filter, sports filter, filtration efficiency and filtration accuracy, flow resistance, dust absorption coefficient, particle size

DOI: 10.5604/01.3001.0010.1894

