

PROBLEMY FILTRACJI POWIETRZA WLOTOWEGO DO SILNIKÓW SPALINOWYCH

TADEUSZ DZIUBAK

Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
tdziubak@wat.edu.pl

Streszczenie

Przeprowadzono analizę wpływu rozmiarów ziaren pyłu drogowego i stężenia zapylenia powietrza na prędkość zużycia ściernego elementów tłokowego silnika spalinowego i jego trwałość. Przedstawiono wpływ nadmiernego zużycia elementów skojarzenia T-P-C na spadek mocy silnika. Pokazano erozyjny charakter zużycia elementów silnika turbinowego oraz wpływ rozmiarów ziaren pyłu drogowego i stężenia zapylenia powietrza na trwałość silnika turbinowego. Omówiono wpływ zużycia erozyjnego i osadów pyłowych na moc silnika turbinowego. Przeanalizowano wpływ masy pyłu zatrzymanej przez filtr przegrodowy na zmianę jego charakterystyk skuteczności i oporów przepływu oraz wpływ oporu przepływu filtru powietrza na zmianę parametrów pracy tłokowego silnika spalinowego. Zdefiniowano pojęcie dopuszczalnego oporu przepływu filtru powietrza i przedstawiono jego wartości.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, filtr powietrza, zanieczyszczenia powietrza, zużycie ściernie i erozyjne, opór filtru powietrza, spadek mocy

1. WPROWADZENIE

Powszechnym szkodliwym dla eksploatowanych urządzeń technicznych zanieczyszczeniem powietrza jest pył drogowy, który unoszony jest z powierzchni ziemi podczas ruchu pojazdów mechanicznych lub przez wiatr, tworząc zawiesinę w powietrzu, skąd następnie zasysany jest wraz z powietrzem do wnętrza silników powodując przyspieszone zużycie skojarzeń pracujących tarciovo. Krzemionka (SiO_2) oraz korund (Al_2O_3) to minerały, których całkowita zawartość w pyłe dochodzi do 95%, a twardość znacznie przewyższa materiały konstrukcyjne stosowane w budowie silników, decyduje o intensywności zużycia. Masa pyłu zassana wraz z powietrzem wlotowym uwarunkowana jest w znacznym stopniu od stężenia zapylenia powietrza, które jest wielkością zmienną i zależy od bardzo wielu czynników. Na wartość stężenia zapylenia powietrza wokół poruszającego się pojazdu mają wpływ: rodzaj podłoża, ruch innych pojazdów, warunki poruszania się pojazdu, warunki meteorologiczne, rodzaj układu jezdnego, wysokość nad powierzchnią ziemi. Stężenia zapylenia powietrza w otoczeniu przemieszczających się kolumn ciężkich pojazdów po suchych polnych drogach lub bezdrożach są porównywalne z otoczeniem startujących lub lądujących na „przygodnych” lądowiskach śmigłowców bojowych, sanitarnych lub ratowniczych. Stąd potrzeba zainteresowania i przybliżenia problematyki odpylania powietrza wlotowego do turbinowych silników śmigłowcowych, ale i tłokowych silników samolotów dyspozycyjnych, sportowych, a także moto- i paralołtni.

Do filtracji powietrza wlotowego spalinowych silników tłokowych są stosowane głównie papierowe przegrody porowate w postaci panelowych lub cylindrycznych wkładów filtracyjnych. Cechą charakterystyczną filtrów przegrodowych jest zatrzymywanie i osadzanie się ziaren pyłu na wkładzie filtracyjnym, co powoduje wzrost oporu przepływu filtra Δp_f , a w konsekwencji spadek napęnienia i mocy silnika. W związku z tym filtr powietrza ma określoną wartość dopuszczalnego oporu przepływu $\Delta p_f = \Delta p_{fdop}$ wynikającą z istniejącego konstrukcyjnego ograniczenia strat mocy na pokonanie oporów przepływu na dolocie.

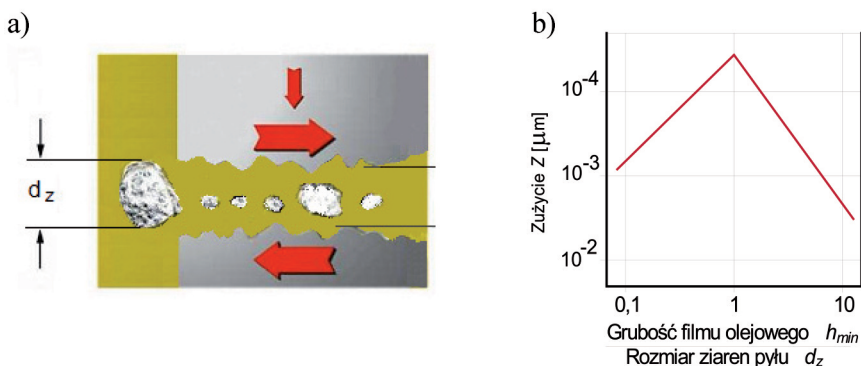
2. WPŁYW PYŁU NA ZUŻYCIE ELEMENTÓW SILNIKA

Podczas eksploatacji silników spalinowych wraz z powietrzem do ich wnętrza przedostają się znaczne ilości zanieczyszczeń. Są to najczęściej ziarna pyłu twardych minerałów. Wraz z paliwem i olejem do cylindrów silnika przedostają się także zanieczyszczenia, ale ich ilość jest znacznie mniejsza.

Część zanieczyszczeń powietrza, które dostaje się do cylindrów silnika tłokowego przez układ zasilania powietrzem jest spalana, część jest usuwana wraz ze spalinami. Na ściankach tulei cylindrowej osiada tylko 1020% pyłu, który dostaje się do silnika przez układ dolotowy. Ta część pyłu tworzy wraz z olejem rodzaj pasty ścierniej, która w zetknięciu z powierzchniami skojarzenia tłok-pierścienie tłokowe-cylinder (T-P-C) niszczy ich strukturę. W wyniku ruchu tłoka w kierunku DMP pierścienie zgarniają olej z gładzi cylindrowej wraz z zanieczyszczeniami do miski olejowej. Po przedostaniu się do układu smarowania zanieczyszczenia rozprawdane są przez instalację olejową do tych obszarów tribologicznych silnika, które są smarowane olejem, na przykład do skojarzeń: czop-panewka wału korbowego, czop-panewka wałka rozrządu, prowadnica zaworu-trzonek zaworu, powodując ich przyspieszone zużycie. Do zużycia ściernego dochodzi wtedy, gdy twarde ciała obce dostają się pomiędzy dwie współpracujące powierzchnie, wbijając się na różne głębokości, doprowadzając do odkształcenia i skrawania mikroobjętości warstw wierzchnich współpracujących elementów. Dominuje pogląd, że największe zużycie powodują ziarna pyłu o rozmiarach d_z równych minimalnej h_{min} grubości warstwy oleju potrzebnej do utworzenia klina smarnego między powierzchniami współpracującymi, czyli gdy zachodzi następująca zależność:

$$\frac{h_{min}}{d_z} = 1. \quad (1)$$

Dla każdej innej wartości ilorazu h_{min}/d_z zużycie skojarzenia maleje (rys. 1b) [10].



Rys. 1. Wpływ grubości filmu olejowego na zużycie skojarzenia: a) działanie cząstek stałych na parę tribologiczną, b) zależność zużycia skojarzenia od ilorazu h_{min}/d_z [10]

Minimalna grubość filmu olejowego h_{min} między dwoma współpracującymi tarciowo powierzchniami jest wprost proporcjonalna do lepkości oleju η zależnej od temperatury, współczynnika C zależnego od wymiarów łożyska, prędkości względnej smarowanych powierzchni v , a odwrotnie proporcjonalna do siły obciążającej P i wyraża się ogólną zależnością [2]:

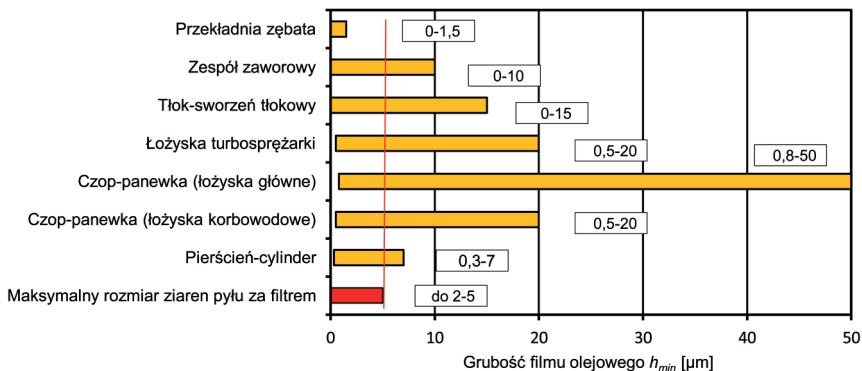
$$h_{min} = \eta \cdot \frac{C \cdot v}{P}. \quad (2)$$

Dla ustalonych warunków pracy silnika grubość filmu olejowego h_{min} zmienia się cyklicznie w obszarze skojarzeń tribologicznych w zależności od kąta obrotu wału korbowego. Między tuleją cylindrową a pierścieniami tłokowymi grubość filmu olejowego zdeterminowana jest prędkością tłoka. Zmiana kierunku ruchu tłoka w skrajnych położeniach tulei cylindrowej powoduje, że jego prędkość w tym obszarze jest najmniejsza, a w DMP i GMP równa zero, co prowadzi do ograniczania filmu olejowego lub jego całkowitego zaniku (smarowanie graniczne). W związku z tym mogą występować okresy nawet bezpośredniego metalicznego styku pomiędzy pierścieniem tłokowym a tuleją.

W tych warunkach teoretycznie każda cząstka o dowolnie małych rozmiarach może powodować zużycie. W wyniku zmian grubość filmu olejowego ziarna pyłu, które znalazły się między współpracującymi powierzchniami ulegają kruszeniu i rozdrobnieniu i mogą wnikać między dwie powierzchnie współpracujące tarciowo, gdzie grubość filmu olejowego przyjmuje małe wartości. Uważa się, że agresywność ścierna pyłu maleje w przypadku, gdy rozmiary ziaren pyłu są mniejsze niż 5 μm . Taką wartość uważa się za górną dopuszczalną wielkość ziaren pyłu, które mogą być przepuszczane przez filtry powietrza, paliwa i oleju [13, 20].

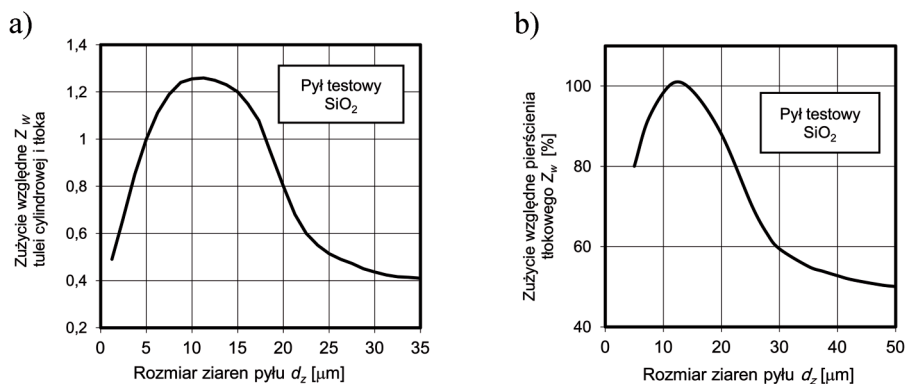
Grubości filmu olejowego w typowych skojarzeniach silnika spalinowego podana przez autorów prac [4, 10] przyjmuje zróżnicowane wartości (rys. 2). Widać wyraźnie, że nawet najmniejsze ziarna pyłu i te poniżej $2\div 5 \mu\text{m}$, będą powodowały przyspieszone zużycie. Dlatego podejmowane prace nad zwiększeniem dokładności filtracji ziaren pyłu z tego zakresu jak na przykład poprzez stosowanie przegród filtracyjnych z nanowłókien [12, 20].

Pył dostający się wraz z powietrzem do cylindrów silnika najintensywniej oddziałuje na pierwszy pierścień tłokowy, tłok oraz górną część cylindra. Wpływ parametrów pyłu zasysanego wraz z powietrzem do silnika na wartość zużycia rozpatrywany jest w stosunku do zużycia właśnie tych elementów silnika [1, 2, 19]. Wartość ich zużycia określa się głównie podczas badań eksperymentalnych na rzeczywistych silnikach. Ze względu na duże trudności w realizacji takich badań, w dostępnej literaturze spotyka się nieliczne i cząstkowe ich rezultaty, głównie dotyczące wpływu trzech parametrów pyłu (rozmiar ziaren, stężenie pyłu i twardość ziaren) na przyspieszone zużycie pierwszego pierścienia tłokowego, tłoka oraz górnej części cylindra.



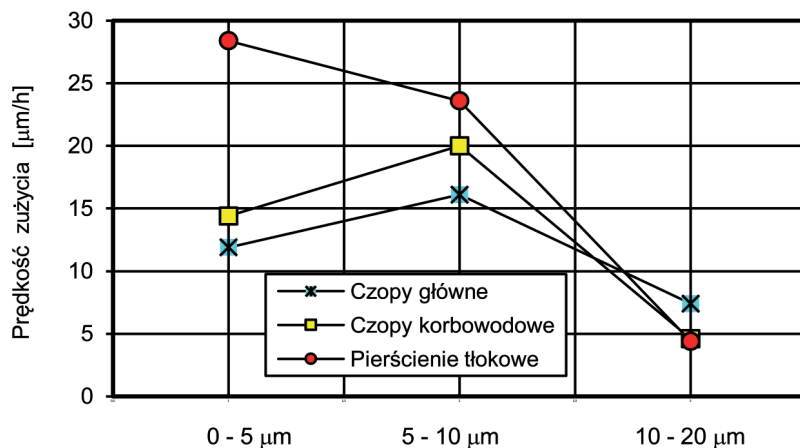
Rys. 2. Grubości filmu olejowego w typowych skojarzeniach silnika spalinowego [4]

Rozmiar ziaren pyłu pozostaje w ścisłej zależności z wielkością zużycia powierzchni współpracujących tarciowo. Autor pracy [17] wykazuje tę zależność pomiędzy wymiarami ziaren SiO_2 w zasysanym do silnika powietrzu, a wielkością zużycia tulei cylindrowej i tłoka.



Rys. 3. Wpływ rozmiarów ziaren pyłu SiO_2 na zużycie względne: a) tulei cylindrowej [17], tłoka, b) pierścienia tłokowego [2]

Wszystkie ziarna pyłu powyżej 1 m powodują zwiększone zużycie, jednak największy efekt ścierny występuje przy wielkości ziaren $5 \div 17 \mu\text{m}$ (rys. 3a). Podobny charakter zużycia, w tym przypadku górnego pierścienia tłokowego silnika o ZS, przedstawia rys. 3b. Największy efekt ścierny tego pierścienia stwierdzono dla ziaren z zakresu $7 \div 20 \mu\text{m}$ [2].

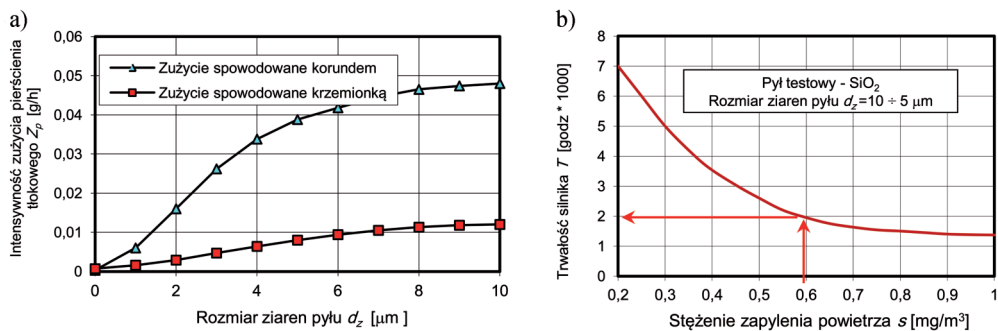


Rys. 4. Wpływ rozmiarów ziaren pyłu na prędkość zużycia elementów silnika o ZS [4]

Z przedstawionych na rysunku 4 danych wynika, że największe wartości prędkości zużycia powierzchni czopów głównych i korbwodowych silnika o ZS spowodowane są ziarnami pyłu o rozmiarach $5 \div 10 \mu\text{m}$, natomiast ziarna pyłu rozmiarach $0 \div 5 \mu\text{m}$ są przyczyną zwiększonego zużycia pierścieni tłokowych tego silnika [4].

Jeżeli do cylindrów silnika przedostaje się pył wraz z paliwem, to charakter zużycia elementów skojarzenia TPC jest taki sam, jak w przypadku gdy silnik zasysał pył wraz z powietrzem. Obecnie uważa się, że wszystkie ziarna pyłu powyżej 1 m powodują przyspieszone zużycie powierzchni współpracujących silnika.

Rysunek 5 przedstawia zależność pomiędzy trwałością silnika wysokoprężnego firmy Csepel, a ilością zasysanego wraz z powietrzem pyłu SiO_2 o wymiarach $10 \div 15 \mu\text{m}$ [17]. Jeżeli do silnika dostaje się pył o stężeniu $0,2 \text{ mg/m}^3$, to trwałość silnika (rozumiana jest tutaj jako liczba przejechanych kilometrów lub godzin pracy silnika do określonej granicy zużycia) wynosi 7000 godzin. Jeżeli masa zasysanego pyłu wzrasta trzykrotnie, to trwałość silnika spada do około 2000 godzin.



Rys. 5. Zależność: a) zużycia pierścienia tłokowego od rozmiarów ziaren pyłu różnej twardości na [2], b) trwałości silnika od stężenia zapylenia powietrza [17]

Przedstawione rezultaty badań wpływu parametrów pyłu na intensywność zużycia mają skąpy opis warunków, w jakich je przeprowadzono, na przykład: brak stężenia pyłu, czasu badań, obciążenia silnika. Nie określa się stanu technicznego silnika ani rodzaju materiału, z którego wykonane były elementy skojarzenia T-P-C. W związku z tym wyniki powyższych badań nie mogą być uogólniane dla innych typów silników, niemniej pokazują istnienie pewnego zakresu rozmiarów ziaren pyłu szczególnie niebezpiecznych dla dwóch współpracujących tarciowo elementów silnika.

Bardziej wiarygodne są badania wykonywane w rzeczywistych warunkach eksploatacji [1, 19]. Badania pojazdów Kamaz wyposażonych w filtr z wkładem papierowym wykazały, że intensywność zużycia tulei cylindrowych w GMP (na poziomie pierwszego pierścienia tłokowego) miała średnią wartość $1,6 \mu\text{m}/1000 \text{ km}$ gdy pojazdy były eksploatowane po drogach nieutwardzonych (przy transporcie rudy żelaza) i $0,27 \mu\text{m}/1000 \text{ km}$, a więc 6 razy mniej, gdy pojazdy były eksploatowane na drogach asfaltowych [22]. Natomiast intensywność zużycia tulei cylindrowych w GMP (na poziomie pierwszego pierścienia tłokowego) wynosiła średnio $1,38 \mu\text{m}/1000 \text{ km}$ przebiegu silników pojazdów eksploatowanych w warunkach pustyni piaskowej i wyposażonych w filtr dwustopniowy z wkładem papierowym oraz $3,8 \mu\text{m}/1000 \text{ km}$ przebiegu dla silników wyposażonych w filtr bezwładnościowo-wyplukujący, czyli mający mniejszą skuteczność filtracji [19].

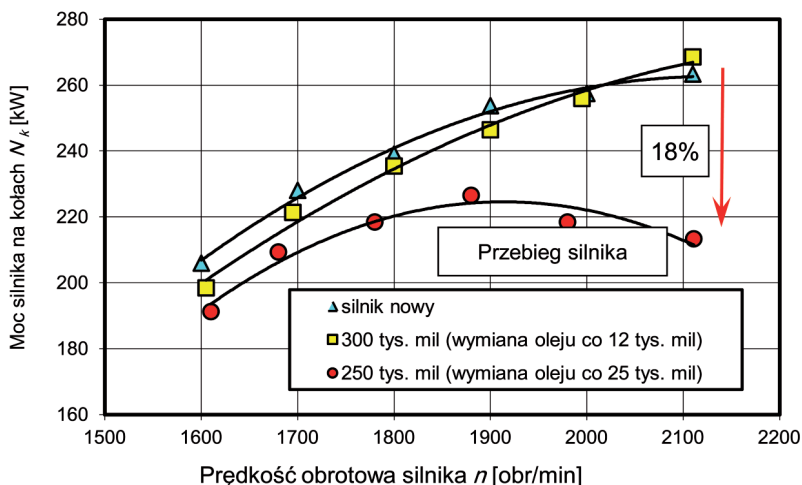
Opisane na przykładzie skojarzenia T-P-C procesy zużycia ściernego występują także podczas pracy elementów precyzyjnych układów wtryskowych. Ze względu na powszechne stosowanie w latach poprzednich pomp wtryskowych rządowych dobrze rozpoznane są procesy zużycia ściernego ich elementów precyzyjnych. Elementy tłoczące wykonane są z dużą dokładnością – luz między tłoczkiem a cylinderkiem wynosi $1,52,5 \mu\text{m}$.

2. WPLYW NADMIERNEGO ZUŻYCIA ELEMENTÓW SILNIKA NA JEGO PRACĘ

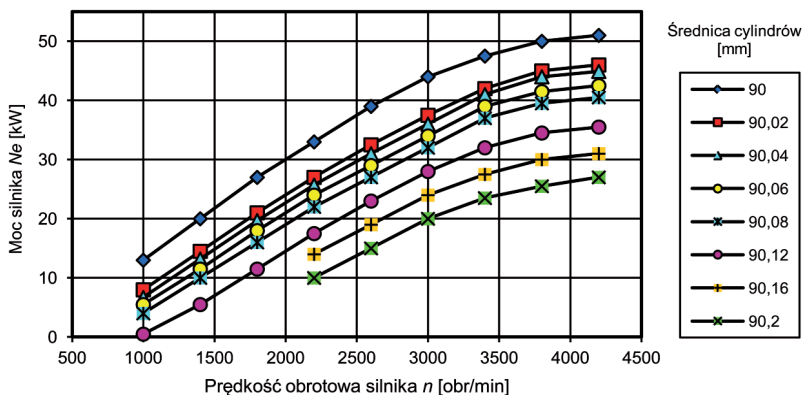
W wyniku zachodzących w skojarzeniach współpracujących tarciowo procesów zużyciowych intensyfikowanych obecnością ziaren pyłu następuje powiększanie się luzów, co negatywnie wpływa na pracę silnika. Zużycie tulei cylindrowej i współpracujących pierścieni tłokowych powoduje ubytek

sprężanego czynnika, a tym samym spadek ciśnienia w końcu suwu sprężania. W konsekwencji następuje spadek mocy silnika i wzrost jednostkowego zużycia paliwa. Nadmierny w skojarzeniu T-P-C luz jest przyczyną zwiększonego przepływu gazów spalinowych do miski olejowej, co powoduje wzrost temperatury oleju smarującego, spadek jego właściwości smarnych oraz wydmuchiwanie oleju przez gazy spalinowe, w efekcie następuje zanik „klinu smarnego” w wyniku, czego układ przechodzi z warunków tarcia płynnego w tarcie graniczne. W silniku Cummins N 14, w którym wymianę oleju wykonywano cyklicznie, co 25 tys. mil, zarejestrowano ponad 18% spadek mocy w stosunku do silnika nowego i silnika, gdzie wymianę oleju wykonywano dwukrotnie częściej (rys. 6) [10].

Wraz z wymianą oleju usuwano zanieczyszczenia, które były przyczyną przyspieszonego zużycie elementów skojarzenia T-P-C. Jednym ze składników zanieczyszczeń oleju jest pył mineralny o małych rozmiarach (poniżej $2\div 5\ \mu\text{m}$) przedostający się przez filtr wraz z powietrzem wlotowym do cylindrów silnika, a następnie do miski olejowej. Wymiana oleju z mniejszą częstotliwością powodowała kumulację zanieczyszczeń mineralnych, co skutkowało zwiększonym zużyciem skojarzenia T-P-C i spadkiem mocy.



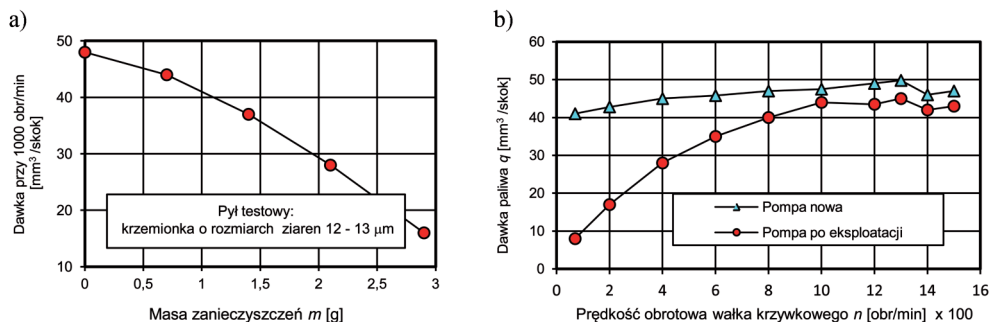
Rys. 6. Zmiana mocy silnika Cummins N14 nowego i po różnych przebiegach pojazdu z wymianą oleju, co 12 tys. i 25 tys. mil [10]



Rys. 7. Zmiana mocy silnika o ZS 4C90 pojazdu dla różnych wartości modelowanego zużycia tulei cylindrowych (warunki badań: średnice tłoków $D = 89,960\ \text{mm}$, docieranie silnika około 60 min, wzorcowa głowica, wzorcowa pompa wtryskowa i wtryskiwacze) [18]

W silniku o ZS 4C90 samochodu Lublin, w którym nieszczelność skojarzenia T-P-C uzyskano modelując zużycie przez obróbkę mechaniczną tulei cylindrów, polegającą na stopniowym, równomiernym zwiększeniu ich średnicy na całej długości tulei cylindrowej, od nominalnej 90,00 mm do granicznej 90,20 mm, zarejestrowano ponad 47% spadek mocy w stosunku do silnika nowego (rys. 7) [18].

W wyniku ściernego zużycia elementów tłoczących pompy wtryskowej zwiększa się luz między tłoczkiem a cylinderkiem, następuje zmiana geometrii, co powoduje zakłócenie procesu podawania paliwa, czego z kolei efektem jest zmniejszenie dawki paliwa (rys. 8a) i zmiana charakterystyki tłoczenia pompy wtryskowej (rys. 8b).



Rys. 8. Wpływ zanieczyszczeń zawartych w paliwie na: a) charakterystykę sekcji tłoczącej [21], charakterystykę tłoczenia klasycznej pompy wtryskowej nowej i po eksploatacji na pojeździe [2]

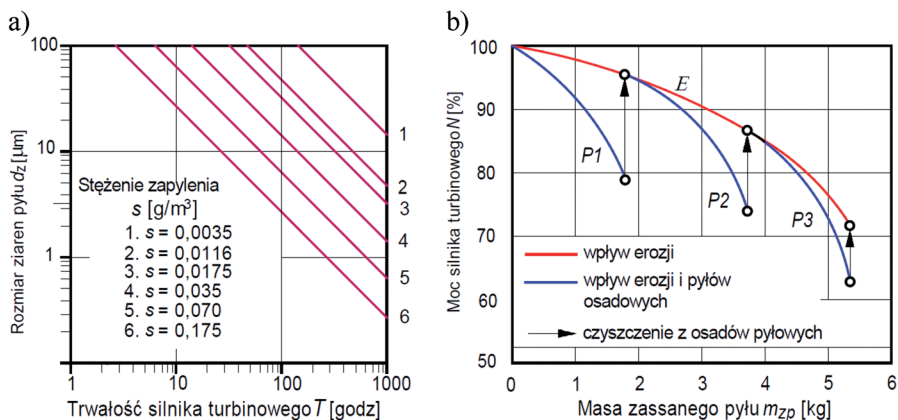
Z rysunku 8 wynika, że ustalona dla czystego paliwa dawka dla nowej sekcji o wielkości około 48 mm^3/skok , zmniejsza się sukcesywnie wraz ze wzrostem masy zanieczyszczeń zawartych w paliwie do wartości minimalnej około 17 mm^3/skok przy zawartości 2,9 g zanieczyszczeń [21]. Zanieczyszczenia zawarte w paliwie spowodowały takie zużycie sekcji pompy wtryskowej, że jej wydatek przy 1000 obr/min zmniejszył się w stosunku do wartości pierwotnej blisko trzykrotnie.

Zakłócenia w procesie podawania paliwa w wyniku zużycia precyzyjnych par aparatury wtryskowej, tj. sekcji tłoczących, zaworków odcinających i rozpylaczy, prowadzą do pogorszenia jakości procesu spalania i zwiększenie toksyczności spalin oraz dymienia. W konsekwencji zwiększa się jednostkowe zużycie paliwa oraz następuje spadek mocy silnika.

Nadmierne zużycie ściernego skojarzeń „czop-panewka” powoduje zwiększenie luzów, a w efekcie obniżenie ciśnienia smarowania będącego jednym z czynników decydujących o tworzeniu się klina smarnego w łożysku ślizgowym. Przy małych prędkościach obrotowych silnika i dużych obciążeniach może nastąpić zanik klina smarnego i wystąpienie tarcia suchego, a w konsekwencji zatarcie łożysk.

Mechanizm destrukcyjnego oddziaływania ziaren pyłu w silnikach turbinowych jest nieco inny niż w silnikach tłokowych. W silnikach turbinowych nie występują części w ruchu posuwisto-zwrotnym ani łożyska ślizgowe. Duże prędkości strumienia powietrza (150250 m/s) i spalin (ponad 300 m/s), duże prędkości obwodowe zespołów wirnikowych (200500 m/s) powodują, że ziarna pyłu nawet te o małych rozmiarach, w chwili kontaktu z opływającymi powierzchniami części konstrukcyjnych silnika turbinowego dysponują znaczną energią kinetyczną, z której wynika duża siła uderzeń ziaren [5]. Następuje przyspieszone zużycie wskutek wrywania mikrocząstek metalu z powierzchni części, naruszenie ich powierzchniowej struktury oraz kształtów geometrycznych. W konsekwencji następuje obniżenie sprawności i trwałości silnika.

Wraz ze wzrostem rozmiaru ziaren pyłu i stężenia zapylenia powietrza intensywność zużycia elementów silnika turbinowego rośnie, a tym samym jego trwałość maleje (rys. 9). O intensywności zużycia decydują twarde ziarna pyłu o nieregularnych ostrych krawędziach (np. SiO_2).



Rys. 9. Zależność trwałości międzyaprawczej silnika turbinowego od średnicy ziaren i stężenia zapylenia (a), wpływ erozji i osadów pyłowych na moc silnika turbinowego: E – wpływ erozji, P – wpływ sumaryczny erozja i osady [23] (b)

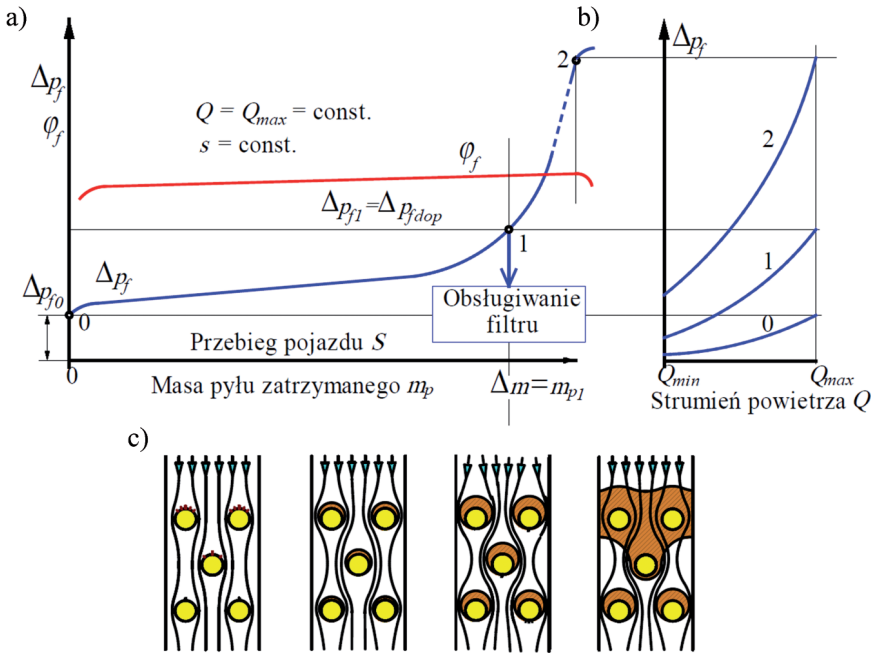
Erozja typu ściernego jest typowa dla łopatek wirników sprężarek osiowych i odśrodkowych. Powodują ją ziarna pyłu, które podczas przemieszczania się wzdłuż kanałów międzyłopatkowych wraz ze strumieniem powietrza dociskane są do roboczych powierzchni łopatek siłami aerodynamicznymi i siłami bezwładności. Jednocześnie z postępującym zużyciem erozyjnym występuje w silnikach turbinowych zjawisko tworzenia się osadów pyłowych, co wynika ze skłonności drobnych ziaren pyłu do osadzania się na powierzchniach ścianek kadłubów sprężarek, turbin i osłon komór spalania, wieńców kierownic stopni sprężarek osiowych (głównie ostatnich) oraz wieńców dyszowych turbin wytwornicowych (głównie pierwszych stopni). Skłonność do tworzenia osadów pyłowych wzmagają domieszki lepące w strumieniu gazu, np.: spaliny, mgła olejowa itp.

Osady pyłowe w sprężarkach nie mają struktury twardej, natomiast w komorach spalania i turbinach występują w postaci kruchych twardych warstw złożonych przede wszystkim z substancji nieorganicznych.

Osady pyłowe nie powodują zużywania się części zespołów silnika, lecz jedynie zmianę ich wymiarów geometrycznych, gładkości powierzchni i pogorszenie procesów wymiany ciepła. Jest to szczególnie istotne dla kanałów wymienników ciepła. Grubość warstwy tworzących osadów pyłowych zależy od masy pyłu zassanego przez silnik, czyli podobnie jak w przypadku erozji – od stężenia zapylenia i czasu pracy silnika w środowisku zapyłonym. Przyspieszone zużycie poszczególnych części i całych zespołów konstrukcyjnych silników turbinowych oraz tworzenie się osadów pyłowych powoduje równoległe pogorszenie charakterystyk mocy i zużycia paliwa. Okresowe usuwanie osadów pyłowych umożliwia ilościową oddzielną ocenę skutków oddziaływania erozyjnego i osadowego.

3. WPŁYW OPORU FILTRU POWIETRZA NA NAPEŁNIENIE SILNIKA I PARAMETRY JEGO PRACY

W czasie eksploatacji pojazdu, w wyniku przepływu przez filtr zanieczyszczonego powietrza następuje zatrzymywanie i osadzanie się ziaren pyłu na wkładzie filtracyjnym filtra przegrodowego, co powoduje zmianę charakterystyk filtrów powietrza: wzrost skuteczności filtracji φ oraz oporu przepływu filtra Δp_f . W konsekwencji wzrostu oporu filtra następuje spadek napełnienia i mocy silnika tłokowego. Powyższe zjawiska powodują, że charakterystyki filtrów powietrza są ze sobą wzajemnie powiązane i dlatego należy je rozpatrywać razem (rys. 10).



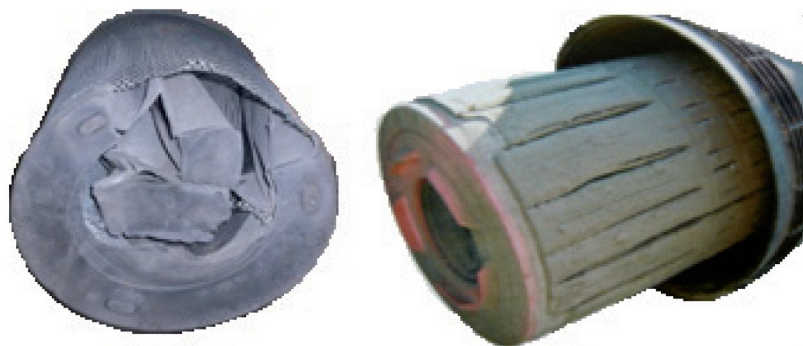
Rys. 10. Zmiany charakterystyk filtra przegrodowego w czasie eksploatacji: a) charakterystyka skuteczności $\varphi_f = f(m_p)$ i oporu przepływu $\Delta p_f = f(m_p)$, b) charakterystyki aerodynamiczne $\Delta p_f = f(Q)$ dla charakterystycznych stanów technicznych filtra: 0 – w chwili rozpoczęcia eksploatacji – Δp_{f0} , 1 – po osiągnięciu oporu dopuszczalnego $\Delta p_{f1} = \Delta p_{fdop}$, 2 – utrata właściwości filtracyjnych, c) zmiana struktury materiału filtracyjnego

Charakter i wartość tych zmian jest dla każdego typu filtra inna i zależy od struktury warstwy filtracyjnej, stężenia zapylenia powietrza, rozmiaru ziaren pyłu, prędkości przepływu powietrza przez filtr. W pracy filtra powietrza można wyróżnić dwa charakterystyczne okresy (rys. 10). W pierwszym okresie (0-1), wraz z wzrostem masy pyłu zatrzymanego w warstwie filtracyjnej, następuje powolny wzrost zarówno oporu Δp_f jak i skuteczności filtracji φ_f będący wynikiem zapełniania przestrzeni między włóknami.

W końcowej fazie pierwszego okresu pracy filtra następuje omal całkowite zapełnienie wolnych przestrzeni w przegrodzie porowatej, a tym samym wyczerpanie jego chłonności. Rozpoczyna się intensywny wzrost oporu przepływu, który w końcowej fazie pierwszego okresu pracy filtra osiąga zwykle wartość 2-3 krotnie większą niż wartość oporu początkowego Δp_{f0} danego filtra. Określa się go mianem oporu dopuszczalnego Δp_{fdop} . Jest to sygnał do zakończenia pracy filtra i poddaniu go obsłudze: wymianie wkładu filtracyjnego lub myciu złoża filtracyjnego.

Dalsza eksploatacja filtra bez wykonania czynności obsługowych jest możliwa, jednak z tego względu, że zatrzymywany pył gromadzony jest na powierzchni materiału filtracyjnego (rys. 10), następuje blokowanie przepływu powietrza. Dlatego drugi okres pracy filtra (1-2) charakteryzuje się gwałtownym wzrostem oporu przepływu przy utrzymującej się na wysokim poziomie skuteczności filtracji. W tym czasie opór przepływu Δp_f może wzrosnąć do wartości kilkakrotnie przewyższającej opór dopuszczalny. 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. W wyniku tego zjawiska opór przepływu filtra oraz skuteczność oczyszczania gwałtownie spada, a tym samym filtr traci częściowo właściwości filtracyjne (pkt. 2 rys. 10).

Występujące duże podciśnienie za filtrem oraz drgania wkładu filtracyjnego spowodowane pulsacjami zasysanego cyklicznie powietrza mogą być także przyczyną mechanicznego zniszczenia wkładu filtracyjnego (rys. 11).



Rys. 11. Skutki eksploatacji wkładu filtracyjnego po przekroczeniu oporu dopuszczalnego [opracowanie własne]

Z analizy przebiegu krzywych φ_f i Δp_f (rys. 12) wynika, że parametry pracy filtra przegrodowego ulegają zmianie wraz z ilością zatrzymanej masy pyłu m_p (czasu pracy filtra τ) i są ze sobą ściśle powiązane. Każdy wzrost skuteczności filtracji φ powoduje zmniejszenie ilości zanieczyszczeń przedostających się do silnika kosztem rosnącego oporu przepływu Δp_f filtra powietrza. Nadmierny wzrost Δp_f powoduje z kolei dodatkowe spadki mocy silnika. Efektywność filtracji jest, więc technicznym kompromisem skuteczności φ filtra powietrza i jego oporów przepływu Δp_f .

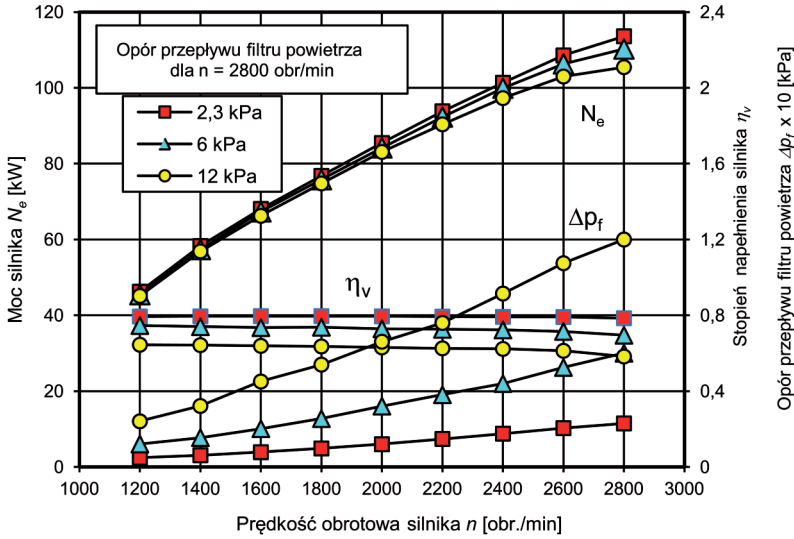
Wartość oporu dopuszczalnego Δp_{fdop} filtra powietrza dobierana jest indywidualnie dla każdego silnika i nie powinna być mniejsza niż wartość oporu wynikającego z warunku dopuszczalnego spadku mocy, który przy prędkości obrotowej mocy maksymalnej n_N silnika i przy 100% obciążeniu nie powinien być większy niż 3% (5%). Wartości dopuszczalnych oporów przepływu Δp_{fdop} filtrów powietrza silników pojazdów mechanicznych przyjmowane są, więc następująco:

- silniki samochodów osobowych 2,5÷4,0 kPa
- silniki samochodów ciężarowych 4÷7 kPa
- silniki wozów bojowych 10÷13 kPa.

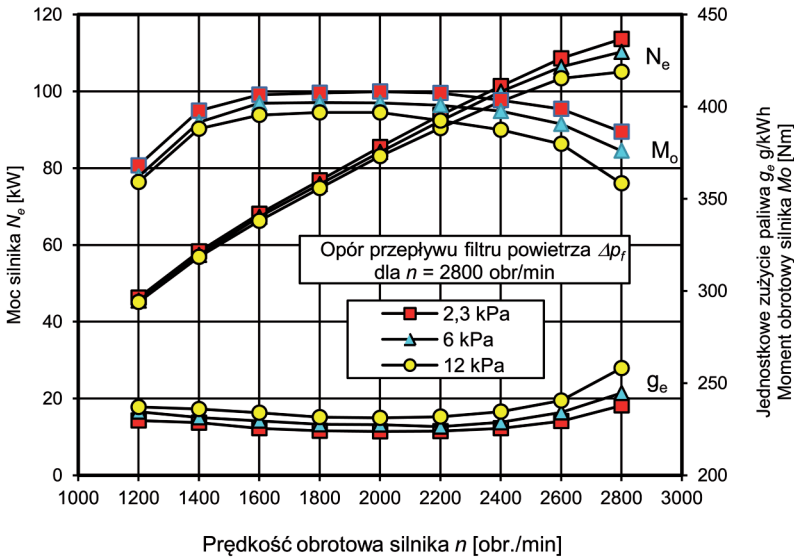
Na rysunku 12 przedstawiono zmiany charakterystyk napełnienia $\eta_v = f(n)$ i mocy $N_e = f(n)$ wolnossącego silnika 359M o ZS z klasycznym układem wtryskowym dla różnych oporów przepływu filtra powietrza. Przy prędkości obrotowej $n = 2800$ obr./min wartości oporów przepływu wynoszą odpowiednio: $\Delta p_{fo} = 2,3$ kPa, $\Delta p_{fdop} = 6$ kPa, $2\Delta p_{fdop} = 12$ kPa [8].

Wraz ze wzrostem wartości Δp_f charakterystyki napełnienia $\eta_v = f(n)$ przesunięte są niemal równoległe o stałe wartości. Niezależnie od oporu filtra powietrza dla niższych i średnich prędkości obrotowych stopień napełnienia przyjmuje niemal stałe wartości. Dla wyższych prędkości obrotowych zaznacza się nieznaczny spadek η_v , wynikający ze zwiększających się oporów przepływu spowodowanych wzrastającą prędkością przepływu powietrza. Jest to, więc typowy przebieg charakterystyki napełnienia $\eta_v = f(n)$ dla wolnossącego silnika o ZS.

Zmiana oporu filtra powietrza Δp_f z wartości mniejszej na większą powoduje pogorszenie parametrów pracy silnika: spadek momentu M_o i mocy N_e oraz wzrost jednostkowego zużycia paliwa g_e . Rodzinę krzywych $M_o = f(n)$, $N_e = f(n)$ i $g_e = f(n)$ dla wartości oporów przepływu: $\Delta p_{fo} = 2,3$ kPa, $\Delta p_{fdop} = 6$ kPa, $2\Delta p_{fdop} = 12$ kPa przedstawiono na rysunku 13.

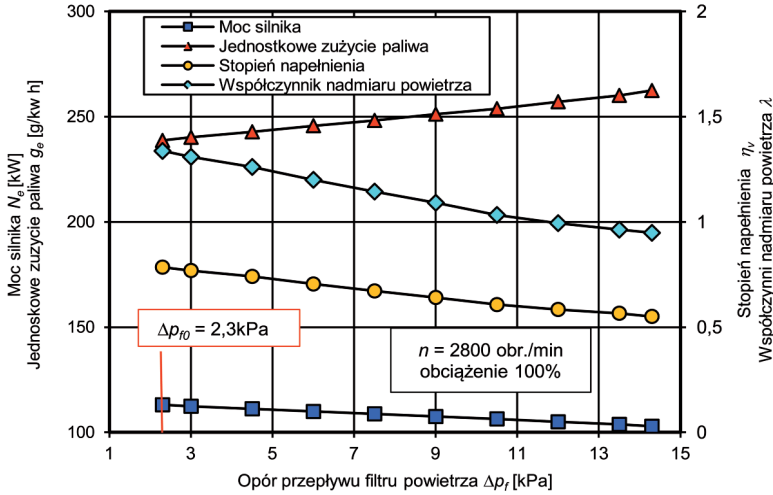


Rys. 12. Zmiana napęnienia i mocy wolnossącego silnika 359M o ZS z klasycznym układem wtryskowym dla różnych wartości oporu przepływu filtra powietrza [8]



Rys. 13. Charakterystyki zewnętrzne wolnossącego silnika 359M o ZS z klasycznym układem wtryskowym dla różnych oporów filtra powietrza [8] (przy stałej prędkości obrotowej $n = 2800$ obr./min)

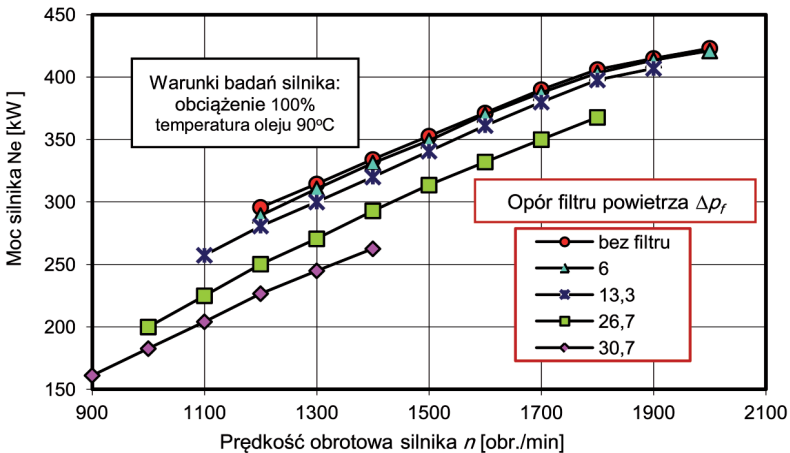
Rezultaty badań eksperymentalnych wpływu oporu przepływu filtra powietrza (w zakresie $\Delta p_f = 2,314,3$ kPa) na parametry pracy silnika 359M o ZS z klasycznym układem wtryskowym przedstawiono na rysunku 15. Wraz ze wzrostem oporu filtra powietrza Δp_f następuje spadek stopnia napęnienia η_v , współczynnika nadmiaru powietrza λ i mocy silnika oraz wzrost jednostkowego zużycia paliwa. Przy oporze przepływu filtra powietrza $\Delta p_f = 14,3$ kPa (wzrost oporu filtra o 12 kPa) stopień napęnienia ma wartość $\eta_v = 0,55$. Jest to spadek η_v o 30% w stosunku do wartości stopnia napęnienia przy eksploatacyjnym oporze filtra powietrza $\Delta p_{f0} = 2,3$ kPa.



Rys. 14. Wpływ oporu filtra powietrza Δp_f na zmiany stopnia napełnienia η_v , współczynnika nadmiaru powietrza λ , mocy N_e i jednostkowego zużycia paliwa g_e wolnossącego silnika 359M o ZS z klasycznym układem wtryskowym [9]

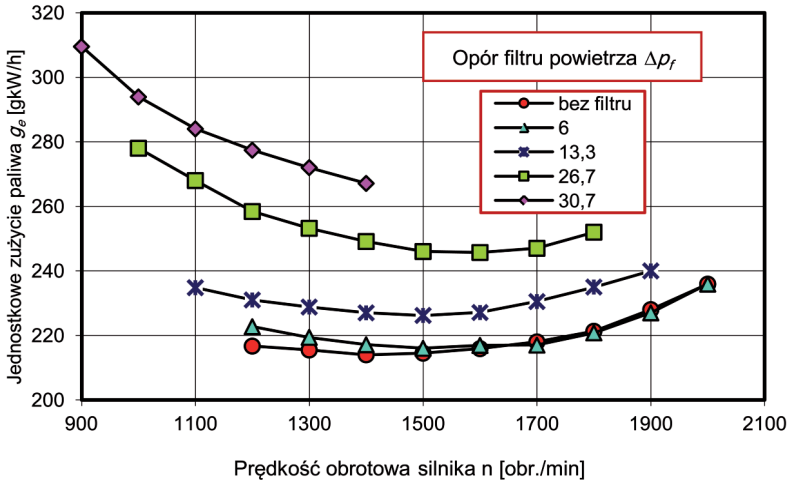
Zmniejszenie η_v , a tym samym masy powietrza dostarczonego do cylindrów silnika przy tej samej dawce paliwa ($n = \text{const}$, $G_e = \text{const}$) spowodowało spadek współczynnika nadmiaru powietrza λ z 1,36 przy $\Delta p_{f0} = 2,3$ kPa do $\lambda = 0,96$ (przy $\Delta p_f = 14,3$ kPa). Niedobór powietrza spowodował, że paliwo nie spalało się całkowicie. Nastąpił spadek sprawności silnika, a tym samym jego momentu M_o i mocy N_e (rys. 14). Wzrost oporu filtra powietrza o 12 kPa powoduje spadek mocy o 9%. Wzrost oporu filtra powietrza o 1 kPa (w zakresie $2,3 \div 14,3$ kPa) powoduje spadek stopnia napełnienia badanego silnika średnio o 2,45%, mocy o około 0,74% oraz wzrost jednostkowego zużycia paliwa średnio o 0,82% [9]. Wartości te porównywalne są z wynikami innych badań [11, 22].

Z przedstawionych na rysunkach 15 i 16 rezultatów badań wynika, że wpływ oporu przepływu filtra powietrza Δp_f na charakterystykę zewnętrzną mocy i jednostkowego zużycia paliwa silnika W-55 z klasycznym układem wtryskowym i wielozakresowym regulatorem prędkości obrotowej jest znaczny dopiero po osiągnięciu wartości $\Delta p_f = 6$ kPa.



Rys. 15. Wpływ oporu filtra powietrza na charakterystykę mocy dwunastocylindrowego wolnossącego silnika W-55 o ZS [11]

Wzrost oporu filtra powietrza powoduje spadek mocy silnika W-55 i wzrost jednostkowego zużycia paliwa oraz przesunięcie omal równoległe ich charakterystyk zewnętrznych w stronę mniejszych wartości mocy i prędkości obrotowej. Przy oporze przepływu $\Delta p_f = 26,7$ kPa silnik nie osiąga większej prędkości obrotowej niż 1800 obr./min, a przy $\Delta p_f = 30,7$ kPa osiągana maksymalna prędkość obrotowa ma wartość $n = 1400$ obr./min – rysunek 16 [11].



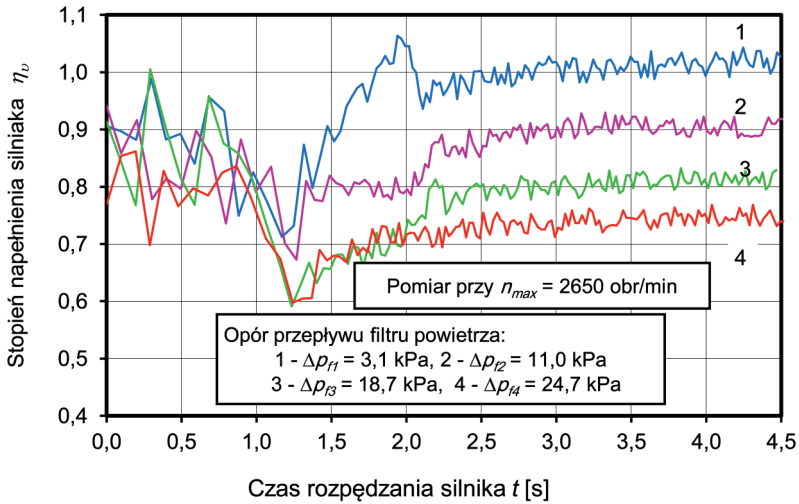
Rys. 17. Wpływ oporu przepływu filtra powietrza na charakterystykę jednostkowego zużycia paliwa dwunastocylindrowego wolnossącego silnika W-55 o ZS [11]

Autorzy pracy [5] podają, że przy obciążeniu znamionowym opór filtra powietrza Δp_f nie powinien przekraczać $2 \div 2,5$ kPa w silnikach tłokowych i $1 \div 1,5$ kPa w silnikach turbinowych. Ocenia się, że początkowy opór przepływu filtra powietrza (w chwili rozpoczęcia jego eksploatacji) wynosi zwykle $\Delta p_{f0} = 0,5 \div 1,5$ kPa, zależnie od rodzaju filtra i rośnie wraz ze wzrostem masy zatrzymanego pyłu do $3 \div 3,5$ kPa, a podczas pracy w atmosferze o dużym stężeniu zapylenia może osiągnąć nawet 5 kPa.

Autor pracy [15] podaje, że wzrost oporu filtra powietrza o 1 kPa powoduje spadek mocy i wzrost jednostkowego zużycia paliwa w silnikach o ZS $0,3 \div 0,4$ % i około 1,3 % w silnikach o ZI. Według danych zawartych w pracy [22] wzrost oporu przepływu w układzie dolotowym średnio o 10 mm Hg (1,36 kPa) powoduje spadek mocy silnika Jamz-240N o $3,68 \div 4,41$ kW i wzrost jednostkowego zużycia paliwa o $2,72 \div 4,08$ g/kWh.

Badania wpływu oporu filtra powietrza Δp_f na parametry pracy turbodoładowanego silnika o ZS T359E z klasycznym układem wtryskowym wskazują, że wzrost Δp_f o 1 kPa powoduje spadek momentu obrotowego (mocy) silnika średnio o 0,3% i stopnia napełnienia 1,4% (rys. 17) oraz nieznaczny wzrost zadymienia spalin [7].

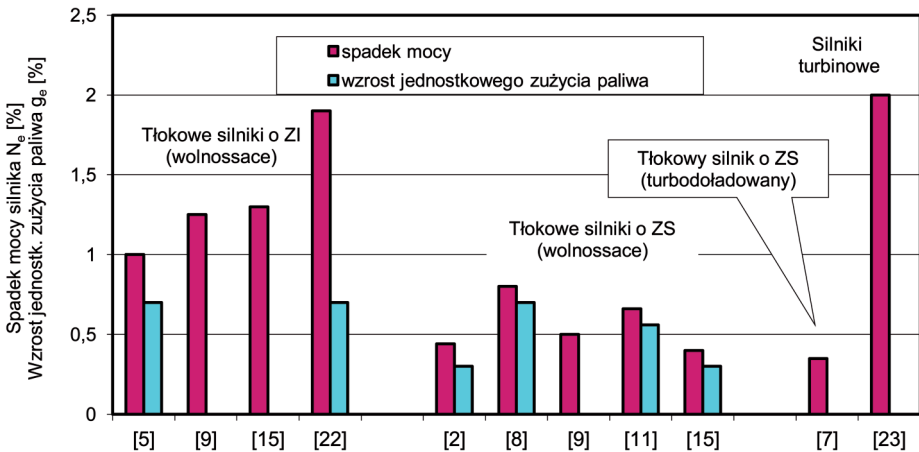
Ośmiokrotny wzrost oporu Δp_f ponad wartość oporu początkowego Δp_{f0} , powoduje dwukrotny wzrost zadymienia spalin silnika T359E (wzrost współczynnika pochłaniania światła) do $k = 0,81$ m⁻¹. Nie powoduje to dla silnika T359E przekroczenia jego maksymalnej wartości – $k_{max} = 3,0$ m⁻¹. Wartości spadków mocy i zwiększonego zużycia paliwa są o 50% mniejsze niż dla analogicznego silnika bez doładowania, którego wyniki badań przedstawiono w pracy [7].



Rys. 17. Zmiany stopnia napełnienia η_b w funkcji czasu t rozpędzania silnika T359E przy różnych wartościach oporu filtra powietrza (stanie zanieczyszczenia) [7]

Autorzy pracy [23] podają, że silnik turbinowy jest bardziej wrażliwy na obniżenie ciśnienia na wlocie spowodowane zainstalowaniem urządzeń oczyszczających powietrze niż silniki tłokowe i każdy wzrost oporu przepływu powietrza na wlocie do silnika turbinowego o 0,5 kPa powoduje spadek jego mocy znamionowej o 1%.

Z przedstawionej analizy wynika, że opór przepływu filtra powietrza Δp_f o wartości 1 kPa powoduje średnio spadek mocy silnika o $ZI 1 \div 1,5\%$ i wzrost jednostkowego zużycia paliwa około 0,7. Dla silników z zapłonem samoczynnym wartości te wynoszą odpowiednio $0,4 \div 0,6\%$ spadku mocy i $0,3 \div 0,5\%$ wzrostu jednostkowego zużycia paliwa – rysunek 18.



Rys. 18. Spadek mocy ΔN i wzrost jednostkowego zużycia paliwa Δg_e dla silników spalinowych pod wpływem wzrostu oporu Δp_f filtra powietrza średnio o 1 kPa według różnych opracowań literaturowych [opracowanie własne]

Do przygotowania mieszanki we współczesnych szybkoobrotowych silnikach spalinowych o ZI stosowane są powszechnie elektronicznie sterowane wielopunktowe układy wtrysku benzyny [16].

W samochodach osobowych są stosowane przeważnie silniki o ZS o bezpośrednim wtrysku paliwa z elektronicznym systemem sterowania, natomiast silniki samochodów ciężarowych wyposaża się w wysokociśnieniowe, niekonwencjonalne (na przykład zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail, pompowtryskiwacze napędzane mechanicznie lub hydraulicznie) układy wtryskowe sterowane elektronicznie. Układ elektroniczny (komputer pokładowy) steruje wszystkimi wielkościami wpływającymi na wartość momentu obrotowego wytwarzanego przez silnik, przy równoczesnym spełnieniu wymagań odnośnie emisji spalin i zużycia paliwa przez cały okres eksploatacji pojazdu.

W współczesnym układzie zasilania powietrzem silnika znajduje się przepływomierz, najczęściej termoanemometr warstwowy HFM lub termoanemometr drutowy HLM, który mierzy masę powietrza pobieranego przez silnik, a odpowiedni sygnał przekazuje do mikroprocesora komputera pokładowego [14]. W układzie wylotowym natomiast znajduje się sonda λ , która na bieżąco monitoruje ilość tlenu w spalinach.

W zależności od masy zasysanego powietrza i w oparciu o sygnał z sondy λ oraz sygnały od innych czujników określających fazę pracy silnika, jednostka sterująca tak dobiera dawkę paliwa (dozowaną przez wtryskiwacze w określonym czasie), aby trafiająca do cylindrów silnika mieszanka miała skład stechiometryczny. Wzrost oporu przepływu filtra powietrza spowoduje zmniejszenie strumienia powietrza dopływającego do cylindrów silnika, a tym samym spadek napełnienia. Zmniejszona, w wyniku zwiększonych oporów przepływu na filtrze, masa powietrza oznacza mniejszą ilość paliwa, jaka może być spalona. Jednostka sterująca zmniejsza ilość wtryskiwanego paliwa, co pociąga za sobą spadek mocy i momentu obrotowego, lecz nie ma to wpływu na wzrost zawartości toksycznych składników spalin.

Ogólnie przyjmuje się w konstrukcji silników spalinowych, że filtr powietrza może mieć taki maksymalny opór przepływu, aby przy prędkości obrotowej mocy maksymalnej n_N silnika i jego całkowitym obciążeniu (100% otwarcia przepustnicy mieszanki w silnikach o ZI i pełna dawka paliwa w silnikach o ZS) nie powodował większego spadku mocy niż 3 rzadko 5% [2, 8, 15]. Warunek ten ogranicza wzrost oporu filtra wynikający z jego obładowania pyłem w czasie eksploatacji. W związku z tym filtr powietrza ma określoną wartość dopuszczalnego oporu przepływu $\Delta p_f = \Delta p_{fdop}$ wynikającą z istniejącego konstrukcyjnego ograniczenia strat mocy na pokonanie oporów przepływu na dolocie. Przykładowo filtr powietrza silnika MAN DO826 samochodu STAR 1466 ma wartość $\Delta p_{fdop} = 5$ kPa, silnika W-46 czołgu T-72 – 12 kPa, a ciągnika siodłowego Volvo F1227 – 4,9 kPa.

4. PODSUMOWANIE

Wraz ze wzrostem masy pyłu zatrzymanej przez złożę siatkowe, wkład papierowy lub włókninowy następuje wzrost oporu przepływu filtra powietrza Δp_f , co w konsekwencji powoduje spadek stopnia napełnienia i mocy silnika, a tym samym pogorszenie dynamiki pojazdu. Przyjmuje się, że opór przepływu filtra powietrza Δp_f o wartości 1 kPa powoduje średnio spadek mocy silnika o ZI 1÷1,5% i wzrost jednostkowego zużycia paliwa około 0,7. Dla silników z zapłonem samoczynnym wartości te wynoszą odpowiednio 0,4÷0,6% spadku mocy i 0,3÷0,5% wzrostu jednostkowego zużycia paliwa.

W tłokowych silnikach spalinowych o ZS z klasycznym układem wtryskowym i w silnikach gaźnikowych efektem zwiększonego oporu przepływu filtra powietrza jest spadek mocy i wzrost jednostkowego zużycia paliwa oraz zwiększenie toksyczności spalin. W nowoczesnych silnikach pojazdów mechanicznych, gdzie w układzie zasilania powietrzem znajduje się przepływomierz powietrza, występuje ciągła kontrola (pomiar) zmiany strumienia powietrza wlotowego do silnika spowodowana wzrostem oporu filtra powietrza. Komputer pokładowy na podstawie tej informacji steruje wielkością dawki paliwa, tak, aby spełnione były wymagania odnośnie emisji spalin.

W dostępnej literaturze brak jest danych eksperymentalnych i wiadomości przedstawiających wpływ oporu przepływu filtra powietrza na pracę sterowanego elektronicznie silnika spalinowego współczesnego pojazdu mechanicznego.

Zasadniczym skutkiem oddziaływania ziaren pyłu przedostających się wraz ze strumieniem powietrza wlotowego do silników turbinowych jest przyspieszone zużycie poszczególnych części i całych zespołów konstrukcyjnych silników oraz tworzenie się osadów pyłowych. Oba oddziaływania powodują równolegle pogorszenie charakterystyk mocy, zużycia paliwa i zużycia oleju.

Praca silnika z filtrem o zwiększonym oporze przepływu filtra powietrza jest możliwa, lecz należy liczyć się z nadmiernym spadkiem mocy i pogorszeniem dynamiki pojazdu. W związku z tym filtr powietrza danego silnika ma określoną i ustaloną konstrukcyjnie, a wynikającą z ograniczenia strat mocy silnika (około 3%) na pokonanie oporów przepływu, wartość dopuszczalnego oporu przepływu $\Delta p_f = \Delta p_{fdop}$, której osiągnięcie wynika z warunków pracy filtra (wyczerpanie chłonności), a tym samym limituje czas pracy filtra (pojazdu) i jest sygnałem do wykonania jego obsługiwanie. W samochodach ciężarowych, pojazdach specjalnych w układzie zasilania powietrzem (za filtrem) stosuje się czujniki sygnalizujące osiągnięcie przez filtr dopuszczalnego oporu przepływu $\Delta p_f = \Delta p_{fdop}$, którego wartości zawierają się (w zależności od rodzaju filtra i typu silnika) w zakresie 5÷8 kPa. W samochodach osobowych układy do sygnalizacji dopuszczalnego oporu przepływu stosuje niezbyt często, a obsługiwane przeprowadza się po określonym przez producenta przebiegu pojazdu.

Konstrukcję filtra powietrza, a w tym wartość dopuszczalnego oporu przepływu p_{fdop} , dobiera się indywidualnie dla każdego silnika w zależności od zapotrzebowania powietrza i przewidywanych warunków pracy, a w szczególności od stężenia zapylenia powietrza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Антропов Б. С., Бацула Б. В. и Чернышев В. М., 1980, „Эффективность использования воздухо-очистителей сухого типа в двигателях ЯМЗ”, Двигателестроение, no 1.
- [2] Baczewski K. i Hebda M., 1991/1992, *Filtracja płynów eksploatacyjnych*, MCNEMT, Radom.
- [3] Baczewski K. i Kałdoński T., 1980, „Wstępne badania modelowe wpływu składu granulometrycznego zanieczyszczeń na zużycie elementów precyzyjnych pomp wtryskowych”, Biuletyn WAT, XXIX, 2(330).
- [4] Diesel Engine Air Filtration, 2004, *Materiały informacyjne firmy PALL Corporation*, USA.
- [5] Dzierżanowski P., Kordziński W., Otyś J., Szczeciński S. i Wiatrek R., 1985, *Napędy lotnicze. Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe*, WKŁ, Warszawa.
- [6] Dziubak T., 2008, *Analiza procesu filtracji powietrza wlotowego do silników pojazdów specjalnych*, Rozprawa habilitacyjna. WAT Warszawa.
- [7] Dziubak T. i Trawiński G., 2001, „Badania eksperymentalne wpływu oporu przepływu filtra powietrza na parametry pracy silnika T359E”, Biuletyn WAT L, 4(584).
- [8] Dziubak T., 1991, „Wpływ filtra powietrza na napełnienie tłokowego silnika spalinowego”, Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa.
- [9] Dziubak T. i Pięta A., 1994, „Badania hamowniane wpływu oporu przepływu filtra powietrza na parametry pracy tłokowego silnika spalinowego”, Biuletyn WAT, XLIII, 1(497).
- [10] Fitch J., 2002, “Clean Oil Reduces Engine Fuel Consumption”, *Practicing Oil Analysis Magazine*, pp. 11-12.
- [11] Godlewski J., Kowalski Wł. i Dziubak T., 1985, *Opracowanie nowych metod diagnostycznych układów i urządzeń pojazdów mechanicznych*, Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej – etap IV. WAT, Warszawa.

- [12] Grafe T. H. i Graham K. M., 2003, "Nanofiber Webs from Electrospinning. Nonwovens in Filtration", 5th International Conference, Stuttgart, Germany, March.
- [13] Grafe T., Gogins M., Barris M., Schaefer J. and Canepa R., 2001, "Nanofibers in Filtration Applications in Transportation", Filtration 2001 International Conference and Exposition, Chicago, Illinois, December 3-5.
- [14] Informator techniczny Bosch., 2002, *Sterowanie silników o zapłonie iskrowym*, Zasada działania. Podzespoły. WKŁ, Warszawa.
- [15] Jaroszczyk T., 1978, „Problemy filtracji powietrza w silnikach spalinowych eksploatowanych w ciężkich warunkach”, *Silniki spalinowe*, 2.
- [16] Kasedorf J. i Woisetschläger E., 2000, *Układy wtryskowe benzyny. Sprawdzanie i regulacja*. WKŁ, Warszawa.
- [17] Nagy J. 1973, "Filtrowanie a żywotność silnika", *Silniki Spalinowe*, 3.
- [18] Piekarski W. i Dzieniszewski G., 2006, "Wpływ zużycia tulei cylindrowej na parametry pracy silnika i temperaturę spalin", *Inżynieria Rolnicza*, 6(81).
- [19] Рузаев И. Г. i Стрыковский Ф.Р., 1979, "Исследование комбинированной системы очистки воздуха двигателей", *Автомобильная промышленность*, 8.
- [20] Schaeffer J. W. and Olson L. M., 1998, "Air Filtration Media for Transportation Applications", *Filtration Separation*, 35(2).
- [21] Siuta T., 2006, „Studium problem usprawnienia procesu filtrowania paliwa w silniku wysokoprężnym”, *Seria Mechanika (Monografia 330)*, Politechnika Krakowska.
- [22] Слабов Е., Антропов Б. i Нилов В., 1978, „Влияние очистки воздуха на ресурс двигателя”, *Автомобильный транспорт*, 4.
- [23] Szczeciński S. i inni., 1974, *Turbinowe napędy samochodów*, WKŁ, Warszawa.

THE PROBLEMS OF INLET AIR FILTRATION IN COMBUSTION ENGINES

Abstract

An analysis of the impact of road dust particle size and dust concentration on the rate of piston engine components abrasive wear and its durability. The influence of piston-piston rings-cylinder association excessive wear on engine power decrease is presented. The erosive nature of the turbine engine wear has been shown. The impact of road dust particle size and concentration on the durability of the turbine engine has been presented. Influence of erosion wear and dust sediments on the power of the turbine engine has been discussed. The influence of dust retained by the barrier filter on its efficiency and flow drag characteristics change has been described. The influence of the air filter flow drag on the change of piston engine operating parameters has been presented. The concept of acceptable air filter flow drag and its value are presented.

Keywords: piston internal combustion engine, baffle filter, air pollutants, erosive and abrasive wear, air filter resistance, decrease in engine performance.